

RECOMMANDATION UIT-R M.1478

**CRITÈRES DE PROTECTION APPLICABLES AUX PROCESSEURS
DE RECHERCHE ET DE SAUVETAGE COSPAS-SARSAT
DANS LA BANDE 406-406,1 MHz**

(2000)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que le système mondial de recherche et de sauvetage par satellite Cospas-Sarsat est exploité dans une attribution exclusive dans la bande 406-406,1 MHz;
- b) que les bandes de fréquences pour les systèmes non géostationnaires (non OSG) du service mobile par satellite (SMS) font cruellement défaut au-dessous de 1 GHz et qu'il faut d'urgence dégager des bandes supplémentaires à l'échelle mondiale pour ces systèmes du SMS non OSG;
- c) que, par sa Résolution 219 (CMR-97), la CMR-97 a invité l'UIT-R à étudier la possibilité pour le SMS d'utiliser la bande 405-406 MHz;
- d) que, par sa Résolution 219 (CMR-97), la CMR-97 a décidé d'inviter l'UIT-R à étudier d'urgence, avec le concours du Comité inter-unions pour l'attribution de fréquences à la radioastronomie et à la science spatiale (IUCAF) et d'autres entités compétentes, l'incidence des rayonnements non désirés sur le système Cospas-Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz et sur les services de radioastronomie dans la bande 406,1-410 MHz et à déterminer les mesures à prendre pour protéger ces services;
- e) l'analyse, présentée dans l'Annexe 1, concernant les caractéristiques de puissance surfacique spectrale (spfd) maximale admissible des processeurs de recherche et de sauvetage (SARP, *search and rescue processors*) Sarsat vis-à-vis des émissions hors bande à large bande et la limite supérieure du décalage de fréquence Doppler associée aux émissions du SMS reçues par le système Sarsat;
- f) l'analyse, présentée dans l'Annexe 2, concernant les caractéristiques de puissance surfacique maximale admissible des instruments SARP Sarsat vis-à-vis des rayonnements non essentiels en bande étroite;
- g) que l'Annexe 3 donne des lignes directrices concernant les critères de protection de la bande 406-406,1 MHz applicables aux instruments SARP Sarsat (équipements embarqués);
- h) que l'Annexe 4 énonce les critères de protection applicables aux services de sécurité ayant des attributions à titre primaire dans la bande 406-406,1 MHz (système Cospas-Sarsat (C-S)) vis-à-vis des émissions du SMS non OSG sur la liaison descendante au-dessous de 406 MHz,

recommande

- 1 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des systèmes utilisant des bandes de fréquences adjacentes sur les instruments SARP Sarsat soit fondée sur une puissance surfacique spectrale maximale acceptable de $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ au niveau de l'antenne du système Sarsat;
- 2 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des rayonnements non essentiels en bande étroite (rayonnements harmoniques, rayonnements parasites, produits d'intermodulation et de conversion de fréquence, par exemple) sur les instruments SARP Sarsat soit fondée sur une puissance surfacique maximale de $-185,8 \text{ dB(W/m}^2)$ au niveau de l'antenne Sarsat, dans une largeur de bande de résolution de 19 Hz;
- 3 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des systèmes utilisant des bandes de fréquences adjacentes sur les instruments SARP Cospas soit fondée sur une puissance surfacique spectrale maximale acceptable de $-200,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ au niveau de l'antenne du système Cospas;
- 4 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des rayonnements non essentiels en bande étroite (rayonnements harmoniques, rayonnements parasites, produits d'intermodulation et de conversion de fréquence par exemple) sur les instruments SARP Cospas soit fondée sur une puissance surfacique maximale de $-176,6 \text{ dB(W/m}^2)$ au niveau de l'antenne du système Cospas, dans une largeur de bande de résolution de 40 Hz;
- 5 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des systèmes du SMS en projet utilisant la bande de fréquences 405-406 MHz sur les instruments Cospas-Sarsat non OSG soit fondée sur l'utilisation d'une limite supérieure du décalage Doppler de 20 kHz.

Critères de protection applicables au système Cospas-Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz vis-à-vis des émissions hors bande à large bande

1 Introduction

La CMR-97 a pris note de l'utilisation éventuelle de la bande 405-406 MHz pour les liaisons descendantes des systèmes futurs du SMS non OSG et a approuvé la Résolution 219 (CMR-97), par laquelle elle a demandé que l'on procède à une analyse visant à déterminer l'incidence de l'utilisation éventuelle de cette bande sur les systèmes utilisant les bandes de fréquences adjacentes supérieures. Conformément à la Résolution 219 (CMR-97), cette analyse devrait être limitée aux systèmes employant des techniques de modulation à bande étroite jusqu'à ce que de nouvelles études de l'UIT-R permettent de conclure que l'utilisation d'autres techniques de modulation permet de protéger le système Cospas-Sarsat (406-406,1 MHz) et le service de radioastronomie (406,1-410 MHz).

On trouvera dans la présente Annexe des renseignements complémentaires sur le système C-S et les critères de protection de ce système vis-à-vis des émissions hors bande à large bande.

2 Rappel

On trouvera dans d'autres textes de l'UIT des renseignements détaillés sur les points suivants:

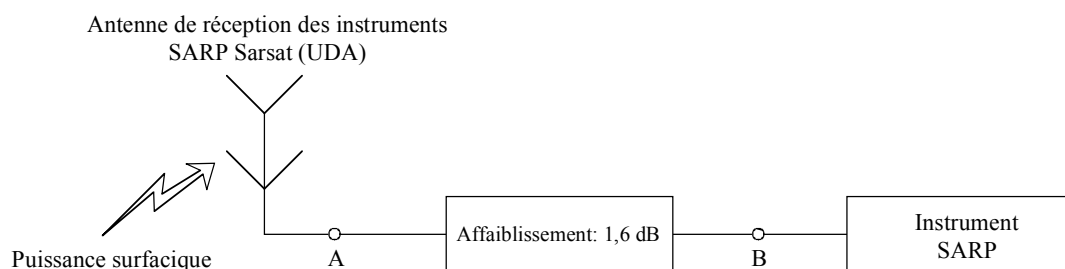
- paramètres de plusieurs réseaux non OSG du SMS;
- niveau de seuil de puissance surfacique applicable au brouillage;
- protection des systèmes de recherche et de sauvetage (SAR, *search and rescue*) à l'aide de techniques de conformation du spectre ou de filtrage.

3 Niveau de seuil de la spfd applicable au brouillage

Tout bruit large bande supplémentaire introduit dans les instruments SARP Sarsat aura pour effet d'augmenter le taux d'erreur binaire (TEB) du système, ce qui aura des conséquences négatives sur sa qualité de fonctionnement. Il ressort d'études de l'UIT-R que la valeur maximale acceptable du TEB sur la liaison montante des instruments SARP Sarsat ne peut dépasser 5×10^{-5} . En conséquence, nous déterminerons dans la présente analyse la puissance surfacique maximale acceptable associée au bruit large bande sur le canal de la liaison montante des instruments SARP Sarsat. En revanche, nous n'examinerons pas l'incidence des émissions à bande étroite (raies spectrales par exemple), qui ont elles aussi des effets négatifs sur la qualité de fonctionnement des instruments SARP, ni les critères de protection applicables à tous les instruments C-S (répéteurs de recherche et de sauvetage Sarsat, Cospas SARP par exemple).

La Fig. 1 montre les principaux éléments matériels embarqués à bord des satellites TIROS (et des futurs satellites METOP).

FIGURE 1
Eléments matériels embarqués



La spécification du diagramme du gain de l'antenne UDA est exprimée en fonction de l'angle par rapport au nadir dans le Tableau 1:

TABLEAU 1
Diagramme du gain de l'antenne de réception de l'instrument SARP (UDA)

Angle du satellite par rapport au nadir	62	59	54	47	39	31	22	13	5	0
Gain en polarisation circulaire droite	3,85	3,54	2,62	1,24	-0,17	-1,33	-2,24	-3,08	-3,80	-3,96
Gain en polarisation circulaire gauche	-5,69	-6,23	-7,52	-9,39	-11,39	-13,12	-14,52	-15,77	-17,17	-18,00
Taux d'ellipticité	6,02	5,85	5,59	5,26	4,90	4,57	4,31	4,11	3,78	3,49

Les valeurs du Tableau 1 correspondent à celles du diagramme d'une antenne de réception SARP Sarsat à 406 MHz et devraient s'appliquer aux satellites TIROS et METOP.

Pour le système Sarsat, les valeurs types sont les suivantes: facteur de bruit = 2,5 dB (paramètre d'entrée de l'instrument SARP du C-S); température nominale du bruit de fond = 1 000 K (paramètre d'entrée du C-S); affaiblissement entre l'antenne et le récepteur SARP = 1,6 dB. En conséquence, la température de bruit du système à l'entrée du récepteur SARP (point B de la Fig. 1) est égale à 1010 K, de sorte que la densité spectrale de bruit est égale à $N_0 = -198,6$ dB(W/Hz).

Dans le cas le plus défavorable, l'instrument SARP est conçu pour fonctionner correctement lorsque le signal reçu a une puissance $C = -161$ dBW (niveau minimal du signal reçu) à l'entrée du récepteur, ce qui donne un rapport équivalent $E_b/N_0 = 9,1$ dB au niveau du détecteur de bits de l'instrument SARP si l'on tient compte de l'onde de forme de la balise et des différents affaiblissements. En pareil cas, le TEB correspondant est égal à $2,6 \times 10^{-5}$.

En conséquence, pour obtenir un TEB de 5×10^{-5} (soit à peu près le double du TEB), la dégradation maximale acceptable est de 0,3 dB. Lorsque le rapport $E_b/N_0 = 8,8$ dB, le TEB est égal à $4,8 \times 10^{-5}$.

Nous calculons ensuite le supplément de bruit correspondant à la dégradation de 0,3 dB du rapport C/N_0 .

I_0 représente la densité de puissance de bruit supplémentaire provenant de brouilleurs du SMS non OSG.

Le bruit initial N_0 devient $N_0 + I_0$.

Le rapport signal/bruit C/N_0 devient $C/(N_0 + I_0)$.

La dégradation étant de 0,3 dB = $10 \log ((C/N_0)/(C/(N_0 + I_0)))$, $I_0/N_0 = -11,5$ dB et $I_0 = -210,1$ dB(W/Hz), ce qui correspond à une température de 70,8 K, soit une augmentation de 7% de la température de bruit du système à l'entrée du récepteur SARP.

En conséquence, le niveau maximal admissible de la densité de bruit est $I_0 = -210,1$ dB(W/Hz) (calculé pour le point B de la Fig. 1).

Comme il ressort de la Fig. 1, la densité de bruit, I_0 , tient compte de l'affaiblissement et du gain d'antenne. Etant donné que l'on doit connaître la spfd, il faut convertir cette valeur en dB(W/(m² · Hz)). La surface apparente d'une antenne ayant un gain G est $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$. La spfd correspondante est donc égale à $-210 + 1,6$ (affaiblissements) – $10 \log_{10} S = -198,6$ dB(W/(m² · Hz)), en prenant en compte le plus grand angle du satellite par rapport au nadir.

Le niveau maximal de brouillage dû au bruit large bande dans la bande 406-406,1 MHz ne doit pas dépasser $-198,6$ dB(W/(m² · Hz)) pour protéger l'instrument SARP du système Sarsat.

4 Limite supérieure du décalage Doppler

Toute largeur de bande proposée aux fins de la protection doit tenir compte des décalages Doppler. La valeur maximale du décalage Doppler doit être examinée avec soin. Le cas le plus défavorable se produit lorsque les satellites Sarsat et ceux du SMS non OSG sont situés sur la même orbite et se déplacent dans des directions opposées. En pareil cas, l'analyse ci-dessous est applicable.

Le signal du SMS non OSG provient du point A. Le satellite Sarsat, représenté par le point B, se déplace à une vitesse V_B . Si le satellite du SMS non OSG ne se déplace pas, la fréquence reçue au point B est $F_B = F_A \left(1 + \frac{V_B}{c}\right)$ dans le cas le plus défavorable. En revanche, la fréquence reçue au point B a la même valeur si le satellite Sarsat ne se déplace pas et si le satellite du SMS non OSG se déplace. Si le satellite est à une altitude de 850 km, sa vitesse est de 7 426 km/s.

Comme les deux satellites se déplacent dans des directions opposées, la limite supérieure du décalage Doppler est la suivante:

$$2F_A (V_B/c) = 20 \text{ kHz}$$

Cette valeur correspond au cas le plus défavorable et n'est pas forcément applicable à tous les systèmes du SMS en projet.

5 Conclusions et recommandations

Les calculs ci-dessus permettent de formuler les conclusions et recommandations suivantes concernant l'incidence des émissions provenant de bandes de fréquences adjacentes sur les instruments SARP Sarsat:

- le niveau maximal de brouillage dû au bruit large bande dans la bande 406-406,1 MHz ne doit pas dépasser $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ pour protéger l'instrument SARP Sarsat;
- la limite supérieure du décalage Doppler est de 20 kHz;
- il est recommandé de poursuivre les analyses pour déterminer l'incidence, sur le C-S, de l'utilisation par le SMS de la bande 405-406 MHz avec une spfd de $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$, un décalage Doppler approprié et en tenant compte du scénario le plus défavorable associé à toute la constellation du SMS.

ANNEXE 2

Critères de protection applicables au système C-S dans la bande 406-406,1 MHz vis-à-vis des rayonnements non essentiels en bande étroite

1 Introduction

La CMR-97 a pris note de la possibilité d'attribuer la bande 405-406 MHz aux liaisons descendantes des systèmes futurs du SMS non OSG et a approuvé la Résolution 219 (CMR-97), par laquelle elle a demandé que l'on procède à une analyse visant à déterminer l'incidence de cette utilisation éventuelle sur les systèmes utilisant les bandes de fréquences adjacentes supérieures. Conformément à la Résolution 219 (CMR-97), cette analyse devrait être limitée aux systèmes employant des techniques de modulation à bande étroite, jusqu'à ce que de nouvelles études de l'UIT-R permettent de conclure que l'utilisation d'autres techniques de modulation permet de protéger le C-S (406-406,1 MHz) et le service de radioastronomie (406,1-410 MHz).

La présente Annexe donne des renseignements sur le C-S et les critères de protection de ce système vis-à-vis des rayonnements non essentiels en bande étroite.

2 Rappel

L'Annexe 1 énonce les critères de protection relatifs aux instruments SARP Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz, à appliquer pour l'analyse des brouillages causés par des émissions hors bande. La présente annexe donne les critères de protection applicables aux instruments SARP Sarsat vis-à-vis des rayonnements non essentiels en bande étroite (rayonnements harmoniques, rayonnements parasites, produits d'intermodulation et de conversion de fréquence).

La terminologie employée dans la présente Annexe est tirée des Recommandations UIT-R SM.328 – Spectres et largeurs de bande des émissions et UIT-R SM.329 – Rayonnements non essentiels.

La présente Annexe traite des critères de protection applicables aux seuls instruments SARP Sarsat; ces critères ne sont donc pas forcément applicables à tous les instruments Cospas-Sarsat.

3 Critères de protection vis-à-vis des rayonnements non essentiels en bande étroite

La Fig. 1 montre les principaux éléments matériels des instruments SARP Sarsat.

Pour mieux comprendre les motifs de cette spécification, il faut brièvement rappeler le fonctionnement d'un instrument SARP.

Les émissions des balises de détresse Sarsat commencent lorsqu'une porteuse non modulée est émise pendant 160 ms pour permettre à une boucle à verrouillage de phase de se verrouiller plus facilement sur la porteuse. La Fig. 2 représente le format du message du C-S.

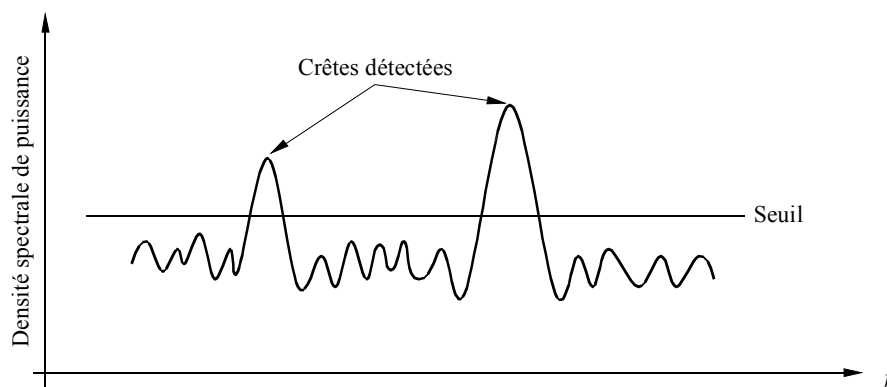
FIGURE 2
Format du message C-S

Porteuse émise pendant 160 ms	Bits de synchronisation	Bits du contenu du message de la balise de détresse
----------------------------------	-------------------------	-----------------------------------------------------------

1478-02

Un analyseur de spectre de l'instrument SARP surveille en permanence la largeur de bande pour toute la couverture considérée afin de rechercher la porteuse pure des émissions de la balise de détresse. Lorsqu'il détecte cette porteuse, l'analyseur de spectre considère qu'il s'agit du début d'un message C-S. Cette théorie est fondée sur la détection d'une onde porteuse pure (onde sinusoïdale) dans un environnement avec bruit blanc gaussien supplémentaire. La densité spectrale de puissance du signal reçu (porteuse pure + bruit) est calculée à l'aide de techniques de type Transformée rapide de Fourier et chaque signal dont la puissance dépasse le niveau de seuil du système est traité comme s'il s'agissait d'une balise de détresse (voir la Fig. 3).

FIGURE 3
Détection d'une onde sinusoïdale en cas de bruit blanc gaussien

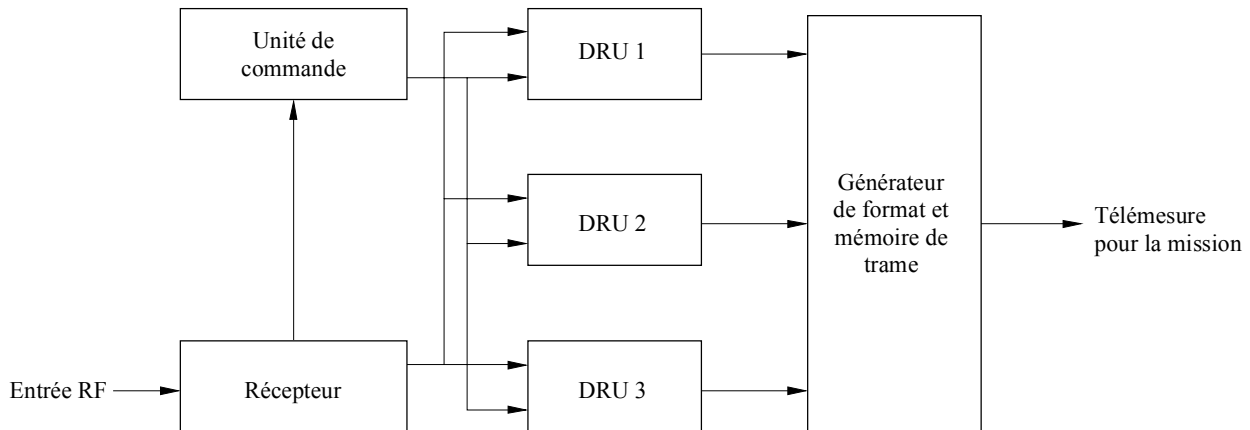


1478-03

Les signaux dont la puissance dépasse le niveau de seuil sont attribués à une unité de récupération de données (DRU, *data recovery unit*) embarquée pour traitement supplémentaire et transmission vers la Terre sur le canal de télémétrie prévu pour la mission (voir la Fig. 4).

FIGURE 4

Diagramme fonctionnel de l'instrument SARP



1478-04

Afin de satisfaire aux exigences de qualité de fonctionnement des opérations de recherche et de sauvetage concernant les balises de détresse de faible puissance, l'instrument SARP Sarsat a été conçu pour détecter et traiter des signaux extrêmement faibles. Cet instrument fonctionne de telle manière que tout signal, C_{min} , dont la puissance est supérieure de 21 dB(Hz) au niveau de la densité de bruit local ($C_{min}/N_0 > 21$ dB(Hz)) sera assigné à une unité DRU pour traitement complémentaire. En conséquence, les signaux brouilleurs en bande étroite qui satisfont à ces critères se verront attribuer une unité DRU, de sorte que la qualité de fonctionnement de l'instrument SARP, en termes de capacité (nombre de messages de détresse simultanés pouvant être traités par exemple), sera gravement détériorée.

Pour le système Sarsat, les valeurs types sont les suivantes: facteur de bruit = 2,5 dB (valeur type de l'instrument SARP du C-S); température nominale de bruit de fond = 1 000 K (paramètre d'entrée du C-S); affaiblissement entre l'antenne et le récepteur SARP = 1,6 dB. La température de bruit du système à l'entrée du récepteur SARP (point B de la Fig. 1) est donc égale à 1 010 K, de sorte que la densité spectrale de bruit est égale à $N_0 = -198,6$ dB(W/Hz).

Etant donné que le rapport $C_{min}/N_0 = 21$ dB(Hz), $C_{min} = -177,6$ dBW. En conséquence, tout rayonnement non essentiel en bande étroite dont le niveau est supérieur à $-177,6$ dBW à l'entrée de l'instrument SARP (point B de la Fig. 1) entraînera une dégradation de la capacité du système.

Il faut donc calculer l'amplitude maximale admissible de la raie spectrale à l'entrée de l'antenne Sarsat.

La spécification du diagramme du gain de l'antenne de réception SARP Sarsat est exprimée en fonction de l'angle par rapport au nadir dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

Diagramme du gain de l'antenne de réception de l'instrument SARP (UDA)

Angle du satellite par rapport au nadir	62	59	54	47	39	31	22	13	5	0
Gain en polarisation circulaire droite	3,85	3,54	2,62	1,24	-0,17	-1,33	-2,24	-3,08	-3,80	-3,96
Gain en polarisation circulaire gauche	-5,69	-6,23	-7,52	-9,39	-11,39	-13,12	-14,52	-15,77	-17,17	-18,00
Taux d'ellipticité	6,02	5,85	5,59	5,26	4,90	4,57	4,31	4,11	3,78	3,49

En conséquence, la puissance maximale admissible au point A de la Fig. 1 est égale à $-177,6 + 1,6$ (affaiblissements) $= -176$ dBW, en prenant en compte le plus grand angle du satellite par rapport au nadir. Etant donné que l'on doit connaître la puissance surfacique, il faut convertir cette valeur en dB(W/m²). La surface apparente d'une antenne ayant un gain G est $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 0,105 \text{ m}^2$, ce qui correspond au plus grand angle du satellite par rapport au nadir. En conséquence, la puissance surfacique correspondante est égale à $-176 - 10 \log_{10} S = -185,8$ dB(W/m²).

Le niveau de protection requis est le suivant: aucun rayonnement non essentiel en bande étroite ne doit dépasser $-185,8$ dB(W/m²) à l'entrée de toute antenne de satellite SARP Sarsat.

4 Conclusion

Les calculs ci-dessus permettent de formuler les conclusions et recommandations suivantes: les rayonnements non essentiels en bande étroite ne doivent pas dépasser $-185,8$ dB(W/m²) à l'entrée de toute antenne SARP Sarsat.

ANNEXE 3

Lignes directrices relatives à l'application des critères de protection dans la bande 406-406,1 MHz (système C-S)

1 Définition des caractéristiques d'émission

1.1 Emission hors bande

Emission sur une ou sur des fréquences situées immédiatement en-dehors de la largeur de bande nécessaire, due au processus de la modulation, à l'exclusion des rayonnements non essentiels.

1.2 Rayonnement non essentiel

Rayonnement sur une ou sur des fréquences situées en-dehors de la largeur de bande nécessaire et dont le niveau peut être réduit sans affecter la transmission de l'information correspondante. Ces rayonnements comprennent les rayonnements harmoniques, les rayonnements parasites, les produits d'intermodulation et de conversion de fréquence, à l'exclusion des émissions hors bande.

1.3 Rayonnements non désirés

Ensemble des rayonnements non essentiels et des rayonnements provenant des émissions hors bande.

1.4 Largeur de bande nécessaire

Pour une classe d'émission donnée, largeur de la bande de fréquences juste suffisante pour assurer la transmission de l'information à la vitesse et avec la qualité requises dans des conditions données.

2 Méthode de calcul du niveau des rayonnements non désirés relatifs aux instruments SARP Sarsat

2.1 Emission hors bande

L'unité d'un rayonnement non désiré provenant d'une émission hors bande est le dB(W/(m² · Hz)) (spfd). La spfd globale est en fait une spfd cumulative définie comme la somme de toutes les spfd provenant de l'ensemble des sources potentielles de rayonnements non désirés dus à une émission hors bande.

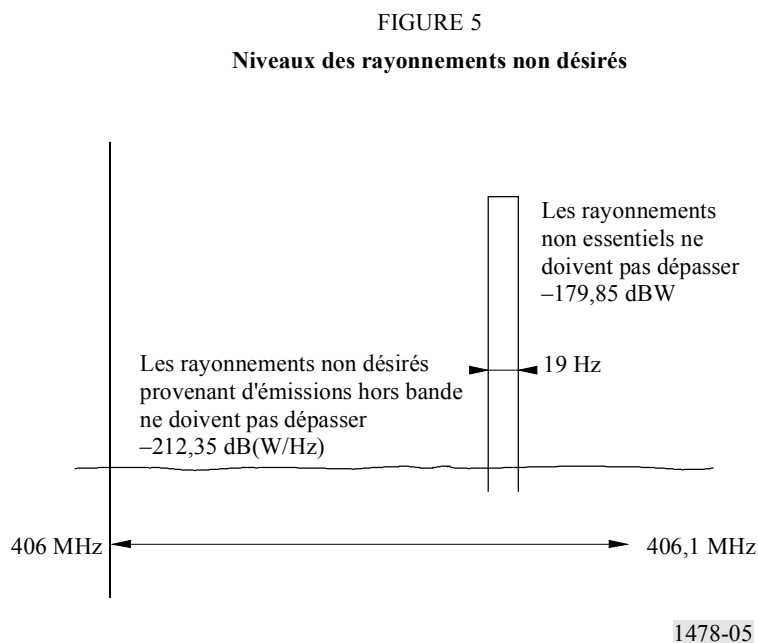
2.2 Rayonnements non essentiels

Les processeurs des récepteurs C-S sont conçus pour détecter des composantes spectrales discrètes (porteuse de balise non modulée). Le critère de protection est exprimé en termes de puissance surfacique et l'unité des rayonnements non essentiels est le dB(W/m²) (puissance surfacique).

La largeur de bande de résolution du récepteur de l'instrument SARP Sarsat est de 19 Hz, ce qui signifie que l'espacement de fréquence minimal entre les raies spectrales (également appelé pouvoir de résolution de l'analyse du spectre) que le récepteur SARP Sarsat peut détecter est égal à 19 Hz. En conséquence, le niveau d'un rayonnement non essentiel devrait être calculé à l'intérieur d'une largeur de bande de référence de 19 Hz.

2.3 Limites des rayonnements non désirés

La Fig. 5 indique les valeurs des limites des rayonnements non désirés.



Les rayonnements non désirés provenant d'émissions hors bande ne doivent pas dépasser -198,6 dB(W/(m² · Hz)) à l'entrée de toute antenne SARP Sarsat. Cette valeur peut également être convertie en densité spectrale de puissance (dB(W/Hz)):

$$-210,1 \text{ dB(W/Hz)} \text{ (à l'entrée de l'instrument SARP)} + 1,6 \text{ (affaiblissements, } -3,85 \text{ (gain d'antenne))} = -212,35 \text{ dB(W/Hz)} \text{ à l'entrée de toute antenne SARP Sarsat.}$$

Les rayonnements non essentiels en bande étroite ne doivent pas dépasser -185,8 dB(W/m²) à l'entrée de toute antenne de satellite Sarsat. Cette valeur peut également être convertie en niveau de puissance (dBW):

$$-177,6 \text{ dBW (à l'entrée de l'instrument SARP)} + 1,6 \text{ (affaiblissements, } -3,85 \text{ (gain d'antenne))} = -179,85 \text{ dBW à l'entrée de toute antenne SARP Sarsat.}$$

Toutes les valeurs ci-dessus sont valables à l'entrée de toute antenne SARP Sarsat.

ANNEXE 4

**Protection des services de sécurité ayant des attributions à titre primaire
dans la bande 406-406,1 MHz (système C-S) vis-à-vis des émissions
du SMS non OSG (liaison descendante) au-dessous de 406 MHz**

1 Introduction

La CMR-97 a pris note de l'utilisation éventuelle de la bande 405-406 MHz pour les liaisons descendantes des systèmes futurs du SMS non OSG. Conformément à la Résolution 219 (CMR-97), l'utilisation éventuelle de cette bande devrait être limitée aux systèmes employant des techniques de modulation à bande étroite jusqu'à ce que de nouvelles études de l'UIT-R permettent de conclure que l'utilisation d'autres techniques de modulation permet de protéger le C-S (406-406,1 MHz) et le service de radioastronomie (406,1-410 MHz).

Le système international C-S fonctionne depuis 1985 et a déjà contribué à sauver des milliers de vies humaines dans le monde entier. Il est donc indispensable d'en assurer la protection pour qu'il puisse fonctionner correctement.

2 Rappel

On trouvera dans d'autres textes de l'UIT des renseignements détaillés sur les points suivants:

- paramètres de plusieurs réseaux non OSG du SMS;
- niveau de seuil de la puissance surfacique applicable au brouillage;
- protection des systèmes SAR à l'aide de techniques de conformation du spectre ou de filtrage.

L'Annexe 1 énonce les critères de protection applicables aux instruments SARP Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz. On trouvera dans la présente Annexe des renseignements supplémentaires sur les critères de protection applicables aux récepteurs SARP Cospas.

3 Critères de protection applicables au système Cospas SARP dans la bande 406-406,1 MHz vis-à-vis des émissions hors bande à large bande

La qualité de fonctionnement de l'instrument SARP est exprimée par son TEB et est directement liée au rapport signal/densité de bruit, C/N_0 (dB(Hz)).

La température de bruit du récepteur Cospas est de 300 K. La température nominale du bruit de fond varie entre 300 K (Antarctique) et 1 000 K (zones très peuplées). Etant donné que le signal d'une balise de détresse peut provenir de n'importe quel point du globe et que son décodage ne doit pas être dégradé par les brouillages causés par des satellites du SMS, le récepteur Cospas est le plus sensible au brouillage lorsque la température de bruit de fond est la plus faible (300 K).

L'affaiblissement entre l'antenne et le récepteur Cospas SARP est de 1,6 dB. La température de bruit du câble est de 300 K. En conséquence, la température de bruit du système à l'entrée du récepteur SARP est égale à 600 K et la densité spectrale de bruit, N_0 est de $-200,82$ dB(W/Hz).

Le TEB prescrit pour les instruments SARP Cospas est inférieur à 1×10^{-5} . Conformément aux caractéristiques de modulation théoriques MDP-2, cela correspond à un rapport $E_b/N_0 = 9,6$ dB au niveau du détecteur de bits de l'instrument SARP.

Il ressort d'études de l'UIT-R que le TEB maximal acceptable sur la liaison montante du Cospas-Sarsat ne devrait pas dépasser 5×10^{-5} , valeur que l'on obtient lorsque le rapport $E_b/N_0 = 9,1$ dB.

En conséquence, la dégradation maximale acceptable du rapport E_b/N_0 est de 0,5 dB, ce qui correspond à une augmentation de la densité de bruit $N_0 = 0,5$ dB.

Si I est la contribution supplémentaire de densité de puissance de bruit imputable à des brouilleurs du SMS non OSG, la valeur de la densité de bruit devient $N_0 + I$, et le rapport énergie par bit/densité de bruit devient $E_b/(N_0 + I)$.

La dégradation acceptable est de $0,5$ dB $= 10 \log ((E_b/N_0)/(E_b/(N_0 + I)))$. En conséquence, $I/N_0 = -9,14$ dB et $I = -209,95$ dB(W/Hz), ce qui correspond à un accroissement de la température du bruit de 73,21 K (soit une augmentation de 12% de la température de bruit du système à l'entrée du récepteur SARP Cospas).

Le niveau maximal admissible de la densité de bruit, I , est $-209,95$ dB(W/Hz) à l'entrée du récepteur du satellite.

La densité de bruit, I , tient compte de l'affaiblissement et du gain de l'antenne. Pour exprimer cette valeur en spfd, il faut la convertir en $\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$. La surface apparente d'une antenne ayant un gain G est $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$. Etant donné que le gain maximal de l'antenne en spirale conique installée à bord de l'engin spatial Cospas est de 6 dB, $S = 0,174 \text{ m}^2$. En conséquence, la puissance surfacique spectrale correspondante est égale à $-209,95 + 1,6$ (affaiblissements) $- 10 \log_{10} S = -200,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$.

Le niveau maximal de brouillage dû au bruit large bande dans la bande 406-406,1 MHz ne doit pas dépasser $-200,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ pour assurer une protection suffisante de l'instrument SARP Cospas.

4 Critères de protection applicables aux instruments SARP Cospas dans la bande 406-406,1 MHz vis-à-vis des rayonnements non essentiels en bande étroite

Le système Cospas SARP balaie en permanence la bande 406-406,1 MHz (toutes les 60 ms) pour rechercher les signaux de balises dont la puissance dépasse le niveau de seuil de détection SARP. Après détection de la présence d'un signal, la DRU SARP sera verrouillée pendant au moins 520 ms sur la fréquence du signal. Un seul signal brouilleur provenant d'un satellite du SMS dans la bande 406-406,1 MHz peut capter les deux unités DRU embarquées, ce qui empêche le satellite Cospas de traiter les signaux de détresse émis par des balises réelles.

Afin de satisfaire aux exigences de qualité de fonctionnement des balises de détresse de faible puissance, pour les opérations de recherche et de sauvetage, les instruments SARP Cospas ont été conçus pour détecter et traiter des signaux extrêmement faibles. Ces instruments fonctionnent de telle manière que toute émission, C_{\min} , dont le niveau de puissance est supérieur de 21 dB au niveau de la densité de puissance de bruit ($C_{\min}/N_0 > 21 \text{ dB(Hz)}$) sera assignée à une unité DRU pour traitement complémentaire. En conséquence, les signaux brouilleurs émis dans la largeur de bande traitée 406-406,1 MHz qui satisfont à ces critères se verront attribuer une unité DRU, de sorte qu'un message émis par une balise sera perdu même si le signal brouilleur en bande étroite n'affecte pas directement le signal provenant de la balise.

La valeur calculée de la densité spectrale de bruit, N_0 est de $-200,82 \text{ dB(W/Hz)}$.

Etant donné que le rapport $C_{\min}/N_0 = 21 \text{ dB(Hz)}$, $C_{\min} = -179,82 \text{ dBW}$. En conséquence, tout rayonnement non essentiel en bande étroite dont le niveau est supérieur à $-179,82 \text{ dBW}$ à l'entrée de l'instrument SARP entraînera une dégradation de la capacité de traitement de la balise SARP Cospas.

Le gain maximal de l'antenne de réception SARP Cospas est de 6 dB. En conséquence, la puissance maximale admissible à l'entrée de l'antenne est égale à $-179,82 + 1,6$ (affaiblissements) $= -178,22 \text{ dBW}$. Etant donné que l'on doit connaître la puissance surfacique, il faut convertir ce chiffre en $\text{dB(W/m}^2)$. La surface apparente d'une antenne ayant un gain $G = 6 \text{ dB}$ est $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 0,174 \text{ m}^2$. En conséquence, la puissance surfacique correspondante est égale à $-178,2 - 10 \log_{10} S = -176,6 \text{ dB(W/m}^2)$.

Le niveau maximal des rayonnements non essentiels en bande étroite ne devrait pas dépasser $-176,6 \text{ dB(W/m}^2)$ à l'entrée de l'antenne du satellite SARP Cospas, de manière à assurer une protection suffisante de l'instrument SARP Cospas.

Les processeurs des récepteurs C-S sont conçus pour détecter des composantes spectrales discrètes (porteuse de balise non modulée). En conséquence, le critère de protection est exprimé en termes de spectre de puissance, et non en termes de densité spectrale de puissance, l'unité des rayonnements non essentiels étant le $\text{dB(W/m}^2)$ (puissance surfacique). La largeur de bande de résolution du récepteur de l'instrument SARP Cospas est de 40 Hz, ce qui signifie que l'espacement de fréquence minimal entre les raies spectrales (également appelé pouvoir de résolution de l'analyse du spectre) que le récepteur SARP Cospas peut détecter est de 40 Hz. Il convient donc de calculer le niveau d'un rayonnement non essentiel dans une largeur de bande de référence de 40 Hz.

5 Désensibilisation et destruction de l'étage d'entrée du récepteur Cospas

Les satellites Cospas utilisent des récepteurs très sensibles équipés d'amplificateur à faible bruit (AFB) à large bande et peuvent être sujets à des surcharges ou, dans le cas le plus défavorable, subir une destruction de l'étage d'entrée en raison d'émissions du SMS non OSG.

On observe généralement un blocage ou une désensibilisation lorsque l'absence de filtrage RF entraîne une saturation de l'étage d'entrée de l'AFB et, par conséquent, une diminution de son gain ainsi que de la sensibilité du récepteur. A ces effets peuvent s'ajouter le mélange du signal brouilleur au bruit de phase de l'AFB. D'une manière générale, il ressort des expériences effectuées que lorsqu'un émetteur à bande étroite fonctionne à proximité d'un récepteur large bande, le blocage ou la désensibilisation sont souvent les principales causes de brouillage.

Les amplificateurs AFB des récepteurs Cospas à 406 MHz peuvent supporter des signaux de -60 dBW (destruction de l'étage d'entrée) et de -100 dBW (désensibilisation). Etant donné que la puissance du satellite du SMS non OSG peut atteindre 24 dBW, il est évident que sans espacement de fréquence, les récepteurs des satellites Cospas risquent d'être endommagés.

Le niveau de puissance des signaux du SMS non OSG à l'entrée du récepteur Cospas dépend de nombreux facteurs, le plus important étant la distance entre le satellite du SMS non OSG et le satellite Cospas. Théoriquement, cette distance peut être nulle pour certaines constellations de satellites en projet du SMS non OSG. Compte tenu des conséquences catastrophiques qu'aurait la destruction de l'étage d'entrée des récepteurs Cospas, les fréquences porteuses du SMS non OSG doivent être choisies de manière à faire en sorte qu'aucune des largeurs de bande notifiées ne dépasse 406 MHz. Le Tableau 3 donne les principaux éléments permettant de calculer la bande de garde minimale nécessaire pour assurer la protection des récepteurs Cospas contre une destruction due aux émissions de satellite du SMS non OSG.

TABLEAU 3

Décalage Doppler défini	20 kHz $2 \times 406\,000 \times (7,4/300\,000)$
Stabilité de transmission de la station spatiale pour cette bande	8,12 kHz $20 \times 10^{-6} \times 406\,000$
Stabilité du récepteur SARP par an (dans l'hypothèse d'une durée utile du satellite de 12 ans) (le satellite Sarsat-3 a été lancé en 1986)	2,45 kHz
Largeur de bande notifiée du SMS non OSG/2	1,2-500 kHz $(2,4-1\,000)/2$
Bande de garde	31,8-530,6 kHz

Il ressort des résultats du Tableau 3 qu'une bande de garde d'au moins 32 kHz (405,968-406,0 MHz) serait nécessaire si l'on attribuait la bande 405-406 MHz au SMS non OSG