

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1478-3 (09/2014)

Critères de protection applicables aux instruments de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz

Série M

**Services mobile, de radiorepérage et d'amateur
y compris les services par satellite associés**



Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2015

© UIT 2015

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R M.1478-3

Critères de protection applicables aux instruments de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz

(2000-2004-2011-2014)

Domaine d'application

La présente Recommandation donne les critères de protection applicables aux instruments de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat embarqués à bord de satellites en orbite géostationnaire, orbite terrestre moyenne ou orbite terrestre basse et recevant des signaux en provenance de balises de localisation des sinistres ou d'autres balises de détresse fonctionnant dans la bande 406-406,1 MHz.

Mots clés

Cospas-Sarsat, critères de protection, instruments de recherche et de sauvetage, 406-406,1 MHz.

Abréviations/Glossaire

RLS – radiobalises de localisation des sinistres

DRU – unité de récupération de données

GOES – satellites géostationnaires opérationnels pour l'étude de l'environnement

MSG – satellites Meteosat de deuxième génération

SARP – processeur de recherche et de sauvetage

SARR – répéteur de recherche et de sauvetage

Recommandations et Rapports UIT connexes

Recommandation UIT-R M.1731-2 Critères de protection des terminaux d'utilisateur local du système Cospas-Sarsat dans la bande 1 544-1 545 MHz

Recommandation UIT-R M.1787-2 Description des systèmes et réseaux du service de radionavigation par satellite (espace vers Terre et espace-espace) et caractéristiques techniques des stations spatiales d'émission fonctionnant dans les bandes 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz et 1 559-1 610 MHz

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) 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 processor*) 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;
- c) 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;

- d) 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);
- e) que l'Annexe 4 donne des lignes directrices concernant la protection des 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 service mobile par satellite (SMS) non OSG sur la liaison descendante au-dessous de 406 MHz;
- f) que les Annexes 5, 6 et 7 donnent des lignes directrices concernant la protection des répéteurs de recherche et de sauvetage (SARR, *search and rescue repeater*) fonctionnant dans la bande 406-406,1 MHz, qui sont respectivement embarqués à bord de satellites LEO Sarsat, de satellites géostationnaires opérationnels pour l'étude de l'environnement (GOES, *geostationary operational and environmental satellites*) et de satellites Meteosat de la deuxième génération (MSG, *meteosat second generation*);
- g) que les Annexes 8 et 9 donnent des lignes directrices relatives à la protection des répéteurs de recherche et de sauvetage (SARR) embarqués à bord de satellites géostationnaires (Electro) et de satellites de navigation (GLONASS) fonctionnant dans la bande 406-406,1 MHz;
- h) que l'Annexe 10 donne des lignes directrices relatives à la protection des répéteurs de recherche et de sauvetage (SARR) embarqués à bord de satellites de navigation (Galileo);
- i) que l'Annexe 11 donne un résumé général des caractéristiques de tous les instruments utilisés pour les opérations actuelles et futures à bord des différents types de satellites en orbites LEO, MEO ou OSG,

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 spfd 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 $-166,2 \text{ dB(W/m}^2)$ 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 spfd maximale acceptable de $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 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 $-170,6 \text{ dB(W/m}^2)$ 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;
- 6 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des systèmes utilisant des bandes de fréquences adjacentes sur les répéteurs à bord de satellites en orbite terrestre basse Sarsat soit fondée sur une spfd maximale de $-181,3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ au niveau de l'antenne du système Sarsat;

- 7 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des systèmes utilisant des bandes de fréquences adjacentes sur les répéteurs à bord de satellites géostationnaires GOES soit fondée sur une spfd maximale de $-201,1 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ au niveau de l'antenne du système Sarsat;
- 8 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des systèmes utilisant des bandes de fréquences adjacentes sur les répéteurs à bord de satellites géostationnaires MSG soit fondée sur une spfd maximale de $-206,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ au niveau de l'antenne du système Sarsat;
- 9 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des systèmes utilisant des bandes de fréquences adjacentes sur les répéteurs à bord de satellites géostationnaires Electro soit fondée sur une spfd maximale de $-198,7 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ au niveau de l'antenne du système Cospas;
- 10 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des systèmes utilisant des bandes de fréquences adjacentes sur les répéteurs à bord de satellites en orbite terrestre moyenne GLONASS MEO soit fondée sur une spfd maximale de $-205,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ au niveau de l'antenne du système Cospas;
- 11 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des systèmes utilisant des bandes de fréquences adjacentes sur les répéteurs à bord de satellites en orbite terrestre moyenne Galileo MEO soit fondée sur une spfd maximale de $-206,1 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ au niveau de l'antenne;
- 12 que l'analyse visant à déterminer l'incidence des rayonnements non essentiels en bande étroite sur les répéteurs à bord de satellites en orbite terrestre moyenne Galileo MEO soit fondée sur une puissance surfacique maximale de $-166,2 \text{ dB(W/m}^2)$ au niveau de l'antenne.

Annexe 1

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

On trouvera dans la présente Annexe des renseignements 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

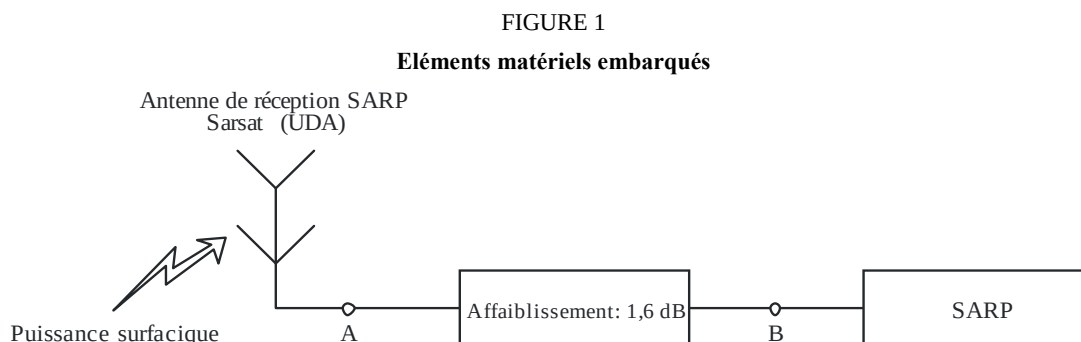
On trouvera dans d'autres textes de l'UIT des renseignements détaillés sur les points suivants:

- 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 NOAA (et des futurs satellites METOP).



M.1478-01

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 NOAA 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 1 010 K, de sorte que la densité spectrale de bruit est égale à $N_0 = -198,6 \text{ dB(W/Hz)}$.

Dans le cas le plus défavorable, l'instrument SARP est conçu pour fonctionner correctement lorsque le signal reçu a une puissance $C = -161 \text{ dBW}$ (niveau minimal du signal reçu) à l'entrée du récepteur, ce qui donne un rapport équivalent $E_b/N_0 = 9,1 \text{ dB}$ 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 $E_b/N_0 = 8,8 \text{ dB}$, 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 = $10 \log ((C/N_0)/(C/(N_0 + I_0)))$, $I_0/N_0 = -11,5 \text{ dB}$ et $I_0 = -210,1 \text{ dB(W/Hz)}$, 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 $I_0 = -210,1 \text{ dB(W/Hz)}$ (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

$\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$. La surface apparente d'une antenne ayant un gain G est $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$. La spfd correspondante est donc égale à $-210 + 1,6 \text{ (affaiblissements)} - 10 \log_{10} S = -198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$, 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 $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ 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 $F_B = F_A (1 + \frac{V_B}{c})$ 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 m/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 présente Annexe donne des renseignements sur le système 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 désirés dans le domaine des 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.

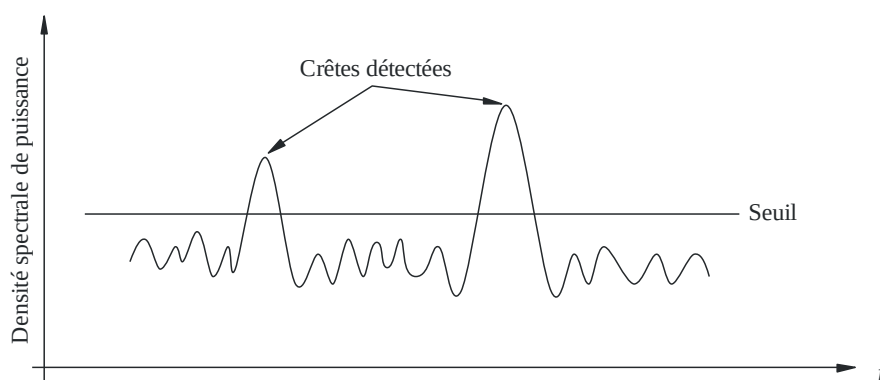
FIGURE 2
Format du message C-S

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

M.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

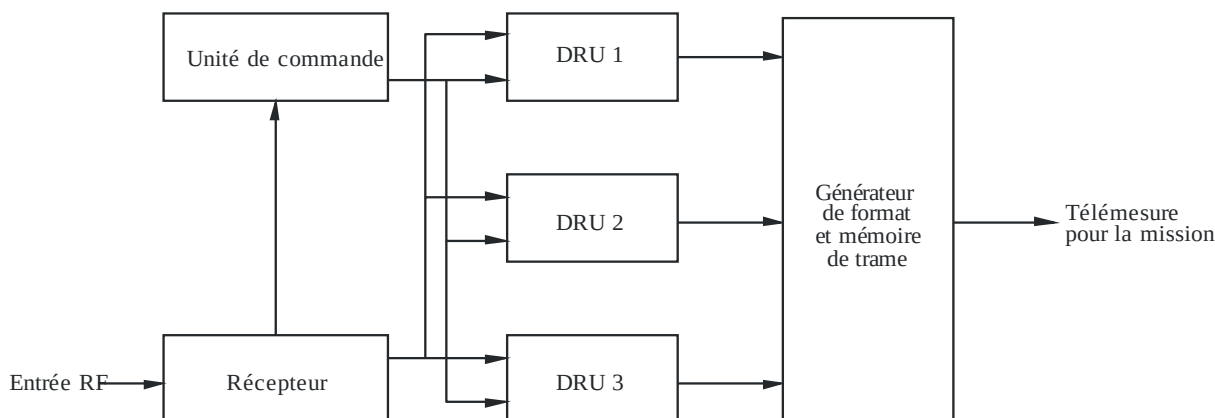


M.1478-03

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



M.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 dextrogyre	3,85	3,54	2,62	1,24	-0,17	-1,33	-2,24	-3,08	-3,80	-3,96
Gain en polarisation circulaire lévogyre	-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 $-176 - 10 \log_{10} S = -166,2$ dB(W/m²).

Le niveau de protection requis est le suivant: aucun rayonnement non essentiel en bande étroite ne doit dépasser $-166,2$ 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 $-166,2$ 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 $\text{dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))$ (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 $\text{dB}(\text{W}/\text{m}^2)$ (puissance surfacique).

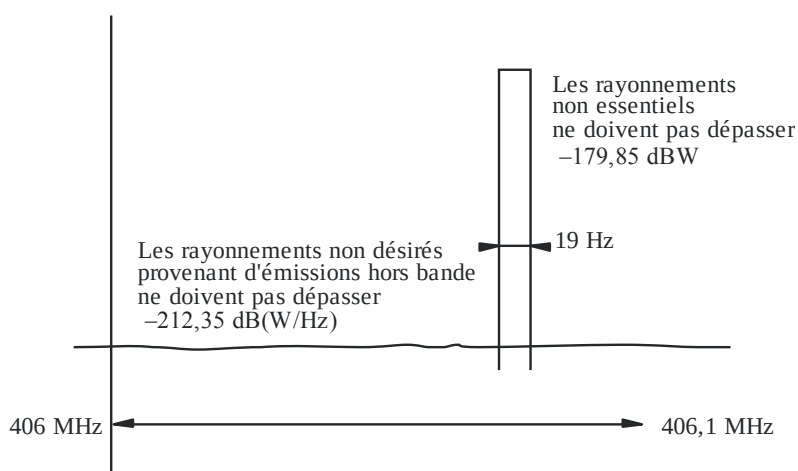
La largeur de bande de résolution du récepteur de l'instrument SARP Sarsat est de 19 Hz, ce qui signifie que l'espacement de fréquence minimal entre les raies spectrales (également appelé pouvoir de résolution de l'analyse du spectre) que le récepteur SARP Sarsat peut détecter est égal à 19 Hz. En conséquence, 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.

FIGURE 5

Niveaux des rayonnements non désirés



M.1478.05

Les rayonnements non désirés provenant d'émissions hors bande ne doivent pas dépasser $-198,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ à l'entrée de toute antenne SARP Sarsat. Cette valeur peut également être convertie en densité spectrale de puissance (dB(W/Hz)):

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

Les rayonnements non essentiels en bande étroite ne doivent pas dépasser $-166,2 \text{ dB(W/m}^2)$ 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 (affaiblissements, $-3,85$ (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

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 $E_b/N_0 = 8,8$ dB.

En conséquence, la dégradation maximale acceptable du rapport E_b/N_0 est de 0,8 dB, ce qui correspond à une augmentation de la densité de bruit $N_0 = -200,02$ dB(W/Hz).

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 0,8 dB = $10 \log ((E_b/N_0)/(E_b/(N_0 + I)))$. En conséquence, $I/N_0 = -6,94$ dB et $I = -207,8$ dB(W/Hz), ce qui correspond à un accroissement de la température du bruit de 120,23 K (soit une augmentation de 20% 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 $-207,8$ 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 dB(W/(m² · 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 dBi, $S = 0,174$ m². En conséquence, la puissance surfacique spectrale correspondante est égale à $-207,8 + 1,6$ (affaiblissements) $- 10 \log_{10} S = -198,6$ dB(W/(m² · Hz)).

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 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 ($C_{min}/N_0 > 21$ 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 $-200,82$ dB(W/Hz).

Etant donné que le rapport $C_{min}/N_0 = 21$ dB(Hz), $C_{min} = -179,82$ dBW. En conséquence, tout rayonnement non essentiel en bande étroite dont le niveau est supérieur à $-179,82$ 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 dBi. En conséquence, la puissance maximale admissible à l'entrée de l'antenne est égale à $-179,82 + 1,6$ (affaiblissements) $= -178,22$ dBW. Etant donné que l'on doit connaître la puissance surfacique, il faut convertir ce chiffre

en dB(W/m²). La surface apparente d'une antenne ayant un gain $G = 6$ dBi est $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi} = 0,174$ m².

En conséquence, la puissance surfacique correspondante est égale à $-178,2 - 10 \log_{10} S = -170,6$ dB(W/m²).

Le niveau maximal des rayonnements non essentiels en bande étroite ne devrait pas dépasser $-170,6 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ 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 $\text{dB(W/m}^2\text{)}$ (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.

Annexe 5

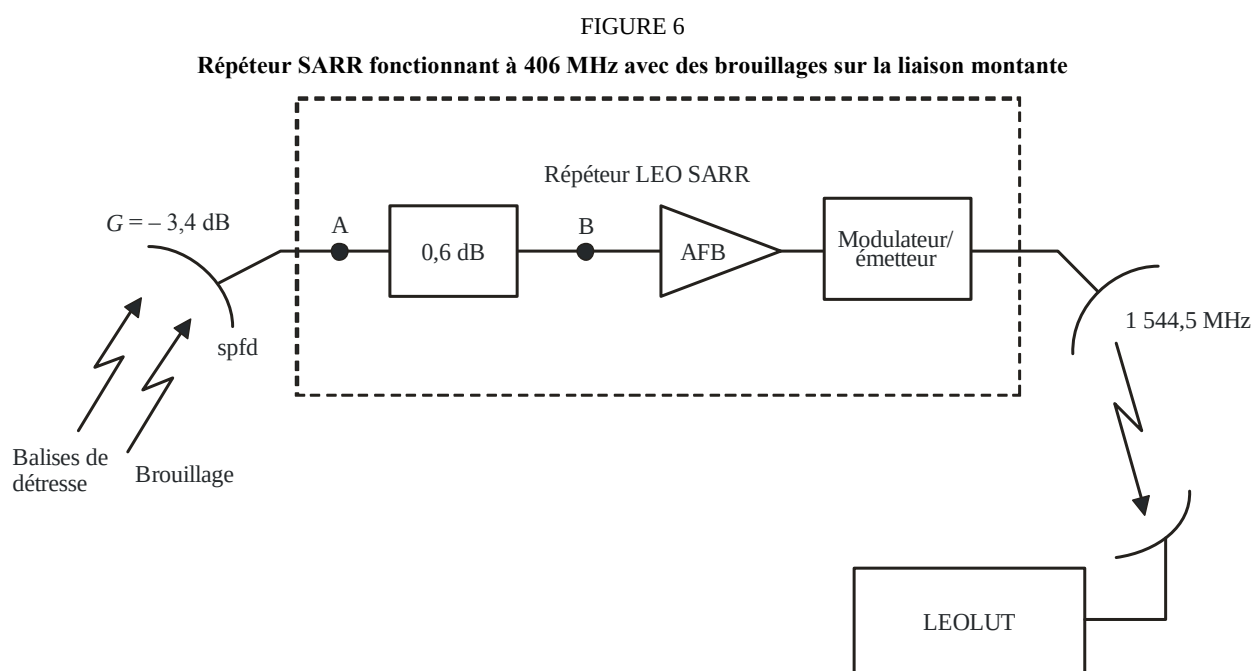
Critères de protection des instruments SARR Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz

1 Qualité minimale acceptable du canal à 406 MHz utilisé par les répéteurs SARR à bord de satellites NOAA

Pour pouvoir détecter de façon fiable les balises de détresse à 406 MHz au moyen des répéteurs à bord de satellites LEO Sarsat fonctionnant à 406 MHz, le TEB du canal ne doit pas dépasser 5×10^{-5} .

2 Analyse de la spfd à l'origine de brouillages

Le TEB d'un canal de communication est déterminé à partir du rapport entre l'énergie contenue dans chaque bit de données, E_b , et la densité de bruit, celle-ci comprenant le bruit engendré par l'équipement Cospas-Sarsat, N_0 , et le bruit dû aux brouillages causés par les autres systèmes, I_0 . La Fig. 6 illustre le canal à 406 MHz utilisé par un répéteur SARR LEO avec des brouillages sur la liaison montante.



Pour pouvoir respecter le taux TEB de 5×10^{-5} , le rapport énergie par bit/densité de bruit plus brouillage $E_b/(N_0 + I_0)$ au niveau du démodulateur LEOLUT doit être supérieur ou égal à 8,8 dB. Dans cette analyse, on détermine le niveau maximal acceptable de brouillage de type bruit large bande spécifié sous la forme d'une spfd à l'entrée de l'antenne du satellite LEO Sarsat fonctionnant à 406 MHz, compte tenu du fait que le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global sur la liaison ne doit pas tomber au-dessous de 8,8 dB.

Comme illustré sur la Fig. 6, des signaux de balise de détresse à 406 MHz sont reçus par le répéteur SARR LEO et font l'objet d'une modulation de phase sur une porteuse de liaison descendante à 1 544,5 MHz avant d'être détectés et traités par des démodulateurs LEOLUT. Le gain d'antenne et la température de bruit du système pour le répéteur de satellite sont respectivement de -4 dBi et de 1 000 K au point B (voir la Fig. 6).

Dans cette analyse, on suppose que trois balises actives simultanément émettent exactement au même instant sur trois fréquences différentes de la bande 406-406,1 MHz. La balise considérée a un angle d'élévation de 5° par rapport à l'engin spatial. Les deux autres balises sont incluses dans l'analyse car elles utilisent en partage la puissance disponible au niveau du répéteur de satellite.

Lorsque aucune source externe de brouillage n'est présente, le rapport C/N_0 global est de 38,8 dB(Hz), ce qui équivaut à un rapport E_b/N_0 de 12,8 dB. Compte tenu des pertes liées à l'implémentation et à la démodulation des données de balise, le rapport E_b/N_0 effectif est de 10,8 dB. Comme le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global dans le canal doit être d'au moins 8,8 dB afin de satisfaire de façon fiable aux exigences de qualité, l'accumulation de brouillages large bande sur la liaison montante qui entraîne une réduction de plus de 2 dB du rapport global porteuse/densité de bruit plus brouillage n'est pas acceptable.

Comme le rapport C/N_0 global en l'absence de brouillage est de 38,8 dB(Hz), le brouillage de type bruit large bande sur la liaison montante qui entraîne une dégradation du rapport global sur la liaison de 2 dB se traduit par un rapport $(C/N_0)_{\text{global}}$ de:

$$\begin{aligned} (C/N_0)_{\text{global avec brouillage}} &= (C/N_0)_{OI} = (C/N_0)_{\text{global}} - 2 \text{ dB} \\ (C/N_0)_{OI} &= 38,8 \text{ dB(Hz)} - 2 \text{ dB} \\ (C/N_0)_{OI} &= 36,8 \text{ dB(Hz)} \end{aligned} \quad (1)$$

Le rapport $(C/N_0)_{OI}$ peut être calculé à partir des rapports porteuse/densité de bruit plus brouillage sur la liaison montante et sur la liaison descendante, comme indiqué ci-dessous:

$$(C/N_0)_{OI} = ((C/N_0)^{-1}_{\text{montante avec brouillage}} + (C/N_0)^{-1}_{\text{descendant avec brouillage}})^{-1} \quad (\text{numérique}) \quad (2)$$

Comme cette analyse porte sur le brouillage sur la liaison montante, le rapport $(C/N_0)_{\text{montante avec brouillage}}$ apparaissant dans l'équation (2) devient:

$$(C/N_0)_{\text{montante avec brouillage}} = (C_{\uparrow}/(N_0 + I_0)) \quad (\text{numérique}) \quad (3)$$

Le brouillage affecte aussi le rapport porteuse/densité de bruit sur la liaison descendante, $(C/N_0)_{\downarrow}$, en entraînant une augmentation de la puissance totale utilisée en partage dans la largeur de bande du répéteur SARR. Cette augmentation de la puissance totale entraîne une diminution de l'affaiblissement dû au partage de puissance et affecte le rapport $(C/N_0)_{\downarrow}$ comme suit:

$$(C/N_0)_{\text{descendant avec brouillage}} = (C/N_0)_{\downarrow} \times (L_{\text{psi}}/L_{\text{ps}}) \quad (\text{numérique}) \quad (4)$$

où L_{ps} est l'affaiblissement dû au partage de puissance sans brouillage et L_{psi} est l'affaiblissement dû au partage de puissance avec brouillage. L_{psi} est calculé comme suit:

$$L_{psi} = C_{\uparrow} / (C_{\uparrow} + 2 \times C_2 + N_{\uparrow} + I_0 B) \text{ (numérique)} \quad (5)$$

où C_2 est le niveau de puissance de l'une des deux autres balises reçues simultanément par le répéteur SARR LEO.

Après avoir reporté l'équation (5) dans l'équation (4) puis les équations (3) et (4) dans l'équation (2), on obtient l'équation suivante donnant I_0 :

$$I_0 = (C_{\uparrow} ((C/N_0)_{OI}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1}) - N_{0\uparrow}) / (1 + L_{ps}(C/N)_{\downarrow}^{-1}) \text{ (numérique)} \quad (6)$$

$(C/N_0)_{OI} = 36,8 \text{ dB(Hz)}$ (voir l'équation (1)), $C_{\uparrow} = -157,3 \text{ dB}$, $(C/N_0)_{\downarrow} = 42,5 \text{ dB(Hz)}$, $N_{0\uparrow} = -198,6$, $L_{ps} = -15,3$ et $(C/N)_{\downarrow} = 42,5 \text{ dB(Hz)}$ moins $10 \log(80 \text{ k}) = -6,5 \text{ dB}$. L'incorporation de ces valeurs numériques dans l'équation (6) donne:

$$I_0 = -198,9 \text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable d'exprimer les critères de protection en termes de seuil de spfd de brouillage spécifié en $\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ à l'entrée de l'antenne de réception du satellite fonctionnant à 406 MHz. L'ouverture équivalente, A_e , d'une antenne de gain G vaut $A_e = G \lambda^2 / 4\pi$. Pour une antenne de réception de satellite LEO dont le gain est de $-3,4 \text{ dBi}$, l'ouverture équivalente est de $0,02 \text{ m}^2$. Le niveau maximal acceptable des brouillages cumulatifs spécifié en termes de spfd vaut alors:

$$spfd = I_0 - L_{Ligne} - A_e$$

Dans l'hypothèse où les affaiblissements de ligne sont de $0,6 \text{ dB}$ (voir la Fig. 6):

$$spfd = -198,9 + 0,6 - 10 \log(0,02) = -181,3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$$

Le niveau maximal des brouillages de type bruit large bande dans la bande 406-406,1 MHz mesuré au niveau de l'antenne du satellite LEO ne doit pas dépasser $-181,3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$.

3 Méthode de calcul du niveau des brouillages causés dans le canal à 406 MHz utilisé par les répéteurs SARR LEO

La plupart du temps, les brouillages causés au système Cospas-Sarsat proviennent d'émissions hors bande de services fonctionnant dans les bandes adjacentes ou dans des bandes quasiment adjacentes.

Il faut examiner la largeur de bande des émissions pour déterminer si une énergie est transmise dans la bande 406-406,1 MHz. Lors de l'analyse de l'incidence de systèmes mobiles (par exemple satellites non géostationnaires et émetteurs aéroportés), il faut bien veiller à tenir compte des effets du décalage Doppler dû au déplacement de ces systèmes.

Il faut calculer le niveau des brouillages cumulatifs causés par toutes les sources qui transmettent une énergie dans la bande 406-406,1 MHz, en termes de spfd au niveau de l'antenne du satellite. Le niveau calculé ne doit pas dépasser $-181,3 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ dans toute la bande.

Annexe 6

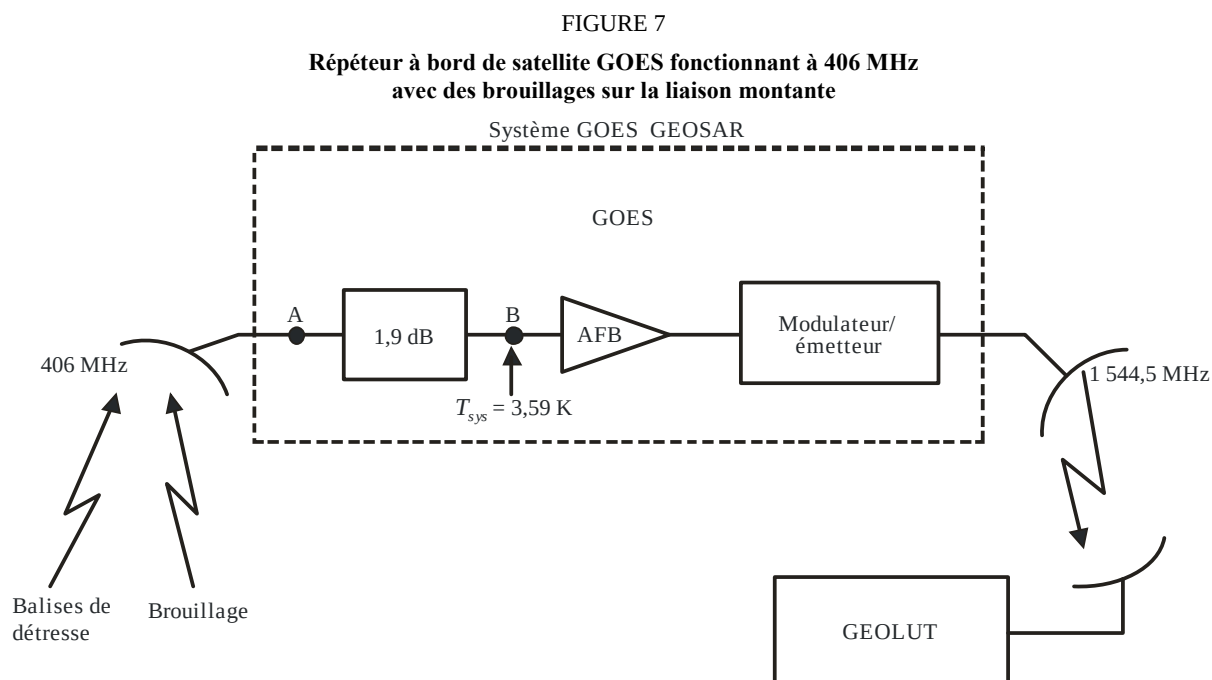
Critères de protection des services GOES GEOSAR et de la série GOES-R dans la bande 406-406,1 MHz

1 Qualité minimale acceptable pour la détection des signaux de radiobalise de localisation des sinistres (RLS) retransmis par le canal à 406 MHz utilisé par les répéteurs SARR à bord de satellites GOES

Pour pouvoir détecter de façon fiable les balises de détresse à 406 MHz au moyen de répéteurs à bord de satellites GOES fonctionnant à 406 MHz, le TEB du canal ne doit pas dépasser 5×10^{-5} .

2 Analyse de la spfd à l'origine de brouillages

Le TEB d'un canal de communication est déterminé à partir du rapport entre l'énergie contenue dans chaque bit de données, E_b , et la densité de bruit, celle-ci comprenant le bruit engendré par l'équipement Cospas-Sarsat, N_0 , et le bruit dû aux brouillages causés par les autres systèmes, I_0 . La Fig. 7 illustre le canal à 406 MHz utilisé par un répéteur SARR GOES avec des brouillages sur la liaison montante.



M.1478-07

Pour pouvoir respecter le taux TEB de 5×10^{-5} , le rapport énergie par bit/densité de bruit plus brouillage $E_b/(N_0 + I_0)$ au niveau du démodulateur GEOLUT doit être supérieur ou égal à 8,8 dB. Dans cette analyse, on détermine le niveau maximal acceptable de brouillage de type bruit large bande spécifié sous la forme d'une spfd à l'entrée de l'antenne du satellite GOES fonctionnant à 406 MHz, compte tenu du fait que le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global sur la liaison ne doit pas tomber au-dessus de 8,8 dB.

Comme illustré sur la Fig. 7, des signaux de balise de détresse à 406 MHz sont reçus par le répéteur de recherche et de sauvetage GOES et font l'objet d'une modulation de phase sur une porteuse de

liaison descendante à 1 544,5 MHz avant d'être détectés et traités par des démodulateurs GEOLUT. Le gain d'antenne et la température de bruit du système pour le répéteur de satellite sont respectivement de 10,1 dBi et de 359 K au point B (voir la Fig. 7). Pour la série GOES-R, le gain d'antenne et la température de bruit du système seront respectivement de 12,4 dBi et de 531 K. Si l'on utilise des techniques sophistiquées de traitement numérique du signal et d'intégration des salves, le rapport global porteuse/densité de bruit, C/N_0 , vaut 31,1 dB(Hz) en l'absence de brouillage.

Dans cette analyse, on suppose que trois balises actives simultanément émettent exactement au même instant sur trois fréquences différentes de la bande 406-406,1 MHz afin de représenter un environnement opérationnel réaliste. La balise considérée a un angle d'élévation de 5° par rapport à l'engin spatial. Les deux autres balises sont incluses dans l'analyse car elles utilisent en partage la puissance disponible au niveau du répéteur de satellite.

Lorsque aucune source externe de brouillage n'est présente, le rapport C/N_0 global est de 31,1 dB(Hz), ce qui équivaut à un rapport E_b/N_0 de 5,1 dB. Compte tenu des pertes liées à l'implémentation et à la démodulation des données de balise ainsi que du gain de traitement, le rapport E_b/N_0 effectif est de 10,1 dB. Comme le canal doit présenter un rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global d'au moins 8,8 dB pour pouvoir fonctionner efficacement, l'accumulation de brouillages large bande sur la liaison montante qui entraîne une réduction de plus de 1,3 dB du rapport global porteuse/ densité de bruit plus brouillage n'est pas acceptable.

Comme le rapport C/N_0 global en l'absence de brouillage est de 31,1 dB(Hz), le brouillage de type bruit large bande sur la liaison montante qui entraîne une dégradation du rapport global sur la liaison de 1,3 dB se traduit par un rapport $(C/N_0)_{\text{global avec brouillage}}$ de:

$$\begin{aligned} (C/N_0)_{\text{global avec brouillage}} &= (C/N_0)_{OI} = (C/N_0)_{\text{global}} - 1,3 \text{ dB} \\ (C/N_0)_{OI} &= 31,1 \text{ dB(Hz)} - 1,3 \text{ dB} \\ (C/N_0)_{OI} &= 29,8 \text{ dB(Hz)} \end{aligned} \quad (7)$$

Le rapport $(C/N_0)_{OI}$ est calculé à partir des rapports porteuse/densité de bruit plus brouillage sur la liaison montante et sur la liaison descendante, comme indiqué ci-dessous:

$$(C/N_0)_{OI} = ((C/N_0)^{-1}_{\text{montante avec brouillage}} + (C/N_0)^{-1}_{\text{descendant avec brouillage}})^{-1} \quad (\text{numérique}) \quad (8)$$

Comme cette analyse porte sur le brouillage sur la liaison montante, le rapport $(C/N_0)_{\text{montante avec brouillage}}$ apparaissant dans l'équation (8) devient:

$$(C/N_0)_{\text{montante avec brouillage}} = (C_{\uparrow} / (N_{0\uparrow} + I_0)) \quad (\text{numérique}) \quad (9)$$

Le brouillage affecte aussi le rapport porteuse/densité de bruit sur la liaison descendante, $(C/N_0)_{\downarrow}$, en entraînant une augmentation de la puissance totale utilisée en partage dans la largeur de bande du répéteur SARR. Cette augmentation de la puissance totale entraîne une diminution de l'affaiblissement dû au partage de puissance et affecte le rapport $(C/N_0)_{\downarrow}$ comme suit:

$$(C/N_0)_{\text{descendant avec brouillage}} = (C/N_0)_{\downarrow} \times (L_{psi} / L_{ps}) \quad (\text{numérique}) \quad (10)$$

où L_{ps} est l'affaiblissement dû au partage de puissance sans brouillage et L_{psi} est l'affaiblissement dû au partage de puissance avec brouillage. L_{psi} est calculé comme suit:

$$L_{psi} = C_{\uparrow} / (C_{\uparrow} + 2 \times C_2 + N_{\uparrow} + I_0 B) \quad (\text{numérique}) \quad (11)$$

où C_2 est le niveau de puissance de l'une des deux autres balises reçues simultanément par le répéteur SARR GOES et B est la largeur de bande du récepteur de satellite GOES.

Après avoir reporté l'équation (11) dans l'équation (10) puis les formules (9) et (10) dans l'équation (8), on obtient l'équation suivante donnant I_0 :

$$I_0 = (C_{\uparrow}((C/N_0)_{OI}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1}) - N_{0\uparrow}) / (1 + Lps(C/N)_{\downarrow}^{-1}) \quad (\text{numérique}) \quad (12)$$

$(C/N_0)_{OI} = 29,8$ dB(Hz) (voir l'équation (7)), $C_{\uparrow} = -171,7$ dBW, $(C/N_0)_{\downarrow} = 43,8$ dB(Hz), $N_{0\uparrow} = -203$ dB(W/Hz), $Lps = -18,3$ dB et $(C/N)_{\downarrow} = 43,8$ dB(Hz) moins $10 \log(80 \text{ kHz}) = -5,2$ dB. L'incorporation de ces valeurs numériques dans l'équation (12) donne:

$$I_0 \text{ (GOES)} = (10^{-171,7/10} (10^{-29,8/10} - 10^{-43,8/10}) - 10^{-203/10}) / (1 + 10^{-18,3/10} \times 10^{5,2/10})$$

soit:

$$I_0 \text{ (GOES - R)} = -205,92 \text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable d'exprimer les critères de protection en termes de seuil de spfd de brouillage spécifié en dB(W/(m² · Hz)) à l'entrée de l'antenne de réception du satellite fonctionnant à 406 MHz. L'ouverture équivalente, A_e , d'une antenne de gain G vaut $A_e = G \lambda^2 / 4\pi$. Pour une antenne de réception de satellite GOES dont le gain est de 12 dBi, l'ouverture équivalente est de 0,689 m². Le niveau maximal acceptable des brouillages cumulatifs spécifié en termes de spfd vaut alors:

$$spfd = I_0 - L_{\text{ligne}} - A_e$$

Dans l'hypothèse où les affaiblissements de ligne sont de 1,9 dB (voir la Fig. 7):

$$spfd = -207,7 + 1,9 - 10 \log(0,689) = -204,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$$

Pour la série GOES-R, le gain de l'antenne de réception est de 14,3 dBi, et l'ouverture équivalente est de 1,617 m². Le niveau maximal acceptable des brouillages cumulatifs spécifié en termes de spfd est:

$$spfd = -205,9 + 1,9 - 10 \log(1,617) = -204,67 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$$

Le niveau maximal des brouillages de type bruit large bande dans la bande 406-406,1 MHz mesuré au niveau de l'antenne du satellite GOES ne doit pas dépasser -204,2 dB(W/(m² · Hz)) pour les satellites GOES actuels et -204,7 dB(W/(m² · Hz)) pour la série GOES-R.

3 Méthode de calcul du niveau des brouillages causés dans le canal à 406 MHz utilisé par les répéteurs SARR GOES

La plupart du temps, les brouillages causés au système Cospas-Sarsat proviennent d'émissions hors bande de services fonctionnant dans les bandes adjacentes ou dans des bandes quasiment adjacentes.

Il faut examiner la largeur de bande des émissions pour déterminer si une énergie est transmise dans la bande 406-406,1 MHz. Lors de l'analyse de l'incidence de systèmes mobiles (par exemple satellites non géostationnaires et émetteurs aéroportés), il faut bien veiller à tenir compte des effets du décalage Doppler dû au déplacement de ces systèmes.

Il faut calculer le niveau des brouillages cumulatifs causés par toutes les sources qui transmettent une énergie dans la bande, en termes de spfd au niveau de l'antenne du satellite. Le niveau calculé ne doit pas dépasser -204,2 dB(W/(m² · Hz)) dans toute la bande pour les systèmes GOES plus anciens et -204,7 dB(W/(m² · Hz)) pour la série GOES-R.

Annexe 7

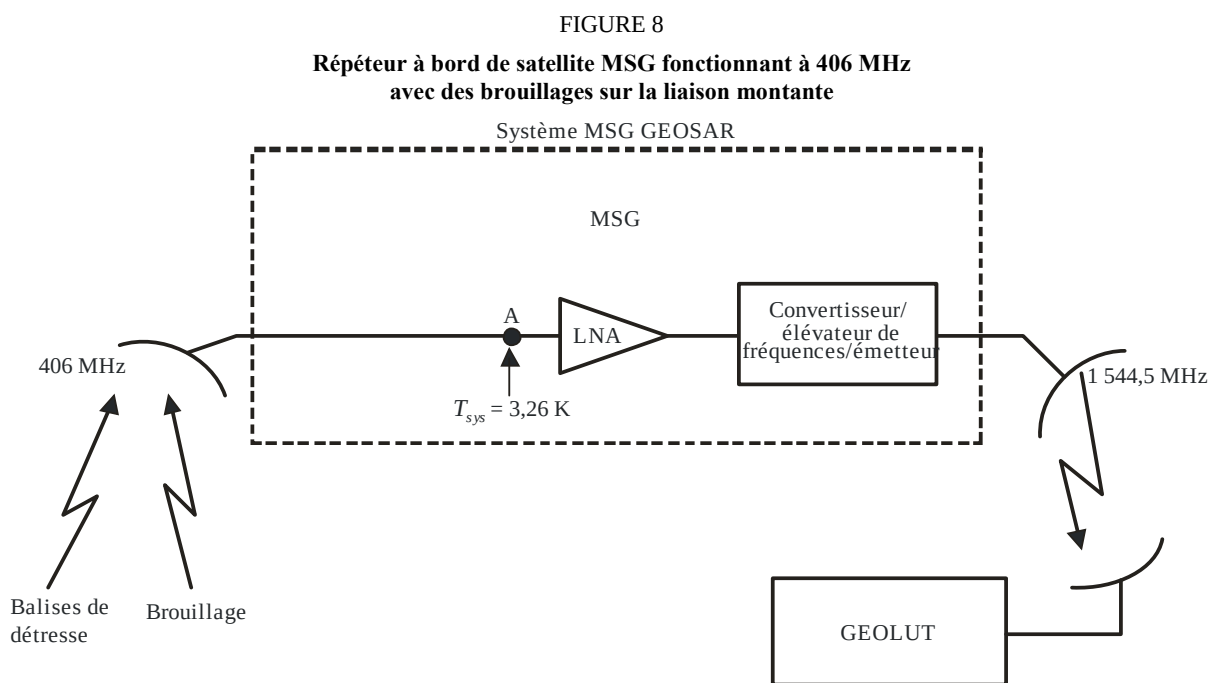
Critères de protection des services MSG GEOSAR dans la bande 406-406,1 MHz

1 Qualité minimale acceptable pour la détection des signaux de balise RLS retransmis par le canal à 406 MHz utilisé par les répéteurs SARR à bord de satellites MSG

Pour pouvoir détecter de façon fiable les balises de détresse à 406 MHz au moyen de répéteurs à bord de satellites MSG fonctionnant à 406 MHz, le TEB du canal ne doit pas dépasser 5×10^{-5} .

2 Analyse de la spfd à l'origine de brouillages

Le TEB d'un canal de communication est déterminé à partir du rapport entre l'énergie contenue dans chaque bit de données, E_b , et la densité de bruit, celle-ci comprenant le bruit engendré par l'équipement Cospas-Sarsat, N_0 , et le bruit dû aux brouillages causés par les autres systèmes, I_0 . La Fig. 8 illustre le canal à 406 MHz utilisé par un répéteur SARR MSG avec des brouillages sur la liaison montante.



M.1478-08

Pour pouvoir respecter le TEB de 5×10^{-5} , le rapport énergie par bit/densité de bruit plus brouillage $E_b/(N_0 + I_0)$ au niveau du démodulateur GEOLUT doit être supérieur ou égal à 8,8 dB. Dans cette analyse, on détermine le niveau maximal acceptable de brouillage de type bruit large bande spécifié sous la forme d'une spfd à l'entrée de l'antenne du satellite MSG fonctionnant à 406 MHz, compte tenu du fait que le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global sur la liaison ne doit pas tomber au-dessous de 8,8 dB.

Comme illustré sur la Fig. 8, des signaux de balise de détresse à 406 MHz sont reçus par le répéteur de recherche et de sauvetage MSG et font l'objet d'une modulation de phase sur une porteuse de liaison descendante à 1 544,5 MHz avant d'être détectés et traités par des démodulateurs GEOLUT. Le gain d'antenne et la température de bruit du système pour le répéteur de satellite sont

respectivement de 3 dBi et de 326 K au point A (voir la Fig. 8). Si l'on utilise des techniques sophistiquées de traitement numérique du signal et d'intégration des salves, le rapport global porteuse/densité de bruit, C/N_0 , vaut 27,4 dB(Hz) en l'absence de brouillage.

Dans cette analyse, on suppose que trois balises actives simultanément émettent exactement au même instant sur trois fréquences différentes de la bande 406-406,1 MHz afin de représenter un environnement opérationnel réaliste. La balise considérée a un angle d'élévation de 5° par rapport à l'engin spatial. Les deux autres balises sont incluses dans l'analyse car elles utilisent en partage la puissance disponible au niveau du répéteur de satellite.

Lorsque aucune source externe de brouillage n'est présente, le rapport C/N_0 global est de 27,4 dB(Hz), ce qui équivaut à un rapport E_b/N_0 de 1,4 dB. Compte tenu des pertes liées à l'implémentation et à la démodulation des données de balise ainsi que du gain de traitement, le rapport E_b/N_0 effectif est de 8,9 dB. Comme le canal doit présenter un rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global d'au moins 8,8 dB pour pouvoir fonctionner efficacement, l'accumulation de brouillages large bande sur la liaison montante qui entraîne une réduction de plus de 0,1 dB du rapport global porteuse/densité de bruit plus brouillage n'est pas acceptable.

Comme le rapport C/N_0 global en l'absence de brouillage est de 27,4 dB(Hz), le brouillage de type bruit large bande sur la liaison montante qui entraîne une dégradation du rapport global sur la liaison de 0,1 dB se traduit par un rapport $(C/N_0)_{\text{global avec brouillage}}$ de:

$$(C/N_0)_{\text{global avec brouillage}} = (C/N_0)_{OI} = (C/N_0)_{\text{global}} - 0,1 \text{ dB}$$

$$(C/N_0)_{OI} = 27,4 \text{ dB(Hz)} - 0,1 \text{ dB}$$

$$(C/N_0)_{OI} = 27,3 \text{ dB(Hz)}$$

Le rapport global porteuse/densité de bruit plus brouillage peut être calculé à partir des rapports porteuse/densité de bruit plus brouillage sur la liaison montante et sur la liaison descendante, comme indiqué ci-dessous:

$$(C/N_0 + I_0)_{\text{global}} = ((C/N_0 + I_0)^{-1\uparrow} + (C/N_0 + I_0)^{-1\downarrow})^{-1}$$

Comme cette analyse porte uniquement sur le brouillage sur la liaison montante, on suppose qu'il n'y a pas de brouillage sur la liaison descendante, l'équation devient:

$$(C/N_0 + I_0)_{\text{global}} = ((C/N_0 + I_0)^{-1\uparrow} + (C/N_0)^{-1\downarrow})^{-1}$$

En incorporant les valeurs de $(C/N_0 + I_0)_{\text{global}}$ (27,3 dB(Hz)) et de $(C/N_0)_{\downarrow}$ (35,5 dB(Hz)), on obtient une valeur de 28 dB(Hz) comme valeur acceptable du rapport porteuse/densité de bruit plus brouillage dans le cas le plus défavorable $((C/N_0 + I_0)_{\uparrow})$:

$$C/(N_0 + I_0)_{\uparrow} = ((C/N_0 + I_0)_{\text{global}}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1})^{-1}$$

ou:

$$C/(N_0 + I_0)_{\uparrow} = 10 \log((10^{-27,3/10} - 10^{-35,5/10})^{-1})$$

soit:

$$C/(N_0 + I_0)_{\uparrow} = 28 \text{ dB(Hz)}$$

où I_0 est donné par:

$$I_0 = 10 \log(10^{(C_{\uparrow} - (C/(N_0 + I_0)_{\uparrow})/10)} - 10^{(N_0(\uparrow)/10)})$$

La densité spectrale de puissance de bruit sur la liaison montante sans brouillage au point A est $N_0 = k T$, où k est la constante de Boltzmann et T est la température de bruit du répéteur mesurée au point A. Par conséquent, $N_{0\uparrow} = -228,6 + 25,1 = -203,5$ dB(W/Hz). La puissance de la porteuse sur la liaison montante est $C_{\uparrow} = -175,7$ dBW. La valeur maximale acceptable de la densité de bruit sur la liaison montante $(I_0)_{\uparrow}$ est alors donnée par:

$$(I_0)_{\uparrow} = 10 \log(10^{(-175,7-28)/10} - 10^{(-203,5/10)})$$

soit:

$$(I_0)_{\uparrow} = -217 \text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable d'exprimer les critères de protection en termes de seuil de spfd de brouillage spécifié en dB(W/(m² · Hz)) à l'entrée de l'antenne de réception du satellite fonctionnant à 406 MHz. L'ouverture équivalente, A_e , d'une antenne de gain G vaut $A_e = G \lambda^2 / 4\pi$. Pour une antenne de réception de satellite MSG dont le gain est de 3 dBi, l'ouverture équivalente est de 0,087 m². Le niveau maximal acceptable des brouillages cumulatifs spécifié en termes de spfd vaut alors:

$$spfd = I_0(\text{max}) - A_e$$

$$spfd = -217 - 10 \log(0,087) = -206,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$$

Le niveau maximal des brouillages de type bruit large bande dans la bande 406-406,1 MHz mesuré au niveau de l'antenne du satellite MSG ne doit pas dépasser -206,4 dB(W/(m² · Hz)).

3 Méthode de calcul du niveau des brouillages causés dans le canal à 406 MHz utilisé par les répéteurs SARR MSG

La plupart du temps, les brouillages causés au système Cospas-Sarsat proviennent d'émissions hors bande de services fonctionnant dans les bandes adjacentes ou dans des bandes quasiment adjacentes.

Il faut examiner la largeur de bande des émissions pour déterminer si une énergie est transmise dans la bande 406-406,1 MHz. Lors de l'analyse de l'incidence de systèmes mobiles (par exemple satellites non géostationnaires et émetteurs aéroportés), il faut bien veiller à tenir compte des effets du décalage Doppler dû au déplacement de ces systèmes.

Il faut calculer le niveau des brouillages cumulatifs causés par toutes les sources qui transmettent une énergie dans la bande, en termes de spfd au niveau de l'antenne du satellite. Le niveau calculé ne doit pas dépasser -206,4 dB(W/(m² · Hz)) dans toute la bande.

Annexe 8

Critères de protection applicable aux instruments de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz (SAR/satellites Electro)

1 Introduction

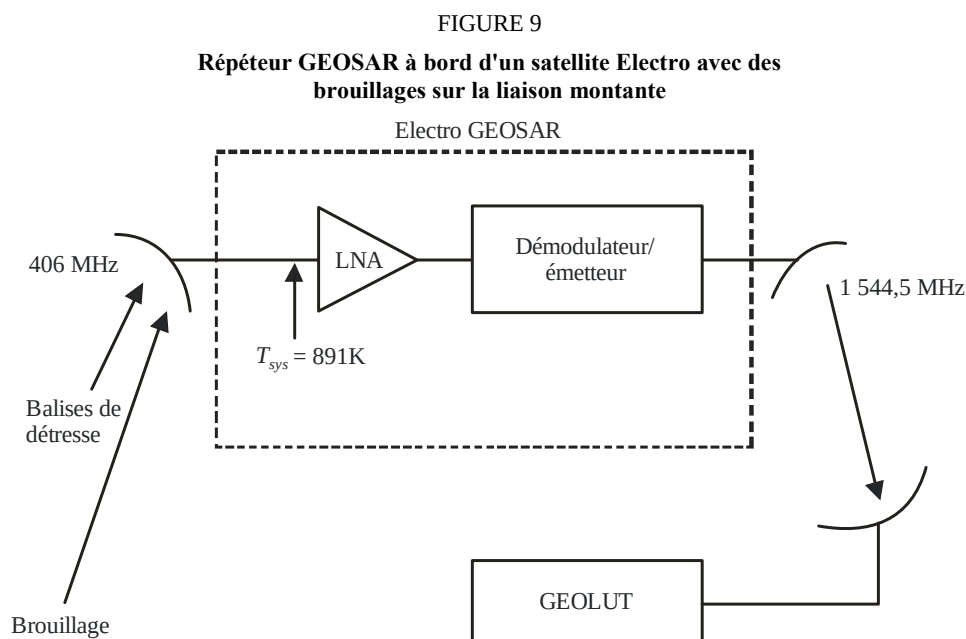
Les répéteurs de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat à bord de satellites Electro reçoivent des signaux émis par les balises de détresse à 406 MHz et retransmettent les signaux aux démodulateurs GEOLUT Cospas-Sarsat sur les fréquences des liaisons descendantes dans la bande 1 544-1 545 MHz. L'analyse fournie dans la présente Annexe fixe les critères de protection contre les brouillages dans la bande 406,0-406,1 MHz pour les services GEOSAR Electro.

2 Qualité minimale acceptable pour la détection des signaux de balise de détresse à 406 MHz retransmis par des satellites Electro

Pour pouvoir détecter de façon fiable les balises de détresse à 406 MHz au moyen de répéteurs à bord de satellites Electro fonctionnant à 406 MHz, le TEB du canal ne doit pas dépasser 5×10^{-5} .

3 Analyse de la spfd à l'origine de brouillages

Le TEB d'un canal de communication est déterminé à partir du rapport entre l'énergie contenue dans chaque bit de données, E_b , et la densité de bruit, celle-ci comprenant le bruit engendré par l'équipement Cospas-Sarsat, N_0 , et le bruit dû aux brouillages causés par les autres systèmes, I_0 . La Fig. 9 illustre le canal de la charge utile à 406 MHz utilisé par un répéteur SAR Electro avec des brouillages sur la liaison montante.



Pour pouvoir respecter le taux TEB de 5×10^{-5} , le rapport énergie par bit/densité de bruit plus brouillage $E_b/(N_0 + I_0)$ au niveau du démodulateur GEOLUT doit être supérieur ou égal à 8,8 dB. Dans cette analyse, on détermine le niveau maximal acceptable de brouillage de type bruit large bande spécifié sous la forme d'une spfd à l'entrée de l'antenne du satellite Electro fonctionnant à 406 MHz, compte tenu du fait que le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global sur la liaison ne doit pas tomber au-dessous de 8,8 dB.

Dans cette analyse, on suppose que trois balises actives simultanément émettent exactement au même instant sur trois fréquences différentes de la bande 406-406,1 MHz. La balise à faible niveau considérée a un angle d'élévation de 5° par rapport à l'engin spatial. Les deux autres balises émettent aux «niveaux nominaux» et ont un angle d'élévation de 40° par rapport à l'engin spatial. Les deux balises émettant aux niveaux nominaux sont incluses dans l'analyse car elles utilisent en partage la puissance disponible du répéteur de satellite et affectent donc le bilan de liaison.

Comme illustré à la Fig. 9, des signaux de balise de détresse à 406 MHz sont reçus par le répéteur SAR Electro et font l'objet d'une modulation de phase sur une porteuse de liaison descendante à 1 544,5 MHz avant d'être détectés et traités par des démodulateurs GEOLUT. Le gain d'antenne et la température de bruit du système pour le répéteur de satellite sont respectivement de 12 dBi et 891 K (29,5 dB(K)). La valeur correspondante du rapport G/T est de $-17,5$ dB/K.

La balise considérée (p.i.r.e. de 3 dBW) a un angle d'élévation de 5° par rapport à l'engin spatial. Lorsque aucune source externe de brouillage n'est présente, le rapport C/N_0 global est de 32,2 dB(Hz), ce qui équivaut pour 400 bit/s à un rapport E_b/N_0 de 6,2 dB (32,2 dB(Hz) – 26 dB/s). Compte tenu des pertes liées à la mise en œuvre (1,0 dB) et à la démodulation des données de balise (1,0 dB) ainsi que du gain de traitement (7,0 dB) au niveau du répéteur GEOLUT, le rapport E_b/N_0 effectif est de 11,2 dB. Comme le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global dans le canal doit être d'au moins 8,8 dB afin de satisfaire de façon fiable aux exigences minimales de qualité de fonctionnement, l'accumulation des brouillages large bande sur la liaison montante qui entraîne une réduction de plus de 2,4 dB du rapport global porteuse/densité de bruit + brouillage n'est pas acceptable.

Comme le rapport global C/N_0 en l'absence de brouillage est de 32,2 dB(Hz), le brouillage de type large bande sur la liaison montante qui entraîne une dégradation du rapport global sur la liaison de 2,4 dB, se traduit par un rapport $(C/N_0)_{\text{global avec brouillage}}$ de:

$$\begin{aligned} (C/N_0)_{\text{global avec brouillage}} &= (C/N_0)_{OI} = (C/(N_0)_{\text{global}} - 2,4 \text{ dB}) \\ &= 32,2 \text{ dB(Hz)} - 2,4 \text{ dB} = 29,8 \text{ dB(Hz)} \\ (C/N_0)_{OI} &= 29,8 \text{ dB(Hz)} \end{aligned} \quad (13)$$

Le rapport $((C/N_0)_{OI})$ est calculé à partir des rapports porteuse/densité de bruit + brouillage sur la liaison montante et sur la liaison descendante, comme indiqué ci-dessous:

$$(C/N_0)_{OI} = ((C/N_0)^{-1}_{\text{montante avec brouillage}} + (C/(N_0))^{-1}_{\text{descendante avec brouillage}})^{-1} \text{ (numérique)} \quad (14)$$

Comme cette analyse porte sur le brouillage sur la liaison montante le rapport, $(C/N_0)_{\text{montante avec brouillage}}$ dans l'équation (14) devient:

$$(C/N_0)_{\text{montante avec brouillage}} = (C \uparrow / (N_0 \uparrow + I_0)) \text{ (numérique)} \quad (15)$$

Le brouillage affecte aussi le rapport porteuse/densité de bruit sur la liaison descendante $(C/N)_\downarrow$, entraînant une augmentation de la puissance totale utilisée en partage dans la largeur de bande du répéteur SAR. Cette augmentation de la puissance totale entraîne une diminution de l'affaiblissement dû au partage de puissance et affecte le rapport $(C/N)_\downarrow$, comme suit:

$$(C/N_0)_{\text{descendante avec brouillage}} = (C/N)_\downarrow \times (L_{\text{psi}}/L_{\text{ps}}) \text{ (numérique)} \quad (16)$$

où L_{ps} est l'affaïssissement dû au partage de puissance sans brouillage et L_{psi} est l'affaiblissement dû au partage de puissance avec brouillage. L_{psi} est calculé comme suit:

$$L_{psi} = C_{\uparrow} / (C_{\uparrow} + 2 \times C_2 + N_{\uparrow} + I_0 B) \text{ (numérique)} \quad (17)$$

où C_2 est le niveau de puissance de l'une des deux autres balises reçues simultanément par le répéteur Electro SARR et B est la largeur de bande du récepteur Electro.

Après avoir reporté l'équation (17) dans l'équation (16) puis les équations (15) et (16) dans l'équation (14) on obtient l'équation suivante donnant I_0 :

$$I_0 = (C_{\uparrow} ((C/N_0)_{OI}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1}) - N_{0\uparrow}) / (1 + L_{ps} (C/N)_{\downarrow}^{-1}) \text{ (numérique)} \quad (18)$$

$C_2 = -161,1$ dBW, $B = 80$ kHz, $(C/N_0)_{OI} = 29,8$ dB(Hz), $C_{\uparrow} = -166,8$ dBW, $(C/N_0)_{\downarrow} = 48,5$ dB(Hz), $N_{0\uparrow} = -199,1$ dB(W/Hz), $L_{ps} = -17,4$ dB, et $(C/N)_{\downarrow} = 48,5$ dB(Hz) moins $10 \log(80k)$ ou $-0,53$ dB. L'incorporation de ces valeurs numériques dans l'équation (18) donne:

$$I_0 = (10^{-166,8/10} (10^{-29,8/10} - 10^{-48,5/10}) - 10^{-199,1/10}) / (1 + 10^{-17,4/10} \times 10^{0,53/10})$$

$$I_0 = -200,3 \text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable d'exprimer les critères de protection en termes de seuil de spfd de brouillage spécifié en dB(W/m² · Hz) à l'entrée de l'antenne du satellite fonctionnant en 406 MHz. L'ouverture équivalente d'une antenne, A_e , de gain est G est $A_e = G\lambda^2/4\pi$. Pour une antenne de satellite Electro dont le gain est de 12 dBi, l'ouverture équivalente est donc de 0,7 m². Le niveau maximal acceptable du brouillage cumulatif spécifié en termes de densité de puissance spectrale (spfd) est alors:

$$\text{spfd} = I_0 - L_{Line} - A_e$$

Dans l'hypothèse où $L_{Line} = 0$:

$$\text{spfd} = -200,3 - 0 - 10 \log(0,7)$$

$$\text{spfd} = -198,7 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$$

Le niveau maximal des brouillages de type bruit large bande dans la bande 406-406,1 MHz mesuré à la borne de l'antenne du satellite Electro ne doit pas dépasser $-198,7$ dB(W/(m² · Hz)).

4 Méthode de calcul du niveau des brouillages causés dans le canal à 406 MHz utilisé par les répéteurs SAR/Electro

La plupart du temps, les brouillages causés au système Cospas-Sarsat proviennent d'émissions hors bande de services fonctionnant dans des bandes adjacentes ou dans des bandes quasiment adjacentes.

Il faut examiner la largeur de bande des émissions pour déterminer si une énergie est transmise dans la bande 406-406,1 MHz. Lors de l'analyse de l'incidence de systèmes mobiles (par exemple satellites non géostationnaires et émetteurs aéroportés), il faut bien veiller à tenir compte des effets du décalage Doppler dû au déplacement de ces systèmes.

Il faut calculer le niveau des brouillages cumulatifs causés par toutes les sources qui transmettent une énergie dans la bande 406-406,1 MHz, en termes de spfd au niveau de l'antenne du satellite. Le niveau cumulatif de toutes les sources de brouillage ne doit pas dépasser $-198,7$ dB(W/(m² · Hz)) dans toute la bande.

Annexe 9

Critères de protection applicables aux instruments de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz (SAR/GLONASS)

1 Introduction

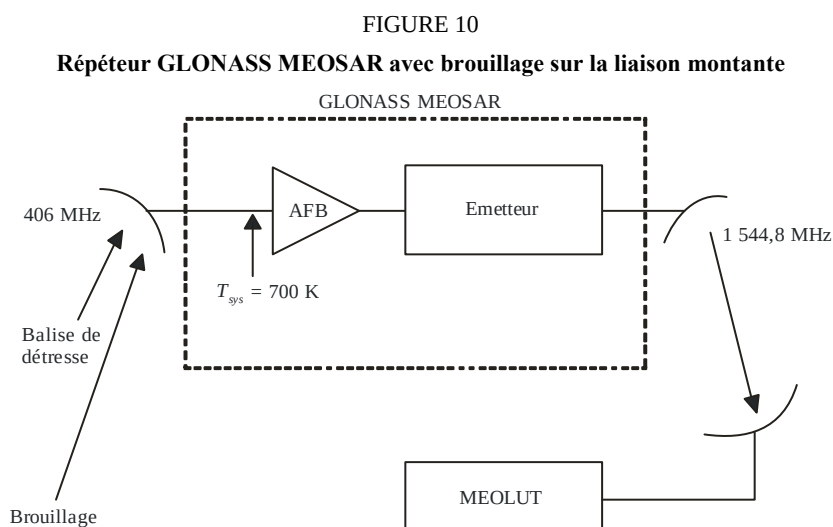
Les répéteurs de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat à bord de satellites Electro reçoivent des signaux émis par les balises de détresse à 406 MHz et retransmettent les signaux aux démodulateurs GEOLUT Cospas-Sarsat sur les fréquences des liaisons descendantes dans la bande 1 544-1 545 MHz. L'analyse fournie dans la présente Annexe fixe les critères de protection contre les brouillages dans la bande 406,0-406,1 MHz pour les services GLONASS MEDSAR.

2 Qualité minimale acceptable pour la détection des signaux de balise de détresse à 406 MHz retransmis par des satellites GLONASS

Pour pouvoir détecter de façon fiable les balises de détresse à 406 MHz au moyen de répéteurs à bord de satellites GLONASS fonctionnant à 406 MHz, le TEB du canal ne doit pas dépasser 5×10^{-5} .

3 Analyse de la spfd à l'origine de brouillages

Le TEB d'un canal de communication est déterminé à partir du rapport entre l'énergie contenue dans chaque bit de données, E_b , et la densité de bruit, celle-ci comprenant le bruit engendré par l'équipement Cospas-Sarsat, N_0 , et le bruit dû aux brouillages causés par les autres systèmes, I_0 . La Fig. 10 décrit le canal de la charge utile à 406 MHz utilisé par un répéteur SAR GLONASS avec brouillage sur la liaison montante.



M.1478-10

Pour pouvoir respecter le taux TEB de 5×10^{-5} , le rapport énergie par bit/densité de bruit plus brouillage $E_b/(N_0 + I_0)$ au niveau du démodulateur MEOLUT doit être supérieur ou égal à 8,8 dB. Dans cette analyse, on détermine le niveau maximal acceptable de brouillage de type bruit large bande spécifié sous la forme d'une spfd à l'entrée de l'antenne du satellite GLONASS fonctionnant

à 406 MHz, compte tenu du fait que le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global sur la liaison ne doit pas tomber au-dessous de 8,8 dB.

Dans cette analyse, on suppose que trois balises actives simultanément émettent exactement au même instant sur trois fréquences différentes de la bande 406-406,1 MHz. La balise à faible niveau considérée a un angle d'élévation de 5° par rapport à l'engin spatial. Les deux autres balises émettent aux «niveaux nominaux» et ont un angle d'élévation de 40° par rapport à l'engin spatial. Les deux balises émettant aux niveaux nominaux sont incluses dans l'analyse car elles utilisent en partage la puissance disponible du répéteur de satellite et affectent donc le bilan de liaison.

Comme illustré à la Fig. 10, des signaux de balise de détresse à 406 MHz sont reçus par le répéteur SAR GLONASS et font l'objet d'une modulation de phase sur une porteuse de liaison descendante à 1 544,5 MHz avant d'être détectés et traités par des démodulateurs MEOLUT. Le gain d'antenne et la température de bruit du système pour le répéteur de satellite sont respectivement de 11,5 dBi et 700 K (28,5 dB(K)). La valeur correspondante du rapport G/T est de $-17,0$ dB/K.

La balise considérée (p.i.r.e. de 3 dBW) a un angle d'élévation de 5° par rapport à l'engin spatial. Lorsque aucune source externe de brouillage n'est présente, le rapport C/N_0 global est de 35,5 dB(Hz), ce qui équivaut pour 400 bit/s à un rapport E_b/N_0 de 9,5 dB (35,5 dB(Hz) – 26 dB/s). Compte tenu des pertes liées à la mise en œuvre (1,0 dB) et à la démodulation des données de balise (1,0 dB) ainsi que du gain de traitement (2,0 dB) au niveau du répéteur MEOLUT, le rapport E_b/N_0 effectif est de 9,5 dB. Comme le rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ global dans le canal doit être d'au moins 8,8 dB afin de satisfaire de façon fiable aux exigences minimales de qualité de fonctionnement, l'accumulation des brouillages large bande sur la liaison montante qui entraîne une réduction de plus de 0,7 dB du rapport global porteuse/densité de bruit + brouillage n'est pas acceptable.

Comme le rapport global C/N_0 en l'absence de brouillage est de 35,5 dB(Hz), le brouillage de type large bande sur la liaison montante qui entraîne une dégradation du rapport global sur la liaison de 0,7 dB, se traduit par un rapport $(C/N_0)_{\text{global avec brouillage}}$ de:

$$\begin{aligned} (C/N_0)_{\text{global avec brouillage}} &= (C/N_0)_{OI} = (C/N_0)_{\text{global}} - 0,7 \text{ dB} \\ &= 35,5 \text{ dB(Hz)} - 0,7 \text{ dB} = 34,8 \text{ dB(Hz)} \end{aligned} \quad (19)$$

Le rapport $(C/N_0)_{OI}$ est calculé à partir des rapports porteuse/densité de bruit + brouillage sur la liaison montante et sur la liaison descendante, comme indiqué ci-dessous:

$$(C/N_0)_{OI} = ((C/N_0)^{-1}_{\text{montante avec brouillage}} + (C/N_0)^{-1}_{\text{descendante avec brouillage}})^{-1} \text{ (numérique)} \quad (20)$$

Comme cette analyse porte sur le brouillage sur la liaison montante le rapport, $(C/N_0)_{\text{montante avec brouillage}}$ dans l'équation (20) devient:

$$(C/N_0)_{\text{montante avec brouillage}} = (C_{\uparrow}/(N_{0\uparrow} + I_0)) \text{ (numérique)} \quad (21)$$

Le brouillage affecte aussi le rapport porteuse/densité de bruit sur la liaison descendante $(C/N)_{\downarrow}$, entraînant une augmentation de la puissance totale utilisée en partage dans la largeur de bande du répéteur SAR. Cette augmentation de la puissance totale entraîne une diminution de l'affaiblissement dû au partage de puissance et affecte le rapport $(C/N)_{\downarrow}$, comme suit:

$$(C/N_0)_{\text{descendante avec brouillage}} = (C/N)_{\downarrow} \times (L_{psi}/L_{ps}) \text{ (numérique)} \quad (22)$$

où L_{ps} est l'affaiblissement dû au partage de puissance sans brouillage et L_{psi} est l'affaiblissement dû au partage de puissance avec brouillage. L_{psi} est calculé comme suit:

$$L_{psi} = C_{\uparrow}/(C_{\uparrow} + 2 \times C_2 + N_{\uparrow} + I_0B) \text{ (numérique)} \quad (23)$$

où C_2 est le niveau de puissance de l'une des deux autres balises reçues simultanément par le répéteur SARR GLONASS et B est la largeur de bande du récepteur GLONASS.

Après avoir reporté l'équation (23) dans l'équation (22) puis les équations (21) et (22) dans l'équation (20) on obtient l'équation suivante donnant I_0 :

$$I_0 = (C_{\uparrow} ((C/N_0)_{OI}^{-1} - (C/N_0)_{\downarrow}^{-1}) - N_{0\uparrow}) / (1 + L_{ps} (C/N)_{\downarrow}^{-1}) \text{ (numérique)} \quad (24)$$

$C_2 = -158,5$ dBW, $B = 80$ kHz, $(C/N_0)_{OI} = 34,8$ dB(Hz), $C_{\uparrow} = -164,3$ dBW, $(C/N_0)_{\downarrow} = 47,6$ dB(Hz), $N_{0\uparrow} = -200,2$ dB(W/Hz), $L_{ps} = -14,7$ dB, et $(C/N)_{\downarrow} = 47,6$ dB(Hz) moins $10 \log(80k)$ ou $-1,4$ dB. L'incorporation de ces valeurs numériques dans l'équation (24) donne:

$$I_0 = (10^{-164,3/10} (10^{-34,8/10} - 10^{-47,6/10}) - 10^{-200,2/10}) / (1 + 10^{-14,7/10} \times 10^{1,4/10})$$

$$I_0 = -207,3 \text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable d'exprimer les critères de protection en termes de seuil de spfd de brouillage spécifié en dB(W/m² · Hz) à l'entrée de l'antenne du satellite fonctionnant en 406 MHz. L'ouverture équivalente d'une antenne, A_e , de gain G est $A_e = G\lambda^2/4\pi$. Pour une antenne de réception de satellite GLONASS dont le gain est de 11,5 dBi, l'ouverture équivalente est donc de 0,61 m². Le niveau maximal acceptable du brouillage cumulatif spécifié en termes de densité de puissance spectrale (spfd) est alors:

$$\text{spfd} = I_0 - L_{Line} - A_e$$

Dans l'hypothèse où $L_{Line} = 0$:

$$\text{spfd} = -207,3 - 0 - 10 \log(0,61)$$

$$\text{spfd} = -205,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$$

Le niveau maximal des brouillages de type bruit large bande dans la bande 406-406,1 MHz mesuré à la borne de l'antenne du satellite GLONASS ne doit pas dépasser $-205,2$ dB(W/(m² · Hz)).

4 Méthode de calcul du niveau des brouillages causés dans le canal à 406 MHz utilisé par les répéteurs SAR/GLONASS

La plupart du temps, les brouillages causés au système Cospas-Sarsat proviennent d'émissions hors bande de services fonctionnant dans des bandes adjacentes ou dans des bandes quasiment adjacentes.

Il faut examiner la largeur de bande des émissions pour déterminer si une énergie est transmise dans la bande 406-406,1 MHz. Lors de l'analyse de l'incidence de systèmes mobiles (par exemple satellites non géostationnaires et émetteurs aéroportés), il faut bien veiller à tenir compte des effets du décalage Doppler dû au déplacement de ces systèmes.

Il faut calculer le niveau des brouillages cumulatifs causés par toutes les sources qui transmettent une énergie dans la bande 406-406,1 MHz, en termes de spfd au niveau de l'antenne du satellite. Le niveau cumulatif de toutes les sources de brouillage ne doit pas dépasser $-205,2$ dB(W/(m² · Hz)) dans toute la bande.

Annexe 10

Critères de protection applicables aux instruments de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat dans la bande 406-406,1 MHz (SAR/Galileo)

1 Introduction

Les satellites Galileo sont équipés de transpondeurs de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat, qui reçoivent des signaux émanant de radiobalises de détresse fonctionnant à 406 MHz et les retransmettent aux terminaux MEOLUT du système Cospas Sarsat sur les fréquences des liaisons descendantes dans la bande 1 544-1 545 MHz. L'analyse exposée dans la présente Annexe établit des critères de protection vis-à-vis des brouillages applicables aux satellites Galileo qui reçoivent les signaux en liaison montante émanant de radiobalises de détresse fonctionnant à 406 MHz.

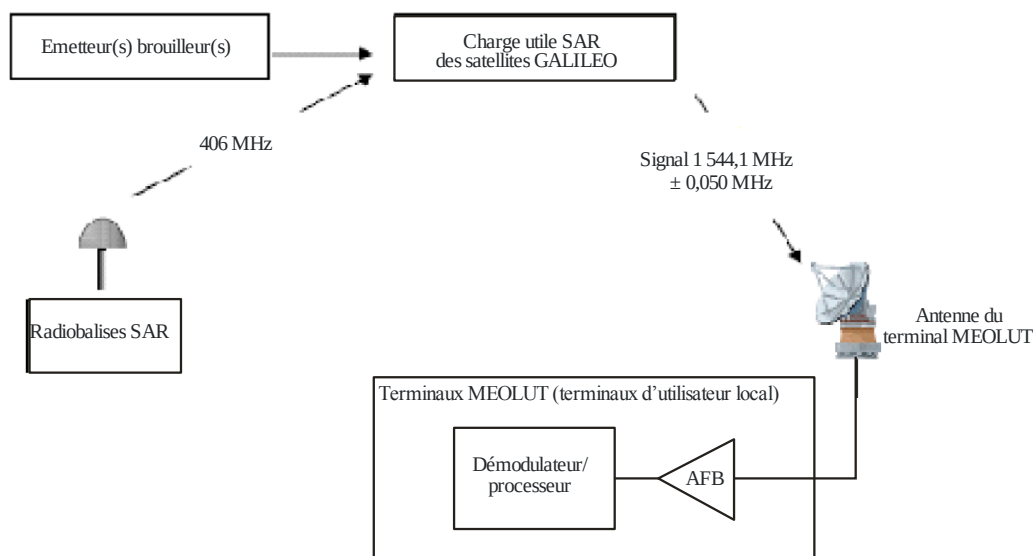
2 Qualité minimale acceptable pour la détection des signaux de radiobalises de détresse fonctionnant à 406 MHz qui sont retransmis par les satellites SAR/Galileo

Afin d'évaluer le niveau maximal acceptable pour les émissions à large bande, le paramètre de qualité de fonctionnement pris en considération est le TEB minimal admissible: afin de détecter de façon fiable les radiobalises de détresse fonctionnant à 406 MHz au moyen de répéteurs à bord de satellites Galileo fonctionnant à 406 MHz, le TEB du canal ne doit pas dépasser 5×10^{-5} . En outre, puisque le rapport C/N_0 sur la liaison montante est plus important que celui sur la liaison de bout en bout, le rapport C/N_0 qui sera pris en considération sera celui sur la liaison montante.

3 Analyse de la densité spectrale de la puissance surfacique brouilleuse (spfd)

La Fig. 11 illustre les brouillages que peut causer un radar SAR exploité dans la bande des ondes décimétriques.

FIGURE 11
Répéteur SAR/Galileo MEOSAR: cas de brouillage non intentionnels dans la bande des ondes décimétriques



3.1 Brouillages large bande

Tout bruit large bande supplémentaire introduit dans la charge utile SAR des satellites Galileo Sarsat aura pour effet d'augmenter le 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 du système Galileo SAR 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 Galileo Sarsat. En ce qui concerne la charge utile du satellite Galileo Sarsat, la température de bruit du système à l'entrée du récepteur est de 600 K (=27,7 dBK).

Par conséquent, la densité spectrale de bruit est égale à:

$$N_0 = -228,6 + 27,7 = -200,9 \text{ dB(W/Hz)} \quad (25)$$

Dans le cas le plus défavorable, le terminal MLT du satellite Galileo SAR est conçu pour fonctionner correctement lorsque la puissance du signal minimal reçu est $C = -165,2 \text{ dBW}$; il s'agit de la valeur du signal reçu correspondant à la valeur minimale du rapport C/N_0 sur la liaison montante à savoir 35,7 dB(Hz), à l'entrée du récepteur, ce qui donne un rapport équivalent $E_b/N_0 = 9,7 \text{ dB}$ (pour un débit de données de 400 bit/s (26 dB)) au niveau du détecteur de bits de la charge utile du radar SAR. Le TEB correspondant est égal à 8×10^{-6} .

En conséquence, pour obtenir un TEB de 5×10^{-5} , la dégradation maximale acceptable est de 0,9 dB. Lorsque le rapport $E_b/N_0 = 8,8 \text{ dB}$, le TEB est égal à 5×10^{-5} .

Nous calculons ensuite le bruit supplémentaire correspondant à la dégradation de 0,9 dB du rapport C/N_0 . I_0 représente la densité de puissance de bruit supplémentaire provenant des brouilleurs.

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

La dégradation est de:

$$0,9 \text{ dB} = 10 \log ((C/N_0)/(C/(N_0 + I_0))), \quad (26)$$

$I_0/N_0 = -6,38 \text{ dB}$ et $I_0 = -207,28 \text{ dB(W/Hz)}$.

En conséquence, le niveau maximal acceptable de la densité de bruit est $I_0 = -207,28 \text{ dB(W/Hz)}$ (calculé à l'entrée du récepteur de charge utile SAR).

La densité de bruit, I_0 , tient compte de l'affaiblissement et du gain d'antenne. Etant donné que l'on doit connaître la densité spectrale de puissance surfacique du satellite, il faut convertir cette valeur en $\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$.

La surface apparente d'une antenne ayant un gain G est $S = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$. G se situe entre 11,6 et 13 dBi.

$S = -0,6 \text{ dB(m}^2\text{)}$ (dans l'hypothèse d'un rendement de 0,7% et d'un gain maximal de 13 dBi).

En conséquence, la densité spectrale de puissance surfacique du satellite correspondante est égale à:

$$\text{spfd} = -207,28 + 0,51 (\text{affaiblissements}) - (-0,6) = -206,1 \text{ dB(W/(m}^2 \text{Hz))} \quad (27)$$

en prenant en compte le plus grand angle du satellite par rapport au nadir.

A l'entrée du satellite, le niveau maximal de brouillage dû au bruit large bande dans la bande 406-406,1 MHz ne doit pas dépasser $-206,1 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ pour protéger le terminal MLT du satellite Galileo SAR.

3.2 Brouillages à bande étroite

La charge utile SAR des satellites Galileo étant transparente, un brouillage à bande étroite dans la bande 406-406,1 MHz sera directement transposé par la balise SART dans la bande 1 544-1 595 MHz; au niveau du terminal MLT, ce signal brouilleur peut être détecté par le récepteur comme un vrai signal de détresse SAR.

Le paramètre de qualité de fonctionnement utilisé pour déterminer le brouillage à bande étroite maximal admissible sera par conséquent le seuil d'acquisition du terminal MeoLUT, considéré comme étant égal à 34,8 dB(Hz).

La puissance du signal brouilleur à la borne de l'antenne du terminal MLT est désignée par I ; si le niveau I/N_0 du brouillage est supérieur au seuil d'acquisition du terminal MLT, ce dernier détectera le brouillage.

Etant donné que le niveau de bruit du système calculé au § 3.1 est $N_0 = -200,9$ dB(W/Hz), la puissance du signal brouilleur (au niveau de la balise SART) est: $I = I/N_0 + N_0 = -166,1$ dBW.

Pour obtenir la puissance surfacique au niveau de l'antenne de la charge utile SAR, la surface équivalente de l'antenne doit être prise en compte; en procédant comme au § 3.1, il est possible de calculer la puissance surfacique comme suit:

$$\text{pfd} = -166,1 + 0,51 \text{ (affaiblissements)} - (-0,6) = -166,2 \text{ dB(W/m}^2\text{)} \quad (28)$$

En prenant en compte le plus grand angle du satellite par rapport au nadir.

A l'entrée du satellite, le niveau maximal du brouillage à bande étroite dû au bruit dans la bande 406-406,1 MHz ne doit pas dépasser $-166,2$ dB(W/m²) pour assurer une détection correcte du signal.

Annexe 11

Résumé des caractéristiques générales de tous les instruments

Le Tableau 4 résume les caractéristiques générales de chaque type d'instrument Cospas-Sarsat.

TABLEAU 4

Résumé des caractéristiques des instruments Cospas-Sarsat

Type d'instrument	Caractéristiques orbitales, nombre de satellites à déployer	Critères de protection applicables aux rayonnements non essentiels à bande étroite à l'entrée du processeur ou de l'AFB à bord de l'engin spatial	Critères de protection applicables aux émissions à large bande
Instrument SARP pour satellite LEO Sarsat	Orbite circulaire de 830 km, inclinaison de 98°	-147,6 dBm	-198,6 dB(W/(m ² · Hz))
Instrument SARP pour satellite LEO Cospas	Orbite circulaire de 830 km, inclinaison de 98°	-147,6 dBm	-198,6 dB(W/(m ² · Hz))
Instrument Sarsat SARR pour satellite LEO	Orbite circulaire de 830 km, inclinaison de 98°	-147,6 dBm	-204,7 dB (W/(m ² · Hz))
Répéteur à bord d'un satellite GOES	Orbite géostationnaire	-140,9 dBm	-201,1 dB (W/(m ² · Hz))
Répéteur à bord d'un satellite MSG	Orbite géostationnaire	-147 dBm	-206,4 dB (W/(m ² · Hz))
Répéteur à bord d'un satellite Electro	Orbite géostationnaire	-139,8 dBm	-198,7 dB (W/(m ² · Hz))
Répéteur à bord d'un satellite Galileo	Satellites en orbite terrestre moyenne utilisés: 27 satellites en orbite circulaire à une altitude de 23 225 km et avec un angle d'inclinaison de 56° (voir la Recommandation UIT-R M.1787 pour une description détaillée des caractéristiques orbitales du système Galileo).	-136,8 dBm	-206,1 dB (W/(m ² · Hz))
Répéteur à bord d'un satellite GLONASS	Satellites en orbite terrestre moyenne utilisés: 24 satellites en orbite circulaire à une altitude de 19 100 km et avec un angle d'inclinaison de 64,8° (voir la Recommandation UIT-R M.1787 pour une description détaillée des caractéristiques orbitales du système GLONASS).	-147,1 dBm	-205,2 dB (W/(m ² · Hz))