

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R M.1731-1**  
(12/2010)

**Critères de protection des terminaux  
d'utilisateur local du système Cospas-Sarsat  
dans la bande 1 544-1 545 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 oeuvre 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  |
|------------|--|
| <b>BO</b>  | Diffusion par satellite  |
| <b>BR</b>  | Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision                   |
| <b>BS</b>  | Service de radiodiffusion sonore   |
| <b>BT</b>  | Service de radiodiffusion télévisuelle   |
| <b>F</b>   | Service fixe   |
| <b>M</b>   | <b>Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés</b>        |
| <b>P</b>   | Propagation des ondes radioélectriques   |
| <b>RA</b>  | Radio astronomie   |
| <b>RS</b>  | Systèmes de télédétection  |
| <b>S</b>   | Service fixe par satellite   |
| <b>SA</b>  | Applications spatiales et météorologie   |
| <b>SF</b>  | Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe |
| <b>SM</b>  | Gestion du spectre   |
| <b>SNG</b> | Reportage d'actualités par satellite   |
| <b>TF</b>  | Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires  |
| <b>V</b>   | 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, 2011

© UIT 2011

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.1731-1

**Critères de protection des terminaux d'utilisateur local du système Cospas-Sarsat dans la bande 1 544-1 545 MHz**

(2005-2010)

**Domaine de compétence**

La présente Recommandation établit les critères de protection des terminaux d'utilisateur local du système Cospas-Sarsat, qui reçoivent dans la bande 1 544-1 545 MHz des liaisons descendantes provenant de satellites sur orbites géostationnaires et terrestres basses. Le programme Cospas-Sarsat reçoit et traite les signaux provenant des radiobalises de localisation des sinistres (RLS) et d'autres balises de détresse fonctionnant sur 406 MHz. Dans certains cas, les signaux sont transmis aux stations au sol via une liaison descendante dans la bande 1 544-1 545 MHz.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que la Recommandation UIT-R SM.1535 préconise la protection des services de sécurité vis-à-vis des rayonnements non désirés;
- b) que le système mondial de satellites pour les recherches et le sauvetage Cospas-Sarsat est exploité dans la bande 1 544-1 545 MHz, laquelle est limitée au titre du numéro 5.356 du Règlement des radiocommunications (RR) aux communications de détresse et de sécurité, dans le sens espace vers Terre;
- c) que les brouillages préjudiciables causés aux services de sécurité peuvent entraîner la perte de vies humaines et des dégâts matériels;
- d) que les terminaux d'utilisateur local associés aux satellites sur l'orbite géostationnaire du système Cospas-Sarsat (GEOLUT) reçoivent dans la bande 1 544-1 545 MHz des signaux émanant de RLS relayés par des satellites géostationnaires opérationnels d'étude de l'environnement (GOES) et par des satellites Meteo-Sat de la deuxième génération (MSG);
- e) que les terminaux d'utilisateur local associés aux satellites sur orbites terrestres basses du système Cospas-Sarsat (LEOLUT) reçoivent dans la bande 1 544-1 545 MHz des signaux émanant de RLS relayés par les répéteurs de recherche et de sauvetage (SARR) des satellites Cospas et Sarsat;
- f) que les terminaux LEOLUT du système Cospas-Sarsat reçoivent dans la bande 1 544-1 545 MHz un flux de données (PDS, *processed data stream*) en provenance de RLS traitées à l'échelle mondiale par les processeurs de recherche et de sauvetage (SARP) des satellites Cospas et Sarsat;
- g) que les terminaux d'utilisateur local associés aux satellites sur orbite terrestre moyenne (MEOLUT) du système Cospas-Sarsat reçoivent dans la bande 1 544-1 545 MHz des signaux émanant de RLS relayés par des satellites de navigation en orbite terrestre moyenne (système GALILEO);

h) que l'Annexe 6 présente les bilans de liaison du système Cospas-Sarsat concernant l'exploitation sur les orbites terrestres basses (LEO) ou moyennes (MEO) et sur l'orbite des satellites géostationnaires (OSG) sur la base de valeurs proches des valeurs les plus défavorables, qui sont indiquées dans cette Annexe dans la colonne «niveau bas»,

*recommande*

- 1 de fonder sur les dispositions de l'Annexe 1 l'analyse du brouillage causé aux terminaux GEOLUT du système Cospas-Sarsat qui fonctionnent avec des satellites GOES;
- 2 de fonder sur les dispositions de l'Annexe 2 l'analyse du brouillage causé aux terminaux LEOLUT du système Cospas-Sarsat recevant un PDS en provenance de RLS traitées à l'échelle mondiale;
- 3 de fonder sur les dispositions de l'Annexe 3 l'analyse du brouillage causé aux terminaux LEOLUT du système Cospas-Sarsat recevant des signaux de RLS sur 406 MHz relayés par les satellites sur orbites terrestres basses du système Cospas et Sarsat;
- 4 de fonder sur les dispositions de l'Annexe 4 l'analyse du brouillage causé aux terminaux GEOLUT du système Cospas-Sarsat qui fonctionnent avec des satellites MSG;
- 5 de fonder sur les dispositions de l'Annexe 5 l'analyse du brouillage causé aux terminaux MEOLUT du système Cospas-Sarsat qui fonctionnent avec des satellites GALILEO.

## Annexe 1

### **Critères de protection dans la bande 1 544-1 545 MHz des terminaux GEOLUT du système Cospas-Sarsat qui reçoivent des signaux de RLS relayés par des satellites GOES**

#### **1.1 Introduction**

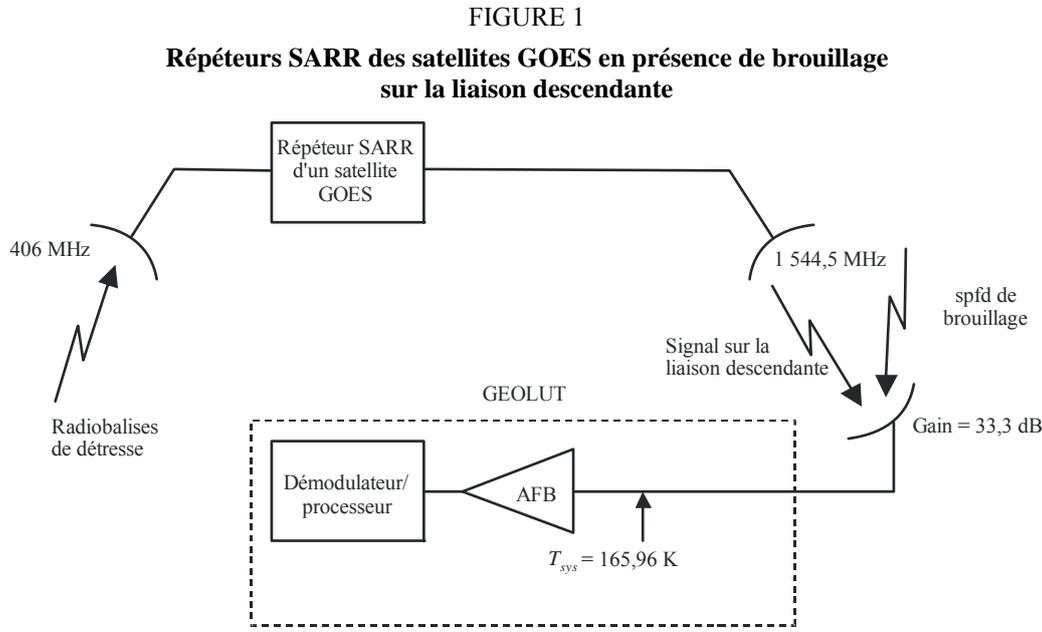
Les satellites GOES sont équipés de répéteurs de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat, qui reçoivent des signaux émanant de RLS sur 406 MHz et les relaient aux terminaux GEOLUT du système Cospas-Sarsat sur des fréquences descendantes dans la bande 1 544-1 545 MHz. En application des dispositions du RR, la bande 1 544-1 545 MHz est attribuée au service mobile par satellite (SMS), dans le sens espace vers Terre, et est en l'espèce limitée au titre du numéro 5.356 du RR aux communications de détresse et de sécurité. L'analyse exposée dans la présente Annexe établit des critères de protection vis-à-vis des brouillages des terminaux GEOLUT qui reçoivent les signaux sur la liaison descendante des satellites GOES dans la bande 1 544-1 545 MHz.

#### **1.2 Qualité de fonctionnement minimale acceptable pour la détection des signaux de RLS reliés par les satellites GOES**

Pour détecter de manière fiable les radiobalises de détresse sur 406 MHz utilisant des répéteurs à satellite GOES sur 406 MHz, le taux d'erreur sur les bits (TEB) du canal ne doit pas excéder  $5 \times 10^{-5}$ .

### 1.3 Analyse de la densité spectrale de la puissance surfacique (spfd)

Le TEB d'un canal de télécommunication est égal à l'énergie contenue dans chaque bit de données,  $E_b$ , rapporté à la densité de bruit. La densité de bruit totale est la somme du bruit provoqué par l'équipement Cospas-Sarsat,  $N_0$ , et du bruit causé par le brouillage provenant d'autres systèmes,  $I_0$ . La Fig. 1 illustre le canal SARR sur 406 MHz des satellites GOES en présence de brouillage sur la liaison descendante.



M.1731-01

AFB: amplificateur de faible bruit

Pour obtenir un TEB de  $5 \times 10^{-5}$ , il faut que le rapport de l'énergie par bit sur le bruit plus la densité de brouillage ( $E_b/(N_0 + I_0)$ ) au niveau du démodulateur du terminal GEOLUT soit égal ou supérieur à 8,8 dB. La présente analyse vise à déterminer la quantité maximale de brouillage à caractère de bruit large bande, exprimée en termes de spfd, par rapport à l'entrée de l'antenne du terminal GEOLUT, pouvant être supportée sans que la qualité de la liaison globale  $E_b/(N_0 + I_0)$  passe au-dessous de 8,8 dB.

Comme il ressort de la Fig. 1, les répéteurs SARR des satellites GOES reçoivent des signaux des radiobalises de détresse sur 406 MHz qui sont modulés en phase sur une porteuse descendante à 1 544,5 MHz aux fins de détection et traitement par les terminaux GEOLUT. Le gain d'antenne et la température de bruit du système sont respectivement de 33,3 dB et 165,96 K pour un terminal GEOLUT d'un satellite GOES.

Le signal de la RLS présente un angle d'élévation par rapport à l'engin spatial de  $5^\circ$ . En l'absence de sources de brouillage externes, le rapport total  $C/N_0$  est de 31,1 dB-Hz, soit un  $E_b/N_0$  de 5,1 dB. Compte tenu des pertes de mise en œuvre et de démodulation des données de la radiobalise ainsi que des gains de traitement au niveau du terminal GEOLUT, cela donne un rapport effectif  $E_b/N_0$  de 10,1 dB. Comme il faut que sur le canal le rapport total  $E_b/(N_0 + I_0)$  soit d'au moins 8,8 dB pour garantir la qualité de fonctionnement minimale, il n'est pas possible que l'accumulation de brouillages large bande sur la liaison descendante réduise le rapport global porteuse sur bruit, plus densité de brouillage de plus de 1,3 dB.

Puisqu'en l'absence de brouillage le rapport global  $C/N_0$  est égal à 31,1 dB-Hz, le brouillage à caractère de bruit large bande sur la liaison descendante qui le dégrade de 1,3 dB donnerait un rapport total porteuse sur bruit, plus densité de brouillage  $(C/(N_0 + I_0))_{total}$  de:

$$\begin{aligned}(C/(N_0 + I_0))_{total} &= (C/N_0)_{total} - 1,3 \text{ dB} \\ &= 31,1 \text{ dB-Hz} - 1,3 \text{ dB} \\ &= 29,8 \text{ dB-Hz}\end{aligned}$$

Le rapport  $(C/(N_0 + I_0))_{total}$  se calcule à partir des rapports porteuse sur bruit, plus densité de brouillage des liaisons montante et descendante, comme suit:

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

Etant donné que la présente analyse ne concerne que le brouillage sur la liaison descendante, l'équation ci-dessus se simplifie comme suit:

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

Si  $(C/(N_0 + I_0))_{total} = 29,8$  dB-Hz et  $(C/N_0)_{\uparrow} = 31,3$  dB-Hz, on obtient un rapport  $(C/(N_0 + I_0))_{\downarrow}$  de 35,1 dB-Hz (voir ci-dessous):

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

soit

$$C/(N_0 + I_0)_{\downarrow} = 10 \log ((10^{-29,8/10} - 10^{-31,3/10})^{-1})$$

de sorte que

$$C/(N_0 + I_0)_{\downarrow} = 35,1 \text{ dB-Hz}$$

La densité spectrale de la puissance de bruit de la liaison descendante en l'absence de brouillage à l'entrée de l'AFB vaut  $N_0 = k T$ , où  $k$  est la constante de Boltzmann. En conséquence,  $N_0 = -228,6 + 22,2 = -206,4$  dB(W/Hz).

Le rapport  $(C/N_0)_{\downarrow}$  étant égal à 43,8 dB et  $(N_0)_{\downarrow}$  à  $-206,4$  dB(W/Hz),  $C_{\downarrow}$  est égal à  $-162,6$  dBW.

La densité spectrale maximale de la puissance de brouillage admissible pouvant être causé sur la liaison descendante par l'ensemble des émetteurs brouilleurs,  $I_0(\text{max})$ , mesurée à l'entrée de l'AFB récepteur du terminal GEOLUT, sur la totalité de la bande  $1\,544,5 \text{ MHz} \pm 100 \text{ kHz}$ , vaut:

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

soit

$$I_0(\text{max}) = 10 \log (10^{(-162,6 - 35,1) / 10} - 10^{-206,4 / 10})$$

de sorte que

$$I_0(\text{max}) = -198,3 \text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable de décrire les critères de protection en termes de seuil de brouillage spfd exprimé en dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)) à l'entrée de l'antenne du terminal GEOLUT. L'ouverture d'antenne effective,  $A_e$ , ayant un gain  $G$  vaut  $A_e = G\lambda^2/4\pi$ . L'antenne du terminal GEOLUT a un gain de 33,3 dB, de sorte que l'ouverture effective est de 6,42 m<sup>2</sup>. Le brouillage maximum cumulatif acceptable exprimé en termes de spfd vaut:

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

En supposant  $L_{Ligne} = 0$

$$\begin{aligned} \text{spfd} &= -198,3 - 0 - 10 \log(6,42) \\ &= -206,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \end{aligned}$$

Le niveau maximum du brouillage à caractère de bruit large bande dans le canal du terminal GEOLUT à  $1\,544,5 \text{ MHz} \pm 100 \text{ kHz}$  ne doit pas excéder  $-206,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ .

#### **1.4 Procédure pour calculer le niveau de brouillage causé à la liaison descendante du canal SARR sur 406 MHz d'un satellite GOES**

Les brouillages causés au système Cospas-Sarsat proviennent le plus souvent de rayonnements hors bande émis par des services dans les bandes adjacentes ou presque, par exemple les attributions faites au SMS dans le sens espace vers Terre.

Il convient d'examiner la largeur de bande à l'émission pour déterminer si l'énergie est émise dans la gamme de fréquences  $1\,544,5 \text{ MHz} \pm 100 \text{ kHz}$ , en faisant particulièrement attention, en analysant l'incidence des systèmes mobiles (par exemple, satellites non géostationnaires et émetteurs embarqués), de tenir compte des effets du décalage Doppler qu'ils génèrent par leur déplacement.

On calculera le niveau de brouillage provenant de toutes les sources qui émettent de l'énergie dans la bande, exprimée en termes de spfd au niveau de l'antenne du terminal GEOLUT. Le niveau cumulatif de toutes les sources de brouillage ne doit pas excéder  $-206,4 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  où que ce soit dans cette gamme.

Le niveau ci-dessus se fonde sur un gain sur axe d'antenne du terminal GEOLUT de 33,3 dBi. Selon les systèmes, il faudrait pour établir l'incidence du brouillage tenir compte des considérations de discrimination d'antenne, de polarisation, etc.

## **Annexe 2**

### **Critères de protection vis-à-vis des brouillages dans la bande 1 544-1 545 MHz des terminaux LEOLUT recevant des données traitées à 2,4 kbit/s des SARP des satellites Cospas et Sarsat**

#### **1 Généralités**

Le canal à 2,4 kbit/s des processeurs SARP des satellites Cospas et Sarsat se situe à  $1\,544,5 \text{ MHz} \pm 5 \text{ kHz}$  sur les liaisons descendantes des charges utiles du système LEOSAR. A cause de l'étalement des fréquences causé par le processus de modulation et du décalage Doppler provoqué par le déplacement du satellite, ce canal est reçu au niveau des terminaux LEOLUT sur une gamme de fréquences de  $1\,544,5 \text{ MHz} \pm 50 \text{ kHz}$ .

Le Tableau 1 détermine les budgets de puissance recommandés sur les liaisons descendantes pour les canaux SARP des satellites Cospas et Sarsat qui ont été mis au point pour aider les administrations à concevoir les terminaux LEOLUT en vue de leur utilisation dans le système Cospas-Sarsat. Le budget des liaisons montre que le canal SARP des satellites Cospas dispose d'une

liaison de télécommunication plus robuste que celle du service SARP des satellites Sarsat; par conséquent, les critères de protection destinés au canal SARP des satellites Sarsat suffiraient également pour le service SARP des satellites Cospas.

## 2 Qualité de fonctionnement minimale acceptable pour les données PDS à 2,4 kbit/s dans le canal SARP

Pour pouvoir détecter et localiser précisément les radiobalises de détresse sur 406 MHz, le TEB de la liaison descendante du canal SARP ne doit pas excéder  $1 \times 10^{-6}$  (voir le Tableau 1).

## 3 Analyse de la spfd qui est la cause du brouillage

Le TEB d'un canal de télécommunication est égal à l'énergie contenue dans chaque bit de données,  $E_b$ , rapportée à la densité de bruit. La densité de bruit totale est la somme du bruit provoqué par l'équipement Cospas-Sarsat,  $N_0$ , et du bruit causé par le brouillage provenant d'autres systèmes,  $I_0$ .

La présente analyse permettra d'établir le niveau de brouillage, exprimé en termes de spfd au niveau de l'antenne du terminal LEOLUT, qui dégraderait le TEB de la liaison descendante du canal SARP d'une seule erreur sur les bits pour chaque million ( $1 \times 10^{-6}$ ).

TABLEAU 1

### Paramètres retenus pour le budget de puissance sur la liaison descendante pour le PDS du SARP des satellites Cospas et Sarsat

| Paramètre   | Cospas nominal     | Sarsat nominal | Source                                   |
|---|--------------------|----------------|--|
| Fréquence porteuse (MHz)  | 1 544,5            | 1 544,5        |  |
| Polarisation (circulaire gauche)                                    | LHCP               | LHCP           |  |
| Angle d'élévation (degrés)  | 5                  |                |  |
| Altitude du satellite (km)  | 1 000              | 850            |  |
| p.i.r.e. du satellite <sup>(1)</sup> (dBW)                          | 6,2                | 7,1            |  |
| Distance oblique @ 5° (km)  | 3 200              | 2 900          | Calculée à partir de la géométrie        |
| Affaiblissement du trajet en espace libre ( $L_p$ ) (dB)            | 166,3              | 165,5          | Calculé à l'aide d'une formule standard  |
| Affaiblissement des évanouissements sur courte durée ( $L_f$ ) (dB) | 10                 |                |  |
| Autres affaiblissements ( $L_o$ ) (dB)                              | 3,6 <sup>(2)</sup> |                | Conception des LUT et tributaire du site |

TABLEAU 1 (*fin*)

| Paramètre   | Cospas nominal | Sarsat nominal | Source                             |
|---|----------------|----------------|------------------------------------|
| Antenne ( $G/T$ ) <sup>(3)</sup> (dB(K <sup>-1</sup> ))                   | 4,3            |                | $G = 26,7$ dB,<br>$T = 22,4$ dB(K) |
| Constance de Boltzmann, $k$ (dB(W · K <sup>-1</sup> · Hz <sup>-1</sup> )) | -228,6         |                | Constante physique                 |
| Facteur binaire @ 2,4 kbit/s, $r$ (dB-Hz)                                 | 33,8           |                |                                    |
| Perte de modulation (dB)  | -12,1          | -14,1          |                                    |
| TEB maximum souhaité  | $10^{-6}$      |                |                                    |
| Calculé ( $E_b/N_0$ ) (dB)  | 13,3           | 13,0           | Au moyen des paramètres ci-dessus  |
| Théorique ( $E_b/N_0$ ) <sup>ième</sup> pour un TEB de $10^{-6}$ (dB)     | 10,6           |                | $E_b/N_0$ pour TEB requis          |
| Marge de liaison PDS (dB)   | 2,7            | 2,4            |                                    |

LUT: Terminal local d'utilisateur (*local user terminal*)

- (1) Puissance isotrope rayonnée équivalente.
- (2) Affaiblissement dû au désaccord de polarisation, au pointage de l'antenne et à la mise en œuvre du démodulateur.
- (3) Rapport gain d'antenne/température de bruit pour inclure des affaiblissements se rapportant éventuellement aux radomes et aux câbles.  $G/T$  des LUT des Etats-Unis d'Amérique = 4,3 dB.

Le Tableau 1 montre le budget de puissance recommandé sur la liaison descendante pour le canal SARP. Le budget des liaisons a été établi au moyen de paramètres LEOLUT types. Il montre que le TEB nécessaire de  $1 \times 10^{-6}$  est obtenu avec une marge de 2,4 dB pour les satellites de poursuite Sarsat. La liaison doit maintenir une marge positive pour préserver le TEB nécessaire, et donc il n'est pas possible que le total de tous les brouillages puisse dégrader la liaison de plus de 2,4 dB. A cet égard, la densité spectrale de la puissance de brouillage totale,  $I_0$ , au niveau du récepteur du terminal LEOLUT est représentée par l'équation suivante (valeurs numériques):

$$N_0 + I_0 \leq 10^{(2,4/10)} \times N_0$$

soit

$$I_0/N_0 \leq (10^{(2,4/10)} - 1) = 0,738 \text{ (numérique)}$$

de sorte que

$$I_0/N_0 = -1,3 \text{ dB}$$

L'effet cumulé de tous les brouilleurs ne doit donc pas excéder un  $I_0/N_0 = -1,3$  dB.

Pour des terminaux LEOLUT ayant un gain d'antenne  $G$  de 26,7 dB et une température de bruit du système,  $T$  de 22,4 dBK au niveau de l'AFB LEOLUT, la densité spectrale de la puissance de bruit en l'absence de brouillage,  $N_0$ , est le produit de la constante de Boltzmann,  $k$ , et de la température de bruit  $T$ , soit  $N_0 = k T$ , et est exprimée en dB comme suit:

$$N_0 = -228,6 + 22,4 = -206,2 \text{ dB(W/Hz)}$$

En conséquence, la densité spectrale maximale de la puissance de brouillage provenant de tous les émetteurs brouilleurs,  $I_0(\max)$ , au niveau de l'AFB LEOLUT à l'intérieur de la bande  $1\,544,5\text{ MHz} \pm 50\text{ kHz}$  ne doit pas excéder la valeur suivante:

$$I_0(\max) = N_0 - 1,3 = -207,5\text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable de décrire les critères de protection en termes de seuil de brouillage spfd exprimé en  $\text{dB(W/m}^2 \cdot \text{Hz)}$  à l'entrée de l'antenne du terminal LEOLUT. L'ouverture effective d'une antenne ayant un gain  $G$  est de  $A_e = G\lambda^2/4\pi$ . Le gain d'antenne du terminal LEOLUT de 26,7 dB donne une ouverture de  $A_e = 1,4\text{ m}^2$ . En conséquence, le niveau maximum de tous les brouillages sur la liaison descendante est de:

$$\begin{aligned} \text{spfd} &= I_0/A_e = -207,5 - 10 \log(1,4) \\ &= -209,0\text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \end{aligned}$$

Le niveau maximum du brouillage à caractère de bruit large bande dans la bande  $1\,544,5\text{ MHz} \pm 50\text{ kHz}$  ne doit pas excéder  $-209,0\text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ .

#### **4 Procédure pour calculer le niveau de brouillage causé au canal SARP du système LEOSAR**

Les brouillages causés au système Cospas-Sarsat sont souvent dus aux rayonnements hors bande émis par des services dans des bandes adjacentes ou presque, par exemple les attributions faites au SMS dans le sens espace vers Terre.

Il convient d'examiner la largeur de bande à l'émission pour déterminer si l'énergie est transmise dans la gamme de fréquences  $1\,544,5\text{ MHz} \pm 50\text{ kHz}$ , en faisant particulièrement attention, en analysant l'incidence des systèmes mobiles (par exemple satellites non géostationnaires et émetteurs embarqués), de tenir compte de l'effet Doppler qu'ils génèrent par leur déplacement.

On calculera le niveau de la spfd à l'antenne du terminal LEOLUT. Le niveau total de toutes les sources de brouillage ne doit pas excéder  $-209,0\text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  dans une quelconque portion de la gamme  $1\,544,5\text{ MHz} \pm 50\text{ kHz}$ .

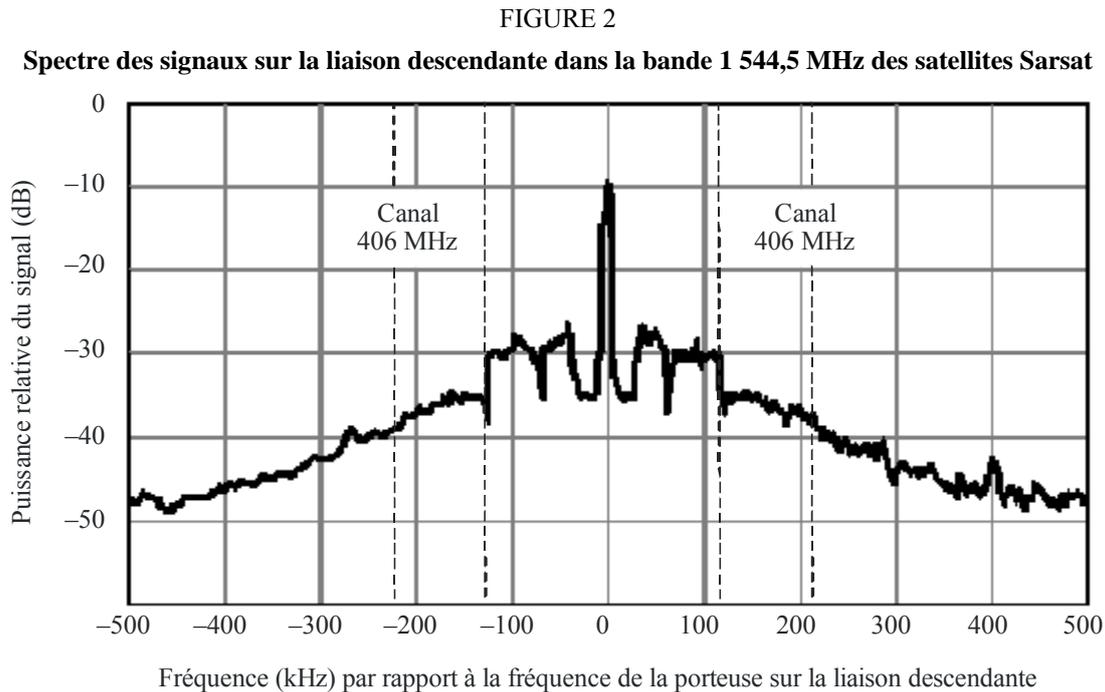
### **Annexe 3**

#### **Critères de protection dans la bande 1 544-1 545 MHz pour les services de répéteurs (SARR) sur 406 MHz des satellites Sarsat contre les brouillages provenant de rayonnements à large bande**

##### **1 Généralités**

Le canal SARR sur 406 MHz des satellites Sarsat occupe approximativement 100 kHz de spectre débutant 120 kHz au-dessus et au-dessous de la porteuse à 1 544,5 MHz. Toutefois, étant donné la dérive de fréquences admissible résultant du vieillissement de l'émetteur satellite, le décalage Doppler causé par le déplacement du satellite Sarsat, une bande de garde minimale et l'étalement du signal dû au processus de modulation, les terminaux LEOLUT ont besoin de 220 kHz de spectre débutant 80 kHz au-dessus et au-dessous de la porteuse à 1 544,5 MHz pour traiter le canal SARR sur 406 MHz.

La fréquence occupée par le canal SARR est illustrée à la Fig. 2.



M.1731-02

## 2 Qualité de fonctionnement minimale acceptable pour la détection des signaux des RLS relayés par le canal SARR à 406 MHz des satellites Sarsat

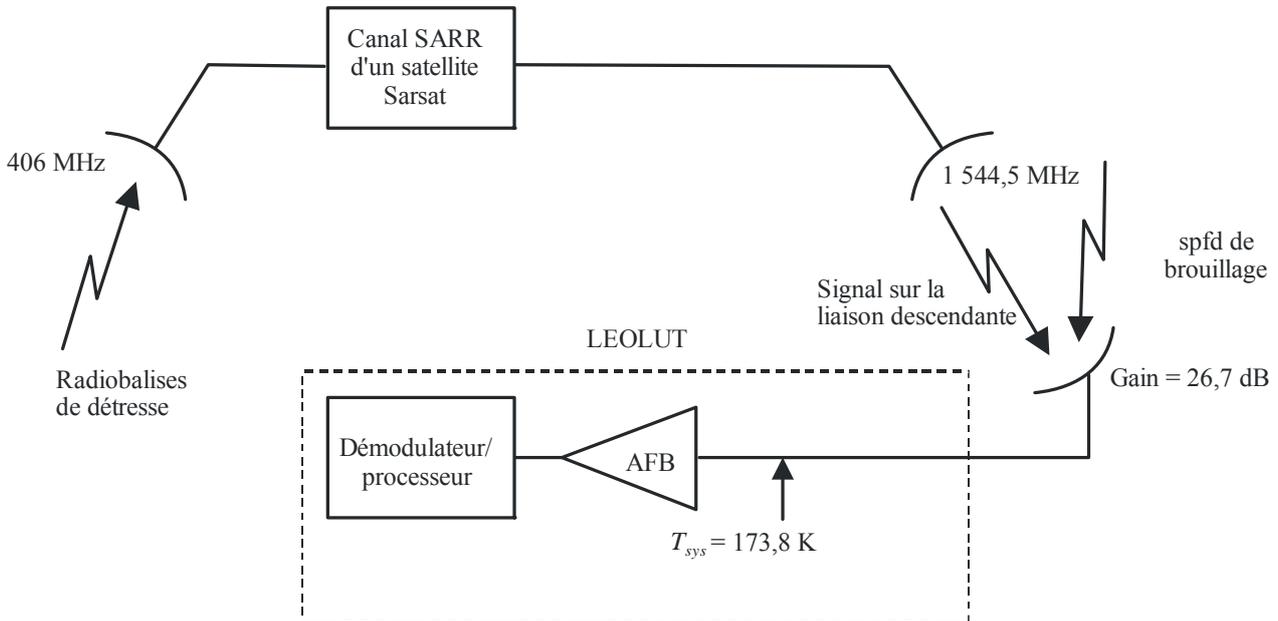
Pour détecter et localiser avec précision les radiobalises de détresse à 406 MHz utilisant les répéteurs à satellite sur 406 MHz des satellites Sarsat, le taux d'erreur binaire du canal SARR sur 406 MHz des satellites Sarsat ne doit pas excéder  $5 \times 10^{-5}$ .

## 3 Analyse de la spfd de brouillage

Le TEB d'un canal de télécommunication est égal à l'énergie contenue dans chaque bit de données,  $E_b$ , rapporté à la densité de bruit. La densité de bruit totale est la somme du bruit provoqué par l'équipement Cospas-Sarsat,  $N_0$ , et du bruit causé par le brouillage provenant d'autres systèmes,  $I_0$ . La Fig. 3 illustre le canal SARR sur 406 MHz en présence de brouillage sur la liaison descendante.

FIGURE 3

Répéteurs SARR à 406 MHz de satellites Sarsat en présence de brouillage sur la liaison descendante



M.1731-03

Pour obtenir un TEB de  $5 \times 10^{-5}$ , il faut que le rapport de l'énergie par bit sur le bruit, plus la densité de brouillage ( $E_b/(N_0 + I_0)$ ) au niveau du démodulateur du terminal LEOLUT soit égal ou supérieur à 8,8 dB. La présente analyse vise à déterminer la quantité maximale de brouillage à caractère de bruit large bande, exprimée en termes de spfd, par rapport à l'entrée de l'antenne du terminal LEOLUT, pouvant être supportée sans que la qualité de la liaison globale  $E_b/(N_0 + I_0)$  passe au-dessous de 8,8 dB.

Comme il ressort de la Fig. 3, le canal SARR sur 406 MHz est modulé en phase sur une porteuse descendante à 1 544,5 MHz aux fins de détection et traitement par les terminaux LEOLUT. Le gain d'antenne et la température de bruit du système sont respectivement de 26,7 dB et 173,8 K pour un terminal LEOLUT.

Le signal de la RLS présente un angle d'élévation par rapport à l'engin spatial de  $5^\circ$ . En l'absence de sources de brouillage externes, le rapport total  $C/N_0$  est de 38,8 dB-Hz, soit un  $E_b/N_0$  de 12,8 dB. Compte tenu des pertes de mise en œuvre et de démodulation des données de la radiobalise ainsi que des gains de traitement, cela donne un rapport effectif  $E_b/N_0$  de 10,8 dB. Comme il faut que sur le canal le rapport total  $E_b/(N_0 + I_0)$  soit d'au moins 8,8 dB pour garantir la qualité de fonctionnement minimale, il n'est pas possible qu'un brouillage large bande sur la liaison descendante réduise le rapport global porteuse sur bruit, plus densité de brouillage ( $C/(N_0 + I_0)_{total}$ ) de plus de 2,0 dB.

Puisqu'en l'absence de brouillage le rapport global  $C/N_0$  est égal à 38,8 dB-Hz, le brouillage à caractère de bruit large bande sur la liaison descendante qui le dégrade de 2,0 dB donnerait un rapport  $(C/(N_0 + I_0))_{total}$  de:

$$\begin{aligned} (C/(N_0 + I_0))_{total} &= (C/N_0)_{total} - 2,0 \text{ dB} \\ &= 38,8 \text{ dB-Hz} - 2,0 \text{ dB} \\ &= 36,8 \text{ dB-Hz} \end{aligned}$$

Le rapport  $(C/(N_0 + I_0))_{total}$  se calcule à partir des rapports porteuse sur bruit, plus densité de brouillage des liaisons montante et descendante, comme suit:

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

Etant donné que la présente analyse ne concerne que le brouillage sur la liaison descendante, l'équation ci-dessus se simplifie comme suit:

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

Si  $(C/(N_0 + I_0))_{total} = 36,8$  dB-Hz et  $(C/N_0)_{\uparrow} = 41,3$  dB-Hz, on obtient un rapport  $(C/(N_0 + I_0))_{\downarrow}$  de 38,7 dB-Hz (voir ci-dessous):

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

soit

$$C/(N_0 + I_0)_{\downarrow} = 10 \log ((10^{-36,8/10} - 10^{-41,3/10})^{-1})$$

de sorte que

$$C/(N_0 + I_0)_{\downarrow} = 38,7 \text{ dB-Hz}$$

La densité spectrale de la puissance de bruit de la liaison descendante en l'absence de brouillage à l'entrée de l'AFB vaut  $N_0 = k T$ , où  $k$  est la constante de Boltzmann. En conséquence,  $N_0 = -228,6 + 22,4 = -206,2$  dB(W/Hz).

Le rapport  $(C/N_0)_{\downarrow}$  étant égal à 42,5 dB et  $(N_0)_{\downarrow}$  à  $-206,2$  dB(W/Hz),  $C_{\downarrow}$  est égal à  $-163,7$  dBW.

La densité spectrale maximale de la puissance de brouillage admissible pouvant être causé sur la liaison descendante par l'ensemble des émetteurs brouilleurs,  $I_0(\text{max})$ , mesurée à l'entrée de l'AFB récepteur du terminal LEOLUT, dans la bande 1 544-1 545 MHz utilisée pour la liaison descendante du canal SARR sur 406 MHz, vaut:

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

soit

$$I_0(\text{max}) = 10 \log (10^{(-163,7 - 38,7) / 10} - 10^{-206,2 / 10})$$

de sorte que

$$I_0(\text{max}) = -204,7 \text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable de décrire les critères de protection en termes de seuil de brouillage spfd exprimé en dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)) à l'entrée de l'antenne du terminal LEOLUT. L'ouverture d'antenne effective,  $A_e$ , ayant un gain  $G$  vaut  $A_e = G\lambda^2 / 4\pi$ . Pour les antennes des terminaux LEOLUT dont le gain est de 26,7 dB, l'ouverture effective est de 1,4 m<sup>2</sup>. Le brouillage maximum cumulatif acceptable exprimé en termes de spfd vaut:

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

En supposant  $L_{\text{Ligne}} = 0$

$$\text{spfd} = -204,7 - 0 - 10 \log (1,4) = -206,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$$

Le niveau maximum du brouillage à caractère de bruit large bande dans les bandes traitées par des terminaux LEOLUT pour le canal SARR sur 406 MHz ne doit pas excéder  $-206,2$  dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)).

#### **4 Procédure pour calculer le niveau de brouillage causé dans la bande 1 544-1 545 MHz aux terminaux LEOLUT recevant le canal SARR sur 406 MHz**

Il convient d'examiner la largeur de bande à l'émission pour déterminer si l'énergie est émise dans les gammes de fréquences traitées par les terminaux LEOLUT pour le canal SARR sur 406 MHz (c'est-à-dire 1 544,58-1 544,80 MHz et 1 544,42-1 544,20 MHz), en faisant particulièrement attention, en analysant l'incidence des systèmes mobiles (par exemple, satellites non géostationnaires et émetteurs embarqués), de tenir compte des effets du décalage Doppler qu'ils génèrent par leur déplacement.

On calculera ensuite le niveau de brouillage provenant de toutes les sources qui émettent de l'énergie dans la bande, exprimée en termes de spfd au niveau de l'antenne du terminal LEOLUT. Le niveau cumulé de toutes les sources de brouillage ne doit pas excéder  $-206,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  où que ce soit dans cette gamme.

Le niveau ci-dessus a été déterminé au moyen d'une antenne de terminal LEOLUT polarisée circulairement à gauche, d'un gain sur axe de 26,7 dBi. Selon les systèmes, il faudrait, pour établir l'incidence du brouillage, tenir compte des considérations de discrimination d'antenne, de polarisation, etc.

### **Annexe 4**

#### **Critères de protection dans la bande 1 544-1 545 MHz des terminaux GEOLUT du système Cospas-Sarsat qui reçoivent des signaux de RLS relayés par des satellites MSG**

##### **1 Introduction**

Les satellites MSG sont pourvus de répéteurs de recherche et de sauvetage du système Cospas-Sarsat, qui reçoivent de RLS sur 406 MHz des signaux qu'il relaient à destination des terminaux GEOLUT du système Cospas-Sarsat sur des liaisons descendantes dans la bande 1 544-1 545 MHz. Conformément aux dispositions du RR, la bande 1 544-1 545 MHz est attribuée au SMS, dans le sens espace vers Terre, et est limitée en l'espèce par le numéro 5.356 aux communications de détresse et de sécurité. L'analyse effectuée dans la présente Annexe établit vis-à-vis des brouillages des critères de protection des terminaux GEOLUT qui reçoivent dans la bande 1 544-1 545 MHz des signaux sur la liaison descendante provenant des satellites MSG.

##### **2 Qualité de fonctionnement minimale acceptable pour la détection des signaux de RLS reliés par les satellites MSG**

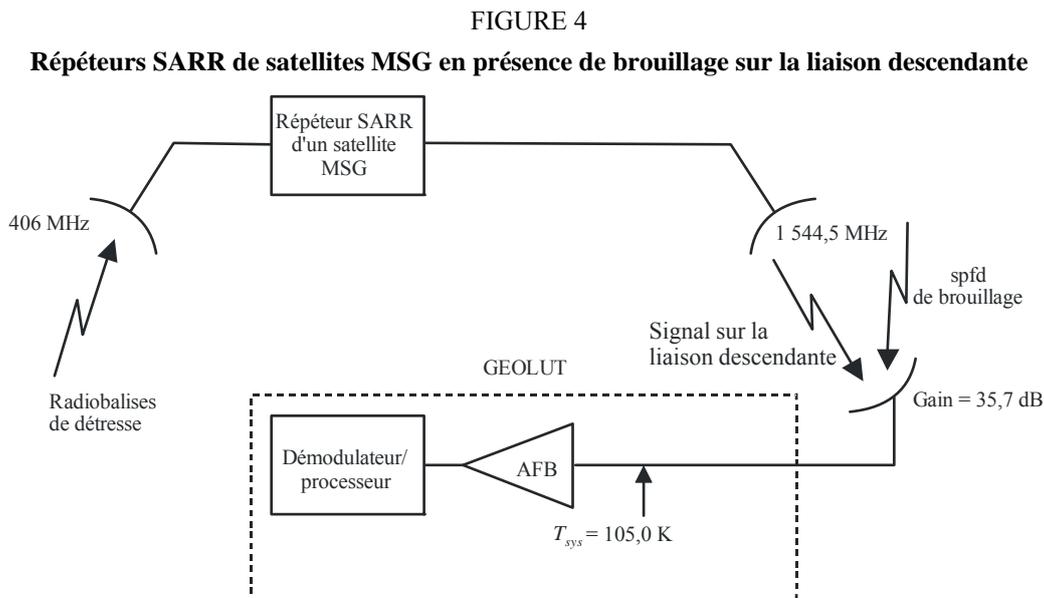
Pour détecter de manière fiable les radiobalises de détresse sur 406 MHz utilisant des répéteurs à satellite MSG sur 406 MHz, le TEB du canal ne doit pas excéder  $5 \times 10^{-5}$ .

### 3 Analyse de la spfd de brouillage

Le TEB d'un canal de télécommunication est égal à l'énergie contenue dans chaque bit de données,  $E_b$ , rapporté à la densité de bruit. La densité de bruit totale est la somme du bruit provoqué par l'équipement Cospas-Sarsat,  $N_0$  et du bruit causé par le brouillage provenant d'autres systèmes,  $I_0$ . La Fig. 4 illustre le canal SARR sur 406 MHz des satellites MSG en présence de brouillage sur la liaison descendante.

Pour obtenir un TEB de  $5 \times 10^{-5}$ , il faut que le rapport de l'énergie par bit sur le bruit, plus la densité de brouillage ( $E_b/(N_0 + I_0)$ ) au niveau du démodulateur du terminal GEOLUT soit égal ou supérieur à 8,8 dB. La présente analyse vise à déterminer la quantité maximale de brouillage à caractère de bruit large bande, exprimée en termes de spfd, par rapport à l'entrée de l'antenne du terminal GEOLUT, pouvant être supportée sans que la qualité de la liaison globale  $E_b/(N_0 + I_0)$  passe au-dessous de 8,8 dB.

Comme il ressort de la Fig. 4, les répéteurs SARR des satellites MSG reçoivent des signaux des radiobalises de détresse sur 406 MHz et les relaient sur une liaison descendante de  $1\,544,5\text{ MHz} \pm 100\text{ kHz}$  aux fins de détection et traitement par les terminaux GEOLUT. Le gain d'antenne et la température de bruit du système sont respectivement de 35,7 dB et 105,0 K pour un terminal GEOLUT d'un satellite MSG.



M1 731-04

Le signal de la RLS présente un angle d'élévation par rapport à l'engin spatial de  $5^\circ$ . En l'absence de sources de brouillage externes, le rapport total  $C/N_0$  est de 27,4 dB-Hz, soit un  $E_b/N_0$  de 1,4 dB. Compte tenu des pertes de mise en œuvre et de démodulation des données de la radiobalise ainsi que des gains de traitement au niveau du terminal GEOLUT, cela donne un rapport effectif  $E_b/N_0$  de 8,9 dB. Comme il faut que sur le canal le rapport total  $E_b/(N_0 + I_0)$  soit d'au moins 8,8 dB pour garantir la qualité de fonctionnement minimale, il n'est pas possible que l'accumulation de brouillages large bande sur la liaison descendante réduise le rapport global porteuse sur bruit, plus densité de brouillage de plus de 0,1 dB.

Puisqu'en l'absence de brouillage le rapport global  $C/N_0$  est égal à 27,4 dB-Hz, le brouillage à caractère de bruit large bande sur la liaison descendante qui le dégrade de 0,1 dB donnerait un rapport total porteuse sur bruit, plus densité de brouillage  $(C/(N_0 + I_0))_{total}$  de:

$$\begin{aligned}(C/(N_0 + I_0))_{total} &= (C/N_0)_{total} - 0,1 \text{ dB} \\ &= 27,4 \text{ dB-Hz} - 0,1 \text{ dB} \\ &= 27,3 \text{ dB-Hz}\end{aligned}$$

Le rapport  $(C/(N_0 + I_0))_{total}$  se calcule à partir des rapports porteuse sur bruit, plus densité de brouillage des liaisons montante et descendante, comme suit:

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

Etant donné que la présente analyse ne concerne que le brouillage sur la liaison descendante, l'équation ci-dessus se simplifie comme suit:

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

Si  $(C/(N_0 + I_0))_{total} = 27,3$  dB-Hz et  $(C/N_0)_{\uparrow} = 28,1$  dB-Hz, on obtient un rapport  $(C/(N_0 + I_0))_{\downarrow}$  de 35,0 dB-Hz (voir ci-dessous):

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

soit

$$C/(N_0 + I_0)_{\downarrow} = 10 \log ((10^{-27,3/10} - 10^{-28,1/10})^{-1})$$

de sorte que

$$C/(N_0 + I_0)_{\downarrow} = 35,0 \text{ dB-Hz}$$

La densité spectrale de la puissance de bruit de la liaison descendante en l'absence de brouillage à l'entrée de l'AFB vaut  $N_0 = kT$ , où  $k$  est la constante de Boltzmann. En conséquence,  $N_0 = -228,6 + 20,2 = -208,4$  dB(W/Hz).

Le rapport  $(C/N_0)_{\downarrow}$  étant égal à 35,5 dB et  $(N_0)_{\downarrow}$  à  $-208,4$  dB(W/Hz),  $C_{\downarrow}$  est égal à  $-171,0$  dBW.

La densité spectrale maximale de la puissance de brouillage admissible pouvant être causé sur la liaison descendante par l'ensemble des émetteurs brouilleurs,  $I_0(\text{max})$ , mesurée à l'entrée de l'AFB récepteur du terminal GEOLUT, sur la totalité de la bande  $1\,544,5 \text{ MHz} \pm 100 \text{ kHz}$ , vaut:

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

soit

$$I_0(\text{max}) = 10 \log (10^{(-171,0 - 35,0) / 10} - 10^{-208,4 / 10})$$

de sorte que

$$I_0(\text{max}) = -209,7 \text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable de décrire les critères de protection en termes de seuil de brouillage (spfd) exprimé en dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)) à l'entrée de l'antenne du terminal GEOLUT. L'ouverture d'antenne effective,  $A_e$ , ayant un gain  $G$  vaut  $A_e = G\lambda^2 / 4\pi$ . L'antenne du terminal GEOLUT a un gain de 35,7 dB, de sorte que l'ouverture effective est de 12,0 m<sup>2</sup>. Le brouillage maximum cumulatif acceptable exprimé en termes de spfd vaut:

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

En supposant  $L_{Ligne} = 0$

$$\begin{aligned} \text{spfd} &= -209,7 - 0 - 10 \log(12,0) \\ &= -220,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))} \end{aligned}$$

Le niveau maximum du brouillage à caractère de bruit large bande dans le canal du terminal GEOLUT à  $1\,544,5 \text{ MHz} \pm 100 \text{ kHz}$  ne doit pas excéder  $-220,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ .

#### **4 Procédure pour calculer le niveau de brouillage causé à la liaison descendante du canal SARR sur 406 MHz d'un satellite MSG**

Les brouillages causés au système Cospas-Sarsat proviennent le plus souvent de rayonnements hors bande émis par des services dans les bandes adjacentes ou presque, par exemple les attributions faites au SMS dans le sens espace vers Terre.

Il convient d'examiner la largeur de bande à l'émission pour déterminer si l'énergie est émise dans la gamme de fréquences  $1\,544,5 \text{ MHz} \pm 100 \text{ kHz}$ , en faisant particulièrement attention, en analysant l'incidence des systèmes mobiles (par exemple, satellites non géostationnaires et émetteurs embarqués), de tenir compte des effets du décalage Doppler qu'ils génèrent par leur déplacement.

On calculera ensuite le niveau de brouillage provenant de toutes les sources qui émettent de l'énergie dans la bande, exprimée en termes de spfd au niveau de l'antenne du terminal GEOLUT. Le niveau cumulatif de toutes les sources de brouillage ne doit pas excéder  $-220,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$  où que ce soit dans cette gamme.

Le niveau ci-dessus se fonde sur un gain sur axe d'antenne du terminal GEOLUT de 35,7 dBi. Selon les systèmes, il faudrait pour établir l'incidence du brouillage tenir compte des considérations de discrimination d'antenne, de polarisation, etc.

## **Annexe 5**

### **Critères de protection dans la bande 1 544-1 545 MHz des terminaux MEOLUT du système Cospas-Sarsat qui reçoivent des signaux de radiobalises de détresse fonctionnant à 406 MHz relayés par des satellites GALILEO**

#### **1 Introduction**

Les satellites GALILEO sont équipés de répéteurs de recherche et de sauvetage Cospas-Sarsat, qui reçoivent des signaux émanant de radiobalises de détresse sur 406 MHz et les relaient aux terminaux MEOLUT du système Cospas Sarsat sur 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 pour les terminaux MEOLUT qui reçoivent les signaux sur la liaison descendante des satellites GALILEO dans la bande 1 544-1 545 MHz.

#### **2 Qualité de fonctionnement minimale acceptable pour la détection des signaux de radiobalises de détresse sur 406 MHz relayés par les satellites GALILEO**

Pour détecter de manière fiable les radiobalises de détresse sur 406 MHz utilisant des répéteurs à satellite GALILEO sur 406 MHz, le TEB du canal ne doit pas excéder  $5 \times 10^{-5}$ .

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

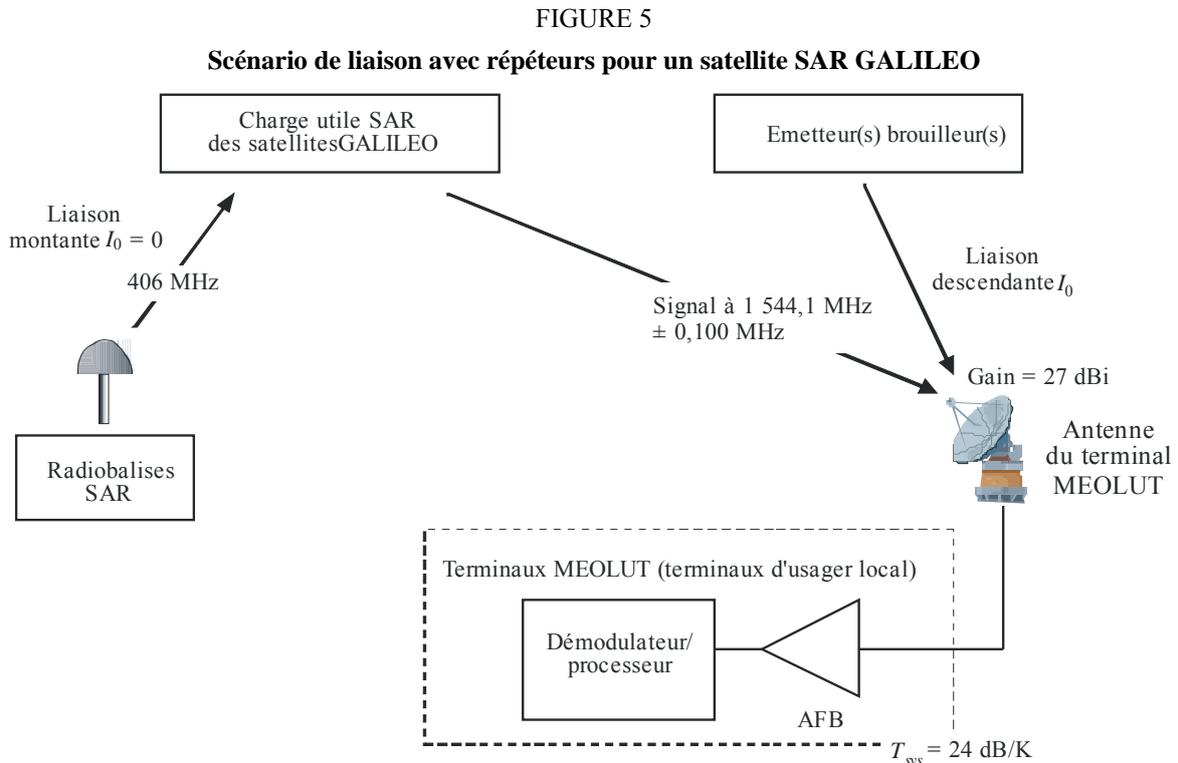
Le TEB d'un canal de communication est égal à l'énergie contenue dans chaque bit de données,  $E_b$ , rapportée à la densité de bruit. La densité de bruit totale est la somme du bruit thermique,  $N_0$ , et du bruit causé par le brouillage provenant d'autres systèmes,  $I_0$ . La Fig. 5 illustre le canal de charge utile SAR sur 406 MHz des satellites GALILEO en présence de brouillage sur la liaison descendante.

Pour obtenir un TEB de  $5 \times 10^{-5}$ , il faut que le rapport de l'énergie par bit sur le bruit plus la densité de brouillage ( $E_b/(N_0 + I_0)$ ) au niveau du démodulateur du terminal MEOLUT soit égal ou supérieur à 8,8 dB. La présente analyse vise à déterminer la quantité maximale de brouillage à caractère de bruit large bande, exprimée en termes de spfd, par rapport à l'entrée de l'antenne du terminal MEOLUT, pouvant être supportée sans que la qualité de la liaison totale  $E_b/(N_0 + I_0)$  passe au-dessous de 8,8 dB.

Le rapport  $C/(N_0 + I_0)$  total requis à 400 bit/s (26 dB/s) est:

$$C/(N_0 + I_0)_{total} = 8,8 + 10 \log_{10}(400) = 34,8 \text{ dB-Hz}$$

Comme il ressort de la Fig. 5, la charge utile SAR des satellites GALILEO reçoit des signaux des radiobalises de détresse sur 406 MHz qui sont convertis en liaison descendante à  $1\,544,1 \text{ MHz} \pm 100 \text{ kHz}$  aux fins de détection et traitement par les terminaux MEOLUT. Le gain d'antenne et la température de bruit du système sont respectivement de 27 dBi et 253 K (24 dB(K)) pour un terminal MEOLUT d'un satellite SAR/GALILEO. Le rapport  $G/T$  correspondant est de 3 dB/K.



Le signal de la balise présente un angle d'élévation par rapport à l'engin spatial de 5°. En l'absence de sources de brouillage externes, et conformément à l'Annexe 6 (Calcul des bilans de liaison Cospas-Sarsat), le rapport total  $C/N_0$  est de 35,4 dB-Hz, soit un  $E_b/N_0$  de 9,4 dB (35,4 dB-Hz – 26 dB/s) à 400 bit/s. Compte tenu de la perte de mise en œuvre (0,5 dB), de la perte de modulation des données de la radiobalise (1,0 dB) et du gain de traitement (2,0 dB) au niveau du terminal MEOLUT, cela donne un rapport effectif  $E_b/N_0$  de 9,9 dB. Comme il faut que sur le canal le rapport total  $E_b/(N_0 + I_0)$  soit d'au moins 8,8 dB pour garantir la qualité de fonctionnement minimale, il n'est pas possible que l'accumulation de brouillages large bande sur la liaison descendante réduise le rapport global porteuse sur bruit, plus densité de brouillage de plus de 1,1 dB.

Puisqu'en l'absence de brouillage le rapport total  $C/N_0$  est égal à 34,5 dB-Hz, le brouillage à caractère de bruit large bande sur la liaison descendante qui le dégrade de 1,1 dB donnerait un rapport total porteuse sur bruit, plus densité de brouillage  $(C/(N_0 + I_0))_{total}$  de 34,3 dB-Hz.

Le rapport  $(C/(N_0 + I_0))_{total}$  se calcule à partir des rapports porteuse sur bruit, plus densité de brouillage des liaisons montante et descendante, comme suit:

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

Etant donné que la présente analyse ne concerne que le brouillage sur la liaison descendante, l'équation ci-dessus se simplifie comme suit:

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

Si  $(C/(N_0 + I_0))_{total} = 34,3$  dB-Hz et  $(C/N_0)_{\uparrow} = 35,7$  dB-Hz, on obtient un rapport  $(C/(N_0 + I_0))_{\downarrow}$  de 39,9 dB-Hz (voir ci-dessous):

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

soit

$$C/(N_0 + I_0)_{\downarrow} = 10 \log ((10^{-34,3/10} - 10^{-35,7/10})^{-1})$$

de sorte que

$$C/(N_0 + I_0)_{\downarrow} = 39,9 \text{ dB-Hz}$$

La densité spectrale de la puissance de bruit sur la liaison descendante en l'absence de brouillage à l'entrée de l'AFB vaut  $N_0 = kT$ , où  $k$  est la constante de Boltzmann. En conséquence,  $N_0 = -228,6 + 24 = -204,6$  dB(W/Hz).

Le rapport  $(C/N_0)_{\downarrow}$  étant égal à 46,7 dB et  $(N_0)_{\downarrow}$  à -206,4 dB(W/Hz),  $C_{\downarrow}$  est égal à -157,9 dBW.

La densité spectrale maximale de la puissance de brouillage admissible pouvant être causé sur la liaison descendante par l'ensemble des émetteurs brouilleurs,  $I_0(\text{max})$ , mesurée à l'entrée de l'AFB récepteur du terminal MEOLUT, sur la totalité de la bande 1 544,1 MHz ± 100 kHz, vaut:

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

soit

$$I_0(\text{max}) = 10 \log (10^{(-157,9 - 39,9)/10} - 10^{-204,6/10})$$

de sorte que

$$I_0(\text{max}) = -198,8 \text{ dB(W/Hz)}$$

Il est souhaitable de décrire les critères de protection en termes de seuil de brouillage spfd exprimé en dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)) à l'entrée de l'antenne du terminal MEOLUT. L'ouverture d'antenne effective,  $A_e$ , ayant un gain  $G$  vaut  $A_e = G\lambda^2/4\pi$ . L'antenne du terminal MEOLUT a un gain de 27 dBi, de sorte que l'ouverture effective est de 1,5 m<sup>2</sup>. Le brouillage maximum cumulatif acceptable exprimé en termes de spfd vaut:

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

En supposant  $L_{\text{Ligne}} = 0$

$$\text{spfd} = -200,6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$$

Le niveau maximum du brouillage à caractère de bruit large bande dans le canal du terminal MEOLUT du satellite SAR/GALILEO à 1 544,1 MHz  $\pm$  100 kHz ne doit pas excéder -200,6 dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)).

#### **4 Procédure pour calculer le niveau de brouillage causé à la liaison descendante du canal de charge utile SAR sur 406 MHz d'un satellite GALILEO**

Les brouillages causés au système Cospas-Sarsat proviennent le plus souvent de rayonnements hors bande émis par des services dans les bandes adjacentes ou proches des bandes adjacentes.

Il convient d'examiner la largeur de bande à l'émission pour déterminer si l'énergie est émise dans la gamme de fréquences 1 544,1 MHz  $\pm$  100 kHz, en faisant particulièrement attention, en analysant l'incidence des systèmes mobiles (par exemple, satellites non géostationnaires et émetteurs embarqués), de tenir compte des effets du décalage Doppler qu'ils génèrent par leur déplacement.

On calculera le niveau de brouillage provenant de toutes les sources qui émettent de l'énergie dans la bande, exprimée en termes de spfd au niveau de l'antenne du terminal MEOLUT. Le niveau cumulatif de toutes les sources de brouillage ne doit pas excéder -200,6 dB(W/(m<sup>2</sup> · Hz)) où que ce soit dans cette gamme.

Le niveau ci-dessus se fonde sur un gain sur axe d'antenne du terminal MEOLUT de 27 dBi. Selon les systèmes, il faudrait pour établir l'incidence du brouillage tenir compte des considérations de discrimination d'antenne, de polarisation et d'autres éléments techniques.

## Annexe 6

TABLEAU 2

## Bilans de liaison du système Cospas-Sarsat

| Paramètre, unité                                     | Voir note | LEOSAR                    |                            |                            | GEOSAR                   |                         | MEOSAR                      |
|--|-----------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|  |           | PDS des satellites Sarsat | SARR des satellites Sarsat | SARR des satellites Cospas | SARR des satellites GOES | SARR des satellites MSG | SARR des satellites GALILEO |
|  |           | Niveau bas                | Niveau bas                 | Niveau bas                 | Niveau bas               | Niveau bas              | Niveau bas                  |
| <b>Liaison montante (SRL vers engin spatial)</b>     |           |                           |                            |                            |                          |                         |                             |
| Largeur de la bande de fréquences SAR (kHz)          | 1         |                           | 80,0                       |                            |                          | 100,0                   | 80,0                        |
| Débit de données, Rb (Hz)                            |           |                           | 400,0                      |                            |                          |                         |                             |
| Fréquence (MHz)                                      | 2         |                           | 406,05                     |                            |                          |                         |                             |
| Puissance d'émission (dBW)                           | 3         |                           | 5,0                        |                            |                          |                         |                             |
| Gain de l'antenne d'émission (dBi)                   | 4         |                           | -2,0                       |                            |                          |                         |                             |
| p.i.r.e. (dBW)                                       |           |                           | 3,0                        |                            |                          |                         |                             |
| Angle d'élévation (degrés)                           | 5         |                           | 5,0                        |                            |                          |                         |                             |
| Longueur du trajet (km)                              |           |                           | 2 900,0                    | 3 200,0                    | 41 126,3                 |                         | 28 354,4                    |
| Affaiblissement sur le trajet (dB)                   |           |                           | 153,8                      | 154,7                      | 176,9                    |                         | 173,7                       |
| Affaiblissement de polarisation (dB)                 | 6         |                           |                            |                            | 4,9                      | 4,5                     | 4,0                         |
| Affaiblissement des évanouissements (dB)             | 6a        |                           | 2,5                        |                            |                          |                         | 2,5                         |
| G/T de l'antenne de réception du satellite (dB/K)    | 7         |                           | -34,0                      |                            | -18,5                    | -22,1                   | -15,7                       |
| Constante de Boltzmann (dB(J/K))                     |           |                           | -228,6                     |                            |                          |                         |                             |
| C/N <sub>0</sub> sur la liaison montante (dBHz)      |           |                           | 41,3                       | 40,4                       | 31,3                     | 28,1                    | 35,7                        |
| <b>Liaison descendante (espace vers Terre)</b>       |           |                           |                            |                            |                          |                         |                             |
| Fréquence pour la liaison descendante (MHz)          | 8         | 1 544,5                   | 1 544,5 ± 40 kHz           |                            |                          | 1 544,5± 50 kHz         | 1 544,1± 40 kHz             |
| p.i.r.e. d'émission (dBW)                            | 9         | 7,1                       |                            | 6,2                        | 15,0                     | -18,9                   | 1,6                         |
| Affaiblissement dû au partage de puissance (dB)      | 10        |                           | 15,3                       | 15,5                       | 18,3                     |                         | /                           |
| Perte de modulation (dB)                             | 11        | 14,1                      |                            | 6,0                        | 3,54                     |                         | /                           |
| Angle d'élévation (degrés)                           | 12        | 5,0                       |                            |                            |                          |                         |                             |
| Longueur du trajet (km)                              |           | 2 900,0                   |                            | 3 200,0                    | 41 126,3                 |                         | 28 354,4                    |
| Affaiblissement sur le trajet (dB)                   |           | 165,5                     |                            | 166,4                      | 188,46                   |                         | 185,3                       |
| G/T de l'antenne de réception du terminal LUT (dB/K) | 13        | 4,3                       |                            |                            | 11,0                     | 15,5                    | 3,0                         |
| Affaiblissement de polarisation (dB)                 | 14        |                           |                            |                            | 0,35                     | 0,2                     | 0,2                         |
| Autres affaiblissements (dB)                         |           | 2,6                       |                            |                            |                          |                         | 1,0                         |
| Perte de pointage (dB)                               | 15        |                           |                            |                            | 0,20                     | 1,0                     | 0,1                         |

TABLEAU 2 (fin)

| Paramètre, unité   | Voir note | LEOSAR                    |                            |                            | GEOSAR                   |                         | MEOSAR                      |
|--|-----------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|  |           | PDS des satellites Sarsat | SARR des satellites Sarsat | SARR des satellites Cospas | SARR des satellites GOES | SARR des satellites MSG | SARR des satellites GALILEO |
|  |           | Niveau bas                | Niveau bas                 | Niveau bas                 | Niveau bas               | Niveau bas              | Niveau bas                  |
| Affaiblissement des évanouissements de courte durée (dB)                   | 16        | 10,0                      |                            |                            |                          |                         |                             |
| $C/N_0$ sur la liaison descendante (dBHz)                                  |           | 47,8                      | 42,5                       | 48,6                       | 43,8                     | 35,5                    | 46,7                        |
| $C/N_0$ total (dBHz)   |           |                           | 38,8                       | 39,8                       | 31,1                     | 27,4                    | 35,4                        |
| Débit de données, $R_b$ (dBHz)   | 17        | 33,8                      | 26,0                       |                            |                          |                         |                             |
| $E_b/N_0$ (dB)   |           | 14,0                      | 12,8                       | 13,8                       | 5,1                      | 1,4                     | 9,4                         |
| Perte de mise en œuvre (dB)  |           | 1,0                       |                            |                            |                          | 0,5                     |                             |
| Perte de modulation des données de la balise, $b = 1,1$ rad (dB)           | 18        |                           | 1,0                        |                            |                          |                         |                             |
| Gain de codage (dB)  |           | 0,0                       |                            |                            |                          | 2,0                     |                             |
| Gain de traitement (5 salves) (dB)   | 19        |                           |                            |                            | 7,0                      |                         | 0,0                         |
| $E_b/N_0$ disponible (dB)  |           | 13,0                      | 10,8                       | 11,8                       | 10,1                     | 8,9                     | 9,9                         |
| $(E_b/N_0)$ théorique pour des TEB de $10^{-6}$ et $5 \times 10^{-5}$ (dB) | 20        | 10,6                      | 8,8                        |                            |                          |                         |                             |
| Marge (dB)   | 21        | 2,4                       | 2,0                        | 3,0                        | 1,3                      | 0,1                     | 1,1                         |

## Notes relatives au Tableau 2:

- 1 Largeur de bande nominale à 1 dB du récepteur du satellite, centrée à 406,05 MHz.
- 2 Les fréquences utilisées par la balise sont comprises entre 406,022 et 406,079 MHz.
- 3 La puissance de l'émetteur de la balise peut aller de 5 à 9 dBW; par conséquent, on utilise la puissance la plus faible (5 dBW) pour calculer le bilan de liaison. Par ailleurs, on suppose que deux autres balises fonctionnant nominale à 406 MHz émettent simultanément des salves de données, avec les caractéristiques suivantes: angle d'élévation de  $40^\circ$  par rapport au satellite, puissance d'émission de 7 dBW, gain d'antenne de 0 dB, affaiblissement d'émission de 1 dB; on utilise donc une p.i.r.e. de 6 dBW sur la liaison montante (les émissions de ces balises supplémentaires ont une incidence sur le partage de puissance de l'émetteur du satellite).
- 4 L'antenne d'émission est à polarisation linéaire.
- 5 L'angle d'élévation de  $5^\circ$  depuis la balise vers le satellite correspond à la limite nominale de la zone de couverture et l'altitude nominale est de 35 786 km pour les satellites GEOSAR, de 850 km pour les satellites Sarsat (entre 830 et 870 km) et de 1 000 km pour les satellites Cospas.
- 6 Affaiblissement de polarisation dû à la polarisation linéaire de l'antenne de la balise et à l'évanouissement du signal sur la liaison montante. L'affaiblissement de polarisation sur la liaison LEOSAR est compris dans le gain d'antenne et donc pris en compte dans le G/T de l'antenne d'émission du satellite.
  - 6a Une tolérance de 2,5 dB pour l'évanouissement du signal (dû essentiellement à la scintillation) est prévue pour la liaison (voir le document C/S R.012, Annexe J. Il est possible de se procurer gratuitement un exemplaire de ce document sur le site web du secrétariat de Copsas-Sarsat (E-mail: [cospas\\_sarsat@imso.org](mailto:cospas_sarsat@imso.org) <http://www.cospas-sarsat.org/>)).
- 7 Rapport G/T du récepteur du satellite sur 406 MHz rapporté à l'entrée de l'AFB, pour lequel le gain nominal et la température de bruit sont les suivants:

GOES:  $G = 7,05$  dB et temp. de bruit = 359 K.  
MSG:  $G = 3,0$  dB et temp. de bruit = 326 K.  
Sarsat:  $G = -4,0$  dB et temp. de bruit = 1 000 K.  
Cospas:  $G = -4,0$  dB et temp. de bruit = 1 000 K.
- 8 La bande de fréquences 1 544-1 545 MHz est celle attribuée pour les liaisons descendantes pour la détresse et la sécurité.
- 9 La p.i.r.e. est calculée à partir de la puissance de l'émetteur du satellite et du gain de l'antenne d'émission. Dans le cas des satellites MSG et GALILEO, on connaît la p.i.r.e. de la balise considérée (par conséquent, la totalité du partage de puissance avec d'autres balises et la température de bruit sont incluses).

- 10 L'affaiblissement dû au partage de puissance correspond à la part de la p.i.r.e. d'émission attribuée au signal de cette balise de détresse. «L'affaiblissement dû au partage de puissance» est inclus dans le paramètre «p.i.r.e. d'émission» dans le cas des satellites MSG et GALILEO.
  - 11 La perte de modulation est la part de la p.i.r.e. d'émission attribuée au répéteur sur 406 MHz à bord du satellite, tel qu'établi par l'indice de modulation de la phase (ne concerne pas le satellite MSG et les satellites MEOSAR, qui ont une conversion de fréquence directe).
  - 12 L'angle d'élévation de 5° depuis le terminal LUT vers le satellite correspond à la limite nominale de la zone de couverture.
  - 13 G/T utilise les valeurs nominales pour chaque type de terminal LUT.
  - 14 Perte de polarisation pour chaque type d'antenne de terminal LUT.
  - 15 Perte due au pointage de l'antenne du terminal LUT.
  - 16 Le niveau de la porteuse diminue de 10 dB pendant une courte durée en raison d'une modulation élevée dans d'autres canaux avant que la commande automatique de gain réponde.
  - 17 Le débit de données est de 400 bits/s pour l'émission de la balise et de 2 400 bits/s pour le PDS.
  - 18 Perte de modulation des données de la balise, puisqu'une partie de la puissance est retenue à dessein dans la porteuse étant donné que l'indice de modulation est fixé à  $1,1 \pm 0,1$  radian.
  - 19 Gain de traitement dû à l'intégration de plusieurs salves de données de la balise au niveau du terminal LUT. Dans le cas de satellites MEOSAR, on prend pour hypothèse une démodulation à salve unique (voir le Document C/S R.012, Annexe J. Il est possible de se procurer gratuitement un exemplaire de ce document sur le site web du secrétariat de Cospas-Sarsat (E-mail: [cospas\\_sarsat@imso.org](mailto:cospas_sarsat@imso.org) <http://www.cospas-sarsat.org/>)).
  - 20 Le TEB du canal utilisé par les répéteurs est de  $5,0 \times 10^{-5}$ , comme indiqué dans la Recommandation UIT-R M.1478, tandis qu'il est de  $1,0 \times 10^{-6}$  pour le canal du PDS.
  - 21 La marge correspond au signal supplémentaire restant qui peut être utilisé en cas de brouillage.
-