

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R M.1747
(03/2006)**

Protection du service d'exploration de la Terre par satellite (passif) dans la bande 1 400-1 427 MHz contre les rayonnements non désirés des liaisons de connexion du service mobile par satellite exploitées dans les bandes 1 390-1 392 MHz (Terre vers espace) et 1 430-1 432 MHz (espace vers Terre)

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
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, 2010

© UIT 2010

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.1747*

**Protection du service d'exploration de la Terre par satellite (passif)
dans la bande 1 400-1 427 MHz contre les rayonnements non désirés
des liaisons de connexion du service mobile par satellite exploitées
dans les bandes 1 390-1 392 MHz (Terre vers espace)
et 1 430-1 432 MHz (espace vers Terre)**

(2006)

Domaine de compétence

La présente Recommandation fixe, pour la protection des satellites du SETS (passif) fonctionnant dans la bande 1 400-1 427 MHz, des niveaux de puissance d'émission de rayonnements non désirés par les liaisons de connexion du service mobile par satellite (SMS) (espace vers Terre) dans la bande 1 430-1 432 MHz et les liaisons de connexion du SMS (Terre vers espace) dans la bande 1 390-1 392 MHz.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la CMR-03 a fait par le numéro 5.339A du Règlement des radiocommunications (RR) une attribution provisoire, à titre secondaire, au SFS pour les liaisons de connexion du service mobile par satellite (SMS) exploitées dans les bandes 1 390-1 392 (Terre vers espace) et 1 430-1 432 MHz (espace vers Terre);
- b) que l'utilisation de ces attributions est limitée aux liaisons de connexion des réseaux à satellite non géostationnaires du SMS ayant des liaisons de service au-dessous de 1 GHz, et que la Résolution 745 (CMR-03) s'applique;
- c) que la bande 1 400-1 427 MHz est attribuée au service d'exploration de la Terre par satellite (SETS) (passif), au service de radioastronomie et au service de recherche spatiale (passif) à titre primaire dans toutes les Régions, et que le numéro 5.340 du RR s'applique également à la bande 1 400-1 427 MHz;
- d) que la Résolution 745 (CMR-03) prévoit la réalisation d'études de compatibilité, comprenant des mesures des émissions provenant d'équipements susceptibles d'être utilisés dans des systèmes opérationnels, afin de démontrer que les systèmes du SMS utilisant cette bande satisfont à tous les critères de protection des services passifs dans la bande 1 400-1 427 MHz;
- e) que la bande 1 400-1 427 MHz convient tout à fait au SETS (passif) pour la mesure de l'humidité du sol, de la salinité à la surface des mers et de la biomasse de la végétation;

* Cette Recommandation a été élaborée conjointement par les Commissions d'études 7 et 8 des radiocommunications, et toute future révision sera également faite conjointement.

- f) que la Recommandation UIT-R RS.1029 établit les critères de protection pour le SETS (passif);
- g) que la Recommandation UIT-R M.1184 établit les caractéristiques techniques des systèmes mobiles par satellite dans les bandes de fréquences au-dessous de 3 GHz, à employer pour établir les critères d'utilisation en partage entre le SMS et d'autres services;
- h) que les études consacrées aux liaisons de connexion du SMS (Terre vers espace), mentionnées dans les Annexes 1 et 2, ont conclu que le critère le mieux adapté pour protéger le SETS (passif) serait une spécification de la densité spectrale de la puissance des rayonnements non désirés applicable aux stations de liaisons de connexion du SMS dans la bande 1 400-1 427 MHz;
- j) qu'il est recommandé de prévoir une marge de 2 dB environ en plus des valeurs obtenues pour une probabilité de brouillage de 0,05% afin de tenir compte du fait qu'on pourra étudier seulement un nombre limité de combinaisons de liaisons de connexion et de capteurs passifs et que les caractéristiques véritables du SMS pourront différer légèrement de celles qui auront été retenues dans les études,

notant

- a) que la réduction des rayonnements non désirés à des niveaux garantissant une protection adéquate des services passifs dans la bande 1 400-1 427 MHz est faisable au moyen de techniques de traitement de la bande de base pour des combinaisons types de débits binaires et de techniques de modulation sans filtre particulier en aval de l'amplificateur de puissance;
- b) qu'il est possible d'utiliser un filtre additionnel en aval de l'amplificateur de puissance lorsque le traitement de la bande de base visé à l'alinéa a) du *notant* ci-dessus n'est pas suffisant pour atteindre les niveaux voulus de rayonnements non désirés;
- c) que le niveau des rayonnements non désirés à l'entrée de l'antenne du satellite de liaisons de connexion du SMS nécessaire pour protéger le service de radioastronomie est inférieur à celui fixé à l'alinéa 1 du *recommande* (voir la Recommandation UIT-R M.1748),

recommande

1 que pour protéger le service d'exploration de la Terre par satellite (passif) dans la bande 1 400-1 427 MHz, les rayonnements non désirés des liaisons de connexion du SMS ne dépassent pas les niveaux de puissance ci-dessous dans la bande 1 400-1 427 MHz:

- –63 dBW à l'entrée de l'antenne de la station terrienne pour les liaisons de connexion du SMS (Terre vers espace) fonctionnant dans la bande 1 390-1 392 MHz;
- –46 dBW à l'entrée de l'antenne du satellite pour les liaisons de connexion du SMS (espace vers Terre) fonctionnant dans la bande 1 430-1 432 MHz.

Annexe 1

**Protection des capteurs du service d'exploration de la Terre par satellite (passif)
dans la bande 1 400-1 427 MHz par rapport aux liaisons de connexion
du service mobile par satellite exploitées dans le SFS
aux environs de 1 400 MHz**

1 Caractéristiques techniques du satellite à capteur passif du SETS

Les fréquences situées à proximité de 1 400 MHz conviennent tout particulièrement pour mesurer le degré d'humidité du sol, la salinité à la surface des mers et la biomasse de la végétation. La NASA met actuellement au point un instrument pour mesurer la salinité à la surface des mers (mission Aquarius) qui procédera à des mesures dans la totalité de la bande hyperfréquence passive en question (1 400 à 1 427 MHz), ainsi qu'un autre instrument pour mesurer le degré d'humidité du sol (mission HYDROS) dans la bande 1 400-1 427 MHz. Les caractéristiques techniques des satellites de détection passive Aquarius et HYDROS sont résumées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

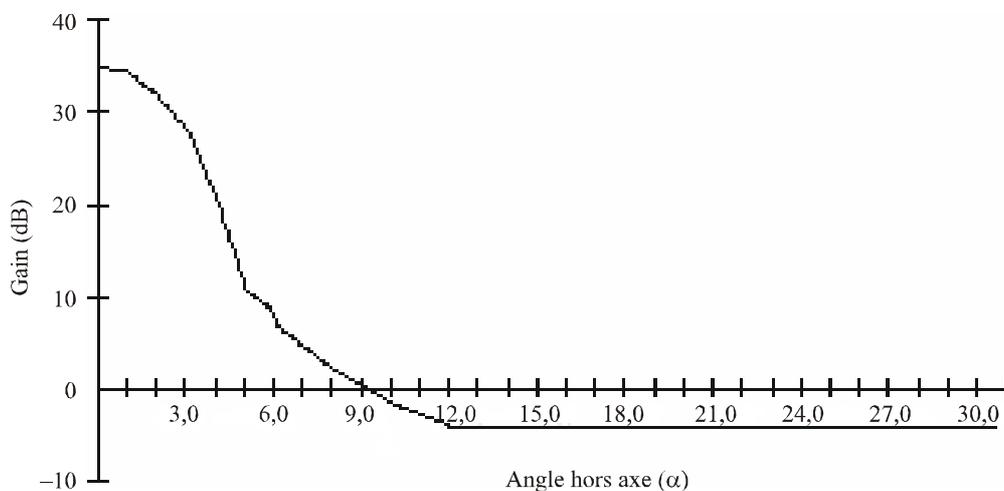
Paramètres des capteurs passifs Aquarius et HYDROS

Paramètre	Aquarius	HYDROS
Gain maximum d'antenne (pour chaque faisceau) (dBi)	31,1	35
Largeur de faisceau de 3 dB (pour chaque faisceau) (degrés)	5,5	2,6
Polarisation d'antenne	Horizontale et verticale	Horizontale et verticale
Pointage de l'antenne (degrés par rapport au nadir)	<u>Faisceau 1</u> En travers de trajectoire: 37,2 Le long de trajectoire: 4,8	40 par rapport au nadir L'antenne balaie aux environs du nadir à 6 rpm avec un temps d'échantillonnage de 72 ms/cellule
	<u>Faisceau 2</u> En travers de trajectoire: 28,9 Le long de trajectoire: -9,5	
	<u>Faisceau 3</u> En travers de trajectoire: 20,7 Le long de trajectoire: 4,8	
Orbite	Altitude de 600 km Inclinaison de 98°	Altitude de 670 km Inclinaison de 98°
Largeur de bande du récepteur (3 dB) (MHz)	25	27
Niveau de brouillage admissible (dB(W/27 MHz))	-174	-174 dB(W/27 MHz)
Pourcentage du temps pendant lequel le niveau de brouillage peut être dépassé (%)	0,1	0,1

Aquarius aura pour mission scientifique d'observer et de modéliser les processus mettant en rapport les variations de la salinité avec les changements climatiques dans les cycles hydrologiques, et ce au niveau mondial, et de comprendre comment ces variations influent sur la circulation océanique générale; l'objectif scientifique de HYDROS sera de mesurer le degré d'humidité du sol, variable fondamentale du cycle hydrologique, dont l'influence est importante en termes d'évaporation, d'infiltration et de ruissellement.

HYDROS utilise une antenne à balayage désaxée de 40° par rapport au nadir; son diagramme de gain est illustré à la Fig. 1. Aquarius utilise un radiomètre à balayage transversal à trois faisceaux de détection, dont chacun présente un diagramme de gain semblable à celui de HYDROS. Chaque faisceau représente un seul pixel avec un temps d'intégration moyen de 10 s.

FIGURE 1
Diagramme d'antenne de HYDROS



1747-01

2 Caractéristiques techniques du système SMS

On envisage d'utiliser les bandes 1 390-1 392 MHz et 1 430-1 432 MHz pour assurer des liaisons de connexion entre des satellites du service mobile non géostationnaires et des stations terriennes fixes situées dans le monde entier. Ces liaisons permettraient de transmettre et recevoir des données à destination ou en provenance d'une constellation de satellites du SMS, et assureraient en outre des fonctions de télémétrie, de poursuite et de commande (TPC).

Quatre constellations du SMS comprenant 128 satellites ont été prises en considération dans le cadre de la présente étude, comme l'illustre le Tableau 2. Les paramètres pour les constellations «L», «M», «Q» et «S» ont été tirés de l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R M.1184; le nombre et l'inclinaison des satellites de la constellation «Q» ont été légèrement modifiés pour les rendre conformes aux systèmes réellement prévus: aux fins de la présente étude, le nombre de satellites a été ramené de 32 à 26 et l'inclinaison de 24 des 26 satellites a été portée de 51° à 66° .

Les caractéristiques techniques des liaisons de connexion Terre vers espace et espace vers Terre du SMS utilisées aux fins de la présente étude sont décrites respectivement dans les Tableaux 3 et 4. On a pris comme hypothèse qu'elles étaient identiques pour les quatre constellations SMS, et elles ont été empruntées à différentes études de partage menées par l'UIT-R.

A gauche de la Fig. 2 est illustré le diagramme de gain de l'antenne de liaison de connexion, polarisée circulairement, du satellite SMS non OSG utilisé aux fins de la présente étude pour les deux fonctions d'émission et de réception; à droite est illustré le diagramme de gain de l'antenne de

la station terrienne SMS, tiré de l'Annexe III, Appendice 8 du RR. Chaque constellation SMS étant prise en charge par 15 stations terriennes, distribuées aux quatre coins de la planète sur des sites représentatifs, on a au total 60 stations terriennes.

TABLEAU 2
Caractéristiques des constellations SMS

	Recommandation UIT-R M.1184						
	Constellation L	Constellation M		Constellation S	Constellation Q ⁽¹⁾		
Nombre de satellites	48	48		6	26		
Altitude (km)	950	825	775	692	1 000		
Inclinaison (degrés)	50	45	0	70, 108	98	66	83
Plans orbitaux	8	3	1	2	2	6	2
Satellites par plan	6	8		3	4	1	

⁽¹⁾ Le nombre de satellites composant la constellation «Q» a été ramené de 32 à 26 aux fins de la présente étude et l'inclinaison de 24 des 26 satellites a été portée de 51° à 66° dans un souci de conformité avec la constellation utilisée dans le Document 7C/8.

TABLEAU 3
Caractéristiques des liaisons de connexion Terre vers espace

Paramètre	Valeur
Nombre de stations terriennes	15 par constellation SMS, soit au total 60
Emplacement des stations terriennes	Aux 4 coins de la planète pour chaque constellation
Gain maximal de l'antenne d'émission (dBi)	30
Largeur du faisceau à 3 dB (degrés)	5
Plancher du gain (dBi)	-1,5
Diagramme d'antenne	Annexe III, Appendice 8 du RR
Polarisation d'antenne	Circulaire droite
Pointage de l'antenne (degrés)	Trajectoires les plus proches du satellite à des élévations entre 5 et 90
Puissance d'émission	10 W par 100 kHz
Affaiblissement de ligne (dB)	1
Modulation	MDMG ⁽¹⁾ , MDP-4-0 ⁽²⁾ , MDP-8 ⁽²⁾ , MAQ-16 ⁽²⁾
Largeur de bande du canal (kHz)	100, 300 et 855

MDMG: modulation de déphasage minimal avec filtrage gaussien

⁽¹⁾ Avec filtrage gaussien bande de base, où $BT_b = 0,5$.

⁽²⁾ Avec filtrage en racine de cosinus carré surélevé dans la bande de base, où $BT_s = 1,0$.

TABLEAU 4

Caractéristiques des liaisons de connexion espace vers Terre

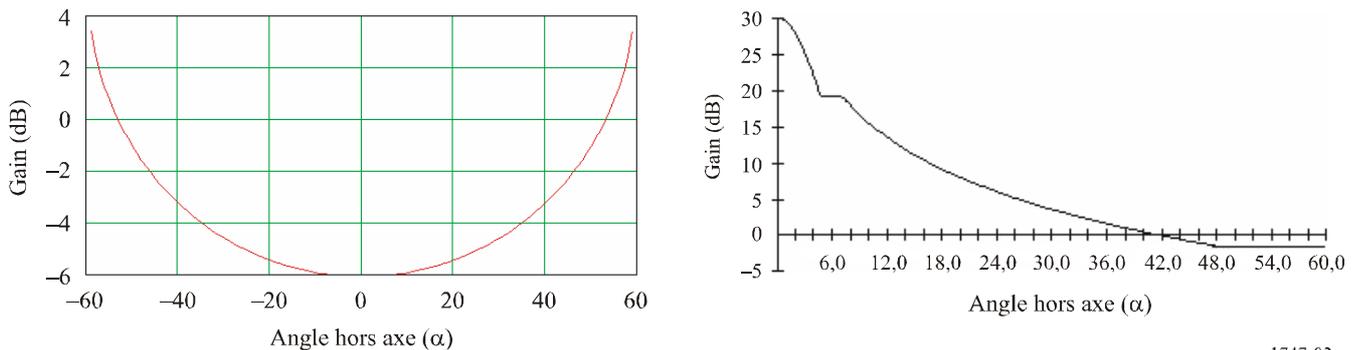
Paramètres	Valeur
Gain maximal de l'antenne d'émission	Voir la Fig. 2
Plancher du gain (dB)	-6
Polarisation d'antenne	Circulaire droite
Pointage de l'antenne	Fixe, zone de couverture de 4 000 km environ
Puissance d'émission	1 W par 100 kHz
Affaiblissement de ligne (dB)	1
Modulation	MDMG ⁽¹⁾ , MDP-4-0 ⁽²⁾ , MDP-8 ⁽²⁾ , MAQ-16 ⁽²⁾
Largeur de bande du canal (kHz)	100, 300, 855

⁽¹⁾ Avec filtrage gaussien en bande de base, où $BT_b = 0,5$.

⁽²⁾ Avec filtrage en racine de cosinus carré surélevé en bande de base, où $BT_s = 1,0$.

FIGURE 2

Diagramme d'antenne d'émission et de réception (à gauche) des satellites du SMS non OSG et (à droite) des stations terriennes



1747-02

3 Analyse du brouillage

3.1 Considérations générales

Le modèle de brouillage dynamique fait intervenir quatre systèmes SMS comprenant 128 satellites et 60 stations terriennes. Avec le modèle de simulation, on a calculé les fonctions de distribution cumulatives (FDC) de la puissance de brouillage dans un même canal produite par un ensemble de liaisons montantes et de liaisons descendantes d'un système SMS, et par un ensemble de toutes les liaisons montantes et descendantes des systèmes SMS à l'entrée du récepteur de détection passive.

A chaque étape de la simulation, le modèle a calculé la puissance totale à la sortie d'un seul faisceau d'antenne de détection produite par toutes les liaisons montantes et descendantes SMS visibles et actives, les résultats étant ensuite triés par segments de 1,0 dB de résolution en vue du tracé des FDC. Les simulations ont utilisé des intervalles de 1 s pour Aquarius et de 50 ms pour HYDROS afin de garantir un bon chevauchement avec le temps d'échantillonnage par cellule des faisceaux de détection. Les simulations ont été réalisées pendant une durée correspondant à une période de 14 jours en temps réel.

Le niveau de puissance de brouillage I (dBW) à la sortie de l'antenne de détection passive a été calculé au moyen de l'équation suivante:

$$I = 10 \log P_t - L_l + G_t - (32,44 + 20 \log(f \cdot R)) + G_r - L_p - L_{atm} \quad (1)$$

où:

P_t : puissance de l'émission brouilleuse (W)

L_l : affaiblissement de ligne de l'émetteur

G_t : gain de l'antenne brouilleuse dans la direction de la station victime (dBi)

f : fréquence de réception de la station victime (MHz)

R : distance oblique entre le brouilleur et la station victime (km)

G_r : gain de l'antenne de la station victime dans la direction du brouilleur (dBi)

L_p : perte de discrimination à la polarisation

L_{atm} : affaiblissement par absorption atmosphérique (dB).

On a utilisé une valeur de 0 dB pour l'affaiblissement dû à l'absorption atmosphérique (air sec et vapeur d'eau) et une valeur de 1,4 dB pour la perte de discrimination à la polarisation due à une antenne de détection passive polarisée linéairement et à une antenne du SMS polarisée circulairement. Pour ces calculs, on a supposé que toutes les liaisons SMS fonctionnaient sur la même fréquence et se situaient à l'intérieur de la largeur de bande des détecteurs passifs. Toutes les simulations ont été réalisées à 1 400 MHz et ont employé des niveaux de puissance d'émission associés à une largeur de bande d'un canal de 100 kHz. Il convient d'observer que pour des largeurs de bande de canal de 300 kHz et de 855 kHz les tracés des FDC donneront des niveaux de brouillage plus élevés, car les niveaux de puissance d'émission des liaisons Terre vers espace et espace vers Terre auront été réduits d'échelle en fonction de la largeur de bande du canal.

Pour déterminer la puissance hors bande émise par les liaisons de connexion SMS dans la bande 1 400-1 427 MHz, on a employé des techniques de modélisation et de simulation pour divers programmes de modulation et diverses largeurs de bande de canal. Le modèle de simulation a d'abord été validé en fonction des données de mesure du matériel MDMG, puis des données de densité spectrale de puissance (PSD) ont été générées via une simulation avec d'autres techniques de modulation et d'autres largeurs de bande de canal. Au moyen des données PSD, on a déterminé pour une valeur de 1 W dans la bande 1 400-1 427 MHz la puissance intégrée totale émise par l'émetteur des liaisons montantes et des liaisons descendantes d'un système SMS. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5. Les fréquences centrales pour les signaux des liaisons montantes et des liaisons descendantes simulées ont été choisies de manière à ce que le premier nul du signal modulé intervienne à l'extrémité de la bande des liaisons de connexion SMS la plus proche de la bande du SETS (passif).

3.2 Résultats de l'analyse – mode opérationnel

Le tracé des FDC pour Aquarius est illustré dans les Fig. 3 à 5 et les tracés de FDC obtenus pour HYDROS étant similaires ne sont pas représentés ici. Dans la Fig. 3, on a le niveau de puissance de brouillage dans un même canal pour les liaisons Terre vers espace; la Fig. 4 illustre quant à elle les FDC pour chaque liaison espace vers Terre du système SMS, alors que la Fig. 5 illustre les FDC totales dans un même canal pour toutes les liaisons SMS Terre vers espace, ainsi que les FDC totales dans un même canal pour toutes les liaisons SMS espace vers Terre et le total de toutes les FDC dans un même canal pour toutes les liaisons SMS et tous les systèmes pouvant interférer avec Aquarius.

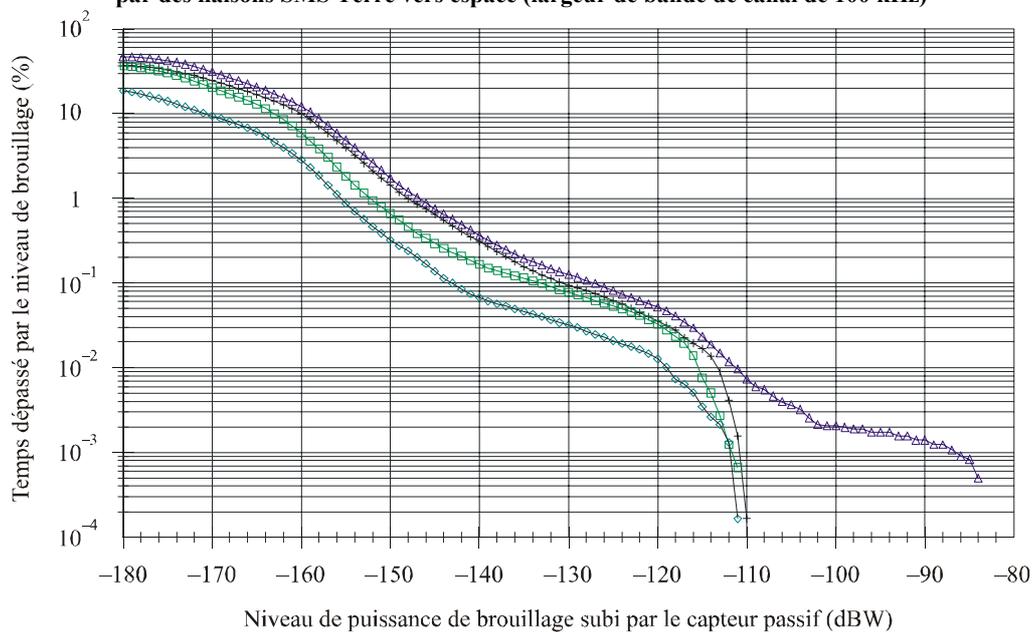
TABLEAU 5

Puissance totale dans la bande 1 400-1 427 MHz émise par un émetteur de liaisons de connexion du SMS (cas éventuellement le plus défavorable) en supposant une puissance d'émission de 1 W (dBW)

Largeur de bande du canal des liaisons de connexion (kHz)	Modulation des liaisons de connexion							
	Liaison montante (1 390-1 392 MHz)				Liaison descendante (1 430-1 432 MHz)			
	MDMG	MDP-4-0	MDP-8	MAQ-16	MDMG	MDP-4	MDP-8	MAQ-16
100	-75,0	-74,3	-74,4	-74,4	-71,5	-71,8	-71,8	-71,9
300	-74,1	-73,5	-73,6	-73,6	-72,2	-71,0	-71,2	-71,6
855	-75,0	-75,1	-73,1	-73,5	-71,3	-70,8	-59,1	-64,2

FIGURE 3

FDC d'Aquarius pour des brouillages causés dans un même canal à des capteurs passifs par des liaisons SMS Terre vers espace (largeur de bande de canal de 100 kHz)



+ Constellation L, liaison montante. Trajet aller

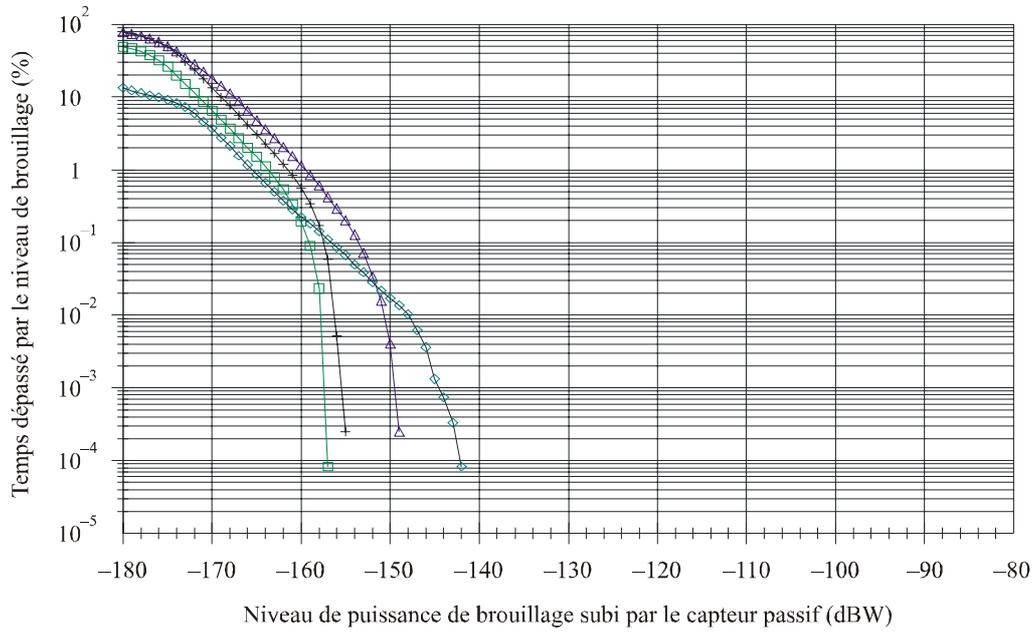
□ Constellation Q, liaison montante. Trajet aller

△ Constellation M, liaison montante. Trajet aller

◇ Constellation S, liaison montante. Trajet aller

FIGURE 4

FDC d'Aquarius pour des brouillages causés dans un même canal à des capteurs passifs par des liaisons SMS espace vers Terre (largeur de bande de canal de 100 kHz)

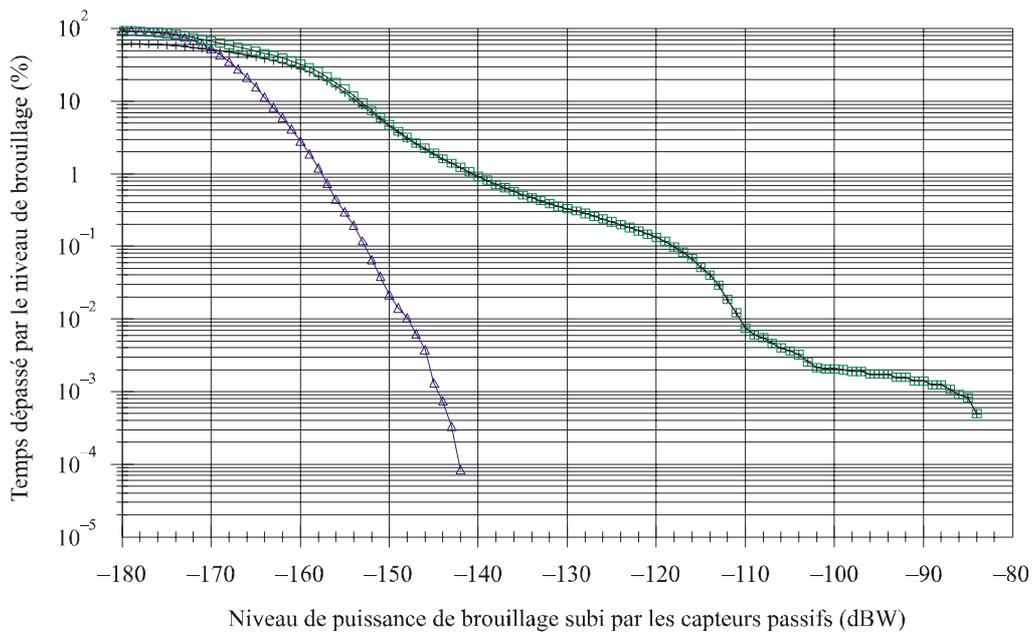


- + Constellation L, liaison descendante. Trajet aller
- Constellation Q, liaison descendante. Trajet aller
- △ Constellation M, liaison descendante. Trajet aller
- ◇ Constellation S, liaison descendante. Trajet aller

1747-04

FIGURE 5

Total des FDC d'Aquarius pour les brouillages causés dans un même canal à des capteurs passifs (largeur de bande de canal de 100 kHz)



- + Total des liaisons montantes. Trajet aller
- Total de l'ensemble. Trajet aller
- △ Total des liaisons descendantes. Trajet aller

1747-05

Les Groupes de travail 8D et 7C sont tous deux d'avis que les liaisons de connexion SMS ne devraient pas contribuer pour plus de 5° à 10% du brouillage admissible total, étant donné que plusieurs services contribuent à ce brouillage quantifié dans la Recommandation UIT-R RS.1029, et compte tenu du possible statut des attributions des liaisons de connexion SMS.

Le Tableau 6 donne un exemple de calcul de marge de brouillage pour Aquarius et des liaisons de connexion SMS Terre vers espace fonctionnant dans une largeur de bande de 100 kHz avec une modulation MDMG pour des valeurs égales à 0,005% et 0,01% du temps pouvant être dépassé par le niveau de brouillage admissible. Les marges de brouillage total pour Aquarius et HYDROS, en ce qui concerne toutes les modulations des liaisons de connexion et les largeurs de bande de canal, sont résumées dans le Tableau 7, les valeurs négatives correspondant à la marge de brouillage indiquent la nécessité de recourir à un filtrage hors bande additionnel pour les liaisons de connexion SMS, ou d'améliorer la conception de l'émetteur par rapport aux hypothèses retenues pour la présente étude.

TABLEAU 6
**Aquarius/liaisons de connexion SMS Terre vers espace pour une
 modulation MDMG, largeur de bande de 100 kHz**

		Constellation				Total liaisons montantes
		L	M	S	Q	
Puissance de brouillage dans un même canal SMS (dBW)	Contribution de 5% du temps	-112,0	-107,5	-116,0	-114,0	-107,5
	Contribution de 10% du temps	-113,0	-111,0	-119,0	-115,5	-111,0
Puissance de brouillage des liaisons de connexion SMS dans la bande SETS pour 1 W (dB)		-75,0	-75,0	-75,0	-75,0	-75,0
Puissance de brouillage des liaisons de connexion SMS dans la bande SETS (dBW)	Contribution de 5% du temps	-187,0	-182,5	-191,0	-189,0	-182,5
	Contribution de 10% du temps	-188,0	-186,0	-194,0	-190,5	-186,0
Niveau de brouillage admissible (dBW)		-174,0	-174,0	-174,0	-174,0	-174,0
Marge de brouillage (dB)	Contribution de 5% du temps	13,0	8,5	17,0	15,0	8,5
	Contribution de 10% du temps	14,0	12,0	20,0	16,5	12,0

TABLEAU 7

Résumé des marges de brouillage par les liaisons de connexion SMS

Modulation	Largeur de bande de canal (kHz)	Contribution des brouillages (%)	Marge de brouillage de l'ensemble (dB)	
			Aquarius	HYDROS
MDMG	100	Contribution de 5	8,5	8,0
		Contribution de 10	12,0	9,0
	300	Contribution de 5	2,8	2,3
		Contribution de 10	6,3	3,3
	855	Contribution de 5	-0,8	-1,3
		Contribution de 10	2,7	-0,3
MDP-4-0	100	Contribution de 5	7,8	7,3
		Contribution de 10	11,3	8,3
	300	Contribution de 5	2,2	1,7
		Contribution de 10	5,7	2,7
	855	Contribution de 5	-0,7	-1,2
		Contribution de 10	2,8	-0,2
			Aquarius	HYDROS
	MDP-8	100	Contribution de 5	7,9
Contribution de 10			11,4	8,4
300		Contribution de 5	2,3	1,8
		Contribution de 10	5,8	2,8
855		Contribution de 5	-2,7	-3,2
		Contribution de 10	0,8	-2,2
MAQ-16	100	Contribution de 5	7,9	7,4
		Contribution de 10	11,4	8,4
	300	Contribution de 5	2,3	1,8
		Contribution de 10	5,8	2,8
	855	Contribution de 5	-2,3	-2,8
		Contribution de 10	1,2	-1,8

3.3 Résultats d'analyse – mode d'étalonnage

Pour l'engin Aquarius, on a réalisé des simulations sur une orbite unique afin de déterminer le niveau de brouillage pendant l'étalonnage des instruments. Durant cette phase, Aquarius dirigera en effet son antenne vers l'espace pendant une partie d'une seule orbite, l'engin restant inertiuellement fixe. On a réalisé huit simulations de ce type, avec pour chacune des paramètres différents pour faire varier l'endroit où aura lieu l'étalonnage. Les résultats, résumés dans le Tableau 8, représentent le niveau de brouillage total, constituant le cas le moins favorable, causé par toutes les liaisons de connexion SMS en vue du faisceau d'antenne Aquarius et ce pendant une seule orbite d'étalonnage. Ce niveau de brouillage est d'environ 7 dB inférieur au niveau total obtenu lors de simulations d'une mission Aquarius normale sur une durée de 14 jours.

Des simulations ont également été réalisées pour déterminer les niveaux de brouillages causés à l'engin HYDROS pendant l'étalonnage de son capteur passif. La procédure d'étalonnage de base actuelle pour HYDROS consiste à observer la forêt tropicale amazonienne et la pleine mer tous les trois jours, en plus de balayer l'espace moyennant l'inclinaison de l'engin d'une orbite tous les deux à quatre mois. Trois simulations sur orbite unique ont été réalisées (chacune a une longitude différente du nœud ascendant) pour déterminer le niveau des brouillages causés par les liaisons de connexion SMS lorsque l'antenne de HYDROS est dirigée vers l'espace aux fins d'étalonnage. Le Tableau 8 résume les résultats de ces simulations pour le cas de brouillage le plus défavorable pendant l'étalonnage en espace. On part de l'hypothèse que les niveaux de brouillage pendant la phase d'étalonnage lorsque l'antenne est dirigée vers la Terre sont égaux à ceux évoqués au § 3.2 de la présente Recommandation.

TABLEAU 8

**Résumé des niveaux de brouillage pendant la phase d'étalonnage du capteur
pour une modulation MDP-4-0 et une largeur de bande de 300 kHz
pour les liaisons de connexion SMS**

		Aquarius	HYDROS
Technique d'étalonnage		Dirige son antenne vers l'espace pendant une partie d'une seule orbite en maintenant l'engin spatial fixe inertiuellement	Incline son antenne vers l'espace pendant une pleine orbite
Puissance de brouillage maximale dans la bande SETS (passif) (dBW)		-189,9	-176,9
Puissance de brouillage dans la bande SETS (passif) pour un dépassement de 0,1% (dBW)		-193,7	-189,2
Puissance de brouillage admissible (dBW)	Contribution de 5%	-187	-187
	Contribution de 10%	-184	-184
Marge de brouillage (dB)	Contribution de 5%	6,7	2,2
	Contribution de 10%	9,7	5,2

Annexe 2

Analyse des brouillages entre le SETS (passif) dans la bande 1 400-1 427 MHz et des liaisons de connexion du SMS dans des bandes proches

1 Introduction

La présente Annexe a été élaborée à partir de trois contributions d'étude soumises à l'UIT-R sur la compatibilité entre le SETS (passif) utilisant des capteurs dans la bande 1 400-1 427 MHz et des liaisons de connexion du SMS dans des bandes proches. Comme elles étaient identiques à celles retenues dans l'Annexe 1, de nombreuses hypothèses n'ont pas été répétées, en particulier pour ce qui est du système SMS. La principale différence concerne les applications de détection (voir ci-après).

2 Caractéristiques des capteurs passifs et critères de protection

L'humidité du sol et la salinité des océans (SMOS, *soil moisture and ocean salinity*) peuvent être mesurées par des capteurs passifs exploités dans la bande de fréquences 1 400-1 427 MHz. L'humidité du sol est une variable fondamentale du cycle hydrologique et son influence sur l'évaporation, les infiltrations et le ruissellement est importante; la salinité à la surface des mers a une influence sur la circulation thermohaline dans les profondeurs et sur les transports thermiques dans les régions méridionales. Les variations de la salinité ont quant à elles une influence sur la dynamique, à proximité de la surface, des océans dans les régions tropicales. Les fréquences autour de 1 400 MHz se prêtent à la mesure de l'humidité du sol et de la salinité à la surface des mers.

L'abréviation SMOS est en fait le nom de baptême qui a été donné à un satellite sur orbite terrestre basse dont l'altitude orbitale prévue est d'environ 760 km et l'inclinaison de préférence égale à 98,4°, le nœud ascendant se situant aux alentours de 0600 h (voir le Tableau 9). SMOS se fonde sur une idée novatrice, car il couvre à chaque temps d'intégration une vaste zone (normalement de 1 000 × 1 000 km) sous divers angles d'incidence au niveau du sol (compris entre 0 et 55°). C'est dire que tout point à la surface de la Terre est mesuré sous différents angles, ce qui sert à «découpler» les contributions du sol et de la végétation. Le satellite SMOS utilise des techniques interférométriques pour améliorer sa résolution spatiale, et emploiera un dispositif fixe d'antennes de petite taille au lieu d'antennes à balayage de grande dimension.

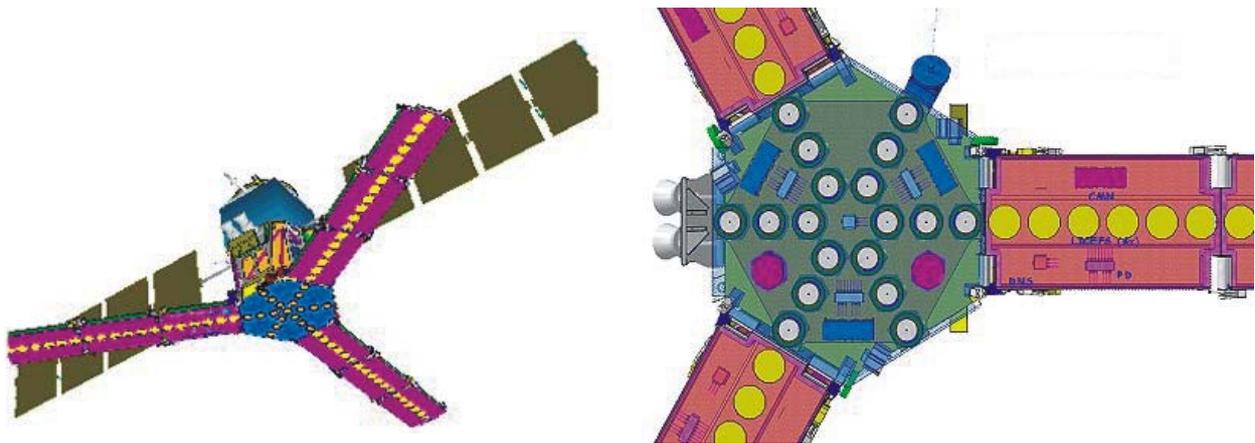
TABLEAU 9

Caractéristiques générales du satellite SMOS

Instrument	Radiomètre d'imagerie hyperfréquence à synthèse d'ouverture (MIRAS)
Concept instrumental	Interféromètre 2-D hyperfréquence passif
Fréquence (MHz)	1 400-1 427
Largeur de bande (MHz)	27
Polarisation	H & V (mode polarimétrique facultatif)
Résolution spatiale (km)	50 (35 au centre du champ de visibilité)
Angle d'inclinaison (degrés)	32
Résolution angulaire (degrés)	0-55
Résolution temporelle	Tous les trois jours

Le capteur de SMOS est appelé MIRAS, abréviation de Microwave Imaging Radiometer using Aperture Synthesis, la conception de cet interféromètre 2-D à double polarisation a recours à trois branches situées dans le même plan, constituant une antenne élémentaire, et régulièrement espacées ($0,875 \lambda$, redondance maximale) pour représenter une sorte de Y (voir la Fig. 6). Dans cette configuration, on applique une synthèse interférométrique de Fourier pour obtenir des images à partir des corrélations entre chaque paire d'éléments de l'antenne (petits récepteurs indépendants), fonctionnant dans la région des hyperfréquences. L'interféromètre 2-D de SMOS permet de mesurer la température de luminance simultanément sous différents angles d'incidence et à deux polarisations; en outre, l'instrument est capable d'enregistrer tout un panorama instantanément. Au fur et à mesure où le satellite se déplace, tout point donné à l'intérieur du champ de visibilité en 2-D est observé sous des angles différents. On obtient ainsi toute une série de mesures indépendantes grâce auxquelles il est possible de calculer les paramètres de surface avec une plus grande exactitude. Le champ de température de luminance est ici reconstruit avec une résolution correspondant à l'espacement entre les récepteurs les plus éloignés.

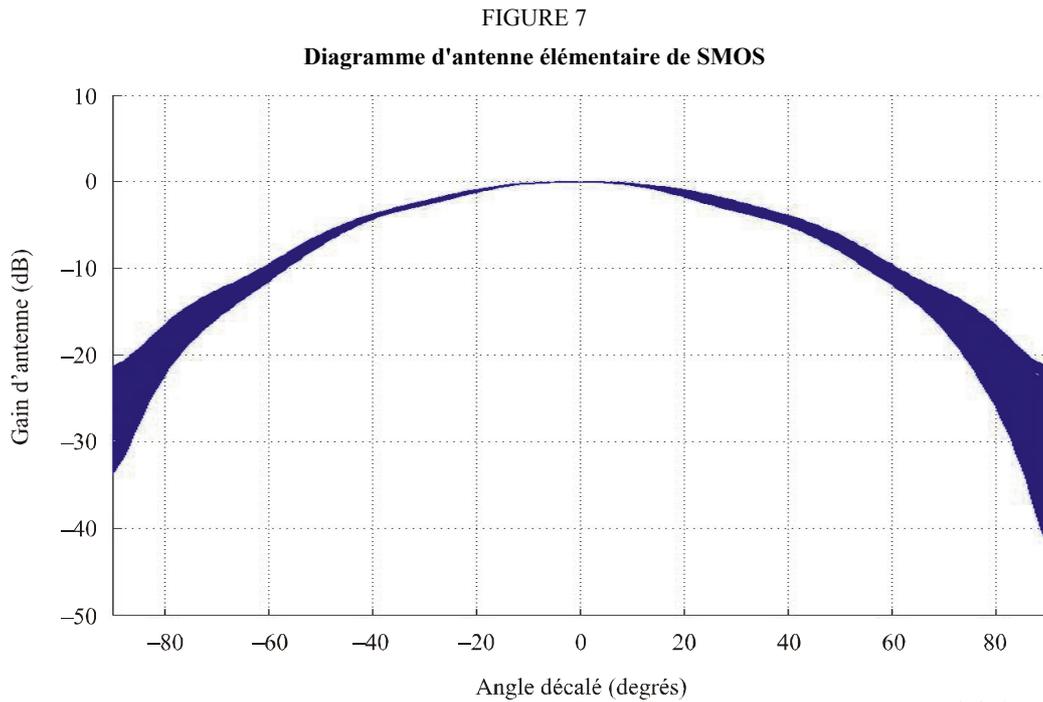
FIGURE 6
Configuration de l'antenne de SMOS



1747-06

Chaque unité d'antenne/récepteur utilise une antenne à plaques sans substrat diélectrique, avec une largeur de faisceau à demi-puissance de 70° environ et une directivité de quelque 8 dB, pourvue des deux types de polarisation H et V avec d'excellentes caractéristiques de polarisation croisée (rapport copolarisation/polarisation croisée > 25 dB). On trouvera à la Fig. 7 le diagramme d'antenne pour un seul élément de MIRAS.

Chaque élément d'antenne ne dispose que d'une chaîne de réception, de sorte que chaque unité peut à la demande fonctionner en polarisation H ou en polarisation V. Dans chaque récepteur, le signal d'antenne est filtré pour être réduit à la largeur de bande choisie, puis amplifié et finalement échantillonné et converti en un signal numérique à bit 1.



Combinant les composantes I et Q, le flux de données à la sortie de MIRAS est transmis, à un débit d'environ 130 Mbit/s, à l'unité de corrélation via une liaison à fibre optique. Chaque élément reçoit de son côté (via une seconde liaison à fibre optique) un signal d'horloge de référence, généré centralement, qui déclenche son travail de transposition par abaissement de fréquence et d'échantillonnage avec cohérence de phase parmi tous les éléments. Dans chaque récepteur, il est procédé à un suréchantillonnage selon un facteur 2 environ par rapport au critère de Nyquist, ce qui améliore la sensibilité radiométrique. Dans l'unité de corrélation, après conversion des signaux optiques en signaux électriques, un bloc massif de corrélateurs bit 1/niveau 2 implémenté dans des circuits intégrés spécialisés procède aux corrélations croisées entre tous les signaux. Les images de polarisation horizontale et de polarisation verticale sont entrelacées et la corrélation croisée de chaque polarisation est réalisée sur une durée de 0,3 s. Une moyenne est ensuite établie pour un maximum de cinq images, de telle sorte qu'on obtient deux images (une par polarisation) toutes les 3 s.

Le gain pour un seul élément de cette antenne peut s'exprimer comme suit:

$$G = 9 - 0,0027 \theta^2 \quad \text{pour } |\theta| < 120^\circ \quad (2)$$

$$G = -30 \quad \text{pour } |\theta| > 120^\circ$$

où θ est l'angle décalé, en degrés, par rapport à l'angle de visée.

Conformément aux dispositions de la Recommandation UIT-R RS.1029, la puissance de brouillage acceptable est de -174 dBW dans la largeur de bande de référence de 27 MHz, niveau qui peut être excédé pendant 0,1% du temps selon toutes les sources de brouillage qui contribuent au brouillage total dans cette bande. Les Groupes de travail 7C et 8D de l'UIT-R sont convenus d'attribuer une valeur de 5 à 10% à la contribution par le SMS au brouillage total.

Etant donné la difficulté qu'il y a à prévoir toutes les configurations possibles de détection futures, on a retenu plusieurs gains d'antenne puisque les capteurs existants et en projet peuvent mettre en œuvre toute une gamme d'antennes; compte tenu des caractéristiques d'autres systèmes de détection,

il apparaît qu'une plage de 27 à 40 dBi est considérée comme pouvant être représentative. Les contours de gain équivalent de ces antennes sont tirés de la Recommandation UIT-R S.672, mais tiennent compte du fait qu'on sait par expérience que le plancher de gain d'antenne de 0 dBi surestime en règle générale le brouillage reçu. On suppose en conséquence une décroissance supplémentaire au-dessous de 0 dBi, ce qui donne des résultats de brouillage légèrement inférieurs par rapport aux valeurs résultant de la stricte application des dispositions de la Recommandation UIT-R S.672 avec le plancher de gain.

3 Caractéristiques du système mobile par satellite

Les caractéristiques utilisées ont été celles du système SMS présenté à l'Annexe 1, en général basées sur la Recommandation UIT-R M.1184. Elles sont rappelées au Tableau 10.

TABLEAU 10

Paramètres de plusieurs réseaux SMS non OSG

Système	L	M			P	Q		S
Nombre de satellites	48	48			6	26 (32)		6
Altitude (km)	950	825		775	893	1 000		692, 667
Inclinaison (degrés)	50	45	0	70, 108	99	66 (51)	83	98,04
Plans orbitaux	8	3	1	2	2	6	2	2
Satellite/plan	6	8			3	4 (5)	1	3
Ascension droite du nœud ascendant (degrés)	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315	0, 120, 240	0	0, 180	9,8	0, 60, 120, 180, 240, 300	0, 90	143,5, 53,5
Largeur de bande du canal (kHz)	15	5			855	25		150
Polarisation (onde émise)	Rectiligne				LHCP	Rectiligne		RHCP

On a retenu pour les stations terriennes une quinzaine d'emplacements par système SMS, qui ont été choisis pour optimiser le temps de couverture, mais aussi en fonction des terres émergées disponibles et en particulier d'îles. Les emplacements sont indiqués dans la Fig. 8.

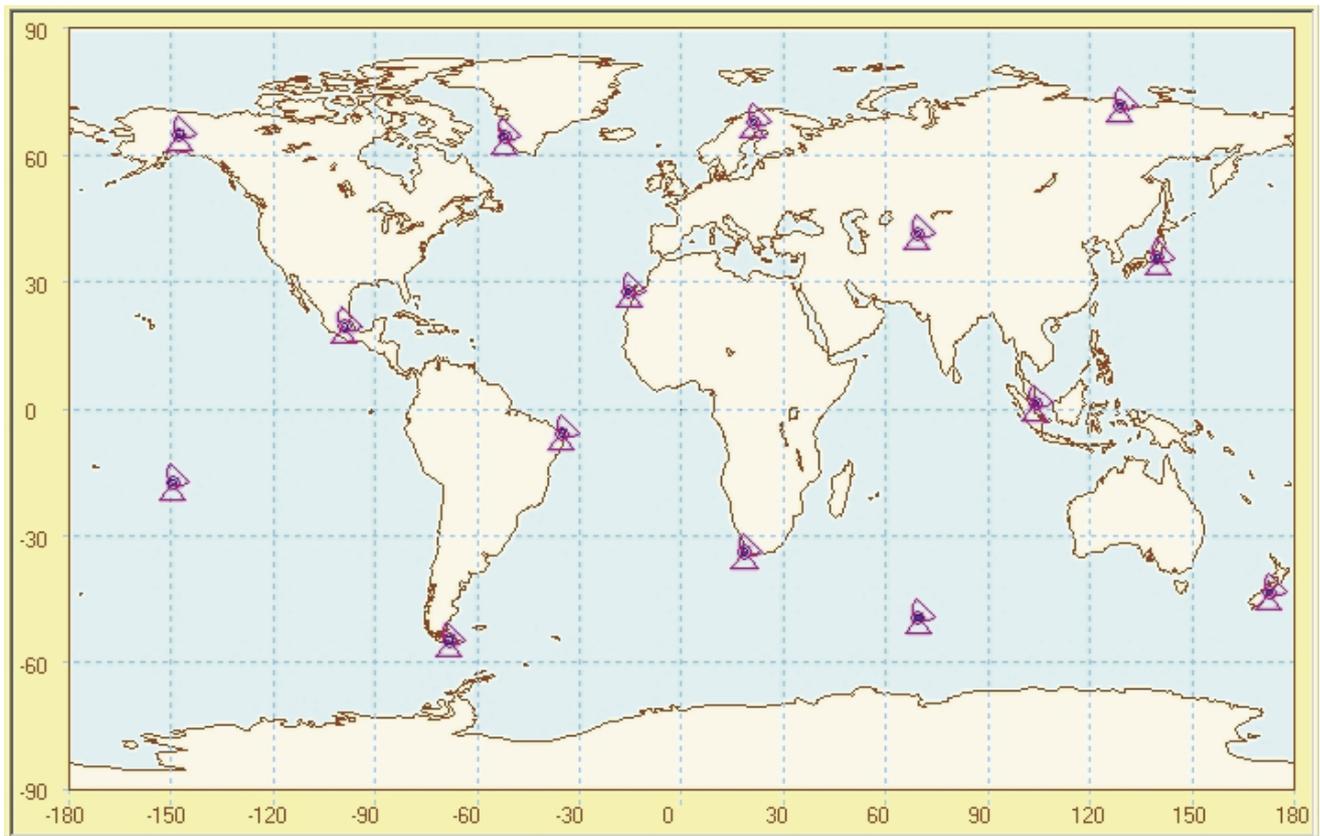
4 Analyse des brouillages

4.1 Liaisons Terre vers espace

Pour le calcul des niveaux de brouillage, on a procédé de la même manière qu'à l'Annexe 1.

FIGURE 8

Emplacements des stations terriennes pour les systèmes SMS

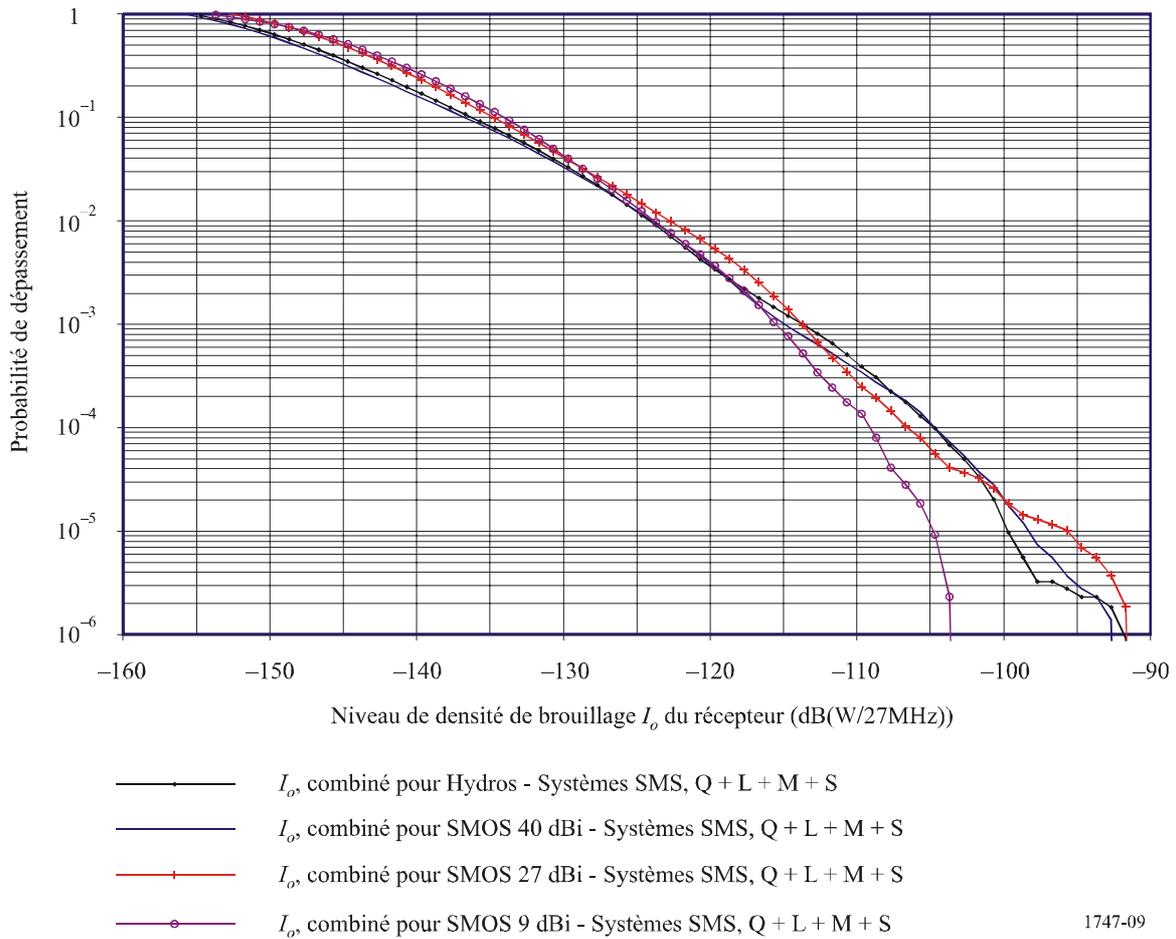


1747-08

La Fig. 9 indique les niveaux de densité totale de brouillage sur les liaisons Terre vers espace pour les quatre systèmes SMS pris en considération aux fins de la présente étude, à savoir les systèmes Q, L, M et S. Pour une probabilité de brouillage acceptable de 0,005% à 0,01%, la densité fictive de brouillage reçue dans la bande est respectivement de -103 dBW et de -105 dBW; l'excès de brouillage par rapport à la valeur nominale de -174 dB(W/MHz) varie donc de 69 à 71 dB, selon le cas. Compte tenu du niveau de puissance de 10 W à l'entrée de la station terrienne SMS, cela correspond à un niveau maximum de rayonnements non désirés de -59 dBW pour 0,01% du temps et de -61 dBW pour 0,005% du temps dans la totalité de la bande de 27 MHz. L'affaiblissement de fait nécessaire pour un signal de 100 kHz serait alors de 93 dB pour 0,01%, en supposant une valeur de 69 dB pour satisfaire aux critères établis dans la totalité de la bande passive de 27 MHz, plus un supplément de 24,3 dB pour la mise à l'échelle par rapport à la largeur de bande du signal à 100 kHz.

FIGURE 9

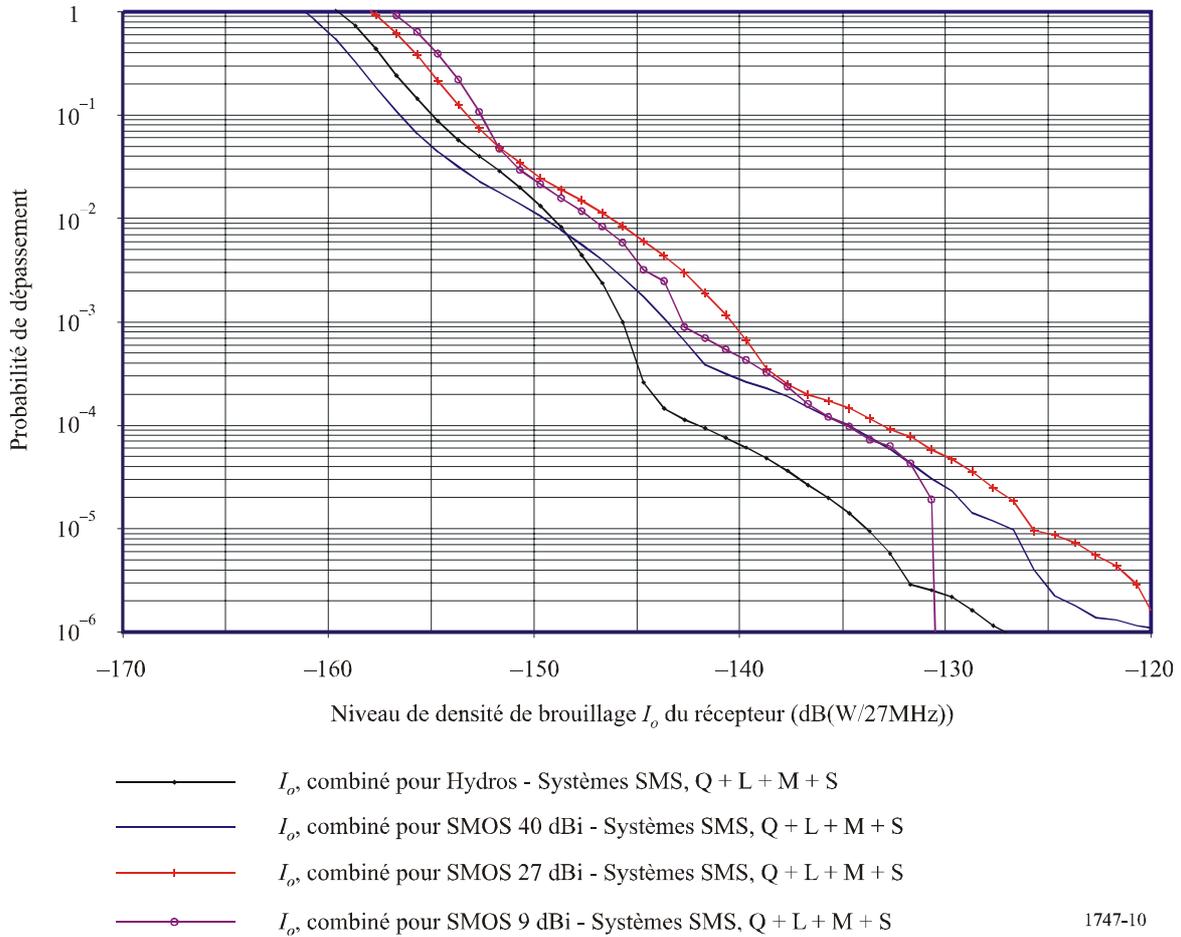
Niveaux de densité totale de brouillage pour quatre systèmes SMS
avec liaisons Terre vers espace



La Fig. 10 indique les niveaux de densité totale de brouillage sur des liaisons espace vers Terre pour les quatre systèmes SMS considérés aux fins de la présente étude. On note une dépendance relativement faible par rapport au gain du capteur jusqu'à des probabilités de l'ordre de 10^{-4} , mais plus grande par rapport à la différence d'altitude orbitale par rapport aux capteurs et aux satellites SMS. L'altitude revêt indéniablement une importance cruciale pour la liaison descendante. La plus grande partie du brouillage est en effet causée lorsque les satellites sont proches les uns des autres. Il faudra donc prévoir une séparation orbitale minimale. Pour satisfaire au critère de protection de -174 dB(W/MHz), le niveau de puissance des rayonnements non désirés doit être inférieur à -44 dBW pour 0,005% du temps et à -41 dBW pour 0,01.

FIGURE 10

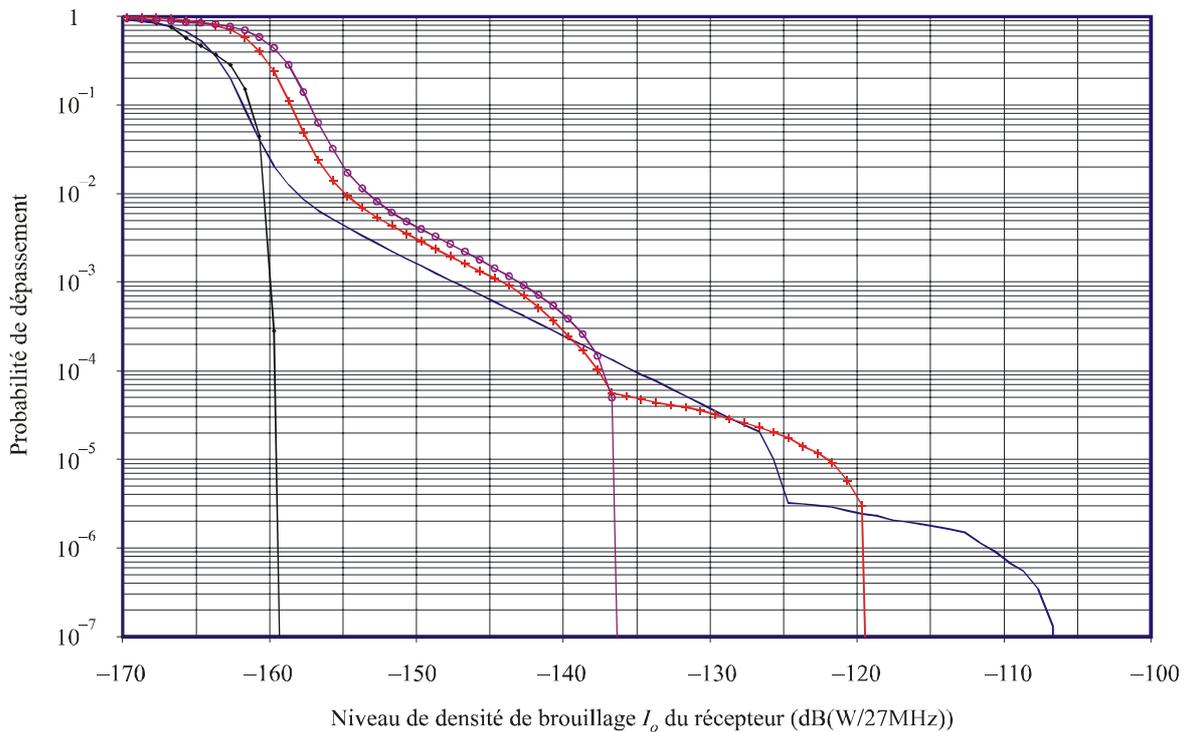
Niveaux de densité totale de brouillage pour quatre systèmes SMS avec liaisons espace vers Terre



La Fig. 11 illustre la densité de brouillage en fonction de l'altitude orbitale des satellites SMS qui varie par rapport à celle que préconise la Recommandation UIT-R M.1184. Il n'existe dans le Règlement des radiocommunications aucune limite en ce qui concerne les hauteurs orbitales, de sorte qu'on a jugé judicieux d'examiner également le cas où capteurs passifs et satellites SMS se retrouvent pratiquement à la même altitude. La Fig. 11 montre en particulier que les niveaux de brouillage augmentent de façon significative lorsque l'altitude des uns est très proche de l'altitude des autres.

FIGURE 11

Niveaux de densité de brouillage pour les systèmes SMS à proximité de capteurs SMOS



- I_o , pour Hydros 35 dBi - 26 satellites - Q à 670 km
- I_o , pour SMOS 40 dBi - 26 satellites - Q à 670 km
- +— I_o , pour SMOS 27 dBi - 26 satellites - Q à 670 km
- I_o , pour SMOS 9 dBi - 26 satellites - Q à 670 km

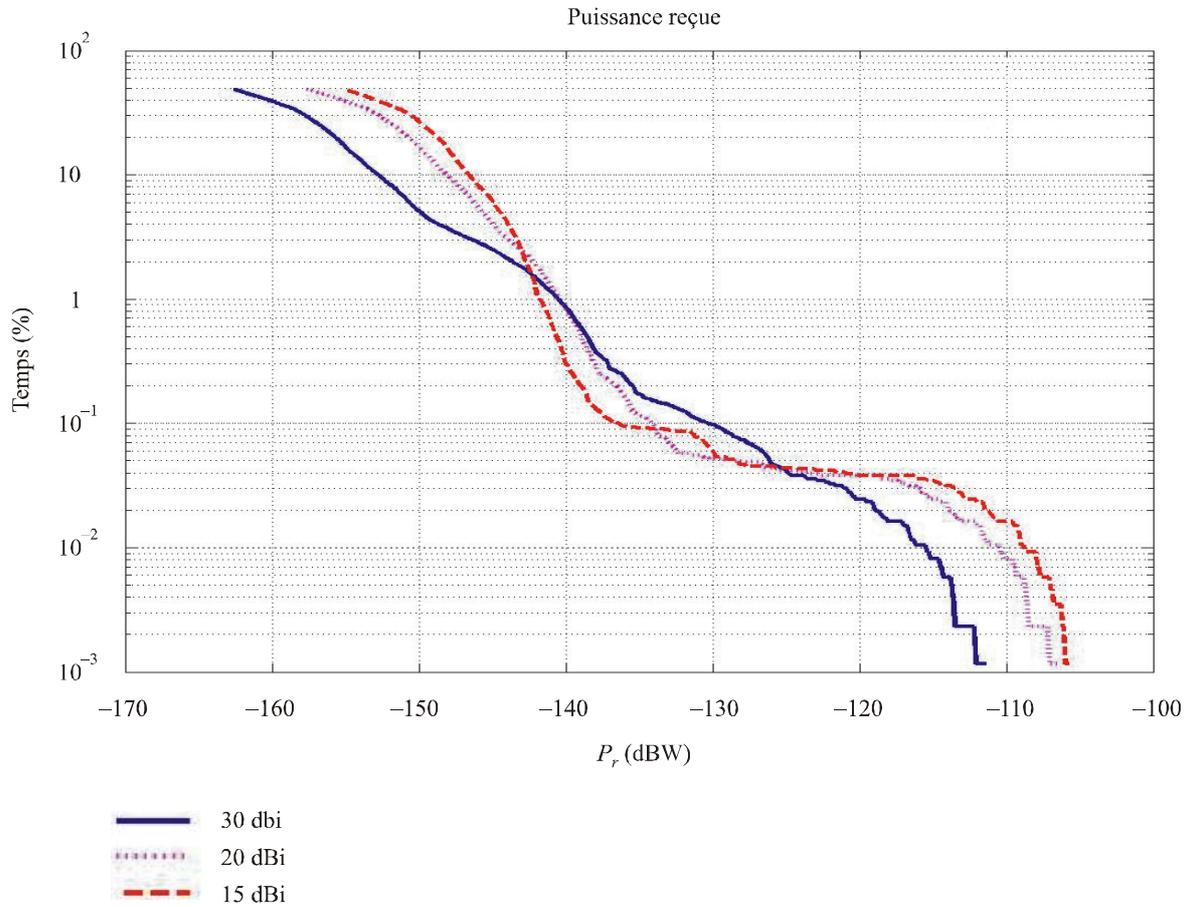
1747-11

Une contribution à la présente étude a montré que les caractéristiques d'antenne des stations terriennes SMS peuvent avoir une importante incidence sur les niveaux de brouillage total. La Fig. 12 illustre les résultats pour des stations terriennes pourvues de gains d'antenne de 15, 20 ou 30 dBi. On peut voir que dans les régions de probabilité entre 0,01% et 0,005%, les antennes à faible gain donnent des niveaux de brouillage supérieur à cause d'une moins bonne maîtrise des niveaux dans les lobes latéraux.

La contribution en question a conclu en outre qu'une limite de p.i.r.e. hors bande ne suffirait pas à garantir la protection du SETS, étant donné qu'elle varie beaucoup et qu'elle serait plus contraignante pour les gains d'antenne faibles, il serait plus judicieux de fixer une limite de puissance des rayonnements non désirés, laquelle varie moins en fonction du gain d'antenne. Le Tableau 11 est tiré de cette contribution.

FIGURE 12

Puissance reçue sur le capteur HYDROS pour différents gains d'antenne des stations du SMS



1747-12

TABEAU 11

Puissance d'émission et p.i.r.e. pour les liaisons de connexion des stations terriennes du SMS

Paramètre	Antenne de 15 dBi	Antenne de 20 dBi	Antenne de 30 dBi
Puissance reçue dans la bande passive pour 0,01% du temps et une puissance d'émission de 10 dBW (dBW)	-109	-111	-115
Marge par rapport au critère de protection de -174 dBW dans une bande de 27 MHz (dB)	-65	-63	-59
Limite de puissance requise dans la bande passive pour satisfaire au critère de protection (dBW)	-55	-53	-49
p.i.r.e. correspondante (dBW, y compris affaiblissement dans la ligne d'alimentation)	-41	-34	-20

5 Résumé

Sur les liaisons montantes du SMS, il faudra limiter dans la bande 1 420-1 427 MHz la puissance hors bande rayonnée sur l'antenne de la station terrienne SMS à -59 dBW et à -61 dBW pour satisfaire respectivement aux critères de 0,01% du temps et de 0,005%.

L'affaiblissement requis sur la liaison montante pour un signal de 100 kHz est de 93 dB pour 0,01% du temps et de 95 dB pour 0,005% du temps. Ce niveau élevé d'affaiblissement des rayonnements non désirés est techniquement réalisable si on utilise des techniques de modulation avec mise en forme appropriée des impulsions, et si des spécifications rigoureuses concernant le niveau de performance des matériels sont utilisées en association avec un filtre en aval de l'amplificateur.

Pour ce qui est des liaisons descendantes du SMS, le niveau de puissance des rayonnements non désirés à la sortie de l'antenne du satellite doit être inférieur à -41 dBW et à -44 dBW pour satisfaire respectivement aux critères de 0,01% du temps et de 0,005%.

L'affaiblissement requis sur la liaison descendante pour un signal de 100 kHz est de 65 dB ou de 68 dB pour 0,01% ou 0,005%.

Le brouillage cumulé sur les liaisons descendantes dépend fortement de la différence d'altitude des orbites entre les satellites SMS et les capteurs. Il faudra éventuellement prévoir des restrictions en ce qui concerne les hauteurs orbitales.

Pour ce qui est des liaisons tant montantes que descendantes, la plus grande partie du brouillage est reçue via le couplage des lobes latéraux de l'antenne, les résultats étant assez insensibles au fait que les capteurs aient des gains d'antenne différents.

Les spécifications concernant les rayonnements non désirés devraient se fonder sur les niveaux de densité de puissance absorbée par les antennes plutôt que sur les niveaux de densité de p.i.r.e.

Les scénarios de brouillage auxquels on peut être confronté dans la pratique sont beaucoup plus nombreux que les quelques cas envisagés dans toutes les études qui ont été réalisées. Pour couvrir les cas dont des hypothèses système différent de celles retenues aux fins de la présente étude, par exemple des antennes SMS de plus petites dimensions, plusieurs canaux par station terrienne, plus de quatre systèmes SMS, etc., il faudrait prévoir une marge d'au moins 2 dB en plus des niveaux calculés pour l'exemple à 0,005% du temps. En conséquence, on considère que les valeurs de -63 dB(W/27 MHz) sur la liaison montante et de -46 dB(W/27 MHz) sur la liaison descendante conviennent bien comme limites de rayonnements non désirés pour les liaisons de connexion du SMS.
