

RECOMMANDATION UIT-R SA.1158-2*

PARTAGE DE LA BANDE 1 675-1 710 MHz ENTRE LE SERVICE DE MÉTÉOROLOGIE PAR SATELLITE (ESPACE-TERRE) ET LE SERVICE MOBILE PAR SATELLITE (TERRE-ESPACE)

(Question UIT-R 204/7)

(1995-1997-1999)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a alloué la bande 1 675-1 710 MHz au service mobile par satellite (SMS) (Terre-espace) à titre primaire dans la Région 2, et qu'elle a maintenu le statut primaire du service de météorologie par satellite (MetSat) (espace-Terre);
- b) que l'on peut utiliser des systèmes à satellites géostationnaires ou non géostationnaires pour chacun de ces deux services;
- c) que depuis plus de 20 ans, le Groupe international d'opérateurs du service MetSat s'est mis d'accord pour le partage de la bande 1 675-1 710 MHz en trois sous-bandes, qui sont actuellement utilisées et qui devraient continuer à l'être, de la façon suivante:
 - 1 675-1 690 MHz: stations terriennes principales situées à des emplacements fixes et destinées à la réception de données d'image brutes, de données issues de la collecte de données à bord et de données de télémétrie spatiale émanant de satellites de météorologie géostationnaires;
 - 1 690-1 698 MHz: stations d'utilisateur d'acquisition directe de données émanant de satellites de météorologie géostationnaires. (Certains opérateurs du service MetSat utilisent actuellement des fréquences juste en dessous de 1 690 MHz pour fournir des services d'acquisition directe de données.);
 - 1 698-1 710 MHz: stations d'utilisateur pour l'acquisition directe de données et stations terriennes principales pour l'acquisition de données d'images préenregistrées, émanant de satellites de météorologie non géostationnaires;
- d) que la bande 1 675-1 690 MHz est utilisée et continuera à l'être à titre primaire mais pas en exclusivité par un nombre limité de stations terriennes de météorologie principales (commande et acquisition de données (CAD)) et des stations d'utilisation de données primaires (PDUS, *primary data users station*);
- e) qu'il existe des milliers de stations terriennes MetSat fonctionnant dans la bande 1 690-1 710 MHz et que beaucoup d'entre elles sont équipées de petites antennes;
- f) que pour différentes fonctions du service MetSat, les stations terriennes de ce service qui fonctionnent dans la bande 1 690-1 710 MHz peuvent être fixes, mobiles ou transportables;
- g) que la Recommandation UIT-R SA.1027 définit les critères de partage des fréquences applicables aux systèmes actuels MetSat qui utilisent des satellites en orbite terrestre basse (LEO);
- h) que la Recommandation UIT-R SA.1161 définit les critères de partage des fréquences applicables aux systèmes actuels MetSat qui utilisent des satellites sur l'orbite géostationnaire (OSG);
- j) que l'on prévoit que des émetteurs de stations terriennes du SMS seront mis en service à proximité ou à l'intérieur d'une zone couverte par le service MetSat;
- k) que certains exploitants de satellites météorologiques envisagent d'augmenter les largeurs de bandes des canaux et de revoir les plans d'assignation de fréquences pour les nouvelles générations de satellites MetSat, ce qui rendrait impossible l'intercalage de canaux utilisés par les systèmes à satellites des services mobile et de météorologie;
- l) que les stations spatiales géostationnaires MetSat, couvrant initialement une zone spécifique, peuvent être périodiquement déplacées pour desservir ainsi une autre zone;

* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et des Commissions d'études 8 et 9 des radiocommunications.

m) que les Annexes 1, 2, 3 et 4 donnent une vue d'ensemble des aspects techniques du partage des fréquences entre le service MetSat et le SMS dans la bande 1 675-1 710 MHz;

n) que des techniques de transmission mobile par satellite existent ou sont susceptibles d'être développées permettant d'éviter de façon automatique et dynamique l'émission de signaux par des stations situées à proximité des stations terriennes de réception MetSat, techniques qui sont décrites dans l'Annexe 3,

reconnaissant

1 que le numéro S5.377 du Règlement des radiocommunications (RR) stipule que, dans la bande 1 675-1 710 MHz, les stations du SMS ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable ni imposer de contraintes au développement du service MetSat et du service des auxiliaires de la météorologie et que l'utilisation de cette bande est subordonnée à la coordination au titre du numéro S9.11A du RR;

2 que des études (voir l'Annexe 1) ont montré que le brouillage pouvant être causé aux stations terriennes de météorologie par des stations terriennes du SMS utilisant les mêmes fréquences serait acceptable si les stations terriennes de météorologie étaient protégées par des zones d'exclusion dont le rayon irait jusqu'à 55 km pour les satellites LEO du SMS et 70 km pour les satellites OSG du SMS et si des mesures techniques appropriées étaient prises afin d'éviter que des stations terriennes mobiles émettent des signaux dans ces zones d'exclusion;

3 que le contrôle de stations terriennes mobiles sera assuré grâce à un système de localisation faisant partie du réseau mobile à satellite; à cette fin, il sera peut être nécessaire de prévoir un canal de signalisation à bande étroite allant de la station terrienne mobile au satellite du service mobile,

reconnaissant en outre

4 que les nombreuses stations terriennes de météorologie fonctionnant dans la bande 1 690-1 698 MHz et la densité de canaux de données météorologiques occupant cette bande rendraient impossible l'utilisation de cette bande par les stations terriennes mobiles;

5 que le partage de la bande 1 698-1 710 MHz ne pourrait pas s'effectuer par espacement géographique, compte tenu du grand nombre de stations terriennes MetSat et de leurs positions généralement inconnues,

recommande

1 de faire en sorte que les stations terriennes mobiles fonctionnant dans la bande 1 675-1 690 MHz n'émettent pas de signaux, sauf sur un canal de signalisation à bande étroite, à l'intérieur des zones d'exclusion environnant les stations terriennes de météorologie principales (CAD et PDUS), compte tenu des rayons spécifiés au § 2 du *reconnaissant* et de la précision (km) du système de détermination de la position mentionné au § 3 du *reconnaissant* (voir la Note 1); les critères applicables à la coordination entre les stations du SMS et GVAR/S-VISSR (*Geostationary operational environment/stretched visual and infrared spin scan radiometer*), (voir la Note 2) dans cette bande appellent un complément d'étude;

NOTE 1 – L'OMM est priée de renseigner régulièrement l'UIT sur la position géographique des stations terriennes de météorologie principales;

NOTE 2 – GOES signifie satellite géostationnaire opérationnel d'étude de l'environnement; GVAR signifie variable GOES; VISSR signifie radiomètre à balayage rotatif dans le visible et l'infrarouge; S/VISSR signifie VISSR à action élargie;

2 d'équiper les systèmes mobiles à satellites d'une capacité éprouvée de localisation leur permettant de repérer les stations terriennes mobiles, afin de se conformer au §1 du *recommande*;

3 de faire en sorte que l'attribution du canal de signalisation à bande étroite qui serait requis au plan mondial par certains systèmes de localisation soit décidée d'un commun accord avec les exploitants de systèmes météorologiques;

4 de ne pas utiliser la bande 1 690-1 698 MHz pour les stations terriennes mobiles;

5 de ne pas utiliser la bande 1 698-1 710 MHz pour les stations terriennes mobiles, compte tenu des possibilités de partage très limitées et complexes, de l'augmentation du nombre des systèmes météorologiques attendue, et du numéro S5.377 du RR qui traite de la protection de ces systèmes.

ANNEXE 1

Partage de la bande de fréquences 1 670-1 710 MHz entre le service MetSat et le SMS**1 Introduction**

La CAMR-92 a attribué la bande 1 675-1 710 MHz au SMS à titre primaire (Terre-espace) dans la Région 2. Le service MetSat bénéficiait déjà du statut primaire dans le sens espace-Terre dans les trois Régions. La possibilité du partage de cette bande a été étudiée. D'après la Résolution 213 (CAMR-92), l'UIT-R est invité à étudier d'urgence les problèmes opérationnels et techniques que pose l'utilisation en partage de cette bande par les services précités. La Résolution 213 a été modifiée à la Conférence mondiale des radiocommunications (Genève, 1995) (CMR-95) afin de souligner l'importance des techniques de protection des stations terriennes du service MetSat.

Le numéro S5.377 du RR s'applique à l'attribution du SMS dans la Région 2 et stipule que «les stations du service mobile par satellite ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable ni imposer de contraintes au développement des services de météorologie par satellite et des auxiliaires de la météorologie (voir la Résolution 213 (Rév.CMR-95)) et l'utilisation de cette bande est subordonnée à la coordination au titre du numéro S9.11A». La Résolution 46 (Rév.CMR-97) définit les procédures intérimaires de coordination et de notification des assignations de fréquence aux réseaux à satellites non géostationnaires de certains services spatiaux et des autres services auxquels certaines bandes sont attribuées.

La présente étude porte sur l'utilisation de la bande 1 670-1 710 MHz par les services de météorologie en vue d'un éventuel partage avec les systèmes mobiles à satellites. Le Groupe international d'opérateurs du service MetSat a décidé de diviser la bande 1 675-1 710 MHz en trois sous-bandes distinctes, qui sont actuellement utilisées de la façon suivante:

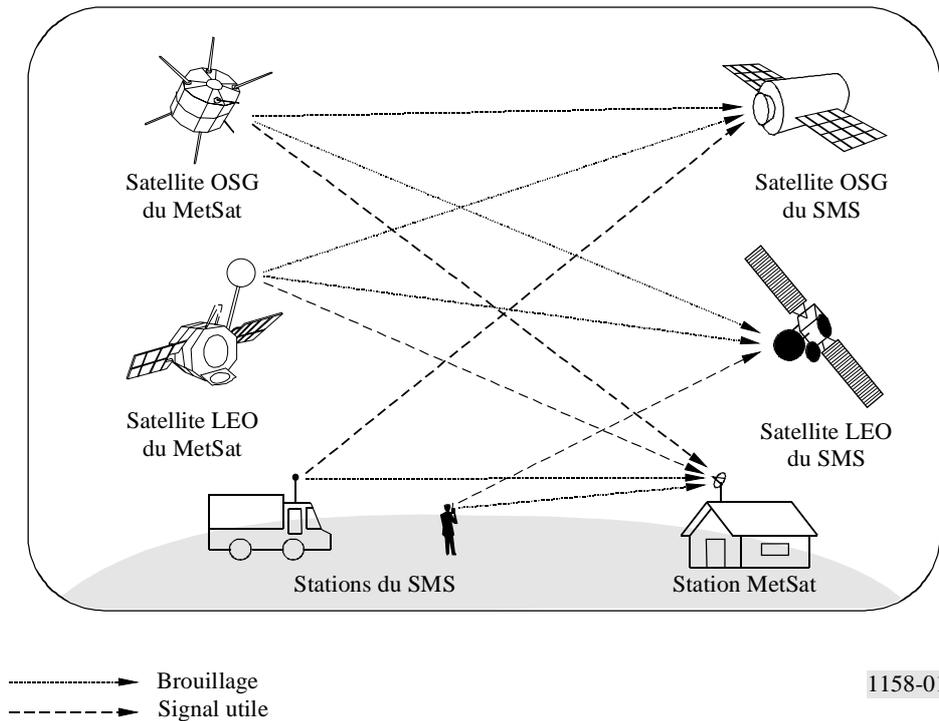
- 1 675-1 690 MHz: stations terriennes principales de gain élevé situées à des emplacements fixes relativement peu nombreux et destinées à la réception de données d'image brutes et à la collecte de données en provenance de satellites de météorologie géostationnaires;
- 1 690-1 698 MHz: stations d'utilisateur pour l'acquisition directe de données, la collecte de données et les télémesures spatiales à partir de satellites de météorologie géostationnaires communiquant avec des milliers de stations dans le monde entier;
- 1 698-1 710 MHz: stations d'utilisateur pour l'acquisition directe de données et stations terriennes principales pour l'acquisition de données d'images préenregistrées, en provenance de satellites de météorologie non géostationnaires communiquant avec des centaines de stations dans le monde entier.

On utilise actuellement des satellites MetSat OSG ou LEO et on envisage fortement d'étendre les services fournis. En ce qui concerne le SMS, il existe différents projets d'utilisation de la bande, dans le cadre de systèmes à satellites mobiles (MOBSAT) OSG ou LEO.

Toutes les configurations possibles de brouillage au niveau du secteur terrien et du secteur spatial ont été examinées dans cette étude. Cette étude a porté sur sept différents types de stations terriennes MetSat équipées d'antennes de diamètre compris entre 1,2 et 15 m. Les angles d'élévation considérés variaient entre 3° et 90°. En ce qui concerne le brouillage causé par les stations du SMS, plusieurs cas types ont été recensés à savoir, les stations de p.i.r.e. relativement faible transmettant des signaux vers des satellites LEO (systèmes de type IRIDIUM, par exemple) et les stations de p.i.r.e. beaucoup plus élevée communiquant avec des satellites MOBSAT OSG (INMARSAT, par exemple). Dans les deux cas, le brouillage dans le même canal ainsi que le brouillage dans le canal adjacent ont été étudiés.

En ce qui concerne le secteur spatial, quatre configurations possibles de brouillage entre des engins spatiaux LEO et OSG des deux services ont été examinées. Pour chacun des quatre cas, il existe une configuration de proximité et une configuration tangentielle (quasi antipodale). La Fig. 1 représente de façon résumée toutes les configurations de brouillage considérées dans l'étude. Les stations du SMS peuvent être des unités portables ou des unités installées à bord de voitures ou à bord d'autres véhicules en déplacement. Les stations MetSat sont souvent situées à plusieurs mètres au-dessus du sol, étant donné qu'elles sont généralement installées au-dessus de bâtiments.

FIGURE 1
Configurations de brouillage examinées



2 Spécifications techniques

2.1 Spécifications des systèmes MetSat

2.1.1 Caractéristiques des stations terriennes

Concernant les types de station terrienne, les stations d'utilisateur des générations actuelle et future ainsi que les stations principales ont été étudiées. Les stations d'utilisateur comprennent les stations PDUS, les stations des utilisateurs des données secondaires (SDUS, *secondary data users station*), les stations de diffusion de données météorologiques (MDD, *meteorological data dissemination*), les stations de transmission d'images à haute résolution (HRPT, *high resolution picture transmission*), les stations d'utilisateurs à débit élevé (HRUS, *high rate users station*) et les stations d'utilisateurs à faible débit (LRUS, *low rate users station*). Le Tableau 1 énumère les principales caractéristiques techniques utilisées dans l'étude.

TABLEAU 1

Caractéristiques types des stations MetSat

Station terrienne MetSat	PDUS	SDUS	MDD	HRPT	HRUS	LRUS	Station principale
Fréquence centrale du canal (kHz)	1 691 1 694,5 1 687 ⁽¹⁾ 1 685 ⁽²⁾	1 694,5 1 691	1 695,74	1 698 1 701 1 702,5 1 704 1 707	1 695,15 1 691	1 691 1 695,15	Toutes les fréquences des stations d'utilisateur sauf HRPT
Largeur de bande (kHz)	660	26	4 × 31,2	2 668 5 334	2 000	660	30-5 400
Polarisation	Linéaire	Linéaire	Linéaire	Circulaire droite, circulaire gauche	Linéaire	Linéaire	Linéaire
Diamètre de l'antenne (m)	3	1,2	2,4	2,4; 15	4	1,8	15
G/T (dB(K ⁻¹))	10,5	2,5	6	6,5	13	5,5	25
Angle d'élévation minimal (degrés)	3	3	3	5	3	3	5

(1) La largeur de bande de la station VISSR est de 6 MHz.

(2) La largeur de bande de la station GOES/GVAR est de 4,22 MHz.

Les espacements requis dépendent de l'angle d'élévation. Cet angle est compris entre 5° et 90° pour les systèmes à satellites LEO et entre 3° et 90° pour les stations recevant des données en provenance de satellites OSG. Les stations principales quant à elles fonctionneront à des angles d'élévation supérieurs à 5°. Le nombre de stations MetSat actuellement enregistrées à l'OMM est supérieur à 8 000 pour les stations d'utilisateur fonctionnant dans la bande 1 690-1 710 MHz et de 15 pour les stations principales fonctionnant dans la bande 1 675-1 690 MHz.

2.1.2 Caractéristiques de satellites OSG (série MOP)

Position:	0,0° E
Densité spectrale de p.i.r.e., DCP:	-18,5 dB(W/kHz) à 1 675,281 MHz ± 100 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., TLM1:	-9,8 dB(W/kHz) à 1 675,929 MHz ± 15 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., TLM2:	-9,8 dB(W/kHz) à 1 676,180 MHz ± 15 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., images brutes:	-26,7 dB(W/kHz) à 1 686,833 MHz ± 2,7 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., WEFAX1:	7,2 dB(W/kHz) à 1 691,000 MHz ± 13 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., WEFAX2:	7,2 dB(W/kHz) à 1 694,500 MHz ± 13 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., HIRES1:	-6,9 dB(W/kHz) à 1 691,000 MHz ± 330 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., HIRES2:	-6,9 dB(W/kHz) à 1 694,500 MHz ± 330 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., MDD1:	-8,0 dB(W/kHz) à 1 695,6938 MHz ± 16 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., MDD2:	-8,0 dB(W/kHz) à 1 695,7250 MHz ± 16 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., MDD3:	-8,0 dB(W/kHz) à 1 695,7563 MHz ± 16 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., MDD4:	-8,0 dB(W/kHz) à 1 695,7874 MHz ± 16 kHz

2.1.3 Caractéristiques de satellites OSG (série MSG)

Position:	0° E
Densité spectrale de p.i.r.e., DCP:	-36,1 dB(W/kHz) à 1 675,281 MHz ± 375 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., images brutes	-18,8 dB(W/kHz) à 1 683,330 MHz ± 3,0 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., LRIT/HRIT:	-14,5 dB(W/kHz) à 1 692,000 MHz ± 2,0 kHz
Densité spectrale de p.i.r.e., HRIT/LRIT:	-14,5 dB(W/kHz) à 1 696,000 MHz ± 2,0 kHz

2.1.4 Caractéristiques de satellites LEO (METOP)

Altitude de l'orbite:	827 km
Inclinaison:	98,7°
Fréquence centrale nominale:	1 707 MHz
Fréquence centrale de secours:	1 701 MHz
Niveau de densité de p.i.r.e.:	-20,7 dB(W/kHz)
Largeur de bande:	4,5 MHz
Diagramme d'antenne:	Appendice S7 du RR

En outre, EUMetSat, la France, le Japon, la Chine et la Russie ont des projets immédiats concernant des systèmes similaires.

2.2 Spécifications des systèmes du SMS

Pour l'évaluation des brouillages, les caractéristiques types des petites stations du SMS ont été utilisées. Les Tableaux 2 et 3 présentent des paramètres de système pour aider dans les études de partage des fréquences. Un ensemble représentatif de données a été extrait de ce texte en vue de la présente étude. Pour ce qui est du gain d'antenne des satellites MOBSAT LEO, il a été décidé d'utiliser des antennes de gain maximal compris entre 19 dBi (couverture de la Terre) et 29 dBi (faisceau ponctuel). Pour les satellites OSG du SMS, des valeurs comprises entre 18 et 34 dBi sont utilisées dans cette étude.

2.2.1 Caractéristiques des stations terriennes dans le cas des systèmes à satellites OSG du SMS

Le Tableau 2 présente quelques caractéristiques de transmission types de stations à faible gain communiquant avec un MOBSAT géostationnaire. En raison des grandes distances en jeu, une puissance relativement élevée est nécessaire pour transmettre un signal jusqu'à l'OSG. Pour le même type de service, la p.i.r.e. nécessaire est généralement de 20 à 30 dB plus élevée que pour la transmission de signaux vers une orbite basse. Il apparaît que les systèmes de gain moyen causent des brouillages plus intenses en raison de leur gain plus élevé et donc de leur p.i.r.e. maximale plus élevée. Toutefois, ces stations disposent dans la pratique d'une sorte de dispositif de prépointage en direction de la position du satellite. Etant donné que le brouillage causé aux stations MetSat est avant tout déterminé par la quantité d'énergie rayonnée vers l'horizon, l'antenne offrira une certaine immunité au brouillage. L'effet d'ensemble sera très semblable à celui de systèmes utilisant des antennes équidirectives, sauf si la station du SMS fonctionne effectivement avec un faible angle d'élévation.

TABLEAU 2

Caractéristiques types de stations terriennes de faible gain d'INMARSAT

Type de station terrienne du SMS	C	M	Aéronautique, de gain élevé	Aéronautique, de faible gain
Gain d'antenne (dBi)	0	14	12	0
p.i.r.e. par canal (dBW)	11	27	26	12
Débit de données par canal (bit/s)	600	2 400	9 600	300
p.i.r.e. par kbit/s (dB(W/kHz))	13,2	23,2	16,2	17,2
Modulation	MDP-2	MDP-4 avec décalage	MDP-4 avec décalage	MDP-2
Espacement des canaux (kHz)	5	10	17,5	2,5
p.i.r.e. moyenne dans le plan horizontal (dBW)	11	13	14	12
Densité de p.i.r.e. (dB(W/kHz)) basée sur l'espacement des canaux	4	3	1,6	8

2.2.2 Caractéristiques des stations terriennes dans le cas des systèmes à satellites LEO du SMS

Des renseignements ont été publiés concernant un certain nombre de systèmes à satellites LEO du SMS qui se trouvent à une étape de planification plus ou moins avancée, avec des caractéristiques de système qui varient beaucoup. L'un des systèmes les plus avancés est le système IRIDIUM. Les caractéristiques présentées dans le Tableau 3, considérées comme étant typiques des systèmes à satellites LEO du SMS, sont utilisées dans cette étude.

TABLEAU 3

Caractéristiques types du système IRIDIUM

Gain d'antenne maximal en direction de l'horizon (dBi)	0
p.i.r.e. par canal (dBW)	-4 à 6
Débit de données par canal (kbit/s)	50
p.i.r.e. par kbit/s (dB(W/kHz))	-21 à -11
Modulation	MDP-4
Polarisation	Circulaire droite
Angle d'élévation minimal (degrés)	8,3
Espacement des porteuses RF (kHz)	41,67
Largeur de bande de modulation (kHz)	31,5
Altitude (km)	780
Inclinaison (degrés)	86
Plans orbitaux	6
Densité de p.i.r.e. (dB(W/kHz))	-20 à -10

3 Critères de protection et aspects de réglementation radioélectrique

Les critères de partage des fréquences et de coordination applicables aux systèmes de transmission de données espace-Terre des services d'exploration de la Terre par satellite et de météorologie par satellite utilisant des satellites LEO ont été établis par la Recommandation UIT-R SA.1027. La Recommandation UIT-R SA.1161 s'applique aux systèmes de diffusion de données et d'acquisition directe de données du service MetSat utilisant des satellites OSG. Le Tableau 4 donne la liste des parties correspondantes de ces Recommandations applicables aux systèmes examinés dans la présente étude. Les valeurs acceptables de brouillage sont données à la fois par largeur de bande de référence (BWr) et sous forme d'une densité (kHz).

TABLEAU 4

Critères de partage pour les systèmes de météorologie

Bande de fréquences (MHz)	Type de station terrienne	Angle d'élévation minimal, ϵ (degrés)	Densité de puissance (dB(W/BWr)) du signal brouilleur pendant 20% du temps	Densité de puissance (dB(W/kHz)) du signal brouilleur pendant 20% du temps
1 675-1 690	Station principale	5	-150,7 par 2 600 kHz	-184,8
1 690-1 698	SDUS	3	-150,1 par 50 kHz	-167
1 690-1 698	PDUS MDD	3	-145,4 par 2 110 kHz	-178,6
1 700-1 710	HRPT	5	-145,0 par 2 668 kHz	-179,3

Jusqu'à présent, l'UIT n'a établi des critères de partage des fréquences que pour les systèmes existants. Le numéro S5.377 du RR stipule que l'introduction de systèmes du SMS ne doit pas imposer de contraintes au développement des services de météorologie. Le système METEOSAT de seconde génération (MSG) est actuellement en cours de développement et les nouveaux types de station ci-après ont été examinés. Un rapport porteuse/brouillage, C/I, de 20 dB a été choisi comme critère de protection pour ces stations.

TABLEAU 5

Brouillage acceptable pour les systèmes de seconde génération

Bande de fréquences (MHz)	Type de station terrienne	Angle d'élévation minimal, ϵ (degrés)	Densité de puissance (dB(W/BWr)) du signal brouilleur pendant 20% du temps	Densité de puissance (dB(W/kHz)) du signal brouilleur pendant 20% du temps
1 690-1 698	LRUS	3	-165 par 2 000 kHz	-186
1 690-1 698	HRUS	3	-158 par 4 000 kHz	-188

4 Analyses des brouillages

4.1 Evaluation du brouillage causé par les stations terriennes du SMS aux stations terriennes MetSat

Une station de Terre d'émission du SMS peut causer du brouillage à une station terrienne de réception MetSat si la transmission de signaux a lieu au voisinage de cette dernière. Un espacement est donc nécessaire entre la station terrienne du SMS et les stations MetSat afin que le signal brouilleur reçu soit en dessous des critères de protection. L'espacement est la distance limite en deçà de laquelle un brouillage préjudiciable sera causé avec certitude à la station de réception MetSat sauf en cas d'occultation sur le trajet du signal, par exemple par des bâtiments ou des collines. Outre l'affaiblissement en espace libre, le signal sera affaibli en raison d'effets atmosphériques, de la présence d'obstacles sur son trajet et de la diffraction due à la courbure de la Terre et au relief. La principale contribution supplémentaire provient des affaiblissements par diffraction. L'affaiblissement atmosphérique est négligeable à 1,7 GHz. L'affaiblissement principal du signal, L_t , s'exprime alors par la somme de l'affaiblissement en espace libre, L_s , et de l'affaiblissement par diffraction, L_d :

$$L_t = L_s + L_d$$

L'affaiblissement en espace libre est donné par $L_s \cong 20 \log(42 df)$. La Recommandation UIT-R P.526 propose une évaluation des affaiblissements par diffraction basée sur les équations suivantes:

$$L_d = -(F(X) + G(Y_1) + G(Y_2))$$

$$F(X) = 11 + 10 \log X - 17,6 X$$

$$G(Y) = 20 \log(Y + 0,1 Y^3) \quad \text{pour} \quad 10 K < Y < 2$$

$$X = 2,2 \beta f^{1/3} \alpha_e^{-2/3} d$$

$$Y = 9,6 \times 10^{-3} \beta f^{2/3} \alpha_e^{-1/3} h$$

où:

d : longueur du trajet (km)

h : hauteur d'antenne (m)

f : fréquence (MHz)

α_e : rayon terrestre équivalent ($\cong 8\,500$ km)

β : paramètre de polarisation ($\cong 1$)

K : facteur d'admittance de surface ($< 0,01$).

L'affaiblissement total du signal est fonction de la distance (km) et de la hauteur des antennes des stations d'émission et de réception. Pour les stations MetSat, une hauteur moyenne de 10 m a été choisie car la plupart des stations sont installées sur des bâtiments ou sur des toits. La hauteur des stations du service mobile varie selon qu'il s'agit d'unités portables ou installées à bord de voitures, de camions, de navires ou même d'aéronefs. Il a été décidé de prendre une hauteur moyenne de 3 m. L'affaiblissement total du signal, avec des hauteurs d'antenne respectives de 10 m et 3 m, s'exprime de la manière suivante:

$$L_t = 115,05 + 10 \log d + 1,11 d$$

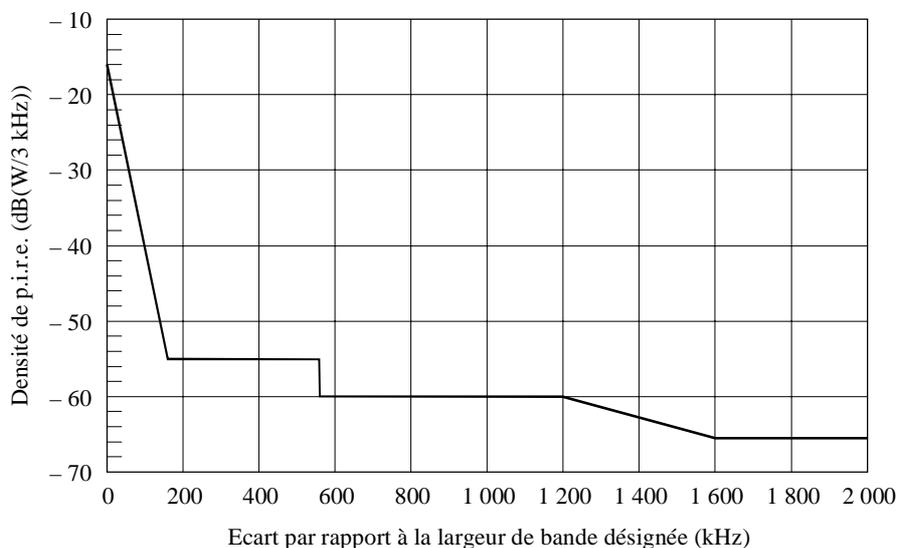
Les espacements nécessaires résultants ont été calculés et présentés graphiquement. Afin de prendre en considération l'affaiblissement supplémentaire du signal brouilleur dû aux arbres, aux bâtiments, aux collines, etc., il a été tenu compte d'un facteur d'occultation de signal de 6 dB pour la moitié des stations du SMS, ce qui se traduit par un affaiblissement moyen de 2 dB pour le brouillage total causé par toutes les stations du SMS dans la largeur de bande de référence du récepteur d'une station terrienne MetSat.

En outre, la probabilité de recevoir des signaux en provenance de plusieurs stations du SMS avec un gain d'antenne maximal en direction de l'horizon diminue avec l'angle d'élévation. La probabilité pour que plusieurs stations émettent dans le faisceau principal est d'autant plus faible que l'angle d'élévation est faible. On a donc appliqué un facteur de correction de 2 dB pour les angles d'élévation moyens et de 5 dB pour les faibles angles d'élévation.

La polarisation du signal de la plupart des applications du service MetSat est linéaire tandis que la majorité des stations du SMS émettent des signaux à polarisation circulaire. Un facteur de discrimination de la polarisation de 3 dB a donc été inclus dans les calculs de brouillage à plusieurs sources.

Par ailleurs, il ne faut pas négliger un point important: le brouillage causé par les stations du SMS qui émettent des signaux à des fréquences situées en dehors de la largeur de bande de référence; ce brouillage est appelé brouillage dans le canal adjacent ou brouillage dans un autre canal. Il est évident que le spectre du signal modulé n'est pas nul en dehors du canal principal mais qu'il suit un certain gabarit déterminé par la méthode de modulation et de conformation des impulsions ainsi que par un éventuel filtrage supplémentaire. A la CMR-95, des délégués représentant des exploitants du SMS ont proposé un gabarit spectral pour les rayonnements non désirés, défini par l'Institut européen des normes de télécommunication (ETSI). Ce gabarit est représenté sur la Fig. 2. Il convient de noter que ce gabarit n'est pas encore approuvé mais qu'il s'agit de la meilleure information disponible à l'heure actuelle.

FIGURE 2
Gabarit normalisé par l'ETSI applicable aux rayonnements
non désirés pour les stations S-PCN



1158-02

Il est nécessaire de connaître l'enveloppe des lobes de gain d'antenne pour pouvoir déterminer le brouillage reçu. Le diagramme de rayonnement est extrait de l'Appendice S7 du RR. Afin de montrer comment les espacements sont calculés, donnons un exemple de brouillage causé par des stations terriennes du SMS à des stations PDUS. Le gain d'antenne type d'une station PDUS est de l'ordre de 32 dBi. Les angles d'élévation de ces stations se situent entre 3° et 90°. Le gain d'antenne dans le plan horizontal est généralement compris entre -2 et 26 dB suivant les angles d'élévation et d'azimut de la station. Les espacements nécessaires pour le calcul du brouillage causé par plusieurs stations du SMS sont donnés sur la Fig. 3 sur une large plage de densités de p.i.r.e.

L'angle d'élévation a été choisi comme paramètre. Le modèle mathématique permettant de calculer cet espacement repose sur une répartition uniforme des stations du SMS dans la largeur de bande du récepteur et sur une discrimination de la polarisation de 3 dB. Il est tenu compte de la probabilité réduite de recevoir des signaux en provenance de plusieurs stations du SMS à des angles d'élévation faibles ainsi que de l'occultation des signaux par des arbres, des bâtiments et d'autres obstacles.

Pour le brouillage à plusieurs sources, on a supposé impossible la réutilisation de fréquences par les stations du SMS dans la plage type d'espacements d'une station MetSat étant donné que les faisceaux de satellite sont généralement beaucoup plus larges que les zones d'exclusion. On a donc supposé que le brouillage à plusieurs sources est limité au nombre de canaux du SMS pouvant occuper la largeur de bande de référence du récepteur MetSat spécifique. Par conséquent, les valeurs correspondantes de p.i.r.e. des stations du SMS ont été comparées à la densité de puissance de brouillage applicable telle qu'elle est définie dans les critères de protection.

4.2 Evaluation du brouillage causé par un satellite LEO du MetSat à un satellite OSG ou LEO du MOBSAT

Il existe quatre configurations orbitales pour lesquelles la probabilité de brouillage est supérieure à celle de toutes les autres configurations. Les deux premières sont des configurations tangentielles (quasi antipodales) entre les deux satellites et les deux autres correspondent aux cas où les points subsatellites sont identiques et où l'espacement est par conséquent minimal. La Fig. 4 montre ces configurations. Dans tous les autres cas intermédiaires, la situation de brouillage sera moins critique. A mesure que les satellites s'éloigneront de ces positions, la discrimination supplémentaire d'antenne deviendra déterminante.

FIGURE 3
Espacements totaux pour des stations PDUS

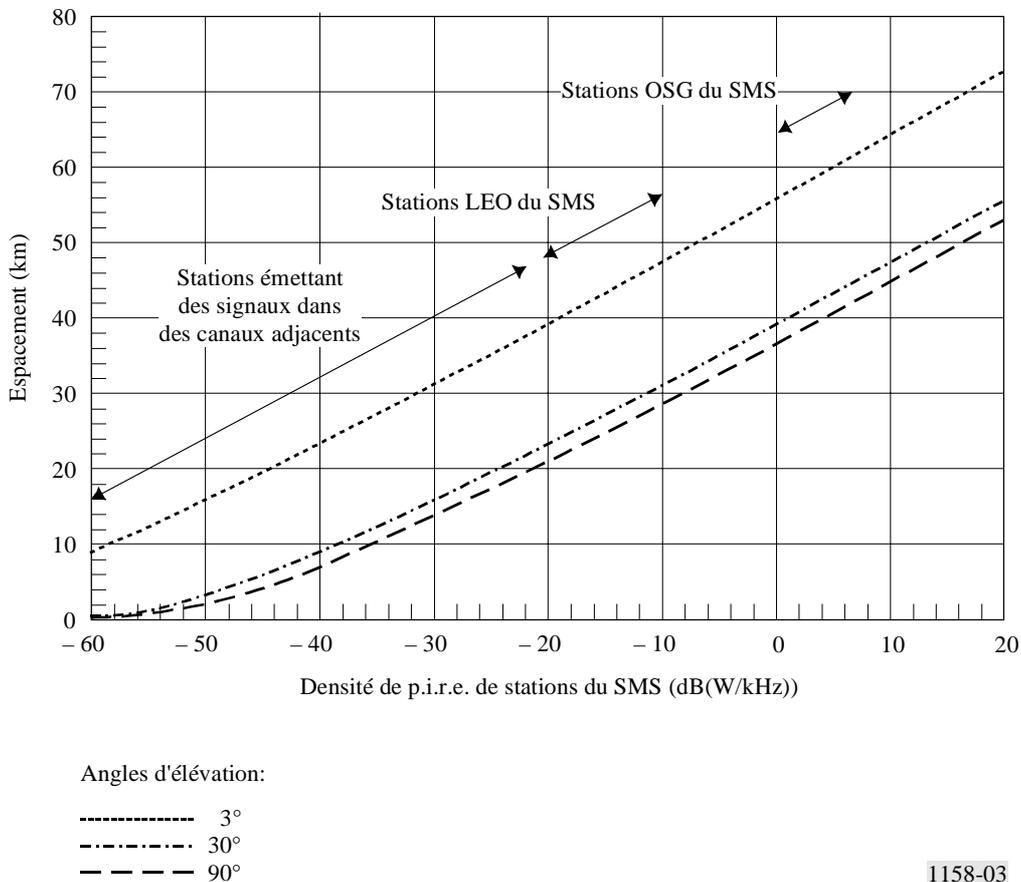
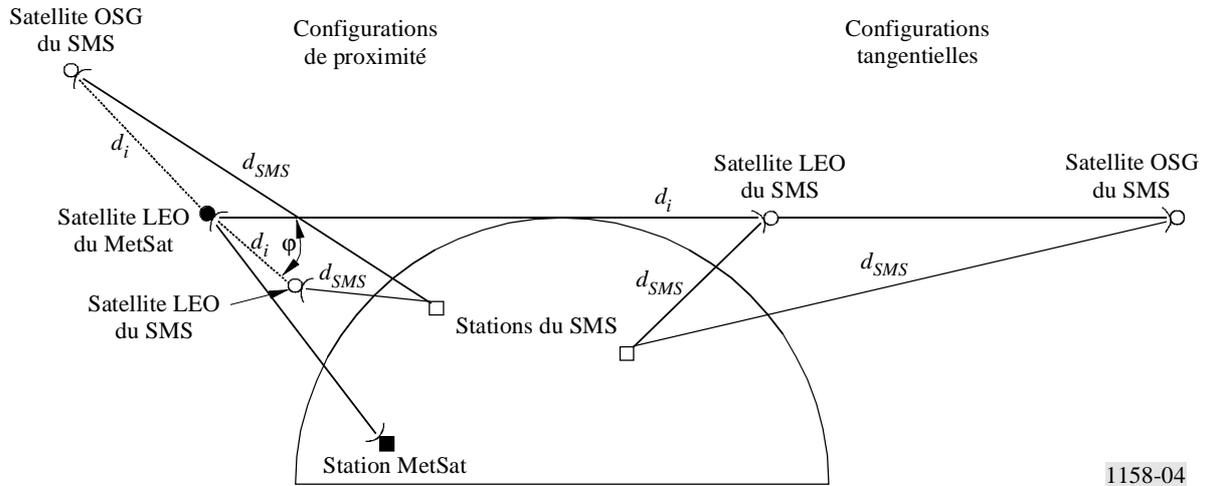


FIGURE 4

Configurations de brouillage entre un satellite LEO du MetSat et un satellite MOBSAT



1158-04

Le rapport entre le signal utile et le signal brouilleur est donné par l'équation suivante:

$$C/I = D_{p.i.r.e.SMS} - D_{p.i.r.e.MetSat} + G_{SMS} - G_{SMS(MetSat)} - (d_{SMS}/d_i)^2 + D_\phi \quad \text{dB}$$

où:

- $D_{p.i.r.e.SMS}$: densité de p.i.r.e. de la station du SMS
- $D_{p.i.r.e.MetSat}$: densité de p.i.r.e. du satellite MetSat
- G_{SMS} : gain de l'antenne du satellite MOBSAT en direction de la station du SMS
- $G_{SMS(MetSat)}$: gain de l'antenne du satellite MOBSAT en direction du satellite MetSat
- d_{SMS} : distance entre la station du SMS et le satellite MOBSAT
- d_i : distance entre le satellite MetSat et le satellite MOBSAT
- D_ϕ : discrimination d'antenne du satellite MetSat en direction du satellite MOBSAT.

Les plages de valeurs appropriées pour les paramètres ci-dessus, données dans le Tableau 6, sont utilisées dans les § 4.2 et 4.3.

TABLEAU 6

Caractéristiques types de systèmes

	LEO du SMS	OSG du SMS
$D_{p.i.r.e.SMS}$ (dB(W/kHz))	-21 à -11	13 à 23
$D_{p.i.r.e.MetSat}$ (dB(W/kHz))	-25 à -21	-25 à -21
G_{SMS} (dBi)	19 à 29	18 à 34
$G_{SMS(MetSat)}$ (dBi)	0 à 26	15
d_{SMS} (km)	780 à 2 000	36 000 à 40 000
d_i (km)	47 à 6 600	45 000
D_ϕ (dB)	0 à 10	3 à 10

4.2.1 Brouillage causé par un satellite LEO du MetSat à un satellite MOBSAT LEO

4.2.1.1 Configuration de proximité

L'équation ci-dessus permet d'obtenir les résultats ci-après pour le brouillage reçu par le satellite MOBSAT LEO en configuration de proximité.

TABLEAU 7

Résultats relatifs à la configuration de proximité LEO/LEO

Cas	Service MetSat	$D_{p.i.r.e.SMS}$ (dB(W/kHz))	$D_{p.i.r.e.MetSat}$ (dB(W/kHz))	G_{SMS} (dBi)	$G_{SMS(MetSat)}$ (dBi)	d_{SMS} (km)	d_i (km)	D_ϕ (dB)	C/I (dB)
Le plus défavorable	HRPT	-21	-21	19	0	2 000	47	0	-13,6
Le plus favorable	HRPT	-11	-25	29	0	780	47	0	18,6
Moyen	HRPT	-16	-23	24	0	1 400	47	0	1,5

Dans cette configuration, il faut un grand espacement. Dans le cas le plus défavorable, un espacement d'environ 700 km peut être nécessaire entre les deux satellites LEO. La probabilité d'un tel événement est d'environ 0,2% dans le cas de deux satellites et le plus long brouillage peut durer près de 3 min. Il convient en outre de noter que la probabilité de brouillage sera proportionnelle au nombre de satellites LEO du SMS et LEO du MetSat. Considérant 66 satellites LEO du SMS et 10 satellites LEO du MetSat, la probabilité totale de brouillage pourrait être en pratique de 100% dans le cas le plus défavorable. Cela signifie qu'à tout instant, un certain nombre de canaux du SMS sont brouillés de façon inacceptable.

Pour résoudre ce problème, une coordination par sélection dynamique des fréquences a été proposée dans le passé. Cette méthode peut être difficile à appliquer car les signaux émis par les stations HRPT occupent des bandes larges de plusieurs MHz et peuvent alors exiger la libération régulière d'un grand nombre de canaux du SMS.

4.2.1.2 Configuration tangentielle

Le Tableau 8 montre les résultats concernant le brouillage reçu par le satellite MOBSAT LEO en configuration tangentielle. La distance entre les deux satellites LEO est suffisamment grande pour que le rapport C/I soit supérieur à 20 dB dans tous les cas.

TABLEAU 8

Résultats relatifs à la configuration tangentielle LEO/LEO

Cas	Service MetSat	$D_{p.i.r.e.SMS}$ (dB(W/kHz))	$D_{p.i.r.e.MetSat}$ (dB(W/kHz))	G_{SMS} (dBi)	$G_{SMS(MetSat)}$ (dBi)	d_{SMS} (km)	d_i (km)	D_ϕ (dB)	C/I (dB)
Le plus défavorable	HRPT	-21	-21	19	13	2 000	6 600	6	22,4
Le plus favorable	HRPT	-11	-25	29	23	780	6 600	6	44,5
Moyen	HRPT	-16	-23	24	18	1 400	6 600	6	32,5

4.2.2 Brouillage causé par un satellite LEO du MetSat à un satellite MOBSAT OSG

4.2.2.1 Configuration de proximité

Dans les deux configurations (de proximité et tangentielle), le rapport C/I est toujours supérieur à 20 dB.

4.3 Brouillage causé par un satellite OSG du MetSat à un satellite MOBSAT LEO et OSG

Les satellites OSG du MetSat sont essentiels pour les prévisions météorologiques mondiales depuis de nombreuses années. L'utilisation des canaux de fréquence et des formats de transmission a fait l'objet d'accords internationaux. Plusieurs satellites MetSat sont géostationnaires. Il existe quatre configurations orbitales – deux tangentielles et deux de proximité – pour lesquelles la probabilité de brouillage est supérieure à celle des autres configurations. La Fig. 5 montre ces configurations.

L'équation et les caractéristiques de système données au § 4.2 restent valables ici. Il convient de noter que la p.i.r.e. des signaux émis par MetSat est généralement de plusieurs décibels inférieure à celle des autres satellites OSG du MetSat (GOES, par exemple). Les niveaux de brouillage causé au satellite MOBSAT mesurés dans la pratique peuvent donc être plus élevés que les niveaux calculés dans cette étude. Les données relatives au partage des fréquences avec d'autres satellites figurent dans l'Annexe 2. En raison du grand nombre de combinaisons possibles, seuls des cas types ont été examinés, qui sont principalement basés sur une valeur moyenne de p.i.r.e. dans le SMS.

4.3.1 Brouillage causé par un satellite OSG du MetSat à un satellite MOBSAT LEO

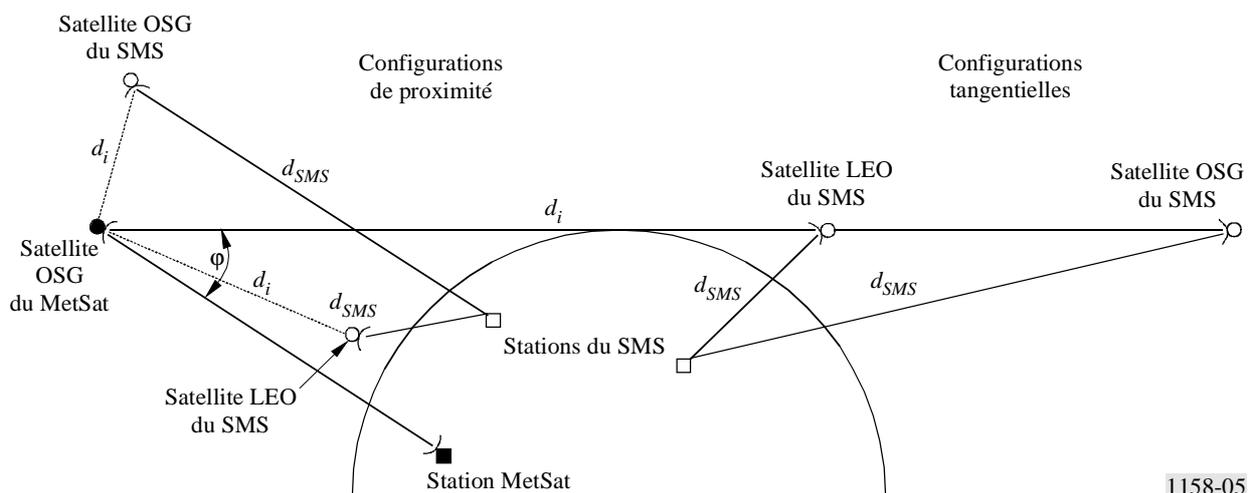
En configuration de proximité, le rapport C/I est toujours supérieur à 20 dB. La situation est similaire pour la configuration tangentielle: le rapport C/I est supérieur ou parfois tout juste égal à 20 dB dans tous les cas à l'exception du cas de l'émission de signaux par le service Weather Faximile (WEFAX), qui occupe 2 intervalles de 26 kHz autour de 1 691 MHz et de 1 694,5 MHz.

4.3.2 Brouillage causé par un satellite OSG du MetSat à un satellite MOBSAT GEO

En configuration de proximité, il est évident qu'un certain espacement est nécessaire sur l'OSG en cas d'émission et de réception dans le même canal. Afin d'obtenir le rapport C/I souhaité, de grands espacements, généralement compris entre 1 000 et 1 600 km, sont nécessaires pour la majorité des applications du service MetSat, ce qui se traduit par un écart angulaire compris entre $\pm 1,3^\circ$ et $\pm 2^\circ$. Le service WEFAX est à nouveau un cas spécial nécessitant un espacement supérieur à 8 000 km ou un écart angulaire de $\pm 11^\circ$ sur l'OSG. Etant donné la très faible largeur des bandes concernées, il ne s'agit pas là d'une condition essentielle.

En configuration tangentielle, le cas WEFAX ne répond pas au critère C/I , l'écart étant d'environ 2 dB, mais on estime que cela n'est pas primordial.

FIGURE 5
Configurations de brouillage entre un satellite OSG du MetSat et un satellite MOBSAT



5 Discussion

5.1 Plage d'espacements pour les stations LEO du SMS

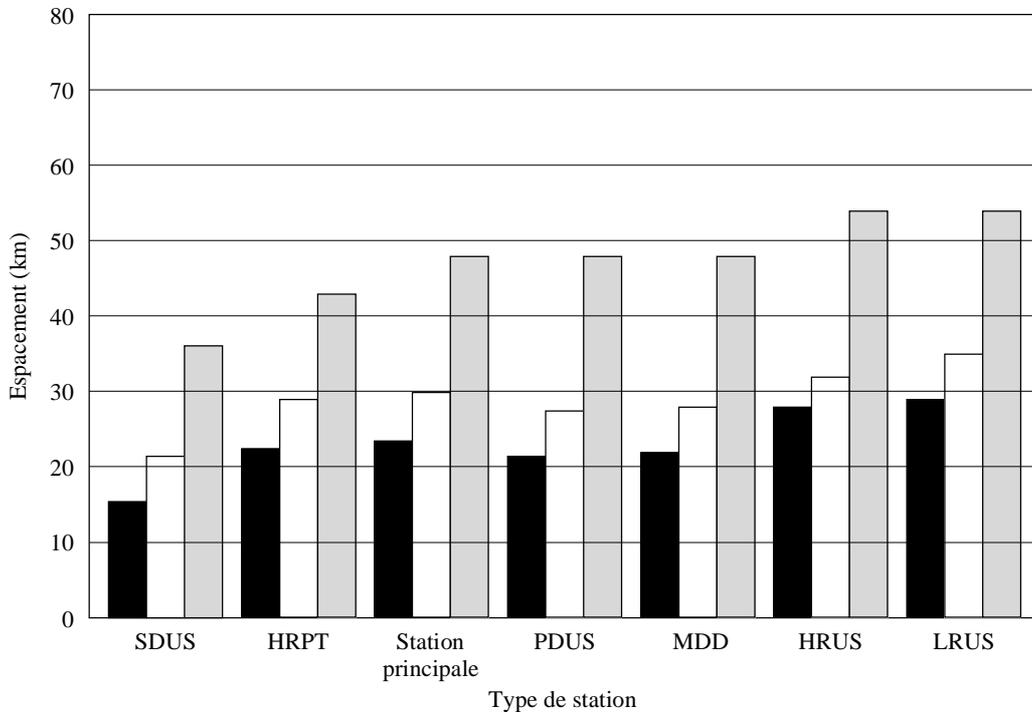
La plupart des stations du SMS devraient être utilisées dans le cadre de systèmes à satellites LEO. En raison de leur forte densité, ces systèmes pourront avoir en pratique une influence déterminante dans la situation de partage des fréquences, même si les niveaux de p.i.r.e. des systèmes OSG sont supérieurs. La Fig. 6 donnent les espacements dans les cas le plus

favorable, moyen et le plus défavorable de plusieurs situations. Le cas le plus favorable – en termes de brouillage – correspond au plus grand angle d'élévation d'antenne du service MetSat et au plus bas niveau de densité spectrale de p.i.r.e. du SMS. Le cas moyen est basé sur une densité spectrale de p.i.r.e. moyenne et un angle d'élévation type de 30°. Le cas le plus défavorable correspond quant à lui à la densité spectrale de p.i.r.e. la plus élevée et à l'angle d'élévation le plus faible.

On peut constater que les espacements sont relativement indépendants du type de station MetSat. Des espacements types compris entre 30 et 40 km et parfois supérieurs à 50 km (dans le cas le plus défavorable) rendent impossible dans la pratique le partage de bandes de fréquences dans les zones où la densité des stations MetSat est moyenne.

Les stations MetSat de la nouvelle génération sont plus sensibles que les stations actuellement installées. Cette situation, qui va dans le sens d'une bonne gestion des fréquences, tient essentiellement à l'utilisation d'une densité de p.i.r.e. réduite au niveau du satellite. La réduction de puissance qui parvient de ce fait au récepteur est compensée par l'utilisation d'un codage de canal. Pour garder un rapport *C/I* constant, il a fallu diminuer le niveau de brouillage acceptable.

FIGURE 6
Plage d'espacements pour les stations LEO du SMS



- SDUS: station des utilisateurs des données secondaires
- HRPT: station de transmission d'images à haute résolution
- PDUS: station des utilisateurs des données primaires
- MDD: station de diffusion de données météorologiques
- HRUS: station d'utilisateurs à débit élevé
- LRUS: station d'utilisateurs à faible débit

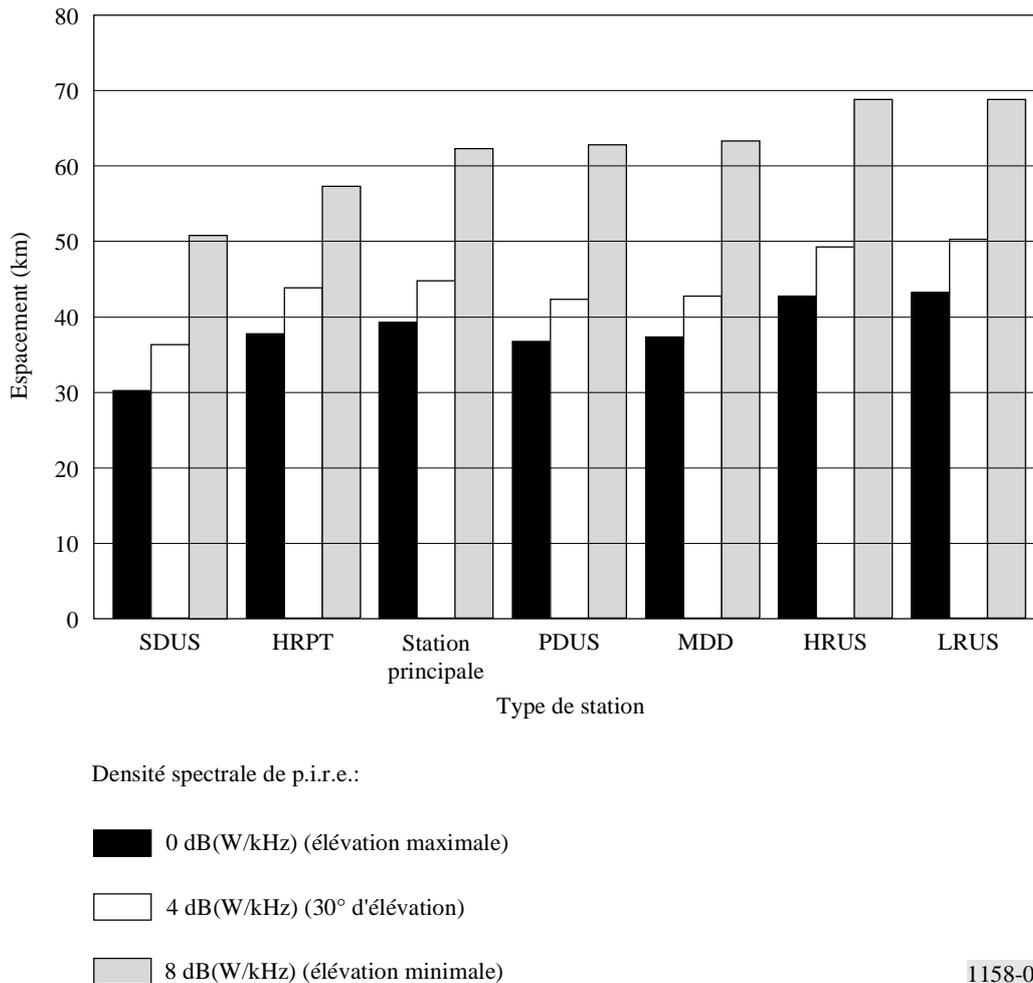
Densité spectrale de p.i.r.e.:

- 20 dB(W/kHz) (élévation maximale)
- 15 dB(W/kHz) (30° d'élévation)
- 10 dB(W/kHz) (élévation minimale)

5.2 Plage d'espacements pour les stations OSG du SMS

La Fig. 7 montre la plage d'espacements pour les stations du SMS émettant des signaux vers un satellite OSG. Les densités spectrales de p.i.r.e. sont plus élevées, ce qui se traduit par des espacements qui sont généralement supérieurs de 15 km à ceux correspondant au cas LEO. Ici aussi, les espacements correspondant aux cas le plus favorable, moyen et le plus défavorable de plusieurs situations sont récapitulés sur la base des mêmes hypothèses que dans le cas LEO. Des espacements types compris entre 40 et 60 km rendent impossible en pratique le partage de bandes de fréquences utilisées par des applications du service MetSat même dans les zones où la densité de stations est faible à moyenne.

FIGURE 7
Plage d'espacements pour les stations OSG du SMS



1158-07

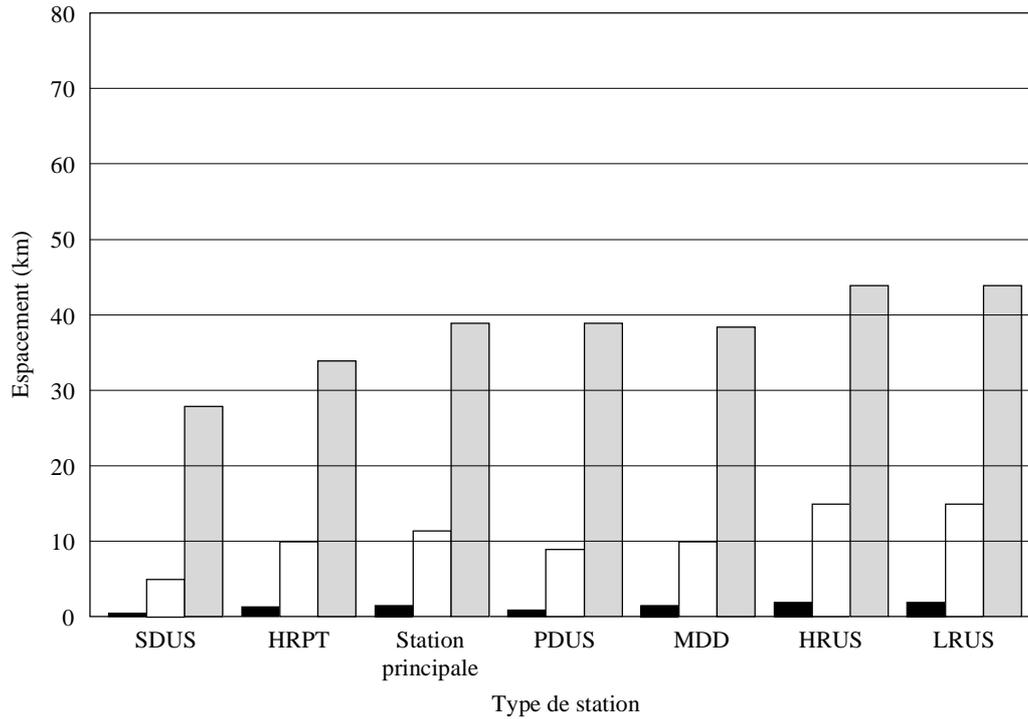
5.3 Plage d'espacements associée au brouillage dans le canal adjacent

Dans les deux cas ci-dessus, on a supposé que la station MetSat et la station du SMS fonctionnaient dans le même canal (brouillage dans le même canal). En pratique, les canaux adjacents comporteront une densité spectrale résiduelle qui pourra être suffisamment élevée pour causer un brouillage inacceptable à un récepteur MetSat. La Fig. 8 récapitule les résultats concernant le brouillage dans le canal adjacent sur la base du gabarit actuellement proposé par l'ETSI.

Suivant l'écart par rapport à la fréquence centrale de canal, on obtient un affaiblissement compris entre 6 et 45 dB par rapport au niveau maximal d'une station de système à satellites LEO. Il est intéressant de noter que l'espacement est toujours important pour les émissions dans le canal adjacent. Il faut donc optimiser les équipements des stations du SMS afin de réduire au minimum le brouillage causé par les émissions hors bande. C'est uniquement avec des densités de p.i.r.e. inférieures à -60 dB(W/kHz) que le partage d'une même bande de fréquences serait possible dans les zones où la densité des stations MetSat est moyenne à forte.

FIGURE 8

Plage d'espacements pour les stations du SMS causant un brouillage dans le canal adjacent dans le canal adjacent



Densité spectrale de p.i.r.e.:

- 60 dB(W/kHz) (élévation maximale)
- 40 dB(W/kHz) (30° d'élévation)
- 21 dB(W/kHz) (élévation minimale)

1158-08

5.4 Zones d'exclusion autour des stations du service MetSat

Il est très intéressant de connaître le nombre et la répartition des stations actuellement installées ainsi que de celles qu'il est prévu d'installer dans le futur. Le nombre de stations actuellement enregistrées à l'OMM est supérieur à 8 000.

Pour évaluer brièvement la situation en Europe, on peut faire les hypothèses suivantes. Les pays de l'Union européenne s'étendent sur une superficie d'environ 3 millions de km². Plus de 3 000 stations sont actuellement enregistrées à l'OMM pour ces pays, ce qui signifie que la densité moyenne est de une station pour 1 000 km². Etant donné que la zone d'exclusion minimale pour la protection des stations terriennes MetSat est plus élevée dans tous les cas considérés, il est évident que la coordination avec les stations du SMS dans une bande utilisée en partage est presque impossible en pratique.

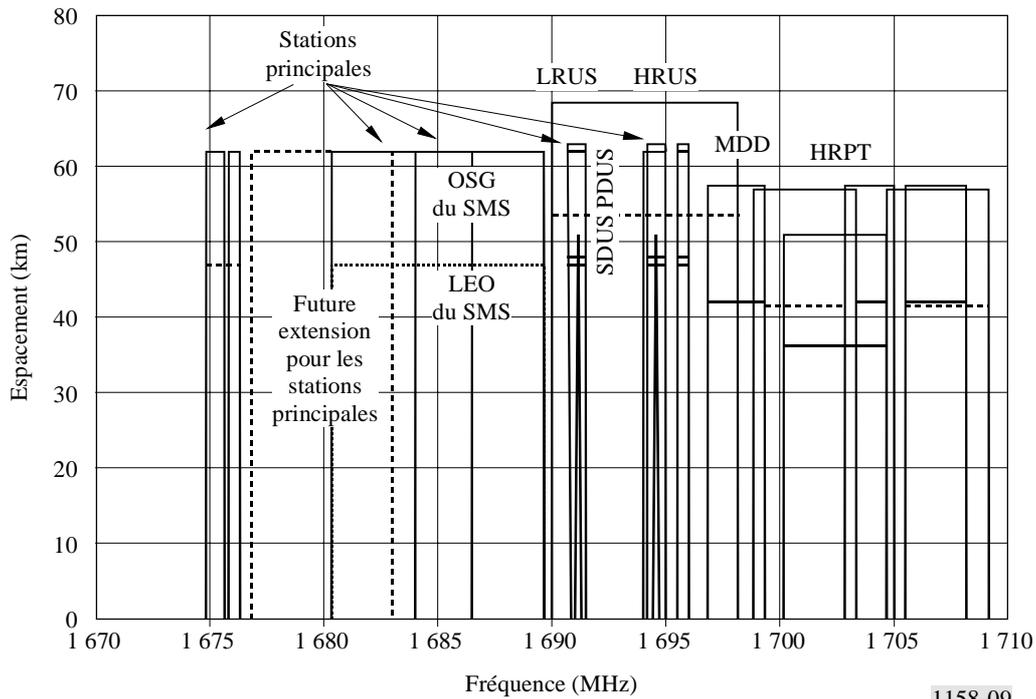
La situation sur le plan mondial est similaire. La densité totale de stations est plus faible mais il existe de vastes zones où les stations du SMS doivent respecter des zones de protection.

La seule bande qui soit utilisée par un nombre relativement faible de stations est la bande 1 675-1 690 MHz. Le nombre de stations est estimé à 15 dans le monde entier. Toutefois, il faut souligner que ces stations sont les stations principales qui comportent toutes les fonctions essentielles de commande et d'acquisition des données. Ce sont également les stations source pour les milliers de stations d'utilisateur; tout brouillage causé à ces stations aurait des effets multiples. Par ailleurs, la méthode de collecte des données est telle que la durée de réception d'une trame entière d'information est généralement de 20 min. Toute interruption pendant cet intervalle de temps conduirait, dans le cas le plus favorable, à un «trou noir» sur la carte météorologique et, dans le cas le plus défavorable, à une perte pure et simple de l'image s'il est impossible d'effectuer une resynchronisation dans un délai raisonnable.

La Fig. 9 est un récapitulatif des canaux attribués au service MetSat et des types de stations associés.

FIGURE 9

Largeurs de bande occupées par le service MetSat



1158-09

5.5 Configurations de brouillage espace-espace

Le cas de brouillage le plus grave correspond à la configuration satellite LEO du MetSat/satellite MOBSAT LEO, où les deux satellites sont très proches. L'absence de brouillage est impossible, même en choisissant les meilleurs paramètres de système possibles. Dans le cas le plus défavorable, un espacement d'environ 700 km peut être nécessaire entre les deux satellites LEO. La probabilité d'un tel événement est d'environ 0,2%, mais cette probabilité est à multiplier par le nombre d'engins spatiaux MetSat et MOBSAT. Pour une configuration de système type comprenant 66 satellites LEO du SMS et 10 satellites LEO du MetSat, la probabilité globale de brouillage pourrait être, dans le cas le plus défavorable, de 100% pour l'ensemble du système.

La méthode de coordination par sélection dynamique des fréquences peut être difficile à appliquer en pratique car les signaux émis par les stations HRPT occupent des bandes de plusieurs MHz. Cette méthode peut obliger les exploitants de systèmes du SMS à libérer régulièrement un grand nombre de canaux, ce qui n'est pas réalisable.

Dans deux cas où un satellite OSG du MetSat est en jeu, le rapport *C/I* de 20 dB souhaité ne peut jamais être atteint. Toutefois, les bandes de fréquences concernées sont de faible largeur. Dans la plupart des autres cas, le rapport *C/I* souhaité peut être atteint même lorsque des hypothèses pessimistes sont faites pour les paramètres de système. Le Tableau 9 contient un récapitulatif des configurations où un brouillage se produit, et des valeurs du rapport *C/I* dans des cas le plus défavorable, moyen et le plus favorable.

TABLEAU 9

Récapitulation des configurations de brouillage dans le segment spatial

Bande de fréquences (MHz)	Satellite MetSat	Satellite du SMS	<i>C/I</i> dans le cas le plus favorable	<i>C/I</i> dans le cas moyen	<i>C/I</i> dans le cas le plus défavorable
1 696,6-1 709,4	LEO	LEO	18,6	1,5	-13,6
1 690,9-1 691,1	OSG	LEO	14,8	9,8	4,8
1 694,4-1 694,6	OSG	OSG	23,1	18,1	13,1

En outre, pour toute configuration OSG/OSG, un certain espacement est nécessaire sur l'OSG en cas d'émission et de réception dans le même canal de fréquences. L'écart angulaire est généralement compris entre $\pm 1,3^\circ$ et $\pm 2^\circ$. Sur les canaux WEFAX, il faudrait un écart angulaire d'environ $\pm 11^\circ$. Toutefois, compte tenu de la très faible largeur des bandes utilisées pour les émissions WEFAX, il ne s'agit pas là d'une condition essentielle.

Il convient de noter que la p.i.r.e. des signaux émis par les engins spatiaux de la série METEOSAT est généralement inférieure de 6 dB à la p.i.r.e. des signaux émis par les engins de la série GOES. Il est donc possible que certains niveaux de brouillage mesurés dans la pratique soient supérieurs à ceux calculés dans la présente Recommandation.

6 Résumé

- En général, l'espacement autour des stations MetSat doit être d'environ 35 km dans le cas de stations LEO du SMS et environ 50 km dans le cas de stations OSG du SMS; cet espacement est relativement indépendant du type de station. Pour les faibles angles d'élévation, ces valeurs peuvent aller respectivement jusqu'à 54 et 68 km. Les zones d'exclusion autour des stations MetSat couvrent donc généralement plusieurs milliers de km², ce qui, en pratique, rend impossible le partage des fréquences dans les parties de la bande qui sont utilisées par des centaines, voire des milliers de stations dans le monde entier.
- Le brouillage dans le canal adjacent se traduit aussi par un espacement, allant jusqu'à 14 km pour une configuration classique et jusqu'à 44 km dans le cas le plus défavorable. La densité de p.i.r.e. du SMS ne doit pas dépasser -60 dB(W/kHz). Une bande de garde d'au moins 200 kHz est donc nécessaire entre les canaux d'émission du SMS et de réception du service MetSat.
- Une possibilité de partage des fréquences restreinte existe dans la bande 1 675-1 690 MHz, dans laquelle un petit nombre de stations principales sont exploitées. Le partage est possible si l'espacement autour de ces stations est compris à tout moment entre 45 et 62 km environ. Mais il faut pouvoir déterminer la position de la station du SMS avec une précision raisonnable par rapport aux espacements requis, ce qui n'est pas simple. Il reste à trouver des solutions applicables dans la pratique.
- Aucun partage de fréquences n'est possible dans la bande 1 690-1 698 MHz, qui est très utilisée par des milliers de stations dans le monde entier.
- Le partage est également impossible dans la bande 1 698-1 710 MHz en raison de centaines de stations HRPT réparties dans le monde entier.
- Dans le segment spatial, il faut s'attendre à un brouillage inacceptable causé aux satellites MOBSAT dans la configuration LEO/LEO entre 1 698 et 1 710 MHz. En outre, les signaux émis par le service WEFAX via des satellites OSG du MetSat rendront inutilisables deux bandes relativement étroites autour de 1 691 et de 1 694,5 MHz. Pour la configuration de proximité OSG/OSG, un écart angulaire d'au moins $\pm 2^\circ$ est nécessaire par rapport aux niveaux de p.i.r.e. du système METEOSAT. Pour certains autres satellites OSG du MetSat (GOES, par exemple), il faudra prévoir un écart plus grand.

ANNEXE 2

Renseignements relatifs aux systèmes MetSat mondiaux

Système MetSat	Fonction	Fréquence (MHz)	Largeur de bande RF (MHz)	p.i.r.e. (dBW)
GMS (OSG)	Capteur	1 681,600	20,000	27,0
	S-VISSR	1 687,100	6,000	25,0
	WEFAX1	1 691,000	0,260	17,0
	WEFAX2	1 691,000	0,032	7,0
	Télémetrie 1	1 684,000	1,000	17,0
	Télémetrie 2	1 688,200	1,000	-4,5
	Télémetrie 3	1 690,200	1,000	-4,5
	Rapport DCP	1 694,500	0,400	4,0
	Télémesure	1 694,000	0,400	10,0

Renseignements relatifs aux systèmes MetSat mondiaux (suite)

Système MetSat	Fonction	Fréquence (MHz)	Largeur de bande RF (MHz)	p.i.r.e. (dBW)
GOES (OSG)	Capteur W/B	1 676,000	5,000	19,0
	Capteur d'images brutes	1 681,600	25,000	27,9
	Multicapteur	1 681,478	0,500	19,0
	Détecteur en mode AAA	1 685,700	5,000	19,0
	Télémetrie 1	1 684,000	1,000	27,9
	Télémetrie 2	1 688,200	1,000	27,9
	Télémetrie 3	1 690,200	1,000	27,9
	Acquisition directe de données	1 687,100	3,500	27,9
	WEFAX	1 691,000	0,026	27,9
	Télémesure	1 694,000	0,020	19,0
	Rapport DCP 1	1 694,450	0,400	19,0
	Rapport DCP 2	1 694,500	0,400	21,1
	Rapport DCP 3	1 694,800	0,400	19,0
METEOSAT (OSG)	Rapport DCP	1 675,281	0,435	12,5
	Télémesure	1 675,929	0,030	5,0
	Capteur	1 686,833	5,300	10,7
	Télémetrie 1	1 691,000	0,660	21,3
	Télémetrie 2	1 694,500	0,660	21,3
	Fax à haute résolution 1	1 691,000	0,660	21,3
	Fax à haute résolution 2	1 694,500	0,660	21,3
	WEFAX1	1 691,000	0,026	21,3
	WEFAX2	1 694,500	0,026	21,3
	MDD	1 695,770	0,720	9,0
	HRIT	1 695,150	1,960	18,4
LRIT	1 691,000	0,660	16,6	
GOMS (OSG)	Capteur	1 685,000	5,000	23,0
	WEFAX1	1 671,48 1 690,8	0,018	18,8
	WEFAX2	1 674,48 1 691,4	0,018	18,8
	Fax à haute résolution 1	1 672,48 1 691,0	0,0024	12,3
	Fax à haute résolution 2	1 673,48 1 691,2	0,0024	12,3
	DCP 1	1 697,0	2,000 (300 × 3 kHz)	9,7
	DCP 2	1 688,5	1,000 (100 × 10 kHz)	12,0
Satellite type LEO du MetSat	Cas le plus défavorable	–	3,000	9,0

Techniques de partage entre stations terriennes du SMS et du MetSat dans la bande de fréquences 1 675-1 690 MHz

L'UIT-R a étudié un certain nombre de techniques susceptibles d'améliorer les possibilités de partage du spectre des fréquences radioélectriques entre systèmes mobiles ou mobiles par satellite et systèmes relevant d'autres services. Le problème de fond traité dans ces études est le suivant: lorsque le service mobile ou le SMS partage une bande de fréquences avec un autre service, on suppose que la station mobile ou la station terrienne du SMS peut fonctionner en n'importe quel point de la zone de service du système qui subit le brouillage, émettant à la fréquence utilisée en réception par ce dernier. Il est ainsi apparu qu'à l'intérieur de la zone de service, la station mobile ou la station terrienne du SMS pouvait occasionner des brouillages préjudiciables aux stations de l'autre service.

Il faut par ailleurs supposer que ces stations du service mobile ou du SMS sont utilisées par des personnes non accoutumées à prendre des mesures propres à prévenir tout brouillage préjudiciable entre stations. Les techniques appliquées pour contenir les brouillages dans les limites convenues ne doivent pas nécessiter l'intervention de l'utilisateur de la station mobile ou de la station terrienne du SMS. Plusieurs techniques de ce type, permettant de limiter le brouillage occasionné par une station terrienne d'émission du SMS à une station terrienne de réception MetSat, sont brièvement décrites ci-après. Ces techniques peuvent être utilisées séparément ou conjointement:

- assignation de fréquence par position,
- zones de protection par radiobalises,
- prévention du brouillage par sélection des fréquences,
- utilisation des fréquences dans une zone de couverture du faisceau du SMS uniquement quand les stations terriennes MetSat ne les utilisent pas (c'est-à-dire partage du temps avec priorité au MetSat).

1 Assignation de fréquence par position

1.1 Méthode garantissant une séparation fréquence-distance adéquate (dans le cas d'une zone d'exclusion fixe)

Sur un canal sémaphore non brouilleur, la station terrienne mobile indique sa position au centre d'exploitation du réseau (cette possibilité est prévue dans certains systèmes du SMS non OSG, en projet). Des canaux d'exploitation non brouilleurs sont alors assignés à partir d'un tableau de situation informatisée indiquant les fréquences dont l'utilisation ne provoquera pas de brouillage au point désigné, tableau complété par une liste de fréquences libres dans la zone de couverture du faisceau. La table de situation est établie à partir des données de positionnement et d'assignation de fréquence dont on dispose sur les stations terriennes MetSat.

1.2 Observations

- Des canaux sémaphores SMS non brouilleurs doivent être disponibles dans chaque zone de couverture des satellites du SMS.
- Les stations terriennes du SMS doivent offrir une fonction de repérage, intrinsèquement ou après adjonction de l'équipement nécessaire.
- La position de la station terrienne du SMS doit être connue du centre de contrôle du réseau avant toute assignation d'un canal de service.
- Un logiciel et une base de données de localisation des stations du SMS doivent être intégrés au système d'assignation de canal par algorithmes.
- Le système informatique de commande du réseau doit offrir des temps d'accès au réseau acceptables.

2 Zones de protection par radiobalises

2.1 Méthode très souple permettant elle aussi de garantir une séparation fréquence-distance adéquate

Chaque station terrienne de réception MetSat à protéger est équipée d'une balise émettrice, avec un décalage de fréquence minimal entre la balise et le récepteur de la station terrienne MetSat. La station terrienne du SMS utilise le signal émis par la balise pour déterminer si elle se trouve dans une zone de restriction. Cette information est envoyée au centre d'exploitation du réseau, qui affecte si nécessaire un canal non brouilleur pouvant au besoin être utilisé dans la zone de restriction.

2.2 Observations

- Des canaux sémaphores non brouilleurs doivent être disponibles dans chaque zone de couverture de satellite du SMS.
- Des balises doivent être installées dans toutes les stations terriennes MetSat à protéger (ce qui n'est envisageable en fait que dans le cas où ces stations sont peu nombreuses).
- Les stations terriennes du SMS doivent être dotées d'un système de traitement des signaux émis par les balises.
- La position des stations terriennes du SMS (ou la zone spécifique de couverture de la balise dans laquelle se trouve la station considérée) doit être connue du centre d'exploitation du réseau avant l'assignation de canal.
- Un logiciel et une base de données de localisation des stations terriennes du SMS par référence aux radiobalises doivent être intégrés au système d'assignation de canal par algorithmes.
- Le système informatique de commande du réseau doit offrir un temps d'accès au réseau acceptable.
- La technique pourra aussi faciliter le partage du temps.

3 Prévention du brouillage par sélection des fréquences

3.1 Méthode permettant de protéger les stations terriennes MetSat dans le cas où ces stations sont nombreuses

Les techniques précédemment décrites conviennent lorsqu'un petit nombre de stations terriennes MetSat sont affectées à la réception des signaux émis par une station MetSat (exemple: transmission de données d'image brutes). Toutefois, elles ne sont pas utilisables dans le cas où plusieurs centaines ou milliers de petites stations terriennes sont affectées à la diffusion de données météorologiques, (par exemple, stations WEFAX, HRPT, etc.). Les fréquences peuvent différer d'un système à l'autre, et certains services MetSat diffusent des données qui diffèrent selon le point de destination.

Les canaux de diffusion de données sont généralement assez étroits. Pour protéger les stations terriennes MetSat qui diffusent partout les mêmes données, on fait en sorte que le SMS n'utilise pas les fréquences affectées à la diffusion des données météorologiques et en prévoyant pour ces fréquences une bande de garde suffisante.

3.2 Observations

- Des canaux sémaphores du SMS non brouilleurs doivent être disponibles.
- Les canaux de diffusion de données étant à bande étroite, la diminution du nombre des fréquences et de la capacité du système SMS sera probablement acceptable.
- Dans le cas de systèmes SMS non OSG, les centres de contrôle doivent pouvoir reconnaître et adopter des protocoles d'assignation souples, car différents systèmes MetSat caractérisés par des zones de couverture différentes peuvent utiliser différentes fréquences et largeurs de bande pour les canaux de diffusion de données.
- Dans certaines parties du monde, la couverture des stations terriennes de diffusion de données météorologiques n'est pas totale, et les stations terriennes du SMS peuvent alors s'avérer utiles.

4 Utilisation des fréquences dans une zone de couverture du faisceau du SMS uniquement quand les stations terriennes MetSat ne les utilisent pas

4.1 Utilisation des fréquences en partage du temps

Cette technique déjà ancienne est appliquée depuis un certain temps au MetSat pour les stations spatiales non OSG. Une station spatiale non OSG n'illumine, à un instant donné, qu'une faible partie de la surface de la Terre. Ainsi, les fréquences utilisées par cette station spatiale à cet instant peuvent être utilisées simultanément sur le reste de la surface de la Terre. En d'autres termes, on peut utiliser en temps partagé les mêmes fréquences sur toute la surface de la Terre entre satellites non OSG du MetSat et systèmes SMS.

4.2 Observations

- Des canaux sémaphores non brouilleurs du SMS doivent être disponibles.
- Dans le cas considéré ici, les stations spatiales MetSat peuvent occasionner un brouillage aux récepteurs des stations spatiales du SMS. Ce problème est étudié à l'Annexe 1.
- Le centre de contrôle du réseau SMS doit connaître à tout moment les positions orbitales et la couverture de ses stations spatiales et des stations MetSat non OSG.
- Cette méthode peut être utilisée en même temps que les méthodes d'exclusion par radiobalise et d'exclusion fixe décrites précédemment.
- De bonnes liaisons doivent être assurées entre les exploitants des deux services.
- Dans le cas de systèmes SMS à faisceaux multiples, cette méthode peut être utilisée pour chaque faisceau.

ANNEXE 4

Etude sur le partage dans le temps de la sous-bande 1 698-1 710 MHz

1 Introduction

La présente Annexe traite des aspects du partage des fréquences entre le service MetSat et le SMS dans la sous-bande 1 698-1 710 MHz. Des études menées par l'UIT-R ont conclu que le partage par espacement géographique ne serait pas possible dans cette sous-bande étant donné qu'il y a un très grand nombre de stations terriennes de réception et que leurs positions sont généralement inconnues. Environ 1 000 stations terriennes HRPT sont actuellement enregistrées auprès de l'OMM et une augmentation considérable de ce nombre est à prévoir, étant donné que la bande considérée est la bande d'extension à titre primaire pour les nouveaux systèmes MetSat non OSG.

Une autre solution, le partage dans le temps, a été proposée: il semblerait possible de libérer un certain nombre de fréquences sur la base de ce concept, l'ouverture du faisceau du satellite du service mobile restant le principal facteur limitatif. Il a cependant été reconnu que la contrainte que supposait la coordination, en temps réel et continu, de 10 à 20 satellites de météorologie exploités par diverses administrations ou organisations internationales, contrainte à laquelle s'ajoute le fait de neutraliser à intervalles réguliers un grand nombre de fréquences, ne permettrait pas d'appliquer le concept du partage dans le temps. Il apparaissait donc nécessaire d'effectuer un complément d'étude concernant les systèmes à faisceaux très étroits étant donné qu'ils pouvaient offrir des possibilités de partage. Les caractéristiques techniques des systèmes SMS sont contenues dans la Recommandation UIT-R M.1184.

2 Caractéristiques des systèmes de météorologie par satellite

Plusieurs satellites LEO de météorologie fonctionnent actuellement dans la bande 1 698-1 710 MHz. Le fait que la mise en service de ce type de systèmes soit programmée à moyen terme est particulièrement intéressant, étant donné que le numéro S5.377 du RR dispose notamment que le SMS ne doit pas imposer de contraintes au développement du service de météorologie par satellite. Les caractéristiques du système qui ont été recueillies proviennent de diverses administrations et organisations internationales. Ces systèmes peuvent être considérés comme étant représentatifs de la nouvelle génération de satellites LEO de météorologie, déjà installés ou dont l'installation est programmée au cours de la décennie à venir.

D'autres organisations envisagent d'exploiter des systèmes analogues, mais les caractéristiques détaillées sur ces derniers ne sont pas disponibles actuellement. On peut raisonnablement penser qu'à moyen ou long terme 20 à 25 satellites de météorologie seront mis en service dans le monde. La plupart des opérateurs auront au moins 2 satellites en orbite simultanément. On peut par conséquent en déduire que, dans l'avenir, 10 à 20 satellites fonctionneront en permanence dans la bande 1 698-1 710 MHz. L'éventuelle réutilisation des fréquences imposera une limite au nombre des satellites et, tôt ou tard, toutes les fréquences disponibles seront utilisées. Aujourd'hui déjà, une planification rigoureuse est nécessaire afin de minimiser les risques de brouillage.

Pour la présente étude, on a supposé que 14 satellites seront exploités dans cette bande au cours des dix prochaines années dont 7 correspondent à ceux déjà en service ou en phase de conception et ceci à raison de deux satellites maximum par administration ou organisation internationale. Cinq satellites permettent de tenir compte d'autres administrations qui n'ont pas encore des plans arrêtés ou de celles qui peuvent éventuellement exploiter plus de deux satellites simultanément. Les caractéristiques des satellites utilisées pour les simulations sont données dans le Tableau 10.

TABLEAU 10

Données sur les satellites de météorologie utilisées pour la simulation

Satellite	Altitude orbitale (km)	Inclinaison (degrés)	Fréquence minimale	Fréquence maximale
FY-1	870	98,7	1 698	1 703
	870	98,7	1 705,5	1 710
METOP	827	98,7	1 698,75	1 703,25
	827	98,7	1 704,75	1 709,25
SPOT	822	98,7	1 703	1 705
METEOR	1 020	99,6	1 698,5	1 701,5
	1 020	99,6	1 703,5	1 706,5
NOAA	850	98,7	1 698,75	1 703,25
	850	98,7	1 704,75	1 709,25
ADMIN-1A	840	98,7	1 698	1 702
ADMIN1-B	840	98,7	1 702	1 706
ADMIN2-A	840	98,7	1 702	1 706
ADMIN2-B	840	98,7	1 706	1 710
ADMIN3	840	98,7	1 706	1 710

Il convient de remarquer, en outre, que la plupart de ces satellites du service MetSat émettent des signaux à très large spectre à leurs stations de CAD quand ils sont en visibilité directe. Des stations de ce type sont généralement situées à haute latitude et sont en contact avec leurs satellites pendant 6% à 13% du temps. Les faisceaux ponctuels des satellites du SMS orientés au-dessus d'une latitude moyenne entraîneront donc des contraintes d'exploitation supplémentaires qui ne sont pas traitées dans la présente étude.

Les stations terriennes des satellites de météorologie reçoivent normalement des données à des élévations généralement supérieures à 5°, mais elles doivent pouvoir accepter occasionnellement des passages de satellite à des angles d'élévation inférieurs. Souvent, les stations reçoivent les données jusqu'à ce que le satellite de météorologie ne soit plus en visibilité directe. De plus, l'acquisition de signal initiale et la synchronisation des données ne sont pas immédiates et commencent normalement dès que le satellite va théoriquement passer en visibilité directe. Pendant cette période, les brouillages peuvent être particulièrement préjudiciables. En outre, l'incertitude de la position du satellite de météorologie augmente avec l'intervalle de temps entre les procédures de localisation. Une marge de sécurité est donc nécessaire pour tenir compte des imprécisions de la position orbitale des satellites de météorologie. C'est pourquoi on a considéré que la station HRPT devrait être protégée pendant tout le temps où le satellite est visible, c'est-à-dire jusqu'à des angles d'élévation de 0°. Cela suppose concrètement que les stations fonctionnent à une élévation d'environ 5°, comme indiqué dans la Recommandation UIT-R SA.1026. Par conséquent, une station terrienne mobile ne peut pas émettre quand une station HRPT se trouve en visibilité directe avec son satellite de météorologie.

3 Caractéristiques du système mobile par satellite

La présente étude a été réalisée sur les caractéristiques techniques des systèmes SMS à utiliser pour des études de partage. Les informations contenues dans la Recommandation UIT-R M.1184 concernent un certain nombre de systèmes OSG et non OSG. Pour ce qui est des systèmes OSG, les ouvertures de faisceaux considérées sont comprises entre 1° et 17° et les zones des services mobiles à 3 dB s'étendent d'un million de km² à 217 millions de km². Trois systèmes ont été choisis pour les simulations avec des ouvertures de faisceaux minimale, moyenne et maximale de 1°, de 6° et de 17° respectivement.

Pour ce qui concerne le choix des systèmes mobiles par satellite non OSG, on a retenu un certain nombre de systèmes parmi les onze présentés. Il s'agit des systèmes A, B et G car ils permettent d'avoir un ensemble représentatif d'altitudes orbitales, d'angles d'inclinaison et de largeurs de faisceaux. Pour ces systèmes, l'empreinte d'une antenne couvre une zone de service comprise entre 180 000 km² et 8 400 000 km². Le Tableau 11 résume les caractéristiques du SMS qui ont servi pour l'élaboration de la présente étude. Il faut noter que les systèmes qui utilisent l'accès multiple par répartition de code (AMRC) ont en général un débit d'éléments assez élevé, ce qui nécessite la disponibilité d'un grand nombre de fréquences dans la largeur de bande de 12 MHz.

TABLEAU 11

Caractéristiques des satellites du système mobile par satellite utilisées pour la simulation

	INMARSAT-M	GSO-A	GSO-C	LEO-A	LEO-B	LEO-G
Altitude orbitale (km)	36 000	36 000	36 000	780	10 355	1 500
Angle d'inclinaison (degrés)	1	1	1	86	50	74
Ouverture du faisceau (degrés)	17	1	6	34	13	95
Nombre de faisceaux	1	180	7	48	37	6
Espacement des canaux RF (kHz)	10	n.d.	6	42	n.d.	50
Largeur de bande de modulation (kHz)	8	8 330	4,7	32	2 500	5 800
Taille maximale du faisceau (km ²)	215 × 10 ⁶			700 000	1 000 000	8 400 000

4 Simulation et analyse technique

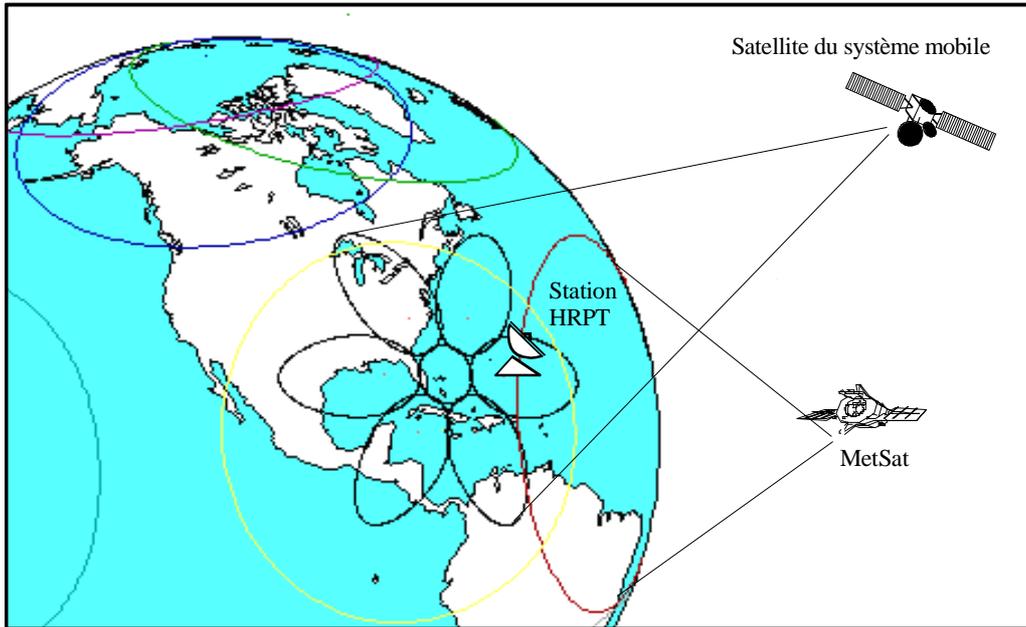
L'évaluation du partage a été faite par simulation informatique avec 14 satellites de météorologie et un satellite du système mobile. Les altitudes des satellites de météorologie étaient comprises entre 827 et 1 020 km et leur inclinaison type de 99° environ. Les satellites du système mobile ont été choisis parmi ceux de la Recommandation UIT-R M.1184. Pour les systèmes non OSG, les systèmes A, B et G ont été sélectionnés. Quant aux systèmes OSG, ceux qui ont été sélectionnés sont: les systèmes A (GSO-A) et C (GSO-C) ainsi que le système INMARSAT-M (GSO-M). La configuration géométrique est représentée à la Fig. 10.

Lorsqu'une station HRPT se trouve dans la zone de service du faisceau d'antenne d'un satellite du système mobile, et lorsqu'un satellite de météorologie est en visibilité directe par rapport à la station HRPT, la bande utilisée par le satellite de météorologie n'est pas disponible pour les stations mobiles dans la zone de service tant que la station HRPT peut recevoir des données. L'exemple montre qu'il y a intersection de l'empreinte du satellite du SMS avec les deux zones de service des satellites de météorologie et que par conséquent les bandes de fréquences correspondantes ne peuvent pas être utilisées. On constate sur la figure que les faisceaux placés à une certaine distance du point subsatellite couvrent des zones beaucoup plus vastes et que par conséquent l'interruption est plus longue. Pendant la simulation, seul le faisceau dont l'axe est le plus septentrional a été sélectionné. Comme les simulations demandent beaucoup de temps, l'évaluation a été limitée à 24 h à raison d'un échantillon toutes les 30 s.

Après analyse des résultats de simulation, c'est le cas du système OSG (GSO-C), ayant un angle (symétrique) de zone de service de 6°, qui a été retenu pour sa représentativité. La Fig. 11 indique le nombre de fréquences non utilisées dans toute la gamme de fréquences considérée pour diverses périodes de simulation.

FIGURE 10

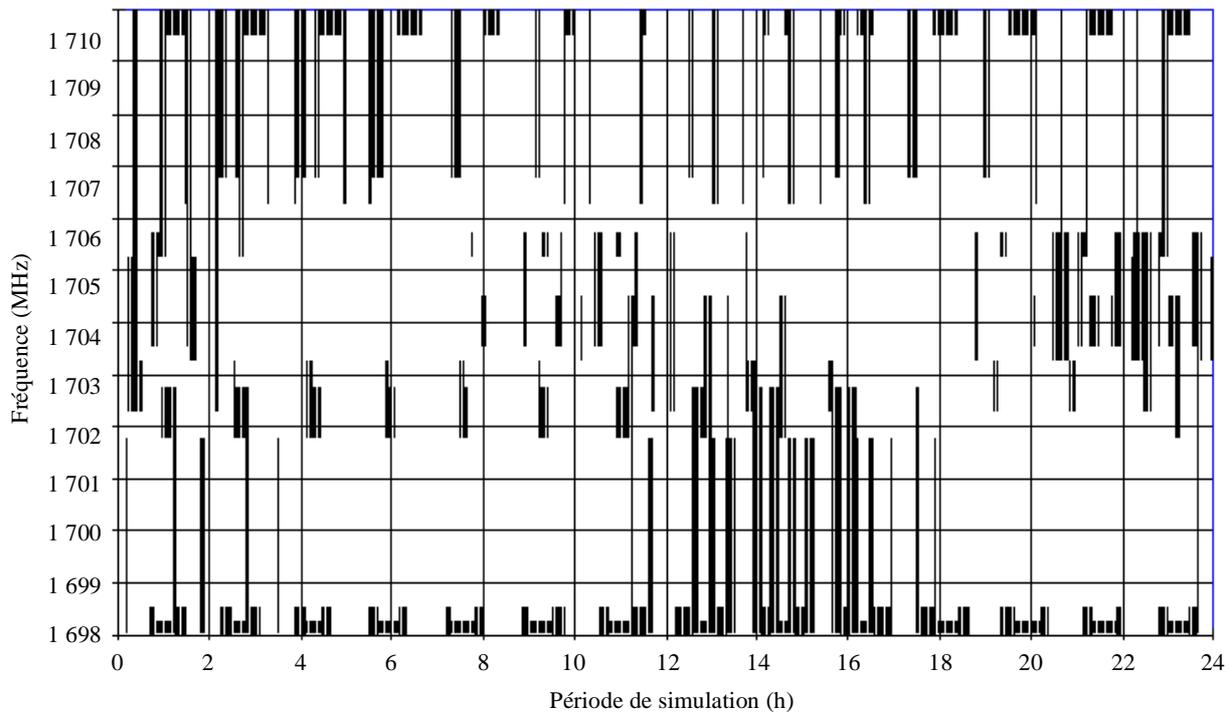
Exemple d'une zone d'exclusion pour le satellite du système mobile



1158-10

FIGURE 11

Fréquences radioélectriques disponibles pour le système mobile GSO-C

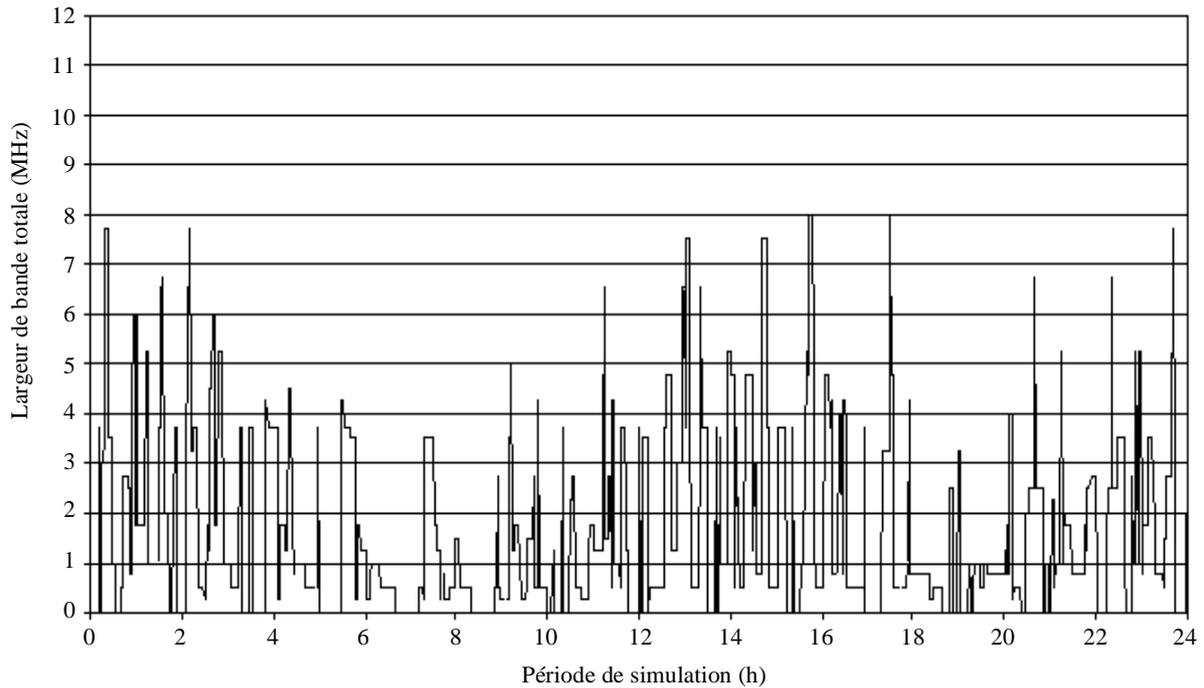


1158-11

La Fig. 12 fait apparaître la totalité de la largeur bande disponible. Il convient de remarquer qu'une largeur de bande donnée n'est disponible en général que pendant un intervalle de temps non répétitif. On constate que la largeur de bande disponible est assez limitée et varie rapidement en fonction du temps et de la fréquence. Des résultats analogues ont été obtenus avec d'autres systèmes mobiles.

FIGURE 12

Largeur de bande totale disponible pour le système mobile GSO-C



1158-12

5 Conclusion

A intervalles irréguliers, la largeur de bande disponible devient nulle, ce qui correspond à une interruption totale du trafic et qui exclut toute communication vocale et n'autorise éventuellement que de brèves transmissions de données à bande étroite.

Les systèmes SMS de type AMRC ne pourraient donc pas fonctionner dans ces conditions, étant donné que plusieurs megahertz de largeurs de bande ne sont presque jamais disponibles.

La largeur de bande disponible peut, en l'espace de quelques minutes, passer de 1 MHz à plus de 10 MHz et peut également passer d'une sous-bande à une autre dans la gamme 1 698-1 710 MHz, ce qui impose des interruptions fréquentes et le redéploiement des canaux de fréquences mobiles.

Une coordination, en temps réel et continu, avec 10 à 20 satellites MetSat actifs exploités par diverses administrations et organisations internationales serait nécessaire, ainsi qu'une connaissance extrêmement précise des orbites des satellites de météorologie.

Toutes les simulations n'ont porté que sur 14 satellites MetSat. Compte tenu de la multiplication des projets mettant en œuvre des satellites dans le monde entier et compte tenu des dispositions du numéro S5.377 du RR concernant la protection des futurs systèmes de météorologie, une augmentation importante du nombre de satellites MetSat aboutirait à une situation où pratiquement aucune fréquence ne serait disponible, même pour des systèmes à faisceaux très étroits.

Les systèmes SMS à faisceaux ponctuels orientés vers des latitudes les plus septentrionales auraient à subir des contraintes d'exploitation supplémentaires lorsque les satellites de météorologie émettraient des signaux à large bande vers leurs stations correspondantes de CDA.

De ce qui précède, la conclusion est que les possibilités de partage dans le temps sont très limitées et complexes. Compte tenu de l'augmentation probable du nombre de systèmes de météorologie et du fait que ces systèmes sont protégés aux termes du numéro S5.377 du RR, le partage entre le service MetSat et le SMS ne peut pas être considéré comme étant possible dans cette sous-bande.