

## RECOMMANDATION UIT-R S.1779

**Caractéristiques des systèmes du service fixe par satellite utilisant des signaux avec étalement sur une large bande**

(Question UIT-R 270/4)

(2007)

**Domaine de compétence**

La présente Recommandation fournit des exemples de méthodes relatives à l'utilisation de signaux avec étalement sur une large bande dans les systèmes du service fixe par satellite (SFS). Ses trois Annexes contiennent un aperçu général des techniques et des modes de mise en œuvre applicables aux systèmes de transmission, qui pourraient s'avérer utiles aux opérateurs et utilisateurs de réseaux.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que de nouvelles techniques de transmission utilisant des signaux avec étalement sur une large bande peuvent être utilisées sur les liaisons montantes et/ou les liaisons descendantes du service fixe par satellite (SFS);
- b) que les systèmes du SFS utilisant ces technologies peuvent concerner de nouvelles applications et de nouveaux services;
- c) que les applications de systèmes du SFS utilisant des signaux avec étalement sur une large bande ont des caractéristiques différentes d'autres systèmes du SFS;
- d) que les caractéristiques des systèmes du SFS utilisant des signaux avec étalement sur une large bande sont différentes de celles des systèmes du SFS actuellement exploités;
- e) qu'il faut définir l'incidence des brouillages des émissions d'un système du SFS utilisant des signaux avec étalement sur une large bande;
- f) qu'il serait utile pour les opérateurs et les utilisateurs de réseaux de disposer d'une source d'information sur les caractéristiques des systèmes du SFS utilisant des signaux avec étalement sur une large bande,

*recommande*

**1** d'utiliser les modèles de système et les caractéristiques techniques figurant dans les Annexes 1 à 3 comme exemples de méthodes à appliquer pour la mise en œuvre de systèmes de transmission utilisant des signaux avec étalement sur une large bande pour les systèmes du SFS.

NOTE 1 – Les éléments d'information figurant dans les Annexes 1 à 3 concernent les méthodes ci-après, à savoir:

Annexe 1 – Transmission d'informations supplémentaires superposées aux signaux d'accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) de systèmes conventionnels du SFS.

Annexe 2 – Amélioration de la capacité effective des canaux dans un système du SFS avec un certain nombre de faisceaux ponctuels étroits.

Annexe 3 – Réduction du niveau de densité de p.i.r.e. hors axe pour correspondre aux valeurs indiquées dans les Recommandations UIT-R connexes.

## Annexe 1

### **Système à satellites utilisant des signaux avec étalement sur une large bande (technologie de la séquence directe (DS))**

#### **1 Introduction**

La présente Annexe décrit des techniques de transmission qui utilisent des signaux avec étalement sur une large bande, il est question ici d'un système à satellites large bande, que l'on peut appliquer pour transmettre des informations supplémentaires sans changer le plan de fréquences en service du système existant du SFS.

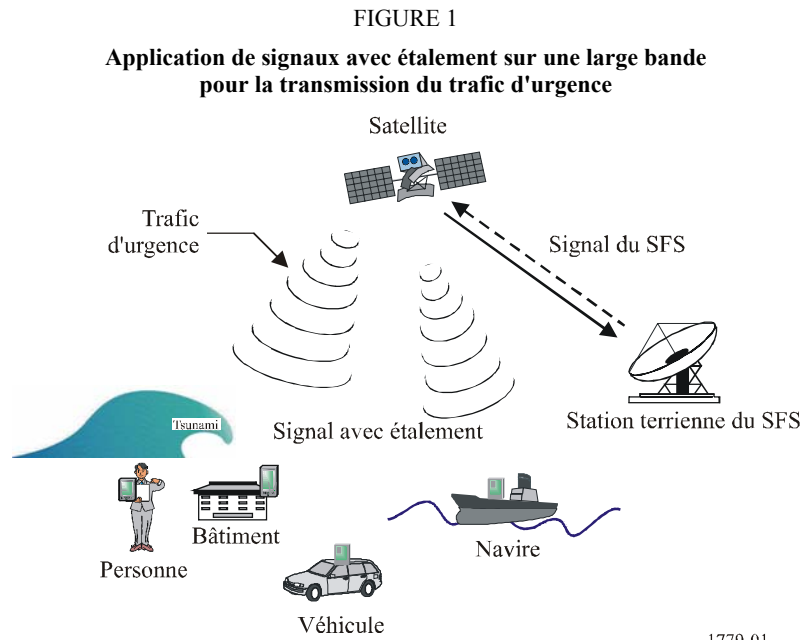
L'une des applications du système concernerait la transmission du trafic d'urgence, comme les informations relatives à des tremblements de terre, les alertes en cas de tsunamis, etc. Ce type d'application est illustré sur la Fig. 1. Pour pouvoir transmettre des signaux d'urgence, il convient que les terminaux d'utilisateur soient compacts et peu onéreux, afin que la plupart des gens puissent les installer et les utiliser en tout temps. Il serait donc indiqué que ce type de récepteur soit équipé de petites antennes (à faible gain), ce qui faciliterait également l'installation et la maintenance. Dans les systèmes AMRF conventionnels du SFS, les antennes ont généralement un gain plus élevé et doivent être orientées en direction du satellite, en raison de la directivité de l'antenne, sans compter que l'orientation de l'antenne est facilement assujettie à des variations dues à des phénomènes accidentels tels que les tremblements de terre ou les cyclones tropicaux.

Par opposition aux avantages ci-dessus, les terminaux d'utilisateur munis d'antennes à faible gain subissent les brouillages des satellites adjacents. L'utilisation de signaux avec étalement devrait permettre de remédier à cette détérioration imputable aux brouillages intersystèmes, cela grâce à leur gain par étalement. C'est la raison pour laquelle le signal avec étalement est utilisé pour ce type d'application.

Pour appliquer la technique, les différentes applications ci-après ont été évaluées:

- un système à satellites utilisant des signaux avec étalement sur une large bande, superposés aux signaux AMRF des systèmes conventionnels du SFS;
- un système à satellites avec des largeurs de bande spécifiques, à la fois pour les signaux AMRF et pour les signaux avec étalement sur une large bande.

L'analyse du bilan de la liaison correspondant à cette application est présentée ci-après. A cet effet, divers paramètres du système existant du SFS sont indiqués ainsi que les résultats de l'évaluation exprimés en termes de débit binaire. Il convient de noter que cette analyse tient compte de la technologie de la séquence directe DS.



**2 Application 1 – Système à satellites utilisant des signaux avec étalement sur une large bande superposés à des signaux AMRF de systèmes conventionnels du SFS**

**2.1 Modèles du système**

La représentation conceptuelle du système est illustrée à la Fig. 2. Dans une analyse préliminaire du système à satellites large bande on a choisi deux modèles de système, les modèles 1 et 2, dont les caractéristiques sont résumées au Tableau 1. Le modèle 1 correspond à un nouveau système à satellites utilisant un répondeur de type régénérateur, alors que le modèle 2 s'applique au système à satellites existant équipé d'un répéteur de type non régénérateur. De plus, l'analyse tient compte des scénarios décrits ci-dessous.

FIGURE 2

**Modèle du système à satellites utilisant des signaux avec étalement sur une large bande**

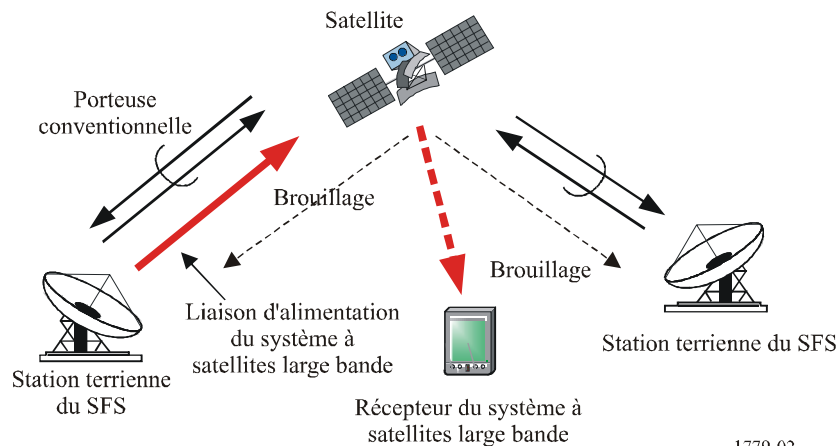


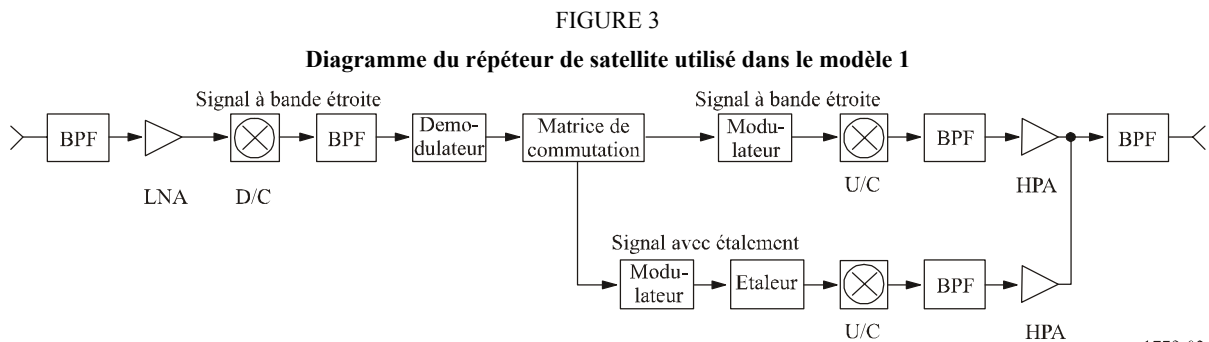
TABLEAU 1

**Modèles supposés de la liaison dans un système à satellites large bande**

	<b>Modèle 1</b>	<b>Modèle 2</b>
Type de répéteur	Régénérateur	Non régénérateur
Largeur de bande (liaison montante/liaison descendante)	36/240 MHz	36/36 MHz
Système de transmission (liaison montante/liaison descendante)	AMRF/ AMRF et signal avec étalement	AMRF et signal avec étalement/ AMRF et signal avec étalement

**2.1.1** Les signaux avec étalement sur une large bande sont superposés au spectre du SFS existant, dans le cadre de l'attribution faite au SFS. La largeur de bande des signaux avec étalement sur une large bande est identique à celle du répéteur du SFS, dans laquelle des porteuses AMRF multiples sont attribuées. Par conséquent, les signaux avec étalement utiliseraient la même fréquence que plusieurs signaux AMRF adjacents des mêmes réseaux du SFS, avec pour effet de causer des brouillages intrasystème.

**2.1.2** Dans le modèle 1, on utilise une transmission conventionnelle à bande étroite pour la liaison montante. Pour la liaison descendante, les signaux avec étalement sur une large bande sont transmis par un répéteur ayant une largeur de bande très large, conçu pour le système à satellites large bande, alors que les signaux à bande étroite sont acheminés par des répéteurs conventionnels à bande étroite. La Fig. 3 représente une partie de la charge utile du satellite dans le modèle 1, qui permet d'expliquer le traitement des signaux de la liaison montante.



**2.1.3** Dans le modèle 2, les signaux avec étalement sur une large bande de la liaison montante sont superposés au spectre AMRF existant; les signaux AMRF ainsi que les signaux avec étalement sur une large bande sont transmis par un répéteur conventionnel. Pour la liaison descendante, tout comme pour la liaison montante, les deux types de signaux sont traités par un répéteur conventionnel.

**2.1.4** Le segment spatial comprend un seul satellite. Les signaux à large bande et les signaux à bande étroite sont traités dans une seule station spatiale et on utilise une même antenne pour transmettre ces signaux sur un seul et même faisceau de satellite. En revanche, on part de l'hypothèse de l'utilisation d'un nouveau type de terminal qui reçoit uniquement les signaux avec étalement provenant du satellite. Les paramètres techniques du récepteur du système à satellites large bande peuvent être indépendants de ceux des systèmes existants du SFS.

**2.1.5** Pour faciliter les calculs, s'agissant de la liaison montante, les signaux AMRF du SFS, mais aussi les signaux avec étalement sur une large bande sont transmis à partir de la même station terrienne; les deux types de récepteur sont situés au même point de la surface de la Terre, ce qui évite de tenir compte des diagrammes d'antenne du satellite.

## 2.2 Analyse du bilan de la liaison et estimation de la qualité de fonctionnement

On évalue le débit binaire réalisable à partir des bilans de la liaison dans les bandes des 14/12 GHz. Sachant qu'on utilise un répéteur et un système de transmission conventionnels pour la liaison montante, on obtient le débit binaire du système à satellites large bande à partir des paramètres de la liaison descendante. Les calculs se déroulent selon les étapes suivantes:

- Etape 1:* A partir des paramètres types des systèmes du SFS et de la valeur  $C/I$  requise pour les porteuses AMRF, on calcule la p.i.r.e. de la liaison descendante dans le système à satellites large bande, ce qui permet de déterminer le rapport  $C/T$  reçu dans le récepteur de signaux large bande.
- Etape 2:* A partir du rapport  $C/T$  reçu qui a été déterminé, on obtient un débit binaire idéal comme première étape de l'analyse du débit, à condition qu'il n'existe pas de porteuses AMRF.
- Etape 3:* Comme pour l'étape 2, on calcule le débit binaire réalisable en tenant compte des brouillages causés au système à satellites large bande par les porteuses AMRF.

La procédure est expliquée plus en détail dans les sections qui suivent.

### 2.2.1 Etape 1

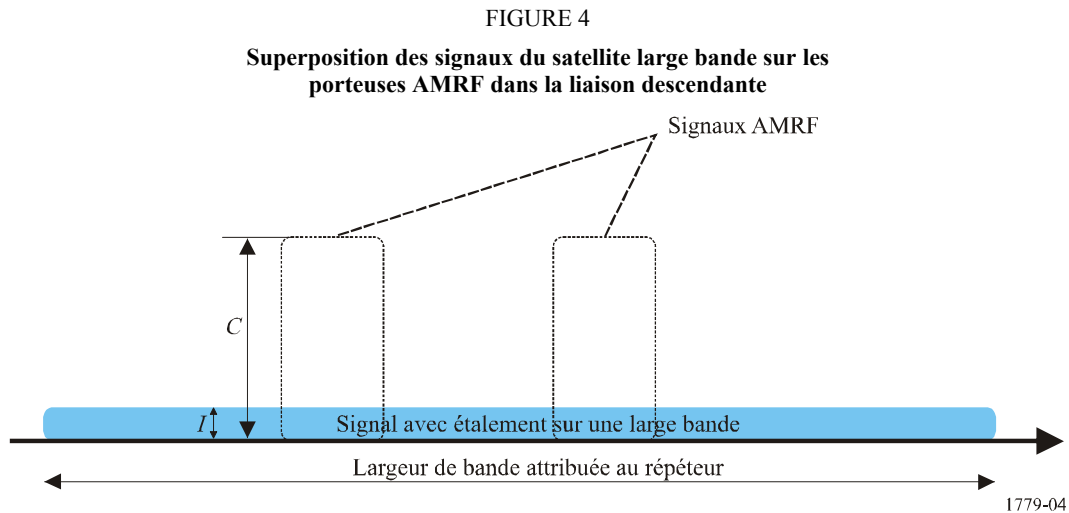
Comme indiqué à la Fig. 4, les porteuses AMRF conventionnelles sont transmises dans certaines parties de la largeur de bande du répéteur alors que les signaux du système à satellites large bande sont superposés sur toute la largeur de bande du répéteur.

Tout d'abord, on détermine la valeur du rapport  $C/I$  requis pour les porteuses AMRF, où  $C$  représente la puissance de sortie de l'une des porteuses AMRF et  $I$  la puissance du système à satellites large bande. Dans cette analyse, on utilise un rapport  $C/I$  de 20 dB.

Dès lors que l'on a obtenu le rapport  $C/I$  requis, on calcule la valeur de p.i.r.e. admissible de la station spatiale pour le système à satellite large bande, en tenant compte de la largeur de bande occupée. Par conséquent, la valeur du rapport  $C/T$  à la réception dans le système est exprimée par l'équation suivante:

$$\text{Rapport } C/T \text{ à la réception} = p.i.r.e. - L_p - M_{pluie} + G/T \quad \text{dB} \quad (1)$$

où  $L_p$ ,  $M_{pluie}$  et  $G/T$  représentent, respectivement, l'affaiblissement sur le trajet en espace libre entre le satellite et le récepteur à la surface de la Terre, la marge pour la pluie et le rapport  $G/T$  de l'antenne de réception.



### 2.2.2 Etape 2

Lorsque la valeur du rapport  $C/T$  à la réception est connue, on calcule le débit d'information réalisable  $R$  par la formule:

$$R = \text{rapport } C/T \text{ à la réception} - (E_b/N_0)_{req} + 228,6 \quad \text{dB} \quad (2)$$

où  $(E_b/N_0)_{req}$  désigne le rapport nécessaire entre l'énergie par bit et le bruit et «228,6» la constante de Boltzmann.

Ce débit d'information correspond à la valeur idéale estimée du débit dans l'hypothèse où il n'existe pas de porteuses AMRF à bande étroite.

### 2.2.3 Etape 3

Enfin, on calcule un débit binaire réalisable pour le système à satellites large bande sachant qu'il y a de nombreuses porteuses AMRF à bande étroite à l'intérieur de la largeur de bande du répéteur. Dans ce cas, le rapport  $C/T$  à la réception pour la liaison descendante des porteuses AMRF est considéré comme du brouillage causé au système à satellites large bande. Pour obtenir le rapport  $C/T$  global dans le cas du modèle 1, on additionne la valeur  $C/T$  du récepteur de liaison descendante du système à satellites large bande et la dégradation de la valeur  $C/T$  du récepteur large bande de liaison descendante qui résulte du brouillage causé par les porteuses AMRF. Cette procédure peut également s'appliquer au modèle 2.

L'utilisation des canaux par des porteuses AMRF est modélisée, pour les besoins de l'analyse, de la façon indiquée à la Fig. 5. Il est établi qu'une utilisation de 100% correspond à l'utilisation de la totalité du spectre dans la largeur de bande du répéteur par de multiples porteuses AMRF à bande étroite alors qu'une utilisation de 50% correspond à la moitié de la largeur de bande occupée par les porteuses AMRF. Par exemple, en cas d'utilisation à 100% des canaux, le système à satellites large bande a besoin d'un gain d'étalement plus élevé de 20 dB par rapport à l'étape 2. On notera que pour faciliter les calculs il n'est pas tenu compte ici des bandes de garde.

Pour calculer le débit binaire, on procède de la même façon que dans l'étape 2.

## 2.3 Résultats de l'analyse du bilan de la liaison

Les Tableaux 2 et 3 contiennent les paramètres types du système du SFS ainsi que les valeurs de p.i.r.e. du système à satellites large bande. Comme indiqué au Tableau 3, si l'on prend une valeur de 20 dB pour le rapport  $C/I$ , la densité de p.i.r.e. des signaux avec étalement serait de 14,4 dB(W/MHz).

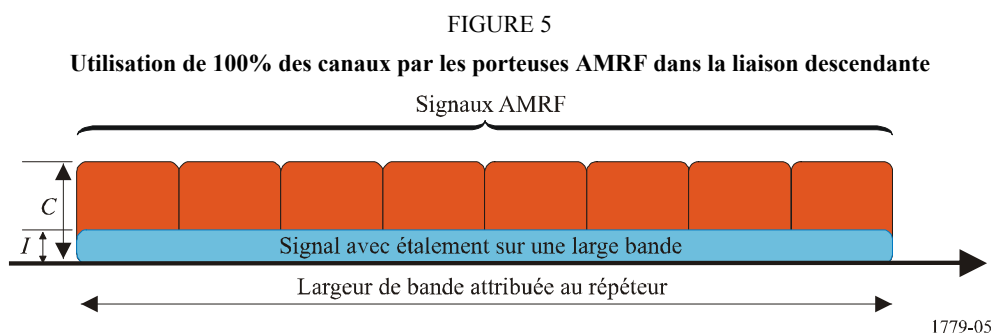


TABLEAU 2  
Paramètres types d'un système du SFS

Paramètres	Liaison montante	Liaison descendante	Note
Largeur de bande par porteuse	72,0 MHz	36,0 MHz	
p.i.r.e. par porteuse	70,0 dBW	50,0 dBW	
Densité de p.i.r.e.	51,4 dB(W/MHz)	34,4 dB(W/MHz)	

TABLEAU 3  
Valeurs de p.i.r.e. dans un système à satellites large bande

Système AMRF	Liaison montante	Liaison descendante	Note
Densité de p.i.r.e. du système AMRF	51,4 dB(W/MHz)	34,4 dB(W/MHz)	Du Tableau 2
Rapport $C/I$ requis (AMRF/système à satellites large bande)	20,0 dB	20,0 dB	
Densité de p.i.r.e. du système à satellites large bande	31,4 dB(W/MHz)	14,4 dB(W/MHz)	

Pour un examen plus détaillé du bilan d'une liaison, on se reportera à l'exemple des modèles 1 et 2 avec le résumé fourni dans les Tableaux 4 à 7.

Comme indiqué au Tableau 2, avec une largeur de bande de 72,0 MHz et une valeur de p.i.r.e. de 70,0 dBW, on obtient une p.i.r.e. de 67,0 dBW dans une largeur de bande de 36 MHz pour le modèle 1. Dans le modèle 2 où le signal avec étalement est affaibli à un niveau de 20 dB au-dessous du signal AMRF, on obtient une valeur de p.i.r.e. de 47,0 dBW.

On calcule le rapport  $C/T$  à la réception pour la liaison montante à l'aide de l'équation (1); on obtient une valeur de -134,5 et de -154,5 dB(W/K) pour les modèles 1 et 2, respectivement.

TABLEAU 4

**Bilan de la liaison – 1 (liaison montante)**

<b>Système à satellites large bande</b>	<b>Modèle 1 (Répéteur régénérateur)</b>	<b>Modèle 2 (Répéteur non régénérateur)</b>	<b>Note</b>
Largeur de bande	36 MHz	36 MHz	
p.i.r.e. de la station terrienne	67,0 dBW	47,0 dBW	Des Tableaux 2 et 3
Affaiblissement sur le trajet	206,5 dB	206,5 dB	Fréquence de fonctionnement: 14 GHz
Affaiblissement dû à la pluie	0 dB	0 dB	
$G/T$ d'antenne de réception	5,0 dB/K	5,0 dB/K	
Rapport $C/T$ à la réception pour la liaison montante	-134,5 dB(W/K)	-154,5 dB(W/K)	

Si l'on tient compte d'une densité de p.i.r.e. de 14,4 dB(W/MHz) des signaux avec étalement du Tableau 3 et d'une largeur de bande de 240 MHz sur la liaison descendante pour le modèle 1, il s'ensuit que la valeur de p.i.r.e. du satellite sera de 38,2 dBW. De la même façon, dans le modèle 2, on obtient une valeur de p.i.r.e. de satellite de 30,0 dBW. On utilise l'équation (1) pour calculer le rapport  $C/T$  à la réception pour la liaison descendante. On obtient une valeur de -171,9 et de -180,2 dB(W/K) pour les modèles 1 et 2, respectivement.

TABLEAU 5

**Bilan de la liaison – 2 (liaison descendante)**

<b>Système à satellites large bande</b>	<b>Modèle 1</b>	<b>Modèle 2</b>	<b>Note</b>
Largeur de bande	240 MHz	36 MHz	
p.i.r.e. du satellite	38,2 dBW	30,0 dBW	Du Tableau 3
Affaiblissement sur le trajet	205,2 dB	205,2 dB	Fréquence de fonctionnement: 12 GHz
Affaiblissement dû à la pluie	0 dB	0 dB	
$G/T$ de l'antenne de réception	-5,0 dB/K	-5,0 dB/K	Antenne parabolique de 10 cm (19,8 dBi), $T_{sys} = 300$ K
Rapport $C/T$ à la réception pour la liaison descendante	-171,9 dB(W/K)	-180,2 dB(W/K)	

Les terminaux d'utilisateur équipés d'antennes à faible gain pourraient subir des brouillages causés par des satellites adjacents, entraînant ainsi une dégradation du rapport  $C/T$ . Toutefois, ces effets ne sont pas pris en compte pour le calcul d'une valeur idéale dans cette analyse du bilan de la liaison (voir le § 2.4.2).



Par conséquent, le rapport  $C/T$  global est le même que le rapport  $C/T$  à la réception pour la liaison montante, soit  $-171,9$  et  $-180,2$  dB(W/K) pour les modèles 1 et 2, respectivement.

TABLEAU 6  
Bilan de la liaison – 3 (global)

Système à satellites large bande	Modèle 1	Modèle 2	Note
$C/T$ global à l'intérieur du système	$-171,9$ dB(W/K)	$-180,2$ dB(W/K)	Des Tableaux 4 et 5
Dégradation de $C/T$ due aux brouillages causés par des satellites adjacents	0 dB	0 dB	
$C/T$ global	$-171,9$ dB(W/K)	$-180,2$ dB(W/K)	

Enfin, à l'aide de l'équation (2), on peut faire une estimation du débit binaire (voir le Tableau 7).

TABLEAU 7  
Débit binaire disponible dans un système à satellites large bande

Système à satellites large bande	Modèle 1	Modèle 2	Note
$C/T$ global	$-171,9$ dB(W/K)	$-180,2$ dB(W/K)	
Rapport $E_b/N_0$ requis	4,0 dB	4,0 dB	
Constante de Boltzmann	$-228,6$ dB(W/(K · Hz))	$-228,6$ dB(W/(K · Hz))	
Débit binaire estimé	52,7 dB(bit/s) 184,8 kbit/s	44,4 dB(bit/s) 27,7 kbit/s	

Du point de vue du fonctionnement des porteuses du SFS, la valeur précitée se traduit par un rapport  $I_0/N_0$  de  $-1,3$  dB, pour une antenne de 1,2 m (41,3 dBi) et une température du système de 120 K dans la station terrienne.

## 2.4 Analyse du débit binaire disponible

### 2.4.1 Débit binaire avec différentes valeurs de $C/I$

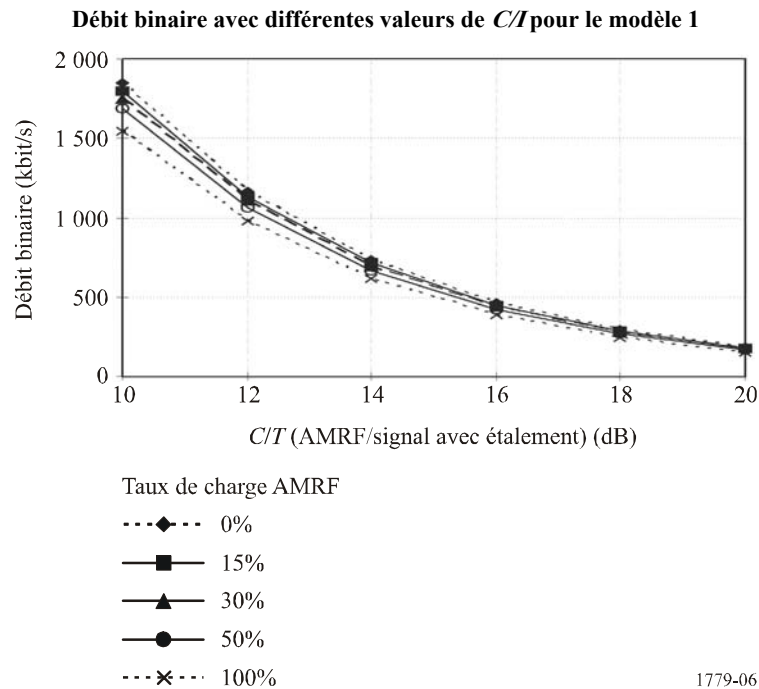
Au Tableau 8 et à la Fig. 6 on trouvera des débits binaires pour différentes valeurs de  $C/I$  sur la liaison descendante pour le modèle 1.  $C$  représente la puissance de sortie d'une des porteuses AMRF et  $I$  la puissance du système à satellites large bande. On considère que les valeurs du gain d'antenne et de la dégradation  $C/T$  due aux brouillages causés par des satellites adjacents sont respectivement de 19,8 dBi et 0 dB (cas idéal). D'après le résultat, avec un taux de charge de 100% et une valeur de 20 dB du rapport  $C/I$ , le débit binaire réalisable est, par exemple, de 154,9 kbit/s.

TABLEAU 8

Débit binaire (kbit/s) avec différentes valeurs de  $C/I$  pour le modèle 1

$C/I$ (dB)	Taux de charge des porteuses AMRF (%)				
	0	15	30	50	100
10	1 848,0	1 795,9	1 746,7	1 685,1	1 548,5
12	1 166,0	1 133,2	1 102,1	1 063,2	977,0
14	735,7	715,0	695,4	670,8	616,5
16	464,2	451,1	438,7	423,3	389,0
18	292,9	284,6	276,8	267,1	245,4
20	184,8	179,6	174,7	168,5	154,9

FIGURE 6



#### 2.4.2 Débit binaire avec différentes valeurs de dégradation du rapport $C/T$ due aux brouillages causés par des satellites adjacents

Les terminaux d'utilisateur équipés d'antennes à faible gain pourraient subir des brouillages causés par des satellites adjacents, entraînant ainsi une dégradation du rapport  $C/T$ . Pour évaluer les effets produits par ces brouillages, on applique les paramètres suivants:

- l'ouverture de faisceau de l'antenne (HPBW, *half power beamwidth* (ouverture de faisceau à demi-puissance)) est d'environ  $20^\circ$  avec une antenne parabolique de 10 cm de diamètre (19,8 dBi);
- les satellites adjacents sont espacés de  $2^\circ$ . On compte 10 satellites dans une ouverture de faisceau de  $20^\circ$ ;

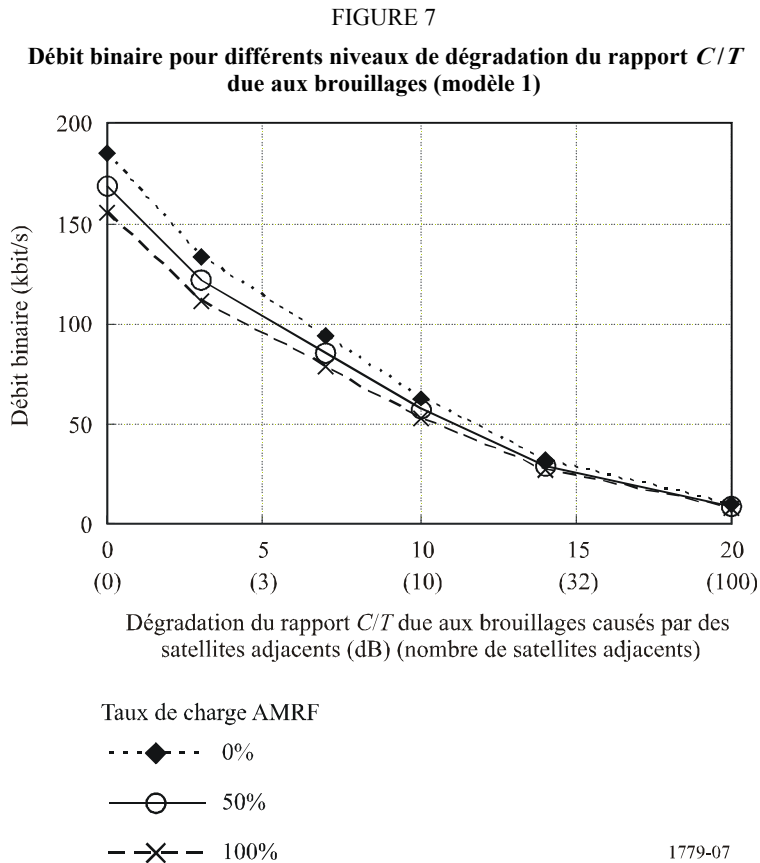
- le niveau du signal reçu en provenance de chaque satellite adjacent est identique à celui reçu en provenance du satellite utile, lorsque l'ouverture de faisceau est grande;
- la moitié des 10 satellites adjacents (cinq satellites) cause des brouillages au signal utile. Par conséquent, la valeur de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages causés par les cinq satellites adjacents est de 7 dB.

Le Tableau 9 et la Fig. 7 indiquent les débits binaires obtenus avec différents niveaux de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages causés par des satellites adjacents. Dans ce calcul, la valeur de  $C/T$  est fixée à 20 dB et celle du taux de charge dans les satellites adjacents à 100%. A noter que si les valeurs de dégradation de  $C/T$  sont représentées sur l'axe horizontal, elles peuvent être converties en nombre de satellites adjacents.

TABLEAU 9  
**Débit binaire (kbit/s) pour différents niveaux de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages (modèle 1)**

$R_{charge}$ \ $(C/T)_{deg}$ ( $N_s$ )	0 (0)	3 (2)	7 (5)	10 (10)	14 (25)	20 (100)
0%	184,8	133,3	93,8	63,0	31,5	9,1
50%	168,5	121,6	85,6	57,4	28,8	8,3
100%	154,9	111,7	78,6	52,8	26,4	7,6

$(C/T)_{deg}$ : Niveau de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages causés par des satellites adjacents (dB)  
 $N_s$ : Nombre de satellites adjacents  
 $R_{charge}$ : Taux de charge dans le satellite utile.



## 2.5 Incidence de la superposition des signaux avec étalement sur une large bande sur des porteuses AMRF

Les porteuses AMRF pourraient être affectées par les signaux avec étalement fonctionnant sur la même fréquence. Le bilan de la liaison, indiqué ci-après, a pour objet d'analyser les effets produits pour la liaison descendante.

D'après les paramètres types du système du SFS indiqués au § 2.3, la valeur du rapport  $C/T$  à la réception pour la liaison descendante, comme indiqué dans le Tableau 10, est de  $-140,1$  dB(W/K). A noter que ce Tableau ne tient pas compte des effets des signaux avec étalement sur les porteuses AMRF qui sont examinés plus loin.

TABLEAU 10

### Bilan de la liaison pour un système AMRF (liaison descendante)

Système AMRF	Liaison descendante	Note
Largeur de bande	36 MHz	
p.i.r.e. du satellite	50,0 dBW	Du Tableau 2
Affaiblissement sur le trajet	205,2 dB	Fréquence de fonctionnement: 12 GHz
Affaiblissement dû à la pluie	0 dB	
Dégradation du rapport $C/T$ due aux brouillages en provenance de signaux superposés avec étalement	0 dB	
$G/T$ de l'antenne de réception	15,1 dB/K	
Rapport $C/T$ à la réception pour la liaison descendante	$-140,1$ dB(W/K)	

Si l'on part de l'hypothèse d'une valeur minimale du rapport  $C/T$  pour une porteuse de 64 kbit/s de  $-175,9$  dB(W/K) et d'une marge de système de 10 dB, la valeur du rapport  $C/T$  requis est de  $-165,9$  dB(W/K).

TABLEAU 11

### Rapport $C/T$ requis pour un système AMRF

Système AMRF		Note
Rapport $C/T$ minimum (64 kbit/s)	$-175,9$ dB(W/K)	$TEB = 1 \times 10^{-6}$ , $E_b/N_0 = 4,6$ dB
Marge du système	10 dB	
Rapport $C/T$ requis	$-165,9$ dB(W/K)	

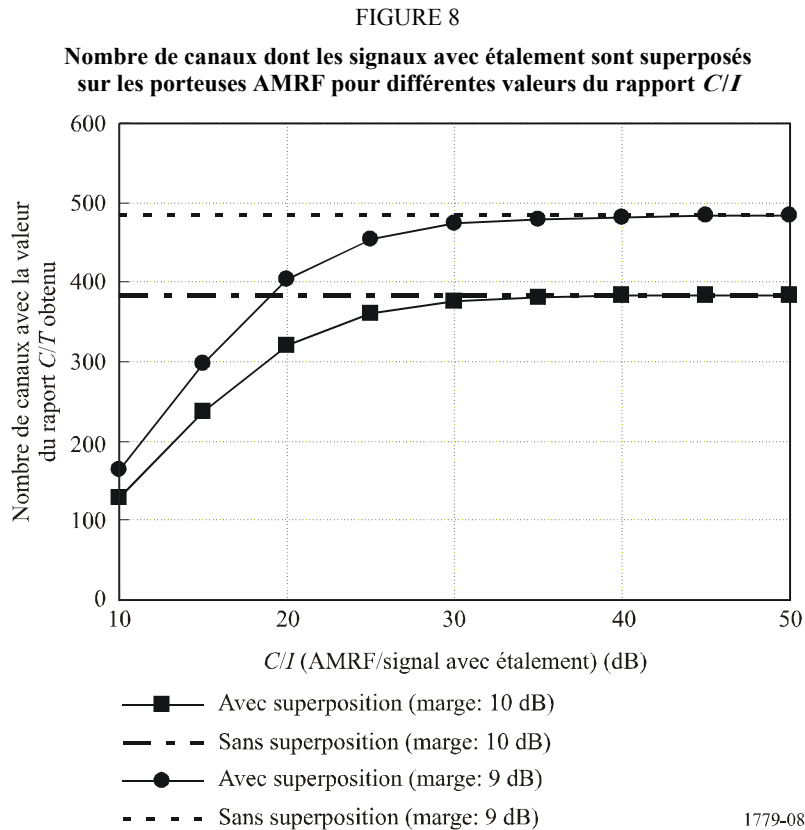
Enfin, pour calculer le nombre réalisable de canaux, on se reportera au Tableau 12.

TABLEAU 12  
**Nombre réalisable de canaux**

Systeme AMRF		Note
Marge	25,8 dB	Des Tableaux 10 et 11
Nombre de canaux	384	

Dans un environnement avec superposition des signaux, le nombre de canaux sera inférieur par rapport à la valeur indiquée plus haut. Pour évaluer l'effet de la superposition des signaux avec étalement sur les porteuses AMRF, on utilise différentes valeurs du rapport  $C/I$ ,  $C$  désignant la puissance de sortie de l'une des porteuses AMRF et  $I$  la puissance du système à satellites large bande. La Fig. 8 indique le nombre de canaux AMRF avec ou sans signaux superposés avec étalement.

Il ressort des résultats que le nombre de canaux AMRF diminue en fonction de l'augmentation du brouillage causé par les signaux superposés avec étalement, c'est-à-dire lorsque la valeur du rapport  $C/I$  diminue. En pareils cas, il est possible d'augmenter le nombre de canaux disponibles en réduisant la marge de la liaison du système. D'après les conditions de fonctionnement, on peut déterminer le nombre de porteuses AMRF par rapport à la quantité de brouillage provenant des signaux superposés avec étalement, que chaque porteuse AMRF doit tolérer.



## 2.6 Analyse

Il ressort des résultats indiqués ci-dessus que le débit binaire réalisable dépend du taux de charge des porteuses AMRF, des critères du rapport  $C/I$ , des niveaux de dégradation du rapport  $C/T$  due au brouillage intra ou intersystèmes et de la répartition des brouillages entre les porteuses AMRF fonctionnant à la même fréquence. Bien que le débit binaire obtenu soit relativement faible, il est considéré comme suffisant pour transmettre des informations d'urgence à faible débit.

Etant donné que le modèle du système proposé s'applique dans l'hypothèse d'un brouillage à l'intérieur du système, à condition que la quantité totale du brouillage causé aux systèmes à satellites adjacents soit maintenue, il est possible de choisir des valeurs appropriées de  $C/I$  et du taux de charge d'après la politique d'exploitation et la conception du système. En cas de catastrophes naturelles, il peut être possible de transmettre uniquement les signaux avec étalement en utilisant la totalité du répéteur, afin d'assurer la transmission des informations d'urgence, sans assignation préalable du répéteur et/ou des intervalles de fréquence.

Le système de superposition peut augmenter le niveau de bruit, c'est-à-dire  $I_0/N_0$ , pour les porteuses AMRF, en fonction du gain d'antenne de la station terrienne de réception. D'après les résultats du § 2.5, bien que le nombre de canaux AMRF diminue à mesure qu'augmente le brouillage causé par les signaux superposés avec étalement, c'est-à-dire que la valeur du rapport  $C/I$  diminue, cette diminution du nombre de canaux serait compensée par l'utilisation d'une antenne plus petite et d'un débit binaire acceptant des signaux avec étalement sur une large bande. Etant donné qu'il s'agit d'un brouillage à l'intérieur du système (et non d'un brouillage entre des systèmes), il représente un des objectifs devant être gérés par les concepteurs de la liaison satellitaire et/ou les opérateurs de satellite.

## 3 Application 2 – Système à satellites avec des largeurs de bande spécifiques pour des signaux AMRF et des signaux avec étalement sur une large bande

### 3.1 Modèle du système

La représentation conceptuelle du système ainsi que les hypothèses retenues pour les modèles de liaison sont les mêmes que dans l'Application 1 comme indiqué dans la Fig. 2. Toutefois, l'utilisation du spectre du SFS est différente par rapport à l'Application 1. En effet, dans l'Application 1, les signaux avec étalement sur une large bande sont superposés au spectre du SFS existant dans l'attribution faite au SFS alors que dans l'Application 2, les largeurs de bande pour les signaux AMRF et les signaux avec étalement sont distincts; c'est-à-dire que des largeurs de bande spécifiques sont attribuées aux signaux avec étalement. Les scénarios précis qui sont envisagés dans l'Application 2 sont indiqués ci-après. L'hypothèse retenue pour le modèle de liaison (modèle 3) est indiquée au Tableau 13:

- les signaux avec étalement sur une large bande sont transmis à l'intérieur de largeurs de bande spécifiques comme indiqué dans la Fig. 9. Etant donné que les signaux avec étalement et les signaux AMRF sont transmis séparément dans l'attribution faite au SFS pour les mêmes réseaux du SFS, il n'existe pas de brouillage à l'intérieur du système;
- pour la liaison montante, on utilise un répéteur de type régénérateur avec une largeur de bande étroite;
- pour la liaison descendante, on réserve une certaine partie de l'attribution faite au SFS pour les signaux avec étalement;
- on suppose que les terminaux d'utilisateur équipés d'une antenne équidirective ou en partie équidirective facilitent l'installation et la maintenance. Bien que ces terminaux dotés de

telles antennes subissent les brouillages des satellites adjacents, le gain d'étalement permet de limiter la dégradation causée par le brouillage entre les systèmes.

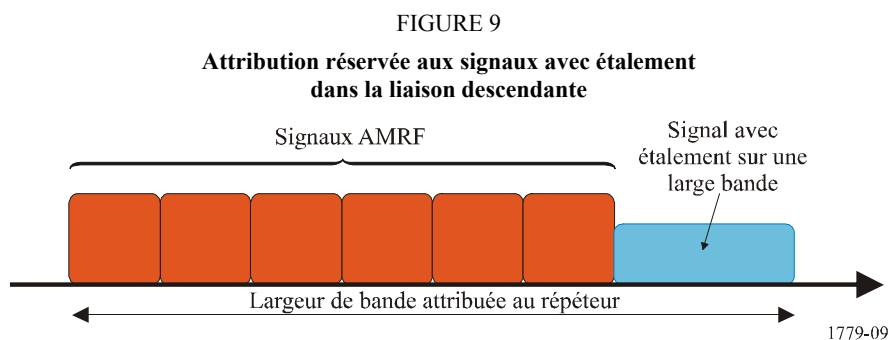


TABLEAU 13

## Modèles de liaison dans l'Application 2

	Modèle 3	Note
Type de répéteur	Régénérateur	
Largeur de bande/p.i.r.e. (liaison montante)	36 MHz/77 dBW	
Largeur de bande/p.i.r.e. (liaison descendante)	3,6 MHz/52,1 dBW	On suppose que la p.i.r.e. maximale est de 62,1 dBW
Système de transmission (liaison montante/liaison descendante)	AMRF/AMRF et signal avec étalement	

### 3.2 Analyse du bilan de la liaison et évaluation de la qualité de fonctionnement

Pour évaluer le débit binaire réalisable, on se fonde sur le bilan de la liaison dans les bandes des 14/12 GHz. Le calcul est le même que dans l'Application 1 à l'exception des paramètres  $C/I$ :

- avec les paramètres des systèmes du SFS et la largeur de bande attribuée aux signaux avec étalement, on obtient la valeur du rapport  $C/T$  au niveau du récepteur du signal large bande pour la liaison descendante;
- à partir de la valeur du rapport  $C/T$  à la réception, on obtient un débit binaire.

Etant donné qu'il n'existe pas de brouillage entre les signaux AMRF et les signaux avec étalement, on considère, dans cette analyse, que la valeur  $C/I$  utilisée dans l'Application 1 est infinie.

### 3.3 Résultats de l'analyse du bilan de la liaison

Pour calculer la valeur du rapport  $C/T$  à la réception pour la liaison montante, on utilise l'équation (1): la valeur du rapport  $C/T$  à la réception pour la liaison montante sera de  $-134,5$  dB(W/K) (voir le Tableau 14). S'agissant de la liaison descendante, l'équation (1) permet également de déterminer une valeur  $C/T$  pour la liaison descendante de  $-172,9$  dB(W/K) (voir le Tableau 15).

TABLEAU 14

**Bilan de la liaison – 1 (liaison montante)**

<b>Système à satellites large bande</b>	<b>Modèle 3</b>	<b>Note</b>
Largeur de bande	36 MHz	
p.i.r.e. de la station terrienne	67,0 dBW	
Affaiblissement sur le trajet	206,5 dB	Fréquence de fonctionnement: 14 GHz
Affaiblissement dû à la pluie	0 dB	
$G/T$ de l'antenne de réception	5,0 dB/K	
Rapport $C/T$ à la réception pour la liaison montante	-134,5 dB(W/K)	

TABLEAU 15

**Bilan de la liaison – 2 (liaison descendante)**

<b>Système à satellites large bande</b>	<b>Modèle 3</b>	<b>Note</b>
Largeur de bande par porteuse	3,6 MHz	
p.i.r.e. du satellite par porteuse	52,1 dBW	
Affaiblissement sur le trajet	205,2 dB	Fréquence de fonctionnement: 12 GHz
Affaiblissement dû à la pluie	0 dB	
$G/T$ de l'antenne de réception	-19,8 dB/K	Antenne à plaque (5 dBi), $T_{sys} = 300$ K
Rapport $C/T$ à la réception pour la liaison descendante	-172,9 dB(W/K)	$C/T$ global à l'intérieur du système

Dans l'Application 2, on part également de l'hypothèse de terminaux d'utilisateur avec antennes à faible gain; ces terminaux pourraient subir des brouillages causés par des satellites adjacents. Toutefois, dans cette étape, on tient compte de conditions idéales sans brouillage; les débits binaires obtenus avec brouillage sont indiqués au § 3.4.2.

TABLEAU 16

**Bilan de la liaison – 3 (global)**

<b>Système à satellites large bande</b>	<b>Modèle 3</b>	<b>Note</b>
$C/T$ global à l'intérieur du système	-172,9 dB(W/K)	Du Tableau 15
Dégradation du rapport $C/T$ due aux brouillages causés par d'autres systèmes	0 dB	
$C/T$ global	-172,9 dB(W/K)	



Enfin, l'équation (2) permet d'obtenir le débit binaire estimé, indiqué au Tableau 17.

TABLEAU 17  
**Débit binaire disponible dans un système à satellites large bande**

Système à satellites large bande	Modèle 3	Note
$C/T$ global	-172,9 dB(W/K)	
Rapport $E_b/N_0$	4,0 dB	
Constante de Boltzmann	-228,6 dB(W/(K · Hz))	
Débit binaire estimé	51,7 dB(bit/s) 148,9 kbit/s	

### 3.4 Analyse du débit binaire disponible

#### 3.4.1 Débit binaire avec différentes largeurs de bande pour des signaux avec étalement

Dans l'Application 2, des largeurs de bande spécifiques sont attribuées aux signaux avec étalement. Pour évaluer la façon dont les largeurs de bande influent sur le débit binaire, il est tenu compte des types de largeur de bande, avec les résultats indiqués au Tableau 18 et à la Fig. 10 pour le modèle 3. On part de l'hypothèse que la p.i.r.e. sur la liaison descendante varie avec une augmentation correspondante de la largeur de bande. Dans cette analyse, deux types d'antenne sont pris en considération: une antenne équidirective (0 dBi) et une antenne à plaque (5 dBi); il n'est pas tenu compte du niveau de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages causés par d'autres systèmes dans l'évaluation d'un cas idéal.

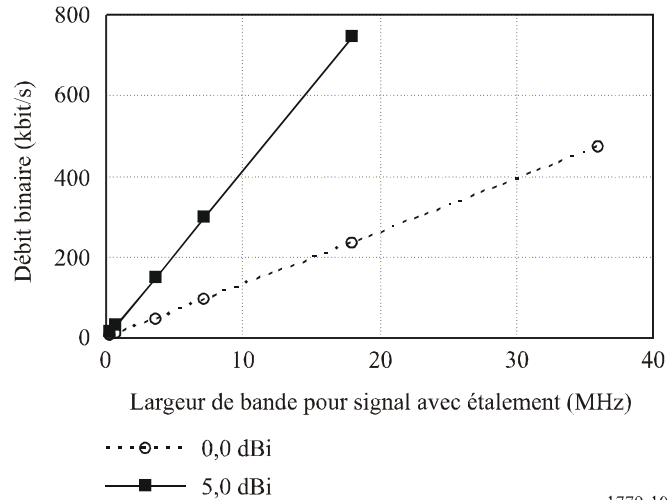
D'après le résultat, il apparaît possible d'obtenir un débit binaire de plusieurs dizaines de kbit/s en dépit d'une largeur de bande très étroite. On peut voir que cette largeur de bande suffit pour transmettre des informations à faible débit dans des conditions d'exploitation normales alors qu'il est possible d'obtenir un débit binaire supérieur lorsqu'on modifie les largeurs de bande des signaux avec étalement et des signaux AMRF.

TABLEAU 18  
**Débit binaire (kbit/s) avec différentes largeurs de bande pour des signaux avec étalement**

Type d'antenne	Largeur de bande pour des signaux avec étalement (MHz)					
	0,36	0,72	3,6	7,2	18	36
0,0 dBi (équidirective)	4,7	9,4	47,1	94,2	235,4	470,8
5,0 dBi (plaque)	14,9	29,8	148,9	297,8	744,4	1 488,7

FIGURE 10

**Débit binaire avec différentes largeurs de bande  
pour des signaux avec étalement**



1779-10

### 3.4.2 Débit binaire pour des niveaux de dégradation du rapport $C/T$ due aux brouillages causés par des satellites adjacents

Afin d'évaluer les niveaux de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages causés par des satellites adjacents, on adopte les hypothèses ci-après qui sont les mêmes que dans l'Application 1 :

- Etape 1:* La majeure partie de l'orbite géostationnaire (c'est-à-dire  $100^\circ$ ) se situe à l'intérieur du faisceau principal d'une antenne presque équidirectionnelle avec un gain de 5 dBi.
- Etape 2:* Les satellites adjacents sont espacés de  $2^\circ$ . On compte 50 satellites dans une ouverture de faisceau de  $100^\circ$ .
- Etape 3:* Lorsqu'on utilise ces antennes à faible gain, il n'existe pas de différence de gain dans une gamme de plusieurs dizaines de degrés à partir de l'axe principal; par conséquent, le niveau du signal reçu en provenance de chaque satellite adjacent est identique à celui reçu en provenance du satellite utile.
- Etape 4:* La moitié des 50 satellites adjacents (25 satellites) cause des brouillages au signal utile, entraînant ainsi une dégradation de 14 dB du rapport  $C/T$ .

Le Tableau 19 et la Fig. 11 indiquent les valeurs des débits binaires obtenus avec différents niveaux de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages causés par des satellites adjacents (modèle 3). Dans ce calcul, on considère que la largeur de bande spécifique pour les signaux avec étalement est de 3,6 MHz et que le taux de charge dans les satellites adjacents est de 100%; en outre, deux types d'antenne sont utilisés.

### 3.5 Analyse

Pour faciliter l'installation et la maintenance lorsqu'il se produit des catastrophes naturelles et des situations d'urgence de même ordre, il est souhaitable de recourir à des terminaux d'utilisateur équipés d'antennes à faible gain. Bien que le niveau de brouillage à l'intérieur du système ne puisse pas être déterminé d'après une politique d'exploitation, il n'est pas possible d'éviter une dégradation du rapport  $C/T$  due à des brouillages causés par des satellites adjacents; ce type de brouillages non contrôlés influera de façon significative sur le débit binaire.

TABLEAU 19  
Débit binaire (kbit/s) pour des niveaux de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages causés par des satellites adjacents (modèle 3)

$G_r$ \ $(C/T)_{deg}$ \ $(N_s)$	0 (0)	3 (2)	7 (5)	10 (10)	14 (25)	20 (100)
0,0 dBi (équidirective)	47,1	44,2	40,4	35,4	25,8	11,0
5,0 dBi (plaque)	148,9	123,3	97,9	73,0	41,3	13,1

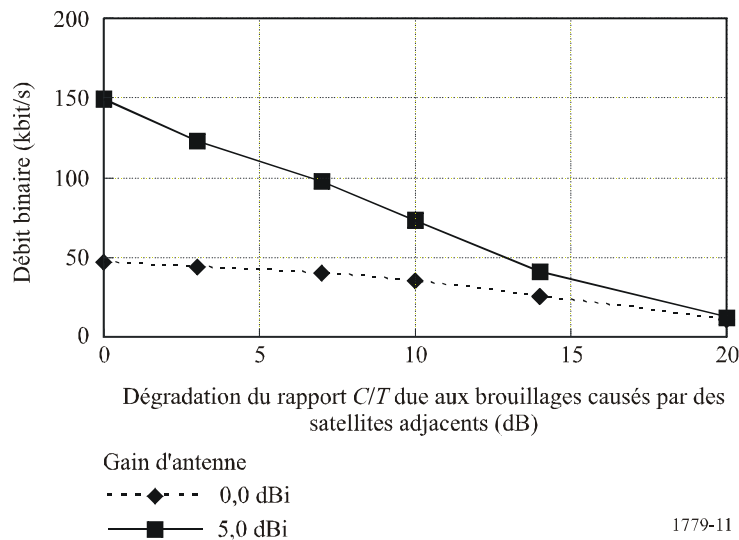
$(C/T)_{deg}$ : Niveau de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages causés par des satellites adjacents (dB)

$N_s$ : Nombre de satellites adjacents

$G_r$ : Gain d'antenne des terminaux d'utilisateur.

FIGURE 11

Débit binaire avec différents niveaux de dégradation du rapport  $C/T$  due aux brouillages causés par des satellites adjacents (modèle 3)



1779-11

Il ressort des résultats qu'il est possible d'obtenir un débit binaire de plusieurs dizaines de kbit/s même si les brouillages causés par des satellites adjacents influent sur les signaux utiles. Dans la mesure où la séparation des largeurs de bande est le principal avantage par rapport à l'Application 1, les concepteurs de systèmes pourraient utiliser le signal avec étalement sans causer de brouillages aux signaux AMRF conventionnels.

#### 4 Résumé

La présente Annexe a décrit les caractéristiques d'un système à satellites utilisant des signaux avec étalement sur une large bande dans deux applications où :

- les signaux avec étalement sont superposés à des signaux AMRF conventionnels dans les mêmes réseaux du SFS;
- des largeurs de bande spécifiques sont attribuées aux signaux avec étalement.

Grâce à la description des modèles de système et des caractéristiques techniques fournies dans le présent document, les concepteurs de systèmes pourront avoir une compréhension approfondie des systèmes du SFS utilisant des signaux avec étalement sur une large bande.

Compte tenu des catastrophes naturelles qui se sont produites récemment, il est très important de pouvoir diffuser des informations d'urgence après de tels événements aux personnes qui vivent dans des régions où il risque de se produire de telles catastrophes. Eu égard à de telles catastrophes naturelles ou à des situations critiques analogues, le système proposé pourrait être utilisé pour les avertissements et les opérations de secours.

## Annexe 2

### Système du SFS avec un certain nombre de faisceaux ponctuels étroits utilisant l'AMRC (signaux avec étalement sur une large bande)

#### 1 Aperçu général

La présente Annexe a pour objet d'analyser l'application des techniques AMRC au cas d'un système du SFS qui utilise un satellite avec un certain nombre de faisceaux ponctuels étroits. La représentation conceptuelle du système du SFS est illustrée à la Fig. 12. Les paramètres de base du système du SFS sont énumérés au Tableau 20. Afin de vérifier l'efficacité de l'application de la technique AMRC à ce type de système du SFS, on analyse la capacité des canaux dans le cas AMRC par rapport à la capacité correspondante dans les cas AMRF. Pour faciliter l'analyse, seules les liaisons descendantes sont prises en considération. On suppose que le diamètre d'antenne du terminal d'utilisateur est de 45 cm. De plus, on part de l'hypothèse d'une marge pour la pluie (pluie modérée) de 3 dB pour une fréquence de 12,5 GHz sur la liaison descendante. Enfin, on a choisi d'utiliser 14 faisceaux ponctuels (voir les Fig. 13 et 16 pour la disposition).

FIGURE 12  
Système du SFS avec un certain nombre de faisceaux ponctuels étroits

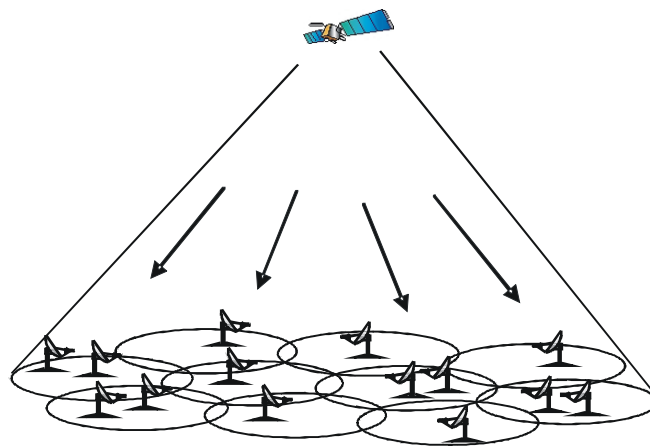


TABLEAU 20

**Paramètres de base du système du SFS avec un certain nombre de faisceaux ponctuels étroits**

Paramètres	Valeurs	Note
Fréquence de la liaison descendante (GHz)	12,5	
Largeur de bande du répéteur (MHz)	36,0	
p.i.r.e. du satellite à saturation (dBW)	61,02	
Affaiblissement de propagation sur la liaison descendante (dB)	205,5	
Marge pour la pluie sur la liaison descendante (dB)	3,0	Pluie modérée
$G/T$ du terminal d'utilisateur (dB/K)	11,19	45 cm de diamètre
Nombre de faisceaux ponctuels	14	

## 2 Capacité des canaux dans le cas AMRF

Lorsqu'on utilise l'AMRF comme système d'accès multiple dans le système du SFS avec un certain nombre de faisceaux ponctuels, il faut recourir à la segmentation des fréquences sur des faisceaux ponctuels pour éviter les brouillages provenant des faisceaux ponctuels adjacents (voir les Fig. 13 et 14).

Comme dans le cas des réseaux cellulaires terrestres, on pourrait utiliser des cellules hexagonales pour la conception de la couverture satellitaire avec un certain nombre de faisceaux ponctuels. Il existe plusieurs systèmes de réutilisation des fréquences (c'est-à-dire, un facteur de réutilisation des fréquences avec 3, 4, 7, 9, 13 bandes, etc.). L'utilisation de ce système est dictée par la nécessité de trouver un compromis entre l'efficacité spectrale et la quantité de brouillages dans le même canal provenant d'autres cellules (c'est-à-dire des faisceaux ponctuels). Dans cette étude, le facteur de réutilisation des fréquences choisi comme hypothèse a la valeur de 7, laquelle est généralement appliquée dans les systèmes cellulaires pour 14 faisceaux ponctuels.

Dans le cas AMRF, la capacité des canaux en fonction de la largeur de bande,  $N_{FDMA-BW}$ , est calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$N_{FDMA-BW} = B_t / (B_c \cdot K) \cdot M = B_t / (R/\eta \cdot K) \cdot M \quad (3)$$

où  $B_t$ ,  $B_c$ ,  $R$ ,  $\eta$ ,  $K$  et  $M$  représentent, respectivement, la largeur de bande totale, la largeur de bande des canaux, le débit d'information, l'efficacité de largeur de bande (débit d'information par largeur de bande unitaire), le facteur de réutilisation des fréquences et le nombre de faisceaux ponctuels.

Par ailleurs, dans le cas AMRF, la capacité des canaux en fonction de la puissance,  $N_{FDMA-POW}$ , est calculée par l'équation suivante:

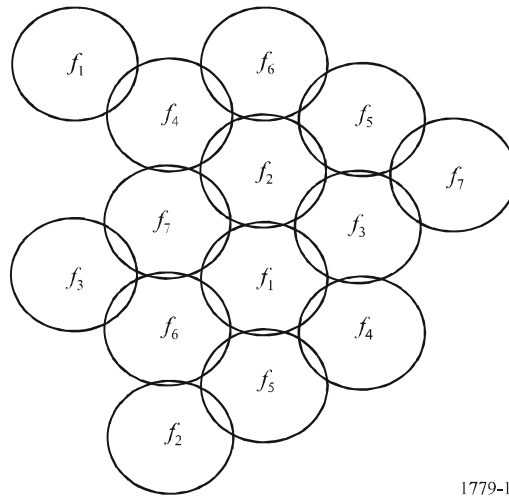
$$N_{FDMA-POW} = (C/N_0) / (E_b/N_0)_{th} \cdot \alpha \quad (4)$$

où  $C$ ,  $N_0$ ,  $(E_b/N_0)_{th}$  et  $\alpha$  représentent, respectivement, la puissance totale reçue disponible dans le système du SFS, la densité de bruit du système (AWGN, *additive white Gaussian noise*), le rapport  $E_b/N_0$  requis et l'avantage de l'effet d'activation des données (voix).

Par conséquent, la capacité des canaux dans le cas AMRF sera la plus faible des valeurs de  $N_{FDMA-BW}$  et  $N_{FDMA-POW}$ .

FIGURE 13

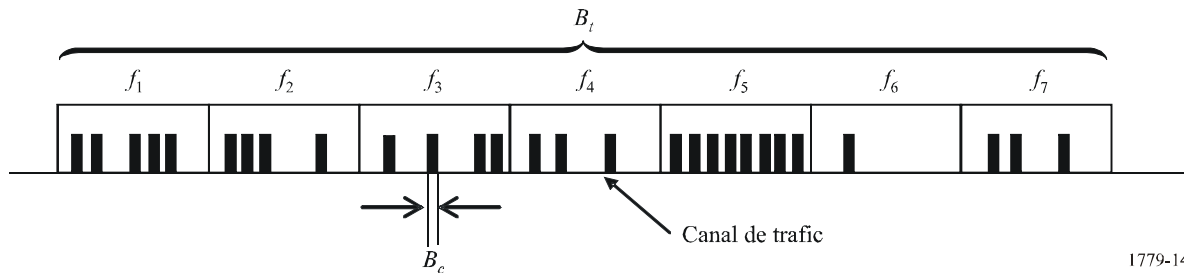
Disposition des faisceaux ponctuels et réutilisation des fréquences dans un système du SFS avec utilisation de l'accès AMRF



1779-13

FIGURE 14

Attribution de fréquences dans un système du SFS avec utilisation de l'accès AMRF



1779-14

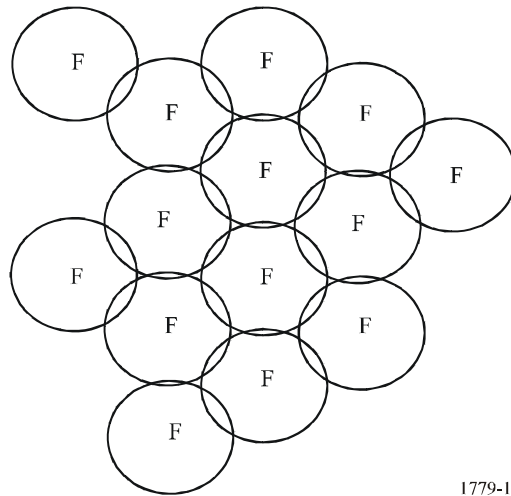
### 3 Capacité des canaux dans le cas AMRC

Lorsqu'on utilise l'AMRC comme système d'accès multiple, aucune segmentation des fréquences entre les faisceaux ponctuels n'est nécessaire (voir les Fig. 15 et 16). Dans ce cas, contrairement au cas AMRF, il est possible d'utiliser la totalité de la largeur de bande (c'est-à-dire  $B_t$ ) dans tous les faisceaux ponctuels. Dans le cas AMRC, la capacité des canaux est déterminée essentiellement par la quantité de brouillage causée par d'autres canaux AMRC fonctionnant dans le même faisceau ponctuel ainsi que dans des faisceaux ponctuels adjacents.

La Fig. 17 représente le processus de modulation (modulations primaire et secondaire) dans le système AMRC. Les valeurs  $r_1$  et  $r_2$  correspondent, respectivement, au débit de transmission après la première modulation (y compris la correction d'erreur directe, CED) et après la modulation secondaire. Les valeurs  $b_1$  et  $b_2$  représentent, respectivement, la largeur de bande de bruit équivalente de la première et de la seconde modulation. Le gain d'étalement,  $G_p$ , est défini par le rapport entre  $b_2$  et  $r_1$  (c'est-à-dire,  $G_p = b_2/r_1$ ).

FIGURE 15

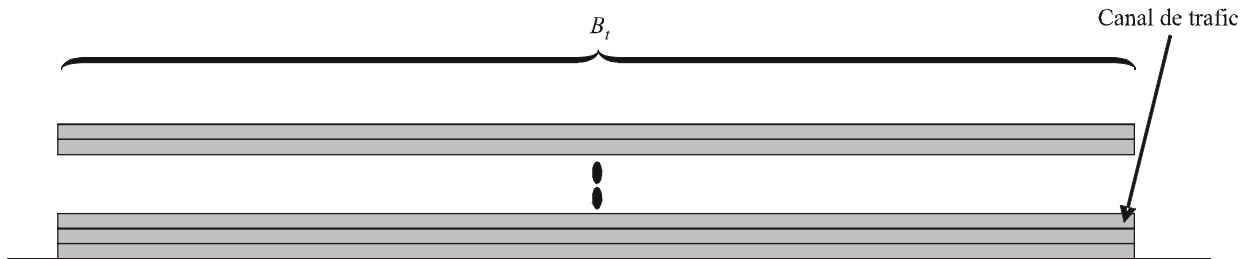
Disposition des faisceaux ponctuels dans un système du SFS avec utilisation du système AMRC



1779-15

FIGURE 16

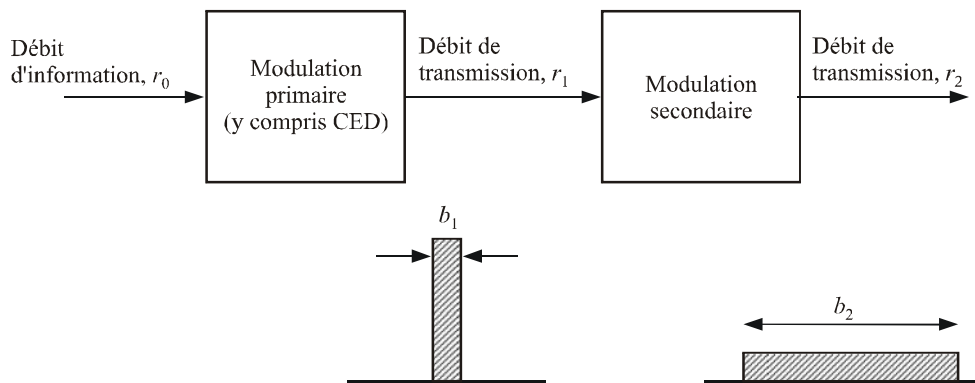
Attribution de fréquences dans un système du SFS avec utilisation du système AMRC



1779-16

FIGURE 17

Processus de modulation du signal AMRC



1779-17

Comme indiqué à la Fig. 18, dans le cas AMRC, le signal utile, le bruit du système et le brouillage causé par d'autres canaux AMRC sont mesurés à l'entrée d'un récepteur. Le calcul de la capacité des canaux dans ce cas se déroule selon les étapes suivantes:

*Etape 1:* La puissance reçue en provenance d'un seul canal utile  $C'$  a pour expression  $C' = C/N_{CDMA}$ , où  $C$  et  $N_{CDMA}$  représentent, respectivement, la puissance totale reçue disponible dans le système du SFS et la capacité des canaux dans le cas AMRC.

*Etape 2:* La densité de brouillage causée par d'autres canaux AMRC,  $I_0$  a pour expression  $I_0 = C/N_{CDMA} * (N_{CDMA} - 1)/b_2$ . A noter que  $b_2$  est la largeur de bande équivalente de la modulation secondaire indiquée à la Fig. 17. La densité de bruit du système, compte non tenu des brouillages causés par d'autres canaux AMRC, est  $N_0$  (densité de bruit AWGN).

*Etape 3:* D'après les étapes 1 et 2,  $C'/(N_0 + I_0)$  s'exprime de la façon suivante:

$$C'/(N_0 + I_0) = (C/N_{CDMA})/(N_0 + C/N_{CDMA} * (N_{CDMA} - 1)/b_2) \quad (5)$$

*Etape 4:* Si l'on tient compte de l'approximation de  $N_{CDMA} \doteq N_{CDMA} - 1$ , l'équation (5) peut être simplifiée comme suit:

$$C'/(N_0 + I_0) = (C/N_{CDMA})/(N_0 + C/b_2) \quad (5bis)$$

*Etape 5:* Par ailleurs,  $C'/(N_0 + I_0)$  peut être exprimé en fonction du rapport  $E_b/N_0$  requis (ou  $(E_b/N_0)_{th}$ ) et le débit d'information avant étalement  $b_1$  peut être exprimé comme suit:

$$C'/(N_0 + I_0) = (E_b/N_0)_{th} * r_1 \quad (6)$$

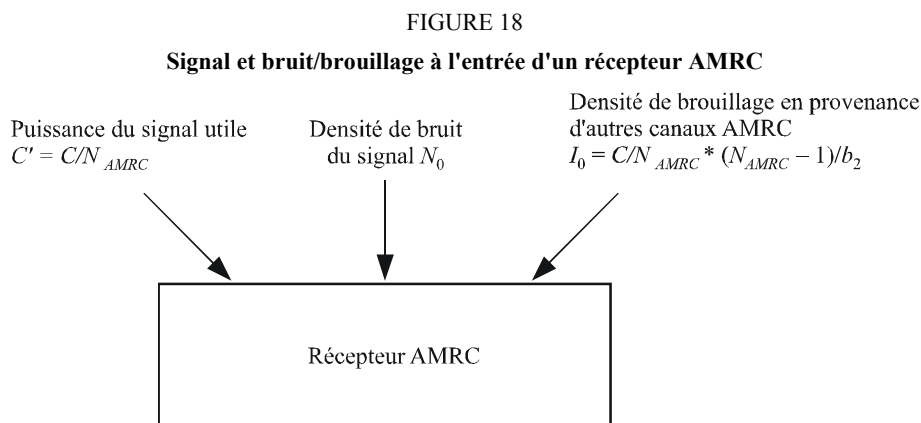
*Etape 6:* Avec les équations (5bis) et (6) ainsi que la relation  $G_p = b_2/r_1$  et  $C/N = \{C/N_0\}/b_2$ , on obtient l'équation suivante:

$$N_{CDMA} = \{G_p / (E_b/N_0)_{th}\} * \{(C/N) / (C/N + 1)\} \quad (7)$$

*Etape 7:* Dans l'équation (7), il est tenu compte uniquement du brouillage causé au même faisceau ponctuel par d'autres canaux AMRC alors qu'il faudrait en réalité prendre en considération les brouillages causés aux faisceaux ponctuels adjacents par des canaux AMRC. De plus, il est tenu compte de l'effet d'activation des données (voix)  $\alpha$ , tout comme dans le cas AMRF. Cela étant, la capacité des canaux dans le cas AMRC est exprimée par la formule suivante:

$$N_{CDMA} = \{G_p / (E_b/N_0)_{th}\} * \{(C/N) / (C*(1 + \beta)/N + 1)\} * \alpha \quad (8)$$

où  $\beta$  représente le rapport entre la contribution de brouillage provenant des faisceaux ponctuels adjacents et la contribution provenant du même faisceau ponctuel.

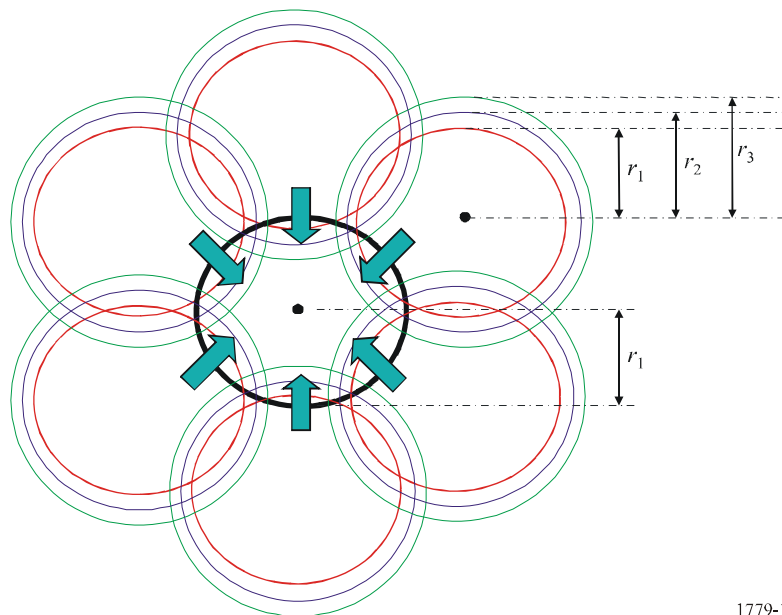




Pour évaluer la valeur  $\beta$  dans l'équation (8), on utilise le modèle de faisceaux ponctuels décrits à la Fig. 19. Le canal utile est présent dans le faisceau situé au centre de la figure. La fuite de puissance depuis les six faisceaux adjacents vers le contour à 3 dB du faisceau central (cercle en traits épais) est calculée dans l'hypothèse d'une répartition uniforme du trafic sur les emplacements de chaque faisceau ponctuel. Le rayon du contour à 3 dB de chaque faisceau ponctuel est défini par  $r_1$ . S'agissant des faisceaux adjacents, pour calculer la fuite de puissance on utilise un contour à 6 dB et à 10 dB avec un rayon de  $r_2 (= 1,2*r_1)$  et  $r_3 (= 1,5*r_1)$ . Comme résultat de cette somme on obtient  $\beta = 0,75$ .

FIGURE 19

Modèle de faisceaux ponctuels pour calculer les fuites de puissance provenant des faisceaux adjacents



1779-19

#### 4 Evaluation de la capacité des canaux avec les paramètres du système choisi comme exemple

Pour évaluer la capacité d'un système du SFS avec un certain nombre de faisceaux ponctuels étroits, on se fonde sur les paramètres de transmission indiqués dans le Tableau 21 pour les cas AMRF et AMRC. Afin de déterminer dans quelle mesure la capacité des canaux dépend de la puissance du satellite et des ressources de largeur de bande dans le cas AMRF, on envisage plusieurs méthodes de modulation/CED. Dans le cas AMRC, il est inutile d'envisager des applications d'un ordre de modulation supérieur (c'est-à-dire MDP-8 ou MAQ-16) pour la modulation primaire car le gain d'étalement n'augmente pas. Compte tenu de ce qui précède, l'analyse tient compte des combinaisons ci-après en termes de modulation et de CED:

- Cas 1: AMRF; MDP-4 avec code turbo 1/2.
- Cas 2: AMRF; MDP-8 avec MCT 2/3 et code Reed Solomon (201, 219).
- Cas 3: AMRF; MAQ-16 avec MCT 3/4 et code Reed Solomon (201, 219).
- Cas 4: AMRC; MDP-4 avec code turbo 1/2.

Les valeurs du rapport  $E_b/(N_0 + I_0)$  requis pour les méthodes de modulation/CED envisagées dans la présente évaluation sont indiquées au Tableau 21 et correspondent à un taux d'erreur binaire (TEB) de  $1 \times 10^{-8}$ . Le taux CED correspond au débit composite d'un code interne et d'un code externe.

TABLEAU 21

## Paramètres de transmission pour l'évaluation de la capacité des canaux

Paramètres	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
AMRF/AMRC	AMRF	AMRF	AMRF	AMRC
<i>Modulation primaire</i>				
Débit d'information, $r_1$ (kbit/s)	64	64	64	64
Modulation	MDP-4	MDP-8	MAQ-16	MDP-4
Taux CED	0,50	0,61	0,69	0,50
Largeur de bande de bruit équivalente, $b_1$ (kHz)	64,0	34,9	23,3	64,0
Largeur de bande occupée, $b'_1$ (kHz)	89,6	48,8	32,5	89,6
Efficacité spectrale (bit/s/Hz)	0,71	1,31	1,97	0,71
Rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ requis (dB)	3,2	6,9	9,4	3,2
<i>Modulation secondaire</i>				
Modulation	N/A	N/A	N/A	MDP-2
Largeur de bande de bruit équivalente, $b_2$ (MHz)	N/A	N/A	N/A	25,6
Largeur de bande occupée, $b'_2$ (MHz)	N/A	N/A	N/A	36

N/A: indisponible

La capacité des canaux dans les cas AMRF du Tableau 21 (cas 1 à 3) a été calculée de la façon indiquée au Tableau 22. Les paramètres de base sont tirés du Tableau 21. Le recul de puissance du répéteur est de 3 dB pour les modulations MDP-4 et MDP-8 et de 6 dB pour la modulation MAQ-16.

TABLEAU 22

## Calcul de la capacité des canaux pour les cas AMRF

Paramètres	Cas 1	Cas 2	Cas 3
p.i.r.e. du satellite à saturation (dBW)	61,02	61,02	61,02
Recul de puissance du répéteur (dB)	3,0	3,0	6,0
Affaiblissement de propagation (dB)	205,5	205,5	205,5
Marge pour la pluie (dB)	3,0	3,0	3,0
$G/T$ du terminal d'utilisateur (dB/K)	11,19	11,19	11,19
$C/N_0$ à la réception (dBHz)	89,31	89,31	86,31
Rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ requis (dB)	3,2	6,9	9,4
Avantage de l'activation des données	2,5	2,5	2,5
Capacité des canaux en fonction de la puissance (Mbit/s)	1 020,3	435,25	122,68
Largeur de bande du répéteur (MHz)	36,0	36,0	36,0
Efficacité spectrale (bit/s/Hz)	0,71	1,31	1,97

TABLEAU 22 (*fin*)

Paramètres	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Facteur de réutilisation des fréquences	7	7	7
Nombre de faisceaux ponctuels	14	14	14
Capacité des canaux en fonction de la largeur de bande (Mbit/s)	51,12	94,32	141,84
Capacité des canaux obtenue (Mbit/s)	51,12	94,32	122,68

Au Tableau 22, les équations (3) et (4) permettent de calculer, respectivement, la capacité des canaux en fonction de la puissance et la capacité des canaux en fonction de la largeur de bande.

La capacité des canaux dans le cas AMRC du Tableau 21 (cas 4) est calculée de la façon indiquée dans le Tableau 23. Les paramètres de base sont tirés du Tableau 21. Dans le Tableau 23, la capacité des canaux est calculée à l'aide de l'équation (8). A noter que cette analyse part du principe idéal d'une répartition uniforme du trafic entre les faisceaux ponctuels.

TABLEAU 23

## Calcul de la capacité des canaux dans le cas AMRC

Paramètres	Cas 4
Débit d'information, $r_1$ (kbit/s)	64
Largeur de bande de bruit pour la modulation secondaire, $b_2$ (MHz)	25,71
Gain d'étalement, $G_p$	401,79
p.i.r.e. du satellite à saturation (dBW)	61,02
Recul de puissance du répéteur (dB)	3,0
Affaiblissement de propagation (dB)	205,5
Marge pour la pluie (dB)	3,0
$G/T$ du terminal d'utilisateur (dB/K)	11,9
Nombre de faisceaux ponctuels	14
$C/N_0$ à la réception (système total) (dBHz)	89,31
$C/N_0$ à la réception (par faisceau ponctuel) (dBHz)	77,84
$C/N$ obtenu par rapport à la largeur de bande $b_2$ (par faisceau ponctuel) (dB)	3,74
Rapport $E_b/(N_0 + I_0)$ requis (dB)	3,2
Rapport entre la contribution de brouillage provenant des faisceaux ponctuels adjacents et la contribution provenant du même faisceau ponctuel, $\beta$	0,75
$C(1 + \beta)/N + 1$	5,2
Avantage de l'activation des données, $\alpha$	2,5
Capacité des canaux (par faisceau ponctuel) (Mbit/s)	14,16
Capacité des canaux (système total) (Mbit/s)	198,3

## 5 Résumé

D'après les valeurs indiquées dans les Tableaux 22 et 23, on peut voir que la capacité des canaux dans le cas AMRC (cas 4) est la plus grande pour le système du SFS avec cette série de paramètres pris comme hypothèse, cela pour les raisons suivantes:

- La plupart des systèmes du SFS fonctionnent avec des limitations de puissance. En pareils cas, l'utilisation du système AMRC ne permet pas d'augmenter la capacité du système par rapport aux cas AMRF. Toutefois, dans la mesure où des systèmes à satellites dotés d'un grand nombre de faisceaux ponctuels étroits sont mis en œuvre, on assiste à l'apparition de situations dans lesquelles la largeur de bande est limitée.
- En ce qui concerne le système de segmentation des fréquences utilisé dans le cas AMRF (voir les Fig. 13 et 14), l'utilisation de fréquences, qui peuvent être utilisées dans les faisceaux adjacents, est interdite, indépendamment de l'emplacement d'une station terrienne dans un faisceau ponctuel, bien qu'il soit peu probable que le canal utilisé soit brouillé simultanément par des canaux dans des faisceaux adjacents multiples. Un fonctionnement avec ce type d'utilisation des fréquences est nécessaire, en particulier lorsqu'un certain nombre de stations terriennes partagent des canaux sur demande (par exemple, un système du SFS avec un grand nombre de petites stations VSAT ou USAT). L'accès AMRC offre un avantage en termes de flexibilité dans l'assignation des canaux, puisqu'il n'existe aucune segmentation des fréquences entre les faisceaux ponctuels, contrairement aux cas AMRF. De ce fait, la largeur de bande peut être utilisée efficacement dans le cas AMRC.

Par ailleurs, le concepteur de système devrait accorder l'attention nécessaire à la répartition du trafic dans le système du SFS, puisque cette analyse tient uniquement compte de la répartition uniforme du trafic dans la zone de couverture des faisceaux ponctuels.

Il convient de noter que le résultat de ce calcul peut être projeté à une largeur de bande plus grande, bien que l'exemple choisi dans cette analyse soit une largeur de bande du répéteur de 36 MHz.

Autre avantage de la technique AMRC serait la possibilité d'utiliser un système du SFS avec différents débits d'information sur la liaison montante. Si un tel système devait être configuré avec l'accès AMRF, il serait nécessaire d'adopter une procédure complexe de contrôle d'assignations de fréquence utilisant un certain nombre de porteuses de différentes tailles. Un complément d'étude est nécessaire pour évaluer un tel système AMRC.

## Annexe 3

### **Système à satellites utilisant des signaux avec étalement sur une large bande dans les liaisons montantes afin de réduire les émissions hors axe**

#### 1 Aperçu général

Dans la bande du SFS de 27,5-30 GHz, les valeurs de densité de p.i.r.e. hors axe préconisées dans la Recommandation UIT-R S.524 sont très strictes par rapport à celles qui s'appliquent à la bande du SFS de 12,75-13,25 GHz/13,75-14,5 GHz et de 6 GHz. Pour obtenir les valeurs recommandées, en particulier lorsque le rapport  $G/T$  du satellite est relativement faible, il serait utile d'appliquer l'étalement des signaux comme modulation secondaire.

## 2 Exemple de paramètres du système

Des exemples de paramètres du système sont indiqués au Tableau 24. Le débit d'information est de 1, 10 et 100 Mbit/s, il utilise la modulation MDP-2 et le codage convolutionnel/décodage de Viterbi avec un taux de CED 1/2 pour obtenir un TEB de  $1 \times 10^{-8}$ . Le rapport  $G/T$  du satellite est de 10 dB/K. L'antenne a un diamètre de 45 ou de 75 cm et le diagramme d'antenne de référence utilisé est celui qui est indiqué dans l'Appendice 8, Annexe III du RR.

TABLEAU 24  
Paramètres du système

Paramètres	Valeur
Fréquence d'émission (GHz)	29,25
Débit d'information (Mbit/s)	1/10/100
Modulation	MDP-2
CED	Codage convolutionnel
Taux de CED	1/2
Objectif de TEB	$10^{-8}$
$G/T$ du satellite (dB/K)	10
Diamètre d'antenne (cm)	45 cm ( $D/\lambda = 43,9$ ), 75 cm ( $D/\lambda = 73,1$ )
Diagramme d'antenne de référence	Appendice 8, Annexe III du RR ( $D/\lambda < 100$ )

Les valeurs calculées de la largeur de bande de bruit équivalente et du rapport  $C/N$  requis sont données dans le Tableau 25.

TABLEAU 25  
Largeur de bande de bruit équivalente et rapport  $C/N$  requis

Débit d'information (Mbit/s)	Largeur de bande de bruit équivalente (MHz)	Rapport $E_b/N_0$ requis (dB)	Rapport $C/N$ requis (dB)
1	2,0	5,9	2,9
10	20,0	5,9	2,9
100	200,0	5,9	2,9

Pour calculer la valeur du rapport  $C/N$ , on utilise l'équation (9) avec les paramètres de la liaison indiqués au Tableau 26.

$$C/N = P_t - L_{\text{alimentation}} - L_p + G_t - L_f - L_a + G/T + 228,6 - B - \alpha \quad (9)$$

A noter que la même quantité de bruit sur la liaison montante est attribuée aussi à d'autres sources de bruit dont le bruit sur la liaison descendante dans l'équation (9). Autrement dit, on suppose que la dégradation du rapport  $C/N$  due à ces sources de bruit est de 3 dB (voir la valeur  $\alpha$  au Tableau 26).

TABLEAU 26  
Paramètres de la liaison

Paramètres	Valeur	Note
Affaiblissement dû à la ligne d'alimentation, $L_{alim}$ (dB)	0,5	
Erreur de pointage de l'antenne, $L_p$ (dB)	0,2	
Gain de l'antenne d'émission, $G_t$ (dBi)	40,6 (antenne de 45 cm) 45,0 (antenne de 75 cm)	Rendement 60% Fréquence 29,25 GHz
Affaiblissement de propagation, $L_f$ (dB)	213,3	
Absorption atmosphérique, $L_a$ (dB)	0,4	
$G/T$ du satellite (dB/K)	10	Voir le Tableau 24
Largeur de bande de bruit équivalente, $B$ (MHz)	–	Voir le Tableau 25
Dégradation du rapport $C/N$ due à d'autres sources de bruit, $\alpha$ (dB)	3	Compris le bruit de la liaison descendante

### 3 Résultats

A partir de l'équation (9) et des Tableaux 25 et 26, il est possible de calculer la puissance de sortie requise au niveau de l'amplificateur HPA de la station terrienne,  $P_t$  (voir le Tableau 27).

TABLEAU 27  
Puissance de sortie requise (W) au niveau de l'amplificateur HPA de la station terrienne,  $P_t$

Débit d'information (Mbit/s)	Diamètre d'antenne	
	45 cm	75 cm
1	2,6	0,9
10	25,8	9,4
100	257,6	93,5

Les densités de p.i.r.e. hors axe calculées avec les valeurs indiquées au Tableau 27 et le diagramme d'antenne de référence de l'Appendice 8, Annexe III du RR dépassent les valeurs prescrites au § 4 du *recommande* de la Recommandation UIT-R S.524. Par exemple, avec un décalage de 5° dans le cas d'un diamètre d'antenne de 45 cm, on observe un dépassement d'environ 3,3 dB de la valeur recommandée. Il est possible de réduire la densité de p.i.r.e. hors axe en recourant à l'espacement des signaux comme modulation secondaire.

Le Tableau 28 ainsi que les Fig. 20 et 21 donnent les valeurs de densité de p.i.r.e. hors axe pour chaque cas avec ou sans recours aux techniques d'étalement. Dans cette technique, le facteur d'étalement de 4 est appliqué.

TABLEAU 28

Densité de p.i.r.e. hors axe (dB(W/40 kHz)) avec ou sans signaux d'étalement

Angle hors axe (degrés)	Valeurs de la Rec. UIT-R S.524	Antenne de 45 cm		Antenne de 75 cm	
		Sans étalement	Avec étalement	Sans étalement	Avec étalement
2,0	11,5	13,3	7,3	11,1	5,1
3,0	7,1	10,3	4,2	6,7	0,7
4,0	3,9	7,2	1,2	3,6	-2,4
5,0	1,5	4,8	-1,2	1,2	-4,8
6,0	-0,5	2,8	-3,2	-0,8	-6,8
7,0	-2,0	1,1	-4,9	-2,4	-8,4
8,0	-2,0	-0,3	-6,3	-3,9	-9,9
9,0	-2,0	-1,6	-7,6	-5,1	-11,2
10,0	-3,0	-2,7	-8,7	-6,3	-12,3

FIGURE 20

Densité de p.i.r.e. hors axe avec ou sans signaux d'étalement (antenne de 45 cm)

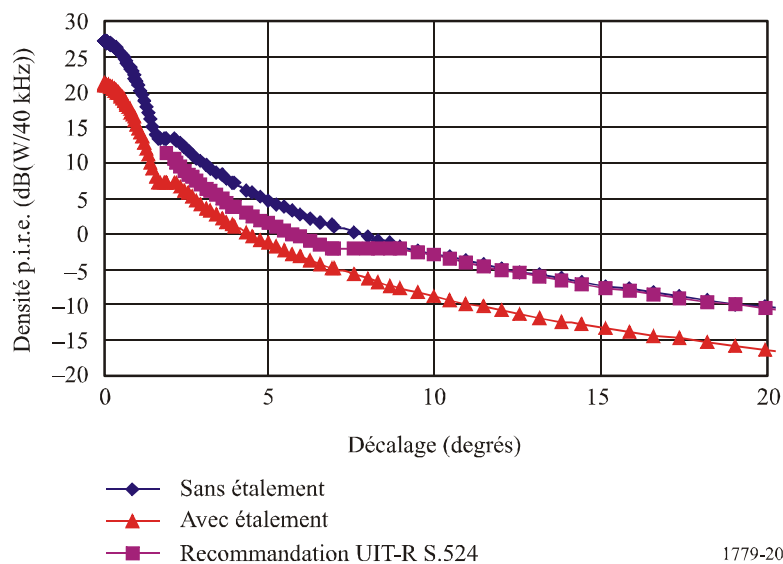
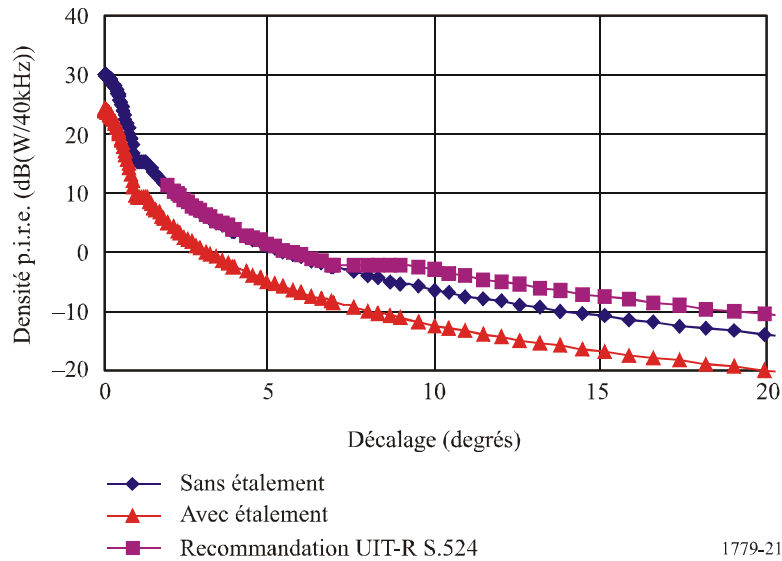


FIGURE 21

Densité de p.i.r.e. hors axe avec ou sans signaux d'étalement (antenne de 75 cm)



#### 4 Résumé

Sur la liaison montante de la bande des 30/20 GHz, il est utile d'appliquer une technique d'étalement des signaux sur une large bande comme modulation secondaire pour réduire le niveau de densité de p.i.r.e. hors axe afin de respecter les valeurs préconisées dans les Recommandations UIT-R pertinentes (c'est-à-dire la Recommandation UIT-R S.524). Cette réduction de la densité de p.i.r.e. hors axe suppose l'utilisation d'une largeur de bande plus grande. Il convient de noter que l'exemple choisi dans cette Recommandation ne tient pas compte de l'hypothèse de nombreuses porteuses d'émission de station terrienne dans la même largeur de bande, c'est-à-dire AMRC, mais il convient de prendre en considération ces effets si un concepteur de système utilise l'accès AMRC dans ce type d'application.