

Suppléments 1, 2, 3 et 4

**Manuel**  
**sur le service mobile par satellite (SMS)**

**Supplément 1**

Aspects système des stations terriennes  
mobiles numériques

**Supplément 2**

Méthode de détermination des critères de brouillage  
et de partage applicables aux services mobiles par satellite

**Supplément 3**

Problèmes de brouillage et de bruit dans le cas de systèmes  
du service mobile maritime par satellite utilisant  
des fréquences dans les bandes des 1,5 et des 1,6 GHz

**Supplément 4**

Aspects techniques de la coordination entre systèmes  
du service mobile par satellite utilisant l'orbite  
des satellites géostationnaires

## SECTEUR DES RADIOCOMMUNICATIONS DE L'UIT

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

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

### **Pour tout renseignement sur les questions de radiocommunication**

*Veillez contacter:*

UIT  
Bureau des radiocommunications  
Place des Nations  
CH-1211 Genève 20  
Suisse

Téléphone: +41 22 730 5800  
Téléfax: +41 22 730 5785  
E-mail: [brmail@itu.int](mailto:brmail@itu.int)  
Web: [www.itu.int/itu-r](http://www.itu.int/itu-r)

### **Pour commander les publications de l'UIT**

*Les commandes ne sont pas acceptées par téléphone. Veillez les envoyer par téléfax ou par courrier électronique (E-mail).*

UIT  
Division des ventes et du marketing  
Place des Nations  
CH-1211 Genève 20  
Suisse

Téléfax: +41 22 730 5194  
E-mail: [sales@itu.int](mailto:sales@itu.int)

**La Librairie électronique de l'UIT: [www.itu.int/publications](http://www.itu.int/publications)**

# SUPPLÉMENTS 1, 2, 3 et 4

## MANUEL

### Service mobile par satellite (SMS)

- SUPPLÉMENT 1** – Aspects système des stations terriennes mobiles numériques
- SUPPLÉMENT 2** – Méthode de détermination des critères de brouillage et de partage applicables aux services mobiles par satellite
- SUPPLÉMENT 3** – Problèmes de brouillage et de bruit dans le cas de systèmes du service mobile maritime par satellite utilisant des fréquences dans les bandes des 1,5 et des 1,6 GHz
- SUPPLÉMENT 4** – Aspects techniques de la coordination entre systèmes du service mobile par satellite utilisant l'orbite des satellites géostationnaires



## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
SUPPLÉMENT 1 – Aspects système des stations terriennes mobiles numériques.....	3
<i>Source:</i> Rapport UIT-R M.921-2 (Partie correspondante du Manuel initial sur le SMS: § 4.2 et 4.5)	
SUPPLÉMENT 2 – Méthode de détermination des critères de brouillage et de partage applicables aux services mobiles par satellite.....	21
<i>Source:</i> Rapport UIT-R M.1179 (Partie correspondante du Manuel initial sur le SMS: § 2.3 et 4.5)	
SUPPLÉMENT 3 – Problèmes de brouillage et de bruit dans le cas de systèmes du service mobile maritime par satellite utilisant des fréquences dans les bandes des 1,5 et des 1,6 GHz.....	31
<i>Source:</i> Rapport UIT-R M.764-2 (Partie correspondante du Manuel initial sur le SMS: § 4.5)	
SUPPLÉMENT 4 – Aspects techniques de la coordination entre systèmes du service mobile par satellite utilisant l'orbite des satellites géostationnaires.....	41
<i>Source:</i> Rapport UIT-R M.1185 (Partie correspondante du Manuel initial sur le SMS: § 2.3)	



# **SUPPLÉMENT 1**

## **Aspects système des stations terriennes mobiles numériques**

### **Résumé**

Le présent Supplément expose les caractéristiques d'une station terrienne mobile numérique de qualité téléphonique et d'une station terrienne mobile présentant un rapport  $G/T$  peu élevé. Une description détaillée est également donnée d'un exemple d'application du mécanisme de correction d'erreur sans voie de retour (CED) dans le cas d'un système d'appel de groupe amélioré et d'une compensation des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples. Des explications générales ont été fournies aux § 4.2 et 4.5 du Manuel sur le service mobile par satellite concernant les principes fondamentaux de l'ingénierie des systèmes du SMS. Le présent Supplément a pour objet d'exposer les principes de conception des systèmes numériques du SMS actuellement utilisés, assortis d'exemples concrets.

## Exemples fondamentaux de conception des stations terriennes mobiles numériques

### 1 Introduction

Le présent Supplément porte sur un certain nombre d'aspects techniques des caractéristiques des systèmes et des voies de communication et destinés à des normes applicables aux stations terriennes numériques de navire. Parmi ces aspects techniques, on notera les compromis entre les caractéristiques des systèmes pour une utilisation efficace de la capacité du secteur spatial et les exigences des usagers pour un équipement de faible encombrement à bord des navires.

Le premier système de communication maritime par satellite était conçu pour fonctionner avec des stations terriennes de navire présentant un rapport  $G/T$  de  $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ . On pensait que les normes numériques de stations terriennes de navire qui seraient introduits ultérieurement se caractériseraient par un rapport  $G/T$  voisin ou plus faible et, peut-être, par une antenne de plus petite taille, comme le récapitule le Tableau 1 dans le cas du système Inmarsat.

TABLEAU 1

#### Récapitulation des caractéristiques des stations terriennes de navire d'INMARSAT prises pour hypothèse dans le présent Supplément

Norme de la station terrienne de navire	Gain d'antenne (dBi)	$G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	Capacité du système
A	21-24	-4	Totalité de la gamme des services de correspondance publique
B	21	-4	Totalité de la gamme des services de correspondance publique et des communications de données numériques
M	12-15	-13 à -10	Totalité de la gamme des services de correspondance publique et des communications de données numériques
C	2	-23	Messages à faible débit binaire

Dans le sens côte-à-navire pour le même type de modulation, on pourrait obtenir avec une station terrienne de navire à faible rapport  $G/T$  la même qualité de transmission qu'avec une station terrienne de navire ayant un rapport de  $G/T$  égal à  $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$  en augmentant la p.i.r.e. du satellite par voie. Cette mesure aurait toutefois pour conséquence de réduire la capacité en voies du système, les systèmes de communication du service maritime par satellite figurant dans le Tableau 1 étant limités en puissance.

Dans le sens navire-côte, on pourrait obtenir la même qualité en augmentant la puissance fournie par une station terrienne de navire à faible rapport  $G/T$ , mais il y aurait un risque de rayonnement et les autres satellites maritimes pourraient subir des brouillages accrus.

Il a donc été nécessaire d'envisager des techniques de modulation et de codage plus efficaces permettant de fournir des voies téléphoniques lorsque les valeurs du rapport porteuse/densité de bruit ( $C/N_0$ ) sont faibles.

Les concepts désignés par la norme B et la norme C ont été envisagés pour fournir des capacités d'émission et de réception basées sur des techniques de modulation et de codage numériques, alors que le système de norme A emploie, pour la téléphonie, la modulation analogique MF. Dans les deux cas, on a envisagé un système de commande d'accès et de signalisation, séparé du système existant à ce moment-là et avec des caractéristiques différentes de voie qui, d'après les prévisions, devaient améliorer l'efficacité et l'utilisation de la signalisation. Dans le système de norme B, l'assignation des voies en fonction de la demande était fondée sur des liaisons aller MRT qui pouvaient être utilisées pour la commande d'accès centralisé ou réparti dans chacun des réseaux. De telles liaisons permettent également, en combinaison avec les voies de signalisation de demande de station terrienne de navire (accès aléatoire) et de réponse (AMRT), la mise en œuvre de la régulation de puissance adaptative et les procédures d'identification des satellites à faisceau ponctuel. Dans le système de norme C, les renseignements relatifs aux communications et à la signalisation ont été combinés dans les liaisons aller MRF et les liaisons retour à accès aléatoire, au moyen de techniques ARQ.

Le § 2 expose les bases techniques de la conception du système numérique. Les considérations relatives sur les bilans de liaison ont été présentées au § 3 et les caractéristiques de qualité de fonctionnement des stations terriennes de navire numériques, pour diverses valeurs du rapport  $G/T$ , font l'objet du § 4. Le § 5 décrit le système de communication d'Inmarsat de norme C. Le § 6 présente un système d'appel de groupe amélioré.

## **2 Base de la conception du système numérique**

### **2.1 Conception générale du système et aspects application**

On a supposé que l'introduction éventuelle du système de norme B était un moyen de pourvoir au remplacement des stations terriennes de navire de norme A d'Inmarsat pour la totalité de la gamme des services de correspondance publique, notamment les services suivants:

- téléphonie, basée sur la modulation numérique, les techniques de codage et de traitement de la parole, y compris les données transmises dans la bande vocale;
- transmission de données pour les services à faible vitesse (jusqu'à environ 9,6 kbit/s), y compris le télex et la télécopie.

Le système de signalisation et le plan de numérotage adoptés pour les stations terriennes de navire permettraient l'interconnexion, dans les stations terriennes côtières, pour la téléphonie, le télex et les données, des voies satellites et des réseaux de Terre appropriés, ainsi que la liaison avec le réseau numérique à intégration des services (RNIS).

Outre les services de base précités, on a supposé également que le système de norme B continuerait à offrir les autres possibilités propres à la norme A, telles que l'alerte en cas de détresse par téléphone et télex, la transmission de données à grande vitesse navire-côtière à 56 kbit/s.

On prévoyait que les principaux besoins du service en ce qui concerne l'utilisation du secteur spatial seraient, comme par le passé, ceux de la téléphonie. L'introduction des techniques numériques devrait permettre de faire des économies de puissance et de largeur de bande dans les satellites, de réduire le rapport  $G/T$  et la p.i.r.e. nécessaires des stations terriennes de navire, ou de combiner ces deux possibilités.

Afin de maintenir la qualité subjective des voies téléphoniques que fournit actuellement la norme A (voir la Recommandation UIT-R M.547), on a supposé que l'objectif de conception pour la norme B assurerait une téléphonie de bonne qualité dans des conditions nominales au moins équivalentes (subjectivement) au système MF avec compression-extension de la norme A, avec une qualité acceptable de la voix dans des conditions de propagation défavorables sous de petits angles de site

du satellite. De plus, on a supposé que la p.i.r.e. du satellite nécessaire pour atteindre ces objectifs serait comparable à celle exigée pour la norme A. En appliquant la commande par la voix et la régulation de puissance aux liaisons aller, la p.i.r.e. moyenne par voie du satellite serait encore abaissée à un niveau inférieur à celui exigé par la norme A.

La mise en œuvre d'un équipement numérique de station terrienne de navire permettrait d'offrir des transmissions de données très variées.

## 2.2 Techniques de codage de la voix

Grâce aux techniques de modulation numérique et de codage de la voix, la qualité vocale requise pourrait être obtenue plus efficacement qu'avec la modulation analogique. L'application de méthodes efficaces de codage numérique de la voix devrait permettre de réduire les largeurs de bande nécessaires ce qui, en combinaison avec la CED, abaisserait également la valeur du rapport  $C/N_0$ , valeur qui détermine les besoins en puissance du satellite dans le sens côtière-navire, ce dernier représentant dans le système la liaison la plus limitée en puissance. Ces techniques permettraient également de réduire les besoins en p.i.r.e. de la station terrienne de navire dans le sens navire-côtière. On avait prévu que la poursuite du développement de la technique des circuits d'intégration à grande échelle permettrait de mettre en œuvre de manière rentable les techniques numériques nécessaires.

La comparaison des techniques de codage de la voix dont on dispose actuellement a conduit à la conclusion que les objectifs de qualité de la parole exigés pourraient être atteints au moyen d'un taux de codage de la voix à 16 kbit/s et d'un taux d'erreurs binaires (TEB) compris entre environ  $1 \times 10^{-2}$  et  $1 \times 10^{-3}$ , avec, comme méthode de codage de la voix, le codage par prédiction adaptatif (CPA) ou le codage de sous-bande (CSB). Cela devrait également permettre de réduire à 20-25 kHz l'espacement des canaux selon la technique de modulation et de codage par CED adoptée.

## 2.3 Techniques de modulation

Diverses techniques de modulation numérique pouvant éventuellement être appliquées à la norme B seront examinées, et les résultats que ces techniques permettent d'obtenir concernant le TEB, l'efficacité d'utilisation de la largeur de bande et la complexité du matériel seront comparés.

Pour les transmissions côtière-navire, la modulation par quadrature de phase (MDP-4) avec filtrage serait une technique efficace de modulation, mais en raison de la variation d'amplitude qui la caractérise, il serait nécessaire d'installer un amplificateur linéaire (classe A) dans la station terrienne de navire pour les transmissions navire-côtière. Toutefois, la modulation MDP-4 décalée avec une réduction des variations de l'amplitude serait compatible avec les amplificateurs actuels (classe C) et son utilisation ne provoquerait que de légères dégradations de l'efficacité d'utilisation du spectre et du TEB.

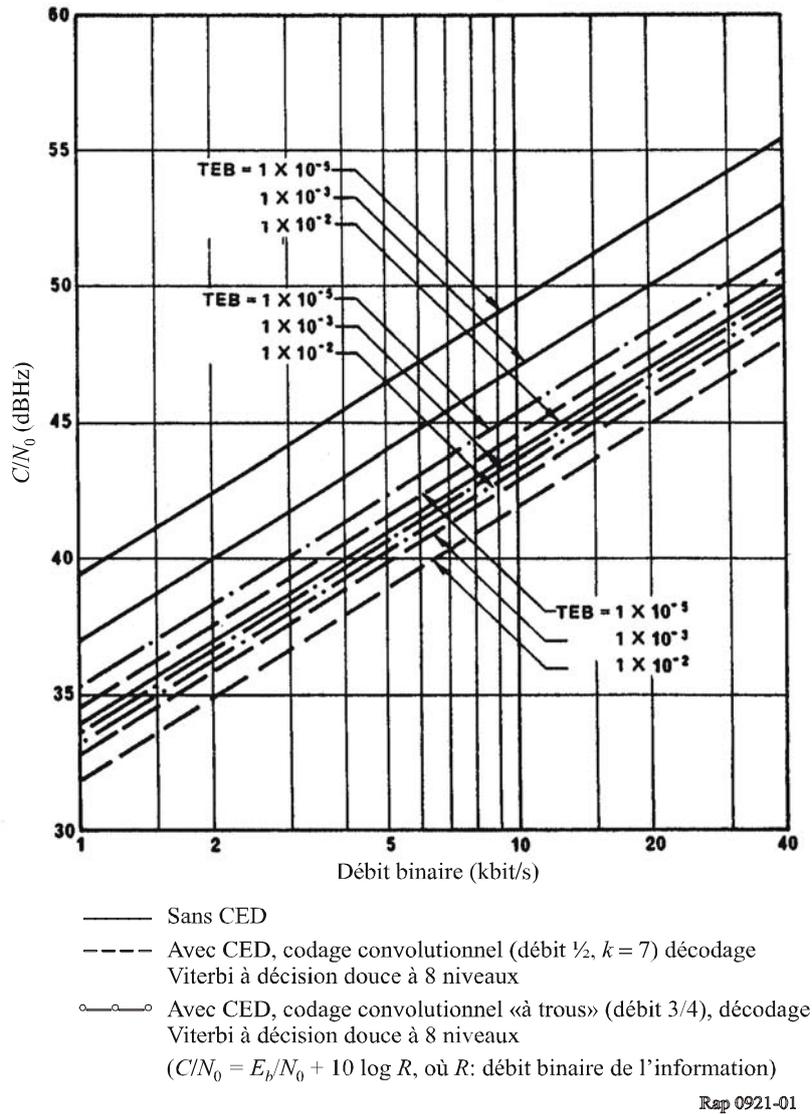
## 2.4 Techniques CED

L'application de la CED aux voies numériques dans le but de transmettre la voix en direction ou à partir des stations terriennes de navire permettrait une réduction importante de la valeur de  $C/N_0$  nécessaire pour répondre au critère de TEB tiré de l'objectif de qualité de la parole, indépendamment du type de technique adopté pour le codage de la voix.

La Fig. 1 donne les valeurs du rapport  $C/N_0$  nécessaire aux voies MDP-2 ou à MDP-4 pour divers débits binaires, avec et sans CED. Pour une application pratique, il convient d'ajouter 1 à 2 dB pour les marges d'application, bien que les progrès ultérieurs aient laissé entendre que des marges inférieures à 1 dB pourraient convenir. La Fig. 1 fait apparaître clairement que les techniques CED réussissent fort bien à réduire la valeur du rapport  $C/N_0$  pour un débit binaire donné.

FIGURE 1

Rapport  $C/N_0$  en fonction du débit binaire



Le codage convolusionnel de taux 1/2 (longueur de contrainte  $k = 7$ ) avec décodage Viterbi à décision progressive a été beaucoup utilisé dans les systèmes à satellites. En cela, il représentait une technique dont les preuves ne sont plus à faire et qui pouvait être utilisée pour l'intégration à très grande échelle. Les gains de codage que l'on peut obtenir dans la pratique étaient proches des prévisions théoriques: environ 3,8 dB pour un TEB à la sortie de  $1 \times 10^{-3}$  et 5,2 dB pour un TEB de  $1 \times 10^{-5}$ .

Le codage de taux 3/4 avec décodage Viterbi était appliqué à ce moment-là de façon plus restreinte que la CED avec un débit 1/2; de plus, il nécessitait un traitement plus complexe. Les gains de codage obtenus dans la pratique étaient de l'ordre de 2,8 dB pour un TEB à la sortie de  $1 \times 10^{-3}$  et de 4,3 dB pour un TEB de  $1 \times 10^{-5}$  (ce qui représente environ 1 dB de moins que pour le codage de taux 1/2), mais le facteur d'étalement de la largeur de bande était sensiblement réduit (1,8 dB de moins qu'avec le codage de taux 1/2).

La complexité du codage de taux 3/4 a pu être considérablement réduite par l'application des techniques de codage «à trous» au débit de base de taux 1/2. Cette application a nécessité la suppression de 2 bits dans chacun des 6 bits codés du train de données codées au taux 1/2, la

transmission des 4 bits restants au taux 3/4, et l'insertion dans le récepteur de 2 bits supplémentaires, avant le décodage Viterbi de taux 1/2. Une autre application possible a été la mise en service de codecs avec débits de codage flexibles, que l'on pourrait commuter entre le taux 1/2 et le taux 3/4. Le taux d'erreurs binaires avec codage «à trous» n'était que légèrement inférieur à celui des techniques de codage n'utilisant pas la technique «à trous», puisqu'il nécessite un rapport  $E_b/N_0$  supplémentaire de 0,2 dB pour un TEB de  $1 \times 10^{-5}$  et ne provoque pratiquement aucune dégradation par un TEB =  $1 \times 10^{-3}$ .

On a conclu qu'une CED à débit de code 3/4 présente des avantages considérables pour un système de norme B, en ce qu'elle offre une bonne efficacité spectrale et une bonne utilisation de la puissance. La CED à débit 1/2 pourrait convenir à un système plus limité en puissance, où des économies de 1 dB sur la p.i.r.e. nécessaire du satellite et de la station terrienne de navire pourraient être réalisées au prix d'une utilisation moins efficace de la largeur de bande.

En outre, il a été noté qu'après décodage de Viterbi, toutes les erreurs, y compris les erreurs aléatoires, apparaissent comme des erreurs par paquets. De plus, la qualité de transmission des voies numériques étant différente selon qu'il s'agit d'erreurs par paquets ou d'erreurs aléatoires, il est impossible de la déterminer au moyen du TEB.

Par ailleurs, dans les communications du service mobile par satellite, on trouve aussi bien des erreurs aléatoires que des erreurs par paquets dues à l'évanouissement par trajets multiples. Il a donc été nécessaire d'évaluer les caractéristiques statistiques des erreurs par paquets après décodage de Viterbi, y compris l'influence de l'évanouissement par trajets multiples.

Les caractéristiques des erreurs après décodage de Viterbi ont fait l'objet d'études expérimentales et statistiques [Yasuda et autres, 1988], qui ont montré que les paquets d'erreurs dus aux évanouissements par trajets multiples étaient plus longs que ceux dus à l'introduction d'un bruit gaussien. Dans le cas présent, les paquets d'erreurs sont définis comme étant la région des paquets d'erreurs située entre deux suites sans erreurs supérieures à 20 bits. La Fig. 2 donne les résultats des mesures faites par des modèles de simulation et le Tableau 2 les conditions non-comprises dans la Figure.

FIGURE 2

Mesures de la distribution cumulative de la longueur des salves d'erreurs par paquets

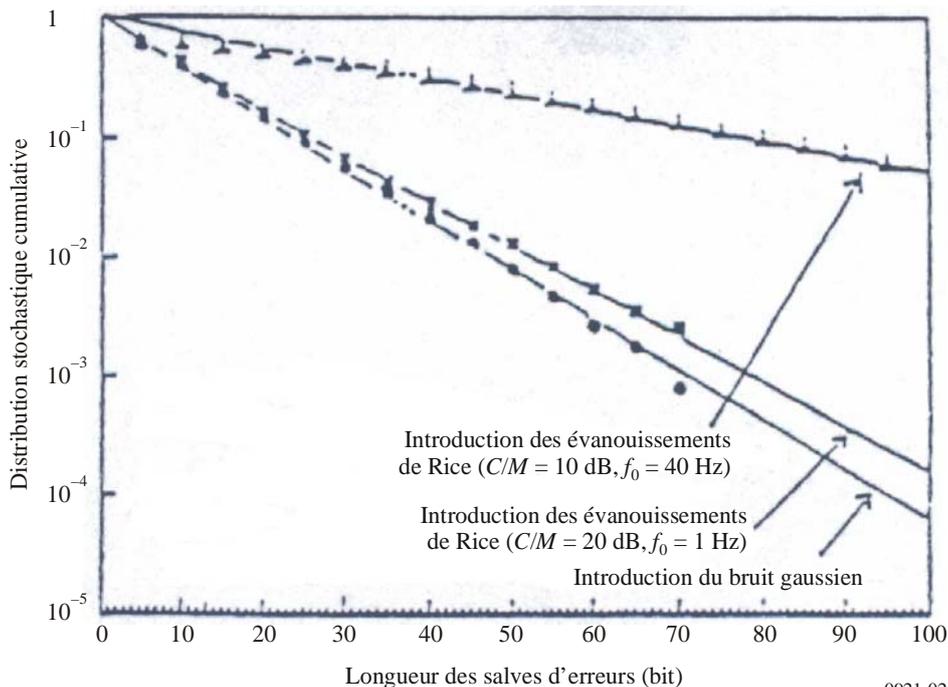


TABLEAU 2

**Principaux paramètres du système de mesure**

Débit binaire de l'information	16 kbit/s
Décodage de Viterbi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Longueur de contrainte: 7</li> <li>- Taux de codage: 1/2</li> </ul>

**2.5 Exemple de conception de la norme B**

L'exemple de conception ci-après décrit le principe du système en norme B étudié par Inmarsat à ce moment-là.

Pour donner, dans les deux directions d'une liaison SCPC (une seule voie par porteuse) par satellite, un débit efficace de voie de 24 kbit/s, la voie téléphonique de base met en œuvre un codage de la voix à CPA à 16 kbit/s avec modulation MDP-4 à décalage et CED de rapport 3/4. Pour des stations terriennes de navire avec  $G/T = -4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ , on a besoin, avec commande totale par la voix sur les porteuses «côtières vers navire» et régulation de la puissance en fonction de l'angle de site de la station terrienne de navire, d'une p.i.r.e. globale moyenne du satellite de l'ordre de 15 à 16 dBW par porteuse. Pour les stations terriennes de navire, la valeur correspondante nécessaire de la p.i.r.e. est de 34 dBW pour le fonctionnement avec les satellites Inmarsat de la première génération. Il faut un espacement minimal des voies de 20 kHz pour obtenir un TEB de voie acceptable en présence d'un brouillage par la voie adjacente.

Le Tableau 3 indique les paramètres de base de la voie de transmission du signal téléphonique dans le système numérique de la STN. Ce système emploie un codage par prédiction adaptatif avec quantification à probabilité maximale (CPA-QPM) à 16 kbit/s (commutable à 9,6 kbit/s) [Yatsuzuka et autres, 1986], un codage convolutionnel discontinu de taux 3/4 (commutable à un taux de 1/2) à décision progressive (Yasuda et autres, 1984] et une MDP-4 à décalage (MDP-4 D commutable en MDP-4). Le débit binaire de transmission, de 24 kbit/s, découle des données supplémentaires à 22,4 kbit/s pour la synchronisation de trame.

TABLEAU 3

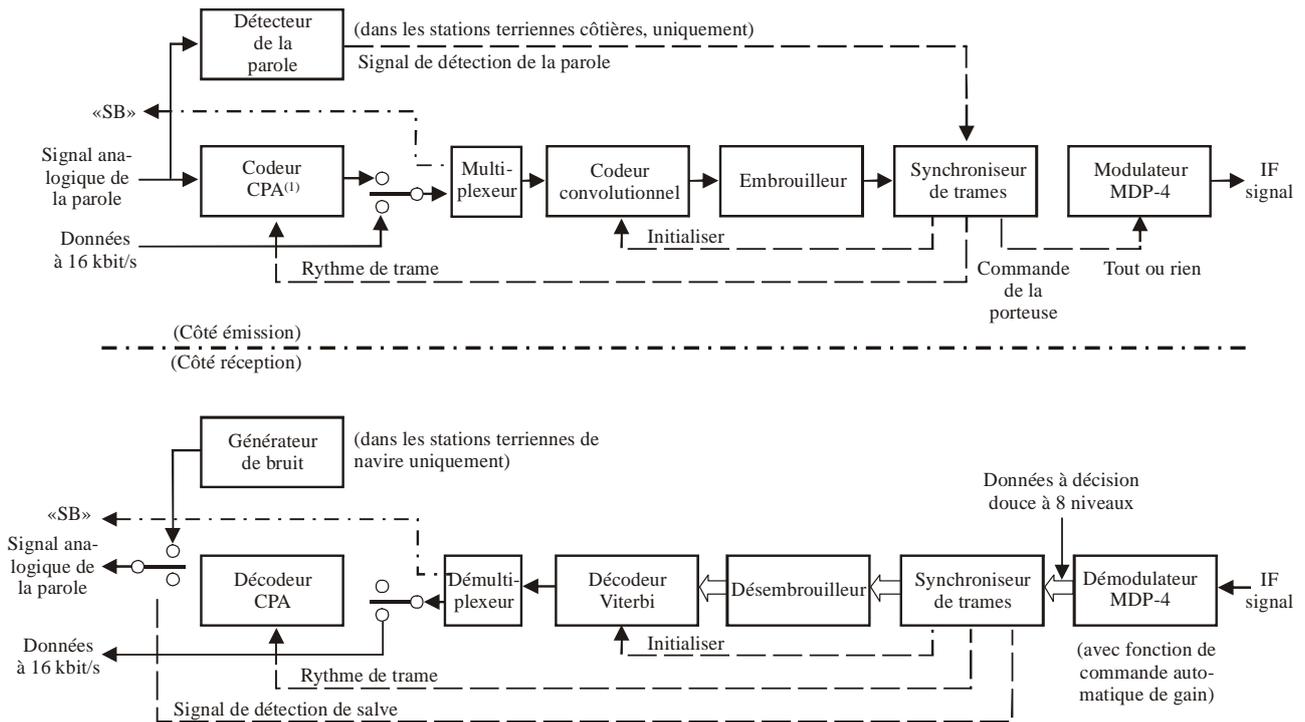
**Principales caractéristiques de la voie numérique de communications**

Débit binaire de l'information	16 kbit/s
Codage de la parole	Codage par prédiction adaptatif avec quantification à probabilité maximale (CPA-CQM)
CED	Codage discontinu (taux 1/2) ( $k = 7$ )/décodage Viterbi à décision progressive à 8 niveaux
Modulation	MDP-4 et MDP-4 D
Filtres de l'émetteur et du récepteur	Filtre de Nyquist en racine carrée de cosinus surélevé avec décroissance progressive de 60% en MDP-4 D 40% en MDP-4
Débit binaire de transmission	24 kbit/s
Espacement des porteuses	20 kHz (minimum)
Mode de fonctionnement	Commande vocale dans le sens côtière-navire

La Fig. 3 indique le schéma de principe du fonctionnement de l'unité de télécommunications numériques du système. En plus du codec CPA-QPM, du codec CED et du modem, on utilise dans la station terrienne côtière un détecteur de parole qui sert de commande par la voix dans le sens côtière-navire. La STN est équipée d'un générateur de bruit assurant des conditions d'écoute plus naturelles. La commande par la voix permet également une utilisation efficace de la puissance du satellite dans le sens satellite-navire.

FIGURE 3

**Schéma de principe du fonctionnement d'une unité de télécommunications**



<sup>(1)</sup> CPA: Codage par prédiction adaptatif.

## 2.6 Etude approfondie de la conception du système

Il a été nécessaire d'étudier les points suivants dans le cadre d'une étude approfondie de la conception du système:

- objectifs de qualité de la parole pour des STN à faible  $G/T$ ;
- interconnexion avec les réseaux de Terre;
- dispositions concernant la télégraphie et la signalisation;
- poursuite du développement et évaluation subjective des techniques possibles de codage, en particulier aux débits binaires voisins de 9,6 kbit/s et au-dessous;
- effets de l'augmentation des évanouissements par trajets multiples, en ce qui concerne en particulier les méthodes de modulation et de codage;
- effets du mouvement du navire sur la qualité de fonctionnement de l'antenne de la STN.

### 3 Considérations sur le bilan de liaison

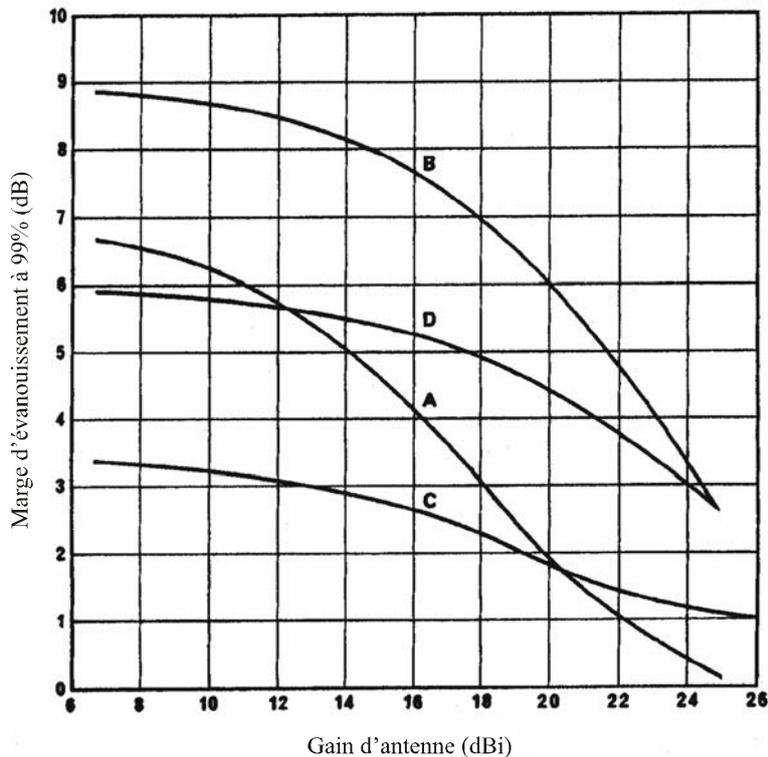
#### 3.1 Caractéristiques des évanouissements par trajets multiples

Les concepts en ce qui concerne les STN de norme B et, en particulier, la norme C, indiquaient à ce moment-là une tendance générale à l'utilisation d'antennes plus petites qui, en raison de leur directivité réduite, seraient plus sensibles aux effets des évanouissements par trajets multiples que celles de la norme A.

On trouvera dans la Fig. 4 un modèle simple d'évanouissement par trajets multiples, élaboré à partir de considérations théoriques et de résultats de mesure (voir le § 5 de ce Supplément). Ce modèle, établi sur la base de la directivité d'antenne pour des gains se situant dans la gamme 7 à 25 dBi, représente des marges d'évanouissement (99% du temps dans les conditions d'évanouissement de Rice-Nakagami) pour une mer «modérée» et pour des angles de site de 5° et 10°. La Figure montre également l'avantage que peut fournir l'application de la réduction des évanouissements par trajets multiples (technique de mise en forme de la polarisation) au système d'antenne.

FIGURE 4

Caractéristiques des évanouissements par trajets multiples  
(évanouissements de Rice-Nakagami à 99% du temps)



Courbes A: angle de site de 10°  
B: angle de site de 5°  
C: angle de site de 10° avec réduction des évanouissements par trajets multiples (mise en forme de la polarisation)  
D: angle de site de 5° avec réduction des évanouissements par trajets multiples (mise en forme de la polarisation)

0921-03

### 3.2 Erreurs de pointage et de poursuite

Des études ont été entreprises au Japon concernant les erreurs de pointage et de poursuite pour une antenne de STN à stabilisation passive, erreurs dues au mouvement du navire. On pourrait se servir de ces renseignements pour déterminer les pertes dans le bilan de liaison pour des systèmes d'antenne représentatifs.

### 3.3 Exemples de bilans de liaisons

Des exemples de bilans de liaisons pour un objectif de TEB de  $1 \times 10^{-3}$  sur une voie téléphonique sont donnés pour une STN de norme B à gain élevé (Cas 1:  $G/T = -4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ ) et pour le système de la norme M (Cas 2:  $G/T = -10 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ ) fonctionnant avec un satellite Inmarsat de la deuxième génération. Dans le deuxième cas, on trouvera également des indications sur une amélioration possible de la qualité de la liaison ( $C/N_0$ ), obtenue grâce à la réduction des évanouissements par trajets multiples (mise en forme de la polarisation).

Même si ces exemples de bilans de liaisons ne sont pas strictement conformes à la méthode décrite dans le Rapport UIT-R M.760, ils font apparaître que les techniques de codage et de modulation numérique permettent de réaliser des économies importantes pour ce qui est de la puissance requise à l'émission du satellite/de la station terrienne de navire par rapport au système de norme A.

NOTE 1 – Les valeurs entre parenthèses pour le cas 2 correspondent au cas où l'on applique une technique de réduction des évanouissements dus à la propagation par trajets multiples.

## 4 Caractéristiques de qualité de fonctionnement d'une station terrienne de navire à qualité téléphonique numérique

Le présent paragraphe donne un exemple de conception d'une station terrienne de navire de ce type utilisant des techniques de communication numériques efficaces [Hirata et autres, 1984] ainsi que les caractéristiques de qualité de fonctionnement d'une telle station basées sur les résultats d'une expérience en vraie grandeur, avec deux types d'antenne (à gain élevé et à gain moyen).

### 4.1 Résultats de l'expérience en vraie grandeur [Yasuda et autres, 1987]

Une expérience en vraie grandeur a été menée sur l'océan Indien avec un satellite Inmarsat (INTELSAT-V MCS-A). Elle faisait suite à une première expérience qui mettait en jeu la conception initiale du système de STN [Kashiki et autres, 1985]. L'équipement de la STN était installé à bord d'un navire en route jaugeant 701 tonnes.

L'expérience a porté sur deux types de STN; l'une était équipée d'une antenne à gain élevé et l'autre d'une antenne à gain moyen. L'antenne à gain élevé est de type parabolique avec un diamètre de 85 cm et un gain de 20 dBi; elle fournit un rapport  $G/T$  de  $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ , comme pour les STN de norme A Inmarsat. L'antenne à gain moyen est une antenne modifiée courte à rayonnement vers l'arrière, d'un diamètre de 40 cm et d'un gain de 15 dBi; elle fournit un rapport  $G/T$  de  $-10 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ . Elle introduit une fonction de réduction des évanouissements par modelage de la polarisation [Shiokawa et autres, 1982].

TABLEAU 3

**Exemples de bilans de liaisons pour des stations terriennes de navire  
à qualité téléphonique numérique**

Angle de site de la STC: 5°

Angle de site de la STN: 10°

<b>Liaison côtière-navire</b>		
<b>Normes de la STN</b>	<b>Cas 1</b>	<b>Cas 2</b>
<i>Liaison côtière-satellite (6,42 GHz):</i>		
– p.i.r.e. nominale de la STC (dBW)	52,0	60,0
– affaiblissement de trajet en espace libre (dB)	200,9	200,9
– absorption atmosphérique (dB)	0,4	0,4
– rapport $G/T$ du satellite (dB(K <sup>-1</sup> ))	-14,0	-14,0
– rapport $C/N_0$ de la liaison montante (dBHz)	65,3	73,3
– rapport $C/IM_0$ du satellite (dBHz)	60,5	68,5
<i>Liaison satellite-navire (1,54 GHz):</i>		
– p.i.r.e. nominale du satellite (dBW)	13,0	21,0
– affaiblissement de trajet en espace libre (dB)	188,4	188,4
– absorption atmosphérique (dB)	0,2	0,2
– rapport $G/T$ de la STN (dB(K <sup>-1</sup> ))	-4,0	-10,0
– rapport $C/N_0$ de la liaison descendante (dBHz)	49,0	51,0
Rapport $C/N_0$ total sans évanouissements (dBHz)	48,6	50,9
Affaiblissement dû aux évanouissements (dB)	2,0	4,4 (2,7)
Rapport $C/N_0$ total avec évanouissements (dBHz)	46,6	46,5 (48,2)
<b>Liaison navire-côtière</b>		
<b>Normes de la STN</b>	<b>Cas 1</b>	<b>Cas 2</b>
<i>Liaison navire-satellite (6,42 GHz):</i>		
– p.i.r.e. nominale de la STC (dBW)	31,0	26,0
– affaiblissement de trajet en espace libre (dB)	188,9	188,9
– absorption atmosphérique (dB)	0,2	0,2
– rapport $G/T$ du satellite (dB(K <sup>-1</sup> ))	-12,5	-12,5
– rapport $C/N_0$ de la liaison montante (dBHz)	58,0	53,0
– rapport $C/IM_0$ du satellite (dBHz)	69,0	69,0
<i>Liaison satellite-côtière (1,54 GHz):</i>		
– p.i.r.e. nominale du satellite (dBW)	-7,4	-2,4
– affaiblissement de trajet en espace libre (dB)	197,2	197,2
– absorption atmosphérique (dB)	0,4	0,4
– rapport $G/T$ de la STN (dB(K <sup>-1</sup> ))	32,0	32,0
– rapport $C/N_0$ de la liaison descendante (dBHz)	55,6	30,6
Rapport $C/N_0$ total sans évanouissements (dBHz)	53,5	52,2
Affaiblissement dû aux évanouissements (dB)	2,0	4,4 (2,7)
Rapport $C/N_0$ total avec évanouissements (dBHz)	51,5	47,8 (49,5)

Le Tableau 5 indique les principaux paramètres de ces antennes à gain élevé et à gain moyen.

**TABLEAU 5**  
**Principales caractéristiques des antennes à gains élevés et moyens**

	<b>Antenne à gain élevé</b>	<b>Antenne à gain moyen</b>
Type d'antenne	Parabolique avec diamètre de 85 cm	Courte à rayonnement vers l'arrière modifiée avec diamètre de 40 cm
Rapport $G/T$	-4 dB(K <sup>-1</sup> )	-10 dB (K <sup>-1</sup> )
p.i.r.e. (valeur maximale)	Jusqu'à 34 dBW pour amplificateur de puissance en classe C 31 dBW pour amplificateur de puissance linéaire	26 dBW
Gain d'antenne	20,5 dBi	15 dBi
Ouverture du faisceau de l'antenne à -3 dB	14°	32°
Taux d'ellipticité de l'antenne (centre du faisceau)	1,8 dB	1 dB
Puissance de sortie de l'émetteur	25 W (amplificateur de puissance en classe C) 15 W (amplificateur de puissance linéaire)	20 W (amplificateur de puissance linéaire)

L'amplificateur de puissance utilisé pour l'émetteur de la station terrienne était, dans le cas de l'antenne à grand gain, soit un amplificateur de puissance en classe C avec possibilité de commander la puissance, soit un amplificateur de puissance linéaire à TEC à l'AsGa [Okinaka et autres, 1985], et dans le cas de l'antenne à gain moyen un amplificateur de puissance linéaire. Avec l'amplificateur de puissance en classe C on recourait à la modulation MDP-4 D pour éviter que la non-linéarité de l'amplificateur de puissance n'étale de nouveau le spectre du signal modulé.

En conclusion, il ressort des expériences que les techniques numériques utilisant la correction d'erreurs sans voie de retour et codage de la parole sont valables aussi bien pour les systèmes d'antennes de gain moyen que pour les antennes à gain élevé.

#### **4.2 Qualité de fonctionnement d'une STN expérimentale à faible rapport $G/T$**

On trouvera dans le présent paragraphe un rappel des essais effectués avec une STN expérimentale à faible rapport  $G/T$  (-13 dB(K<sup>-1</sup>)), de la norme M, équipée d'une antenne à faisceau large et appliquant des techniques de modulation numérique.

Ces travaux ont été effectués conjointement par le Ministère de l'Intérieur du Royaume-Uni (aujourd'hui le Ministère du Commerce et de l'Industrie), British Telecom International (BTI) et le Centre de recherche aérospatiale de l'Allemagne (DFVLR).

Ces essais visaient à démontrer les possibilités d'utilisation pratique de ce type de STN et à évaluer sa qualité de fonctionnement pour un débit binaire de 2400 bit/s, avec les satellites maritimes de la génération actuelle. Les essais ont été effectués dans deux conditions d'expérimentation: avec grands angles de site et sans évanouissements notables, et dans les conditions d'évanouissement par trajets multiples que l'on rencontre avec de petits angles de site.

On trouvera certains résultats des essais dans [Hagenauer et autres, 1984].

## 5 Système de télécommunications Inmarsat de norme C

### 5.1 Introduction

La possibilité d'installer à bord du moindre navire un système de télécommunications bidirectionnel était l'objectif de la norme C du système de télécommunications. Il a aussi été approuvé pour remplacer la norme A des STN en répondant aux exigences dictées par les modifications apportées en 1988 à la Convention SOLAS de 1974 pour le SMDSM dans la zone de couverture du satellite Inmarsat. Les terminaux de classe C embarqués à bord des navires auxquels s'applique la Convention SOLAS de 1974 doivent être conformes aux normes de fonctionnement de l'OMI applicables aux STN capables de transmettre et de recevoir des communications en impression directe (Résolution A663 (16) de l'Assemblée de l'OMI).

Le système propose une application de télécommunications bilatérale par messages conçue pour se raccorder au réseau télex international et à toutes sortes de réseaux de données de Terre. Les voies de télécommunications à la norme C acheminent en outre une application uniquement en mode diffusion qui couvre les océans et est connue sous le nom d'appel de groupe amélioré.

#### 5.1.1 Brève description du système de norme C

- a)  $G/T = -23 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ , avec petite antenne omnidirectionnelle, ce qui permet un appareillage peu encombrant;
- b) techniques de transmission numériques par paquets en MRT pour la liaison côtière-navire et en AMRT sur navire-côtière à la fois pour les données de message et de signalisation;
- c) grâce à un codage convolutionnel de taux 1/2 et à l'entrelacement, on compte sur une correction efficace des erreurs lorsque les rapports des densités porteuses sur bruit sont faibles;
- d) grâce à une liaison interstation (STC et SCR), on échange les données de commande du réseau;
- e) l'exploitation de faisceaux étroits est facilitée par une identification automatique du faisceau étroit du satellite dès qu'il est mis en service.

#### 5.1.2 Ces techniques permettent d'assurer les applications suivantes

- a) Téléx international
- b) Diffusion de texte
- c) Echange interactif de données et interrogation des bases de données
- d) Connexions prioritaires en cas de détresse.

### 5.2 Conséquences de la conception retenue

Le  $G/T$  adopté,  $-23 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ , restreint le système proposé à de très faibles débits de données, ce qui a les conséquences essentielles suivantes:

- a) à l'aller comme au retour, les débits de données sont limités à 600 bit/s, ce qui, associé au codage convolutionnel de débit 1/2 et à l'entrelacement, permet une transmission correcte de la plupart des paquets;
- b) dans le sens côtière vers navire, le satellite doit avoir une p.i.r.e. de 21 dBW, ce qui est relativement élevé.

### 5.3 Bilans de liaison

En raison de l'utilisation de l'ARQ dans la norme C, l'étude des liaisons qui la mettent en œuvre diffère de celle des liaisons classiques par satellite. Dans un système classique, la qualité du service est définie par seuil de  $C/N_0$  qu'on prend pour limite de ce qui est acceptable; le pourcentage du temps où ce seuil est dépassé donne la disponibilité. En norme C, le  $C/N_0$  n'affecte que le nombre des retransmissions, par conséquent le retard que subissent les messages, et la capacité du système.

Les bilans de liaisons des Tableaux 6 et 7 représentent le «cas le plus défavorable», qu'on définit comme suit:

- 5° d'angle de site à la STN et à la STC;
- $G/T$  et p.i.r.e. minimaux;
- charge du transpondeur la plus critique (c'est-à-dire transpondeur à pleine charge et voie qui a le plus faible rapport porteuse/intermodulation);
- disponibilité pour 99% du temps.

On notera que dans la plupart des cas et la plupart du temps, le  $C/N_0$  sera plus favorable.

TABLEAU 6

**Bilan de la liaison aller dans le cas le plus défavorable**  
**Liaison aller: 99% du temps**

p.i.r.e. de la station terrienne côtière	(dBW)	60,4
Affaiblissement sur le trajet	(dB)	200,9
Affaiblissement d'absorption	(dB)	0,4
$G/T$ du satellite	(dB(K <sup>-1</sup> ))	-15,0
$C/N_0$ moyen de la liaison montante	(dBHz)	72,7
$C/I_0$ moyen du satellite	(dBHz)	54,8
p.i.r.e. moyenne du satellite	(dBW)	20,4
Affaiblissement sur le trajet	(dB)	188,5
Affaiblissement d'absorption	(dB)	0,4
$G/T$ de la STN	(dB(K <sup>-1</sup> ))	-23,0
$C/N_0$ moyen de la liaison descendante	(dBHz)	37,1
$C/N_0$ nominal en l'absence d'évanouissements	(dBHz)	37,0
Affaiblissement dû aux brouillages	(dB)	0,5
Affaiblissement total aléatoire de RSS (99%)	(dB)	2,0
$C/N_0$ global	(dBHz)	34,5
$C/N_0$ nécessaire	(dBHz)	34,5
Marge	(dB)	0,0

TABLEAU 7

**Bilan de la liaison retour dans le cas le plus défavorable**  
**Liaison de retour: 99% du temps**

		<b>MCS</b>	<b>MARECS</b>
p.i.r.e. de la STC	(dBW)	12,0	12,0
Affaiblissement sur le trajet	(dB)	189,0	189,0
Affaiblissement d'absorption	(dB)	0,4	0,4
$G/T$ du satellite	(dB(K <sup>-1</sup> ))	-13,0	-11,0
$C/N_0$ moyen de la liaison montante	(dBHz)	38,2	40,2
$C/I_0$ moyen du satellite	(dBHz)	49,0	49,0
Gain du transpondeur	(dB)	150,9	150,9
p.i.r.e. moyenne du satellite	(dBW)	-26,5	-26,5
Affaiblissement sur le trajet	(dB)	197,2	197,2
Affaiblissement d'absorption	(dB)	0,5	0,5
$G/T$ de la STN	(dB(K <sup>-1</sup> ))	32,0	32,0
$C/N_0$ moyen de la liaison descendante	(dBHz)	36,4	36,4
$C/N_0$ nominal en l'absence d'évanouissements	(dBHz)	34,1	34,7
Affaiblissement dû aux brouillages	(dB)	0,5	0,5
Affaiblissement total aléatoire de RSS (99%)	(dB)	1,7	1,7
$C/N_0$ global	(dBHz)	31,9	32,5
$C/N_0$ nécessaire	(dBHz)	31,5	31,5
Marge	(dB)	+0,4	+1,0

## 5.4 Système de traitement du signal

### 5.4.1 Caractéristiques du traitement du signal

Comme le montrent les bilans de liaison, sur les liaisons tant aller que retour, la puissance disponible est limitée en raison du faible gain des antennes des STN. Grâce à un codage convolutionnel de taux 1/2 (longueur de contrainte  $k = 7$ ), on assure la correction des erreurs sans voie de retour, ce qui peut donner quelque 5 dB de gain de codage sur une liaison sans évanouissements.

Lorsqu'un bit d'information donné ne traverse que le codeur, il affecte un groupe de 14 symboles consécutifs et comme la largeur de bande des évanouissements est très faible, un évanouissement affecte également les 14 symboles. Pour éviter que cela se produise, les symboles codés sont assemblés en blocs avant d'être transmis, puis ils le sont dans un ordre différent de leur ordre d'assemblage. Un tel processus étale les transmissions des 14 symboles associés à un certain bit de données sur un laps de temps beaucoup plus long que la durée d'un évanouissement.

Ainsi un évanouissement type n'affectera qu'un certain nombre des 14 symboles et grâce à la redondance que présente le flot des symboles transmis, on peut reconstituer le flot de données d'origine.

Ce qui précède est valable pour les voies aller MRT en mode continu et pour la voie de message quasi continu de la STN. Pour la voie de signalisation de la STN en mode salve, on ne recourt pas à l'entrelacement qui ne serait pas efficace avec des salves si brèves.

L'embrouillage des données a été mis en œuvre sur toutes les voies. Bien qu'en raison du faible débit binaire, la dispersion d'énergie ne l'exige pas, il s'impose pour assurer des transitions de symboles convenables pour la récupération d'horloge du démodulateur. Des messages à contenu très dense, comme les tableaux, risquent de s'influencer mutuellement dans l'entrelaceur et de produire de plus longues séquences sans transitions de symbole que celles qui sont courantes avec des données aléatoires.

#### **5.4.2 Conséquences du traitement du signal**

On a retenu une longueur de contrainte relativement courte ( $k = 7$ ) pour pouvoir recourir aux techniques de décodage à vraisemblance maximale (comme l'algorithme de Viterbi).

De par leur nature, les décodeurs convolutionnels produisent des erreurs en salve et selon la mise en œuvre des différents algorithmes de décodage, on peut observer une grande diversité des caractéristiques de la salve d'erreurs.

Comme le système en norme C est essentiellement un système à paquets avec ARQ (correction d'erreur par détection et répétition), on évalue sa qualité en considérant surtout le taux d'erreurs de paquet. Il est en pratique étroitement dépendant du taux d'erreurs de salve mais presque indépendant du nombre de bits de la salve. C'est pourquoi le taux d'erreurs binaires ne sert guère à apprécier les voies mobiles en norme C.

Pour se fixer la qualité limite, on a supposé qu'un décodeur de Viterbi traitait des échantillons à décision douce à 3 bits.

### **5.5 Qualité de fonctionnement de la correction d'erreur sans voie de retour (CED)**

La qualité de fonctionnement d'une transmission codée avec modulation de phase cohérente à codage différentiel sur une voie maritime de norme C a été mesurée au moyen d'un dispositif d'essai constitué par un simulateur de voie radiogoniométrique à très grande ligne de base, équipé d'un modem de conception nouvelle qui utilise une boucle COSTAS combinée avec une boucle de commande automatique de fréquence, afin de récupérer la porteuse et les données du signal de modulation de phase cohérente à codage différentiel. Le TEB a été évalué pour une transmission avec codage convolutionnel et codage par bloc sur des voies synthétiques (voie de Rayleigh, voie de Rice-Nakagami, avec un rapport  $C/M$  de 6,3 dB) ainsi que pour un choix représentatif de voies en mémoire de norme C comprenant le cas le plus défavorable d'un angle de site de  $4^\circ$  pour toutes les antennes soumises aux essais C3, C5, C11, C14, ainsi que l'essai sous angle de site de  $19^\circ$  pour les antennes C3 et C11 (antennes de norme C avec des gains spécifiés en dB). Pour plus de détails, voir le Rapport UIT-R M.762 et [Hagenauer et autres, 1984].

## **6 Système d'appel de groupe amélioré**

### **6.1 Introduction**

Le système d'appel de groupe amélioré (AGA) est un système mondial de diffusion de données utilisable avec l'appel de groupe commercial, l'appel unilatéral mondial (FleetNET<sup>TM</sup>) et la diffusion d'informations concernant la sécurité maritime (SafetyNET<sup>TM</sup>). Le système fait partie du système à la norme C d'Inmarsat et utilise le multiplex par répartition dans le temps sur voie commune à la norme C pour la transmission de messages dans le sens côtière vers navire.

La Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer, 1974, amendée en 1988, spécifie que tout navire doit être équipé d'un dispositif radioélectrique permettant de recevoir les renseignements sur la sécurité maritime diffusés dans le cadre du système d'appel de groupe amélioré d'Inmarsat, si le navire effectue des voyages dans une zone couverte par Inmarsat, mais où une application internationale NAVTEX n'est pas assurée. L'application Safety NET donne des informations relatives à la sécurité maritime, y compris les alertes de détresse Terre-navire, les avis de navigation et de météorologie NAVAREA ainsi que les avertissements météorologiques, que l'on peut recevoir sélectivement à bord de navires dans des zones géographiques particulières au moyen d'une technique d'adressage de zone particulièrement souple. Les récepteurs AGA embarqués à bord de navires auxquels s'applique la Convention SOLAS de 1974 doivent être conformes aux normes de fonctionnement de l'Organisation maritime internationale (OMI) relatives aux équipements AGA (Résolution A664 (16) de l'Assemblée de l'OMI).

Le système FleetNET<sup>TM</sup> permet aux usagers du secteur commercial basés à terre d'appeler de manière sélective des groupes de navires ou des navires au moyen d'identificateurs (ID) préassignés.

## 6.2 Description du système

Les messages AGA sont transmis sur les multiplex temporels à voie commune de la norme C parallèlement au trafic de signalisation de la norme C. Ceci permet aux terminaux AGA d'utiliser un récepteur particulièrement compact et de coût modique présentant un rapport *G/T* particulièrement faible étant donné que la modulation et les techniques de codage utilisées pour le système à la norme C sont peu vulnérables. Les récepteurs peuvent être des unités distinctes autonomes ou bien être intégrés avec des STN à la norme C ou à la norme A. L'intégration avec une station à la norme C n'implique pas nécessairement la présence d'un second récepteur, étant donné que le récepteur de la norme C assure une veille sur le multiplex temporel à canal commun lorsqu'il n'est pas utilisé pour acheminer du trafic. Les messages AGA sont transmis par le réseau de Terre vers la station de commande du réseau à la norme C par l'intermédiaire d'une STC à la norme C.

La largeur de bande d'exploitation du système AGA est comprise entre 1 530 et 1 545 MHz avec un espacement entre canaux de 5 kHz. Pour les régions océaniques adjacentes, les fréquences des porteuses AGA seront différentes. Les fréquences de ces porteuses sont mémorisées dans les récepteurs qui peuvent ainsi se syntoniser automatiquement après que le navire quitte une région océanique pour entrer dans une autre. Afin de permettre des extensions ultérieures et assurer la compatibilité avec les charges utiles des futurs satellites à faisceaux ponctuels, les récepteurs ont été prévus pour mémoriser un grand nombre de fréquences de canaux.

## 6.3 Technique d'adressage

On distingue trois méthodes d'adressage de base pour les récepteurs AGA:

- adressage par ID unique (FleetNET<sup>TM</sup>);
- adressage par ID de groupe (FleetNET<sup>TM</sup>); et
- adressage par zone (SafetyNET<sup>TM</sup>).

Les récepteurs AGA capables de recevoir les messages commerciaux FleetNET<sup>TM</sup> ont une identité occupant 24 bits et un numéro d'identité de groupe occupant également 24 bits. L'identité du groupe peut être transférée et effacée en utilisant la liaison par satellite. L'adressage dans l'application SafetyNET<sup>TM</sup> est réalisé exclusivement sur la base de zone géographique. On peut utiliser deux types d'adressage par zone géographique:

- a) zone géographique prédéfinie, telles les zones NAVAREAS, les zones OMM, les zones de couverture NAVTEX et les zones SAR;
- b) les zones absolues définies en termes de coordonnées et d'une extension en latitude et en longitude (adressage par zone rectangulaire), ou une coordonnée et un rayon en milles nautiques (adressage par zone circulaire).

Les récepteurs peuvent être automatiquement réglés et programmés à partir de données fournies par l'appareil extérieur de navigation, les opérateurs peuvent même choisir d'autres zones intéressantes telles que celles qui correspondent au trajet prévu du navire.

#### 6.4 Résumé

Le système AGA est un moyen efficace de diffusion des renseignements relatifs à la sécurité maritime et de transmission côtière-navire d'appels de groupes commerciaux et à la transmission unilatérale de messages. Les navires désireux de recevoir les messages AGA ne devront être équipés que d'un simple récepteur d'un coût modique, ou éventuellement, d'une STN Inmarsat de norme A ou de norme C prévue à cet effet.

### Références bibliographiques

- HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRABEL, LOTZ, PAPKE, W., PLOCHINGER et SCHWEIKERT, R. [novembre 1984] Multipath fading effects and data transmission for small ship earth stations (Norme C). DFVLR Final Report, 223 pages (en allemand). DFVLR, D-8031 Oberpfaffenhofen, République fédérale d'Allemagne. Préparé au titre du contrat ESA/ESTEC N° 5323/82/NL/JS.
- HIRATA, Y., YASUDA, Y., OKINAKA, H. et KASHIKI, K. [novembre 1984] A digital transmission system for global maritime satellite communications. *Proc. IEEE*, Vol. 72, 11, p. 1620-1626.
- KASHIKI, K., OKINAKA, H., YASUDA, Y., SHIOKAWA, T. et HIRATA, Y. [23 juin 1985] Field test results on a digital transmission system for global maritime satellite communications. IEEE International Conference on Communications (ICC '85), 23-26 juin, Chicago, ILL, Etats-Unis d'Amérique, Conf. Record, Vol. 1, 16.5.1-16.5.7.
- OKINAKA, H. et autres [juin 1985] A 1.6-GHz GaAs FET linear power amplifier for ship earth stations. 1985, Chicago, ILL, Etats-Unis d'Amérique, p. 24.6.1-24.6.6.
- SHIOKAWA, T. et KARASAWA, Y. [mai 1982] Shipborne antennas suppressing multipath fading in maritime satellite communication. IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium, Albuquerque, NM, Etats-Unis d'Amérique, p. 390-393.
- YASUDA, Y., KOMAGATA, H. et HAGIWARA, E. [1988] An experimental study on VITERBI decoder output error characteristics (en japonais). *Trans. IEICE*, Japon J71-B, 2, p. 229-237.
- YASUDA, Y. et autres [mars 1984] High-rate punctured convolutional codes for soft decision Viterbi decoding. *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-32, 3, p. 315-319.
- YASUDA, Y. et autres [novembre 1987] Performance characteristics of a digital voice-grade ship earth station. (submitted to the IEEE GLOBECOM'87 Conference, Tokyo).
- YATSUZUKA, Y. et autres [mai 1986] 16 kbit/s high quality voice encoding for satellite communication networks. 7th Int. Conf. Digital Satellite Commun., Munich, p. 271-278.

## **SUPPLÉMENT 2**

### **Méthode de détermination des critères de brouillage et de partage applicables aux services mobiles par satellite**

#### **Résumé**

Le présent Supplément expose une méthode à utiliser pour déterminer des critères de brouillage et de partage applicables aux services mobiles par satellite. Etant donné que les niveaux du signal utile et du signal brouilleur varient en fonction de nombreux facteurs, les critères de brouillage se calculent pour deux pourcentages de temps, l'un pour le fonctionnement de longue durée et l'autre pour le fonctionnement de courte durée. La base retenue pour établir les critères de brouillage total est exposée au § 3 du présent Supplément. En outre, on y trouvera différents facteurs de propagation dont il faut tenir compte lors de la détermination des critères de brouillage. Enfin le seuil et les distances de coordination font l'objet de quelques observations.

## **Méthode de détermination des critères de brouillage et de partage applicables aux services mobiles par satellite**

### **1 Introduction**

Un système du service mobile par satellite peut utiliser un grand nombre de voies pour fournir des services qui répondent aux divers besoins de communication des stations terriennes mobiles d'aéronef, de navire ou terrestres. Des voies pour la commande du réseau, la transmission de données, de télécopie, de vidéo, et la téléphonie peuvent être assurées. La qualité de fonctionnement et les caractéristiques des liaisons associées à ces voies peuvent être différentes et, en conséquence, la tolérance au brouillage de chaque communication peut être différente. Le présent Supplément propose une approche structurée pour l'établissement de critères de brouillage et de partage applicables aux services mobiles par satellite. Les aspects statistiques sont examinés et des méthodes sont décrites pour la détermination des niveaux maximaux admissibles de puissance du brouillage total et du brouillage à une seule source de brouillage.

### **2 Considérations d'ordre statistique**

Dans les systèmes du service mobile par satellite, les niveaux de puissance du signal utile et du bruit varient selon les conditions d'exploitation et les conditions environnantes, de telle sorte qu'il est préférable de représenter les caractéristiques du système comme un paramètre statistique. Les niveaux de puissance des signaux brouilleurs changent pour des raisons semblables. En conséquence, les critères de brouillage devraient être spécifiés avec deux composantes:

- a) un seuil qui définit une limite de la puissance du signal brouilleur, et
- b) un pourcentage de temps et, pour le service mobile terrestre par satellite (SMTS), un pourcentage de positions, qui définit la probabilité de dépassement du seuil de brouillage. Ces critères devraient être établis pour au moins deux pourcentages de temps et de positions afin de maîtriser la variabilité du brouillage et celle des niveaux absolus de qualité de transmission.

Des critères à «long terme», afin d'établir le niveau maximal de brouillage admissible qui ne devrait pas être dépassé pendant plus de  $X\%$  du temps et, le cas échéant, pour le SMTS, pour  $Y\%$  des positions. Les pourcentages de temps et de positions correspondent à ceux de l'objectif de qualité à long terme (par exemple, 10%-50%). Ces niveaux de brouillage et les niveaux de puissance, à long terme, du signal utile et du bruit définissent la qualité de fonctionnement à long terme du système.

Des critères «à court terme» pour l'établissement du niveau maximal de brouillage admissible qui ne devrait pas être dépassé pendant plus d'un faible pourcentage du temps ( $M\%$ ) (et, pour le SMTS,  $N\%$  de positions).

Les critères de brouillage admissible à long et à court terme devraient être établis tant pour le brouillage total (c'est-à-dire le total de toutes les sources) que pour le brouillage par une source unique.

### **3 Fondements des critères de brouillage total**

Les objectifs de qualité applicables à des circuits de communication sont spécifiés en fonction des seuils de qualité de la transmission en bande de base et des pourcentages correspondants de temps et de positions pour lesquels ces seuils devront être dépassés. Ces objectifs peuvent être exprimés en termes de rapports de la puissance du signal utile à la somme de la puissance du bruit et de la

puissance équivalente du signal brouilleur de type bruit. Les bilans de liaison du système en terme de puissance correspondant aux pourcentages de temps et de positions spécifiés dans les objectifs de performance peuvent être calculés pour des systèmes représentatifs afin de déterminer la qualité de transmission réalisable en l'absence de brouillages mutuels (comme dans le Rapport UIT-R M.760, par exemple). En outre, les niveaux admissibles des brouillages mutuels doivent être compris de manière statistique dans ces bilans de puissance des liaisons, de façon à comparer les niveaux de qualité projetés et atteints. L'équation suivante définit ce rapport, en admettant que l'effet total de signaux brouilleurs multiples a caractère de bruit:

$$\frac{C}{(N+I)_t}(p) = \left[ \left( \frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{mob} + \left( \frac{N}{C} + \frac{I}{C} \right)_{fdr} \right]^{-1} (p) \quad (1)$$

où les notations «*mob*» et «*fdr*» désignent, respectivement, les paramètres de la liaison de service (c'est-à-dire une liaison à 1,5/1,6 GHz) et de la liaison de connexion, et:

- $C/(N+I)_t(p)$ : rapport numérique de la puissance du signal utile à la somme de la puissance totale du bruit et de la puissance du brouillage total, à dépasser sauf pour  $p\%$  du temps et des positions
- $N/C$ : rapport numérique de la puissance totale du bruit à l'intérieur du système à la puissance du signal utile (il est lié à la qualité atteinte en l'absence de brouillage entre systèmes)
- $I/C$ : rapport numérique de la puissance globale du signal brouilleur à la puissance du signal utile.

La qualité de transmission du système en l'absence de brouillage entre systèmes (c'est-à-dire les valeurs de  $N/C$  dans l'équation (1)) est limitée par diverses dégradations de la qualité à l'intérieur du système (par exemple, le bruit thermique du récepteur, le bruit d'intermodulation, etc.). D'autres dégradations de qualité à l'intérieur du système se produisent dans les systèmes qui réutilisent les fréquences (par exemple, entre faisceaux étroits d'antenne de satellite). Ainsi, comme tel a été le cas pour le service fixe par satellite, des critères de brouillage différents peuvent être applicables aux systèmes qui réutilisent les fréquences. De toute façon, la dégradation de qualité imputable au niveau admissible de brouillage ne devrait pas dépasser une petite partie de la dégradation à l'intérieur du système, afin d'assurer que le concepteur et l'opérateur du système en maîtrisent bien les caractéristiques.

On connaît des exemples, dans le service d'exploration de la Terre par satellite et le service de météorologie par satellite, où la limite de brouillage à long terme a été fixée à 25% ou plus du niveau total de puissance du bruit additionné aux brouillages. Le service fixe par satellite (SFS), pour lequel les ressources d'orbite et de spectre sont très recherchées et intensément employées, fixe à 35% du bruit global à long terme dans une voie de téléphonie MRF/MF la limite des brouillages mutuels, ou à 30% dans le cas de systèmes qui emploient la réutilisation des fréquences (Recommandations UIT-R S.353 et UIT-R S.466). De ces pourcentages, jusqu'à 10% des brouillages proviennent des réseaux des services fixes de Terre, et le reste, 20% à 25%, provient des réseaux des services fixes par satellite. Néanmoins, si l'on envisage d'utiliser, dans les services mobiles par satellite, de tels rapports de la puissance de brouillage au bruit global additionné à la puissance de brouillage, l'incidence sur la qualité de transmission et la capacité du système (pour un niveau donné de qualité) devrait être évaluée avec soin.

La qualité de la liaison peut être abaissée à des niveaux associés à un seuil de qualité par l'évanouissement des signaux utiles ou par l'élévation des niveaux des signaux brouilleurs. Les marges applicables à la qualité de transmission devraient être conçues de façon que le brouillage n'abaisse pas la disponibilité des liaisons à un niveau inférieur aux objectifs de qualité.

## **4 Etablissement du bilan de brouillage**

### **4.1 Prise en compte dans les bilans des liaisons de connexion et des liaisons de service**

Les fréquences attribuées au service fixe par satellite sont habituellement utilisées pour des liaisons de connexion; ainsi, chaque moitié d'une voie (liaison montante ou descendante) est exposée à des brouillages provenant d'environnements différents et peut appliquer des critères de brouillage différents.

Des brouillages de courte durée ont également une incidence sur les caractéristiques de  $C/N$  et de  $C/I$  dans le cas de circuits mobiles à satellite. Une occultation de courte durée ainsi que des effets dus aux trajets multiples peuvent influencer les bilans  $C/N$  et  $C/I$  sur la liaison de service à 1,5/1,6 GHz, notamment pour les réseaux du service mobile terrestre par satellite. De même, si l'on utilise des liaisons de connexion au-dessus de 10 GHz, un évanouissement de courte durée dû à l'affaiblissement par la pluie peut influencer sur le bruit de la liaison de connexion et les bilans de brouillage.

Une caractéristique nominale fondamentale des systèmes mobiles à satellites réside dans le fait que le rapport  $C/N$  net (y compris les contributions de  $C/I$ ) est établi dans une large proportion par les liaisons du service, c'est-à-dire que les liaisons de connexion ne doivent apporter qu'une faible dégradation (pour tenir compte, par exemple, de la très faible disponibilité de la p.i.r.e. des liaisons de connexion dans le sens espace vers Terre des systèmes anciens; un compromis à propos de cette caractéristique nominale a été nécessaire).

### **4.2 Critères applicables aux liaisons de service**

Les niveaux de puissance du signal utile à 1,5/1,6 GHz connaissent généralement des variations amples et rapides. Cela est vrai aussi, à ces fréquences, des signaux brouilleurs, qui varient en général indépendamment des signaux utiles. Ainsi, étant donné la caractéristique de fonctionnement d'une liaison de service (calculée à partir de l'équation 1, de l'objectif de qualité de fonctionnement et des bilans des liaisons de connexion et de service), le niveau global admissible des brouillages pourrait être déterminé par une analyse statistique des signaux utiles et brouilleurs. En outre, étant donné un nombre présumé de brouilleurs, une analyse statistique pourrait être réalisée afin de déterminer les niveaux de brouillage admissibles pour une source de brouillage unique. L'Annexe 1 du Rapport UIT-R M.1179 décrit comment ces bilans de brouillage pourraient être établis. Une description des seuils de coordination pour ces liaisons est examinée au § 7.

### **4.3 Critères applicables aux liaisons de connexion**

Dans la liaison de connexion descendante, le niveau de puissance du signal utile subit les mêmes variations que le signal de la liaison de service montante lorsque le répéteur est utilisé dans la zone quasi linéaire. Donc, la méthode utilisée pour la liaison de connexion descendante devrait être semblable à celle appliquée aux liaisons de service montantes.

Dans les liaisons de connexion montantes, où le signal utile est à 1 dB environ de sa valeur moyenne pendant des pourcentages de temps élevés (par exemple, >95%), on peut admettre des hypothèses qui simplifient le calcul des critères de brouillage. Plus explicitement, les niveaux relatifs réels de puissance totale de brouillage admissibles à long terme peuvent être fondés sur des analyses de la qualité prévue pour la valeur moyenne du signal utile. Les critères de brouillage «à court terme» peuvent être établis à partir d'une analyse de la qualité «hors évanouissement» parce que la probabilité combinée est très faible de voir un accroissement du brouillage à des niveaux qu'il

n'atteint que pendant de faibles pourcentages du temps, tandis que le signal utile serait affaibli par l'évanouissement à des niveaux qu'il ne connaît que pour de faibles pourcentages de temps. La section 6 propose une méthode pour définir des critères de brouillage de la liaison de connexion montante fondés sur ces hypothèses.

## **5 Calcul des critères de brouillage**

Cette section du Supplément est consacrée à la détermination des critères de brouillage applicables aux liaisons de service fonctionnant à 1,5/1,6 GHz et aux liaisons de connexion descendantes.

### **5.1 Introduction**

Les systèmes du service mobile par satellite fonctionnant dans la partie du spectre correspondant à 1,5/1,6 GHz devront s'adapter à une large gamme de caractéristiques de services qui comprennent tant les techniques de modulation analogique que celles de modulation numérique, des largeurs de bande et des débits binaires divers et différents niveaux de puissance d'émetteur. Il y a des variations appréciables de p.i.r.e., de largeur de bande et de marge de qualité parmi les diverses voies utilisées pour les liaisons de service offertes dans les systèmes du service mobile par satellite. Chaque type de liaison devrait être évalué à part. Cependant, on prévoit qu'il s'avérera que plusieurs types de liaison ont des critères de brouillage semblables.

### **5.2 Services brouilleurs à prendre en considération**

Le brouillage des liaisons de service d'un système du service mobile par satellite fonctionnant dans les bandes des 1,5/1,6 GHz sera causé par des émissions de stations spatiales et de stations terriennes mobiles fonctionnant dans d'autres systèmes du service mobile par satellite. Le brouillage des liaisons de service fonctionnant dans certaines parties des bandes des 1,5/1,6 GHz sera aussi provoqué par des émissions de systèmes du service fixe fonctionnant dans des zones géographiques particulières. Le brouillage des liaisons de connexion descendantes peut être provoqué par d'autres services utilisant ces mêmes bandes.

### **5.3 Facteurs de propagation**

Les signaux des liaisons de service d'un système du service mobile par satellite sont affectés essentiellement par la réflexion et la diffusion causées par le terrain environnant (par exemple, le sol, les océans et les bâtiments), par l'occultation causée par des obstacles (par exemple, bâtiments et arbres) le long du trajet Terre vers espace, et par la diffraction causée par les obstacles proches. Ces liaisons sont aussi affectées, mais à un degré bien moindre dans les bandes des 1,5/1,6 GHz, par l'ionosphère, la troposphère et par les précipitations. Les Recommandations UIT-R P.680 et UIT-R P.681 décrivent les effets de propagation observés dans des environnements maritimes et terrestres, respectivement à des fréquences supérieures à 100 MHz. Les environnements aéronautiques sont également étudiés dans la Recommandation UIT-R P.682. Des trois types de milieu de fonctionnement, c'est sur les liaisons du service mobile terrestre par satellite que les effets de propagation sont les plus intenses.

Les valeurs des affaiblissements de propagation dépendent de l'environnement local. Des études théoriques et des mesures effectuées pour les liaisons montrent que les signaux se propageant par trajets multiples suivent une distribution de Rayleigh. La puissance moyenne des signaux se propageant par trajets multiples par rapport à la puissance du signal en visibilité directe (LOS) non affaibli est fonction du diagramme de rayonnement et de l'angle d'élévation de l'antenne ainsi que des caractéristiques des milieux physiques par lesquels les signaux se propageant par trajets multiples sont diffusés. Si la discrimination de l'antenne réceptrice n'est pas complète envers le signal propagé

par trajets multiples, et si le signal en visibilité directe n'est pas fortement affaibli, alors la répartition de l'enveloppe du signal reçu peut être modélisée par la fonction de distribution de Rice-Nakagami. Des mesures ont également montré que la distribution de la puissance du signal en visibilité directe dans des conditions d'occultation (par exemple, par des arbres ou d'autres obstacles) se rapproche d'une distribution log-normale. Ainsi, pour tous les environnements, la variation statistique de l'enveloppe du signal reçu peut être modélisée comme un processus composite. Les fluctuations de la puissance instantanée du signal reçu peuvent être modélisées comme un processus de Rice-Nakagami, dans lequel on admet que l'amplitude du signal «constant» est un processus log-normal. Un examen assez complet des détails mathématiques de ce processus composite est proposé dans la Recommandation UIT-R P.1057.

On notera cependant que ces modèles mathématiques pourraient ne pas être suffisamment précis, en particulier dans la région des niveaux de signal extrêmement élevés ou faibles, où la probabilité d'occurrence de tels niveaux est très faible.

Les niveaux des signaux brouilleurs seront affectés par des facteurs de propagation analogues. Néanmoins, le niveau du brouillage en visibilité directe peut la plupart du temps être utilisé comme valeur caractéristique dans les cas où l'on prend en considération le brouillage causé par d'autres réseaux du service mobile par satellite, à condition que les angles d'élévation des trajets du signal utile et du signal brouilleur ne soient pas trop petits (par exemple,  $<5^\circ$ ).

En examinant les critères de brouillage à court terme, il faudra tenir compte des accroissements à court terme des niveaux de brouillage dus aux mécanismes de propagation par trajets multiples, en particulier dans les cas où la station terrienne mobile est sur la mer. On peut connaître, à cause de ces effets, des accroissements atteignant 5 dB relativement au niveau observé en visibilité directe.

Les analyses devront tenir compte des effets de la différence entre les angles d'élévation des signaux utiles et des signaux brouilleurs ou de la discrimination de l'antenne de la station terrienne et des différences qui en résultent dans les fonctions de répartition des signaux utiles et des signaux brouilleurs. Les angles d'élévation doivent être pris en considération lorsque les critères de partage sont appliqués, mais les effets de la discrimination de l'antenne de la station terrienne peuvent être englobés dans les critères de brouillage. En outre, l'effet du *bruit* à l'intérieur du système doit être inclus.

Le niveau total de brouillage peut être déterminé par convolution des fonctions de densité de probabilité des sources individuelles de brouillage supposées. Ces rapports entre la qualité requise et les niveaux de brouillage global et pour une source unique peuvent être utilisés pour déterminer les niveaux de brouillage admissibles pour les liaisons de service.

## **6 Calcul des critères de brouillage admissible pour une seule source de brouillage, applicables à la liaison de connexion montante**

### **6.1 Attribution des critères de brouillage aux services spatiaux et aux services de Terre**

Les attributions de fréquences Terre vers espace utilisées par les services mobiles par satellite nécessitent en général le partage entre systèmes du service mobile par satellite, le partage avec les systèmes du service de Terre et, dans certains cas, le partage avec des systèmes d'autres services spatiaux. Une première division des critères de brouillage à court terme (maximal) et à long terme (près de la médiane) peut être faite afin d'établir séparément les bilans de brouillage pour le service spatial et le service de Terre. Cette façon de procéder facilite la détermination de critères de partage et de seuils de coordination appropriés, applicables aux systèmes spatiaux et aux systèmes de Terre, lesquels sont généralement présents en nombres différents et risquent de créer des potentiels de brouillage de gravités différentes.

On pourra utiliser les équations suivantes pour cette subdivision:

$$I_s(x) = I(x) \cdot \frac{A_s}{100} \quad (2)$$

$$I_t(x) = I(x) - I_s(x) \quad (3)$$

où:

- $I_s$ : bilan de brouillage (W) pour le service spatial
- $I_t$ : bilan de brouillage (W) pour le service de Terre
- $A_s$ : pourcentage du bilan de puissance du brouillage total attribué au service spatial
- $I(x)$ : niveau total admissible de puissance brouilleuse (W) à ne pas dépasser plus de  $x\%$  du temps lorsque  $x$  est associé à l'objectif de qualité à long terme.

$$I_s(p_s) = I(p) - I_t(x) \quad (4a)$$

$$I_s(p_t) = I(p) - I_s(x) \quad (4b)$$

$$p_s = p(a_s/100) \quad (5a)$$

$$p_t = p - p_s \quad (5b)$$

où:

- $p$ : pourcentage de temps associé au critère de brouillage à court terme
- $p_s$ : pourcentage de temps pendant lequel les services spatiaux peuvent dépasser le seuil de brouillage
- $p_t$ : pourcentage de temps pendant lequel les services de Terre peuvent dépasser le seuil de brouillage
- $a_s$ : partie (%) du pourcentage de temps  $p$  attribuée aux services spatiaux
- $I(p)$ : puissance totale du brouillage (W) à ne pas dépasser pendant plus de  $p\%$  du temps (c'est-à-dire critère de brouillage à court terme).

Dans les équations (2) et (3), les critères de brouillage à long terme sont subdivisés sur la base de la puissance entre les catégories de brouillage du service spatial et du service de Terre. Cela est justifié car l'on peut s'attendre à ce que ces niveaux de brouillage spatial et de Terre à long terme soient présents simultanément.

Les critères de brouillage à court terme sont subdivisés dans les équations (4) et (5) d'après le pourcentage de temps entre les catégories de brouillage du service spatial et du service de Terre. Il est peu probable que les niveaux de brouillage maximaux à court terme soient atteints simultanément dans le service spatial et le service de Terre, en raison de l'absence de corrélation entre les mécanismes qui causent ces maximums. Toutefois, le brouillage provoqué par les services spatiaux, à son niveau à long terme, doit être pris en considération quand on établit le bilan de brouillage à court terme pour les services de Terre; il en va de même pour les brouillages causés par les services de Terre aux services spatiaux. Ainsi, dans les équations (4a) et (5a), on admet que le brouillage à long terme associé au service spatial s'additionne au brouillage à court terme associé au service de Terre.

Les valeurs pour la répartition de la puissance brouilleuse ( $I_s$ ) et ( $I_t$ ) et du temps ( $P_s$ ) et ( $P_t$ ) dans les équations (2) à (5) devront être choisies de façon à correspondre aux niveaux relatifs de brouillage que l'on peut attendre de l'environnement caractéristique de brouilleurs du service de Terre et du service spatial, afin de minimiser les contraintes résultant de l'adoption de critères de partage.

## 6.2 Considérations relatives à l'établissement de critères de partage

### 6.2.1 Critères de brouillage par source unique

Des subdivisions des limites de brouillage total et de temps pour les brouilleurs spatiaux et de Terre peuvent être faites pour établir les niveaux admissibles appropriés de brouillage provoqué par des sources uniques (cas du brouillage «à source unique»). Les équations (6) et (7) ci-après peuvent être utilisées à cette fin:

$$I_{x'}(x) = \frac{I_x(x)}{n} \quad (6)$$

$$I_{x'}(p_{x'}) = \frac{I_x(p_x)}{y_n} - \left( I_{x'}(20) \cdot \frac{1-y}{y} \right) \quad (7a)$$

$$p_{x'} = \frac{p_x}{y_n} \quad (7b)$$

où les expressions affectées du symbole (') désignent les valeurs des sources individuelles, et:

$I_x(x)$ : niveau total de brouillage admissible (W) pris en compte pour des services spatiaux ou des services de Terre, à ne pas dépasser plus de  $x\%$  du temps

$I_x(p_x)$ : niveau relatif réel de puissance totale de brouillage admissible (W) pris en compte pour des services spatiaux ou des services de Terre, à ne pas dépasser plus de  $p_x\%$  du temps

$n$ : nombre effectif des brouilleurs spatiaux ou de Terre

$y$ : partie des brouilleurs à un niveau maximal,  $0 < y < 1$ .

Les équations (6) et (7) sont semblables en nature aux équations (2) à (5). Les limites du brouillage à long terme sont subdivisées en fonction de la puissance et les limites du brouillage à court terme sont subdivisées en fonction du pourcentage de temps. Dans l'équation (7), on admet que seules quelques-unes des sources de brouillage atteignent leurs valeurs maximales à court terme et elles sont, par conséquent, sans corrélation. Tandis que ces sources de brouillage sont à un niveau maximal, on admet que toutes les autres sources sont à leur niveau à long terme. On admet que la somme de ces niveaux à long terme est égale à  $(n - y_n)$  fois la limite de brouillage par une source unique à long terme.

## **7 Seuils de coordination et critères de partage applicables aux liaisons dans les bandes des 1,5/1,6 GHz**

### **7.1 Coordination entre systèmes à satellites**

Le brouillage potentiel entre les systèmes à satellites est étudié dans le cadre de la coordination d'après l'Article 11 du RR afin de déterminer, s'il y a lieu, quelles contraintes de conception ou de fonctionnement sont nécessaires pour faire en sorte que le brouillage reste au-dessous des niveaux acceptables. Les niveaux admissibles du brouillage par une source unique définissent les niveaux minimaux de brouillage acceptables pour une utilisation dans la coordination. L'Appendice 8 du RR prescrit une méthode pour déterminer le moment où cette coordination doit être assurée. La coordination est déclenchée lorsqu'un faible accroissement de la température de bruit dans une liaison est prévu dans les conditions les plus défavorables (soit un accroissement de 6%). Dans la pratique, avec cette façon de procéder, la faible discrimination des antennes des stations terriennes mobiles dans les bandes des 1,5/1,6 GHz déclencherait presque toujours la coordination, à condition qu'une station terrienne mobile d'un système soit en visibilité directe du satellite de l'autre système. Ainsi, cette condition de visibilité paraît être une manière pratique de déterminer le moment où la coordination devrait être assurée entre les systèmes du service mobile par satellite fonctionnant dans les bandes des 1,5/1,6 GHz, sauf lorsque les zones de couverture du satellite sont totalement séparées.

### **7.2 Brouillage causé au récepteur du satellite par des stations de Terre**

Les critères applicables au partage, au voisinage de 1,6 GHz, entre les stations émettrices des services de Terre et les stations spatiales peuvent être établis à partir du niveau global admissible de brouillage à long terme pris en compte pour cette interaction (voir l'Annexe 1 du Rapport UIT-R M.1173).

La coordination n'est pas utilisée comme méthode pour maîtriser cette interaction des brouillages. Au lieu de cela, les critères de partage applicables ont la forme de limites de p.i.r.e. et de puissance d'entrée des antennes et de limites de pointage sur les stations de Terre. On peut s'attendre à ce que le brouillage global causé par les stations de Terre varie faiblement dans le temps, assurant ainsi que les critères de brouillage à long terme relativement rigoureux domineront le partage lorsque la méthode de l'Annexe 1 sera appliquée. Ces critères de partage ont été mis au point pour d'autres bandes sur la base d'hypothèses sur la répartition et les caractéristiques des stations de Terre.

### **7.3 Distances de coordination**

Les critères de partage entre stations terriennes mobiles et stations de Terre peuvent être mis au point conformément au concept de zone de protection. La forte variabilité dans le temps des affaiblissements de propagation sur les trajets des signaux de Terre nécessite en général que les critères de brouillage à court terme et à long terme soient tous deux appliqués. Des zones de coordination peuvent être calculées pour les stations terriennes mobiles à terre et de navire en utilisant la méthode de l'Appendice 7 au RR. Pour les stations terriennes d'aéronef, des zones de coordination peuvent être définies en utilisant des distances de coordination fondées sur les trajets de propagation en visibilité directe entre la station d'aéronef et la station de Terre. En admettant qu'une station terrienne d'aéronef puisse fonctionner à des altitudes atteignant 12 km, et que la réfraction de l'atmosphère donne un coefficient de rayon terrestre équivalent de 4/3, les distances en visibilité directe seraient de 450 km et 900 km en ce qui concerne les autres stations au sol ou à bord d'un

aéronef, respectivement. En tenant compte d'une réfraction atmosphérique un peu plus élevée, les distances de coordination pour les aéronefs devraient être estimées à 500 km et 1 000 km pour le partage avec les stations de Terre situées au sol et à bord d'aéronef, respectivement. Une étude complémentaire des distances de coordination est nécessaire.

---

## **SUPPLÉMENT 3**

### **Problèmes de brouillage et de bruit dans le cas de systèmes du service mobile maritime par satellite utilisant des fréquences dans les bandes des 1,5 et des 1,6 GHz**

#### **Résumé**

Le présent Supplément explique les problèmes de brouillage et de bruit dans le cas de systèmes du service mobile maritime par satellite utilisant des fréquences dans les bandes des 1,5 et des 1,6 GHz, sur la base à la fois de la théorie et de mesures et d'expériences pratiques. Le § 2 traite des différentes sources de brouillage qui peuvent affecter les systèmes du service mobile maritime par satellite. Les sections suivantes expliquent les phénomènes de brouillage occasionnés par les émetteurs du service mobile maritime par satellite installés à bord de navires à différents systèmes victimes.

# **Problèmes de brouillage et de bruit dans le cas de systèmes du service mobile maritime par satellite utilisant des fréquences dans les bandes des 1,5 et des 1,6 GHz**

## **1 Introduction**

Les systèmes opérationnels du service mobile maritime par satellite utilisent au minimum des fréquences de la bande des 1,5 GHz et des fréquences de la bande des 1,6 GHz, respectivement, pour les trajets satellite-navire et navire-satellite. Le présent Supplément expose les résultats des études théoriques portant, dans le domaine des fréquences considérées, sur les brouillages qu'un système du service mobile maritime peut subir du fait d'autres sources de signaux et sur les brouillages que ce système peut occasionner à d'autres systèmes. Les résultats de mesures du bruit électromagnétique observées dans la pratique dans des ports et à bord de navires en mer sont brièvement exposés. Enfin, d'autres sources de bruit dans cette gamme de fréquences, par exemple le bruit extra-terrestre et la température de bruit du récepteur, seront considérées.

## **2 Brouillages causés par des systèmes du service maritime par satellite**

### **2.1 Brouillages causés par les altimètres à radiodétection**

Les radioaltimètres peuvent occasionner des brouillages aux récepteurs du système maritime par satellite installés à bord des navires lorsque l'aéronef se trouve dans le faisceau de l'antenne du navire. Toutefois, il semble que le nombre des radioaltimètres utilisés dans cette bande diminue. On peut réduire le risque de brouillages et la durée des brouillages en faisant fonctionner les radioaltimètres uniquement sur les fréquences supérieures de la bande attribuée.

### **2.2 Brouillages causés par les systèmes du service aéronautique par satellite**

L'émetteur de système du service aéronautique par satellite installé à bord d'un aéronef ne devrait pas causer de brouillage à l'équipement terminal d'un système du service maritime par satellite installé à bord de navire, même s'il rayonne dans le faisceau principal de l'antenne de navire.

### **2.3 Brouillage causé par des émissions hors bande de systèmes radar**

On peut considérer comme source potentielle de brouillages radioélectriques le radiodétecteur de recherche aérienne AN/SPS-29. Cependant, on peut supprimer cette source de bruit électromagnétique en dotant l'émetteur d'un filtre RF coaxial simple, vendu dans le commerce. De même, on peut supprimer les brouillages causés par les radiodétecteurs de recherche en surface en montant à la sortie de leur émetteur un simple filtre à guide d'ondes également du commerce. Dans la bande 9, on n'a pas observé de bruit émanant des radiodétecteurs de recherche en surface, dotés d'antenne de 3 cm, utilisés par les navires des marines nationales ou des marines marchandes.

### **2.4 Brouillages causés par les équipements de radiocommunication montés à bord des navires et les isolateurs haute tension qui leur sont associés**

Les émissions des émetteurs de navire à ondes décamétriques peuvent causer des brouillages aux canaux de transmission par satellite des stations terriennes de navire. Les résultats des évaluations théoriques et expérimentales de cet effet sont indiqués ci-après.

### 2.4.1 Etude théorique

Pour déterminer dans quelle mesure les émissions d'un émetteur à ondes décimétriques peuvent influencer le fonctionnement d'une station terrienne de navire, on a pris comme critère le brouillage dont le niveau dépasse le seuil de sensibilité du récepteur de cette station terrienne. On suppose que le seuil de sensibilité correspond au niveau de sensibilité du récepteur calculé pour les fréquences correspondantes,  $f_{SR}$ , capables de produire des réponses parasites et qu'il peut s'exprimer par la formule suivante:

$$f_{SR} = \frac{pf_{LO} \pm f_{IF}}{q} \pm \frac{B_R}{2q} \quad (1)$$

où:

$f_{LO}$ : fréquence de l'oscillateur local (MHz)

$f_{IF}$ : première fréquence intermédiaire (MHz)

$B_R$ : largeur de bande à 3 dB sur la première fréquence intermédiaire (MHz)

$p, q$ : numéro de l'harmonique de l'oscillateur local et du signal brouilleur, respectivement ( $p, q = 0, 1, 2, \dots$ , etc.).

Le seuil de sensibilité du récepteur aux réponses parasites, à l'entrée du récepteur,  $P_R(f_{SR})$ , peut s'exprimer par:

$$P_R(f_{SR}) = P_R(f_{OR}) + I \log \frac{f_{SR}}{f_{OR}} + J \quad (2)$$

où:

$P_R(f_{OR})$ : sensibilité fondamentale du récepteur (dBm)

$f_{OR}$ : fréquence fondamentale du récepteur (MHz)

$I, J$ : constantes caractérisant, en dB/décade et en dB respectivement, le rejet du récepteur en dehors de la fréquence d'accord.

La puissance du signal brouilleur produit par les émissions à ondes décimétriques à l'entrée du récepteur d'une station terrienne de navire,  $P_1(f_{SR})$ , est déterminée, pour la fréquence fondamentale et les harmoniques de l'émetteur, par la formule suivante:

$$P_1(f_{SR}) = P_T(f_{OT}) + A \log n + B - L_c \quad (3)$$

où:

$P_T(f_{OT})$ : puissance de la fréquence fondamentale (dBm)

$n$ : numéro de l'harmonique de la fréquence de l'émetteur ( $f_{OT}$ ) par rapport à la fréquence de réponse parasite du récepteur ( $f_{SR}$ ),  $n = f_{SR}/f_{OT}$

$A, B$ : constantes caractérisant, en dB/décade et en dB respectivement, les niveaux d'émission harmonique du récepteur

$L_c$ : perte par couplage (dB), y compris les effets de propagation, de l'antenne de réception et de l'antenne d'émission.

On peut décrire  $L_e$  d'une façon plus détaillée en utilisant l'expression suivante:

$$L_c = 10 \log \eta_{af} + 20 \log \frac{\lambda}{4\pi r} + 10 \log \gamma + 10 \log \beta + 10 \log G(\theta, \varphi, \lambda) + 10 \log \eta_f \quad (4)$$

où:

$\eta_{af}$ : constante de transfert de la ligne d'alimentation de l'antenne de l'émetteur

$\lambda$ : longueur d'onde (pour l'harmonique correspondante) (m)

$r$ : distance (m) entre l'antenne de la station terrienne de navire et l'antenne de l'émetteur à ondes décimétriques (m)

$G(\theta, \varphi, \lambda)$ : gain de l'antenne de la station terrienne de navire par rapport à l'azimut ( $\theta$ ) et au site ( $\varphi$ )

$\eta_f$ : rendement de la ligne d'alimentation de l'antenne du récepteur

$\beta, \gamma$ : constantes caractérisant les effets d'obstacles matériels et de défaut d'adaptation de la polarisation d'antenne.

Les formules (1) et (2) ont été appliquées pour calculer le seuil de sensibilité du récepteur aux fréquences des réponses parasites les plus proches des fréquences de fonctionnement de l'émetteur à ondes décimétriques. Les données initiales utilisées dans les calculs étaient les suivantes:

$$\begin{aligned} f_{OR} &= 1538 \text{ MHz} & f_{LO} &= 1351 \text{ MHz} \\ f_{IF} &= 187 \text{ MHz} & P_R(f_{OR}) &= -139 \text{ dBm} \\ B_R &= 8,5 \text{ MHz} & I &= -20 \text{ dB/décade} \\ P &= 0 & J &= 80 \text{ dB} \end{aligned}$$

TABLEAU 1

**Seuils de sensibilité aux réponses parasites**

$q$	$f_{SR}$ (MHz)	$P_R(f_{SR})$ (dBm)
8	13,37 ± 0,53	-22,6
10	18,70 ± 0,42	-20,7
11	17,00 ± 0,39	-19,9
5	37,00 ± 0,85	-26,7
7	26,71 ± 0,61	-23,8

Les fréquences des réponses parasites indiquées dans le Tableau 1 sont les premiers sous-harmoniques FI du système de réception de la station terrienne de navire.

A l'aide de la formule (3), on a calculé la puissance de brouillage sur les fréquences des réponses parasites et on l'a comparée avec les valeurs obtenues pour le seuil de sensibilité du récepteur. On a effectué le calcul pour les fréquences de l'émetteur à ondes décimétriques,  $f_{OT}$ , capables de causer des brouillages sur les fréquences des réponses parasites du récepteur. Hypothèses:  $P_T(f_{OT}) = 500$  W,  $A = -70$  dB/décade (voir la Note 1),  $B = -20$  dB, pour  $L_c$ , on a utilisé un affaiblissement en espace libre sur une distance de 10 m.

NOTE 1 – Dans les calculs futurs, la valeur de  $A$  peut être prise comme égale à  $-60$  dB/décade sans aucune dégradation de la qualité à la réception.

Les résultats du calcul figurent dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

**Puissance de brouillage sur les fréquences des réponses parasites**

$f_{OT}$ (MHz)	$n$	$P_1(f_{SR})$ (dBm)	$P_1(f_{SR})/P_R(f_{SR})$ (dB)
$4,670 \pm 0,1062$	5	-27,0	-4,4
$6,2333 \pm 0,1417$	3	-9,5	+11,2
$17,00 \pm 0,3864$	1	+24,7	+44,6
$8,50 \pm 0,1932$	2	+3,6	+23,5
$12,4666 \pm 0,2833$	3	-15,5	+11,2
$13,3571 \pm 0,3035$	2	-0,3	+23,5

TABLEAU 3

**Puissance de brouillage à la fréquence fondamentale du récepteur de la station terrienne du navire  $P_1(f_{OR})$**

$f_{OR}$ (MHz)	$N$	$P_1(f_{OR})$ (dBm)	$P_1(f_{OR})/P_R(f_{OR})$ (dB)
6,2 à 13,2	248 à 124	-102 à 82	-11 à 9

Les valeurs de brouillage ci-dessus concernent seulement les premiers sous-harmoniques de la station terrienne de navire IF. A noter que les formules (2) et (3) ne tiennent pas compte des non-linéarités des composants actifs du récepteur ou de l'émetteur qui peuvent affecter la sensibilité relative ou les niveaux d'émission pour différents harmoniques.

**2.4.2 Résultats expérimentaux**

Pendant la durée de l'expérience, on mesurait les niveaux  $(I + N)/N$  afin de déterminer les effets des émissions à ondes décimétriques. Le brouillage était produit par l'émetteur à ondes décimétriques sur les fréquences choisies dans la bande indiquée au Tableau 2. Les niveaux de bruit et les niveaux brouillage-plus bruit ont été déterminés pour une largeur de bande de 20 kHz dans la première voie FI de la station terrienne de navire.

L'antenne de la station terrienne de navire était orientée vers l'antenne de l'émetteur à ondes décimétriques située à une distance de 8,6 m. L'émetteur fonctionnait en classe d'émission A1A et la puissance émise était de 1,5 kW.

On trouvera dans le Tableau 4 les résultats du traitement des valeurs mesurées de  $(I + N)/N$ .

TABLEAU 4

**Rapport  $(I + N)/N$  moyen en fonction de la fréquence de fonctionnement de l'émetteur à ondes décimétriques**

$f_{OT}$ (MHz)	4,68	6,23	8,35	12,51	13,2	16,75
$(I + N)/N$ (dB)	0	20	18	23	17	16

Les valeurs mesurées du brouillage indiquées au Tableau 4 ne peuvent être directement comparées aux valeurs calculées du Tableau 2. Toute divergence éventuelle résulte de ce que certains facteurs ne sont pas pris en considération dans les calculs du Tableau 2, par exemple les effets exercés sur  $L_c$  en fonction de la fréquence.

Le brouillage dans la voie de réception était un brouillage à bande étroite, son niveau dépendant de l'orientation de l'antenne de la station terrienne de navire par rapport à l'antenne de l'émetteur à ondes décimétriques.

Pendant toute la durée de l'expérience, on a analysé les effets des émissions à ondes décimétriques sur la qualité de la réception de messages téléphoniques et télex à la fréquence  $f_{OT} = 12,502$  MHz, qui brouille la fréquence de réception 1 537,75 MHz (voie de satellite). On a déterminé les valeurs de  $(I + N)/(C + N)$ .

Aucune perturbation n'a été enregistrée à la réception des messages télex de référence pour  $(I + N)/(C + N) \leq -1$  dB. Il convient de noter que ce rapport peut atteindre 15 dB pour de faibles angles de site.

La qualité de réception du message téléphonique est jugée satisfaisante pour  $(I + N)/(C + N) \sim 2$  dB: où:

$I$ : niveau du signal brouilleur

$N$ : bruit

$C$ : niveau du signal de la porteuse utile.

Si la valeur de  $(I + N)/(C + N)$  mesurée dans la première voie FI est égale ou supérieure à 5 dB, le brouillage bloque complètement la voie téléphonique.

### 3 Brouillage pouvant être causé par les émetteurs de navire du service mobile maritime par satellite

#### 3.1 Brouillages causés aux systèmes aéronautiques par satellite

Il résulte d'une étude que l'émetteur de navire d'un système maritime par satellite ne peut causer des brouillages que si le récepteur de l'aéronef du système aéronautique par satellite se trouve à moins de 4 milles marins du navire et à l'intérieur du faisceau principal de l'émetteur.

### **3.2 Brouillages causés à des systèmes de prévention des collisions**

Les systèmes expérimentaux de prévention des collisions risquent d'être brouillés par les émissions non essentielles d'émetteurs de navire. Il convient d'imposer à ces émissions des limites permettant d'éliminer, dans la mesure du possible, une telle source de brouillage.

### **3.3 Brouillages hors bande causés à d'autres services de radiocommunication**

Les émetteurs de stations de navire associées au secteur spatial peuvent engendrer des produits d'intermodulation, des harmoniques et d'autres formes d'émissions parasites qui risquent de causer des brouillages nuisibles à d'autres services fonctionnant au-dessus, entre ou au-dessous des bandes des 1,5 et 1,6 GHz attribuées au service mobile maritime par satellite. Il convient de déterminer les limites à imposer aux émissions parasites émanant des stations de navire du secteur spatial pour que les brouillages en question soient éliminés dans la mesure du possible. En étudiant les valeurs de ces limites, on devrait mettre en évidence les limitations pratiques dues au matériel.

### **3.4 Brouillages dans la bande causés au service fixe**

Conformément aux dispositions du numéro 5.359 du Règlement des radiocommunications, la bande 1 540-1 660 MHz est aussi attribuée au service fixe, dans certains pays des Régions 1 et 3.

On étudie actuellement les brouillages qui pourraient être causés au service fixe par des émetteurs installés à bord de navires (voir le Rapport UIT-R M.917, Annexe I).

## **4 Compatibilité électromagnétique**

On a étudié la compatibilité électromagnétique, au port et en mer, à bord du navire *American Alliance*, où était installé un équipement terminal de service maritime par satellite fonctionnant dans la bande 1 500 à 1 600 MHz.

### **4.1 Champ**

Les mesures de champ faites à 1 m des coffrets des émetteurs radar, dans la cale, ont montré que le rayonnement de ces coffrets était acceptable.

D'autre part, les mesures de champ ont montré que les niveaux enregistrés sur les ponts supérieurs étaient équivalents ou inférieurs aux niveaux mesurés dans la cale.

Les brouillages causés par le radar à l'équipement de bord dépendaient de l'emplacement relatif des antennes. Sur l'*American Alliance*, l'antenne du service maritime par satellite était distante de 9,2 m de l'antenne du radar pour la bande 9, et de 7,4 m de l'antenne pour la bande 10. Une distance moindre obligerait à mettre en œuvre un filtre passe-bas supplémentaire.

### **4.2 Brouillages causés aux radars**

La mesure relative aux brouillages que l'équipement terminal de bord du système à satellite pourrait causer aux radars pour les bandes 9 et 10 installés à bord de l'*American Alliance* a montré qu'il n'y a rien à craindre avec un émetteur de bord de 15 W. On a utilisé un réflecteur parabolique de 1,2 m de diamètre alimenté en polarisation circulaire dextrorsum. Le gain d'antenne était de 24 dB à 1 559 MHz.

## 5 Bruit extra-terrestre

Le Tableau 5 donne une vue synoptique des effets exercés sur un système à 1 500 MHz par des sources extra-terrestres de bruit radioélectrique.

TABLEAU 5

### Caractéristiques des sources extra-terrestres de bruit radioélectrique à 1 500 MHz

Source		Soleil	Lune	Jupiter	Cassiopee	Centre galactique
Dimensions de la source (stéradians)		$1,35 \times 10^{-4}$	$1,07 \times 10^{-4}$	Source ponctuelle	Source ponctuelle	$1,9 \times 10^{-3}$ ( $2,6 \times 1,4^\circ$ )
Puissance surfacique (W/(m <sup>2</sup> · Hz))		$9,3 \times 10^{-21}$	–	–	$2,2 \times 10^{-23}$	
Température apparente (K)		$10^{-5}$	250	$2 \times 10^3$	–	162
Température de bruit de l'antenne (K)	Gain d'antenne 20 dB	107	0,21	<1	0,24	15
	Gain d'antenne 10 dB	11	$2,1 \times 10^{-2}$	< $10^{-1}$	$2,4 \times 10^{-2}$	7
	Gain d'antenne 3 dB	2	$2,1 \times 10^{-3}$	< $2 \times 10^{-2}$	$4,8 \times 10^{-3}$	2 (estimation)

## 6 Bruit atmosphérique causé par absorption

Un milieu absorbant, comme l'oxygène et la vapeur d'eau dans l'atmosphère, émet un bruit thermique que l'on peut exprimer sous la forme d'une température apparente du ciel. A 1 600 MHz, la température varie de 80 K à 2 K pour des angles de site allant de 0° à 90°. Pour un angle de site de 10°, la température du ciel est de 10 K environ.

## 7 Bruit des récepteurs des stations de navire associées au secteur spatial

La température de bruit du récepteur d'une station de navire associée au secteur spatial dépend principalement du type de l'étage de préamplification et de l'affaiblissement sur la ligne d'alimentation entre l'antenne et le préamplificateur. Normalement, le préamplificateur devrait être monté immédiatement derrière l'antenne, ce qui réduirait à un minimum l'affaiblissement sur la ligne d'alimentation de cette dernière. Dans cette disposition, un préamplificateur transistorisé permet de limiter à 225 K environ la température de bruit d'un récepteur et un amplificateur paramétrique non refroidi permet de la limiter à 55 K environ.

## 8 Bruits artificiels

Des données ont été recueillies, au port et en mer, sur une dizaine de types de navires. On a constaté que toutes les sources importantes de bruit électromagnétique dans la bande 9

(1 535 à 1 660 MHz) ont des bandes de rayonnement plus larges que celle des liaisons envisagées pour les futurs systèmes du service mobile maritime par satellite. Le bruit à large bande était intermittent et de durée généralement beaucoup plus courte que celle d'un élément type du message envisagé pour un système maritime à satellite.

Il est apparu que les bruits électromagnétiques les plus forts dans la bande 9 proviennent d'appareils électriques fonctionnant par intermittence dans les ports ou à proximité immédiate. Ces bruits ont généralement un large spectre. Ces brouillages intermittents étaient dus en très grande partie à des bruits impulsifs à large spectre provenant de circuits d'allumage appartenant à des appareils de déchargement, de débarcadère ou de bord. Des bruits analogues ont fréquemment été enregistrés dans les automobiles et les camions sur les routes et les ponts proches des ports et des canaux. Un autre élément du bruit enregistré dans les ports est le bruit ambiant de la ville, dont l'amplitude varie d'un port à l'autre et également selon l'heure du jour. L'amplitude de ce bruit peut varier de 20 dB selon qu'il est mesuré un jour ouvrable ou un jour férié, l'amplitude étant moindre dans le deuxième cas. Se sont manifestés occasionnellement, le navire étant dans un port ou à son voisinage, des niveaux de densité de puissance du bruit de brouillage radioélectrique compris entre 20 et 30 dB au-dessus du niveau de densité de puissance de bruit ambiant du récepteur, celui-ci ayant un niveau de bruit de 3 dB. Une telle élévation du niveau de bruit ambiant apparent pourrait affecter gravement les seuils de fonctionnement sur les trajets. Au-delà de la distance de visibilité radioélectrique directe d'un port quelconque, la sensibilité du récepteur d'un navire, surtout si c'est un navire moderne, ne devrait pas être affectée par les brouillages radioélectriques.

### **8.1 Brouillages dus aux automobiles sur une autoroute**

L'amplitude maximale du bruit provenant du trafic intense de l'autoroute de Brooklyn atteint  $-150$  dB(mW/Hz) environ dans la bande 9. Pour effectuer cet essai, on a utilisé une antenne à cornet ayant un gain de 20 dB, orientée dans la direction de la source du bruit. Dans certaines conditions, le bruit artificiel provenant de la circulation automobile peut altérer le niveau de sensibilité du récepteur.

### **8.2 Bruits de chantier naval**

On a enregistré dans le chantier naval de Boston, en pleine activité au moment de la mesure, des bruits d'une amplitude maximale très élevée:  $-141$  dB(mW/Hz). Il s'agit là de bruits composites: bruits ambiants de la ville et bruits électromagnétiques à large spectre provenant d'appareils industriels. On a utilisé une antenne à cornet ayant un gain de 20 dB, orientée dans la direction de la source du bruit. Dans certaines conditions, les bruits de chantier naval peuvent altérer les niveaux de sensibilité du récepteur dans la bande 9.

### **8.3 Bruits de débarcadère**

On a noté l'existence, dans tous les ports, de bruits impulsifs à large spectre provenant de circuits d'allumage de moteurs à combustion appartenant à des appareils de déchargement. A Narragansett Bay, à 8 km de Portsmouth, Rhode Island (Etats-Unis d'Amérique), l'amplitude maximale de bruit enregistrée est d'environ  $-137$  dB(mW/Hz) dans la bande de réception du service mobile maritime par satellite. Provenant des grues de bord, on a enregistré des niveaux de bruit de  $-150$  dB(mW/Hz). On a utilisé une antenne à cornet ayant un gain de 20 dB, orientée dans la direction de la source du bruit.

## Références bibliographiques

- CLARKE, J. M., CANTOR, S. R., WINCHUS, J. J. et CAPORALE, A. L. [décembre 1974] Measurement and analysis of L-band (1 535-1 660 MHz), electromagnetic (EM) noise on ships. Final Report No. CG-D-50-75. US Department of Transportation, Washington, D.C. 20590, Etats-Unis d'Amérique.
- HAAKINSON, E. J. [octobre 1974] Spectrum resource assessment for the 1535-1660 MHz band (Addendum). OT Technical Memorandum 74-165-2, US Department of Commerce, Washington, D.C., Etats-Unis d'Amérique.
- HAAKINSON, E. J. et KIMBALL, H. G. [mars 1974] Spectrum resource assessment for the 1 535-1 660 MHz band. Phase II – Analysis. OT Technical Memorandum 74-165, US Department of Commerce, Washington, D.C., Etats-Unis d'Amérique.
- RCA [août 1974] In-harbour and at-sea electromagnetic compatibility survey for maritime satellite L-band shipboard terminal. RCA Service Corp. Contract NAS5-24035. National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., Etats-Unis d'Amérique.

## Bibliographie

- DUFF, W. C. et WHITE, D. R. J. [1972] *EMI Prediction and Analysis Techniques*. A Handbook Series on *Electromagnetic Interference and Compatibility*, Vol. 5, Germantown, Maryland, Etats-Unis d'Amérique.
-

## **SUPPLÉMENT 4**

### **Aspects techniques de la coordination entre systèmes du service mobile par satellite utilisant l'orbite des satellites géostationnaires**

#### **Résumé**

Le présent Supplément expose différents aspects techniques liés à la coordination entre systèmes du service mobile par satellite utilisant l'orbite des satellites géostationnaires. Un bref résumé des procédures de coordination prévues dans l'Article 9 du Règlement des radiocommunications est donné au § 1.2. La relation entre les différents stades de la conception des systèmes à satellites et la facilité de la coordination est expliquée. Les différents paramètres utiles pour la coordination des systèmes à satellites sont donnés au § 2. La méthode de coordination appliquée pour coordonner deux systèmes à satellites assurant ou non la même couverture est aussi exposée dans le présent Supplément. Enfin, l'incidence des progrès techniques sur les coordinations futures est brièvement décrite.

## **Aspects techniques de la coordination entre les systèmes du service mobile par satellite utilisant l'orbite des satellites géostationnaires**

### **1 Introduction**

#### **1.1 Objectifs et portée**

Avant qu'une administration ne notifie au Bureau des radiocommunications (BR) des assignations de fréquence nouvelles ou modifiées concernant un système mobile à satellites, elle doit se conformer à ses obligations en matière de publication anticipée et de procédure de coordination au titre de l'Article 9 du Règlement des radiocommunications. Ces procédures ont pour objet d'assurer que les assignations proposées ne causeront pas de brouillage inacceptable aux systèmes spatiaux et aux systèmes de Terre existants ou en projet.

Les procédures de l'Article 9 indiquent la séquence des interactions où interviennent l'administration notificatrice, les administrations affectées et le BR, mais ne concernent pas les aspects techniques de la coordination. L'objet du présent rapport est de traiter des aspects techniques de la coordination en décrivant les paramètres de conception et d'exploitation qui peuvent être ajustés pour atteindre l'objectif des procédures de l'Article 9 et en illustrant comment ces paramètres peuvent être ajustés dans la pratique.

L'examen et les exemples sont limités aux systèmes conçus pour fonctionner sur les fréquences attribuées au service mobile par satellite (SMS) dans la bande 1 525-1 559 MHz (liaison descendante) et dans la bande 1 626,5-1 660,5 MHz (liaison montante) et ne concernent pas la coordination de ces systèmes avec des stations de Terre.

#### **1.2 Résumé des procédures de publication anticipée et de coordination de l'Article 9**

La procédure de publication anticipée décrite à la Section I de l'Article 9 du RR a lieu avant la procédure de coordination officielle décrite dans la Section II du même Article. Cette procédure veut que l'administration qui propose des assignations de fréquence nouvelles ou modifiées pour un système à satellites communique au BR les caractéristiques du réseau énumérées dans l'Appendice 4 du RR afin qu'elles puissent être publiées pour que les administrations les examinent et formulent des observations éventuelles en ce qui concerne les effets sur leurs services de radio-communications spatiales.

Il est stipulé dans le Règlement des radiocommunications que si de telles observations sont reçues dans un délai de quatre mois suivant la publication anticipée, l'administration proposant des assignations nouvelles ou modifiées se doit, en premier lieu, d'évaluer tous les moyens possibles pour ramener les brouillages à des niveaux acceptables, en intervenant au niveau de la conception et de la mise en œuvre du système proposé. Si aucun moyen n'est trouvé, l'administration peut rechercher la coopération des administrations susceptibles d'être affectées pour trouver une solution.

La procédure de coordination et les conditions de son application figurent dans la Section II de l'Article 9 du RR. La coordination est, en premier lieu, nécessaire si le brouillage causé par le nouveau système fait augmenter la température de bruit équivalente  $T$  d'un autre système à satellites au-delà d'une valeur  $\Delta T$  fixée dans l'Appendice 8 du RR dans les conditions les plus défavorables.

Le seuil de puissance de brouillage qui déclenche la coordination en vertu de l'Appendice 8 peut être inférieur à celui jugé acceptable par un fournisseur de services donné. Aussi doit-on éventuellement modifier les paramètres de conception et de fonctionnement du système considéré pour pouvoir réduire le brouillage.

Si des ajustements du système sont nécessaires pour respecter les critères de brouillage acceptable dont les administrations concernées ont convenu, on cherche à définir les possibilités existantes pendant le processus de coordination. Ce sont notamment le déplacement d'une ou de plusieurs stations spatiales ainsi que la modification des émissions, des fréquences ou d'autres caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes, comme indiqué au § 2.

### **1.3 Importance du stade de développement du système à satellites**

Avant d'examiner comment l'ajustement des caractéristiques de conception et d'exploitation permet de réduire le brouillage entre systèmes, il convient de noter que la mesure dans laquelle les paramètres d'un système donné peuvent être modifiés dépend des caractéristiques spécifiques de ce système et de son stade de développement. On distingue quatre phases dans le développement d'un système à satellites:

- Conception initiale: Cette phase va jusqu'au moment où les valeurs préférées des paramètres techniques requises au titre de l'Appendice 4 du RR, notamment l'emplacement orbital et la fréquence, ont été fixées.
- Mise en œuvre: Cette phase débute par l'étude détaillée et la construction du satellite et des stations terriennes associées, et se termine par le lancement du satellite. Elle s'étend généralement sur plusieurs années.
- Exploitation: Le satellite a été construit, lancé, et fonctionne depuis un emplacement orbital donné avec le secteur terrien qui lui est associé.
- Satellite de deuxième génération ou de remplacement: Au cours de la durée de vie utile du satellite de première génération, on conçoit et construit normalement un satellite de remplacement. Au moment de son lancement, un vaste réseau de stations terriennes est en place et il peut être nécessaire de tenir compte d'un certain nombre de paramètres de transmission connexes afin d'assurer la continuité du service.

Le moment le plus opportun pour ajuster une des caractéristiques de conception ou d'exploitation se situe au cours de la phase initiale de conception. Souvent, le réseau concerné peut avoir atteint la phase de mise en œuvre avant que la procédure de coordination n'aboutisse à des accords. Les autres systèmes éventuellement touchés peuvent être dans n'importe laquelle des quatre phases de développement.

Il est encore possible d'ajuster les caractéristiques de conception d'exploitation des systèmes qui ont atteint la phase de mise en œuvre, mais les possibilités diminuent à mesure que la date du lancement approche.

Les systèmes qui ont atteint le stade de l'exploitation comportent de nombreux paramètres qui sont définitifs ou qui ne peuvent être modifiés qu'au prix de dépenses importantes. Toutefois, certains d'entre eux présentent, intrinsèquement une certaine souplesse (changement du pointage du faisceau, réglage du gain des répéteurs, bande passante programmable, etc.). En général, les systèmes du service mobile par satellite ont une grande souplesse, ce qui permet de résoudre les problèmes de brouillage en aménageant, au minimum, les plans de fréquences, indépendamment de la phase de développement du système, de la conception jusqu'à l'exploitation.

Les satellites de remplacement destinés à un système existant présentent une partie de la souplesse d'adaptation propre aux trois premières phases. Bien qu'il puisse être nécessaire de conserver un

certain nombre de caractéristiques de transmission, il est possible d'introduire des changements de conception pour réduire les risques de brouillage. Dans la pratique, une longue période est nécessaire pour l'adaptation des stations terriennes, conjointement avec les calendriers de maintenance, de réaménagement de remplacement, ou pour mettre fin aux services périmés.

#### **1.4 Hétérogénéité des liaisons dans les systèmes du service mobile par satellite**

L'adaptation des paramètres du système pour satisfaire aux critères de brouillage peut être plus complexe en cas de manque d'homogénéité notable entre les liaisons du SMS considérées, par exemple, entre des liaisons fonctionnant avec des antennes de satellite à couverture globale de la Terre et des liaisons qui fonctionnent avec des antennes de satellite à faisceaux ponctuels.

En plus de ces hétérogénéités de liaisons, les systèmes du service mobile par satellite peuvent avoir à fonctionner avec des porteuses différentes selon le type de message, le débit binaire ou la largeur de la bande de base, la méthode de modulation, la technique d'accès multiple et d'autres paramètres.

## **2 Paramètres de coordination**

La caractéristique de conception du système et les paramètres d'exploitation à prendre en considération pour la coordination englobent pratiquement tout paramètre pouvant avoir une incidence sur le brouillage entre systèmes. Les paramètres considérés dans la présente section sont les suivants:

- critères de brouillage admissible et de brouillage accepté;
- plan des fréquences des répéteurs et plan des polarisations;
- plan des fréquences porteuses;
- zone de couverture et zone de service des antennes de satellite;
- discrimination de l'antenne des stations terriennes;
- commande de puissance des stations terriennes;
- gain des répéteurs et p.i.r.e. du satellite;
- positions orbitales;
- horaire d'exploitation.

### **2.1 Critères de brouillage admissible et de brouillage accepté**

Deux types de niveau de brouillage sont définis dans le Règlement des radiocommunications pour les besoins de la coordination des assignations de fréquence entre les administrations. Le «brouillage admissible» est celui qui satisfait aux niveaux de brouillage et aux critères quantitatifs de partage fixés dans le Règlement des radiocommunications ou dans les Recommandations de l'UIT-R ou encore dans des accords particuliers dont la possibilité est prévue dans le Règlement des radiocommunications. Le «brouillage accepté» est un brouillage supérieur à celui défini comme étant admissible, qui a fait l'objet d'un accord entre deux ou plusieurs administrations sans porter préjudice aux autres administrations. Le Rapport UIT-R M.1179-1 présente une méthode pour déterminer les niveaux de brouillage admissible.

Lorsqu'ils sont utilisés comme «objectifs de brouillage» dans la planification globale du système, les critères de brouillage à prendre en considération sont ceux qui s'appliquent au brouillage total ou cumulatif provenant de toutes les sources, au sein du système et entre systèmes. Toutefois, comme la coordination se fait en général sur une base bilatérale, le critère de brouillage utilisé pour la coordination est celui pour une seule source de brouillage dans le cas d'un brouillage entre systèmes. Les critères pour une seule source de brouillage doivent être choisis de façon à être

respectés individuellement par chaque système brouilleur et le brouillage total ne dépasse pas les niveaux correspondant au critère de brouillage cumulatif entre systèmes.

En l'absence de Recommandations UIT-R spécifiant le critère pour une seule source de brouillage applicable au brouillage admissible entre systèmes, chaque administration est libre, dans son activité de coordination, de spécifier les niveaux de brouillage admissible et de brouillage accepté qu'elle estime nécessaires pour protéger les canaux utilisés par son système. Toutefois, ces niveaux peuvent être corrigés au cours de la coordination. Cette dernière sera facilitée par une certaine souplesse dans deux domaines: le rapport entre le niveau de brouillage cumulatif et le niveau de brouillage pour une seule source de brouillage, et la différence entre les critères de brouillage accepté et de brouillage admissible.

Il est éventuellement possible d'assouplir le critère de brouillage pour une seule source de brouillage dans les cas où le rapport supposé entre la puissance de brouillage cumulatif et la puissance de brouillage pour une seule source de brouillage a été placé trop haut par excès de prudence, à condition toutefois que le critère de brouillage cumulatif soit respecté.

En ce qui concerne la différence entre le brouillage accepté et le brouillage admissible, les liaisons de certains systèmes peuvent, dans la réalité, assurer des marges de qualité de fonctionnement supérieures à celles des liaisons représentatives sur lesquelles sont fondés les critères de brouillage admissible, ce qui permettrait peut-être d'accepter ultérieurement des niveaux de brouillage global plus élevés répondant toujours aux objectifs de qualité. Toutefois, les capacités de crête ou les marges de liaison sont, dans le cas des satellites limités en puissance, réduites à mesure que le brouillage cumulatif augmente. L'acceptation de critères moins stricts pour le niveau de brouillage cumulatif est bien entendu essentiellement une question qu'il convient de décider au cours de la coordination et de ne pas prendre en considération lors de la planification du système qui a lieu avant la coordination.

## **2.2 Plan des fréquences des répéteurs et des polarisations**

Le plan des fréquences et des polarisations d'un système à satellites a pour objet de fixer les bandes passantes des répéteurs et la polarisation des antennes de réception et d'émission auxquelles chacun de ces répondeurs est, ou peut être, connecté. Les bandes passantes des répondeurs peuvent se recouvrir partiellement (par exemple dans le cas de faisceaux non chevauchants dans un satellite à multiples faisceaux). En principe, le plan des fréquences et des polarisations peut être choisi de manière à faciliter la réutilisation des fréquences tant à l'intérieur du système qu'entre les systèmes.

Dans la pratique, toutefois, il n'existe pas de plan des fréquences et de polarisations pour le SMS. Par ailleurs, si la discrimination de polarisation peut apporter une certaine réduction du brouillage dans certains cas, les stations terriennes mobiles ne peuvent pas généralement être conçues pour tirer profit de cette amélioration théorique pour diverses raisons (performances d'antenne insuffisantes, dépolarisation due aux trajets multiples et nécessité d'une interopérabilité entre systèmes).

Les administrations ont toutefois la possibilité, pendant la publication anticipée et la coordination, de redéfinir le plan des répéteurs d'un système afin de réduire le brouillage subi par d'autres systèmes. De même, il est éventuellement possible de négocier les contraintes relatives à l'utilisation du plan des répéteurs d'un système en exploitation afin de respecter les critères de brouillage accepté.

Lorsqu'on prévoit, par exemple, que des signaux brouilleurs d'un autre système risquent d'imposer une charge inacceptable aux émetteurs des liaisons de connexion descendantes, il est possible de négocier les contraintes du plan des fréquences des porteuses (voir le § 2.3 ci-dessous) pour le

système brouilleur ou celles du plan des répéteurs pour le système brouillé pour remédier au problème. On peut prévoir statistiquement les niveaux de charge et les utiliser pour déterminer la mesure dans laquelle il convient d'imposer des restrictions aux plans des fréquences porteuses ou aux plans des répéteurs.

Si les répéteurs sont à bande passante programmable, on peut éventuellement accepter des restrictions concernant les paramètres de la bande passante pour remédier aux problèmes de charge des répéteurs. Il s'agit d'une technique particulièrement prometteuse pour les satellites à faisceaux multiples dans la mesure où des contraintes ne doivent être imposées qu'à certains des faisceaux. Un autre avantage est que la bande passante programmable permet d'apporter des modifications au plan des répéteurs lorsque le système est déjà en exploitation.

### **2.3 Plan des fréquences porteuses**

Le plan de fréquences porteuses d'un système à satellites fixe les fréquences à l'intérieur de la bande passante des répéteurs qu'il convient d'utiliser pour chaque type de porteuse assurée par le système. Les systèmes mobiles à satellites utilisent en général plusieurs types de porteuse pour plusieurs types de station terrienne. En conséquence, lorsqu'on analyse le brouillage entre deux de ces systèmes, il y a lieu de prendre en considération un grand nombre de combinaisons de liaisons.

Certains satellites, par exemple, comporteront plus de 10 types de porteuses différentes dont certaines seront transmises par plusieurs types de station terrienne mobile. L'évaluation des interactions entre toutes les liaisons peut être facilitée par l'emploi de logiciels.

Dans une situation typique de partage, certaines interactions éventuelles entre liaisons cocanal peuvent s'avérer dès le départ conformes au critère de brouillage admissible. Si le nombre de liaisons problématiques est petit (une ou deux, par exemple), la planification des fréquences porteuses est une possibilité qu'il convient réellement d'envisager.

A titre d'exemple, considérons un problème de partage dans le même canal entre une liaison unique et quelques-unes des liaisons d'un autre système. On peut accepter une contrainte de fonctionnement simple si les interactions sont évitées en acceptant de respecter les contraintes nécessaires au niveau de l'assignation des canaux. Dans des systèmes à accès multiple avec assignation à la demande (DAMA) on peut, pour ce faire, mettre en œuvre des sécurités d'assignation de fréquence appropriées dans le logiciel DAMA.

Pour les liaisons qui ne peuvent partager de fréquences dans un même canal, il faudra se conformer au plan des fréquences porteuses qui prévoit un certain décalage de fréquence par rapport aux fréquences problématiques. Là aussi la solution peut être trouvée sous la forme de commandes de logiciel d'assignation des canaux à l'intérieur du plan des fréquences du système.

### **2.4 Zone de couverture et zone de service des antennes de satellite**

La ou les zones de service d'un système à satellites sont les zones géographiques à l'intérieur desquelles les stations terriennes associées à ce système censées fonctionner avec un rapport signal/bruit bien précis et une protection spécifiée contre les brouillages d'autres systèmes. La zone de couverture est la zone géographique à l'intérieur de laquelle le rapport signal/bruit est conforme aux spécifications. Dans les systèmes à faisceau unique, la zone de couverture englobe généralement l'ensemble de la zone de service. Dans les systèmes à faisceaux multiples, les couvertures de faisceau individuelles seront plus petites que la zone de service mais ensemble elles l'engloberont complètement.

La discrimination que les antennes de satellite peuvent assurer dans les cas de systèmes ayant des zones de service qui ne se recouvrent pas peut être suffisante pour permettre un partage sans contrainte du même canal. Dans d'autres cas, les interactions entre chaque faisceau d'un système et les divers types de liaison et de station terrienne mobile de l'autre système doivent être examinées individuellement. Le ou les faisceaux d'antenne du satellite d'un système sont étudiés en fonction de la ou des zones de service de l'autre.

On utilise souvent, lors des analyses de brouillage, des diagrammes de rayonnement de référence d'antennes représentatives; toutefois, les diagrammes de rayonnement réels offrent souvent une discrimination plus grande que les diagrammes de référence. Dans certains cas, on peut concevoir des antennes de satellite ayant des niveaux des lobes latéraux très réduits dans la direction des zones de service non chevauchantes d'autres systèmes.

Les satellites à faisceaux multiples peuvent également présenter des possibilités pour obtenir des discriminations des antennes de satellite plus élevées propres à faciliter la coordination. L'augmentation de la discrimination peut être obtenue de la manière suivante:

- par réaménagement ou repositionnement des faisceaux, aussi longtemps que la zone de service composite reste correctement couverte;
- par diminution des dimensions des faisceaux afin d'accélérer la diminution du gain avec l'augmentation de l'angle par rapport à l'axe principal;
- par repositionnement de l'ensemble du réseau de faisceaux par réglage de l'angle de balayage ou de l'angle de rotation;
- par repositionnement des faisceaux et réduction de leur nombre, éventuellement avec quelques sacrifices au niveau de la qualité au bord de la zone de service composite;
- par réduction maximale du gain, spécifiquement vers la ou les zones de service touchées d'autres systèmes, consécutive à l'optimisation de la conception de l'antenne.

## **2.5 Discrimination de l'antenne des stations terriennes**

On utilise fréquemment, pour les besoins de la coordination, des diagrammes de rayonnement de référence pour des antennes représentatives des stations terriennes. Toutefois, on peut aussi utiliser des diagrammes mesurés, mais avec certaines précautions, car la distorsion du diagramme de rayonnement de champ lointain pouvant résulter d'objets proches de l'antenne (véhicules ou camions, par exemple) doit être prise en compte. Lors de la coordination, il convient de prendre en compte les zones de service de chaque type de station terrienne mobile par rapport au(x) faisceau(x) d'autres systèmes.

## **2.6 Régulation de puissance des stations terriennes**

Certains types de station terrienne mobile peuvent être dotés d'un système de régulation de puissance, de telle sorte que le niveau de p.i.r.e. de la liaison montante reste sous le contrôle du système dans lequel ils fonctionnent. Les systèmes utilisant en outre des répéteurs linéaires pourraient éventuellement s'accommoder de certaines contraintes dans l'algorithme de commande du niveau de puissance des stations terriennes mobiles. Dans certains cas, le gain du répéteur peut être ajusté pour compenser cette contrainte. On peut éventuellement imposer des contraintes mineures à la p.i.r.e. qui peuvent effectivement réduire le brouillage causé ou subi. Cette évaluation se fait porteuse par porteuse et faisceau par faisceau.

## **2.7 Gain des répéteurs et p.i.r.e. du satellite**

Lorsque les niveaux de puissance totaux des signaux brouilleurs des stations terriennes mobiles fonctionnant dans d'autres systèmes risquent d'imposer une charge à la liaison retour par satellite en raison d'un chevauchement des plans des fréquences porteuses, il peut être nécessaire de limiter les réglages de gain de répéteur afin d'abaisser autant que possible la perte de puissance résultant de cette charge. Toutefois, la pratique habituelle de réglage du gain des répéteurs peut éventuellement supprimer la nécessité de faire ces réglages spéciaux.

De même, afin d'assurer une bonne réception au niveau des stations terriennes mobiles, les niveaux de p.i.r.e. de satellite utilisés sur les liaisons de service descendantes dans le sens aller doivent être maintenus aux valeurs préalablement fixées ou au-dessus. Toutefois, quand le niveau du trafic passant par le satellite est bien inférieur à la capacité crête du système, on peut observer un niveau de p.i.r.e. inutilement élevé sur la liaison descendante. Le brouillage sur la liaison descendante peut être limité en réglant le gain afin de limiter la p.i.r.e. maximale à utiliser sur les porteuses de la liaison descendante. Pour un type de liaison descendante donné, l'écart entre les p.i.r.e. minimale et maximale ne peut être ramené au-dessous d'une certaine valeur en raison des tolérances nécessaires dans le réglage des niveaux de p.i.r.e. de la liaison de connexion montante et le gain de répéteur.

## **2.8 Positions orbitales**

Le brouillage des liaisons vers et depuis les stations terriennes mobiles ne diminue pas beaucoup tant que l'espacement des satellites n'est pas supérieur à la moitié de l'ouverture à mi-puissance du faisceau des stations terriennes. Néanmoins, il est possible d'éliminer les interactions gênantes d'antennes de stations terriennes à gain moyen ou élevé en modifiant l'espacement orbital. Dans le cas de stations terriennes à faible gain, la possibilité d'y parvenir est évidemment considérablement réduite.

La position orbitale peut aussi améliorer l'isolement des satellites, dans les circonstances exceptionnelles suivantes:

- dans le cas d'un satellite ayant un faisceau d'antenne à couverture terrestre globale, on peut éventuellement maintenir la couverture de la zone de service depuis d'autres positions orbitales tout en réduisant le chevauchement de la zone de couverture et de la ou des zones de service d'autres systèmes;
- dans le cas de satellites en projet à faisceaux multiples, il est éventuellement possible de réduire, voire d'éliminer les chevauchements entre la ou les zones de couverture d'un système et la ou les zones de couverture d'un autre pour autant que la couverture puisse varier en fonction des modifications de la position du satellite.

## **2.9 Horaire d'exploitation**

Si les crêtes de trafic de deux systèmes ne surviennent pas au même moment, on peut éventuellement envisager l'accès en temps partagé à des tranches communes du spectre. Cela peut être facilité par l'emploi d'une liaison de communications d'interconnexion entre les deux systèmes.

## **3 Méthode de coordination**

Ainsi qu'il est indiqué précédemment, les procédures de l'Article 9 du RR pour la publication anticipée et la coordination constituent uniquement des méthodes pour déterminer à quel moment il convient d'appliquer les procédures, quelles sont les administrations affectées, le type d'information à échanger ainsi que la séquence et les dates d'échange d'information. La méthode permettant de décider s'il est nécessaire d'ajuster les paramètres techniques et d'exploitation des systèmes

impliqués dans le processus de coordination est laissée à la discrétion des administrations concernées. La présente section présente les méthodes applicables au cours de la coordination technique.

### 3.1 Hypothèses

On part de l'hypothèse qu'il convient de coordonner au moins quelques assignations de fréquence proposées pour un nouveau système mobile à satellites «B» avec celles d'un système mobile à satellites «A» qui est déjà au stade de la coordination ou de l'exploitation. Même si le système «B» devra peut-être être coordonné avec plusieurs autres systèmes, et s'il faudra peut-être tenir, au besoin, des réunions de coordination multilatérales, la coordination se fait généralement sur une base bilatérale.

On suppose également que les renseignements obligatoires et les renseignements détaillés concernant les caractéristiques énumérées dans l'Appendice 4 du Règlement des radiocommunications ont été fournis pour le système «A» et que les renseignements correspondants pour le système «B» ont également été publiés. La souplesse des ajustements des caractéristiques de ces deux systèmes au cours du processus de coordination dépend des phases de développement des systèmes décrites au § 1.3.

On suppose que le système «B» est au stade final de la conception ou au début de la phase de mise en œuvre, alors que le système «A» est au stade final de la mise en œuvre ou au stade de l'exploitation. Ainsi, l'administration responsable du système «B» (l'«administration notificatrice») bénéficiera généralement d'une plus grande souplesse au niveau de l'ajustement des paramètres que l'administration du système «A» (l'«administration affectée»), mais cela ne supprime pas les responsabilités de cette dernière au niveau des ajustements possibles.

### 3.2 Le processus de coordination

Comme dans le cas du service fixe par satellite (SFS), le processus de coordination du SMS peut être scindé en trois phases:

*Phase 1* – Evaluation des interactions des transmissions des systèmes en question (A et B) en fonction des critères de brouillage préalablement fixés. Si l'on prévoit des niveaux de brouillage inacceptables, il convient de passer à la phase 2; dans le cas contraire, les administrations peuvent décider qu'aucun ajustement des caractéristiques de conception du système n'est requis.

*Phase 2* – Ajustement des paramètres techniques et d'exploitation qui pourraient contribuer à la résolution complète ou partielle des problèmes de brouillage identifiés au cours de la phase 1. Toutefois, tout ajustement fait au cours de cette phase ne doit pas imposer à l'un des systèmes des contraintes pour ce qui est du mode de fonctionnement existant ou prévu, du type, de la répartition ou de la qualité des services.

*Phase 3* – Examen et négociation d'autres ajustements et limitation des paramètres de l'un ou des deux systèmes si les problèmes de brouillage n'ont pu être résolus au cours de la phase 2. De telles modifications peuvent avoir un effet sur la souplesse d'exploitation, de même que sur les possibilités d'évolution futures de l'un des systèmes ou des deux.

### 3.3 Identification des interactions significatives

Pour exécuter la première phase de la coordination, il convient d'identifier où se produira le plus probablement le brouillage entre les systèmes A et B. Chaque bande ou segment de bande commun aux deux systèmes doit être examiné pour chaque faisceau de satellite dans les deux secteurs spatiaux. Il convient d'examiner toutes les configurations de fonctionnement possibles.

En examinant les diverses liaisons des deux systèmes comme indiqué dans le § 1.4, il est souhaitable, en premier lieu, de comparer leur vulnérabilité au brouillage et l'effet relatif sur les niveaux de brouillage obtenu par l'ajustement des paramètres des liaisons.

### **3.3.1 Liaison de connexion/liaison de service**

En principe, la coordination peut nécessiter la modification de divers paramètres des liaisons de connexion ou des liaisons de service. En premier lieu, il est généralement souhaitable de se concentrer sur la coordination des liaisons de service. La raison en est que les liaisons de connexion utilisent généralement de relativement grandes antennes de station terrienne avec une discrimination élevée du satellite adjacent et que le brouillage est très dépendant des paramètres de la liaison de service.

### **3.3.2 Liaison aller/liaison retour de service**

En raison des grandes différences des caractéristiques d'émission et de réception d'un satellite et d'une station terrienne mobile, les ajustements de la plupart des paramètres décrits à la section 2 peuvent toucher différemment les liaisons de service aller et retour. Certains n'auront d'effet que sur la liaison aller (station spatiale vers station mobile) ou sur la liaison retour (station mobile vers station spatiale).

## **3.4 Ajustement des paramètres techniques et de fonctionnement**

Le Tableau I est un résumé de l'utilité et des avantages des ajustements de paramètres et des limites imposées au cours du processus de coordination. L'opportunité est jugée en fonction du stade de développement, alors que l'avantage est décrit séparément pour les liaisons aller et retour des deux systèmes.

Pour illustrer la manière dont les paramètres des liaisons de service peuvent être ajustés au cours de la deuxième et de la troisième phase de coordination, on considère deux cas fondamentaux:

- couvertures distinctes: les réseaux à satellite desservent des zones géographiques distinctes;
- couverture commune: les réseaux à satellite desservent des zones de service qui se recouvrent partiellement.

Compte tenu du cas qui s'applique à chacun des systèmes A et B et de la probabilité pour que le brouillage principal se produise sur la liaison aller ou la liaison retour, on peut faire une première évaluation de l'utilité et des avantages des divers ajustements des paramètres des systèmes.

### **3.4.1 Couvertures distinctes**

Si les systèmes A et B couvrent des zones de service distinctes, mais s'il a été établi qu'il y aura néanmoins un problème de brouillage, l'administration B pourra souhaiter se concentrer en premier lieu sur la conception des antennes de satellite. L'objectif serait de modifier ou de limiter la couverture des antennes afin qu'elle soit plus exactement adaptée à la zone de service tout en réalisant un plus grand isolement entre les systèmes dans la direction de la zone de service du système A. Cela n'est valable que dans la phase de conception et éventuellement au début de la phase de mise en œuvre du système B. L'ajustement de la couverture des antennes du satellite du système B, qui est en principe en fin de phase de mise en œuvre ou en phase d'exploitation, n'est possible en général que si le satellite est doté d'antennes à faisceaux ponctuels programmables ou orientables.

TABLEAU 1

**Opportunité et avantages généraux des ajustements et des limitations imposés aux paramètres des systèmes**

Paramètre à ajuster	Opportunité en fonction du stade de développement du système				Avantage de la réduction du brouillage	
	Conception	Mise en œuvre	Exploitation	Satellite de remplacement (2 <sup>e</sup> génération)	Liaison aller	Liaison retour
Critère de brouillage acceptable	M-H	M-H	M-H	M-H	M	M
Bande passante des répéteurs	M-H	M	L*	M-H	L	M
Polarisation	M-H	M	L	L	L	L
Plan des fréquences porteuses	H	H	M	M	H	H
Couverture des antennes des satellites	H	M	L	H	CC:L NCC:M-H	CC:L NCC:M-H
Zones de service des satellites	L	L	L	L	CC:L NCC:M	CC:L NCC:M
Discrimination des antennes des stations terriennes mobiles	M	L-M	L	L	L	L-M
p.i.r.e. des stations terriennes (régulation de puissance)	M	M	L-M	M	M	M
Gain des répéteurs et p.i.r.e. des satellites	M	M	M	M	M	L
Position orbitale	M	L-M	L	L	CC:L NCC:L-M	CC:L NCC:L-M
Horaire d'exploitation	L-M	L-M	L-M	L-M	H	H

H = élevé; M = moyenne; L = faible ou nulle; CC = couverture commune; NCC = couvertures distinctes.

\* Seulement en cas de bande passante programmable.

Dans les cas des couvertures distinctes où l'on prévoit que le système B causera un brouillage inacceptable au système A sur la liaison aller seulement, il est possible de modifier la p.i.r.e. du satellite de l'un des deux systèmes ou des deux afin d'obtenir un rapport porteuse/bruit + brouillage satisfaisant sans nuire exagérément à la qualité.

Dans certains cas de couvertures distinctes, on peut améliorer la discrimination en modifiant la position envisagée du satellite B ou la position existante du satellite A afin d'accroître l'espacement orbital. Etant donné la directivité limitée de la plupart des antennes de stations terriennes mobiles, ce choix n'aura qu'un effet modéré sur le brouillage entre les systèmes A et B, et il doit donc être envisagé qu'en dernier recours. Toutefois, pour surmonter un problème de brouillage, le déplacement de la position orbitale peut être une solution intéressante en ce sens qu'elle a peu d'effet sur le coût du développement ou l'horaire de fonctionnement du système B.

Certaines options décrites dans le § 2 ne sont pas nécessairement requises dans le cas des couvertures distinctes, si l'on peut obtenir l'isolement souhaité par la discrimination des antennes de satellite. Toutefois, si le problème de brouillage est grave, les administrations peuvent avoir à recourir à l'entrelacement des fréquences ou à d'autres options.

### **3.4.2 Couverture commune**

En cas de couverture commune, l'isolement total possible entre les systèmes sur les liaisons de service est bien entendu inférieur à celui obtenu dans le cas des couvertures distinctes étant donné que c'est une même région géographique (ou une partie de celle-ci) qui est desservie à la fois par les systèmes A et B. Si le système B est encore au stade de la conception et si l'on prévoit un brouillage inacceptable entre les systèmes, on peut envisager des modifications du plan des fréquences/polarisations afin, par exemple, d'entrelacer les bandes passantes des répéteurs avec celles du système A.

On peut aussi envisager, pour limiter le brouillage entre les systèmes, d'apporter des modifications aux plans des fréquences porteuses. L'entrelacement des canaux peut abaisser le rapport de protection requis entre les systèmes, et le placement des porteuses peut être prévu de manière à réduire l'intermodulation. L'entrelacement des canaux des deux systèmes (combiné éventuellement à une adaptation de la p.i.r.e. du satellite) peut être suffisant pour résoudre le problème de brouillage.

En cas de couverture commune, les modifications de conception touchant la couverture de l'antenne du satellite ont peu ou pas d'intérêt, ni sur la liaison aller ni sur la liaison retour, à moins qu'une administration ne choisisse de limiter ou de modifier la zone de service en cas de recouvrement partiel. Le bénéfice en est faible.

## **4 Effets de l'évolution de la technique sur les coordinations futures**

De nombreux progrès de la technique ayant pour objet d'améliorer la qualité obtenue dans les systèmes mobiles à satellites peuvent également avoir pour effet de favoriser la compatibilité entre ces systèmes et d'améliorer les résultats de coordination. Aussi la capacité de la ressource orbite/spectre pour répondre aux besoins futurs sera généralement en progression.

Les méthodes de modulation efficaces au niveau de l'utilisation du spectre et les codecs vocaux à faible débit devraient permettre d'obtenir une largeur de bande plus faible des canaux ou une plus grande tolérance au brouillage qui permettra à son tour une plus grande souplesse au niveau de la planification des fréquences. Les techniques d'accès multiple, telles que l'accès multiple par différence de code (AMDC), faisant appel à la modulation à étalement du spectre, peuvent aboutir à une plus grande tolérance au brouillage dans le cas des systèmes mobiles à satellites.

La linéarisation des répéteurs diminuera le bruit à l'intérieur des systèmes (l'intermodulation, par exemple) et l'augmentation qui en résulte au niveau des marges permettrait peut-être d'accepter des niveaux de puissance du brouillage plus élevés. Les antennes des satellites à faisceaux multiples utilisant des faisceaux plus petits et la réduction des niveaux des lobes latéraux permettront une meilleure adéquation entre les zones de couverture et les zones de service, ce qui se traduira par un meilleur isolement des systèmes. Les futurs concepts de planification souple à faisceaux ponctuels devraient permettre l'attribution dynamique des fréquences et des puissances aux faisceaux tout en assurant une utilisation efficace du spectre.

L'utilisation généralisée d'antennes de stations terriennes mobiles à gain moyen à élevé peut améliorer la compatibilité lorsqu'une séparation appropriée des satellites peut être obtenue. Bien qu'ils ne soient pas nécessairement axés sur l'amélioration de la coordination, ces progrès peuvent avoir un effet positif et améliorer la compatibilité entre les systèmes. Les activités de coordination futures pourraient donc en être simplifiées.

## **5 Conclusions**

La publication anticipée et la coordination des assignations de fréquence pour les systèmes mobiles à satellites permettent d'identifier, par un examen détaillé, les interactions produisant des brouillages inacceptables. Plusieurs paramètres de conception et/ou de fonctionnement peuvent être ajustés, pendant les différentes phases de développement des systèmes, pour réduire les brouillages identifiés; mais il convient de noter que, dans le cas des systèmes existants, certains paramètres des satellites ne peuvent être modifiés avant le remplacement des systèmes.

Les nouvelles techniques devraient permettre d'atteindre une plus grande qualité en termes de capacité tout en améliorant la compatibilité entre les systèmes et de réduire ainsi la nécessité pour les administrations de consentir des adaptations pendant la coordination. Tous les opérateurs de systèmes mobiles à satellites ont dès lors, la responsabilité de conférer à leurs systèmes la souplesse suffisante pour faciliter le processus de coordination.

---







\* 3 0 9 9 7 \*

Imprimé en Suisse  
Genève, 2008  
ISBN 92-61-12162-4