

RAPPORT UIT-R M.921-3

Exemples fondamentaux de conception des stations terriennes numériques de navire

(1982-1986-1990-2004)

1 Introduction

Le présent Rapport porte sur un certain nombre d'aspects techniques liés aux caractéristiques des systèmes et des voies de télécommunication et destinés à des standards 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 système initial de télécommunication du service maritime par satellite a été conçu pour fonctionner avec des stations terriennes de navire de rapport G/T égal à $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$. On pensait que les standards 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 Rapport

Standard de la station terrienne de navire	Gain d'antenne (dBi)	G/T (dB(K ⁻¹))	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 terre vers navire et 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 un terminal de G/T égal à $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ moyennant une augmentation de la p.i.r.e. du satellite par voie. Cette mesure aurait toutefois pour conséquence de réduire la capacité en voies du système, les communications du service maritime par satellite figurant dans le Tableau 1 étant limitées en puissance.

Dans le sens navire vers terre, on pourrait obtenir la même qualité en augmentant la puissance fournie par une station terrienne de navire à faible rapport G/T , mais cela donnerait lieu à un risque de rayonnement et de brouillage accru aux autres satellites maritimes.

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

Les concepts désignés par le standard B et le standard C ont été envisagés pour fournir des possibilités d'émission et de réception basées sur des techniques de modulation et de codage numériques, alors que le système de standard 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 standard 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 oeuvre de la régulation de puissance adaptative et les procédures d'identification des satellites à faisceau ponctuel. Dans le système de standard 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.

On trouvera dans l'Annexe 1 la description d'une station terrienne de navire numérique en cours d'élaboration (semblable au système de standard B envisagé) avec des valeurs du rapport G/T de $-10 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ et $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$. L'Annexe 2 décrit les caractéristiques d'une station terrienne de navire à faible rapport G/T ($G/T = -13 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) équipée d'une voie de vocodeur à 2 400 bit/s. L'Annexe 3 traite du concept de système d'appel de groupe amélioré. L'Annexe 4 décrit les résultats expérimentaux obtenus pour une correction d'erreur sans voie de retour (CED) destinée à compenser les évanouissements dus aux trajets multiples.

L'Annexe 5 donne une description plus détaillée du standard C du système Inmarsat.

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 standard B était un moyen de pourvoir au remplacement des stations terriennes de navire de standard 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 la télégraphie, 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 standard B continuerait à offrir les autres possibilités propres au standard 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, le fonctionnement multivoies et toute une gamme de services de transmission de données à 16 kbit/s ou plus.

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 le standard A (voir la Recommandation UIT-R M.547), on a supposé que l'objectif de conception pour le standard B assurerait une téléphonie de bonne qualité dans des conditions nominales au moins équivalentes (subjectivement) au système MF avec compression-extension du standard 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 le standard 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 le standard A.

La mise en oeuvre 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 oeuvre 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 1×10^{-2} et 1×10^{-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.

Les renseignements disponibles à ce moment-là ont donné à penser que la qualité subjective de la parole que l'on peut obtenir au moyen de techniques de vocodeur à faible débit ne permettait pas encore d'atteindre les objectifs de qualité souhaités, et que ce problème devait faire l'objet d'un complément d'étude et de développement. Toutefois, ces systèmes se sont montrés utiles pour limiter éventuellement les besoins en matière de puissance et de largeur de bande dans les satellites à des débits de codage d'environ 9,6 kbit/s ou moins; ils pourraient donc être appliqués au service de télécommunications par satellite maritime et peut-être à d'autres services mobiles par satellite. On pourrait, à titre d'exemple, appliquer à la variante $-10 \text{ dB(K}^{-1})$ du système en standard B un CPA de 9,6 kbit/s, ce qui devrait donner une qualité vocale acceptable pour la correspondance publique.

2.3 Techniques de modulation

Diverses techniques de modulation numérique pouvant éventuellement être appliquées au standard 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.

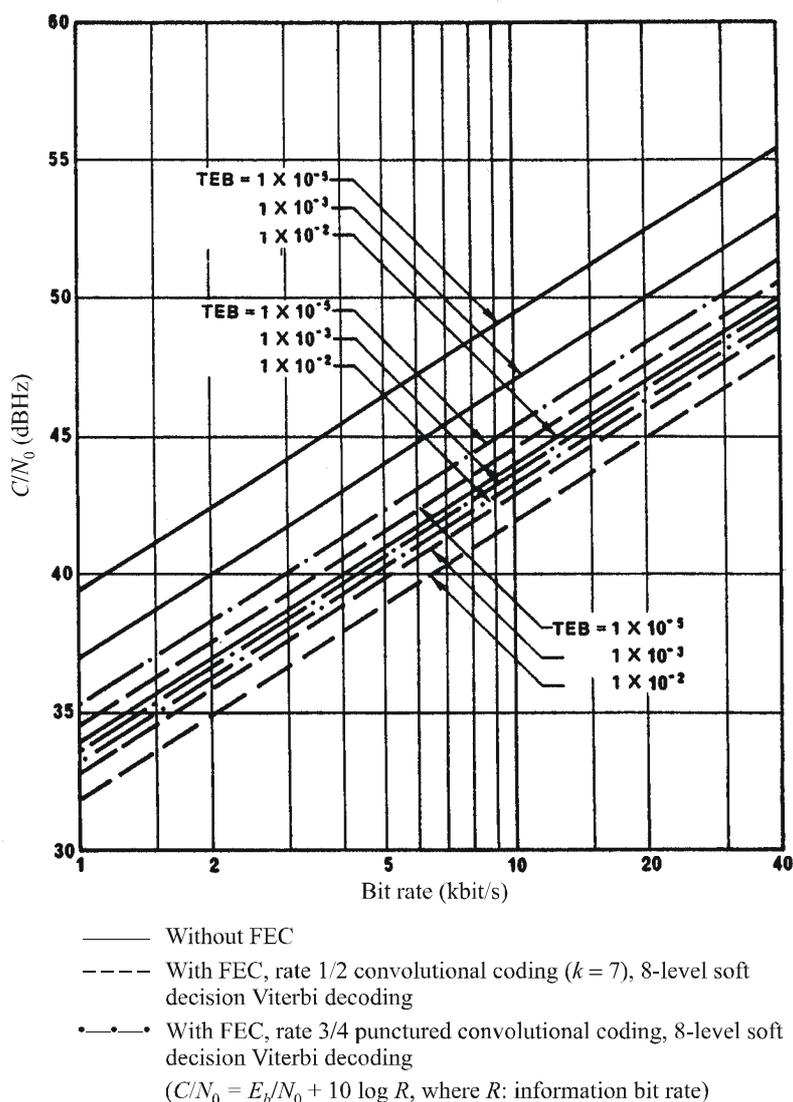
La Fig. 1 donne les valeurs du rapport C/N_0 nécessaire aux voies MDP-2 ou à MDP-4 pour divers débits binaires, avec et sans CED. Pour une application pratique, il convient d'ajouter 1 à 2 dB pour les marges d'application, bien que les progrès ultérieurs aient laissé entendre que des marges inférieures 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.

Le codage convolutionnel à débit 1/2 (longueur de contrainte $k = 7$) avec décodage Viterbi à décision douce 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 1×10^{-3} et 5,2 dB pour un TEB de 1×10^{-5} .

Le codage de débit 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 1×10^{-3} et de 4,3 dB pour un TEB de 1×10^{-5} (ce qui représente environ 1 dB de moins que pour le codage de débit 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 débit 1/2).

La complexité du codage de débit 3/4 a pu être considérablement réduite par l'application des techniques de codage «à trous» au code de base de débit 1/2. Cette application a nécessité la suppression de 2 bits dans chacun des 6 bits codés du train de données codées au débit 1/2, la transmission des 4 bits restants au débit 3/4, et l'insertion dans le récepteur de 2 bits supplémentaires, avant le décodage Viterbi à débit 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 débit 1/2 et le débit 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 1×10^{-5} et ne provoque pratiquement aucune dégradation quand $TEB = 1 \times 10^{-3}$.

FIGURE 1
Rapport C/N_0 en fonction du débit binaire



0921-01

On a conclu qu'une CED à débit de code 3/4 présente des avantages considérables pour un système de standard 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.

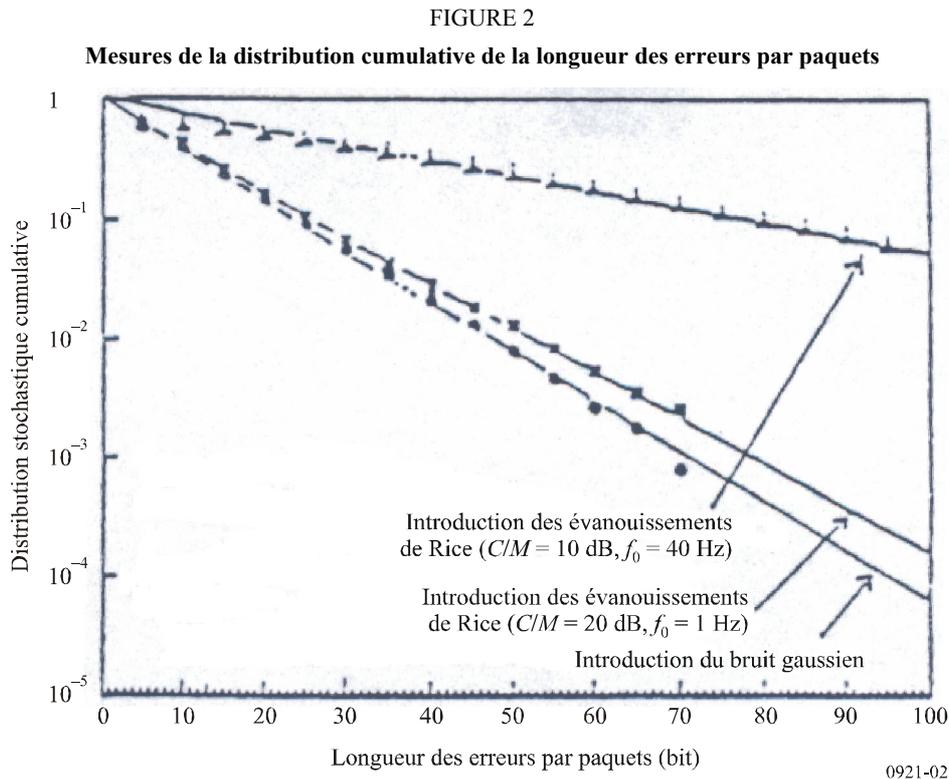


TABLEAU 2

Principaux paramètres du système de mesure

Débit binaire de l'information	16 kbit/s
Décodage de Viterbi	– Longueur de contrainte: 7 – Taux de codage: 1/2

2.5 Exemple de conception du standard B

L'exemple de conception ci-après décrit le principe du système en standard 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 oeuvre 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.

Avec cette même conception de la voie de base, on obtient des transmissions de données à 9,6 kbit/s (avec un CED de rapport 1/2 qui donne un TEB de 10^{-5}) et à 16 kbit/s (CED de rapport 3/4, d'où un TEB de 10^{-3} qu'on peut améliorer si les utilisateurs emploient l'ARQ). On utilise dans la trame de voie des sous-trames de signalisation qui consistent en un bloc de 96 bits par trame de 80 ms, pour l'adressage de la transmission (navire vers côtière), les fonctions de surveillance une fois la communication établie, et pour fournir, en vue des futures connexions au RNIS, des possibilités de signalisation supplémentaires.

L'établissement des communications est assuré au moyen de voies de signalisation hors-bande transmises comme il convient par la station de coordination du réseau (SCR), la station terrienne côtière (STC) et la station terrienne de navire (STN).

3 Concept du système de standard C à faible G/T , destiné uniquement à la transmission de données

Les caractéristiques de la STN propres au standard A et au concept envisagé de norme B ne sont peut-être pas celles qui conviennent le mieux aux petits navires qui représentent une part importante de la flotte maritime, en particulier lorsque les communications de qualité téléphonique ne sont pas nécessaires et lorsque l'installation d'équipement est limitée par des contraintes d'encombrement.

Le concept de standard C pourrait permettre d'étendre les installations de télécommunications par satellite aux navires de ce type, au moyen d'une STN relativement simple et compacte qui fournirait des capacités basées sur des messages à un débit de voie de 600 bit/s. La STN se caractériserait par un système d'antenne non stabilisée et non orientable. Les applications possibles de ce système sont entre autres les suivantes: l'alerte dans les deux sens en cas de détresse, la réception des communications de sécurité, la transmission de données météorologiques, la correspondance publique et l'interrogation préalable du navire, auxquelles viennent s'ajouter les transmissions de messages suivantes:

- texte dans l'alphabet choisi par l'utilisateur;
- graphiques et télécopie;
- informations et instructions de commande pour les équipements périphériques des utilisateurs tels que l'équipement de synthèse de la voix.

En raison du faible rapport G/T prévu pour la STN de standard C, il est nécessaire d'adopter des techniques efficaces de modulation et de codage permettant de réduire les besoins en p.i.r.e. du satellite et de la STN. Il convient également que la technique retenue soit compatible avec les prévisions concernant les caractéristiques d'antenne, les débits binaires des voies et l'efficacité du système.

Avec les caractéristiques de mouvement type des navires qui ont été prises en compte pour les réalisations selon le standard A, le gain d'antenne maximal pour une antenne non stabilisée de standard C serait de l'ordre de 2 dBi. Dans le sens côtière-navire, une p.i.r.e. de satellite de 20 dBW permettrait en conséquence d'obtenir un débit binaire de voie de 600 bit/s; une augmentation de la p.i.r.e. permettrait d'atteindre des débits binaires plus élevés. Dans le sens navire-côtière, des restrictions pratiques imposées aux amplificateurs d'émission de la STN ont pour effet de limiter le débit binaire de la voie à environ 600 bit/s.

A ces débits binaires, une technique de modulation efficace serait la MDP-2, avec un codage convolutionnel à débit de code 1/2 comme technique CED de base afin d'améliorer la marge du système. Dans le sens navire-côtière la sensibilité à un éventuel brouillage peut être réduite en utilisant le codage par blocs, lié un code convolutionnel interne. Dans les deux cas, la marge contre les évanouissements dus aux effets de trajets multiples peut être considérablement réduite grâce à l'entrelacement, qui peut disperser les paquets d'erreurs en un modèle aléatoire corrigible par CED, au lieu d'améliorer la discrimination de l'antenne. Cela pourrait provoquer des retards de transmission pouvant aller jusqu'à 20 s, ce qui, à terme, rendrait le système incapable de fournir des communications en temps réel telles que la téléphonie, même si cette capacité est envisagée, dans le cas des petites STN, pour une variante du standard B, du type de celle décrite dans les Annexes 1 et 2.

Les mesures de la qualité de CED obtenue avec les systèmes d'antenne du standard C sont décrites en Annexe 4 comme un moyen de compenser les effets des évanouissements par trajets multiples. Ces mesures indiquent que l'utilisation de la CED est nécessaire en cas d'entrelacement, afin de réduire le taux d'erreurs des voies sur les liaisons de données subissant des évanouissements et relevant d'un système de standard C avec émissions continues.

On trouvera en Annexe 5 une description du système de standard C d'Inmarsat fondé sur les principes ci-dessus.

4 Considérations sur le bilan de liaison

4.1 Caractéristiques des évanouissements par trajets multiples

Les concepts en ce qui concerne les STN de standard B et, en particulier, le standard 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 du standard A.

On trouvera dans la Fig. 3 un modèle simple d'évanouissement par trajets multiples, élaboré à partir de considérations théoriques et de résultats de mesure (voir les Annexes 1 et 2 au présent Rapport). 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.

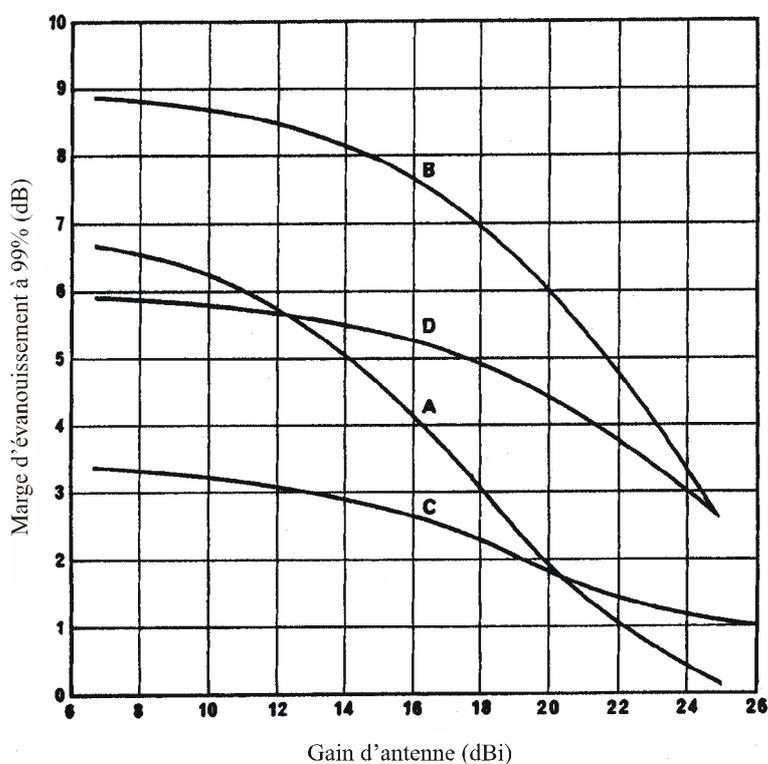
4.2 Erreurs de pointage et de poursuite

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.

4.3 Exemples de bilans de liaisons

On trouvera au Tableau 3 des exemples de bilans de liaisons pour un objectif de TEB de 1×10^{-3} sur une voie téléphonique pour une STN de standard B à gain élevé (Cas 1: $G/T = -4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$) et pour le système du standard 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).

FIGURE 3
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)

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°

Liaison côtière-navire		
Standards de la STN	Cas 1	Cas 2
Liaison côtière-satellite (6,42 GHz)		
– 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 ⁻¹))	-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
Liaison satellite-navire (1,54 GHz)		
– 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 ⁻¹))	-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)
Liaison navire-côtière		
Standards de la STN	Cas 1	Cas 2
Liaison navire-satellite (6,42 GHz)		
– 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 ⁻¹))	-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
Liaison satellite-côtière (1,54 GHz)		
– 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 ⁻¹))	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)

Bien que ces exemples de bilans de liaisons ne soient pas tout à fait conformes à la méthode décrite dans le Rapport M.760, ils indiquent néanmoins que les techniques de modulation et de codage numériques offrent la possibilité de réduire sensiblement la puissance d'émission nécessaire du satellite et/ou de la STN, comparées au système de standard A.

NOTE – Les valeurs indiquées entre parenthèses pour le Cas 2 concernent le cas où l'on a utilisé la technique de réduction des évanouissements par trajets multiples.

5 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.

Références bibliographiques

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.

Annexe 1

Caractéristiques d'une STN de qualité téléphonique numérique

On trouvera dans la présente Annexe, à titre d'exemple, la description théorique d'une STN de ce type utilisant des techniques de télécommunication numériques efficaces [Hirata et autres, 1984], ainsi que ses caractéristiques établies sur la base des résultats d'une expérience en vraie grandeur utilisant deux types de systèmes d'antenne (gain moyen et gain élevé).

1 Conception du système

Le système numérique de la STN que décrit la présente Annexe était destiné à être utilisé dans le système Inmarsat et à fonctionner dans le mode à une seule voie par porteuse (SCPC), les porteuses étant espacées de 20 kHz.

Le Tableau 4 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 décodage convolutionnel avec lacunes de débit 3/4 (commutable au débit 1/2) à décision douce (Yasuda et autres, 1984] et une MDP-4 à décalage (MDP-4 D commutable en MDP-4). Le débit binaire de transmission est de 24 kbit/s, soit 22,4 kbit/s pour les données codées, y compris les bits de commande de signalisation, et 1,6 kbit/s pour des données supplémentaires pour la synchronisation de trame.

TABLEAU 4

Principales caractéristiques de la voie numérique de communications

Débit binaire de l'information	16 kbit/s et 9,6 kbit/s
Codage de la parole	Codage par prédiction adaptatif avec quantification à probabilité maximale (CPA-CQM)
CED	Codage avec lacunes (débit $\frac{1}{2}$) ($k = 7$)/décodage Viterbi à décision douce 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 par la voix dans le sens côtière-navire

La Fig. 4 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.

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

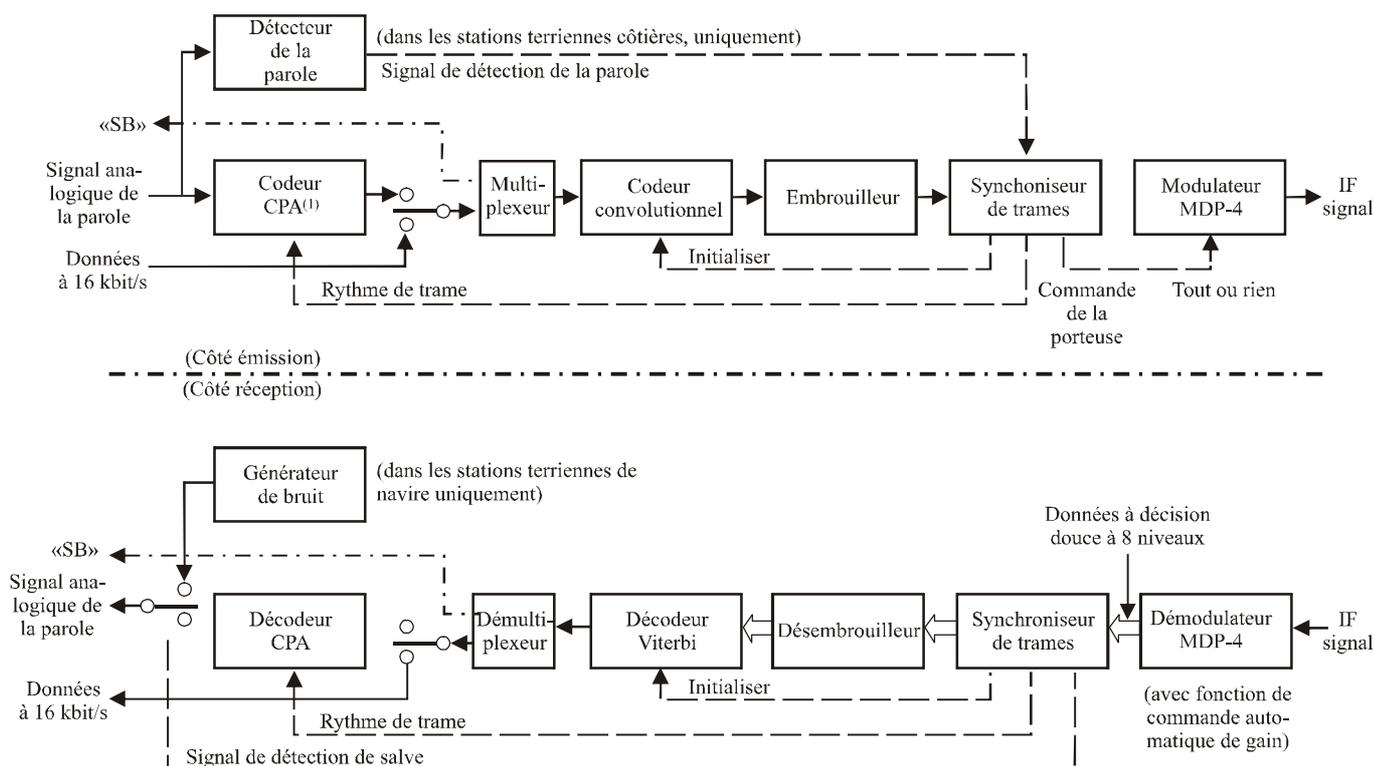
Une expérience en vraie grandeur a été menée sur l'océan Indien avec un satellite Inmarsat (INTELSAT-V MCS-A). Elle faisait suite à une première expérience qui mettait en jeu la conception initiale du système de STN [Kashiki et autres, 1985]. L'équipement de la STN était installé à bord d'un navire en 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 $-4 \text{ dB(K}^{-1})$, 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 $-10 \text{ dB(K}^{-1})$. Elle introduit une fonction de réduction des évanouissements par modelage de la polarisation [Shiokawa et autres, 1982].

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

FIGURE 4

Schéma de principe du fonctionnement d'une unité de télécommunications



⁽¹⁾ CPA: Codage par prédiction adaptatif.

TABLEAU 5

Principales caractéristiques des antennes à gains élevés et moyens

	Antenne à gain élevé	Antenne à gain moyen
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 ⁻¹)	-10 dB (K ⁻¹)
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
Largeur 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 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 grand gain.

Références bibliographiques

- 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, 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. 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.

Annexe 2

Qualité de fonctionnement d'une STN expérimentale à faible rapport G/T

1 Introduction

On trouvera dans cette Annexe un rappel des essais effectués avec une STN expérimentale à faible rapport G/T ($-13 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$), du standard 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 2 400 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].

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 (Standard C). DFVLR Final Report, 223 pages (en allemand). DFVLR, D-8031 Oberpfaffenhofen, République fédérale d'Allemagne. Préparé au titre du contrat ESA/ESTEC No 5323/82/NL/JS.

Annexe 3

Systeme d'appel de groupe amélioré

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™) et la diffusion d'informations concernant la sécurité maritime (SafetyNET™). Le système fait partie du système au standard C d'Inmarsat et utilise le multiplex par répartition dans le temps sur voie commune au standard 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™ permet aux usagers du secteur commercial basé à terre d'appeler de manière sélective des groupes de navires ou des navires au moyen d'identificateurs (ID) pré-assignés.

2 Description du système

Les messages AGA sont transmis sur les multiplex temporels à voie commune du standard C parallèlement au trafic de signalisation du standard 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 au standard C sont peu vulnérables. Les récepteurs peuvent être des unités distinctes autonomes ou

bien être intégrés avec des STN au standard C ou au standard A. L'intégration avec une station au standard C n'implique pas nécessairement la présence d'un second récepteur, étant donné que le récepteur du standard 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 au standard C par l'intermédiaire d'une STC au standard 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.

3 Bilan de la liaison

Le bilan de la liaison dans la bande des 1,5/1,6 GHz pour le système AGA est donné au Tableau 6.

Les bilans de liaison sont indiqués pour les satellites MARECS, INTELSAT-V MCS et la deuxième génération des satellites Inmarsat. La puissance du multiplex temporel à porteuse sur voie commune est supérieure d'environ 3 dB à celle d'une porteuse téléphonique au standard A. Le multiplex temporel est modulé en MDP-2 à 1 200 symboles par seconde (débit de données égal à 600 bits avant codage). On utilise un codage convolutionnel CED avec débit à 1/2 et longueur imposée à 7 et un entrelacement intégral de trame avec une longueur de trame égale à 10 368 symboles (8,64 s). Une paire de mots uniques de 64 bits est insérée dans chaque trame pour la synchronisation et la levée d'ambiguïté.

TABLEAU 6

Bilan de la liaison pour le système AGA

	Unités	MARECS/ INTELSAT V	INMARSAT 2
p.i.r.e. du satellite (angle de site: 5°)	(dBW)	21,4	21,0
Affaiblissement en espace libre	(dB)	188,5	188,5
Affaiblissement d'absorption	(dB)	0,4	0,4
Rapport $G/T^{(1)}$ du récepteur	(dB/K)	-23,0	-23,0
Rapport C/N_0 moyen pour la liaison descendante	(dBHz)	38,1	37,7
Rapport C/N_0 moyen pour une liaison sans évanouissement	(dBHz)	38,0	37,6
Affaiblissement dû au brouillage	(dB)	0,5	0,5
Affaiblissement aléatoire (994)	(dB)	2,2	1,6
Rapport C/N_0 total	(dBHz)	35,4	35,5
Rapport C/N_0 requis	(dBHz)	34,5	34,5
Marge ⁽²⁾	(dB)	0,9	1,0

⁽¹⁾ Le rapport minimum G/T pour un récepteur autonome AGA ou au standard C et pour un angle de site de satellite égal à 5°.

⁽²⁾ Marge de la liaison supérieure à 0,9/1,0 dB pendant 99% du temps.

4 Technique d'adressage

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

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

Les récepteurs AGA capables de recevoir les messages commerciaux Fleet™ 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™ est réalisé exclusivement sur la base de zone géographique. On peut utiliser deux types d'adressage par zone géographique:

- zone géographique prédéfinie, telles les zones NAVAREAS, les zones OMM, les zones de couverture NAVTEX et les zones SAR;
- 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.

5 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 standard A ou de standard C prévue à cet effet.

Annexe 4

Correction d'erreur sans voie de retour (CED) utilisée pour compenser les évanouissements dus aux trajets multiples

La qualité de fonctionnement d'une transmission codée avec modulation de phase cohérente à codage différentiel sur une voie maritime de standard 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 standard C comprenant le cas le plus défavorable d'un angle de site de 4° pour toutes les antennes soumises aux essais C3, C5, C11, C14, ainsi que l'essai sous angle de site de 19° pour les antennes C3 et C11 (antennes de standard C avec des gains spécifiés en dB). Pour plus de détails, voir le Rapport M.762 [Hagenauer et autres, 1984].

Références bibliographiques

HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRABEL, LOTS, PAPKE, W., PLOCHINGER et SCHWEIKERT, R. [novembre 1984] Multipath fading effects and data transmission for small ship earth stations (Standard C). DFVLR Final Report, 223 pages (en allemand). DFVLR, D-8031 Oberpfaffenhofen, République fédérale d'Allemagne. Préparé au titre du contrat ESA/ESTEC No 5323/82/NL/JS.

Annexe 5

Système de télécommunications INMARSAT de standard C

1 Introduction

La possibilité d'installer à bord du moindre navire un système de télécommunications bidirectionnel était l'objectif du standard C du système de télécommunications. Il a aussi été approuvé pour remplacer le standard 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 au standard 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.

1.1 Brève description du système de standard 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 convolusionnel de débit 1/2 et à l'entrelacement, on compte sur une correction efficace des erreurs lorsque les rapports des densités porteuse 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.

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.

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:

- 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;
- dans le sens côtier vers navire, le satellite doit avoir une p.i.r.e. de 21 dBW, ce qui est relativement élevé.

3 Bilans de liaison

En raison de l'utilisation de l'ARQ dans le standard C, l'étude des liaisons qui la mettent en oeuvre 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 standard 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 7 et 8 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 7

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 de propagation	(dB)	200,9
Absorption	(dB)	0,4
G/T du satellite	(dB(K ⁻¹))	-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 de propagation	(dB)	188,5
Absorption	(dB)	0,4
G/T de la STN	(dB(K ⁻¹))	-23,0
C/N_0 moyen de la liaison descendante	(dBHz)	37,1
C/N_0 nominal en 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 8

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

		MCS	MARECS
p.i.r.e. de la STC	(dBW)	12,0	12,0
Affaiblissement de propagation	(dB)	189,0	189,0
Absorption	(dB)	0,4	0,4
G/T du satellite	(dB(K ⁻¹))	-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 de propagation	(dB)	197,2	197,2
Absorption	(dB)	0,5	0,5
G/T de la STN	(dB(K ⁻¹))	32,0	32,0
C/N_0 moyen de la liaison descendante	(dBHz)	36,4	36,4
C/N_0 nominal en 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

4 Système de traitement du signal

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 à débit 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 oeuvre 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.

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 probabilité maximale (comme l'algorithme de Viterbi).

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

Comme le système en standard 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 standard C.

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