

## RAPPORT 921-2

## ASPECTS «SYSTÈMES» DES STATIONS TERRIENNES NUMÉRIQUES DE NAVIRE

(Question 82)

(1982-1986-1990)

## 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 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 système actuel de télécommunication du service maritime par satellite est conçu pour fonctionner avec des stations terriennes de navire de rapport  $G/T$  égal à  $-4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ .

On pense que les normes numériques de stations terriennes de navire qui seront introduites à l'avenir se caractériseront par un rapport  $G/T$  voisin ou plus faible et, peut-être, par une antenne de plus petite taille, comme le récapitule le Tableau I ci-dessous dans le cas du système INMARSAT.

TABLEAU I — Récapitulation des caractéristiques des stations terriennes de navire d'INMARSAT, actuelles et potentielles

Norme de la station terrienne de navire	Gain d'antenne (dBi)	$G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	Possibilité de service
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 services de transmission de données numériques
Variante de B	12-15	-13 à -10	(En cours d'étude)
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, car les communications du service maritime par satellite resteront limitées en puissance, cela au moins dans un avenir prévisible.

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.

\* Le terme "norme" doit être remplacé par "standard".

Il est donc 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 nouveaux concepts désignés au Tableau I norme B et norme C sont envisagés pour fournir des possibilités d'émission et de réception basées sur des techniques de modulation et de codage numériques, alors que le système actuel de norme A emploie pour la téléphonie la modulation analogique MF. Dans les deux cas, on envisage un nouveau système de commande d'accès et de signalisation, séparé du système actuel et avec des caractéristiques différentes de voie qui, d'après les prévisions, doivent améliorer l'efficacité et l'utilisation de la signalisation. Dans le système de norme B, l'assignation des voies en fonction de la demande est fondée sur des liaisons aller MRT qui peuvent 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 sont combinés dans les liaisons aller MRF et les liaisons retour à accès aléatoire, au moyen de techniques ARQ.

Des variantes de ces nouveaux concepts sont également actuellement à l'étude. On trouvera dans l'Annexe I la description d'une station terrienne de navire numérique en cours d'élaboration (semblable au système de norme B envisagé) avec des valeurs du rapport  $G/T$  de  $-10$  dB(K<sup>-1</sup>) et  $-4$  dB(K<sup>-1</sup>). L'Annexe II décrit les caractéristiques d'une station terrienne de navire à faible rapport  $G/T$  ( $G/T = -13$  dB(K<sup>-1</sup>)) équipée d'une voie de vocodeur à 2400 bit/s. L'Annexe III traite du concept de système d'appel de groupe amélioré.

— L'Annexe IV décrit les résultats expérimentaux obtenus pour une correction d'erreur sans voie de retour (CED) destinée à compenser les évanouissements dus aux trajets multiples. On trouvera dans l'Annexe V la description d'une méthode d'évaluation statistique de l'influence des mouvements d'un navire sur un système passif de stabilisation d'antenne.

On trouvera dans l'Annexe VI une description d'un concept de système de communication qui se base sur un schéma de codage adaptatif convenant à des stations terriennes mobiles (de données seulement, par exemple des stations mobiles maritimes, aéronautiques et terrestres ayant un rapport  $G/T$  de  $-24$  dB(K<sup>-1</sup>)). Une description détaillée du schéma de codage est donnée dans l'Annexe II au Rapport 509. Le système de télécommunication considéré est fondé sur le MRT pour la liaison aller et sur l'AMRC pour la liaison retour.

**L'Annexe VII donne une description plus détaillée de la norme C du système INMARSAT.**

## 2. **Système à venir (norme B)**

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

On estime que l'introduction éventuelle du système de norme B est 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 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 estime également que le système de norme B continuera 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, le fonctionnement multivoies **et toute une gamme de services de transmission de données à 16 kbit/s ou plus.**

On prévoit que les principaux besoins du service en ce qui concerne l'utilisation du secteur spatial seront, 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 547), on suppose que l'objectif de conception pour la norme B assurera 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 suppose que la p.i.r.e. du satellite nécessaire pour atteindre ces objectifs sera 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 sera 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 services de données très variés. INMARSAT étudie actuellement la définition des systèmes de télégraphie et de signalisation.

## 2.2 *Techniques de codage de la voix*

Le Rapport 509 indique que 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 devraient permettre de réduire les largeurs de bande nécessaires ce qui, en combinaison avec la correction d'erreur sans voie de retour (CED), abaisserait également la valeur du rapport porteuse/densité de bruit ( $C/N_0$ ), 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 prévoit que la poursuite du développement de la technique des circuits d'intégration à grande échelle permettra de mettre en œuvre de manière rentable les techniques numériques nécessaires.

La comparaison des techniques de codage de la voix dont on dispose actuellement 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.

Les renseignements disponibles actuellement donnent à penser que la qualité subjective de la parole que l'on peut obtenir au moyen de techniques de vocodeur à faible débit ne permet pas encore d'atteindre les objectifs de qualité souhaités, et que ce problème doit 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 à l'avenir 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 norme 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*

Le Rapport 509 traite des diverses techniques de modulation numérique que l'on pourra éventuellement appliquer à la norme B, et compare 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.

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 (voir le Rapport 708).

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 plus récents laissent entendre que des marges inférieures à 1 dB conviendront dans le futur. 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 représente une technique dont les preuves ne sont plus à faire et qui peut être utilisée pour l'intégration à très grande échelle. Les gains de codage que l'on peut obtenir dans la pratique sont 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 débit 3/4 avec décodage Viterbi connaît actuellement une application plus restreinte que la CED avec un débit 1/2; de plus, il nécessite un traitement plus complexe. Les gains de codage obtenus dans la pratique sont 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 débit 1/2), mais le facteur d'étalement de la largeur de bande est sensiblement réduit (1,8 dB de moins qu'avec le codage de débit 1/2).

La complexité du codage de débit 3/4 peut être considérablement réduite par l'application des techniques de codage «à trous» au code de base de débit 1/2. Cette application nécessite 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 est 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'erreur binaire avec codage «à trous» n'est 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 quand  $TEB = 1 \times 10^{-3}$ .

On peut conclure 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 convient de noter 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 est donc 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 montrent que les paquets d'erreurs dus aux évanouissements par trajets multiples sont 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 Figure 2 donne les résultats des mesures faites par des modèles de simulation et le Tableau II les conditions non comprises dans la figure.

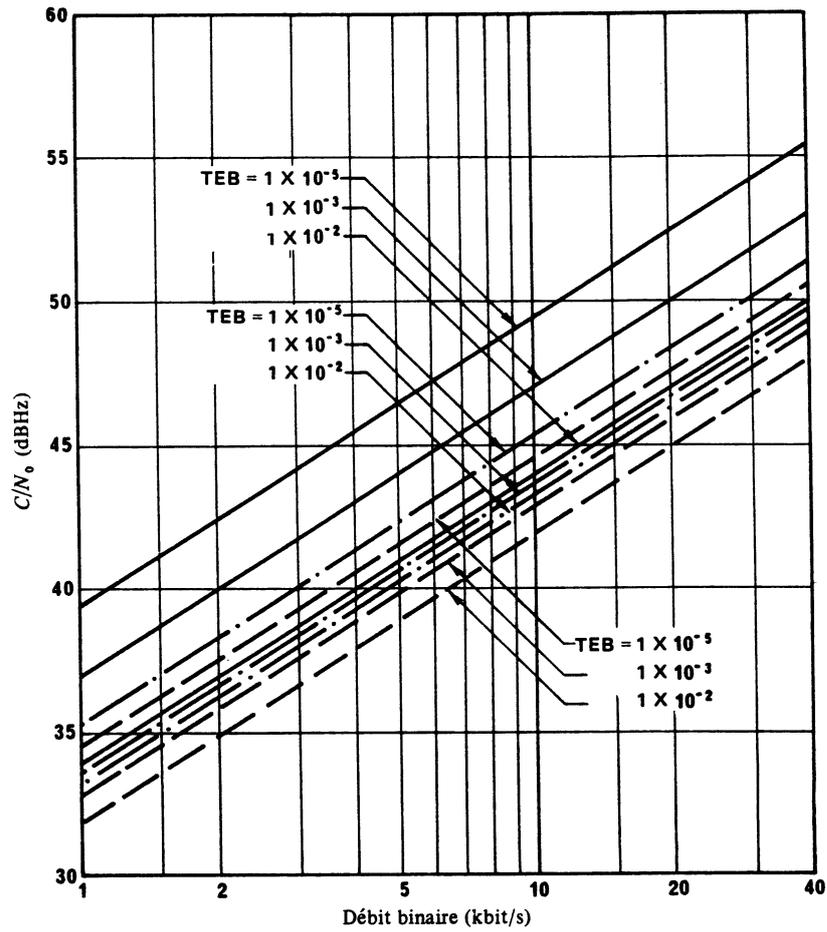


FIGURE 1 – Rapport  $C/N_0$  en fonction du débit binaire

— : sans CED

- - - : avec CED, codage convolutionnel (débit 1/2,  $k = 7$ ), décodage Viterbi à décision douce à 8 niveaux

- · - · : avec CED, codage convolutionnel « à trous » (débit 3/4), décodage Viterbi à décision douce à 8 niveaux

$(C/N_0 = E_b/N_0 + 10 \log R, \text{ où } R: \text{ débit binaire de l'information})$

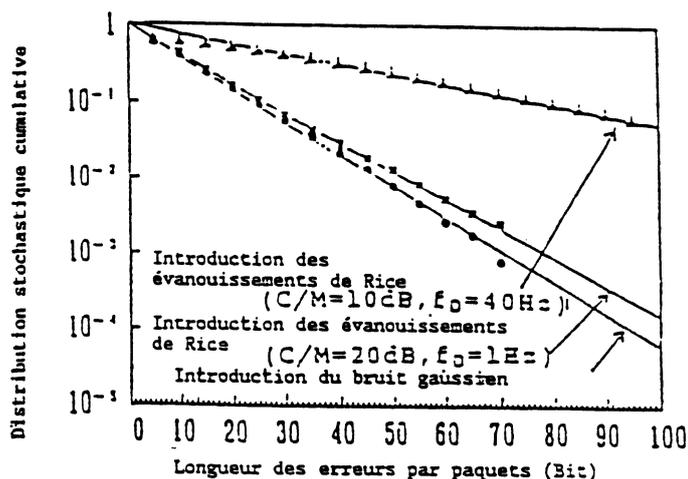


FIGURE 2 - Mesures de la distribution cumulative de la longueur des erreurs par paquets

TABLEAU II

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 de la norme B

L'exemple de conception ci-après décrit le principe du système en norme B qu'INMARSAT a actuellement à l'étude.

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  $G/T = -4 \text{ dB/K}^{-1}$ , 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 peut obtenir 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 du service (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 norme C à faible G/T, destiné uniquement à la transmission de données.**

Les caractéristiques de la station terrienne de navire propres à la norme 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 limité par des contraintes d'encombrement.

Le concept de norme C pourrait permettre d'étendre les installations de télécommunications par satellite aux navires de ce type, au moyen d'une station terrienne de navire relativement simple et compacte qui fournirait des capacités basées sur des messages à un débit de voie de 600 bit/s. La station terrienne de navire 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 services de messages suivants:

- 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 station terrienne de navire de norme 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 station terrienne de navire. 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 la norme A, le gain d'antenne maximal pour une antenne non stabilisée de norme 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 station terrienne de navire 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 à 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 stations terriennes de navire, pour une variante de la norme B, du type de celle décrite dans les Annexes I et II.

Les mesures de la qualité de CED obtenue avec les systèmes d'antenne de la norme C sont décrites en Annexe IV 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'erreur des voies sur les liaisons de données subissant des évanouissements et relevant d'un système de norme C avec émissions continues.

Comme solution de remplacement de la modulation AMRF/MDP-2 dans le sens navire-côtière, l'utilisation de l'accès multiple par répartition en code (AMRC) peut fournir certains avantages, qui sont examinés plus avant dans l'Annexe VI.

L'utilisation de la CED dans les liaisons maritimes par satellite est surtout nécessaire pour combattre les effets des trajets multiples aux faibles angles de site. Cela mène à la mise en œuvre d'un système de télécommunications ayant des protections de protocoles et des redondances de codage qui sont plus importants qu'il ne serait nécessaire pendant une grande partie du temps. Par ailleurs, un schéma de codage qui est efficace dans un environnement à trajets multiples peut faire preuve d'une efficacité réduite dans des conditions exemptes d'évanouissements. Une manière d'abaisser au minimum ces servitudes de protocole et de codage lorsque la liaison est bonne, tout en ayant la possibilité de faire face aux conditions de liaison les plus défavorables, consiste à utiliser un schéma de codage adaptatif (voir l'Annexe VI).

On trouvera en Annexe VII une description du système de norme 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 envisagés actuellement en ce qui concerne les stations terriennes de navire de norme B et, en particulier, la norme C indiquent 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.3 un modèle simple d'évanouissement par trajets multiples, élaboré à partir de considérations théoriques et de résultats de mesure (voir les Annexes I et II au présent Rapport, ainsi que les Rapports 884 et 763). 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, comme le décrit le Rapport 1048.

##### 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 station terrienne de navire à stabilisation passive, erreurs dues au mouvement du navire. On trouvera en Annexe V les résultats des essais et une analyse statistique de ces résultats. 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 III des exemples de bilans de liaisons pour un objectif de TEB de  $1 \times 10^{-3}$  sur une voie téléphonique pour une station terrienne de navire de norme B à gain élevé (Cas 1:  $G/T = -4 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ ) et pour une variante de la norme B (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).

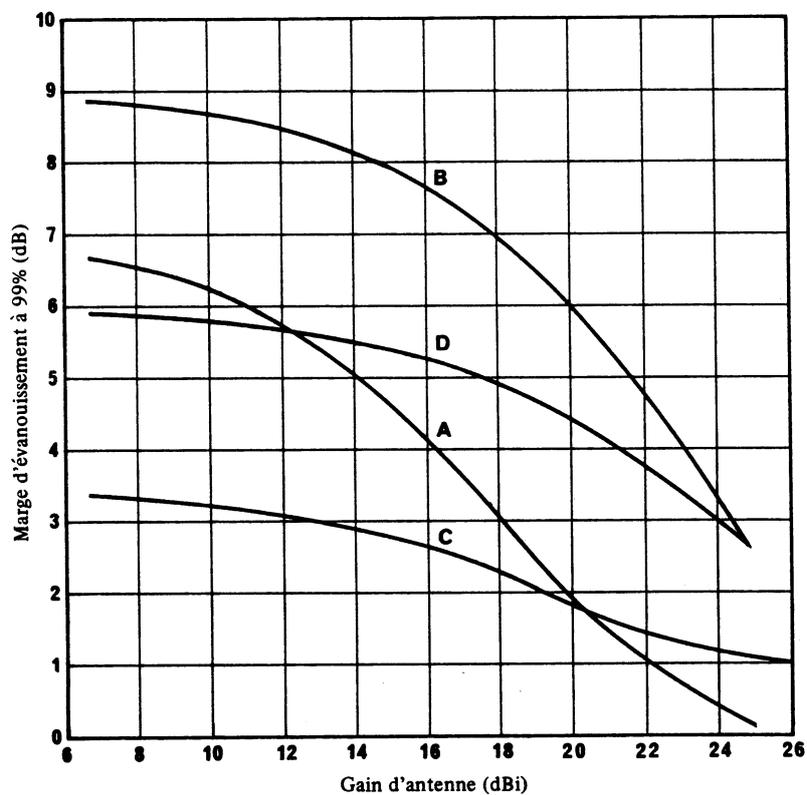


FIGURE 3 – *Caractéristiques des évanouissements par trajets multiples (évanouissements de Rice-Nakagami à 99% du temps)*

Courbes A: angle de site de  $10^\circ$

B: angle de site de  $5^\circ$

C: angle de site de  $10^\circ$  avec réduction des évanouissements par trajets multiples (mise en forme de la polarisation)

D: angle de site de  $5^\circ$  avec réduction des évanouissements par trajets multiples (mise en forme de la polarisation)

TABLEAU III— Exemples de bilans de liaisons pour des stations terriennes de navire à qualité téléphonique numérique

Angle de site de la station terrienne côtière: 5°  
Angle de site de la station terrienne de navire: 10°

Liaison côtière-navire		
Normes de la station terrienne de navire	Cas 1	Cas 2
Liaison côtière-satellite (6,42 GHz):		
– p.i.r.e. nominale de la station terrienne-côtière (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
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 station terrienne de navire (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)
Liaison-navire côtière		
Normes de la station terrienne de navire	Cas 1	Cas 2
Liaison navire-satellite (1,64 GHz):		
– p.i.r.e. nominale de la station terrienne de navire (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
Liaison satellite-côtière (4,20 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 station terrienne côtière (dB(K <sup>-1</sup> ))	32,0	32,0
– rapport $C/N_0$ de la liaison descendante (dBHz)	55,6	60,6
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)

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.

Bien que ces exemples de bilans de liaisons ne soient pas tout à fait conformes à la méthode décrite dans le Rapport 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 station terrienne de navire, comparées au système actuel de norme A.

### 5. Questions devant faire l'objet d'un complément d'étude

Un complément d'étude est nécessaire sur les points suivants:

- 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 station terrienne de navire.

#### REFERENCES 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, 229-237.

#### ANNEXE I

##### CARACTÉRISTIQUES D'UNE STATION TERRIENNE DE NAVIRE DE QUALITÉ TÉLÉPHONIQUE NUMÉRIQUE

On trouvera dans la présente Annexe, à titre d'exemple, la description théorique d'une station terrienne de navire 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 station terrienne de navire que décrit la présente Annexe est 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 IV indique les paramètres de base de la voie de transmission du signal téléphonique dans le système numérique de la station terrienne de navire \_\_\_\_\_. 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 convolusionnel 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 IV – 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 - QPM)
CED	Codage avec lacunes (débit $\frac{3}{4}$ et $\frac{1}{2}$ ) ( $k = 7$ )/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 et 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 côtère-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 côtère un détecteur de parole qui sert de commande par la voix dans le sens côtère-navire. La station terrienne de navire 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.



TABLEAU V - 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.	jusqu'à 34 dBW pour AP en classe C 31 dBW pour AP 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 (AP en classe C) 15 W (AP linéaire)	20 W (AP linéaire)

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

Au cours de l'expérience en vraie grandeur on mesurait à chaque seconde de l'intervalle de temps donné le  $E_s/N_0$  ( $E_s$ : énergie par bit transmis; en MDP-A il y a deux bits par symbole,  $N_0$ : densité spectrale unilatérale de la puissance de bruit) et le nombre d'erreurs binaires et on stockait en fonction du temps dans la mémoire de l'ordinateur les données mesurées. On a observé qu'à p.i.r.e. émise constante dans l'intervalle de temps donné le  $E_s/N_0$  mesuré variait avec le temps. Cette variation de  $E_s/N_0$  provient de celle du niveau du signal reçu ou de celle du bruit dans la voie de transmission du satellite.

Les Figures 5 et 6 présentent des exemples de TEB obtenus, calculés à partir des nombres d'erreurs binaires mesurés par seconde en fonction de  $E_s/N_0$ . Sur ces figures les points isolés représentent les données brutes obtenues chaque seconde et les points entourés d'un cercle les moyennes des TEB sur la durée de la mesure (15 minutes) à  $E_s/N_0$  constant.

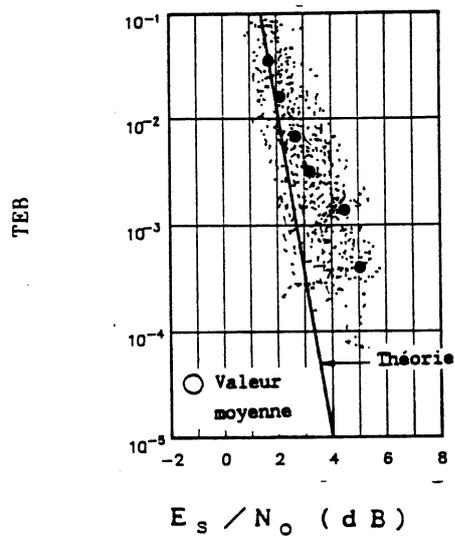
La Figure 5(a) correspond à la MDP-4 à décalage (MDP-4 D) avec AP en classe C et un angle de site de 10° à la station terrienne de navire et la Figure 5(b) à la MDP-4 classique avec AP linéaire et le même angle de site.

Ces figures montrent qu'avec une synchronisation parfaite on obtient un TEB légèrement meilleur en fonction du  $E_s/N_0$  avec le modem MDP-4 D qu'avec le modem MDP-4. Toutefois on notera en outre que la perte de synchronisation dans le démodulateur ou dans le synchronisateur de trame survient plus souvent en MDP-4 D qu'en MDP-4 notamment lorsque  $E_s/N_0$  est inférieur à 1 dB.

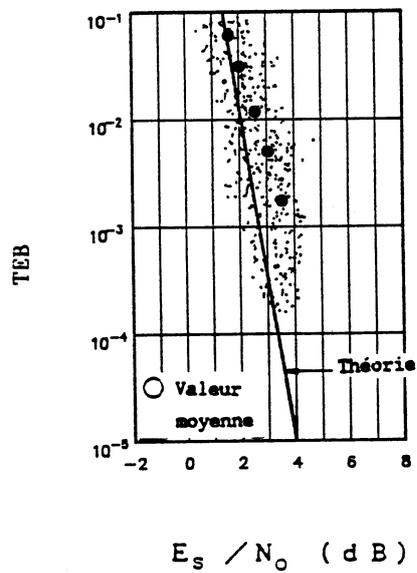
Les figures 6(a) et 6(b) comparent les TEB pour les systèmes à antennes à grand gain et à gain moyen. On y constate que pour les systèmes à antennes de gain moyen la dispersion des  $E_s/N_0$  et TEB est grande, en raison des évanouissements dus aux trajets multiples. C'est pourquoi lorsque les systèmes d'antennes de gain moyen sont exploités avec des angles de site faibles on a besoin d'une marge importante.

Lorsqu'on choisit le codage à CED de débit 1/2 (et le codage de la voix à 9,6 kbit/s) au lieu du codage à CED de débit 3/4 on devrait théoriquement réduire d'environ 2 dB les p.i.r.e. du satellite et de la STN. Mais au cours des expériences en vraie grandeur cela ne s'est pas nettement vérifié car la perte de synchronisation se produit plus souvent avec le système à CED de débit 1/2 (notamment en MDP-4 D) qu'avec celui à CED de débit 3/4 en raison du plus faible  $E_s/N_0$  en exploitation.

En conclusion, il ressort des expériences que les techniques numériques à 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.



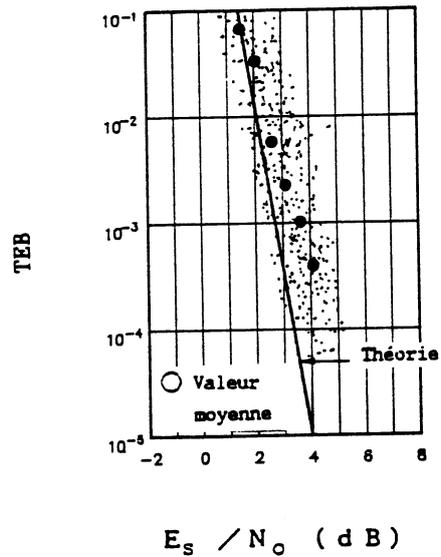
a) MDP-4 à décalage avec AP en classe C



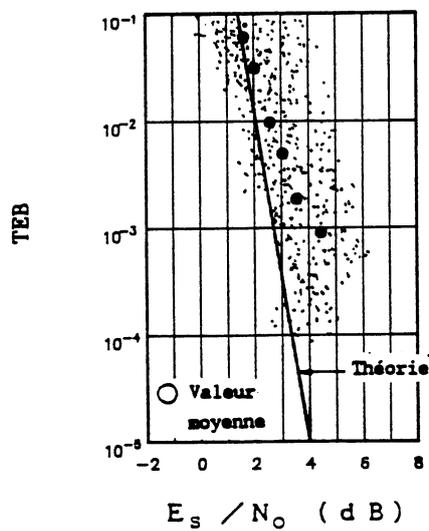
b) MDP-4 avec AP linéaire

FIGURE 5

TEB en fonction de  $E_s / N_0$  pour MDP-4 à décalage et MDP-4  
(liaison navire vers côtière, site à la STN - 10°,  
antenne à grand gain, CED: débit 3/4)



a) Système d'antennes à grand gain  
(p.i.r.e. du satellite en bande L: 12 dBW)



b) Système d'antennes à gain moyen  
(p.i.r.e. du satellite en bande L: 20 dBW)

FIGURE 6

TEB en fonction de  $E_s / N_0$  pour les systèmes d'antennes à grand et moyen gain (liaison côtière vers navire, site à la STN = 7.5°, MDP-4 D. CED: débit 3/4)

\* Bande des 1,5/1,6 GHz

## 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, 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, pp. 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, 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, pp. 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, pp. 271-278.

## ANNEXE II

QUALITÉ DE FONCTIONNEMENT D'UNE STATION TERRIENNE  
DE NAVIRE EXPÉRIMENTALE A FAIBLE RAPPORT  $G/T$ **1. Introduction**

On trouvera dans cette Annexe quelques résultats fournis par des essais effectués avec une station terrienne de navire (STN) expérimentale à faible rapport  $G/T$  ( $-13 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ ), de la norme B, équipée d'une antenne à faisceau large et appliquant des techniques de modulation numérique.

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 (approprié à l'exploitation avec signaux vocaux codés [Holmes, 1982]), 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.

En conséquence, les essais se composaient de deux parties distinctes:

- essais au sol, avec émissions dans le sens bande des 6 GHz vers bande des 1,5 GHz par l'intermédiaire du satellite Marecs A d'INMARSAT pour la région de l'océan Atlantique (AOR), afin de déterminer la qualité de fonctionnement de base de la STN associée à une liaison par satellite réelle;
- essais par application de la «méthode de la voie en mémoire», pour évaluer la qualité de fonctionnement du système de modulation (modem) en présence d'évanouissements variés, d'où l'on peut déduire les marges de liaison disponibles pour le fonctionnement à 2400 bit/s (avec codage des signaux vocaux).

Ces travaux ont été effectués conjointement par le Home Office (aujourd'hui Ministère du Commerce et de l'Industrie) du Royaume-Uni, British Telecom International (BTI) et l'Institut de recherche aérospatiale de la République fédérale d'Allemagne (DFVLR).

**2. Essais avec le satellite Marecs A**

Les essais au sol ont été faits pendant le dernier trimestre de 1982, avec le satellite Marecs A et la station terrienne côtière (CES) exploitée par British Telecom International à Goonhilly Downs, Cornouailles. La STN à faible rapport  $G/T$  était également implantée à Goonhilly Downs, ce qui donnait un angle de site de  $29^\circ$  en direction du satellite, c'est-à-dire qu'il n'y avait pas d'évanouissements. Les mesures étaient faites dans le sens bande des 6 GHz vers bande des 1,5 GHz (côte vers navire). On transmettait sur la liaison une séquence pseudo-aléatoire de 511 bits répétée, à 2400 bit/s, et on mesurait le TEB pour plusieurs valeurs du rapport porteuse/densité de bruit ( $C/N_0$ ), le TEB étant évalué sur  $10^6$  bits. Pour faire varier sur le rapport  $C/N_0$  dans la STN, on agissait sur la p.i.r.e. de la CES. La Fig. 7 représente le dispositif expérimental.

**3. Essais avec la méthode de la voie en mémoire**

Le simulateur de voie en mémoire est commandé par des bandes magnétiques pré-enregistrées. On peut réaliser ces bandes par un procédé de synthèse, en utilisant des modèles théoriques d'évanouissement, ou en enregistrant des résultats de mesures effectivement exécutées sur des émissions par satellite. La technique, décrite dans la référence [Hagenauer et Papke, 1980], a déjà été appliquée dans les mesures de propagation par trajets multiples effectuées par la République fédérale d'Allemagne (voir le Rapport 762).

Pour obtenir des enregistrements appropriés aux mesures avec modem, on a installé l'antenne à grande ouverture de la STN à bord du navire de recherche allemand RV GAUSS (sans la stabiliser). Pendant le mois de mars 1983, on a ainsi enregistré sur bande les émissions d'ondes entretenues à niveau élevé (28 dBW) de Marecs A, sous des angles de site compris entre  $25^\circ$  et  $4^\circ$ .

Dans chaque essai, on enregistrait deux signaux qui représentaient les variations d'amplitude et de phase des signaux se propageant par trajets multiples.

Ces bandes enregistrées ainsi que les bandes synthétiques réalisées par le DFVLR ont servi à évaluer la qualité de fonctionnement des modems en l'absence d'évanouissements (conditions gaussiennes) et en présence d'évanouissements (Rice-Nakagami et Rayleigh).

Le Tableau VI donne le détail des résultats obtenus à bord du RV GAUSS et résume les conditions existant pendant l'enregistrement des bandes d'essai (état de la mer et vent). Pour plus de détails, voir la référence [Hagenauer et autres, 1984].

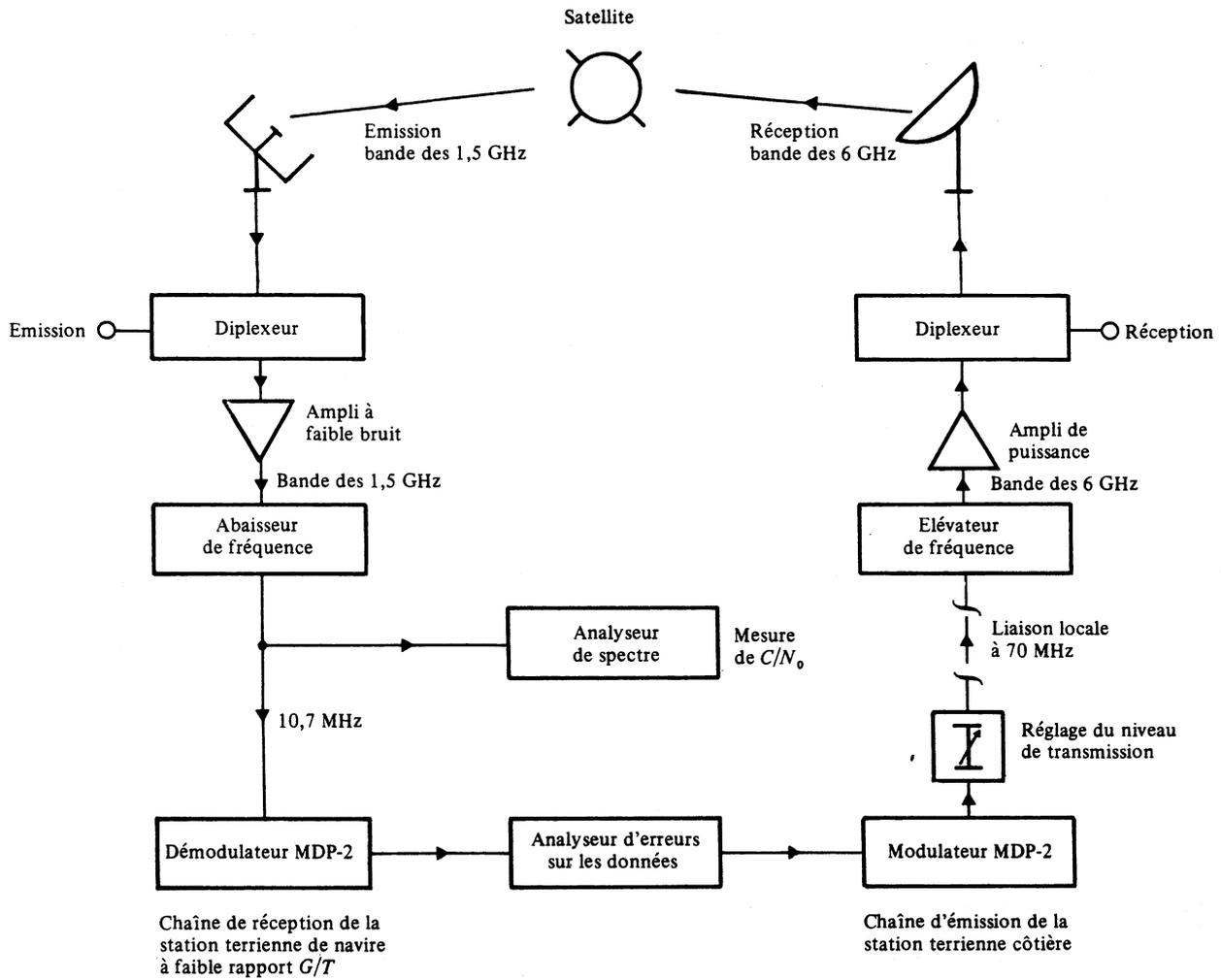


FIGURE 7 – Dispositif expérimental pour le sens de transmission côte vers navire

TABLEAU VI

Navire RV GAUSS Longueur: 68,86 m Largeur: 13,09 m Tonnage brut: 1599 tonnes			
Satellite Marecs A Région de l'océan Atlantique, 26° O			
Bande d'essai N°	1	2	3
Angle de site (degrés)	26	10	4
Hauteur des vagues (m)	< 1	3,5	4,5
Force du vent (nœuds)	< 5	26	35
Valeur mesurée de C/M (porteuse/signal trajets multiples) (dB)	16,5	11	10
Hauteur de l'antenne au-dessus de la surface de la mer: 12 m			

Comme dans les essais au sol, on mesurait TEB en fonction de  $C/N_0$ . La Fig.8 représente le dispositif expérimental utilisé dans ces essais.

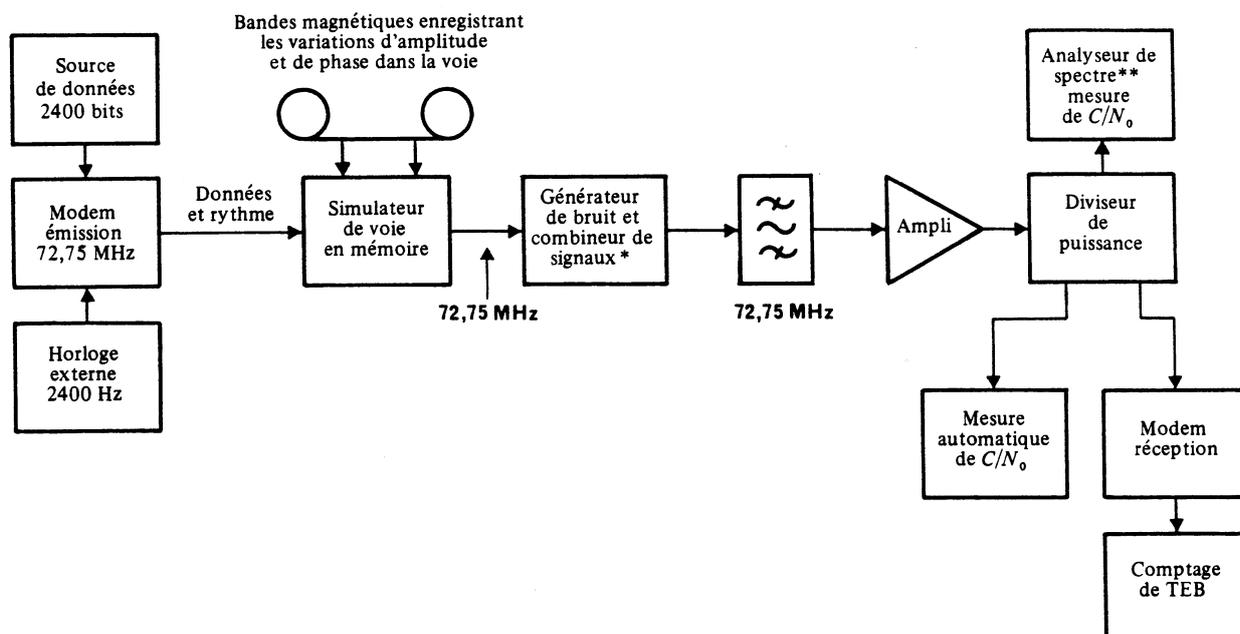


FIGURE 8 – Dispositif expérimental pour les essais avec simulateur de voie en mémoire

\* Le générateur de bruit-combinaire de signaux peut faire varier le signal et le bruit séparément; c'est dans cet appareil qu'on règle la valeur de  $C/N_0$  pour chaque série de mesures de TEB.

\*\* Cet analyseur de spectre est identique à celui qui était utilisé dans les essais au sol pour la mesure de  $C/N_0$ . Dans le dispositif schématisé ici, il sert à la comparaison avec les mesures automatiques de  $C/N_0$ . Dans tous les cas, les résultats obtenus avec les deux méthodes concordent à  $\pm 0,5$  dB près.

#### 4. Matériel de la station terrienne de navire

On trouvera dans la référence [Mecrow et autres, 1983] une description complète du matériel de la STN. Les éléments les plus importants, aux fins du présent Rapport, sont l'antenne courte à rayonnement vers l'arrière (SBF); (voir le § 2 du texte de ce Rapport et l'Annexe I au Rapport 922), et le modem MDP-2. Ce modem applique une technique de modulation de la porteuse résiduelle (excursion:  $\pm 1$  radian) et le codage Manchester des données [Subramaniam, 1978].

#### 5. Résultats des essais

##### 5.1 Essais au sol

Les résultats de ces essais sont donnés dans les Fig.9 et 10. Dans la Fig.9, les valeurs de TEB en fonction de  $C/N_0$  sont représentées par la courbe D. Pendant toute la durée des mesures, on a observé des variations de courte durée, pouvant atteindre 1,5 dB, du niveau de la porteuse reçue du satellite. Elles étaient dues à des variations de la charge appliquée au satellite, qui était en moyenne de 12 voies de transmission pendant les essais. Pour cette raison, on mesurait  $C/N_0$  en prenant la moyenne de 10 mesures au moins sur une période de 2 minutes environ, avant et après chaque essai. On estime que, dans ces conditions,  $C/N_0$  était mesuré avec une précision de  $\pm 1,5$  dB. La Fig. 9 montre une certaine dispersion des résultats pour les petites valeurs de  $C/N_0$ ; on peut penser que cette dispersion est due à la prédominance de produits d'intermodulation variables dans le répéteur du satellite.

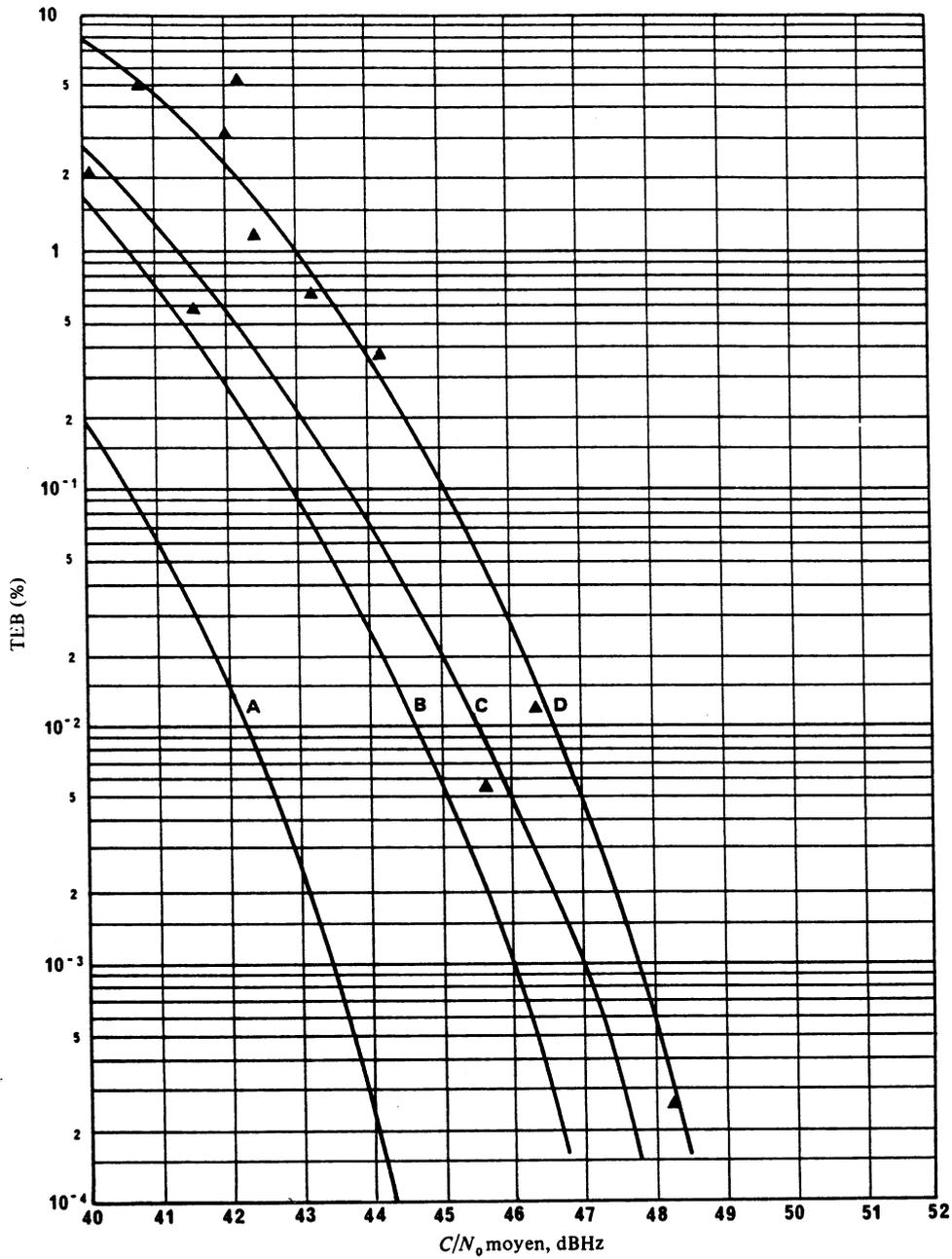


FIGURE 9 – Mesure du pourcentage de TEB pour plusieurs valeurs de  $C/N_0$  à 2400 bit/s, dans une voie sans évanouissements (voie gaussienne)

Courbes A: courbe théorique pour la MDPC.

B: fonctionnement du modem en configuration dos à dos, avec addition d'un bruit gaussien.

C: résultats obtenus avec un simulateur de voie, utilisation de la bande enregistrée (1); angle de site =  $25^\circ$ ;  $C/M = 16,5$  dB.

D: ▲ résultats des essais avec satellite effectués à Goonhilly, dans le sens côte vers navire.

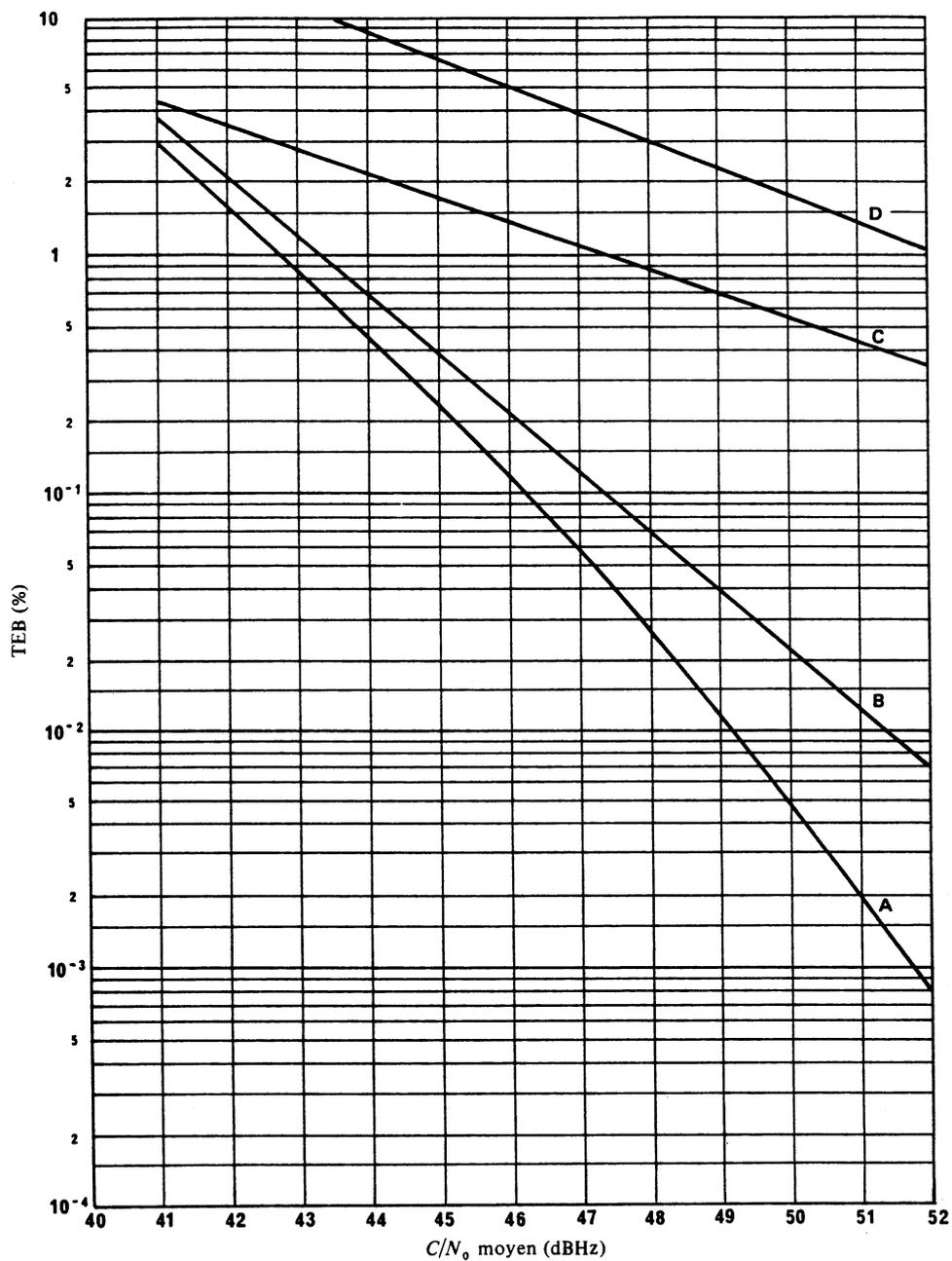


FIGURE 10 - Mesures du pourcentage de TEB pour plusieurs valeurs de  $C/N_0$  à 2400 bit/s, dans une voie avec évanouissements (Rice-Nakagami et Rayleigh)

- Courbes A: bande enregistrée (2); angle de site =  $10^\circ$ ;  $C/M = 11$  dB  
 B: bande enregistrée (3); angle de site =  $4^\circ$ ;  $C/M = 10$  dB  
 C: évanouissements synthétiques (équivalent Rice-Nakagami),  $C/M = 6$  dB  
 D: évanouissements synthétiques (équivalent Rayleigh),  $C/M = 0$

## 5.2 Essais avec voie en mémoire (simulateur)

Les résultats de ces essais sont donnés dans les Fig. 9 et 10.

Dans la Fig. 9, la courbe C illustre le fonctionnement du modem dans une voie sans évanouissements (voie gaussienne). Ces résultats ont été obtenus avec le simulateur de voie et un enregistrement sur bande (bande 1) réalisé à bord du RV GAUSS sous un angle de site de  $26^\circ$  et avec un rapport de puissance porteuse/signal trajets multiples ( $C/M$ ) de 16,5 dB (valeur mesurée).

Aux fins de comparaison, les courbes suivantes ont aussi été tracées dans la Fig. 9 : courbe A, fonctionnement théorique en MDPC dans une voie sans évanouissements; courbe B, fonctionnement du modem en configuration dos à dos, avec introduction d'un bruit gaussien; et courbe D, résultats des essais au sol effectués à Goonhilly. Comme indiqué au § 5.1, il faut tenir compte des effets des produits d'intermodulation quand on compare les résultats de Goonhilly avec d'autres mesures.

Dans la Fig. 10, les courbes A et B illustrent le fonctionnement en présence d'évanouissements (Rice-Nakagami) rencontrés pendant l'enregistrement des bandes (bandes 2 et 3) à bord du RV GAUSS, respectivement sous des angles de site de  $10^\circ$  et  $4^\circ$ , et avec un  $C/M$  de 11 dB et 10 dB. Les courbes C et D illustrent le fonctionnement du modem d'après des bandes synthétiques équivalent à une voie du type Rice-Nakagami ( $C/M = 6$  dB) et une voie du type Rayleigh ( $C/M = 0$ ).

## 6. Discussion des résultats

Dans la discussion de ces résultats du point de vue d'un système opérationnel à faible rapport  $G/T$ , on admet que la p.i.r.e. de satellite par voie téléphonique est celle que fournissent les satellites maritimes de la génération actuelle; par ailleurs, on prend  $TEB = 2\%$  (exploitation avec codage des signaux vocaux) comme critère d'évaluation des marges de liaison qui seraient nécessaires pour avoir une disponibilité de 99% en présence d'évanouissements par trajets multiples.

Si l'on considère tout d'abord les courbes de la Fig. 9 (qualité de fonctionnement du modem dans une voie gaussienne), on note une différence entre les résultats obtenus sur la liaison à satellite et les résultats fournis par le simulateur de voie. Dans le cas le plus défavorable, cette différence est de l'ordre de 1,5 dB pour les petites valeurs de  $C/N_0$ . Ce chiffre reste dans les limites de la précision de mesure prévue pour les essais au sol (voir le § 4.1), et il faut appliquer des marges pour tenir compte de deux facteurs: l'ajustement de la courbe aux résultats dispersés obtenus pour les petites valeurs de  $C/N_0$ , et, le fait que l'amplificateur de puissance de la STN et le répéteur du satellite peuvent introduire des erreurs sur les bits. D'une manière générale, on considère que les deux séries de résultats sont en bon accord, et qu'on peut adopter un  $C/N_0$  d'environ 41 dBHz comme valeur nécessaire pour obtenir un  $TEB = 2\%$  en l'absence d'évanouissements.

Considérons maintenant les valeurs de  $C/N_0$  mesurées dans la STN en fonction de la p.i.r.e. de la station terrienne côtière; on voit qu'un  $C/N_0$  de 50 dBHz a été mesuré dans la STN quand la p.i.r.e. de la station côtière était de 55 dBW. La p.i.r.e. de 55 dBW a été mesurée dans la station terrienne côtière de Goonhilly (dans la phase pré-opérationnelle), comme p.i.r.e. nécessaire pour donner une puissance de satellite à 1,5-1,6 GHz (mesurée par la NCS de Southbury, Etats-Unis d'Amérique) équivalente à la puissance requise pour une voie téléphonique passant par une STN INMARSAT de norme A. Toutefois, cette valeur de 50 dBHz serait réduite d'environ 4 dB en cas de pleine charge du satellite (30 voies, contre la moyenne de 12 voies observée pendant ces essais), et réduite encore de 1,4 dB pour la couverture en bordure de zone (angle de site de  $5^\circ$ , contre  $29^\circ$  dans les essais). Si l'on tient compte de ces facteurs, la valeur disponible de  $C/N_0$  en l'absence d'évanouissements, en bordure de zone, serait de 44,6 dBHz.

Le Tableau VII donne les valeurs du rapport  $C/N_0$  du modem qui sont nécessaires pour obtenir  $TEB = 2\%$  dans différentes conditions d'évanouissement; on y trouvera également les valeurs de la marge de liaison disponible quand on compare avec les valeurs calculées du  $C/N_0$  disponible en bordure de zone.

On notera que la valeur mesurée de  $C/M$  n'est jamais tombée en dessous de 10 dB environ, bien que l'antenne à large faisceau de la STN ait été montée à bord du RV GAUSS sans stabilisation, et bien que les hauteurs de vague aient atteint 4,5 m.

## 7. Conclusions

On peut conclure que, avec une liaison dont le  $C/N_0$  moyen était supérieur à 44 dBHz, cette station terrienne de navire expérimentale à faible rapport  $G/T$  ( $G/T = -13$  dB(K<sup>-1</sup>)) a pu écouler des signaux à codage vocal de 2400 bit/s avec un  $TEB$  au plus égal à 2% pendant 99% du temps, dans tous les cas théoriques d'évanouissement sauf peut-être les plus défavorables. Dans ces conditions, on pourrait appliquer des techniques de réduction des évanouissements, ou de correction des erreurs sans voie de retour (CED), mais cela accroîtrait la complexité et le coût du matériel.

Par ailleurs, les résultats expérimentaux obtenus avec cette antenne à large faisceau ( $47^\circ$  à 3 dB) non stabilisée, dans des conditions d'évanouissement réalistes en bordure de la zone de couverture, montrent que les contraintes sont minimales en ce qui concerne le pointage de l'antenne en site. Cette considération est de nature à réduire très sensiblement la complexité et le coût du matériel à installer sur le pont du navire.

TABLEAU VII

Conditions d'évanouissement	Valeur mesurée de $C/N_0$ nécessaire pour TEB = 2% (dBHz)	Valeur disponible (calculée) de $C/N_0$ en bordure de zone (dBHz)	Marge de liaison (dB)
Bande 2: $C/M = 11$ dB angle de site $10^\circ$	41,6	44,6	3
Bande 3: $C/M = 10$ dB angle de site $4^\circ$	42	44,6	2,6
$C/M = 6$ dB (Rice-Nakagami synthétique)	44,2	44,6	0,4
$C/M = 0$ (Rayleigh synthétique)	49,6	44,6	-5

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRÄBEL, LOTZ, PAPKE, W., PLÖCHINGER 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, (Rép. féd. d'). Préparé au titre du contrat ESA/ESTEC No 5323/82/NL/JS.
- HAGENAUER, J. et PAPKE, W. [décembre 1980] Data transmissions via the real and stored MARISAT channel using small ship antennas. Proc. IEEE National Telecommunications Conference (NTC '80), Houston, TX, Etats-Unis d'Amérique, 62.3.1-62.3.6.
- HOLMES, J. M. [juin 1982] A survey of methods for digitally encoding speech signals. *Radio and Electron. Engr.*, Vol. 52, 6, 267-276.
- MECROW, S. A., WHITTINGHAM, K. et WHEELER, A. G. [7-9 juin 1983] An experimental low G/T ship earth station. Proc. IEE Third International Conference on Satellite Systems for Mobile Communications and Navigation, Londres, Royaume-Uni.
- SUBRAMANIAM, R. I. [1978] Detection of digital PSK signals from meteorological satellites. M Sc. Thesis, University of Dundee, Ecosse, Royaume-Uni.

## ANNEXE III

Service d'appel de groupe amélioré1. Introduction

Le service d'appel de groupe amélioré (AGA) est un service 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 service 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 côtier 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 un service international NAVTEX n'est pas assuré. Le service 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'appliquent la Convention SOLAS de 1974 doivent être conformes aux normes de fonctionnement de l'OMI relatives aux équipements AGA (Résolution A664(16) de l'Assemblée de l'OMI).

Le service 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 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 stations terriennes de navire à la Norme-C de 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 station terrienne côtière à la Norme-C.

La largeur de bande d'exploitation du service 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 futures 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 service AGA est donné au Tableau VIII. 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 à la Norme-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 (8,64s). Une paire de mots uniques de 64 bits est insérée dans chaque trame pour la synchronisation et la levée d'ambiguïté.

TABLEAU VIII

	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 <sup>1</sup> du récepteur	dB/K	-23,0	-23,0
Rapport C/No moyen pour la liaison descendante	dBHz	38,1	37,7
Rapport C/No moyen pour une liaison sans évanouissement	dBHz	38,0	37,6
Affaiblissement dû au brouillage	dB	0,5	0,5
Affaiblissement aléatoire (99%)	dB	2,2	1,6
Rapport C/No total	dBHz	35,4	35,5
Rapport C/No requis	dBHz	34,5	34,5
Marge <sup>2</sup>	dB	0,9	1,0

- (1) Le rapport minimum G/T pour un récepteur autonome AGA ou à la Norme-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:

- i) adressage par ID unique (FleetNET™);
- ii) adressage de ID de groupe (FleetNET™)
- iii) 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 le service SafetyNET™ 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 terme 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 service 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, une station terrienne de navire INMARSAT de Norme-A ou de Norme-C prévue à cet effet.

### ANNEXE IV

#### 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 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 [Hagenauer et autres, 1984]. 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 enregistrées sur le navire «GAUSS» ( $C/M$  compris entre 8 et 14 dB). L'ensemble des voies en mémoire comprend 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 762 [Hagenauer et autres, 1984].

Les schémas de codage ainsi réalisés étaient les suivants:

- décodage Viterbi à code convolutionnel de débit  $1/2$ , longueur de contrainte = 7 avec et sans information sur l'état de la voie. (L'information sur la profondeur des évanouissements, fournie par la commande automatique de gain, est utilisée dans le processus de prise de décision du décodeur CED); le décodeur est réalisé sous forme matérielle;
- codes Reed-Solomon (15 : 9 : 3), décodeur Berlekamp-Massey, réalisé sous forme de logiciel en direct dans un ordinateur de grande puissance [Lutz, 1984].

On a effectué des entrelacements avec des entrelaceurs de tailles différentes. Le désentrelaceur à autosynchronisation a été réalisé avec un micro-processeur.

La Fig. 11 montre un exemple de la qualité de fonctionnement du CED à décodage Viterbi pour une antenne de 11 dB (C11). Les mesures font apparaître que pour une émission à code convolutionnel de débit  $1/2$  à un angle de site à  $4^\circ$ , on peut réaliser un TEB de  $1 \times 10^{-5}$  pour un rapport  $E_b/N_0$  dans la gamme 12,5 dB à 15,5 dB, ce qui correspond à un gain de codage net de 18,5 à 20,5 dB.

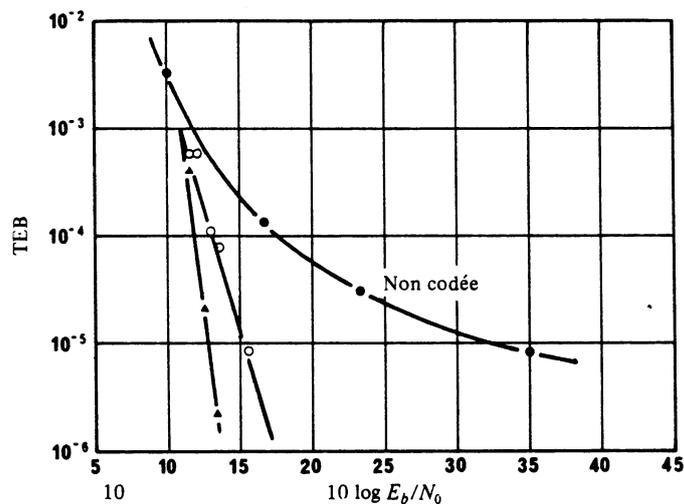


FIGURE 11 – Mesure de qualité de fonctionnement du décodage Viterbi entrelacé (antenne C11, angle de site à 4°)

Voie: mémorisée, C11, angle de site à 4°

Modulation: MDPCD modulation par déplacement de phase différentielle binaire

Modem: COSTAS/CAF

Débit binaire: voie 1200 bit/s  
information 545 bit/s

Taille de l'entrelaceur: 60 x 80

Décodeur: Viterbi débit 1/2  
longueur de la contrainte 7

Mode de décodeur:

○ YH, AN

▲ YH, AH

YH: variable pour les décisions/décisions formelles

AN: pas d'information sur l'état de la voie

AH: décision formelle sur l'état de la voie

Antenne:

C11, de norme C avec un gain de 11 dB

Des mesures faites avec une antenne de 3 dB montrent qu'à un angle de site de 19°, un TEB de  $1 \times 10^{-5}$  nécessite un rapport  $E_b/N_0$  de 9,5 à 10,5 dB; le gain de codage net correspondant se situe entre 4,5 et 7,5 dB [Hagenauer et autres, 1984].

Pour la transmission avec code complet à débit 1/2 sur les voies en mémoire, il convient d'utiliser des valeurs  $E_b/N_0$  comprises entre 12 et 18 dB, ce qui correspond à des avantages nets de codage de 6 à 17 dB. Comparé aux codes convolutionnels, ce schéma simple de codage par bloc était de qualité quelque peu inférieure, mais on peut conclure que l'on obtiendra des résultats équivalents en utilisant un codage par bloc plus puissant. On trouvera au Tableau IX une comparaison entre le code par bloc et le code convolutionnel.

TABLEAU IX – Comparaison entre le code complet et le code convolusionnel en ce qui concerne le volume de l'entrelaceur, le travail de décodage et le rapport mesuré de  $E_b/N_0$  pour  $TEB = 10^{-5}$  à un débit de la voie de 1200 bit/s (modem COSTAS/(CAF))

Voie	Code <sup>(1)</sup>	Volume (bit/s) de l'entrelaceur	Travail de décodage opérations/bits d'informations <sup>(2)</sup>	$E_b/N_0$ mesuré pour $TEB = 1 \times 10^{-5}$ (dB)
Rayleigh synthétique 1 Hz	par bloc	48 · 60 = 2880	8,3	27
	convolusionnel	48 · 60 = 2880	128	22,5
Antenne C3 Angle de site à 4° mémorisée	par bloc	48 · 60 = 2880	8,3	17
	convolusionnel	80 · 60 = 4800	128	13,2
Antenne C3 Angle de site à 19° mémorisée	par bloc	48 · 60 = 2880	8,3	12
	convolusionnel	80 · 60 = 4880	128	10,5

<sup>(1)</sup> Codage par bloc: code Reed-Solomon (RS) (15 : 9 : 3); décodage à décision formelle.  
Code convolusionnel: débit 1/2, longueur de contrainte = 7, décodage Viterbi YHAH.

<sup>(2)</sup> 1 opération pour décodage RS = 1 multiplication + 1 addition en GF ( $2^4$ ) (GF: champ de Gallois).  
1 opération pour décodage Viterbi = 1 addition + 1 consultation de table des nombres de points fixes.

La conclusion à tirer est que dans le cas le plus défavorable (antenne hémisphérique C3, angle de site 4°), le rapport moyen  $E_b/N_0$  utilisé pour obtenir un TEB de  $1 \times 10^{-5}$  doit être compris entre 13 et 17 dB. La valeur inférieure peut être obtenue avec un décodage Viterbi plus élaboré et un retard d'entrelacement de 4 s. Pour la valeur supérieure de  $E_b/N_0$ , on peut utiliser un décodeur Reed-Solomon assez simple avec un retard d'entrelacement de 2,4 s. Par rapport à la transmission non codée, des avantages nets de codage allant de 9 à 13 dB ont pu être obtenus. Ces résultats indiquent que l'utilisation de la CED est inévitable pour les systèmes de communication de données par satellite de la norme C avec transmission continue pour compenser les effets dus aux trajets multiples.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- HAGENAUER, J., DOLAINSKY, ETBAUER, GRÄBEL, LOTZ, PAPKE, W., PLÖCHINGER 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, (Rép. féd. d'). Préparé au titre du contrat ESA/ESTEC No 5323/82/NL/JS.
- LUTZ, E. [novembre 1984] Code and interleaver design for data transmission over fading channels. Proc. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '84), Atlanta, GA, Etats-Unis d'Amérique.

#### BIBLIOGRAPHIE

- SCHWEIKERT, R. et HAGENAUER, J. [septembre 1983] Channel modelling and multipath compensation with forward error correction for small satellite ship earth stations. Proc. 6th International Conference on Digital Satellite Communications, Phoenix, AZ, Etats-Unis d'Amérique, XII-32/38.

## ANNEXE V

MÉTHODE D'ÉVALUATION STATISTIQUE DE L'INFLUENCE DU MOUVEMENT DU NAVIRE  
SUR LES TÉLÉCOMMUNICATIONS PAR SATELLITE DU SERVICE MOBILE MARITIME

## 1. Introduction

Des études ont été récemment effectuées sur un système d'antenne installé à bord d'un navire, monté sur une plate-forme à stabilisation passive par gravité pour des stations terriennes de navire à faible rapport  $G/T$ , tel que la norme C d'INMARSAT [Sandrin et Carpenter, 1983]. Dans de tels cas, le niveau du signal reçu est affecté de manière aléatoire par le gain hors axe de l'antenne, car le mouvement de l'antenne peut être influencé directement par le mouvement aléatoire du navire. C'est pourquoi la qualité de fonctionnement d'une antenne montée sur stabilisateur passif doit être évaluée statistiquement comme marge de fluctuation du niveau du signal reçu.

La présente Annexe décrit une méthode d'évaluation statistique de la qualité de fonctionnement du stabilisateur passif d'antenne, assimilée à une marge de fluctuation du niveau de signal reçu, sous l'effet du gain hors axe de l'antenne; la méthode est basée sur des résultats expérimentaux et sur une analyse statistique [Sato et autres, 1984].

## 2. Evaluation de l'influence du mouvement du navire

La zone expérimentée était située à proximité des eaux territoriales du Japon. Le navire utilisé était de la catégorie 200 tonnes. La présente Annexe analyse le mouvement de roulis car ce dernier est la composante dominante du mouvement du navire. Le roulis a été mesuré à l'aide d'un gyroscope vertical.

On trouvera dans la Fig. 12 un enregistrement type d'une série de mouvements de roulis instantané  $X$  sur une période de 5 min. La Fig. 13 indique la distribution stochastique cumulative mesurée de  $X$ , c'est-à-dire la probabilité pour que  $X$  ne dépasse pas un certain niveau  $X_s$ . Les coordonnées de la Fig. 13 sont graduées de telle sorte que la distribution stochastique cumulative gaussienne soit représentée par une ligne droite. On a constaté que les valeurs mesurées concordaient bien avec une distribution gaussienne à moyenne nulle. La distribution stochastique cumulative gaussienne s'écrit comme suit:

$$p(X < X_s) = (1 + \operatorname{erf}(X_s/\sqrt{2} \sigma_s))/2 \quad (1)$$

où:

$\sigma_s$ : écart type du mouvement du navire et

$\operatorname{erf}(x)$ : fonction d'erreur.

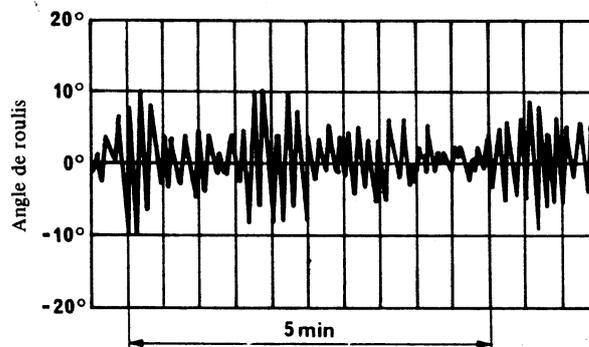


FIGURE 12 – Enregistrement d'un mouvement de roulis type d'un navire

Vitesse du navire: 10 nœuds

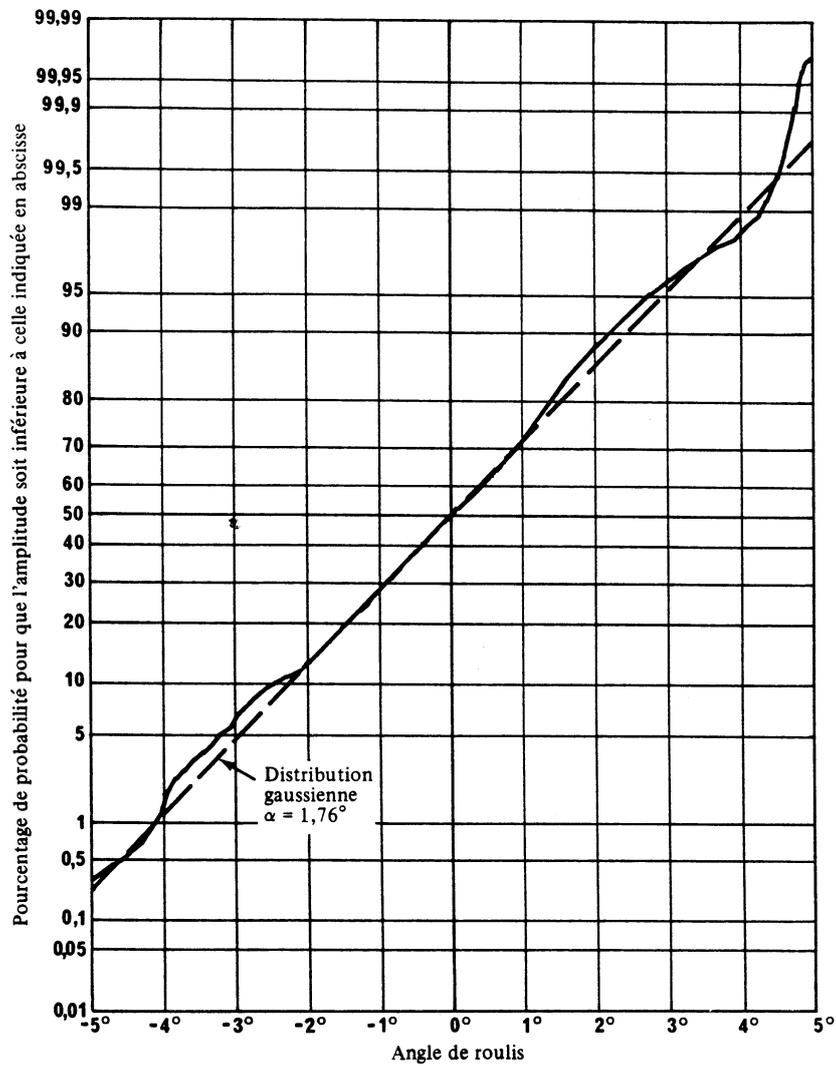


FIGURE 13 – *Distribution stochastique cumulative mesurée d'un mouvement de roulis instantané*

— : Valeurs mesurées  
 - - - : Valeurs calculées  
 Hauteur des vagues: environ 1 m

Le stabilisateur passif en position représenté en Fig. 14 a été étudié en tant que moyen de supprimer la fluctuation de l'antenne installée à bord du navire et qui est due à ce type de mouvement aléatoire du navire. On trouvera en Fig. 15 une illustration des effets (mesurés) du stabilisateur passif lorsque le mouvement du navire est du type à distribution gaussienne. On constate que le mouvement de l'antenne est considérablement réduit, et que celui de l'antenne stabilisée est proche de la distribution gaussienne à moyenne nulle.

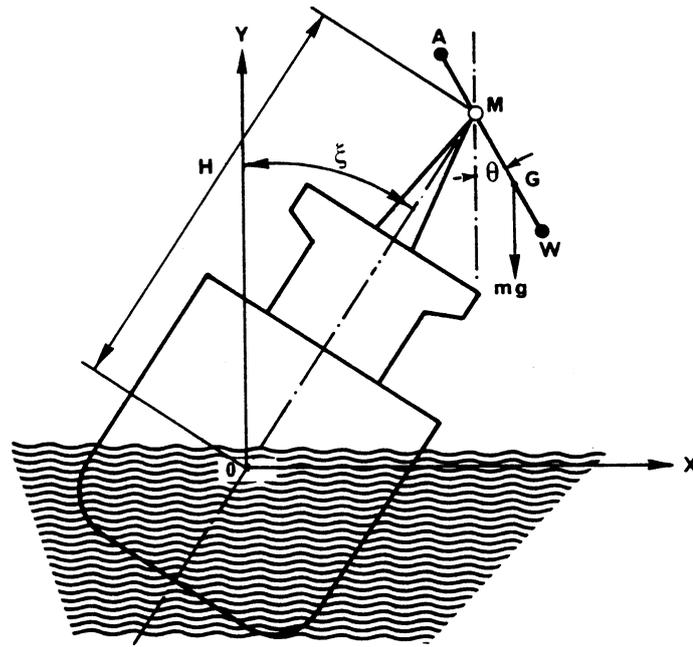
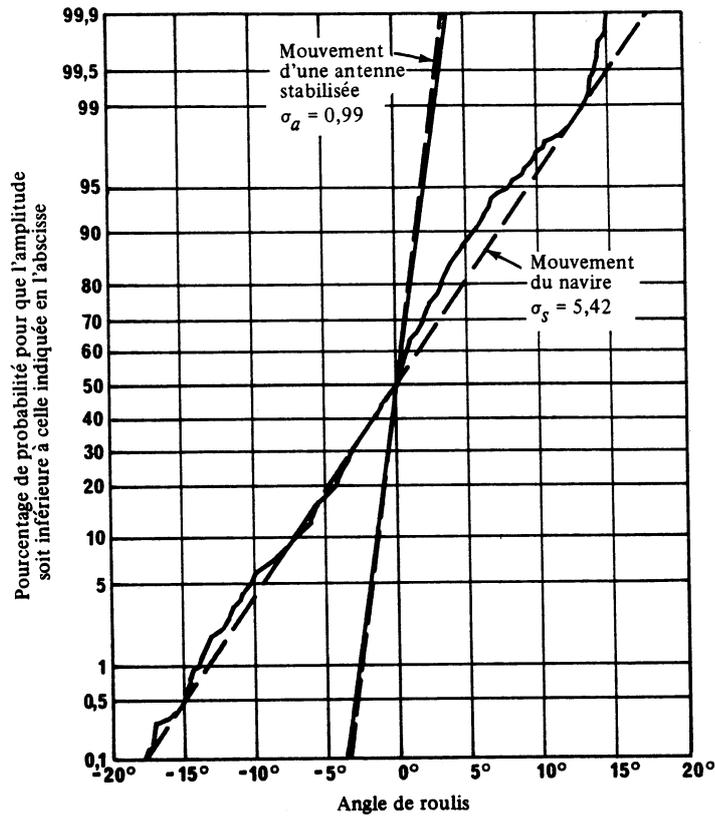


FIGURE 14 – Configuration d'un stabilisateur passif par gravité

- A: antenne
- W: contre-poids
- M: joint universel
- G: centre de gravité

FIGURE 15 – *Mouvement mesuré d'une antenne stabilisée*

— : Valeurs mesurées  
 - - - : Valeurs calculées  
 Hauteur des vagues: environ 5 m

Si la valeur  $p_1$  désigne la probabilité de distribution stochastique cumulative pour le mouvement de l'antenne stabilisée pendant un court intervalle de temps, l'angle maximal du mouvement de l'antenne,  $X_a$ , peut alors être calculé au moyen de la relation suivante, tirée de l'équation (1):

$$X_a = \sqrt{2} \sigma_a \cdot \text{erf}^{-1}(2p_1 - 1) \quad (2)$$

où:

$\sigma_a$ : écart type du mouvement de l'antenne stabilisée et

$\text{erf}^{-1}(x)$ : fonction inverse de la fonction d'erreur.

Par exemple, pour  $p_1 = 99\%$ :  $X_a = 2,4 \sigma_a$ . La directivité de l'antenne en  $X_a$  (degrés) à partir du centre du faisceau équivaut à la réduction maximale du niveau du signal reçu, due au mouvement de l'antenne équipée d'un stabilisateur, à la probabilité  $p_1$  pour un court intervalle de temps. La relation entre les écarts types  $\sigma_s$  et  $\sigma_a$  dépend de la conception du stabilisateur passif.

Il convient de déterminer la distribution dans un intervalle long pour l'écart type du mouvement du navire,  $\sigma_s$ , afin d'évaluer la marge de fluctuation du niveau du signal reçu permettant d'établir le bilan de puissance de la liaison.

Il est bien connu que l'enveloppe des variations gaussiennes à moyenne nulle obéit à une distribution de Rayleigh. Une distribution stochastique cumulative mesurée de l'enveloppe du mouvement de roulis pour une demi-amplitude,  $R$ , dans un court intervalle de temps est représentée en Fig.16. Les coordonnées de la Fig.16 sont graduées de telle manière que la distribution stochastique cumulative de Rayleigh soit représentée par une ligne droite. La distribution stochastique cumulative de  $R$  dans un intervalle court concorde bien avec la distribution de Rayleigh. La valeur efficace de  $R$  ( $R_{eff}$ ) pour un processus aléatoire gaussien à moyenne nulle, avec un écart type  $\sigma_s$ , s'écrit comme suit:

$$R_{eff} = \sqrt{2} \sigma_s \quad (3)$$

En conséquence, la distribution de  $\sigma_s$  dans un intervalle long peut être évaluée d'après la distribution de  $R_{eff}$  dans un intervalle long.

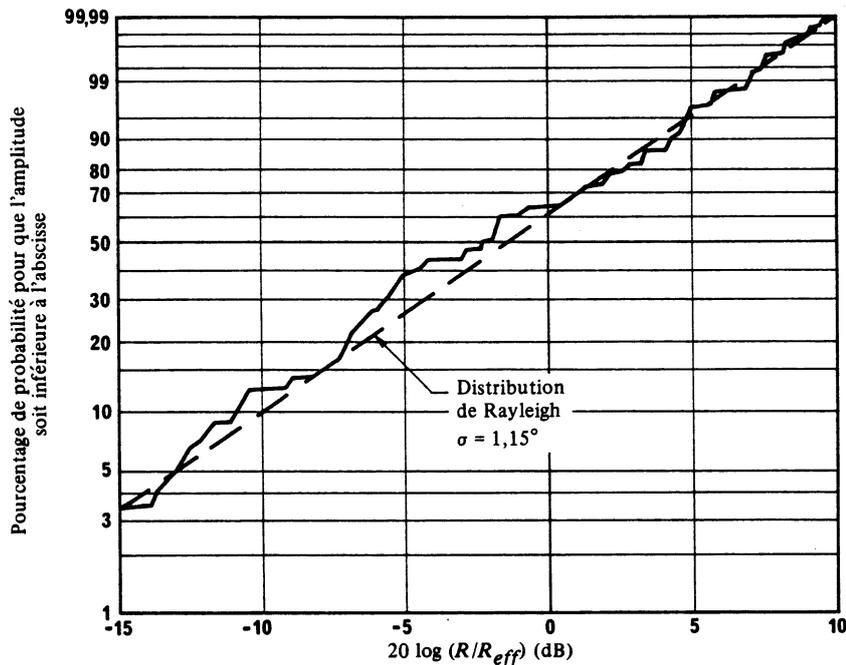


FIGURE 16 – Distribution stochastique cumulative mesurée d'une enveloppe d'amplitude de roulis dans un court intervalle de temps

— : Valeurs mesurées  
 - - - : Valeurs calculées

Cette distribution de  $R_{eff}$  est étudiée depuis longtemps; on a cherché à en donner une approximation par la répartition log-normale [Jasper, 1956]. Cependant, selon des études récentes portant sur la distribution dans un long intervalle au cours d'une saison, on sait maintenant que la distribution de Weibull correspond mieux aux valeurs mesurées dans une large gamme de probabilité, que la distribution log-normale [Nishinokubi et Kawas-hima, 1976]. Néanmoins, la distribution de  $R_{eff}$  dans un long intervalle doit faire l'objet d'un complément d'étude. Dans le cas présent, c'est la distribution de Weibull qui a été retenue pour discuter la méthode d'évaluation statistique.

La distribution de Weibull est utilisée dans le domaine des techniques de résistance des matériaux des navires. La fonction de répartition de probabilité s'exprime comme suit:

$$p(x) = q(x/k)^{q-1} \cdot \exp(-(x/k)^q)/k, \quad x > 0 \quad (4)$$

où  $q$  et  $k$  sont des paramètres déterminés expérimentalement. La fonction de la distribution stochastique cumulative s'exprime alors par:

$$p(R_{eff} < R_0) = 1 - \exp(-(R_0/k)^q) \quad (5)$$

En utilisant les équations (3) et (5), l'écart type maximal du mouvement du navire,  $\sigma_{s,0}$ , lié à  $R_{eff} = R_0$  pour une distribution stochastique cumulative  $p_2$  peut s'écrire comme suit:

$$\sigma_{s,0} = R_0/\sqrt{2} = k(-1n(1 - p_2))^{1/q}/\sqrt{2} \quad (6)$$

D'après les évaluations expérimentales du mouvement de roulis du navire (hauteurs de vagues: environ 1 m) pendant l'hiver et à proximité des eaux territoriales du Japon, les valeurs des paramètres  $q$  et  $k$  sont 1,9 et 5, respectivement [Nishinokubi et Kawashima, 1976]. La distribution stochastique cumulative de  $R_{eff}$  dans un long intervalle est alors donnée en Fig. 17, où les coordonnées sont graduées de telle manière que la distribution stochastique cumulative log-normale soit représentée par une ligne droite. Par exemple, pour  $p_2 = 99\%$ , on peut estimer que l'écart type maximal du mouvement du navire,  $\sigma_{s,0}$ , est inférieur à environ  $8^\circ$  au cours de la saison où le mouvement du navire est le plus critique.

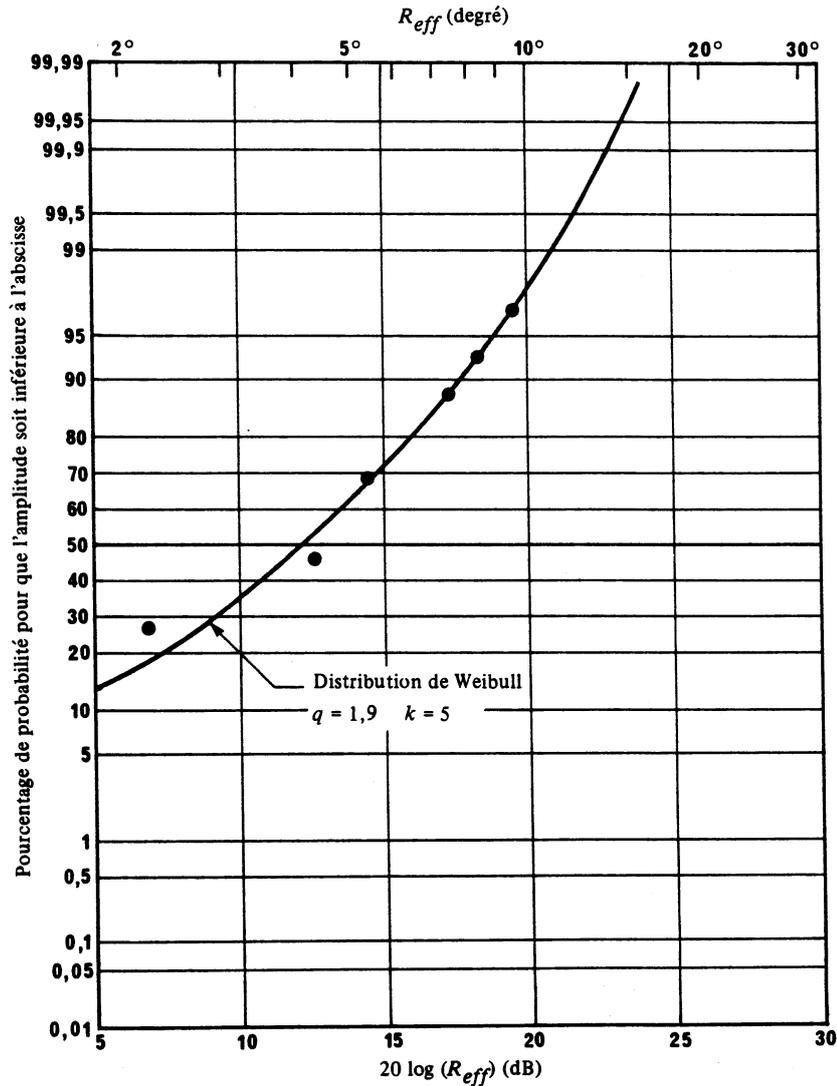


FIGURE 17 – Distribution stochastique cumulative mesurée d'une valeur quadratique moyenne d'une enveloppe d'amplitude de roulis pendant l'hiver et à proximité des eaux territoriales du Japon

●: Valeurs mesurées

Hauteur des vagues: 5-10 m

L'écart type maximal du mouvement de l'antenne stabilisée est  $\sigma_{a0}$ . La relation entre  $\sigma_{a0}$  et  $\sigma_{s0}$  est déterminée expérimentalement et dépend de la conception du stabilisateur passif. La réduction qui en résulte pour le signal reçu, due à la position hors-axe de l'antenne, peut alors être considérée comme la marge de fluctuation aux fins d'établissement du bilan de puissance d'une liaison de télécommunication par satellite dans le service mobile maritime.

### 3. Conclusion

La qualité de fonctionnement du stabilisateur passif pour la conception d'une station terrienne de navire à faible rapport  $G/T$  nécessite une évaluation statistique. La marge de fluctuation du niveau du signal reçu, sous l'effet du mouvement aléatoire de l'antenne, peut alors être estimée à l'aide des fonctions de distribution stochastique cumulative instantanée et à intervalle long du mouvement du navire, ainsi que par la directivité de l'antenne et la qualité de fonctionnement du stabilisateur.

Il sera utile d'effectuer un traitement statistique de la qualité de fonctionnement du stabilisateur passif pour la conception d'un système d'antenne de bord et pour l'établissement d'un bilan de puissance de la liaison destiné à un futur système de télécommunications par satellite mobile maritime avec stations terriennes de navire simples et à faible rapport  $G/T$ .

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- JASPER, N. H. [1956] Statistical distribution patterns of ocean waves and of wave-induced ship stresses and motions, with engineering applications, *Trans. SNAME.*, **64**, 357-417.
- NISHINOKUBI, H. et KAWASHIMA, R. [1976] On the sea keeping qualities of fishing by field measurement-III. *J. Japan Inst. Nav.*, **55**, 1-6.
- SANDRIN, W. A. et CARPENTER, E. W. [1983] Antenna studies for INMARSAT Standard-C terminals. IEE Conf. Publ., 125-129.
- SATOH, K., NAKAMAE, M. et MISHIMA, H. [1984] A simple ship-borne antenna stabilizer for limited area maritime satellite communication systems. 35th Congress of the International Astronautical Federation (IAF), IAF-84-86.

### ANNEXE VI

#### SYSTÈME DE TÉLÉCOMMUNICATION DE DONNÉES POUR LES SERVICES MOBILES PAR SATELLITE

##### 1. Introduction

La présente annexe contient la description d'un système de télécommunication de données, appelé PRODAT, convenant aux trois domaines d'application possibles du service mobile par satellites, à savoir les services mobiles aéronautique, terrestre et maritime. Le système PRODAT est actuellement mis en œuvre par l'Agence spatiale européenne dans le cadre du programme PROSAT, qui est un programme d'essai et de démonstration relatif aux futurs services de télécommunications mobiles par satellite. La conception du système PRODAT est fondée sur les données d'expérimentation qui ont été récoltées au cours de la première phase du programme PROSAT. Le système sera utilisé au cours de la deuxième phase pour les démonstrations et les évaluations à long terme des services de données seulement convenant aux stations terriennes mobiles à faible rapport  $G/T$  dans les trois domaines d'application susmentionnés.

Les expériences de la première phase de PROSAT ont montré que les «voies» mobiles par satellite, à savoir aéronautiques, maritimes et terrestres, sont différentes. Cependant, au niveau du système, leur comportement est très similaire: si la voie est bonne pour la plus grande partie du temps, elle peut être mauvaise dans certaines conditions (faible angle de site, environnement dans le cas du service mobile terrestre, par exemple). Afin d'abaisser autant que possible les servitudes de protocole et de codage lorsque la voie est bonne tout en conservant la possibilité de faire face à la plupart des conditions défavorables, il est nécessaire de trouver un système de télécommunications qui s'adapte de lui-même aux caractéristiques de la voie. Il s'agit d'un des critères de conception fondamentaux qui ont été utilisés pour définir le système PRODAT. Les schémas de codage et ARQ utilisés dans le système PRODAT pour les liaisons aller et les liaisons retour conviennent fort bien aux conditions de propagation auxquelles devront faire face les stations mobiles terriennes PRODAT à faible rapport  $G/T$  ( $G/T = -24 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ ).

## 2. Le système PRODAT

### 2.1 Fréquences

Les terminaux mobiles sont capables de travailler dans la totalité de l'allocation maritime et aéronautique mais les expériences avec PRODAT se sont limitées à la portion de la bande du mobile maritime par satellite que peut utiliser MARECS.

Mobile vers satellite: 1 638,6 MHz    1 644,5 MHz  
Satellite vers mobile: 1 537,75 MHz    1 542,5 MHz

### 2.2 Antennes des mobiles (voir le diagramme type à la base sur la Figure 18)

Les mobiles seront équipés soit d'une antenne unique avec diplexeur soit de deux antennes distantes d'environ 80 cm.

Le diagramme de rayonnement à la base est hémisphérique avec un gain de 0 à 2 dBi.

La polarisation est dextrorsum et le rapport d'ellipticité est meilleur que 5 dB.

### 2.3 Caractéristiques de l'émetteur mobile

- La puissance RF est de 10 dBW ( $\pm 1$  dB).
- L'émetteur ne fonctionne que lorsqu'il a un message à transmettre
- La modulation est à étalement du spectre en séquence directe. Le débit des éléments est 266,7 kKz. Le débit de symboles 300 bauds.
- Erreur maximale de fréquence:  $\pm 300$  Hz.

### 2.4 Caractéristiques du récepteur mobile

Le récepteur se verrouille sur un MRT continu qu'émet le satellite et contrôle les créneaux de signalisation. Lors des expériences avec PRODAT les caractéristiques de réception étaient les suivantes:

- débit des symboles MRT: 750 bauds;
- durée de la trame: 1 seconde;
- modulation: MDP-B;
- densité surfacique de puissance nominale sur la Terre du MRT du satellite: -133 dBW/m<sup>2</sup>.



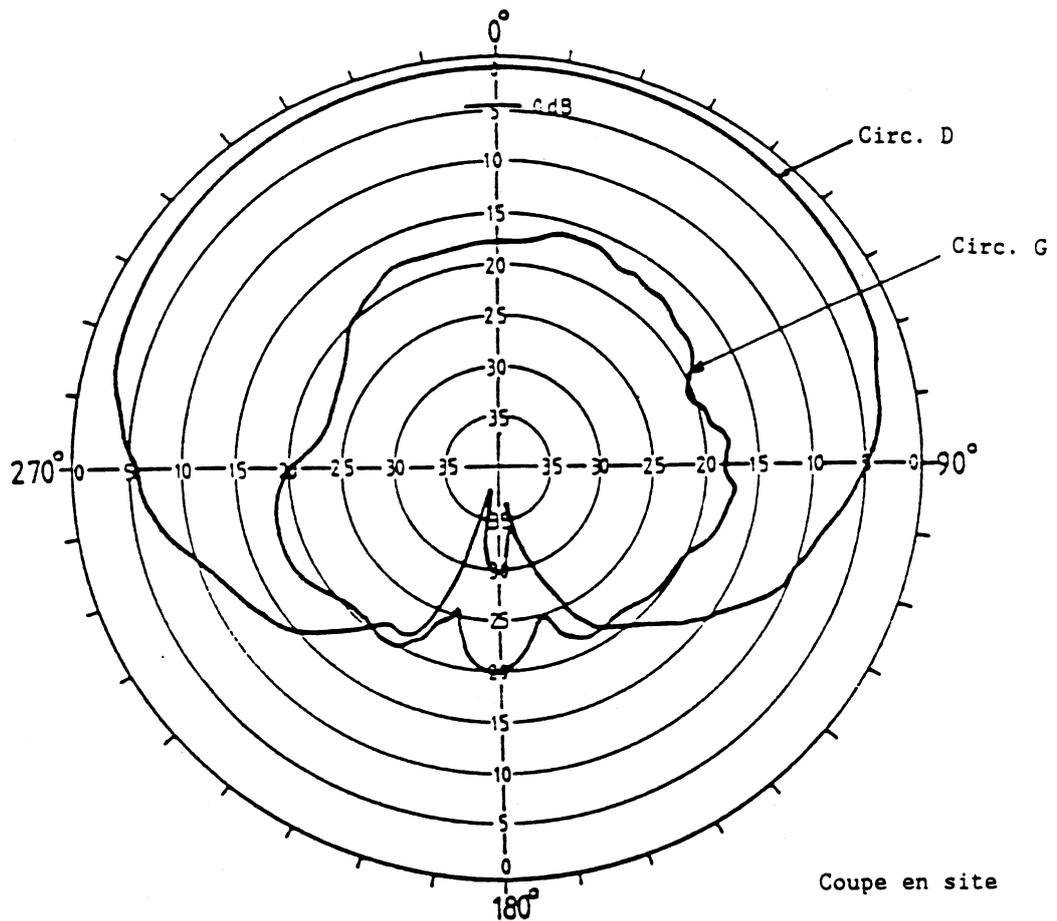


FIGURE 18 - Diagramme d'antenne type

Les principales caractéristiques du MRT à l'aller sont:

Débit de signalisation:	1500 Bd
Durée de trame:	1,098 s
Débit de données (par voie):	46 bit/s

Le codage est fondé sur des codes Reed-Solomon GF ( $2^4$ ) à blocs courts et la répétition du message est introduite suivant un schéma ARQ (correction d'erreur par détection et répétition).

### 2.5 Liaison retour

La liaison retour est une liaison numérique depuis les stations mobiles jusqu'au système de gestion du réseau, par l'intermédiaire du satellite. Les données provenant des stations mobiles sont transmises suivant un schéma à accès multiple par répartition en code (AMRC).

Les principales caractéristiques de l'AMRC de retour sont:

Nombre de codes:	32
Débit de signalisation (par voie):	300 Bd
Débit de données (par voie):	150 bit/s
Longueur de code:	889 bribes

Le codage est organisé d'une manière similaire à celui de la liaison aller.

## 2.6 Fonctions de télécommunications

Le système PRODAT assurera les fonctions suivantes:

- émission de messages depuis des usagers fixes vers des usagers mobiles et *vice versa*, et depuis des usagers mobiles vers des usagers mobiles;
- émission de messages à plusieurs usagers mobiles (simultanément);
- dialogue entre un usager fixe et un usager mobile;
- fonction de demande/réponse;
- interrogation périodique des stations mobiles;
- appel unilatéral.

Chaque usager n'aura pas nécessairement accès à toutes les fonctions.

Pour les besoins des démonstrations de phase 2 de PROSAT, le système de gestion du réseau fournira des interfaces au réseau public de données, au réseau téléphonique public et au réseau télex.

## 2.7 Schéma de codage et fonction ARQ

Le système PRODAT est fondé sur l'utilisation d'un schéma de codage bidimensionnel et la mise en œuvre d'un schéma ARQ.

Les informations sont organisées en «blocs», chaque bloc étant un jeu de vecteurs de code RS (16 : 12) étendus (codage vertical). Chaque vecteur de code occupe un intervalle du MRT. Les symboles des vecteurs de code sont des éléments du corps de Gallois GF ( $2^4$ ) correspondant chacun à 4 bits. Le codage vertical permet de corriger les erreurs aléatoires. Une description détaillée de ce schéma de codage est donnée dans l'Annexe II au Rapport 509.

## 2.8 AMRC de la liaison retour

Le schéma d'accès retenu pour la liaison retour est l'AMRC. Le signal modulé est étalé au moyen d'un code Gold 127 associé à une séquence Barker à 7 bits. La modulation par le code d'étalement est la MDP-2, et le débit de symboles est de 266,7 kHz. La crête maximale de corrélation croisée est inférieure à -13 dB (par rapport au maximum de la fonction de corrélation croisée) et la dégradation par interférence mutuelle est inférieure à 2 dB.

Les avantages de l'AMRC sont les suivants:

- protection améliorée contre les signaux brouilleurs;
- efficacité accrue au niveau de la qualité de la voie d'accès aléatoire (on peut distinguer deux signaux espacés par un ou deux symboles);
- une meilleure efficacité de la liaison de données retour par rapport à l'AMRT (les temps de garde pour éviter l'altération des signaux sont superflus);
- étalement des produits d'intermodulation dans le répéteur de retour du satellite (et dès lors la possibilité d'accepter une dynamique du signal plus élevée ou d'améliorer la qualité de la liaison);
- capacité de réutilisation des fréquences améliorée pour les antennes de satellite à plusieurs faisceaux, et
- puissance de crête inférieure à celui de l'AMRT dans l'émetteur de la station terrienne de navire.

## 2.9 Voies

Les voies suivantes sont fournies dans la trame MRT aller:

- S0: mot unique
- S1: voie de signalisation (accès)
- S2: sous-multiplex pour sous-voie retour (accusé de réception)
- S3: voie de signalisation (accès)

D001-017: voies de données (17)

Trente codes AMRC sont utilisés dans la liaison retour, chacun d'eux étant associé à une voie particulière:

- RA1: voie d'appel d'accès aléatoire
- D051-062: voies de données (12)
- D101-117: sous-voies retour (17)

Les sous-voies retour sont utilisées pour transmettre les messages d'accusé de réception.

### 2.10 Synchronisation (liaison retour)

Les transmissions sur une voie donnée quelconque, à l'exception de la voie d'accès aléatoire, surviennent dès que la voie est assignée à une station mobile donnée. Pour cette raison, seule une station mobile peut émettre au cours de la période d'assignation dans une voie donnée.

### 3. Programme PROSAT phase 2

Dans le cadre de la seconde phase du programme PROSAT, on a lancé les opérations PRODAT qui comprennent les expériences avec le système de télécommunications. On a ainsi fourni le système de commande du réseau, situé au centre de commande du satellite à Villafranca et l'interface entre les réseaux publics télex et de données et le satellite MARECS Atlantique. On trouve aussi à Villafranca un interface avec le réseau SITA.

On a aussi fourni une trentaine de mobiles qui couvrent les trois catégories de service mobile par satellite. Les expériences ont commencé en mai 1987 et se poursuivront jusqu'en décembre 1988. Au cours de ces expériences on étudiera non seulement les questions purement techniques, comme la qualité de la liaison, mais aussi les aspects service et les réactions des usagers, mais en excluant les questions de tarification.

## ANNEXE VII

### Système de télécommunications INMARSAT de Norme C

#### 1. Introduction

La possibilité d'installer à bord du moindre navire un système de télécommunications moderne bidirectionnel était l'objectif de la norme C du système de télécommunications. Elle a aussi été approuvée 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 un service de télécommunications bilatéral par messages conçu 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 un service uniquement en mode diffusion qui couvre les océans et est connu sous le nom d'appel de groupe amélioré.

1.1 On peut décrire sommairement comme suit le système à norme C:

- a)  $G/T = -23 \text{ dB}(K^{-1})$ , 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 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 permettront d'acheminer les services suivants:

- 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,  $-23 \text{ dB(K}^{-1})$ , restreint les services proposés 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.

## 3. Bilans de liaison

En raison de l'utilisation de l'ARQ dans la norme 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 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 X et XI représentent le "cas le plus défavorable", qu'on définit comme suit:

- $5^\circ$  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 X

Bilan de la liaison aller dans le cas le plus défavorableLiaison 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 <sup>-1</sup> ))	-15,0
C/N <sub>0</sub> moyen de la liaison montante	(dBHz)	72,7
C/I <sub>0</sub> 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 <sup>-1</sup> ))	-23,0
C/N <sub>0</sub> moyen de la liaison descendante	(dBHz)	37,1
C/N <sub>0</sub> 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 <sub>0</sub> global	(dBHz)	34,5
C/N <sub>0</sub> nécessaire	(dBHz)	34,5
Marge	(dB)	0,0

TABLEAU XI

Liaison de retour: 99% du temps

		MCS	MARECS
P.i.r.e. de la station terrienne côtière	(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 <sup>-1</sup> ))	-13,0	-11,0
C/N <sub>0</sub> moyen de la liaison montante	(dBHz)	38,2	40,2
C/I <sub>0</sub> 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 STC	(dB(K <sup>-1</sup> ))	32,0	32,0
C/N <sub>0</sub> moyen de la liaison descendante	(dBHz)	36,4	36,4
C/N <sub>0</sub> 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 <sub>0</sub> global	(dBHz)	31,9	32,5
C/N <sub>0</sub> 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 (voir par exemple le Rapport 921).

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 (voir le Rapport 384), 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 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'erreur de salve mais presque indépendant du nombre de bits de la salve. C'est pourquoi le taux d'erreur binaire 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. Voies à la norme C

Le système en norme C met en oeuvre un certain nombre de types de voies distincts qu'on trouve décrit ci-après.

### 5.1 Voie commune de la SCR

La SCR transmet en permanence la voie commune de SCR. Cette voie fonctionne à 1 200 symboles/s avec une trame de longueur fixe de 8,64 s. L'information est embrouillée, entrelacée et codée de façon convolutionnelle à débit 1/2, trame par trame. Le débit d'information est donc 600 bit/s.

Dans chaque trame, 591 octets sont réservés aux paquets et 48 à un tableau d'affichage qui sert à transférer l'information relative à l'utilisation par la STN des voies de signalisation associées à la STN.

### 5.2 Voie MRT de la STC

La voie MRT de la STC sert de liaison aller lors de communications avec une STN. Elle a la même structure que la voie commune de la SCR décrite ci-dessus et sert à acheminer la signalisation d'établissement, le message côtier vers navire, les accusés de réception et la signalisation de libération d'appel aval.

Une STC peut exploiter plus d'une voie MRT de STC et chaque voie peut être assignée à la demande par la SCR.

### 5.3 Voie de signalisation de la STN

La voie de signalisation de la STN est utilisée à la fois par la SCR et par la STC, surtout pour la signalisation de la liaison de retour. A chaque voie aller MRT sont associées une à quatre voies de signalisation de STN.

L'accès des STN à la voie de signalisation de STN est effectué au moyen d'un système Aloha crénelé assorti d'un mécanisme de réservation des créneaux dans la voie.

La position temporelle des créneaux s'inscrit dans la trame MRT de 8,64 s. Avec les satellites actuels chaque intervalle de trame est divisé en 14 créneaux, et il y en aura 28 pour les satellites à venir.

L'information transmise dans un créneau est embrouillée et codée de façon convolutionnelle à débit 1/2.

Pour les satellites actuels le débit de transmission est de 600 symboles/s et sera porté à 1 200 pour les satellites à venir. Chaque créneau achemine 120 bits d'information. Pour utiliser au mieux la voie, les salves transmises dans les créneaux n'ont pas de préambules d'acquisition spécialisés.

Si plus d'une STN transmet dans le même créneau, il en résulte, du point de vue de la STC réceptrice une "collision". Afin que la STN soit informée au plus vite que sa transmission n'a pas abouti, le tableau d'affichage du MRT aller sert à renvoyer le résultat des transmissions des STN.

### 5.4 Voie message de la STN

La voie message de la STN lui sert à transmettre ses messages à la STC choisie. Au cours de la phase d'établissement d'appel du transfert on utilise une voie de signalisation de STN mais le message lui-même est acheminé sur une voie de message de STN assignée par la STC.

L'accès des STN aux voies se fait en MRT. A chaque STN qui attend son tour pour transmettre la STC indique l'instant où elle pourra commencer. Une fois cet instant assigné, la STN transmet tout son message sans interruption.

L'information à transmettre est mise sous un format de paquets de dimension fixe et incluse dans des trames. Il existe des trames de plusieurs dimensions mais pour une transmission donnée la dimension sera fixée. Selon sa dimension, une trame peut comporter de 1 à 5 paquets qui contiennent chacun 127 octets d'information.

Les trames sont embrouillées, entrelacées et codées de façon convolutionnelle à débit 1/2, trame par trame. On y ajoute avant la transmission un préambule d'acquisition. Selon le transpondeur de satellite utilisé le débit de transmission est soit 1 200 symboles/s soit 600.

#### 5.5 Liaisons entre stations

Chaque STC qui propose des services à la norme C dispose d'une liaison bidirectionnelle avec la SCR de la même région. Cette liaison sert à transférer des messages pour des annonces et appel de groupe amélioré d'une STC vers une SCR en vue de la transmission ultérieure sur la voie commune de la SCR. Cette liaison achemine en outre les signalisations pour que l'accès des STN soit synchronisé et pour que la SCR alloue les voies MRT de la STC.

Cette voie met en oeuvre les procédures d'accès aux liaisons de la Recommandation X.25 du CCITT (Livre rouge). Le débit de transmission est de 1 200 bit/s et on ne recourt qu'aux techniques de correction d'erreurs que décrit X.25.

#### 5.6 Liaisons entre régions

Chaque SCR est reliée aux autres SCR par une voie de liaison interrégionale. Cette voie sert essentiellement à tenir informées les autres régions de tous les enregistrements ayant trait aux STN d'une région particulière.

Cette liaison utilise des voies de données en bande vocale à numérotation automatique sur PSTN. Pour les échanges d'information on met en oeuvre les procédures de la couche liaison de la Recommandation X.23 du CCITT (Livre rouge). Cette liaison travaille à 600 bit/s avec les modems à duplex complet CCITT V.22.

#### 6. Différents types de norme C

- Type 1 N'assure que les communications en norme C.
- Type 2 Assure les communications en norme C et la réception des transmissions d'appel de groupe amélioré (EGC) lorsqu'il ne participe pas à des communications n'utilisant qu'un seul récepteur (récepteur commun EGC/SGDC).
- Type 3 Assure simultanément les communications en norme C et l'EGC au moyen de deux récepteurs.

