

## RAPPORT UIT-R M.2010-1

**AMÉLIORATION DE L'EFFICACITÉ D'UTILISATION DE LA BANDE 156-174 MHz  
PAR LES STATIONS DU SERVICE MOBILE MARITIME**

(Question UIT-R 96/8)

(1993-1997)

**1 Introduction**

**1.1** La Recommandation 318 (Mob-87) de la Conférence administrative mondiale des radiocommunications pour les services mobiles (Genève, 1987) (CAMR Mob-87) invite l'UIT-R à entreprendre sans délais les études nécessaires pour déterminer les moyens qui conviennent le mieux pour promouvoir une utilisation plus efficace du spectre dans la bande d'ondes métriques du service mobile maritime.

**1.2** Le présent Rapport donne un aperçu des techniques et systèmes économes en spectre qu'on utilise ou qu'il est proposé d'utiliser pour les services mobiles terrestres privés et passe en revue diverses options afin de voir si elles se prêtent à des applications du service mobile maritime en ondes métriques. Quelques-unes, peu nombreuses, ont été retenues comme les plus prometteuses. Elles ont été examinées plus avant pour trois raisons: déterminer l'amélioration d'efficacité d'utilisation du spectre qui pourrait en découler, identifier des questions connexes de technique et d'exploitation et préciser les domaines nécessitant un complément d'étude.

**2 Aperçu des techniques et des systèmes**

Le service maritime doit à tout moment fournir une voie de communication efficace pour les communications de détresse et de sécurité, les opérations de recherche et de sauvetage et la transmission des informations de navigation. Le service assure par ailleurs la correspondance publique, la radiodiffusion de bulletins météorologiques, les communications de supervision pour les opérations portuaires et les communications entre navires. Il faut prendre en compte tous ces facteurs lorsque l'on cherche à savoir si les autres techniques et les autres systèmes sont adaptés ou non. Il est particulièrement important que les modifications apportées au système actuel:

- puissent être mises en œuvre dans la bande d'ondes métriques du service mobile maritime car on ne peut espérer disposer de bandes de fréquences supplémentaires dans un avenir proche;
- augmentent de façon significative la capacité spectrale; les modifications devront apporter une capacité suffisante pour faire face à la croissance attendue pour les dix ou quelques prochaines années. Il faut noter toutefois que les systèmes cellulaires terrestres existants couvrent déjà certaines eaux côtières et soulagent quelque peu les voies réservées à la correspondance publique dans la bande des ondes métriques du service mobile maritime;
- perturbent le moins possible les services existants, en particulier l'exploitation des voies de détresse et de sécurité;
- tirent parti des nouvelles techniques disponibles y compris de la transmission de données (voir l'Annexe 1) pour assurer de nouvelles fonctions, par exemple, le cryptage pour assurer une meilleure sécurité et une meilleure confidentialité.

Un aperçu des autres techniques et systèmes passés en revue dans la présente étude est donné ci-après.

**2.1 Modulation à bande étroite**

Remplacer les voies actuelles à 25 kHz par des voies plus étroites serait une façon simple d'obtenir plus de voies. En principe, le fait de réduire de moitié la largeur de bande permettrait d'obtenir deux fois plus de voies. Dans la pratique, les performances dans les voies adjacentes et dans la même voie sont en général moins bonnes, les distances de réutilisation des fréquences sont augmentées et le gain potentiel total n'est pas toujours réalisé.

Les techniques à bande étroite suivantes ont été examinées:

- espacement des voies de 12,5 kHz avec modulation de fréquence (MF) analogique. On pourrait avoir jusqu'à deux fois plus de voies;
- espacement des voies de 6,25 kHz avec modulation et signaux de parole numériques. On pourrait avoir jusqu'à quatre fois plus de voies;
- espacement des voies de 5 kHz avec modulation linéaire (une forme de la modulation à bande latérale unique (BLU)). On pourrait obtenir jusqu'à cinq fois plus de voies.

Ces trois formules pourraient apporter des gains de capacité importants, sont applicables à la bande des ondes métriques et ne modifieraient pas fondamentalement le fonctionnement des services existants. Elles sont examinées plus avant au § 3.

## **2.2 Technique d'accès multiple par répartition dans le temps $\times$ 4 (AMRT-4) 25 kHz**

La technique AMRT-4 25 kHz sera probablement utilisée pour les applications mobiles terrestres dans certaines parties du monde et pourra donc tirer avantage des économies d'échelle. Un système AMRT-4 25 kHz appelé TETRA sera certainement retenu pour les futures applications terrestres mobiles en Europe.

TETRA est une norme européenne ouverte et ce système offre une grande efficacité spectrale et de nombreuses possibilités qui le rendent tout indiqué pour être directement utilisé dans un environnement marin. TETRA tient la comparaison avec les autres systèmes examinés, il offre un gain brut de 4:1 en canaux/kHz en MF à 25 kHz avec des hauts débits de données, en particulier lorsqu'on utilise des intervalles de temps multiples.

Le Royaume-Uni envisage d'utiliser le système TETRA pour des applications maritimes nationales. Une description détaillée du système TETRA est donnée en Annexe 2.

## **2.3 Remplacement des signaux vocaux par des données**

Dans les applications où l'on utilise souvent des messages standards ou si le message est dans un seul sens, la transmission de textes au lieu de messages vocaux peut réduire sensiblement le temps d'occupation de la voie. Par exemple, l'équivalent d'un message vocal de 10 s, sous forme de texte, pourrait être transmis à 1 200 bit/s en 2 s et en moins de temps avec des débits binaires plus élevés. La capacité en voies passe de 1 à 5, voire mieux. Toutefois, cela ne peut être réalisé en pratique que s'il est possible de remplacer les messages vocaux par du texte.

En partant de l'hypothèse optimiste que la moitié de tous les messages vocaux relatifs aux opérations portuaires, mais pas la correspondance publique ou les communications navire-navire, peuvent être remplacés par une transmission de données, le gain de capacité sur les fréquences internationales serait de six nouvelles voies duplex et quatre voies simplex. La capacité globale serait multipliée par 1,2.

## **2.4 Etablissement automatique de communication**

Les systèmes d'établissement automatique de communication apportent un petit gain de capacité de l'ordre de 20% en supposant que le temps d'établissement d'une communication manuelle est de 0,5 min pour une communication moyenne de 2,5 min.

# **3 Formules retenues pour la modulation à bande étroite**

Toutes les technologies à bande étroite examinées dans le présent Rapport s'appliquent aussi bien à des voies simplex qu'à des voies duplex.

## **3.1 MF analogique sur voies de 12,5 kHz**

La MF sur voies de 12,5 kHz est déjà largement utilisée dans les radiocommunications mobiles terrestres et, si elle était adoptée, permettrait de diminuer de moitié l'espacement entre les voies. Le principal avantage de cette formule tient au fait que la technologie est disponible et a fait ses preuves et qu'il y aurait interopérabilité entre les nouveaux équipements et les équipements existants (avec une qualité de fonctionnement moindre). Le principal inconvénient est le gain limité de capacité par rapport à d'autres techniques de modulation à bande étroite.

### **3.1.1 Gain en spectre/de capacité**

Réduire de moitié la largeur de bande des voies permettrait de doubler le nombre de voies. Il en résulterait toutefois une vulnérabilité accrue aux brouillages dans la même voie et par conséquent la distance minimale de réutilisation des fréquences serait augmentée. Dans les zones où la distance de réutilisation des fréquences est de toute façon supérieure à cette valeur minimale, le gain de capacité total serait égal à deux.

### 3.1.2 Questions d'exploitation et transition

Sur le plan opérationnel, il ne devrait y avoir aucun changement et il y aurait interopérabilité entre les nouveaux équipements et les anciens. Le passage des anciens aux nouveaux équipements serait simple. Dans un premier temps, les nouvelles voies pourraient être entrelacées (sous réserve d'une planification appropriée, c'est-à-dire avec un espacement géographique ou un espacement en fréquence suffisant) puis on passerait progressivement à des voies de 12,5 kHz. On pourrait ainsi offrir des voies supplémentaires là où elles font le plus défaut.

### 3.1.3 Equipements

Les équipements sont disponibles et utilisés pour les services mobiles terrestres privés dans les bandes d'ondes métriques. Les coûts devraient être sensiblement les mêmes que pour les équipements existants à 25 kHz.

## 3.2 Modulation linéaire sur voies de 5 kHz ou de 6,25 kHz

Il a été établi que la modulation linéaire basée sur la BLU avec compression-extension d'amplitude (BLUCEA) (ACSSB, *amplitude compandored single-sideband*) avec tonalité transparente dans la bande (TTIB, *transparent tone in-band*) et régénération du signal vers l'avant (FFSR, *feed forward signal regeneration*) convenait pour les radiocommunications mobiles terrestres dans des voies de 6,25 kHz [McGeehan et Bateman, 1983] et de 5 kHz [Baden et Jenkins, 1990]. Le principal avantage de cette technique est le gain important de capacité en spectre avec une modification minime voire nulle des méthodes d'exploitation. Son principal inconvénient tient au fait que peu d'équipements sont actuellement commercialisés même si on a déjà utilisé quelques équipements à 5 kHz et 6,25 kHz dans le service mobile terrestre aux Etats-Unis d'Amérique et que donc ces équipements devraient être plus largement disponibles dans l'avenir.

### 3.2.1 Gain en spectre/de capacité

Une structuration en voies de 5 kHz permettrait de quintupler le nombre de voies actuellement disponibles. Comme dans le cas de la MF analogique sur 12,5 kHz, la vulnérabilité aux brouillages dans la même voie et, par voie de conséquence, la distance minimale de la réutilisation des fréquences sont accrues. Dans les zones où l'on a une intense réutilisation des fréquences, la capacité globale ne serait pas tout à fait multipliée par 5. Bien que la référence [French, 1979] donne comme probable un facteur de réutilisation des fréquences de 2,5, des études ultérieures (non publiées) indiquent qu'on peut prévoir un facteur plus élevé.

### 3.2.2 Questions d'exploitation et transition

Aucune modification n'est nécessaire sur le plan opérationnel. Pendant la phase de transition toutefois on aura besoin de nouveaux équipements ou d'émetteurs-récepteurs en mode double. La transition se fera par entrelacement (éventuellement avec deux canaux BLU entre chaque voie ancienne). Par la suite, les voies MF seront supprimées et remplacées par des voies à bande étroite.

### 3.2.3 Equipements

Les équipements BLUCEA ne sont pas actuellement largement commercialisés. Toutefois, des équipements ont été mis au point et sont utilisés en nombre limité à 220 MHz aux Etats-Unis d'Amérique.

## 3.3 Voies de 6,25 kHz avec modulation numérique

On pourrait utiliser un codec vocal numérique et une modulation numérique pour offrir une voie de conversation unique dans une voie de 6,25 kHz. Ce système pourrait assurer la transmission de signaux vocaux et de données. Ce système présente un avantage, à savoir celui de la sécurité et de la confidentialité, ce qui permet de faire face aux problèmes grandissants de cette nature.

### 3.3.1 Gain en spectre/de capacité

Cette formule permettrait de multiplier par 4 le nombre de voies. On ne sait pas quelles seraient les performances dans la même voie et dans les voies adjacentes mais, dans les zones où l'on a souvent recours à la réutilisation des fréquences, le gain réalisable pourrait être moins important.

### 3.3.2 Questions d'exploitation et transition

Aucune modification n'est nécessaire sur le plan opérationnel mais on aura besoin de nouveaux équipements ou d'émetteurs-récepteurs en mode double pendant la phase de transition. Le passage au niveau système se fera dans les mêmes conditions qu'avec l'équipement BLUCEA à 5 kHz.

### 3.3.3 Equipements

Il n'y a pas de prototype. Au départ, les coûts seraient vraisemblablement plus élevés que ceux des équipements à 25 kHz mais ils baisseraient avec la production en série.

## 4 Redéploiement des voies duplex en voies simplex

### 4.1 Gain en spectre/de capacité

La capacité de chaque paire de fréquences duplex redéployées en voies simplex est doublée. Toutes les voies duplex ne peuvent pas toutefois être réaffectées. Les voies réservées à la correspondance publique, par exemple, ne conviendraient pas pour un fonctionnement en mode simplex. Si l'on part de l'hypothèse que toutes les voies duplex attribuées en exclusivité aux opérations portuaires et la moitié de celles utilisées en partage avec la correspondance publique pourraient être redéployées en deux voies monofréquence, le nombre de voies supplémentaires est de 16. Le gain de capacité correspondant est de 1,3.

Il est à noter que l'on évite en règle générale le fonctionnement monofréquence pour les stations de radiocommunication qui doivent fonctionner sur plus d'une voie à la fois. La réception sur une antenne et l'émission à une fréquence voisine sur une antenne adjacente exigent un filtrage très poussé et augmentent considérablement les problèmes techniques et le coût de l'installation.

### 4.2 Questions d'exploitation et transition

L'introduction de voies simplex supplémentaires ne nécessiterait aucune modification sur le plan opérationnel. Les voies duplex pourraient être remplacées une à une ou par groupe. De nouveaux équipements ne seraient nécessaires que si les équipements existants ne sont pas reprogrammables.

### 4.3 Equipements

Cette modification ne comporte aucun problème ou risque techniques.

## 5 Résumé et conclusions

Le Tableau 1 récapitule les principales caractéristiques des options retenues.

TABLEAU 1  
Comparaison des options retenues

Option	Gain de capacité	Incidences sur le plan opérationnel	Transition	Equipement
MF analogique sur voies de 12,5 kHz	$\times 1,5 \text{ à } \times 2$	Aucune, interopérabilité avec les équipements existants	Entrelacement	Utilisés dans le service de radiocommunication mobile terrestre
Modulation linéaire sur voies de 5 kHz ou de 6,25 kHz	$\times 2,5 \text{ à } \times 5$	Equipements supplémentaires ou équipements en mode double nécessaires	Entrelacement (avec planification rigoureuse)	Utilisation limitée dans le service de radiocommunication mobile terrestre
Structuration en voies de 6,25 kHz avec modulation numérique	$< \times 4$	Equipements supplémentaires ou équipements en mode double nécessaires	Entrelacement (avec planification rigoureuse)	Aucun équipement commercialisé disponible
Redéploiement des voies duplex en voies simplex	$\times 1,3$	Aucune	Transition rapide mais simple	Modifications mineures aux équipements actuels
Technique AMRT-4 25 kHz	$\times 4$	Nouvel équipement nécessaire	Transition longue	Versions maritimes des équipements de radiocommunication mobiles terrestres

Le passage à la MF analogique sur voies de 12,5 kHz ou le redéploiement des voies duplex en voies simplex serait le moyen le plus simple d'améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre. Ces deux formules auraient une incidence minime sur l'exploitation des systèmes existants et la transition serait facile. L'efficacité d'utilisation du spectre serait accrue d'un facteur compris entre 1,5 et 2 pour la MF analogique sur voies de 12,5 kHz et d'un facteur de 1,3 dans le cas d'un redéploiement des voies duplex. Si ces deux modifications étaient couplées, le nombre de voies duplex pourrait être maintenu au niveau actuel et le gain d'efficacité d'utilisation du spectre serait d'environ 2,5.

On pourrait obtenir des gains d'efficacité d'utilisation du spectre plus importants avec la modulation linéaire sur voies de 5 kHz ou de 6,25 kHz et des signaux vocaux numériques. La première formule permettrait d'accroître l'efficacité d'utilisation du spectre d'un facteur compris entre 2,5 et 5 et la seconde d'un facteur allant jusqu'à 4, avec en plus la sécurité et la confidentialité propres à ce système. Il y aurait deux inconvénients, à savoir la nécessité d'avoir des équipements fonctionnant en mode double pendant la période de transition et l'augmentation du coût des équipements. Dans les deux cas, les équipements ne sont pas encore largement utilisés mais aux Etats-Unis d'Amérique la modulation linéaire sur voies de 5 kHz (BLUCEA) connaît une utilisation commerciale limitée. Toutefois, il ne faut pas oublier que toute modification de la disposition des voies prévue dans l'Appendice S18 du Règlement des radiocommunications (RR) est subordonnée à la décision d'une future conférence mondiale des radiocommunications compétente, qui ne pourra pas avoir lieu au plus tôt avant 1997, date à laquelle l'utilisation de ces techniques dans le service mobile terrestre devrait avoir fait baisser considérablement le coût des équipements.

Les estimations de gain en spectre exposées dans le présent Rapport sont basées sur des études consacrées aux radiocommunications mobiles terrestres et, à ce titre, elles n'ont qu'une valeur indicative pour les performances qu'on pourrait obtenir dans la bande des ondes métriques du service mobile maritime. Avant de pouvoir tirer des conclusions définitives, il faut procéder à d'autres études pour vérifier les estimations. En particulier, les performances dans les voies adjacentes ou dans la même voie et leurs conséquences pour la réutilisation des fréquences nécessitent un complément d'étude.

On constate que la modulation linéaire sur voies de 5 kHz ou une structuration en voies de 6,25 kHz avec signaux vocaux ou données numériques sont les deux formules les plus prometteuses si l'on veut obtenir une augmentation significative d'efficacité d'utilisation de la bande des ondes métriques du service mobile maritime et devraient donc être les premières à être examinées.

L'Annexe 1 (Justification de l'utilisation à titre intérimaire d'un espacement de 12,5 kHz entre voies) contient un exemple et une description d'un système qui pourrait être mis en œuvre aux Etats-Unis d'Amérique dans le cadre du service de contrôle du trafic maritime (SCTM (en anglais: VTS, *vessel traffic service*)).

L'Annexe 2 décrit comment un système à accès multiple par répartition dans le temps (AMRT 25 kHz) pourrait être utilisé en ondes métriques dans le secteur maritime.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BADEN, C. C. E. et JENKINS, A. P. [août 1990] Linear modulation trials. Rapport final, Université de Bradford.

FRENCH, R. C. [3 août 1979] The effect of fading and shadowing on channel reuse in mobile radio. *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, Vol. VT-28, 3.

McGEEHAN, J. P. et BATEMAN, A. J. [1<sup>er</sup> février 1983] Theoretical and experimental investigation of feed forward signal regeneration as a means of combating multipath propagation effects in pilot-based SSB mobile radio systems. *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, Vol. VT-32, 1.

## ANNEXE 1

### Justification de l'utilisation à titre intérimaire d'un espacement des voies de 12,5 kHz

La présente Annexe donne un exemple et une description d'un système qui pourrait être mis en œuvre aux Etats-Unis d'Amérique dans le cadre du SCTM.

#### 1 Enoncé du problème

La bande de fréquences attribuée au service mobile maritime (156-174 MHz) est utilisée dans le monde entier pour les communications maritimes dans les zones côtières et dans les voies d'eau intérieures. L'Appendice S18 du RR définit les voies du service mobile maritime. Ces voies sont utilisées pour assurer un certain nombre de fonctions: correspondance publique, communications navire-navire et navire-côtière, opérations portuaires, appels et différents services de sécurité.

L'actuel service mobile maritime en ondes métriques sert essentiellement à assurer les communications vocales et les communications de données parmi les stations de navire et les stations côtières pour la correspondance publique, les opérations maritimes, les communications entre navires, les mouvements de navire et la sécurité. Bien qu'elle ne soit pas très utilisée, la communication de données s'effectue sur un certain nombre de voies dans le cadre d'arrangements particuliers entre administrations intéressées et administrations concernées. Les communications vocales du service mobile maritime utilisent essentiellement la MF analogique mais l'on prévoit une augmentation des besoins en matière de transmission numérique d'informations.

Outre les communications vocales, l'Appendice S18 du RR traite également de l'utilisation de la transmission de données et de télécopie à grande vitesse, de la télégraphie à impression directe et à bande étroite (IDBE) et de la transmission de données sous réserve d'arrangements particuliers entre les administrations intéressées et les administrations concernées. Actuellement, les besoins portent sur des débits de l'ordre de 100 ou 200 Bd, les Articles S51 et S52 du RR définissent les caractéristiques techniques pour ces fonctions.

L'encombrement est devenu un problème préoccupant dans de nombreuses régions du monde en raison du développement rapide du service mobile maritime MF en ondes métriques. Cette situation s'est traduite par une perte d'efficacité des communications de détresse et de sécurité sur la voie d'appel. Comme l'utilisation du service mobile maritime pour les communications vocales et de données continue de croître, tant que des mesures ne seront pas prises cette situation va empirer avec des conséquences désastreuses pour les services critiques et notamment pour les services de sécurité et de détresse.

De nombreux fournisseurs de services de correspondance publique souhaitent introduire des systèmes modernes de gestion du trafic vocal afin d'accroître le volume de trafic susceptible d'être traité. L'intérêt de ces systèmes, et donc l'efficacité d'utilisation des voies, dépend fortement de la disponibilité de voies et de l'efficacité d'utilisation des voies, disponibilité qui pourrait être accrue par l'utilisation d'un espacement des voies de 12,5 kHz.

De plus, une administration mettant en place des services SCTM modernes, en utilisant des techniques comme la surveillance dépendante automatique, aura besoin de disposer de voies radioélectriques internationalement compatibles et spécialement affectées à la transmission de données. Par exemple, les garde-côtes des Etats-Unis d'Amérique envisagent de passer prochainement à une surveillance dépendante automatisée, IDBE (NAVTEX, par exemple) et une autre technique numérique exige une meilleure gestion des ondes métriques. En procédant à cette modification dès maintenant, il sera possible de faire bénéficier le service SCTM des améliorations techniques et d'une meilleure gestion du spectre, ce qui devrait conduire au développement d'un service SCTM non vocal.

L'attribution de nouvelles bandes de fréquences n'est pas envisageable dans l'avenir prévisible. Par conséquent, il faut utiliser le spectre de manière plus efficace afin de disposer rapidement de voies supplémentaires pour le service mobile maritime. Pour effectuer les modifications nécessaires, il faut tenir compte d'autres facteurs, tels l'utilisation d'émetteurs-récepteurs bon marché, l'interfonctionnement avec les équipements MF à 25 kHz existants et les délais de mise en œuvre des améliorations. En outre, toute technique permettant à court terme de diminuer l'encombrement du spectre et d'améliorer l'efficacité spectrale dans le service mobile maritime doit pouvoir répondre aux besoins croissants de ce service tout en préservant l'efficacité des communications de détresse et de sécurité. En particulier, il ne faut pas que les possibilités d'accès des utilisateurs aux communications de détresse et de sécurité soient amoindries (par exemple: lorsque le nouveau service est mis en œuvre, les émetteurs-récepteurs nouveaux ou anciens doivent pouvoir interfonctionner et participer au service maritime de détresse et de sécurité en ondes métriques).

## **2 Définition des futurs systèmes**

Dans la définition des futurs systèmes, on tiendra compte de plusieurs facteurs clés relatifs à la situation actuelle et aux projets d'utilisation de la bande des ondes métriques visée à l'Appendice S18 du RR.

### **2.1 Spécifications et homologation SMDSM/SOLAS**

La plupart des administrations de la communauté maritime exigent actuellement que les navires soient équipés des nouveaux émetteurs-récepteurs en ondes métriques conformes à la Convention internationale pour la sécurité de la vie humaine en mer (SOLAS) de 1974, modifiée en 1988 et donc aux spécifications du système mondial de détresse et de sécurité en mer (SMDSM) données dans la Résolution A.609 (15) de l'Organisation maritime internationale (OMI) (Normes de fonctionnement des installations radioélectriques de bord à ondes métriques pour les communications vocales et l'appel sélectif numérique) et la Recommandation UIT-R M.493 (Système d'appel sélectif numérique à utiliser dans le service mobile maritime). Ainsi toute nouvelle proposition devra inclure ces exigences sans dégradation de la qualité de fonctionnement de chaque émetteur-récepteur mobile ou de l'environnement spectral total.

## 2.2 Percée de l'appel sélectif numérique (ASN)

La plupart des fabricants en Europe, en Asie et aux Etats-Unis d'Amérique commercialisent déjà des émetteurs-récepteurs maritimes en ondes métriques avec ASN, qu'il s'agisse de stations mobiles ou de stations de base. L'ASN offre toutes les caractéristiques nécessaires et souhaitables d'un système de radiocommunication à savoir:

- utilisation en partage des voies,
- appel sélectif (individuel ou en groupe),
- appel de détresse (avec localisation des urgences),
- transmission de données hertziennes par paquet,
- surveillance dépendante automatique (SDA),
- système de gestion informatisée du trafic maritime (SGITM),
- correspondance publique automatisée,
- interconnexion automatisée avec les réseaux terrestres,
- interopérabilité avec l'infrastructure analogique actuelle.

Ces caractéristiques ont déjà été détaillées dans plusieurs documents de l'UIT-R et de l'OMI et sont maintenant incluses dans les nouveaux modèles d'équipements.

## 2.3 Importance accrue de l'interopérabilité

De récentes catastrophes avec pertes de vies humaines, pertes de biens et dommages à l'environnement ont suscité une prise de conscience générale de la nécessité d'une interopérabilité des systèmes et équipements de communication maritimes. Etant donné qu'actuellement on utilise à l'échelle mondiale les protocoles vocaux analogiques MF et les protocoles ASN de transmission de données sur des voies espacées de 25 kHz, tout nouveau système devra être compatible avec ces modes d'exploitation. De plus, les nouvelles voies de radiocommunication devront se trouver entre des voies existantes et occuper une largeur de bande non déjà occupée par les voies existantes de manière à ne pas perturber le bon fonctionnement des services essentiels existants. En outre, le nouveau système ne devra pas désorganiser l'infrastructure existante en exigeant que les équipements exploités en ondes métriques conformément à l'Appendice S18 du RR (avec un espacement des voies de 25 kHz), soient remplacés par de nouveaux équipements à bande étroite. La nouvelle structure des voies devra être compatible avec l'actuelle structure et les nouveaux équipements devront pouvoir interfonctionner avec les équipements existants si l'on veut, d'une part qu'ils soient acceptés et, d'autre part assurer la sécurité en haute mer et dans les voies d'eau intérieures.

## 2.4 Emploi de l'ASN en ondes métriques dans les systèmes SDA/SGITM

Certaines administrations ont commencé à employer l'ASN en ondes métriques pour les systèmes (surveillance dépendante automatique dans les systèmes de gestion informatisée du trafic maritime) (SDA/SGITM). Ces nouveaux systèmes sont utilisés pour obtenir des indications très précises et actualisées des positions des navires en utilisant le système mondial de radiopérage différentiel (DGPS, *differential global position system*) et le système électronique de relèvement hydrographique (ECS, *electronic charting system*) en utilisant les capacités de transmission de données par paquets de la nouvelle génération d'émetteurs-récepteurs ASN à ondes métriques. Après révision, les Recommandations UIT-R traiteront de ces nouvelles fonctions, le protocole ASN étant complété et amélioré. Ainsi, les Etats-Unis d'Amérique et le Canada envisagent d'utiliser dans quelques années ce système dans tous les principaux ports d'Amérique du Nord; les garde-côte des Etats-Unis d'Amérique exploitent déjà ces systèmes dans le Détroit de Prince William à Valdez en Alaska. L'importance vitale de ces systèmes rend nécessaire le regroupement de fréquences duplex, les fréquences de base ne devant pas être brouillées par les émissions des autres équipements mobiles. L'apparition des systèmes SDA/SGITM utilisant l'ASN en ondes métriques montre qu'il est urgent de disposer de nouvelles voies à bande étroite en ondes métriques, urgence qui a été soulignée par l'Association internationale de signalisation maritime (AISM) dans une contribution récente du 19 août 1994 intitulé: *Provisions for Data Transmissions used by Vessel Traffic Systems in the VHF Maritime Mobile Band* (Dispositions régissant les transmissions de données utilisées par les systèmes de contrôle du trafic maritime dans la bande des ondes métriques attribuée au service mobile maritime).

## 2.5 Coût de mise en œuvre

La plupart des administrations sont tenues de minimiser le coût de mise en œuvre d'un nouveau système. Le coût des nouveaux équipements d'utilisateur est un facteur tout aussi important. En matière de nouveau système, le succès dépend toujours de l'accueil qui lui est réservé par les utilisateurs dont certains disposent déjà d'émetteurs-récepteurs en ondes

métriques bon marché et qui pourraient être tentés de passer à des téléphones cellulaires si le nouvel équipement en ondes métriques était trop cher. Tout nouveau système doit être capable de satisfaire toutes les exigences de qualité de fonctionnement avec une complexité de circuit minimale. Cet aspect coût élimine tous les systèmes qui ne peuvent pas être mis en œuvre simplement moyennant quelques améliorations mineures aux émetteurs-récepteurs ASN de communication vocale MF analogique et de transmission de données en ondes métriques.

## 2.6 Utilisation efficace du spectre

La récente multiplication de systèmes et de services radioélectriques pose un sérieux problème de disponibilité de fréquences. Certaines administrations ont déjà épuisé leur capacité d'attribution de voies en ondes métriques pour le service maritime. Ainsi, tout nouveau système qui se propose d'utiliser des voies intercalaires doit maximiser le débit d'informations transmises dans la largeur de bande des voies intercalaires.

## 3 Techniques de mise en œuvre et compromis

Après évaluation des technologies disponibles au regard des conditions ci-dessus, une solution intérimaire a été retenue afin de dégager des voies supplémentaires pour le service maritime MF en ondes métriques. Ce choix s'explique par ce qui suit.

### 3.1 Optimisation du positionnement et de l'espace des voies

Etant donné qu'il faut préserver les voies de l'actuel Appendice S18 du RR et l'infrastructure existante, et que les nouvelles voies doivent se trouver dans les attributions actuelles, les nouvelles voies seront placées au milieu de l'intervalle de fréquence séparant les voies existantes, à savoir à 12,5 kHz des voies. Ainsi, les voies anciennes et nouvelles pourront coexister sans brouillage et la largeur de bande disponible sera utilisée de façon optimale.

Pour les systèmes SDA/SGITM, certaines voies attribuées pourront provenir d'un groupe de voies duplex commun à toutes les administrations du monde comme les groupes (24, 84, 25, 85, 26, 86, 27, 87, 28). Si ce groupement était utilisé, huit nouvelles paires de fréquences intercalaires (soit 16 nouvelles fréquences: huit pour les stations de base et huit pour les stations mobiles) placées au milieu des fréquences réservées à la correspondance publique, seraient alors disponibles.

### 3.2 Phonie sur les nouvelles voies

Comme les considérations de coût et d'interopérabilité sont essentielles, une solution intéressante pour la phonie sur les nouvelles voies pourrait consister à utiliser la (MF à bande étroite) (MFBE) avec excursion réduite. Les essais ont montré que le passage d'une excursion maximale autorisée de  $\pm 5$  kHz à une excursion de  $\pm 2,5$  kHz introduisait une perte de 1 dB sur le seuil de sensibilité RF pour un rapport SINAD de 12 dB (voir l'Appendice 1). Des émetteurs-récepteurs fonctionnant à la fois sur les voies existantes et sur les nouvelles voies pourront être équipés d'un simple commutateur pour passer à une excursion réduite sur les nouvelles voies. En revanche, les nouveaux équipements pourraient devoir fonctionner uniquement sous excursion réduite au cas où une période de transition serait prévue pour le passage aux canaux/équipements à bande étroite, auquel cas les équipements MF à large bande (MFLB) et les MFBE pourraient parfaitement interfonctionner pendant la phase de transition au prix d'une légère différence du niveau sonore apparent.

### 3.3 Transmission de données sur les nouvelles voies intercalaires à bande étroite

Trois techniques de modulation existantes sont peu coûteuses et spectralement efficaces pour la transmission de données sur des émetteurs-récepteurs MF sur les fréquences intercalaires à bande étroite, à savoir:

- la modulation par déplacement de fréquence (MDF) à deux tonalités qui est actuellement utilisée dans tous les émetteurs-récepteurs ASN à 1 200 bit/s;
- la modulation à déplacement minimal avec filtre gaussien (MDMG) qui est actuellement utilisée sur les équipements MOBITEX à 8 000 bit/s sur des voies de 12,5 kHz;
- la MDF à 4 niveaux (MF à 4 niveaux et à enveloppe constante (MF4C)) avec filtrage en bande de base (pour les applications de sécurité publique mobile terrestre utilisées à 9 600 bit/s sur des voies entrelacées à bande étroite avec décalage de 12,5 kHz).

### 3.3.1 MDF à deux tonalités, méthode normalisée pour l'ASN

L'ASN utilise actuellement cette modulation pour la transmission de données par paquets et pour les fonctions autres que la simple phonie à MF. Cette technique emploie deux fréquences (1 300 Hz et 2 100 Hz) à 1 200 bit/s et une correction d'erreur directe (CED) particulièrement efficace afin d'obtenir de faibles taux d'erreur binaire (TEB) dans le cas de liaisons à grande distance avec des rapport signal/bruit,  $S/N$ , particulièrement mauvais. Bien que cette méthode ne soit pas la plus efficace du point de vue spectral, elle convient bien et a été adoptée par toutes les administrations du monde. Il existe certains documents détaillés de l'OMI et de l'UIT-R sur cette méthode. Cependant, afin de pouvoir utiliser totalement les voies intercalaires, il faut ajouter une autre technique dans la nouvelle génération d'équipements ASN afin que les nouveaux systèmes puissent augmenter le débit de données lorsque les navires se trouvent bien à l'intérieur des portées radio, telles les zones de couverture SGITM.

### 3.3.2 Modulation à déplacement minimal avec filtre gaussien (MDMG)

La modulation MDMG utilise un décalage de fréquence à deux niveaux ( $+f$ ,  $-f$ ) avec des filtres limiteurs de bande gaussiens en bande de base afin obtenir le meilleur TEB possible en MF en présence de rapports  $S/N$  relativement faibles ( $S/N$  de 10 dB ou plus). Cette modulation est très utilisée avec un espacement de 12,5 kHz pour les applications mobiles terrestres à 8 000 bit/s. Il faut noter toutefois que la MDMG n'est pas encore dans le domaine public et que de ce fait son utilisation peut être assujettie au paiement d'une redevance pour le matériel et le logiciel. Il faut aussi remarquer qu'en réalité, les débits de données élevés seront utilisés lorsque le rapport  $S/N$  sera supérieur ou égal à 12 dB, lorsque le compromis retenu ne sera plus le rapport  $S/N$ -TEB, mais débit de données-largeur de bande occupée. Cela est particulièrement vrai si on utilise la CED pour réduire le TEB en présence de rapports  $S/N$  modérés. La CED est nécessaire pour protéger les systèmes de transmission de données radioélectriques des brouillages par bruit impulsionnel et des évanouissements. Pour ces raisons, cette modulation n'est pas considérée comme la meilleure solution pour le court terme. On se reportera aux Fig. 1, 2 et 3 pour les résultats de mesure de la qualité de fonctionnement de la modulation MDMG à 8 000 bit/s.

FIGURE 1

#### Modulation MDMG à 8 000 bit/s. Spectre de radiofréquence de l'émetteur avec des données d'entrée aléatoire

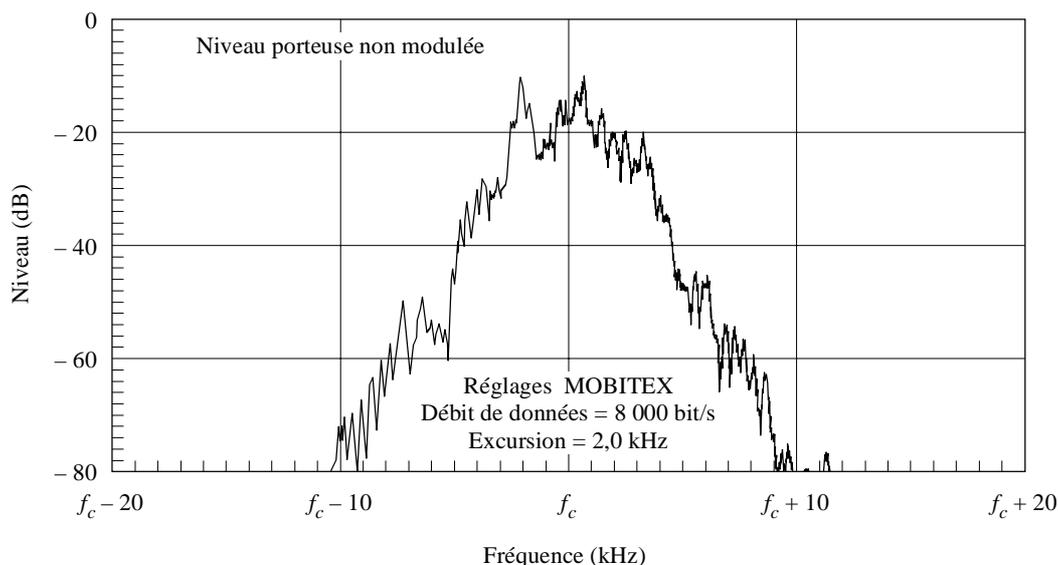
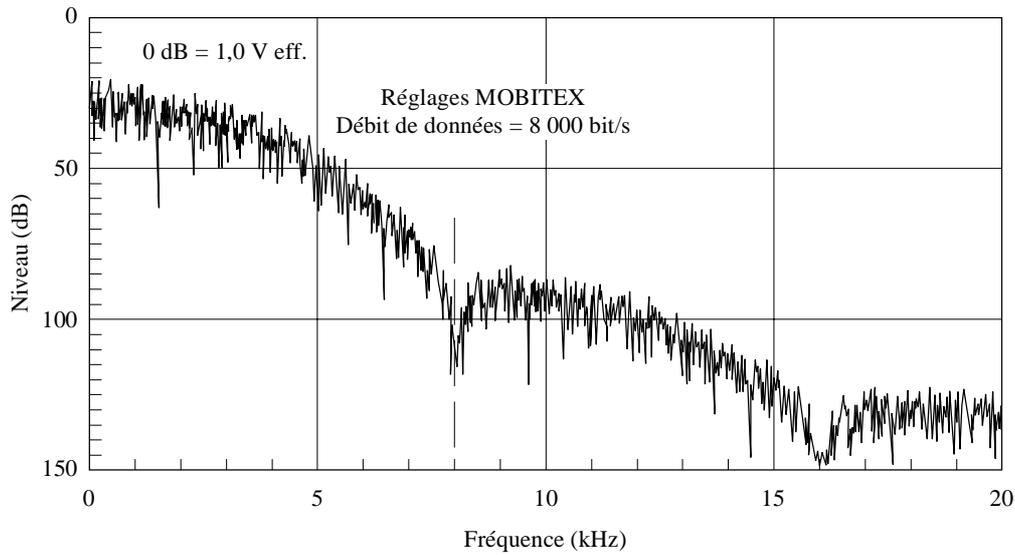
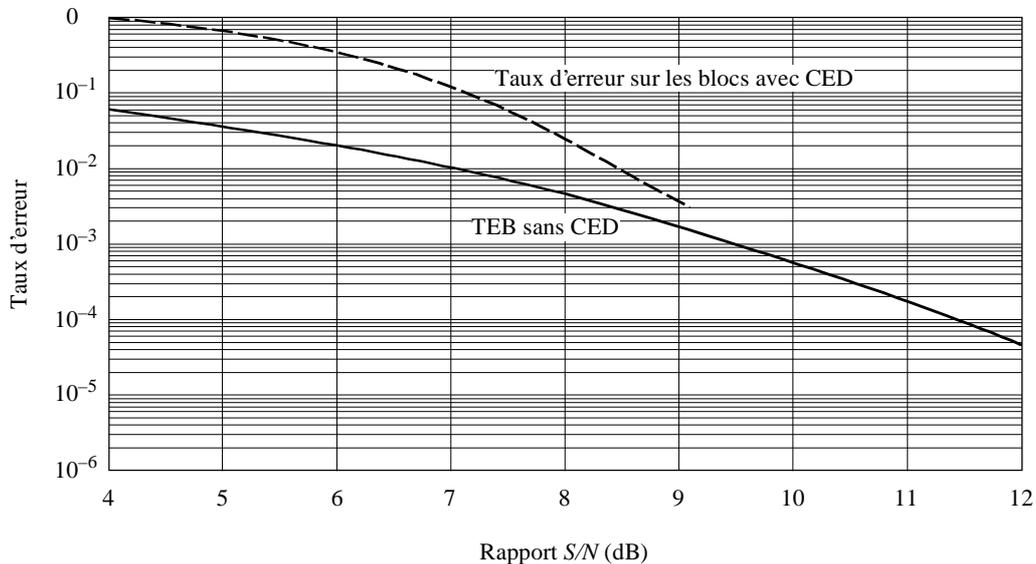


FIGURE 2  
Modulation MDMG 8 000 bit/s. Spectre à la sortie émetteur  
pour les données aléatoires



Rap 2010-02

FIGURE 3  
Modulation MDMG à 8 000 bit/s. Taux d'erreur types



Rap 2010-03

### 3.3.3 Modulation MDF à 4 niveaux (MF4C) avec filtrage en bande de base

Cette modulation utilise un décalage de fréquence à 4 niveaux ( $+f$ ,  $+f/3$ ,  $-f/3$ ,  $-f$  pour des ouvertures d'«œil» égales) (voir la Fig. 4) et des filtres limiteurs de largeur de bande en bande de base pour obtenir un débit optimum compatible avec la MF dans une largeur de bande occupée minimale en présence de rapports  $S/N$  modérés (12 dB ou plus). La Fig. 5 donne la courbe de réponse du filtre. Cette modulation est utilisée avec un espacement entre voies de 12,5 kHz pour les

applications mobiles terrestres à 9 600 bit/s. La CED est particulièrement efficace avec cette modulation car elle permet de ramener le TEB à des valeurs comparables à celles obtenues avec la MDMG pour des rapports  $S/N$  compris entre 10 et 12 dB. La largeur de bande occupée est inférieure à celle occupée avec la modulation MDMG et on obtient un débit de 9 600 bit/s sans empiéter sur les voies à 25 kHz. Un autre élément favorable important est que les matériels et logiciels sont déjà disponibles et que l'on dispose d'une expérience opérationnelle dans le domaine public. En effet, cette modulation est très utilisée aux Etats-Unis d'Amérique et son utilisation a été encouragée par un groupe international d'utilisateurs du secteur de la sécurité publique appelé «Project 25». Toutefois, la communauté maritime ne devrait pas adopter les mêmes formats et protocole de données que ceux du service mobile terrestre pour les trois raisons fondamentales suivantes: ce protocole n'est pas adapté aux besoins maritimes, il y aurait perte de maîtrise d'un protocole qui serait placé sous une juridiction différente et enfin, le fait que les formats et le protocole de données ASN sont très utilisés à l'échelle mondiale et que le protocole ne relève que de la juridiction maritime et a bénéficié d'une coopération importante et répond à toutes les applications propres aux communications maritimes. Par conséquent, le protocole ASN doit être préservé et encore amélioré pour pouvoir prendre en charge les nouvelles applications. Il sera probablement nécessaire d'apporter certaines modifications aux formats de mise en paquet et aux systèmes de CED pour optimiser les performances pour des débits supérieurs à 9 600 bit/s, mais il faudra préserver le protocole de données tout en lui apportant un minimum de modifications. Les Fig. 6, 7 et 8 donnent les résultats des mesures des performances du système de modulation MDF à 4 niveaux (MF4C) à 9 600 bit/s.

FIGURE 4

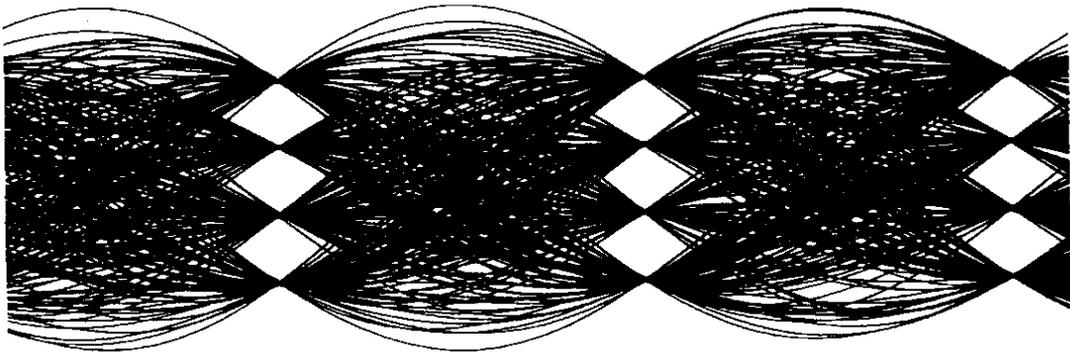
**Modulation MDF à 4 niveaux (MF4C) à 9 600 bit/s**

Diagramme en œil à la réception

Données pseudo-aléatoires reçues

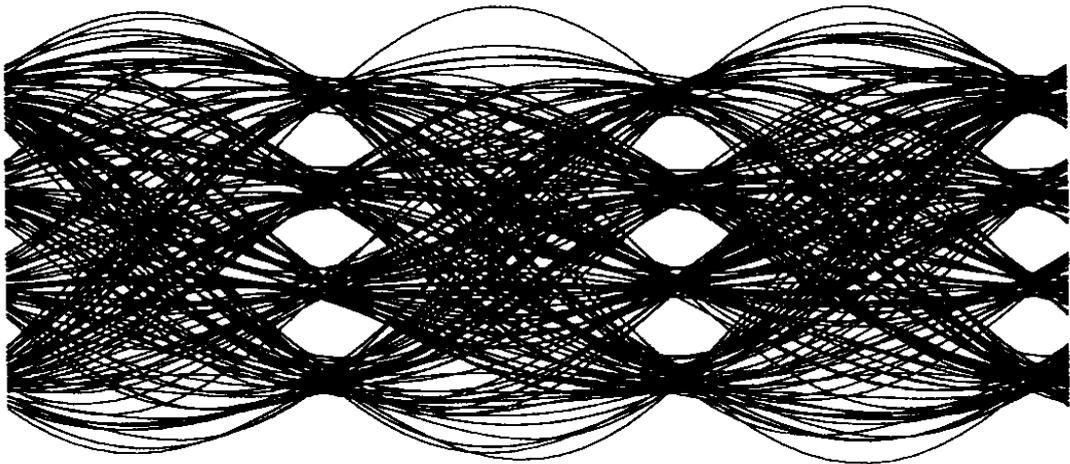
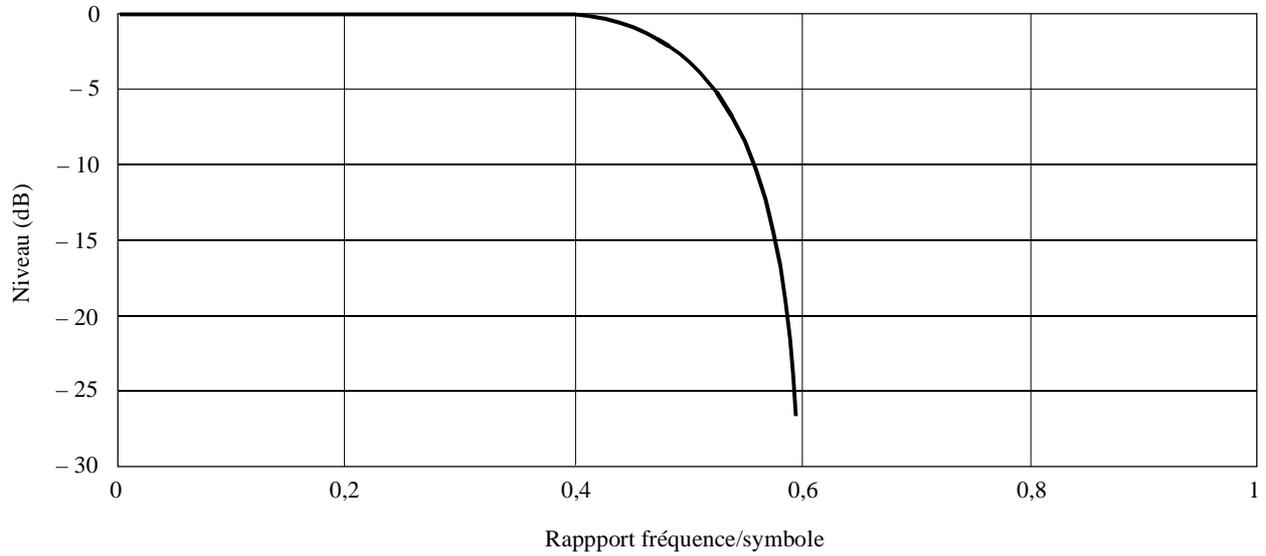


Diagramme en œil à l'émission

FIGURE 5

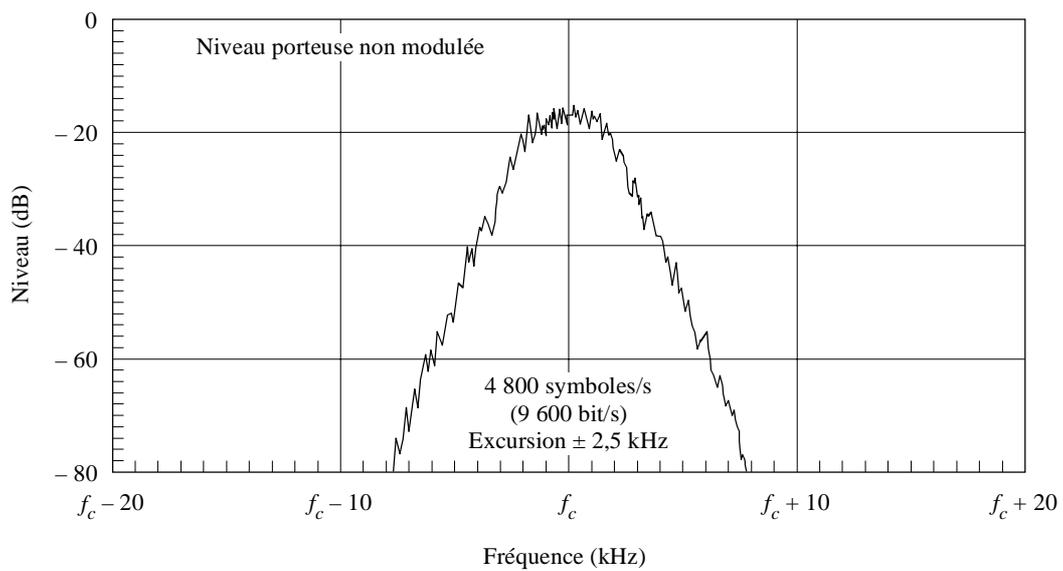
Modulation MDF à 4 niveaux (MF4C) à 9 600 bit/s. Courbe de réponse du filtre



Rap 2010-05

FIGURE 6

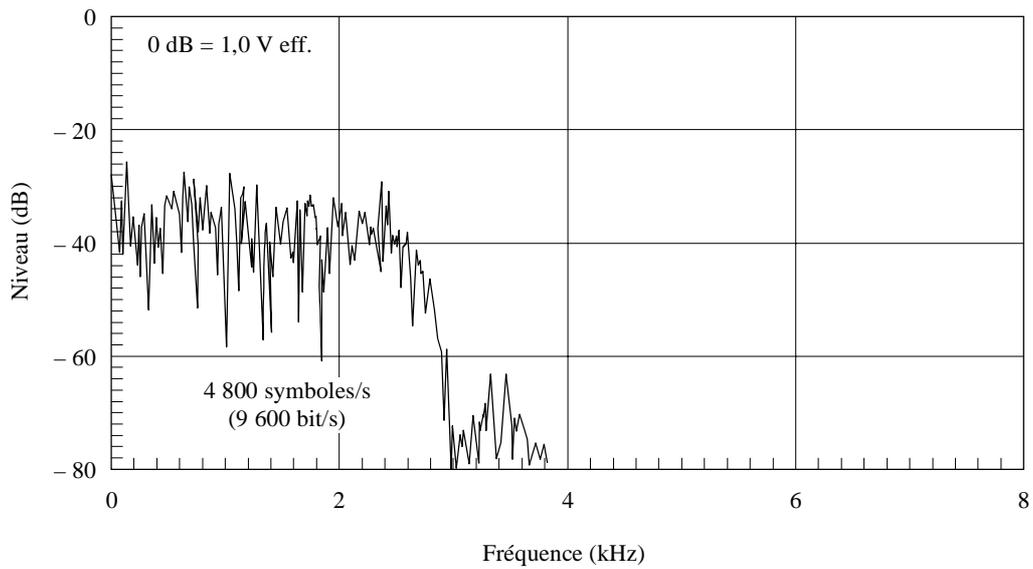
Modulation MDF à 4 niveaux (MF4C) à 9 600 bit/s. Spectre RF



Rap 2010-06

FIGURE 7

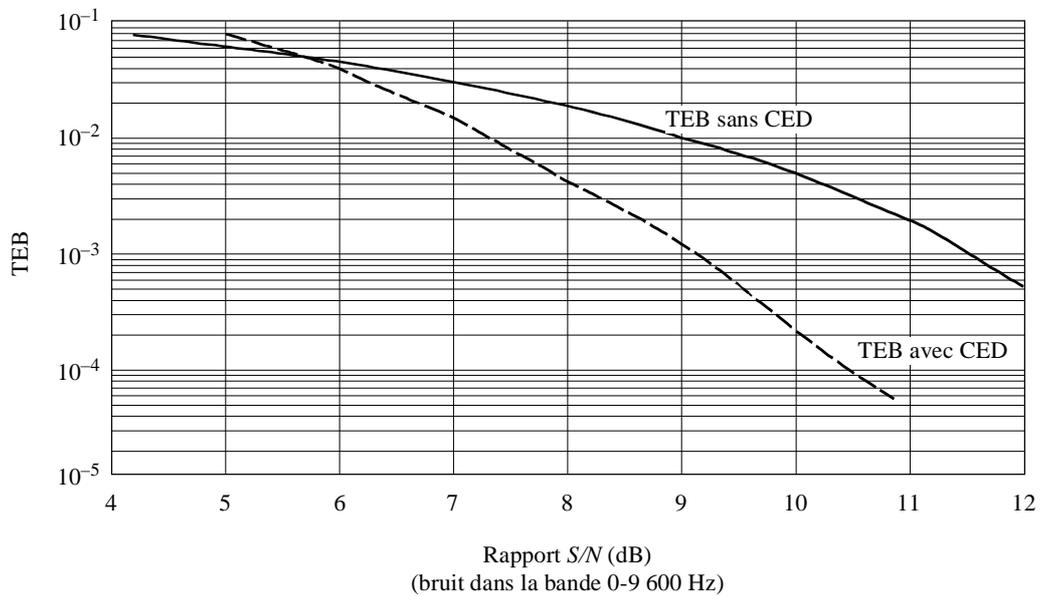
Modulation MDF à 4 niveaux (MF4C) à 9 600 bit/s. Courbe spectrale à la sortie émetteur



Rap 2010-07

FIGURE 8

Modulation MDF à 4 niveaux (MF4C) à 9 600 bit/s. Taux d'erreur types à 4 800 symboles/s



Rap 2010-08

### 3.3.4 Conclusions relatives à la transmission de données

Compte tenu des investissements faits en matière de protocole ASN et de sa large acceptation, les formats de message ASN seront probablement utilisés pour toutes les transmissions de données à débit élevé et à débit faible. Deux méthodes de modulation devraient être utilisées: la transmission ASN normale à 1 200 bit/s et la MDF à

4 niveaux (MF4C) pour la transmission de données formatée ASN à grande vitesse à 9 600 bit/s. L'excursion devra être limitée à  $\pm 2,5$  kHz pour les transmissions ASN sur les nouvelles voies (intercalaires) à bande étroite. De nouvelles améliorations du protocole ASN sont actuellement à l'étude afin de mieux intégrer la fonctionnalité SDA/SGITM et pouvoir utiliser les nouvelles voies intercalaires proposées.

#### 4 Recommandations sur les normes de qualité de fonctionnement

De nouvelles normes de qualité de fonctionnement sont nécessaires pour les nouveaux émetteurs-récepteurs dans le service maritime en ondes métriques afin d'assurer le bon fonctionnement de ces équipements dans un environnement radiofréquence très encombré. De nombreux utilisateurs constatent déjà que leurs communications subissent des brouillages du fait de la sélectivité et la dynamique insuffisantes de leurs récepteurs dans certaines voies d'eau encombrées des Etats-Unis d'Amérique (par exemple, les pilotes de la rivière Mississippi ont dû commander des équipements radio LMR spéciaux pour pouvoir communiquer sur les fréquences maritimes car les performances des équipements de radiocommunication maritimes n'étaient pas suffisantes pour supprimer dans les étages d'entrée du récepteur les brouillages dus à la distorsion d'intermodulation causée par les émissions du service de radiorecherche mobile terrestre se mélangeant à l'important trafic radio maritime). Les spécifications de l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R M.1084 ont été testées et on a montré qu'elles pouvaient être respectées par une simple mise à niveau peu coûteuse des émetteurs récepteurs ASN en ondes métriques de bonne qualité disponible sur le marché. Cette mise à niveau a été détaillée dans l'Appendice 1 de l'Annexe 1. Les récentes modifications ont été apportées à la Recommandation UIT-R M.1084 (voir son § 4 du *recommande* et son Annexe 2) pour documenter les nouvelles normes détaillées.

#### 5 Possibilité d'utiliser un espacement de voies de 12,5 kHz

Les techniques actuelles offrent de nombreuses possibilités de transmission efficace en phonie. Différents types de modulation ont été proposés telles la MFBE analogique, BLUECEA, et des variantes numériques (MF4C, MDP-4C (modulation par déplacement de phase quadrivalente cohérente), MDPD (MDP différentielle), MDP-4 (modulation par quadrature de phase), MDF, MDM, MDMG, etc.). Les facteurs relatifs à la sécurité cités plus haut ((Convention SOLAS), système SMDSM)), l'interopérabilité des communications (navire-navire, navire-côtière, coordination entre agences, opérations portuaires mondiales), le coût de mise en œuvre ((comparaison de mise à niveau – rééquipement total), (comparaison émetteur-récepteur multimode complexe – simples améliorations de conception)) et le mode d'utilisation du spectre (addition intercalaire ou réorganisation totale des voies) doivent tous être pris en considération avant d'imposer un nouveau système. Lorsqu'on étudiera les possibilités de mise en œuvre des ces technologies, il faudra tenir compte des éléments suivants:

- a) caractéristiques opérationnelles des nouvelles technologies qui offrent de nouvelles fonctions, tels le cryptage pour une sécurité et une confidentialité améliorée ainsi que la phonie, l'IDBE, le FAX, l'ASN et les transmissions de données;
- b) capacité de mise en œuvre dans la bande marine en ondes métriques existante;
- c) nécessité d'augmenter de façon importante la capacité du spectre;
- d) facteurs économiques; efficacité du système, disponibilité des équipements et facilité d'exploitation;
- e) nécessité de ne pas compromettre l'efficacité et l'accessibilité universelles des communications de détresse et de sécurité en ondes métriques par l'introduction des nouvelles technologies à court ou long terme;
- f) nécessité de ne pas interrompre l'accès permanent au communications maritimes de détresse et de sécurité (Appendice S.18 du RR) dans les bandes des ondes métriques pour tous les utilisateurs;
- g) nécessité de disposer immédiatement d'émetteurs récepteurs bon marché comme c'est le cas des équipements actuellement utilisés.

##### 5.1 Gestion de la transition («Project 25»)

Les modulations MFBE (MF analogique à 12,5 kHz) et les variantes numériques à bande étroite MF4C/MDP-4C apparaissent être les solutions les plus viables et les plus réalisables à court terme pour réduire l'encombrement du spectre et améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre dans le service mobile maritime car les nouveaux équipements pourraient être rapidement disponibles à un prix assez voisin de celui des équipements analogiques MF à 25 kHz actuels (surcoût de 5% à 10%) et pourraient interfonctionner avec les équipements actuels, il s'agit en effet d'une technologie

éprouvée (diverses administrations utilisent à la fois la MFBE et la MF4C/MDP-4C pour les applications mobiles). De plus, la capacité supplémentaire qui serait ainsi dégagée permettrait l'introduction et l'extension d'autres services telles la transmission rapide de données et la télécopie rapide. L'introduction de la MFBE et de la MF4C/MDP-4C ne diminuera pas l'efficacité des communications de détresse et de sécurité. Les essais sur un équipement de radiocommunication MF du commerce simplement modifié pour la MFBE/MF4C ont montré une interopérabilité intégrale avec les équipements existants au prix d'une dégradation légère des performances (voir l'Appendice 1 de l'Annexe 1). La modification dont le coût était très faible pouvait être effectuée par un technicien certifié dans une station de réparation moyennement équipée.

Il convient de noter que le choix de la MFBE/MF4C suppose que l'on utilise des voies intercalaires entrelacées (à 12,5 kHz) et que l'on ne procède pas à une réorganisation de l'ensemble du spectre avec un espacement des voies plus étroit (6,25 kHz). Si l'on recourt à une telle réorganisation, les autres techniques (telle la MDP-4C linéaire ou numérique) offriront de meilleures performances par rapport à la MFBE étant donné que l'excursion MF autorisée devrait être encore plus réduite. Ainsi, la MFBE sur des voies à 12,5 kHz entrelacées est incomparablement la meilleure «prochaine étape» pour la phonie et ne compromettrait pas un autre choix dans l'avenir. La modulation MF4C offre le meilleur compromis coût-débit de données et est parfaitement adaptée à l'entrelacement des voies. Le groupe Project 25 a déjà adopté un plan de transition pour passer de voies à 25 kHz à des voies à 6,25 kHz en passant par une phase avec des voies à 12,5 kHz entrelacées utilisant la MFBE et la MF4C/MDP-4C et qui serait suivie par une mise en œuvre intégrale de la modulation MDP-4C sur des voies à 6,25 kHz.

Les stations côtières pourraient être facilement coordonnées en ajustant simplement l'excursion MF sur les émetteurs et en installant des filtres FI à bande étroite. Comme étape intérimaire, une séparation spatiale d'au moins 10 km offrirait une isolation suffisante et permettrait un fonctionnement compatible et sans brouillage. Déjà, les administrations coordonnant les systèmes de sécurité publiques mobiles terrestres ont utilisé cette méthode en ajoutant des voies intercalaires à 15 kHz entre leurs voies d'origine à 30 kHz.

## APPENDICE 1

### DE L'ANNEXE 1

#### **Ajout des fonctionnalités MFBE, MF4C et SDA/SCTM à un émetteur-récepteur MF ASN (en anglais: DSC) du SMDSM**

## **1 Unité radio utilisée pour les essais**

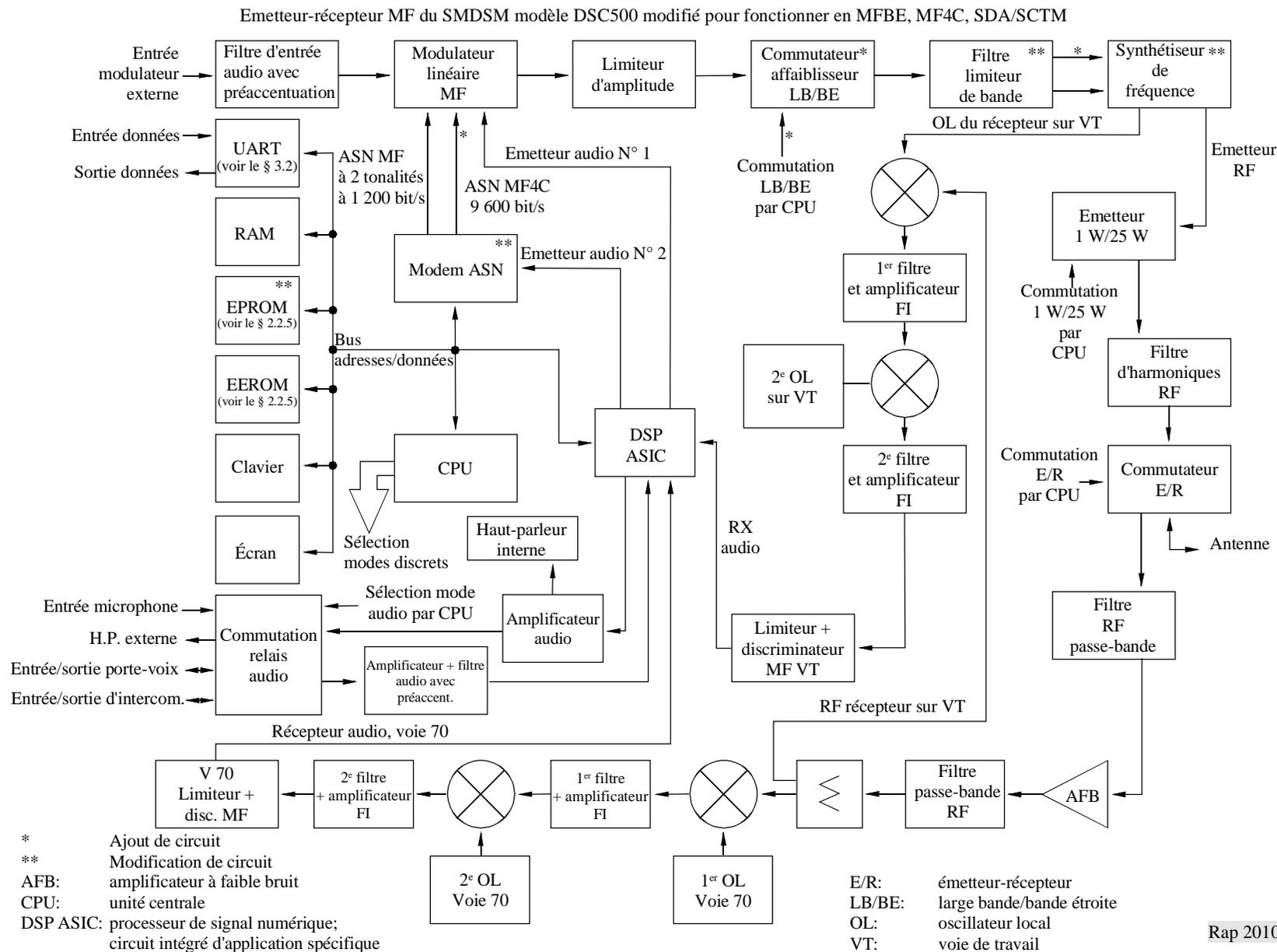
Plusieurs émetteurs-récepteurs MF en ondes métriques facilement disponibles sur le marché ont obtenu l'homologation SMDSM et sont conformes à la Recommandation UIT-R M.493 et à la Résolution OMI A.609 (15). Pour la présente évaluation, on a retenu un appareil monobloc équipé d'un récepteur à 70 voies: le ROSS DSC500. On a donc supposé que cet essai correspondait au cas pratique optimum d'application des critères énoncés dans le présent Rapport et pour tester la mise en œuvre proposée. Il est intéressant de noter que cet appareil a déjà été utilisé avec des équipements embarqués de surveillance dépendante automatique (EESDA) (ADSSE: *automatic dependent surveillance shipboard equipment*) par deux fabricants qui ont fourni des équipements conformes aux spécifications d'un système SCTM dans le Détroit de Prince William. Parallèlement au présent Rapport, d'autres propositions de Recommandations nouvelles et de mises à jour aux Recommandations existantes sont actuellement soumises à l'UIT-R par les Etats-Unis d'Amérique qui décrivent la mise en œuvre actuelle du système VTS 2000 ainsi que certaines nouvelles améliorations proposées. Toutes ces nouvelles spécifications ont été prises en compte pour la modification de l'équipement de radiocommunication.

## **2 Modifications de l'appareil radio utilisé pour les essais**

Le diagramme fonctionnel dans la Fig. 9 représente l'architecture interne de l'appareil radio utilisé pour les essais. Il convient de noter que \* indique des ajouts de circuits et \*\* des modifications de circuit.

FIGURE 9

## Diagramme fonctionnel de bloc



## 2.1 Ajouts de circuits

### 2.1.1 Commutateur double mode MFBE/MFLB

Comme indiqué dans le présent Rapport, tout équipement doit pouvoir totalement interfonctionner, on a estimé qu'il était préférable d'utiliser un commutateur de mode et non pas un circuit câblé de modification du fonctionnement des limiteurs d'amplitude pour régler l'excursion maximale de crête à 2,5 kHz. L'unité centrale (CPU) commande un atténuateur 2:1 dans le trajet de modulation lorsque l'utilisateur passe sur les nouvelles voies intercalaires à 12,5 kHz. Cette caractéristique n'est pas essentielle pour un équipement fonctionnant uniquement en phonie, étant donné qu'un équipement capable de fonctionner en MFBE pourrait être simplement réglé pour permettre seulement une excursion réduite. Dans ce cas, le volume sonore fourni par un récepteur conventionnel MFLB sera plus faible pour la phonie émise par un équipement MFBE. Mais, si la radio, outre la phonie, doit pouvoir fonctionner en ASN et transmettre efficacement des données, elle doit être équipée d'un atténuateur commuté. Dans le cas de l'équipement utilisé pour les essais, on s'est servi d'une section disponible d'un commutateur à circuit intégré et d'une ligne de commande de l'unité centrale discrète précédemment non utilisée.

### 2.1.2 Entrée supplémentaire du modulateur

Le modulateur MF linéaire doit disposer d'un accès à couplage en continu pour le signal à quatre niveaux provenant du modem ASN. Cette nouvelle entrée permet la commande du mode «MF4C ASN à 9 600 bit/s» par le circuit intégré de traitement (DSP ASIC, *digital signal processor – application specific integrated circuit*) lorsque l'équipement de radiocommunication fonctionne dans le mode de transfert rapide de données.

### 2.1.3 Entrée supplémentaire de modulation du synthétiseur de fréquence

Le synthétiseur de fréquence doit disposer d'un circuit de commande de modulation à deux points pour le mode de transfert de données MF4C. En effet, la boucle à verrouillage de phase de l'oscillateur commandé par tension (OCT) peut difficilement permettre de moduler la porteuse de faible vitesse d'excursion couplée en continu. Ainsi, l'oscillateur à quartz de référence doit également être modulé avec l'étage de commande à couplage continu vers un varactor monté en parallèle au quartz (mode résonnant parallèle).

## 2.2 Modifications des circuits

### 2.2.1 Modulateur linéaire MF

Le modulateur linéaire MF doit être modifié pour accepter une entrée supplémentaire à couplage continu dans un «nœud de sommation» en provenance du modem ASN. Cette modification peut être effectuée par simple ajout de résistances et quelques modifications de composants courants.

### 2.2.2 Modem ASN

Le modem ASN existant utilise des générateurs et des détecteurs de tonalité pour produire et décoder les tonalités ASN à 1 300 et 2 100 Hz à 1 200 bit/s. Ces circuits ne sont pas utilisés dans le mode MF4C. La méthode MF4C utilise à la place de tonalités quatre niveaux de décalage de porteuse (MDP-4) pour transmettre des symboles à deux bits avec chaque niveau. Le protocole ASN utilise dix bits pour décrire un caractère (sept bits d'information et trois bits de contrôle), et par conséquent il faut cinq symboles MF4C par caractère. Étant donné que le circuit DSP ASIC contient un processeur audio A/N/A géré par l'unité centrale, il faut un logiciel nouveau pour coordonner l'unité centrale, le modem ASN, et le circuit DSP ASIC pour exécuter les fonctions de modem ASN MF4C à 4 800 symboles/s (9 600 bit/s). Heureusement, le circuit DSP ASIC dispose déjà d'un générateur d'horloge de rapidité de modulation capable de traiter des débits de 1 200, 2 400, 4 800 et 9 600 bit/s. Cet aspect particulier de la modification de l'équipement radio pour mettre en œuvre la modulation MF4C est une coïncidence heureuse inattendue avec l'équipement radio ROSS DSC 500 étant donné que ce modèle dispose déjà des circuits nécessaires. D'autres nouveaux équipements de radiocommunication vont probablement utiliser des circuits et des techniques DSP dans un proche avenir étant donné que ces circuits sont maintenant très bon marché.

### 2.2.3 Filtre limiteur de bande

Pour pouvoir procéder officiellement à l'homologation, il a été nécessaire d'ajouter un filtre audio limiteur de bande à la sortie du modulateur MF linéaire dans la plupart des émetteurs-récepteurs modernes. Ce filtre a une double fonction: il ne limite pas seulement la bande passante audio mais également supprime les composantes harmoniques de la distorsion

causée par la mutilation engendrée par le limiteur de modulation. Il faut faire en sorte que le filtre actif n'introduise pas d'autres non-linéarités harmoniques en saturant le filtre au-delà de ses limites de dynamique. L'équipement étudié dispose déjà d'un filtre actif complexe pour réaliser cette fonction. Ce filtre doit être remplacé par les deux filtres dont les caractéristiques sont données aux § 2.9.5.2 et 2.9.5.3 de l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R M.1084 et la courbe de la Fig. 5 afin que les caractéristiques exigées au niveau du temps de propagation de groupe qui doit être uniforme et au niveau du facteur de forme de bande passante/affaiblissement. La meilleure façon de mettre en œuvre un tel filtre est d'utiliser une technique de condensateur commuté à monoclip et des simples composants externes R-C pour empêcher le repliement du spectre et éliminer le bruit haute fréquence.

#### 2.2.4 Synthétiseur de fréquence

Le synthétiseur de fréquence doit être modifié pour pouvoir passer de l'espacement à 25 kHz pour lequel il a été conçu à un espacement de voies de 12,5 kHz. Dans certains équipements, il sera parfois nécessaire d'avoir un oscillateur à quartz de référence de meilleure qualité pour obtenir la tolérance de fréquence proposée de  $5 \times 10^{-6}$  sur la plage de température de fonctionnement. Le quartz devra être shunté par le varactor du § 2.1.3 pour pouvoir passer d'une modulation à basse fréquence jusqu'à une fréquence nulle. Dans ce cas, l'équipement utilisé pour les essais dispose déjà d'un quartz dont la stabilité est supérieure au  $5 \times 10^{-6}$  précités et d'un synthétiseur disposant de deux compteurs programmés sériellement par l'unité centrale (un compteur de référence et un compteur à rétroaction) avec une gamme suffisante de sorte que la programmation à 12,5 kHz peut être réalisée uniquement par modification du logiciel de l'unité centrale. Ainsi, tout l'équipement étudié ne nécessite hormis le logiciel qu'un varactor, deux modifications de valeur de composant dans le filtre à boucle et deux composants discrets supplémentaires.

#### 2.2.5 Mémoire EPROM (modification du logiciel)

Toute la mémoire de programme de l'équipement utilisé pour les essais se trouve contenue dans une mémoire morte électriquement programmable (EPROM, *electrically programmable read-only memory*). Ainsi, les modifications de logiciel nécessaires pour que l'unité centrale puisse prendre en charge toutes les améliorations décrites dans le présent Rapport peuvent être mises en œuvre par l'insertion d'une nouvelle mémoire EPROM. Dans le cas présent, on dispose d'un espace code suffisant, d'une mémoire vive disponible suffisante et d'une possibilité d'adressage de la mémoire compte tenu de la structure même de la mémoire. La mémoire de l'équipement DSC 500 a récemment été réorganisée afin de pouvoir prendre en charge les nouveaux besoins en matière de système SDA/SCTM et de gestion de données. Pour les nouveaux modèles d'équipement radio fonctionnellement complexes, il semble souhaitable de conserver la mémoire de programme dans une mémoire EPROM amovible avec les variantes et les modifications mineures étant contenues dans une mémoire morte effaçable électriquement (EEROM, *electrically erasable ROM*). La structure de l'équipement radio étudié était spécialement conçue pour pouvoir assurer un service d'assistance sur site aux utilisateurs.

### 2.3 Coût des modifications

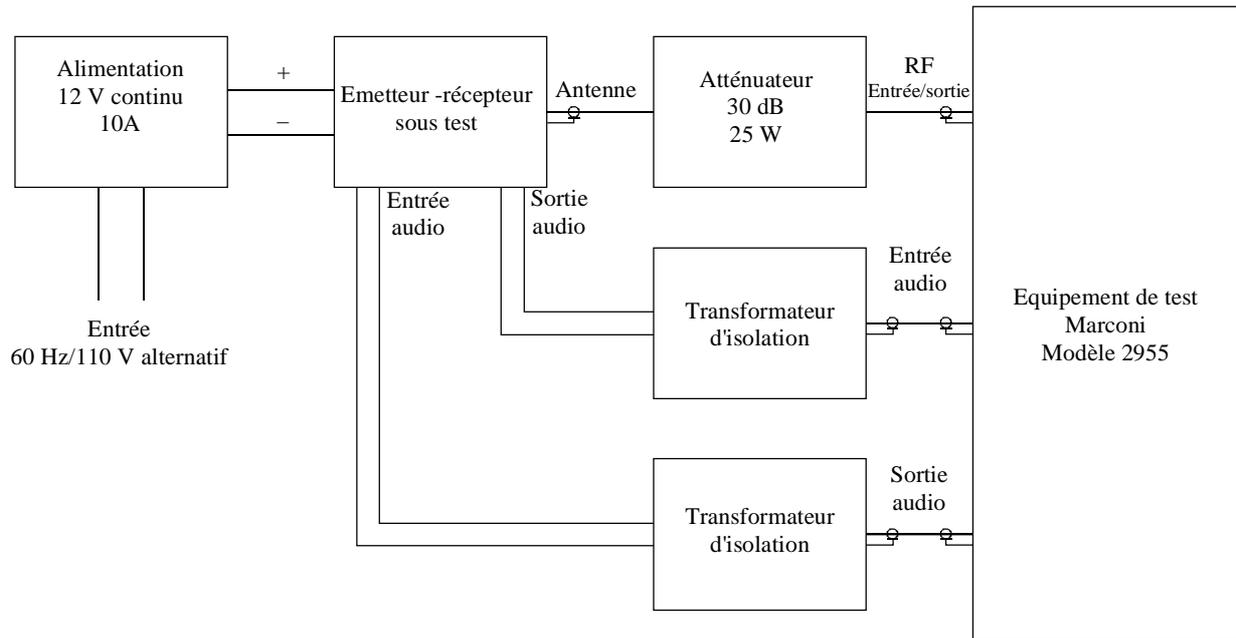
Le coût total du matériel nécessaire pour modifier l'équipement radio étudié afin qu'il dispose de toutes les améliorations proposées est inférieur à 20 dollars des Etats-Unis. Un technicien d'un centre de réparation homologué peut réaliser les modifications et procéder aux vérifications en une heure en utilisant un équipement de test spécialement préparé (équipement de test radio et ordinateurs personnels avec programmes spéciaux).

## 3 Résultats des essais

### 3.1 Sensibilité en phonie MFBE (voir le montage de mesure dans la Fig. 10)

Les mesures de seuil de sensibilité RF ont été effectuées en utilisant un appareil de test Marconi Radio Communications, Modèle 2955. L'équipement radio DSC 500 non modifié a permis d'obtenir un rapport SINAD de 12 dB pour un signal d'entrée RF de -122 dBm avec une tonalité d'essai de 1 kHz et une excursion de 3 kHz. L'excursion de 3 kHz est une excursion d'essai normalisée à utiliser sur les équipements conçus pour offrir une excursion maximale de 5 kHz (valeur limite) avec un espacement entre voies de 25 kHz. Lorsque l'excursion est ramenée de 3 à 2 kHz, (nouvelle excursion de test standard (voir le § 1.1 de l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R M.1084) pour des voies de 12,5 kHz avec une limite d'excursion fixée en valeur crête à 2,5 kHz), le niveau RF nécessaire est passé à -121,5 dBm pour rétablir le rapport SINAD à 12 dB. On a donc conclu qu'il y aurait une dégradation du seuil RF d'environ 0,5 dB avec des équipements radio MF à large bande modifiés conformément au critère MFBE en ramenant les limites d'excursion de 5 à 2,5 kHz.

FIGURE 10  
Montage de mesure de la sensibilité en phonie et en MFBE



	Equipement de test Marconi	Emetteur-récepteur sous test
Fréquence RF Modulation	156,700 MHz 1 kHz MF sin.	Voie 14 (set)
Test N° 1 Excursion MF Niveau RF	Crête 3 kHz -92 dBm (-30 dB)	SINAD 12 dB (mesuré)
Test N° 2 Excursion MF Niveau RF	Crête 2 kHz -91,5 dBm (-30 dB)	SINAD 12 dB (mesuré)

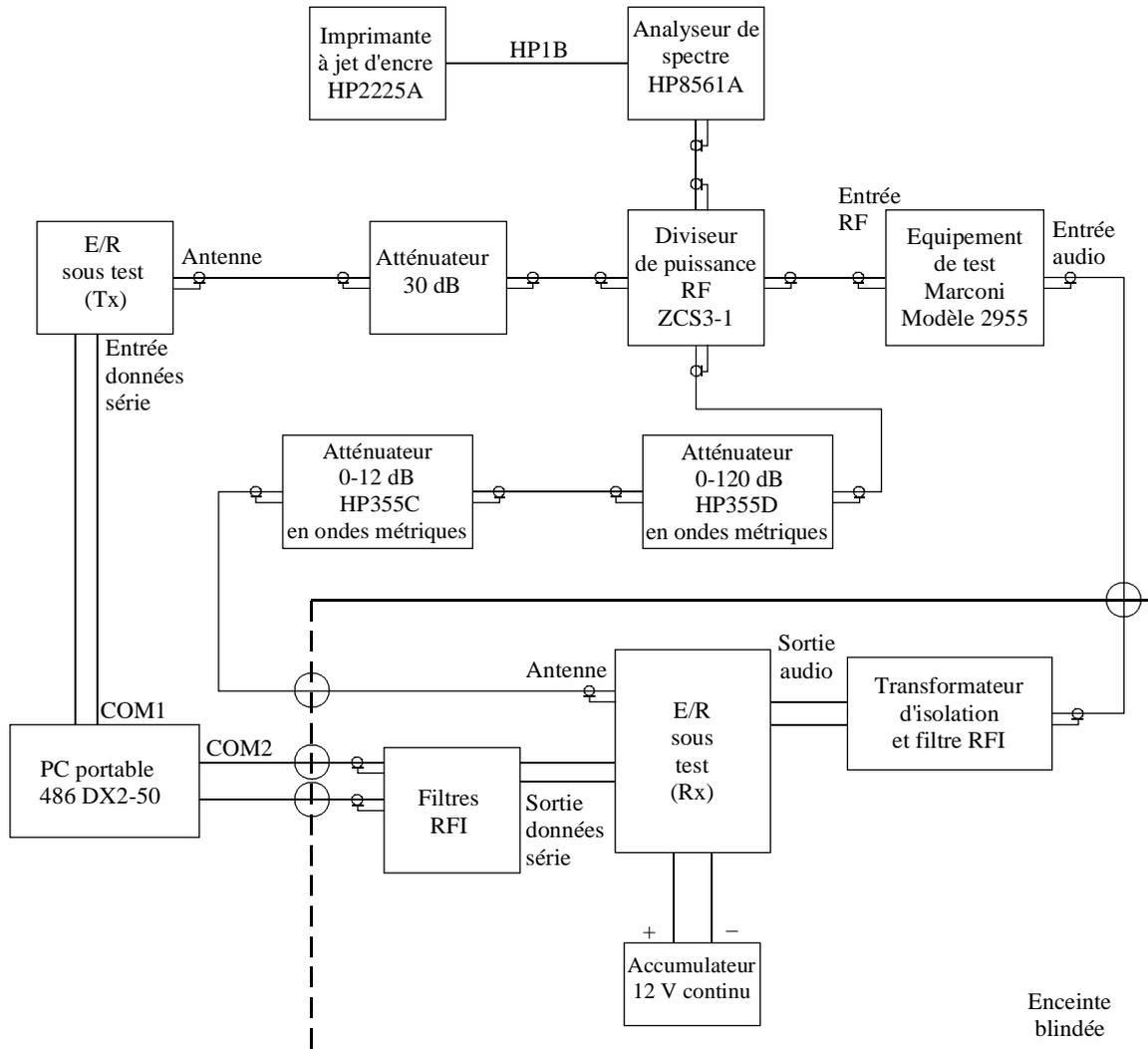
Rap 2010-10

### 3.2 Sensibilité en transmission de données ASN (voir le montage de mesure dans la Fig. 11)

Le modem ASN dans l'équipement radio étudié permet d'obtenir un TEB de  $1 \times 10^{-3}$  pour un rapport SINAD de 10,5 dB, ce qui correspond à un seuil RF d'environ -122,5 dBm. La tonalité à 2 100 Hz correspond à une excursion de 3,5 kHz et la tonalité à 1 300 Hz à une excursion de 2,17 kHz (préaccentuation). Avec des réglages d'excursion réduite de 2,3 kHz et de 1,42 kHz respectivement, le niveau du signal RF nécessaire doit être porté à -121,5 dBm pour obtenir à nouveau un TEB de  $1 \times 10^{-3}$ . Ainsi, une dégradation de 1 dB du seuil RF a été constatée lorsqu'on réduit l'excursion conformément à la MFBE. Les équipements radio utilisés pour les essais sont configurés pour transmettre des données à travers le circuit récepteur-émetteur asynchrone universel (UART, *universal asynchronous receiver-transmitter*) via les accès série (Entrée données et Sortie données dans la Fig. 9) vers les ordinateurs personnels situés à chaque extrémité. Les courbes des caractéristiques MDMG et MF4C sont représentées aux Fig. 3 et 8 respectivement (voir les § 3.3.2 et 3.3.3 de l'Annexe 1). Il convient de noter que ces données ont été prises pour une excursion de 2,5 kHz, la nouvelle limite proposée pour un espacement des voies de 12,5 kHz.

FIGURE 11

## Montage de mesure de sensibilité en transmission de données ASN



E/R: émetteur-récepteur  
Fréquence RF: 156,700 MHz/voie 14  
Equipement de test Marconi: mesure des niveaux de référence SINAD en l'absence de données (MF 1 kHz sin.)  
Analyseur de spectre et imprimante HP: mesure et impression des résultats du spectre RF de sortie  
PC portable: fichiers textuels de données E/R et contrôle/mesure d'erreurs  
Rx: récepteur  
Tx: émetteur

## ANNEXE 2

## Intégration dans le système TETRA des fonctions requises par les utilisateurs du secteur maritime dans les ondes métriques pour prendre en charge les applications au Royaume-Uni

### 1 Introduction

Dans la présente Annexe, on examine comment un système AMRT tel le système TETRA (radiocommunication européenne à ressources partagées) peut être employé dans un environnement maritime en ondes métriques.

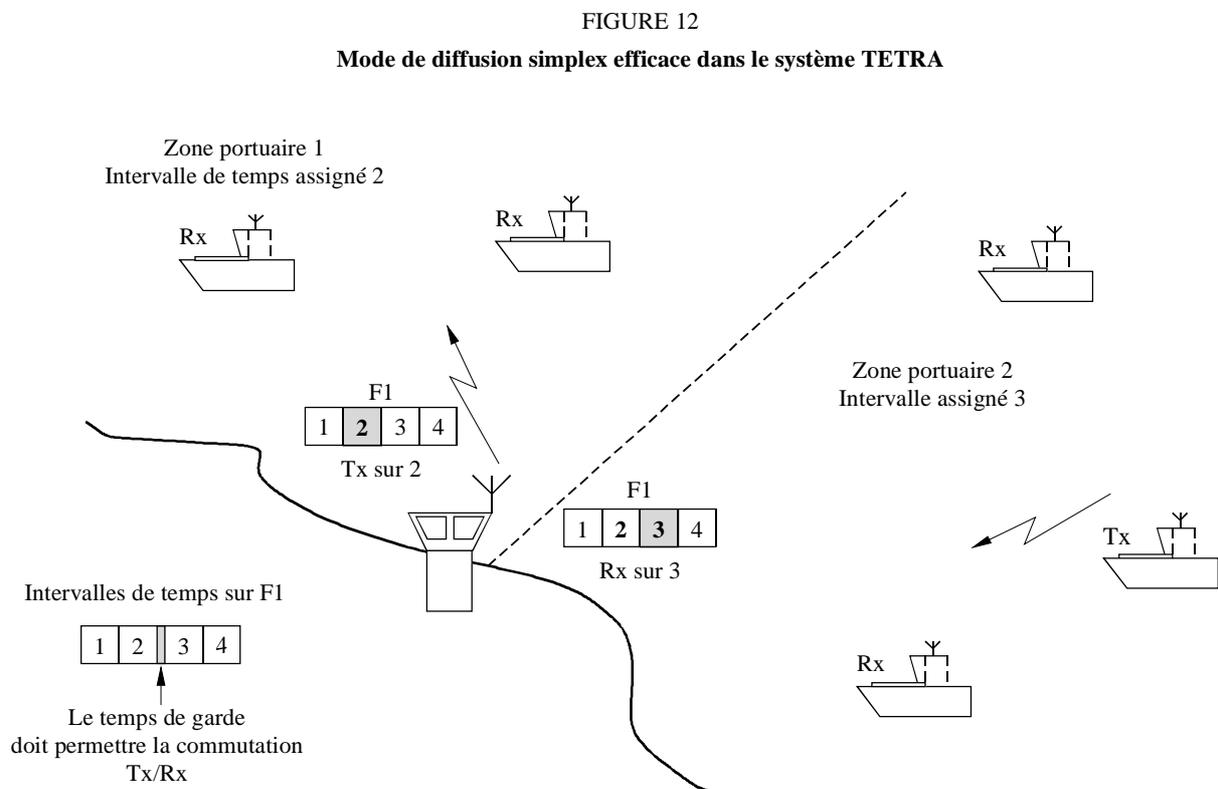
Pour les communications maritimes en ondes métriques, on utilise actuellement un accès multiple par répartition à fréquence (AMRF) qui permet la planification de spectre et une attribution de voies relativement directe. L'introduction des techniques AMRT présenterait de nombreux avantages pour les utilisateurs, les conséquences de la présence de plusieurs utilisateurs sur une même voie radiofréquence nécessitant un examen approfondi.

Dans les paragraphes qui suivent, on examine différents modes d'exploitation de la bande des ondes métriques maritimes et, dans chaque cas, on analyse la façon avec laquelle le système TETRA serait exploité.

### 2 Mode de fonctionnement

Tout nouveau système de radiocommunication doit offrir les mêmes fonctions que le système existant et être compatible avec le mode de fonctionnement de l'ancien système. L'ajout de fonctions ou de modes de fonctionnement serait utile mais il ne devrait pas être utilisé tant que le système dans son ensemble sera homologué. Pour le secteur maritime, le mode de fonctionnement préféré est le simplex à diffusion. On estime qu'un système exclusivement duplex ou semi-duplex point à point ne serait pas accepté par les utilisateurs.

La Fig. 12 illustre le principe d'un mode de fonctionnement simplex monocanal avec le système TETRA.



Une situation type de contrôle de trafic de navire y est représentée, actuellement deux voies à 25 kHz seraient exploitées par le contrôle du trafic pour les deux zones indiquées. Cela équivaut à deux intervalles de temps TETRA sur une seule voie à 25 kHz. Le mode simplex avec diffusion pourrait être maintenu avec tous les navires dans la zone considérée recevant tous les appels. Il est possible de transmettre jusqu'à quatre appels simultanés.

La spécification TETRA n'interdit pas l'utilisation d'un mode simplex monocanal, mais il n'est pas sûr que ce mode sera proposé par tous les constructeurs dans la première phase de commercialisation de leurs produits. Les appels simplex sont associés au mode direct (appels mobile-mobile dans la spécification TETRA actuelle et les appels de diffusion en direction d'une station de base seraient normalement traités dans un mode transit de communication). Le transit de communication par la station de base a l'avantage d'utiliser la forte puissance de cette station mais son efficacité spectrale est moindre. Cette partie de la spécification est néanmoins toujours à l'étude.

### **3 Stations mobiles synchronisées et non synchronisées**

La principale différence entre système AMRT et système AMRF analogique est qu'aucune communication n'est possible sur un système AMRT tant qu'il n'y a pas synchronisation entre l'appelant et l'appelé. En général, avec un système AMRT cela ne limite pas la communication, la synchronisation peut nécessiter un temps relativement long avant qu'une communication vocale intelligible ne puisse être établie. Une station (côtière) fixe pourrait servir de référence pour la synchronisation. Le système TETRA ne nécessite pas de synchronisation préalable étant donné que le débit binaire et les bandes de garde sont importants (comparativement au système GSM, par exemple).

Une station mobile s'approchant d'une station côtière peut être en mesure de se synchroniser sur d'autres mobiles avant de se synchroniser sur la référence de synchronisation. Bien qu'elle soit en mesure de recevoir des communications en provenance des autres stations mobiles, il faut l'empêcher d'émettre sur la voie de la station côtière tant qu'elle n'est pas synchronisée sur la référence de synchronisation. On envisage d'affecter certaines voies réservées aux relations mobile-mobile à la transmission dans ce type de situation (voir le § 7 de la présente Annexe). Lorsqu'elle pénètre dans la zone considérée et se synchronise avec un système comme représenté à la Fig. 12, une station mobile choisirait l'intervalle de temps approprié par connaissance préalable, le sens (automatique éventuellement) ou par écoute des communications. Il convient de noter que la station de base émettra des données de commande qui pourront servir à la synchronisation même en l'absence de communications en cours.

### **4 Systèmes différents placés au même endroit**

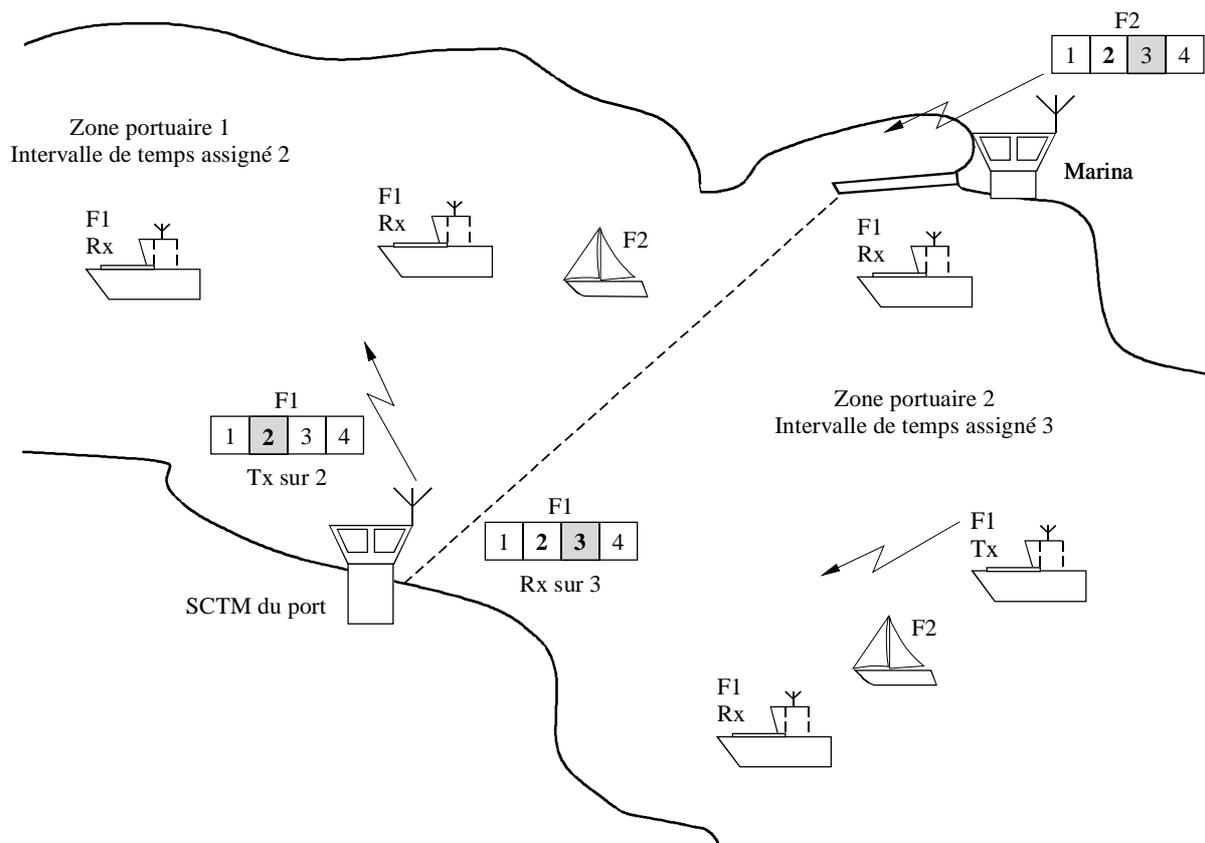
Une multitude de systèmes de communication différents situés au même endroit seront exploités dans la bande des ondes métriques attribuée au service maritime sur des fréquences distinctes. Cette situation sera directement transposable au système TETRA comme indiqué à la Fig. 13. Certains des systèmes, tels le système de contrôle du trafic de navire et la marina indiqués seront accessibles au public, certains seront de type privé et seulement accessibles à des stations mobiles spécialement prévues.

Il ne sera pas nécessaire de synchroniser ces systèmes entre eux. Les stations mobiles seraient synchronisées sur un système central mais pourraient entrer en contact avec un autre système et se synchroniser si nécessaire. Il est aussi possible d'imaginer une situation telle que celle qui est représentée à la Fig. 14 dans laquelle deux stations, éloignées l'une de l'autre, exploitent des systèmes synchronisés sur la même fréquence. Un des systèmes pourrait être choisi comme référence de synchronisation ou les deux systèmes pourraient se synchroniser sur un même émetteur (par exemple, celui de Droitwich ou le GPS). Le temps de transmission entre deux stations fixes ne permet pas d'extrapoler cette méthode à l'infini, mais elle peut améliorer l'efficacité spectrale et diminuer l'encombrement dans une zone où par exemple se trouvent plusieurs marinas.

### **5 Systèmes adjacents et systèmes avec chevauchement**

Une nouvelle fois encore, pour les systèmes adjacents, la transposition de la pratique actuelle aux systèmes TETRA devrait être immédiate. Comme indiqué à la Fig. 15, une station mobile transitant entre deux systèmes adjacents peut communiquer avec l'un ou l'autre s'il y a chevauchement, ou aucun des deux systèmes dans le cas contraire. Les systèmes adjacents doivent fonctionner sur des fréquences différentes s'ils ne peuvent pas se synchroniser sinon il y aura brouillage.

FIGURE 13  
Cas de plusieurs systèmes en fonctionnement



Rap 2010-13

## 6 Fonction de veille double et fonctionnement de la voie de détresse

Dans les systèmes actuels, la voie d'appel principale et la voie de détresse sont les mêmes. Cela a l'avantage de permettre aux utilisateurs d'équipements simples de se mettre en écoute pour recueillir les éventuels appels de détresse lorsqu'ils n'utilisent pas leurs équipements, mais le grand inconvénient est que le système de détresse est très vulnérable et peut être rendu inefficace par mauvaise utilisation de la voie d'appel. Les exploitants commerciaux et les stations fixes utiliseraient des équipements de radiocommunication à veille double ce qui leur permettrait de surveiller simultanément la voie de détresse et la voie qu'ils utilisent.

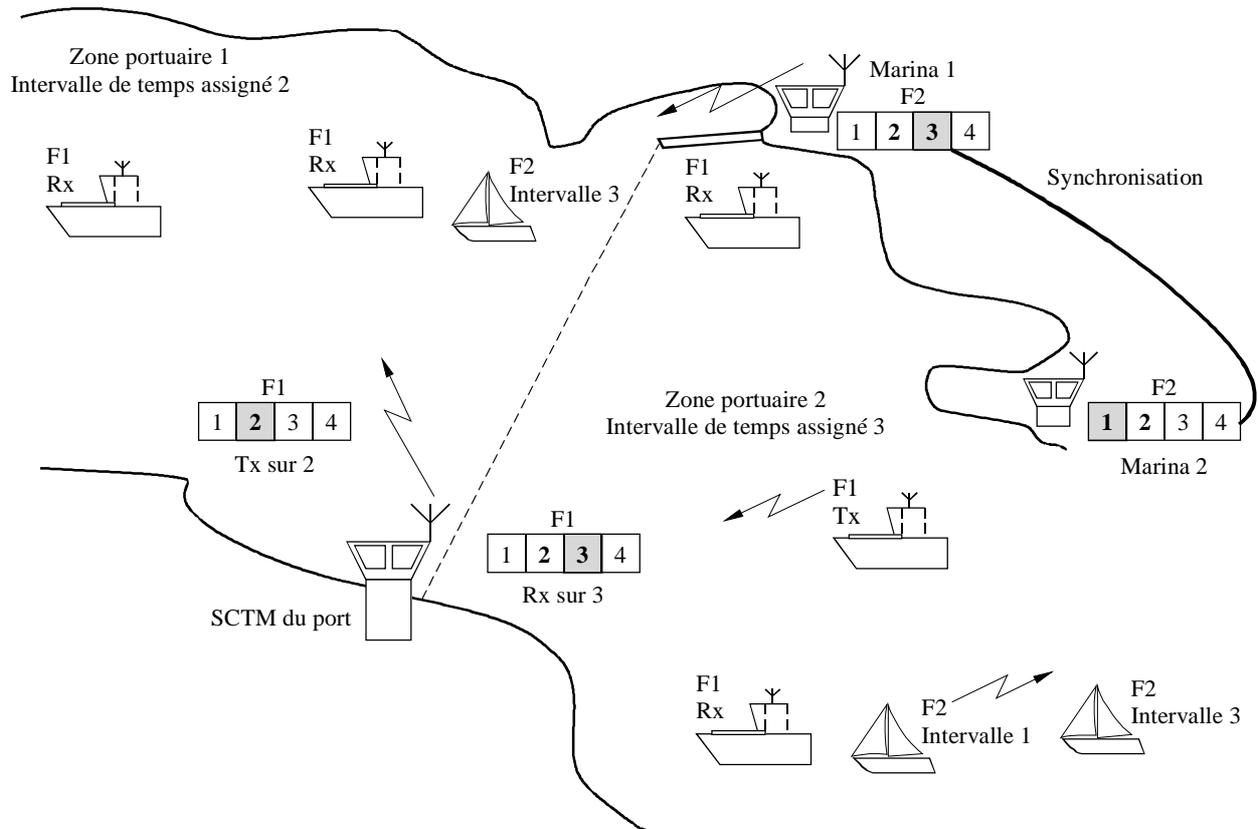
Cette situation s'améliorera avec l'apparition de l'ASN, la probabilité d'utilisation abusive de la voie 70 (nouvelle voie de détresse et d'appel) devenant plus faible. Cependant, il existe déjà un certain doute sur la charge de la voie 70 avec la mise en service des systèmes de poursuite automatique de navire (SPAN).

La situation pourrait être encore améliorée avec le système TETRA car même les équipements simples sont capables de se placer en écoute sur leur fréquence de leur système de rattachement et sur la fréquence de détresse. Pour les stations fixes qui sont susceptibles d'être fortement chargées, un récepteur double sera encore nécessaire pour «écouter» efficacement la fréquence de détresse (FD). Cette situation est illustrée à la Fig. 16.

Il convient de noter que l'équipement simple effectue une écoute sur l'intervalle de temps  $T + 2$  modulo 4 à partir de celle qui correspond à son système de rattachement. La voie FD ne serait pas normalement synchronisée. Cependant, les transmissions de détresse peuvent être organisées de manière telle qu'elles soient toujours écoutées à l'intérieur de quatre trames (environ 200 ms). La vitesse d'extraction et le débit de transfert de données subséquent seraient bien meilleurs que ceux obtenus avec l'ASN. Après détection du signal de détresse, la surveillance sur le système de rattachement peut être enclenchée et un appel direct vers le navire en détresse peut être établi. Une station fixe avec un récepteur double peut surveiller tous les intervalles de temps sur la voie FD et extraire l'appel de détresse dans une trame.

FIGURE 14

Cas de plusieurs systèmes, avec stations fixes distantes fonctionnant sur une même fréquence



Rap 2010-14

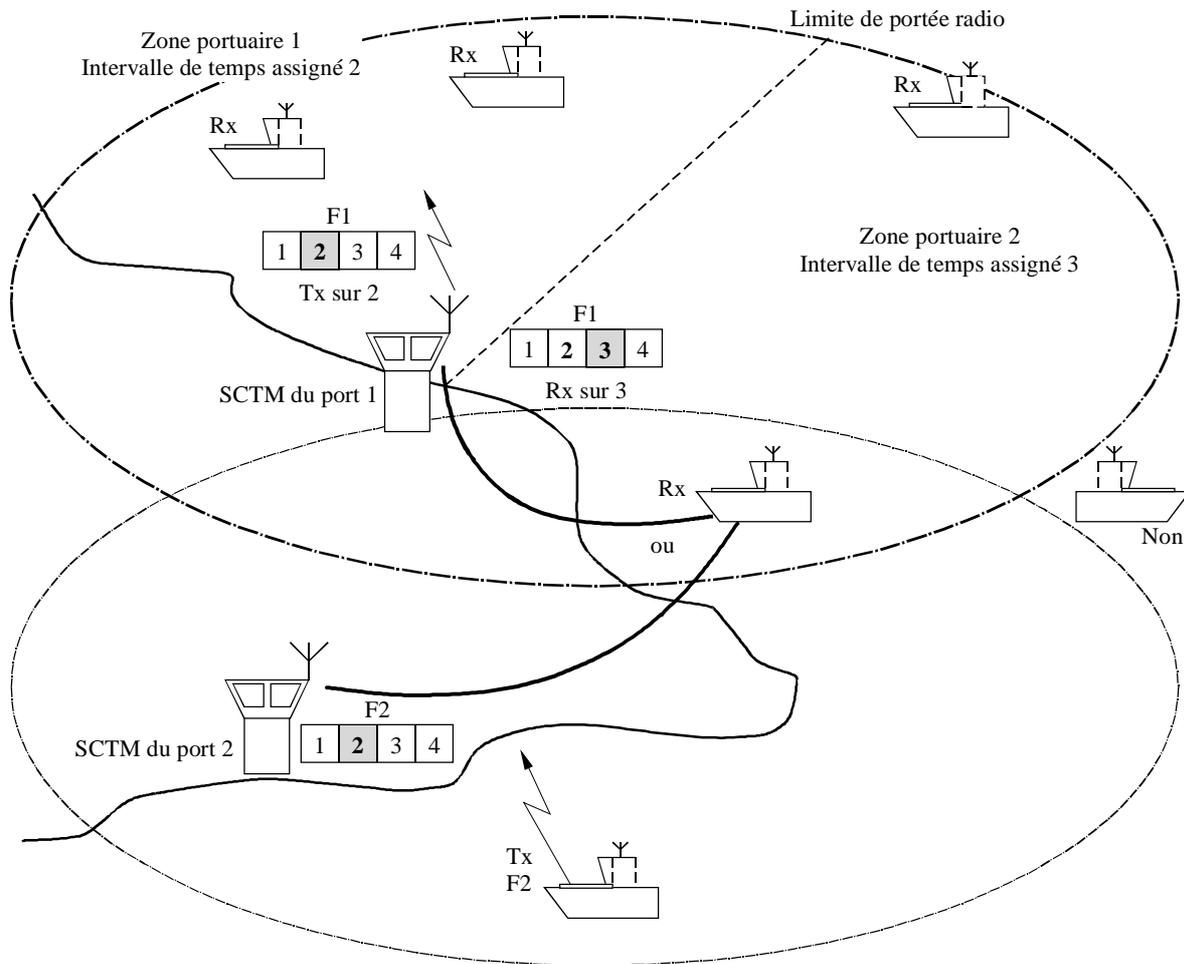
Il se peut que les garde-côtes estiment que la voie de détresse est la voie de leur système de rattachement, cela donnerait aux navires en détresse se trouvant à portée la possibilité de se synchroniser avec une station fixe pour lancer un appel de détresse. On pourrait toujours affecter une voie de travail pour les opérations de recherche qui serait différente de la voie de détresse et cette voie pourrait également être retenue comme voie du système de rattachement des garde-côtes.

Il convient de noter que le système TETRA offre d'autres possibilités et notamment un mode répéteur manuel ou automatique par lequel l'appel de détresse peut être directement acheminé par l'intermédiaire d'un navire vers une station côtière qui autrement serait hors de portée.

## 7 Fonctionnement en mode duplex

Le mode normal duplex dans le système TETRA est le mode duplex à répartition de fréquence à intervalles de temps décalés. Ce mode peut être utilisé pour les communications maritimes lorsqu'on le souhaite, en particulier pour la correspondance publique et pour des services similaires. Dans le cas d'appels en duplex à répartition de fréquence, un mobile émet sur un seul intervalle de temps et reçoit sur l'intervalle de temps  $T+2$  modulo 4, comme indiqué à la Fig. 17. Cela signifie qu'un mobile sans récepteur double ne peut pas écouter la fréquence de détresse de la manière décrite au § 5 de cette Annexe lorsqu'il est en conversation duplex.

FIGURE 15  
Systèmes TETRA adjacents



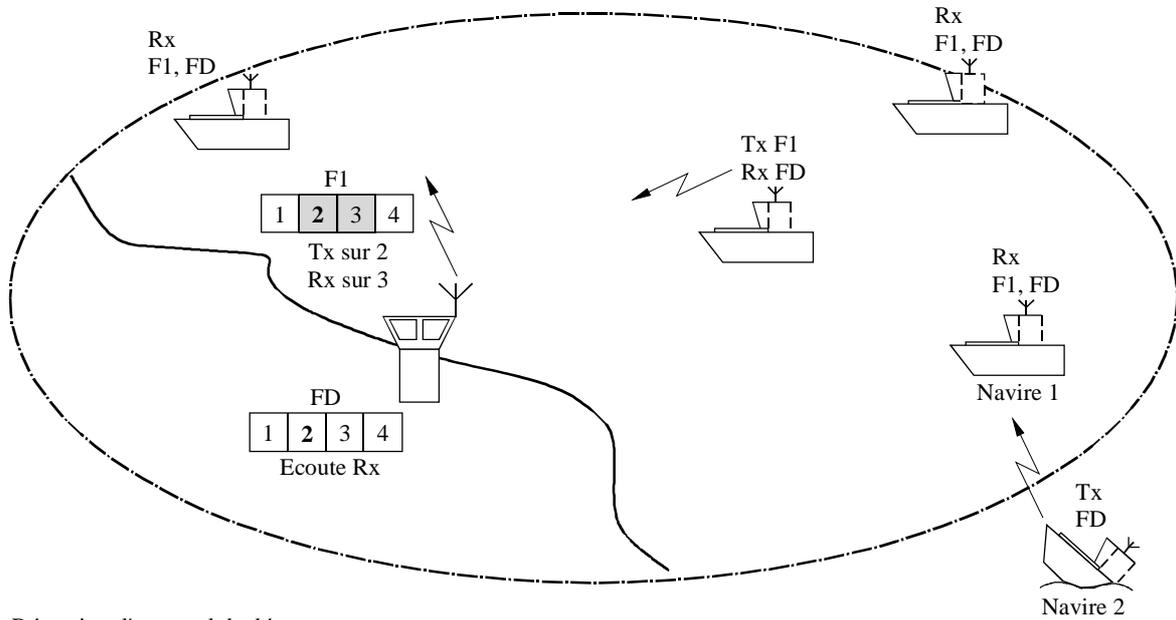
Rap 2010-15

## 8 Appels navire-navire

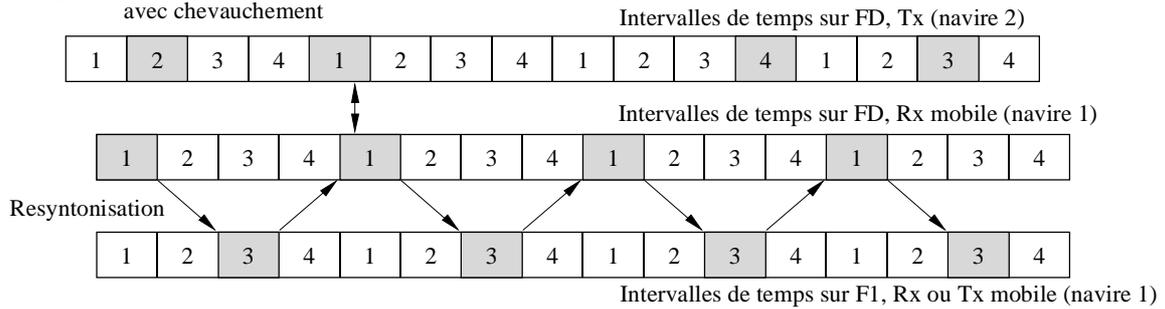
Le système TETRA prend en charge les appels en mode direct (mobile-mobile) qui peuvent continuer à utiliser les fréquences navire-navire actuelles. Lorsqu'elle se trouve hors de portée d'une station côtière, une station mobile peut souhaiter écouter la voie navire-navire ou une voie d'appel générale spécifiée ainsi que la voie de détresse de la manière décrite au § 5 de cette Annexe. Un appel navire-navire serait alors établi de la même façon qu'un appel de détresse.

Il devrait être également possible pour les mobiles d'écouter plusieurs voies autres que la voie de leur système de rattachement. On pourrait alors se trouver dans une situation telle que celle qui est décrite à la Fig. 18 dans laquelle un appel navire-navire émanant d'un navire hors de la portée d'une station côtière est reçu par un navire écoutant une station côtière et la voie de détresse. L'inconvénient lié à l'écoute de plusieurs voies est que le temps maximal pour détecter un appel sera augmenté (et atteindra dans le cas présent  $\approx 400$  ms). Cette possibilité ne fait pas partie de la spécification TETRA et ne pose aucun problème.

FIGURE 16  
 Ecoute de la voie de détresse dans le système TETRA



Réception d'un appel de détresse avec chevauchement



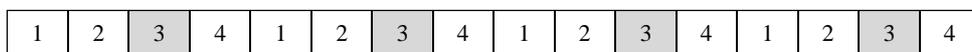
Rap 2010-16

FIGURE 17  
 Utilisation des intervalles de temps par les stations mobiles dans le mode duplex

Intervalles de temps sur F2, Tx mobile

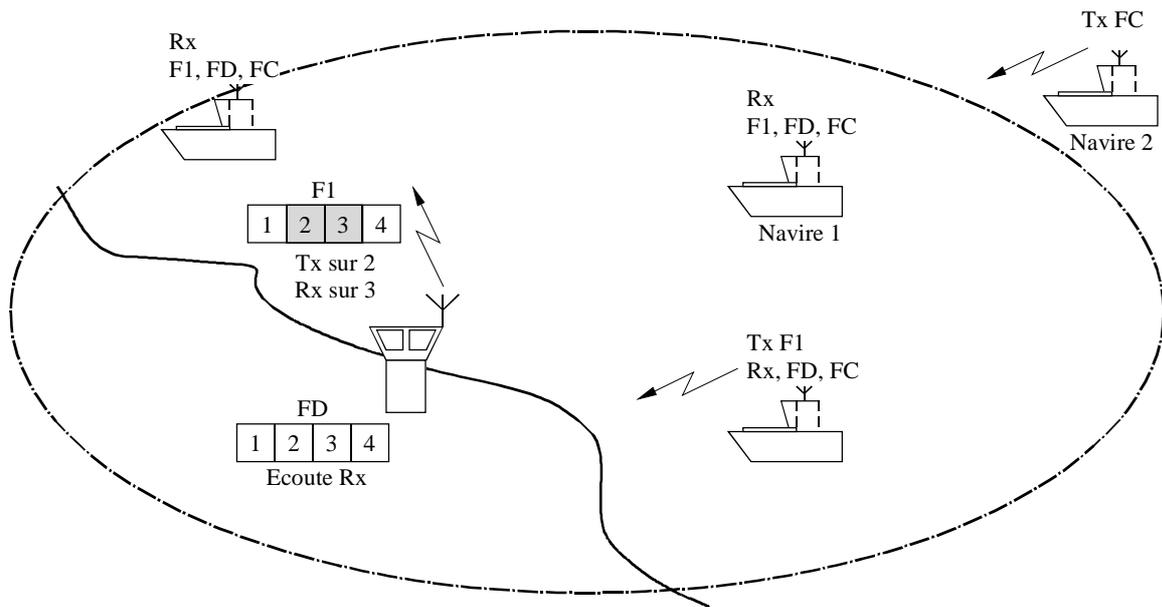


Intervalles de temps sur F1, Rx mobile

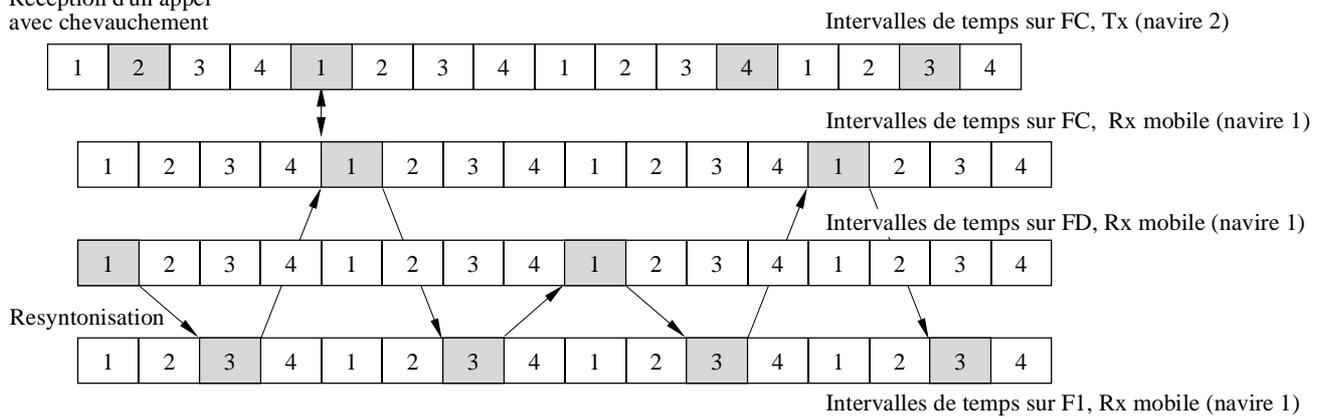


Rap 2010-17

FIGURE 18  
 Ecoute sur plusieurs voies



Réception d'un appel  
 avec chevauchement



FC: fréquence d'appel