

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.2010-1
(01/2019)

**Caractéristiques du système numérique
NAVDAT de diffusion d'informations
relatives à la sécurité et à la sûreté
en mer dans le sens côtière-navire
dans les bandes de fréquences
des 500 kHz**

Série M

**Services mobile, de radiorepérage et d'amateur
y compris les services par satellite associés**



Avant-propos

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

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

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Recommandations UIT-R

(Également disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiopérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	Vocabulaire et sujets associés

Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

Publication électronique
Genève, 2019

© UIT 2019

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RECOMMANDATION UIT-R M.2010-1

Caractéristiques du système numérique NAVDAT de diffusion d'informations relatives à la sécurité et à la sûreté en mer dans le sens côtière-navire dans les bandes de fréquences des 500 kHz

(2012-2019)

Domaine d'application

La Recommandation décrit un système de radiocommunication en ondes hectométriques, appelé NAVDAT (Navigational Data), destiné à être utilisé dans le service mobile maritime dans les bandes des 500 kHz en vue de la diffusion numérique d'informations relatives à la sécurité et la sûreté en mer dans le sens côtière-navire. Les caractéristiques opérationnelles et l'architecture de ce système sont décrites dans les Annexes 1 et 2. Les caractéristiques techniques et la structure de transmission sont présentées dans les Annexes 3 et 4. La structure du fichier de messages ainsi qu'un mode de diffusion sont décrits dans les Annexes 5 et 6.

Mots clés

500 kHz, diffusion, NAVDAT

Abréviations/Glossaire

CDU	élément de commande et d'affichage (<i>control and display unit</i>)
CRC	contrôle de redondance cyclique (<i>cyclic redundancy check</i>)
DRM	Digital radio mondiale
DS	flux de données (<i>data stream</i>)
GF	champ de Galois ou champ fini (<i>Galois field or finite field</i>)
GNSS	système mondial de navigation par satellite (<i>global navigation satellite system</i>)
LDPC	contrôle de parité à faible densité (<i>low density parity check</i>)
MAQ	modulation d'amplitude en quadrature
MER	taux d'erreurs de modulation (<i>modulation error rate</i>)
MIS	flux d'informations de modulation (<i>modulation information stream</i>)
MROF	multiplexage par répartition orthogonale de fréquence
NAVDAT	Navigational Data (nom du système de données pour la navigation)
NAVTEX	Navigational Telex (nom du système télex pour la navigation)
OMI	Organisation maritime internationale
PRBS	séquence binaire pseudo-aléatoire (<i>pseudo-random binary sequence</i>)
RS	codes Reed-Solomon
SFN	réseau monofréquence (<i>single frequency network</i>)
SIM	système d'information et de gestion (<i>system of information and management</i>)
TIS	flux d'informations de l'émetteur (<i>transmitter information stream</i>)

Recommandations et Rapports de l'UIT connexes

Recommandation UIT-R BS.1514 – Système pour la radiodiffusion sonore numérique dans les bandes attribuées à la radiodiffusion au-dessous de 30 MHz

Recommandation UIT-R M.493 – Système d'appel sélectif numérique à utiliser dans le service mobile maritime

Recommandation UIT-R M.585 – Assignations et utilisation des identités dans le service mobile maritime

Recommandation UIT-R P.368 – Courbes de propagation de l'onde de sol entre 10 kHz et 30 MHz

Recommandation UIT-R P.372 – Bruit radioélectrique

Rapport UIT-R M.2201 – Utilisation de la bande 495-505 kHz par le service mobile maritime pour la diffusion numérique d'informations relatives à la sécurité et à la sûreté en mer dans le sens côtière-navire

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la diffusion de données à haut débit dans le sens côtière-navire permet d'améliorer l'efficacité d'exploitation et la sécurité en mer;
- b) que le système télex pour la navigation (NAVTEX) dispose d'une capacité limitée;
- c) que le système de e-navigation maritime de l'Organisation maritime internationale (OMI) entraîne une augmentation de la demande de transmission de données dans le sens côtière-navire;
- d) que la bande des 500 kHz offre une bonne couverture pour les systèmes numériques,

reconnaissant

que le système Digital Radio Mondiale (DRM) dont il est question à l'Annexe 4 est décrit dans la Recommandation UIT-R BS.1514,

notant

que le Rapport UIT-R M.2201 décrit la base du système NAVDAT,

recommande

- 1** que les caractéristiques opérationnelles utilisées pour la diffusion d'informations relatives à la sécurité et à la sûreté en mer soient conformes à l'Annexe 1;
- 2** que l'architecture du système de diffusion d'informations relatives à la sécurité et à la sûreté en mer soit conforme à l'Annexe 2;
- 3** que les caractéristiques techniques et les protocoles des modems utilisés pour la transmission numérique dans le sens côtière-navire dans la bande des 500 kHz soient conformes aux Annexes 3 et 4,
- 4** que le flux de données du système et la structure des messages soient conformes à l'Annexe 5.

Annexe 1

Caractéristiques opérationnelles

Le système NAVDAT utilise une attribution d'intervalle de temps tout comme le système NAVTEX, qui pourrait être coordonnée par l'OMI de la même manière.

Le système NAVDAT peut aussi fonctionner en mode réseau monofréquence (SFN) comme décrit à l'Annexe 6. Dans ce cas, les émetteurs sont synchronisés en fréquence et les données émises doivent être les mêmes pour tous les émetteurs.

Le système numérique NAVDAT fonctionnant à 500 kHz offre un moyen de diffusion de tout type de message, éventuellement chiffré, dans le sens côtière-navire.

1 Types de message et de fichiers

Tout message à diffuser devrait provenir d'une source sûre et contrôlée.

Les types de message à diffuser peuvent notamment être les suivants:

- sécurité de la navigation;
- sécurité;
- piratage;
- recherche et sauvetage;
- messages météorologiques;
- messages de pilotage ou des autorités portuaires;
- transfert de fichiers de système de trafic maritime;
- modules de mise à jour des cartes électroniques.

2 Modes de diffusion

2.1 Diffusion générale

Les messages sont diffusés à l'intention de tous les navires.

2.2 Diffusion sélective

Les messages sont diffusés à l'intention d'un groupe de navires¹ ou dans une zone de navigation spécifique².

2.3 Message dédié

Les messages sont adressés à un seul navire, au moyen de l'identité du service mobile maritime.

¹ Le format de l'identification d'appel de groupe de la station de navire est défini dans la Partie 1 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R M.585.

² La définition des coordonnées géographiques est donnée au point 5.3 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R M.493.

3 **Priorité de diffusion**

Le système NAVDAT est en mesure de diffuser des messages de détresse, d'urgence et de sécurité, dans l'ordre défini dans le Manuel SafetyNET international de l'OMI.

Annexe 2

Architecture du système

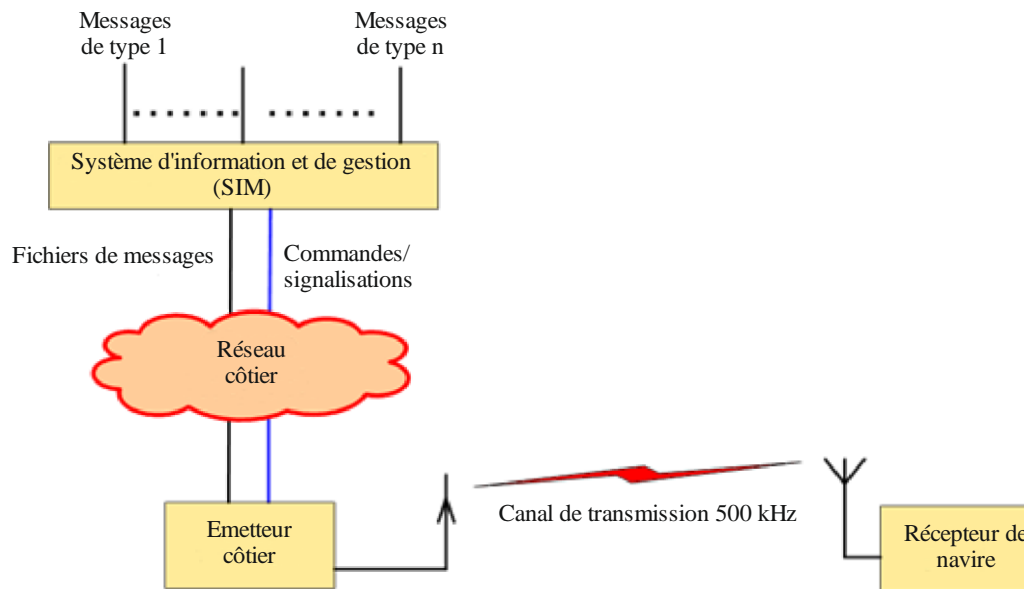
1 Chaîne de transmission utilisée pour la diffusion

Le système NAVDAT est structuré autour de cinq vecteurs assurant les fonctions suivantes:

- Système d'information et de gestion (SIM):
 - collecte et contrôle tous types d'informations;
 - crée les fichiers de messages à transmettre;
 - crée le programme des transmissions en fonction de la priorité des fichiers de messages et de la nécessité ou non de les répéter;
 - suit l'état de fonctionnement et la qualité de la diffusion de l'émetteur côtier;
 - contrôle les paramètres d'exploitation de l'émetteur côtier.
- Réseau côtier:
 - assure le transport des fichiers de messages et le suivi des données depuis les sources jusqu'aux émetteurs.
- Émetteur côtier:
 - reçoit les fichiers de messages en provenance du système SIM;
 - convertit les fichiers de messages en signal à multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (MROF);
 - transmet le signal RF à l'antenne en vue de sa diffusion aux navires;
 - suit l'état de fonctionnement et communique les informations au système SIM.
- Canal de transmission:
 - transporte le signal RF à 500 kHz.
- Récepteur de navire:
 - démodule le signal MROF RF;
 - reconstitue les fichiers de messages;
 - trie les fichiers de messages et les met à la disposition des équipements dédiés en fonction des applications concernées, ou affiche le contenu des fichiers de messages.

La Figure 1 montre le schéma de la chaîne de transmission utilisée pour la diffusion.

FIGURE 1
Schéma de la chaîne de transmission du système NAVDAT à 500 kHz



M 2010-01

1.1 Système d'information et de gestion

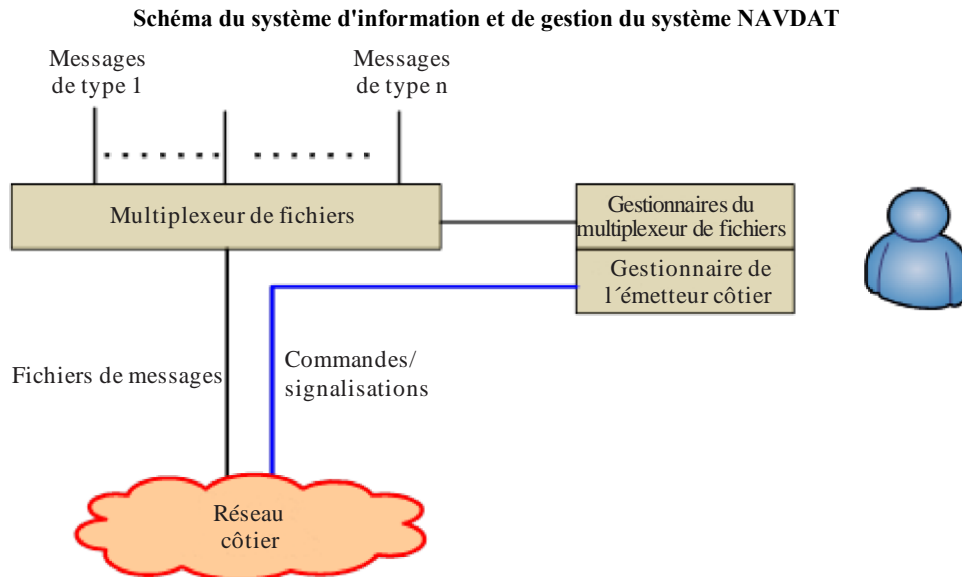
Le système SIM comprend:

- toutes les sources qui fournissent des messages sous la forme de fichiers (par exemple services météorologiques, organismes de sécurité et de sûreté, etc.);
- un multiplexeur de fichiers, qui est une application exécutée sur un serveur;
- un gestionnaire du multiplexeur de fichiers;
- un gestionnaire de l'émetteur côtier.

Toutes les sources sont reliées au multiplexeur de fichiers via un réseau.

La Figure 2 montre le schéma général du système SIM.

FIGURE 2



M.2010-0

1.1.1 Multiplexeur de fichiers

Le multiplexeur de fichiers:

- reçoit les fichiers de messages émanant des sources de données;
- chiffre les fichiers de messages si cela est demandé;
- formate les fichiers de messages en ajoutant les informations relatives aux destinataires, le rang de priorité et la validité temporelle;
- envoie les fichiers de messages à l'émetteur.

1.1.2 Gestionnaire du multiplexeur de fichiers

Le gestionnaire du multiplexeur de fichiers est une interface homme-machine qui permet, entre autres, à l'utilisateur:

- de consulter les fichiers de messages émanant de n'importe quelle source;
- de spécifier la priorité et la périodicité de n'importe quel fichier de messages;
- de spécifier le destinataire de n'importe quel fichier de messages;
- de gérer le chiffrement des fichiers de messages.

Certaines de ces fonctionnalités peuvent être automatisées. À titre d'exemple, la priorité et la périodicité d'un message peuvent être choisies en fonction de la source dont il émane ou la source peut spécifier la priorité dans le message.

1.1.3 Gestionnaire de l'émetteur côtier

Le gestionnaire de la station côtière est une interface homme-machine reliée à l'émetteur via le réseau; il permet de superviser l'état de l'émetteur grâce à des indications telles que:

- un accusé de réception d'émission;
- des alarmes;
- la puissance d'émission effective;
- un rapport de synchronisation;
- la qualité des transmissions;

et de modifier les paramètres de l'émetteur tels que:

- la puissance d'émission;
- les paramètres MROF (sous-porteuses pilotes, modulation, codage avec correction d'erreurs, etc.);
- le programme des transmissions.

1.2 Réseau côtier

Le réseau côtier peut utiliser une liaison large bande, une liaison à faible débit de données ou un système local de partage de fichiers.

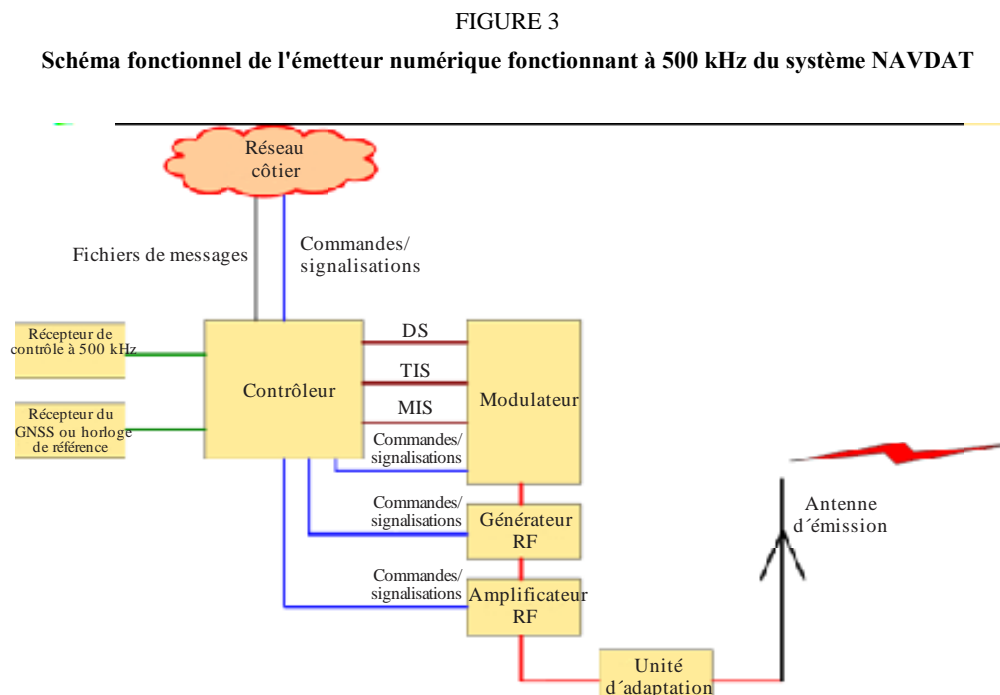
1.3 Description de l'émetteur côtier

Une station d'émission côtière comprend, au minimum:

- un contrôleur, c'est-à-dire un serveur local avec accès protégé;
- un modulateur MROF;
- un générateur de signal RF;
- un amplificateur de puissance RF;
- une antenne d'émission avec unité d'adaptation;
- un récepteur du système mondial de navigation par satellite (GNSS) ou une horloge atomique pour la synchronisation;
- un récepteur de contrôle avec son antenne.

1.3.1 Architecture du système côtier

La Figure 3 montre le schéma d'un émetteur numérique fonctionnant à 500 kHz.



1.3.2 Contrôleur

Cette unité reçoit les informations suivantes:

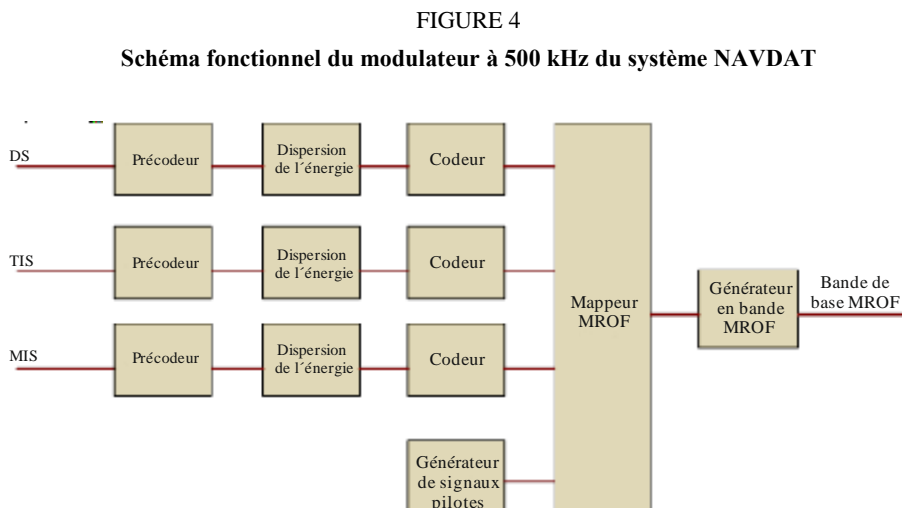
- fichiers de messages émanant du système SIM;
- signal GNSS ou d'horloge de référence pour la synchronisation;
- signal à 500 kHz émanant du récepteur de contrôle;
- signaux de commande et suivi du modulateur, du générateur de signal RF à 500 kHz et de l'amplificateur de puissance RF.

Le contrôleur a pour fonction:

- de vérifier si la bande de fréquences 495-505 kHz est libre avant toute transmission;
- de synchroniser tous les signaux au niveau de la station côtière en utilisant une horloge de synchronisation;
- de commander les paramètres, l'heure et le programme des transmissions;
- de formater les fichiers de messages à transmettre (subdiviser les fichiers en paquets).

1.3.3 Modulateur

La Figure 4 montre le schéma du modulateur.



M 2010-0

1.3.3.1 Flux d'entrée

Pour pouvoir fonctionner, le modulateur a besoin de trois flux d'entrée:

- flux d'informations de modulation (MIS);
- flux d'informations de l'émetteur (TIS);
- flux de données (DS).

Ces flux sont transcodés puis placés sur le signal MROF par le mappeur de cellules.

1.3.3.1.1 Flux d'informations de modulation

Ce flux permet de fournir des informations sur:

- l'occupation du spectre;
- la modulation pour le flux d'informations de l'émetteur et le flux de données (MAQ-4, -16 ou -64).

Ce flux MIS est toujours codé sur des sous-porteuses MAQ-4 pour assurer une bonne démodulation dans le récepteur.

1.3.3.1.2 Flux d'informations de l'émetteur

Ce flux permet de fournir au récepteur des informations sur:

- le codage avec correction d'erreurs pour le flux de données (devrait être différent pour la propagation par l'onde de surface le jour et pour la propagation par l'onde ionosphérique la nuit),
- l'identification de l'émetteur,
- la date et l'heure.

Pour le codage de ce flux TIS, on peut utiliser la MAQ-4 ou -16.

1.3.3.1.3 Flux de données

Il contient les fichiers de messages à transmettre (ces fichiers de messages ont été préalablement formatés par le multiplexeur de fichiers).

1.3.3.2 Codage avec correction d'erreurs

Le système de correction d'erreurs détermine la robustesse du codage. Le rendement de codage, qui est le rapport entre le débit de données utile et le débit de données brut, correspond à l'efficacité de la transmission et peut varier entre 0,5 et 0,75 en fonction du système de correction d'erreurs et du système de modulation.

1.3.3.3 Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence

Les trois flux (MIS, TIS et DS) sont formatés:

- codage;
- dispersion de l'énergie.

Un mappeur de cellules organise les cellules MROF avec les flux formatés et les cellules pilotes. Les cellules pilotes sont transmises au récepteur afin qu'il puisse estimer le canal radioélectrique et se synchroniser sur le signal RF.

Un générateur de signaux MROF crée la bande de base MROF en fonction de la sortie du mappeur de cellules.

1.3.4 Générateur de signal RF fonctionnant à 500 kHz

Le générateur de signal RF fonctionnant à 500 kHz transpose le signal en bande de base de la porteuse de sortie RF à 500 kHz.

Un amplificateur fait passer le signal RF à la puissance voulue.

1.3.5 Amplificateur RF

Cet étage a pour fonction d'amplifier le signal à 500 kHz sortant du générateur pour qu'il atteigne le niveau nécessaire afin d'obtenir la couverture radio souhaitée.

La transmission MROF introduit un facteur de crête pour le signal RF. Ce facteur doit rester compris entre 7 et 10 dB à la sortie de l'amplificateur RF pour que le taux d'erreurs de modulation (MER) soit correct.

1.3.6 Antenne d'émission avec unité d'adaptation

L'amplificateur RF est relié à l'antenne d'émission via une unité d'adaptation de l'impédance.

1.3.7 Récepteur du système mondial de navigation par satellite et horloge de référence atomique de secours

L'horloge sert à synchroniser le contrôleur local et à configurer une horloge de référence de grande précision dans le cas d'un fonctionnement en mode SFN.

1.3.8 Récepteur de contrôle

Le récepteur de contrôle vérifie que la bande de fréquences 495-505 kHz est libre avant toute transmission et offre la possibilité de vérifier la transmission. Il est recommandé d'utiliser un récepteur de contrôle distant pour contrôler la qualité de la réception du signal local.

1.4 Canal de transmission: estimation de la couverture radio

La couverture pourrait être calculée sur la base de la version la plus récente des Recommandations UIT-R P.368 et UIT-R P.372. Voir le Rapport UIT-R M.2201 à titre d'exemple.

Annexe 3

Caractéristiques techniques du système NAVDAT

1 Principe de modulation

Le système utilise le multiplexage MROF, qui est une technique de modulation utilisée pour les transmissions numériques.

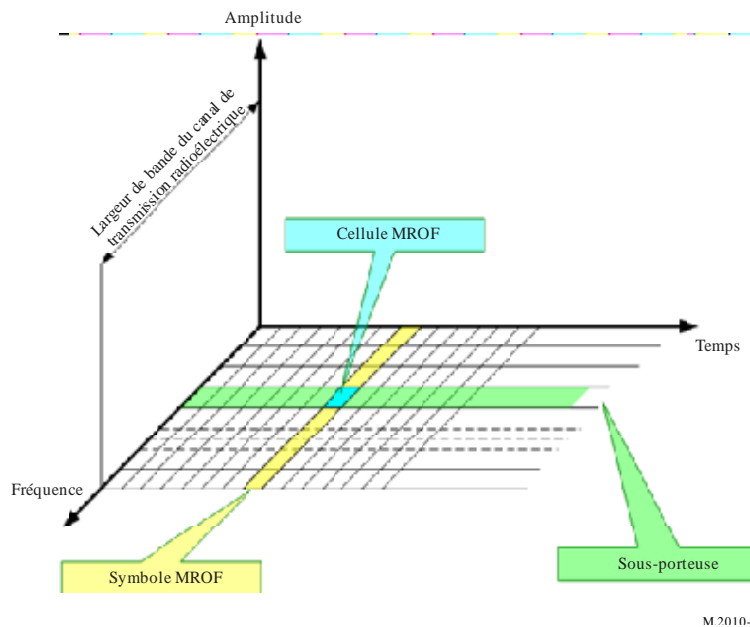
1.1 Introduction

La largeur de bande du canal de transmission radio est divisée dans le domaine des fréquences afin d'obtenir des sous-porteuses.

L'occupation du canal de transmission est organisée dans le temps de façon à former des symboles MROF.

Une cellule MROF est équivalente à une sous-porteuse à l'intérieur d'un symbole MROF.

FIGURE 5
Introduction au multiplexage MROF



1.2 Principe

Le multiplexage MROF utilise un grand nombre de sous-porteuses orthogonales rapprochées (41,66 Hz), le but étant d'obtenir une bonne efficacité d'utilisation du spectre pour l'émission des données. Les sous-porteuses sont espacées en fréquence de la valeur ($F_u = 1/T_u$), où T_u correspond à la durée d'un symbole MROF.

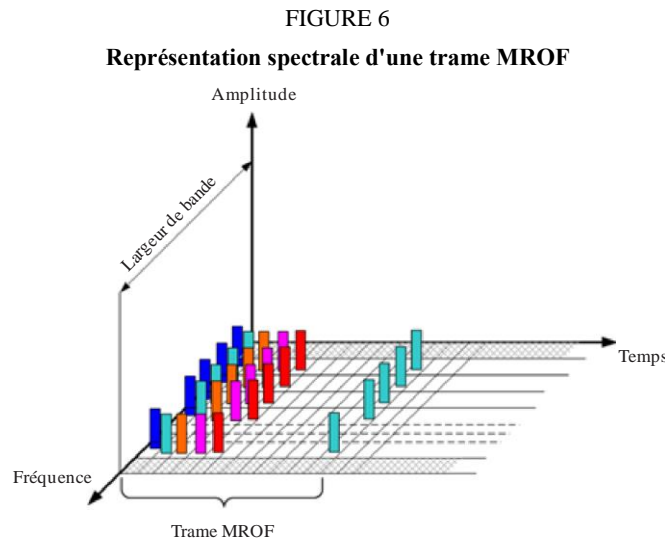
Les phases des sous-porteuses sont orthogonales l'une par rapport à l'autre pour améliorer la diversité du signal soumis à la propagation par trajets multiples, notamment sur les longues distances.

Pour réduire les effets des trajets multiples, un intervalle de garde (T_d) est inséré dans le symbole MROF, ce qui permet de réduire les brouillages intersymboles.

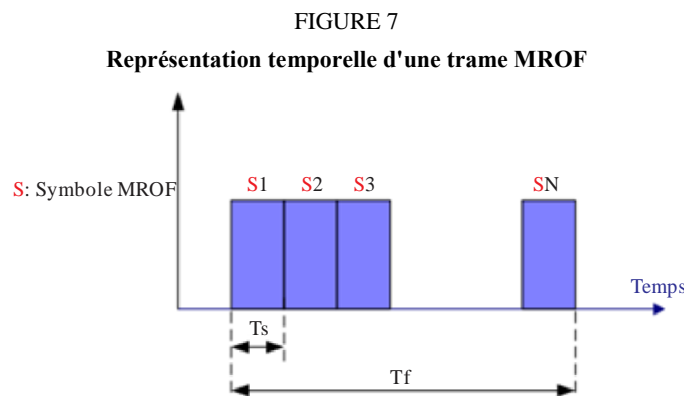
La durée d'un symbole MROF est égale à $T_s = T_u + T_d$.

Les symboles MROF sont ensuite concaténés pour former une trame MROF.

La durée d'une trame MROF est égale à T_f .



M.2010-06



M.2010-07

1.3 Paramètres du multiplexage par répartition orthogonale de fréquence

Les valeurs des paramètres MROF sont indiquées dans le Tableau 1.

TABLEAU 1

Valeurs des paramètres du multiplexage par répartition orthogonale de fréquence

T_u	$1/T_u$	T_d	$T_s = T_u + T_d$	N_s	T_f
24 ms	$41^{2/3}$ Hz	2,66 ms	26,66 ms	15	400 ms

T_u : durée de la partie utile d'un symbole MROF

$1/T_u$: espacement entre les porteuses

T_d : durée de l'intervalle de garde

T_s : durée d'un symbole MROF

N_s : nombre de symboles par trame

T_f : durée de la trame de transmission.

1.4 Largeur de bande de canal

La diffusion numérique du système NAVDAT définit différentes largeurs de bande de canal et détermine le nombre de sous-porteuses pour les différents taux d'occupation du spectre. Le Tableau 2 indique la valeur de la largeur de bande de canal et le nombre de sous-porteuses.

TABLEAU 2
Relation entre la largeur de bande de canal et le nombre de sous-porteuses pour le multiplexage par répartition orthogonale de fréquence

	Occupation du spectre			
	1	2	3	4
Largeur de bande de canal (kHz)	1	3	5	10
Nombre de sous-porteuses	23	69	115	229
Numéro des sous-porteuses k	k = -11 à 11	k = -34 à 34	k = -57 à 57	k = -114 à 114

1.5 Modulation

Chaque sous-porteuse est modulée en amplitude et en phase (MAQ, modulation d'amplitude en quadrature).

Le schéma de modulation peut être à 64 états (6 bits, MAQ-64), à 16 états (4 bits, MAQ-16) ou à 4 états (2 bits, MAQ-4).

Le schéma de modulation dépend de la robustesse de signal que l'on souhaite atteindre.

FIGURE 8
Diagramme de constellation pour la modulation MAQ-4

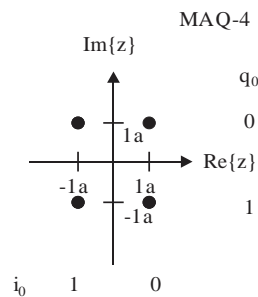
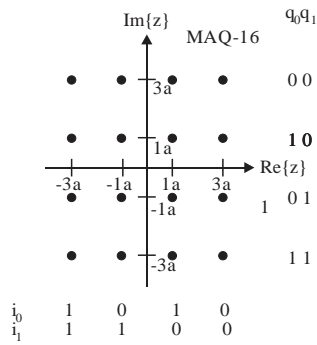
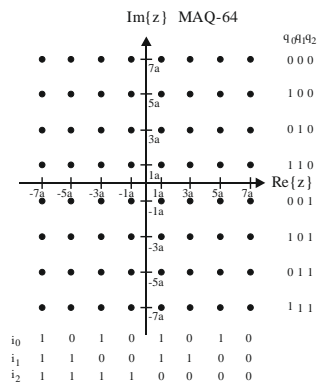


FIGURE 9
Diagramme de constellation pour la modulation MAQ-16



M 2010-09

FIGURE 10
Diagramme de constellation pour la modulation MAQ-64



M 2010-11

1.6 Synchronisation

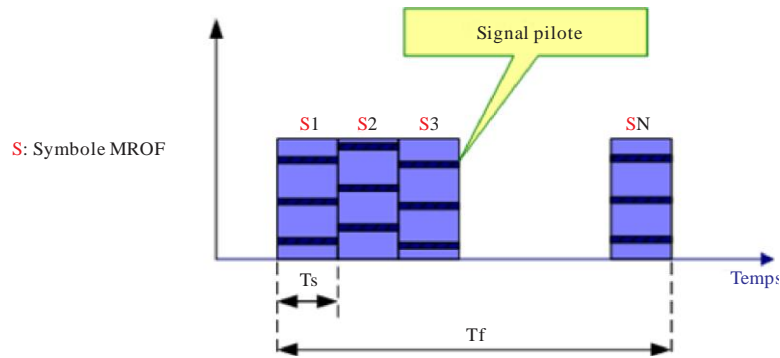
Pour permettre une bonne démodulation de chaque sous-porteuse, la réponse dans le canal de transmission doit être déterminée pour chaque sous-porteuse et une égalisation devrait être appliquée. Certaines des sous-porteuses des symboles MROF peuvent transporter des signaux pilotes.

Les signaux pilotes permettent au récepteur:

- de détecter la réception d'un signal;
- d'estimer le décalage de fréquence;
- d'évaluer le canal de transmission radioélectrique.

Le nombre de signaux pilotes dépend de la robustesse de signal que l'on souhaite atteindre.

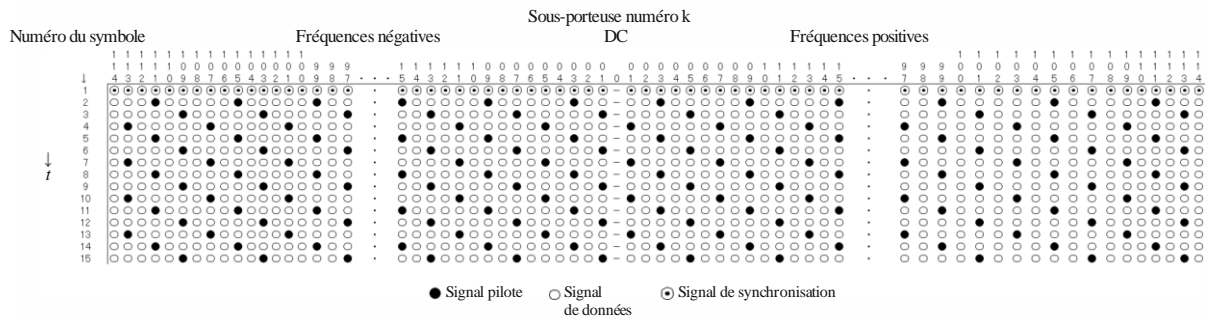
FIGURE 11
Signal pilote MROF



M.2010-11

L'emplacement du signal pilote dans chaque symbole MROF d'une trame peut être illustré comme suit:

FIGURE 12
Emplacement du signal pilote



M.2010-12

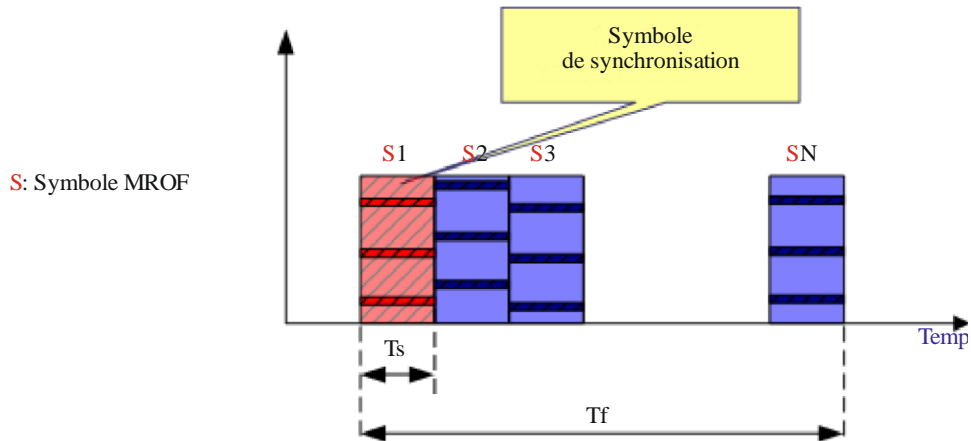
Où t est l'axe du domaine temporel et f celui de la fréquence. Le premier symbole de chaque trame MROF doit être constitué d'une séquence de signaux de synchronisation formant l'en-tête de synchronisation (voir le Tableau 7), servant tous de référence temporelle pour permettre la synchronisation du récepteur. Les cellules noires et les cellules blanches représentent respectivement les signaux pilotes et les signaux de données. La valeur des signaux pilotes, qui sont modulés en MAQ-2 (MDP-2) dans un symbole MROF, est indiquée dans le Tableau 3.

TABLEAU 3
Séquence pilote

Nombre de sous-porteuses	Séquence pilote
229	-1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1
115	-1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 1
69	-1 1 -1 1 -1 1 1
23	-1 1 -1

Dans le premier symbole de chaque trame MROF, on utilise des sous-porteuses comme référence de temps pour assurer la synchronisation du récepteur.

FIGURE 13
Symbole de synchronisation



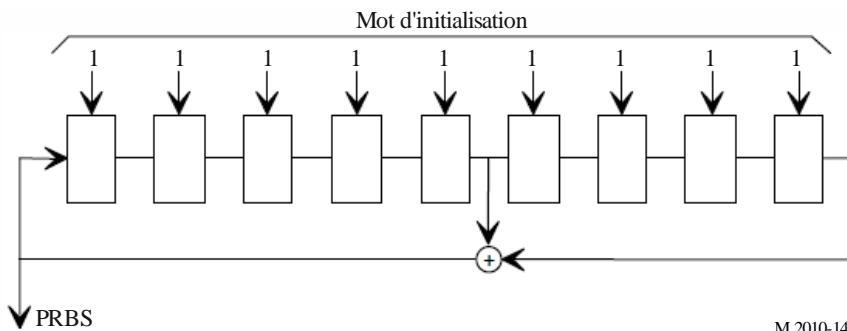
M.2010-13

1.7 Dispersion d'énergie

La dispersion d'énergie vise à éviter que la transmission de structures de signaux n'aboutisse à une uniformité non désirée. Les entrées de chacun des embrouilleurs à dispersion d'énergie doivent être embrouillées modulo 2 avec une séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS), en amont du codage de canal. La séquence PRBS est définie comme la sortie du registre à décalage avec réinjection de la Fig. 14. Il convient d'utiliser un polynôme de degré 9, défini comme suit:

$$P(X) = X^9 + X^5 + 1$$

FIGURE 14
Générateur de séquence binaire pseudo-aléatoire

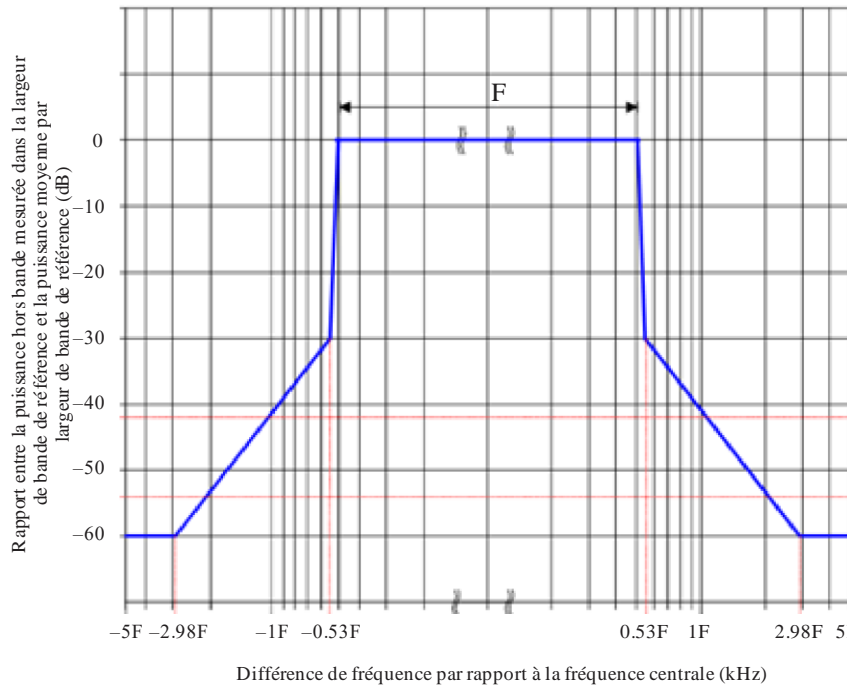


M.2010-14

1.8 Occupation spectrale du signal RF

FIGURE 15

Occupation spectrale du signal RF NAVDAT avec une largeur de bande $F = 10$ kHz



M.2010-15

2 Débit de données utilisable estimé

Dans une largeur de bande de canal de 10 kHz avec une propagation à 500 kHz, le débit de données brut disponible pour le flux DS est généralement proche de 25 kbit/s avec un signal MAQ-16.

On peut faire varier le nombre de sous-porteuses sur lesquelles les données sont modulées afin d'ajuster la protection des canaux. Plus la protection des canaux sera élevée (protection contre la propagation par trajets multiples, les évanouissements, les retards, etc.), moins les sous-porteuses utiles seront nombreuses.

Le codage avec correction d'erreurs doit ensuite être appliqué au débit de données brut pour obtenir le débit de données utile. Avec un rendement de codage compris entre 0,5 et 0,75, le débit de données utile est alors compris entre 12 et 19 kbit/s.

Avec un rendement de codage plus élevé, le débit de données utile est plus élevé mais la couverture radio est réduite.

Le débit de données utile en fonction des différentes modulations et des différents rendements de codage est indiqué dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 4
Débit de données

Mode	Modulation (MAQ-n)	Rendement de codage	Débit de données estimé (kbit/s)
0	MAQ-4	0,5	6,36
1	MAQ-4	0,75	9,56
2	MAQ-16	0,5	12,76
3	MAQ-16	0,75	19,16
4	MAQ-64	0,5	19,16
5	MAQ-64	0,75	28,76

3 Spécifications de performance de l'émetteur NAVDAT

TABLEAU 5
Spécifications de performance minimales de l'émetteur NAVDAT

Paramètres	Résultats requis
Bande de fréquences	495 à 505 kHz
Erreur relative à la fréquence de la porteuse	$\pm 2,5$ Hz par rapport à la fréquence nominale
Gabarit spectral	Conforme aux exigences de la Fig. 15
Affaiblissement d'intermodulation de troisième ordre de l'émetteur	≥ 40 dBc
Rayonnements non essentiels de l'émetteur (toutes gammes de puissance)	-50 dB sans dépasser le niveau absolu de 50 mW (17 dBm)

4 Récepteur de navire NAVDAT

4.1 Description du récepteur de navire NAVDAT

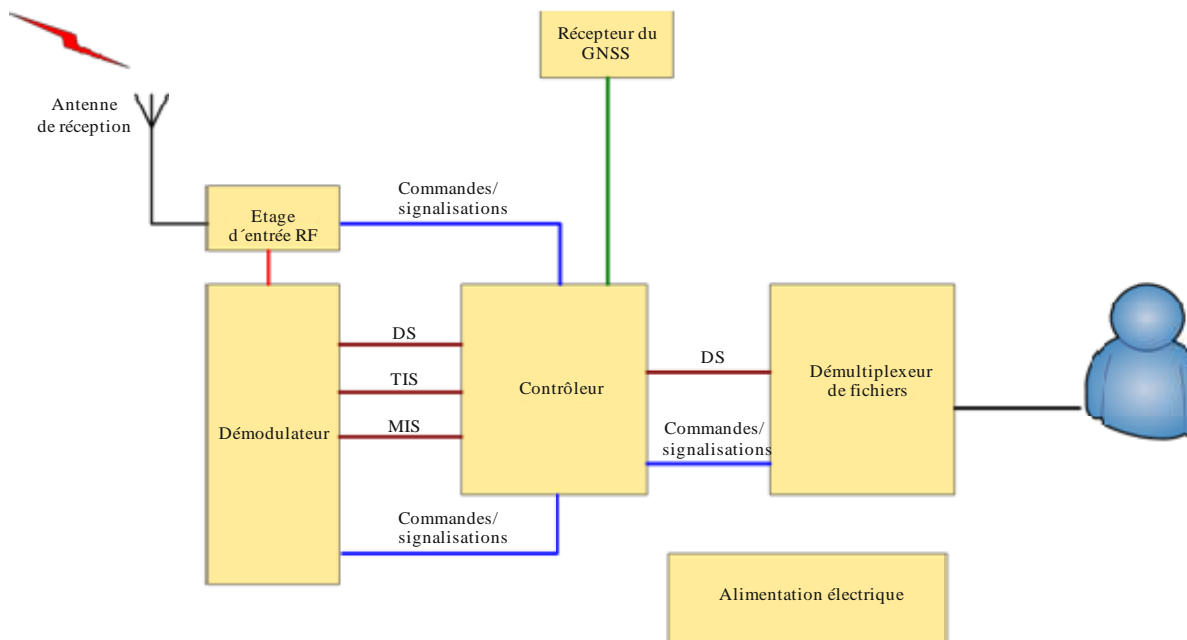
Le schéma du récepteur de navire est représenté à la Fig. 16.

Un récepteur numérique type NAVDAT 500 kHz est composé de plusieurs blocs de base:

- antenne de réception en ondes hectométriques et antenne GNSS facultative;
- étage d'entrée RF;
- démodulateur;
- démultiplexeur de fichiers;
- contrôleur;
- élément de commande et d'affichage (CDU);
- interface de données;
- alimentation électrique.

Le récepteur de navire NAVDAT peut recevoir et décoder le canal en ondes hectométriques principal et le canal en ondes décamétriques principal simultanément au moyen de deux sous-récepteurs complets. Le premier sous-récepteur écoute en permanence à 500 kHz. Le second surveille à 4 226 kHz. Si aucune réception n'est constatée à cette fréquence, le sous-récepteur explorera les 6 canaux en ondes décamétriques, pendant une durée de 500 ms par canal. La conception de ce second récepteur permet la réception et le décodage de futurs émetteurs régionaux ou locaux éventuels utilisant les canaux en ondes hectométriques ou décamétriques.

FIGURE 16
Schéma logique du récepteur NAVDAT



M 2010

4.1.1 Antenne de réception et antenne du système mondial de navigation par satellite

L'antenne de réception à 500 kHz peut être une antenne de champ H (recommandée sur un navire bruyant) ou une antenne de champ E. À titre d'option, le récepteur de navire NAVDAT peut aussi recevoir des canaux NAVDAT en ondes décamétriques. Dans ce cas, le système d'antenne de réception aura une bande allant de 300 kHz à 25 MHz.

Une antenne GNSS (ou une connexion avec le récepteur GNSS de navire existant) est également nécessaire pour pouvoir obtenir la position du navire.

4.1.2 Étage d'entrée RF

Ce bloc comprend un filtre RF, un amplificateur RF et une sortie en bande de base.

Une sensibilité élevée et une grande plage dynamique sont nécessaires.

4.1.3 Démodulateur

Cet étage démodule le signal MROF en bande de base et recrée le flux de données contenant les fichiers de messages transmis.

Il assure:

- la synchronisation temporelle/fréquentielle;
- l'estimation du canal;
- la récupération automatique de la modulation;
- la correction des erreurs.

Le récepteur NAVDAT devrait pouvoir détecter automatiquement les paramètres de modulation suivants:

- la modulation MAQ-16 ou -64;
- le système de sous-porteuses;
- le type de codage avec correction d'erreurs.

Outre le flux de données, il communique les informations contenues dans les flux TIS et MIS. Il communique aussi des informations complémentaires au sujet du canal telles que:

- le rapport SNR estimé;
- le taux BER;
- le taux MER.

4.1.4 Démultiplexeur de fichiers

Le démultiplexeur de fichiers:

- reçoit les fichiers de messages émanant du contrôleur;
- vérifie que les fichiers de messages sont marqués à son intention (type de mode de diffusion);
- déchiffre les fichiers de messages si nécessaire/possible;
- met les fichiers de messages à la disposition de l'application terminale qui les utilisera;
- supprime les fichiers de messages obsolètes.

En fonction de l'application finale, le fichier de messages peut être:

- stocké dans un serveur embarqué accessible via le réseau du navire;
- affiché directement sur l'élément CDU du récepteur;
- envoyé directement à l'application finale.

4.1.5 Contrôleur

Le contrôleur:

- extrait les fichiers de messages du flux de données (il fusionne les paquets pour obtenir des fichiers);
- interprète les flux TIS et MIS et les autres informations fournies par le démodulateur;
- collecte les informations suivantes émanant du démultiplexeur de fichiers:
 - nombre total de fichiers de messages décodés;
 - nombre de fichiers de messages disponibles;
 - événement d'erreur (par exemple erreurs de déchiffrement).

4.1.6 Élément de commande et d'affichage

Le récepteur peut fournir un élément de commande et d'affichage, dont les fonctions sont les suivantes:

- afficher les informations spéciales, configurer l'interface pour qu'elle soit connectée à une application d'équipement dédiée (par exemple navigation électronique) et gérer le contenu du navire faisant l'objet d'une licence (par exemple identification du navire, chiffrement);

- afficher et vérifier les paramètres de réception;
- afficher le contenu des messages en fonction de la catégorie de l'application correspondant au fichier de messages.

Cet élément CDU peut être une application spéciale exécutée sur un ordinateur externe et le récepteur peut être une boîte noire.

4.1.7 Interface de données

Le récepteur reçoit les données provenant de dispositifs externes tels qu'un système GNSS à travers l'interface de données. Le contrôleur classe les fichiers de messages en fonction de l'application dont ils relèvent et transmet les fichiers de messages aux dispositifs concernés à travers l'interface de données.

L'équipement doit fournir une interface de données conforme aux exigences de la série de normes CEI 61162. Il est souhaitable qu'il fournisse des interfaces Ethernet et USB pour les transmissions de fichiers à haut débit, de même qu'une interface d'impression.

4.1.8 Alimentation électrique

L'alimentation électrique doit être adaptée à l'alimentation électrique du navire.

5 Spécifications de performance minimales des récepteurs de navire NAVDAT

On part du principe que les spécifications des récepteurs de navire sont les suivantes, l'objectif étant d'obtenir une valeur minimale du rapport SNR pour permettre une démodulation MROF correcte (MAQ-4, MAQ-16 ou MAQ-64).

TABLEAU 6

Spécifications de performance des récepteurs de navire NAVDAT

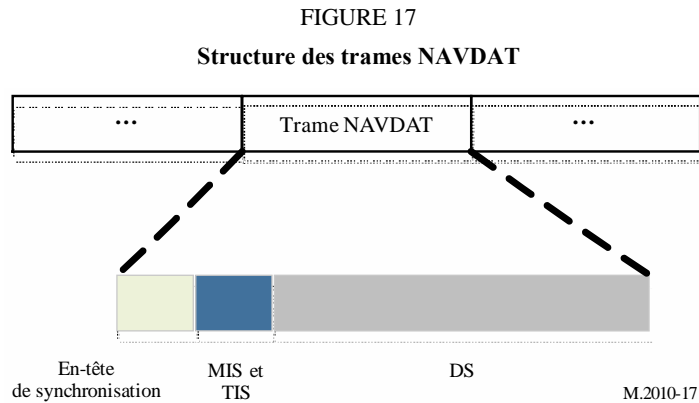
Paramètres	Exigences
Bande de fréquences	Bande maritime entre 495 et 505 kHz
Protection vis-à-vis des canaux adjacents	> 40 dB à 5 kHz
Facteur de bruit	< 20 dB
Sensibilité utilisable pour un taux d'erreurs sur les bits (BER) de 10^{-4} après correction des erreurs	< -100 dBm
Dynamique	> 80 dB
Champ RF minimal utilisable (avec une antenne de réception adaptée)	25 dB(μ V/m)

Annexe 4

Structure de transmission

1 Structure des trames

La structure des trames NAVDAT contient l'en-tête de synchronisation (le premier symbole), le flux MIS, le flux TIS et le flux DS (flux de données), selon la configuration suivante:



2 En-tête de synchronisation

L'en-tête de synchronisation est le premier symbole MROF de chaque trame, qui permet au récepteur de se synchroniser. Les informations relatives à chaque sous-porteuse sont indiquées dans le Tableau 7.

TABLEAU 7
Séquence d'en-tête de synchronisation

Nombre de sous-porteuses	Séquence d'en-tête de synchronisation
229	-1 1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 1 1 1 1 1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 1 1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 -1 1 1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 1 -1 1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1
115	1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 1 1 -1
69	1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 -1 1 1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1
23	1 -1 1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 0 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 -1 1

3 Flux d'informations de modulation

3.1 Structure

Le flux MIS est utilisé pour fournir les informations concernant l'occupation du spectre du canal ainsi que la modulation des flux TIS et DS:

- information sur l'occupation du spectre 2 bits;
- information sur la modulation du flux TIS 1 bit;
- information sur la modulation du flux DS 2 bits;
- bit de bourrage 1 bit (=0);
- contrôle de redondance cyclique (CRC) 8 bits.

TABLEAU 8

Information sur l'occupation du spectre

Valeurs des bits	Occupation du spectre (kHz)
00	1
01	3
10	5
11	10

TABLEAU 9

Information sur la modulation du flux d'informations de l'émetteur

Valeurs du bit	Modulation
0	MAQ-4
1	MAQ-16

TABLEAU 10

Information sur la modulation du flux de données

Valeurs des bits	Modulation
00	MAQ-4
01	MAQ-16
10	MAQ-64

3.2 Codage

Le flux MIS est codé par le codage RS(4,2) du champ GF(128), dont le polynôme générateur est $p(x) = x^7 + x^3 + 1$.

4 Flux d'informations de l'émetteur

4.1 Structure

Le flux TIS est utilisé pour fournir les informations concernant le codage du flux DS, l'émetteur ainsi que les informations temporelles pour le récepteur:

- codage avec correction d'erreurs du flux DS 5 bits;
- identifiant de l'émetteur 30 bits;
- date et heure 17 bits;
- réservé 23 bits (par défaut: 0);
- contrôle CRC 8 bits.

TABLEAU 11
Codage du flux de données

Valeurs des bits	Mode de transmission		
	Occupation du spectre (kHz)	Rendement de codage	Modulation
00000	1	0,5	MAQ-4
00001	1	0,75	MAQ-4
00010	1	0,5	MAQ-16
00011	1	0,75	MAQ-16
00100	1	0,5	MAQ-64
00101	1	0,75	MAQ-64
01000	3	0,5	MAQ-4
01001	3	0,75	MAQ-4
01010	3	0,5	MAQ-16
01011	3	0,75	MAQ-16
01100	3	0,5	MAQ-64
01101	3	0,75	MAQ-64
10000	5	0,5	MAQ-4
10001	5	0,75	MAQ-4
10010	5	0,5	MAQ-16
10011	5	0,75	MAQ-16
10100	5	0,5	MAQ-64
10101	5	0,75	MAQ-64
11000	10	0,5	MAQ-4
11001	10	0,75	MAQ-4
11010	10	0,5	MAQ-16
11011	10	0,75	MAQ-16
11100	10	0,5	MAQ-64
11101	10	0,75	MAQ-64

TABLEAU 12

Identifiant de l'émetteur

Codage	Identifiant de l'émetteur
D ₁ D ₂ D ₃ D ₄ D ₅ D ₆ D ₇ D ₈ D ₉ D ₁₀	10 codes alphanumériques

TABLEAU 13

Informations temporelles

Paramètre	Nombre de bits	Description
Heure de début UTC	5	Heure
Minute de début UTC	6	Minute
Durée de la diffusion	6	0-59 minutes

4.2 Codage

Le flux TIS est codé par le codage RS(29,9) du champ GF(128), dont le polynôme générateur est $p(x) = x^7 + x^3 + 1$.

5 Flux de données**5.1 Structure**

En général, le flux de données est constitué d'informations qui prennent la forme soit d'un texte, soit de fichiers. Une transmission de paquets généralisée permet de transmettre des informations sous forme de texte ou de fichiers en provenance de divers services au sein du même flux de données. De plus, les services peuvent être acheminés grâce à une série de paquets uniques.

La structure d'un paquet est la suivante:

- en-tête 32 bits
- champ de données n octets
- contrôle CRC 16 bits.

L'en-tête est constitué des éléments suivants:

- longueur des données 12 bits
- bit de bascule 1 bit
- premier fanion 1 bit
- dernier fanion 1 bit
- identifiant du paquet 10 bits
- indicateur de paquet de bourrage 1 bit
- réservé 6 bits.

Longueur des données: séquence de 12 bits indiquant la longueur en octets d'un paquet.

Bit de bascule: bit devant être maintenu dans le même état tant que les paquets transmis correspondent à un même message textuel ou à un même fichier. Lorsqu'un paquet d'un message textuel ou d'un fichier différent est envoyé pour la première fois, ce bit doit être inversé par rapport à

son état précédent. Lors de la transmission d'un message textuel ou d'un fichier, pouvant être constitué de plusieurs paquets, ce bit demeure inchangé.

Premier fanion, dernier fanion: fanions utilisés pour identifier des paquets particuliers au sein d'une succession de paquets. Ces fanions sont attribués comme suit:

TABLEAU 14

Codage du premier fanion et du dernier fanion

Premier fanion	Dernier fanion	Nature du paquet
0	0	Paquet intermédiaire
0	1	Dernier paquet d'une unité de données
1	0	Premier paquet d'une unité de données
1	1	Unique paquet d'une unité de données

Identifiant du paquet: champ de 8 bits indiquant l'identifiant du paquet.

Indicateur de paquet de bourrage: fanion d'un bit indiquant si le champ de données comporte un bourrage. Il est défini comme suit:

0: absence de bourrage: tous les octets de données du champ de données sont utiles;

1: présence de bourrage: les deux premiers octets indiquent le nombre d'octets de données utiles dans le champ de données.

Réservés: champ de 6 bits réservé en vue d'une utilisation future.

Champ de données: champ contenant les données utiles destinées à un service particulier. Il peut s'agir d'informations sous forme de texte ou de fichier.

Contrôle CRC: séquence de 16 bits devant être calculés sur l'en-tête et le champ de données.

5.2 Codage

Le flux de données NAVDAT est codé par contrôle de parité à faible densité (LDPC) et différents paramètres de codage seront utilisés pour les différents modes (voir Tableau 11). Le Tableau suivant indique les paramètres LDPC pour le mode à 10 kHz.

TABLEAU 15

Paramètres LDPC du flux de données

Modulation	Rendement de codage	Paramètres LDPC
MAQ-4	0,5	LDPC (2560,512)
MAQ-4	0,75	LDPC (3840,5120)
MAQ-16	0,5	LDPC (2560,5120) × 2
MAQ-16	0,75	LDPC (3840,5120) × 2
MAQ-64	0,5	LDPC (2560,5120) × 3
MAQ-64	0,75	LDPC (3840,5120) × 3

7 **Contrôle de redondance cyclique**

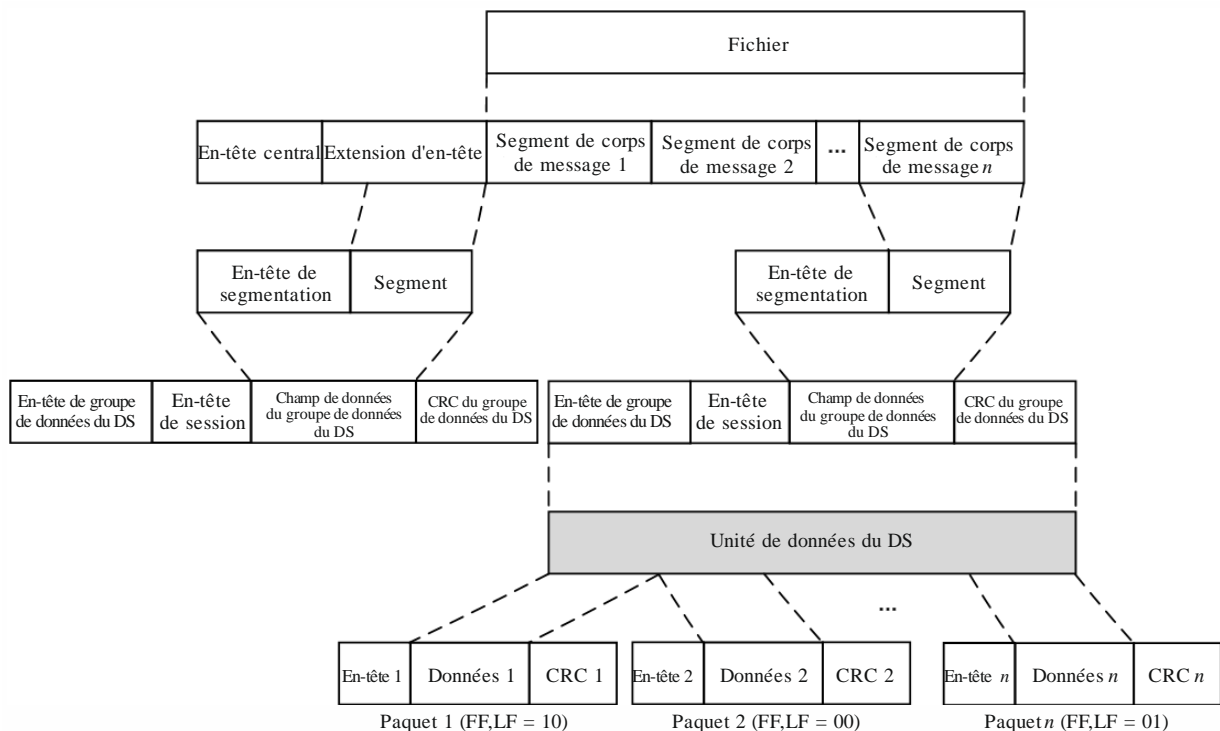
Pour la détection d'erreur sur les bits dans le flux DS, il convient de calculer le contrôle de redondance cyclique à 16 bits à la fin de chaque flux DS, avec comme polynôme générateur $G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$. Pour le flux MIS et le flux TIS, il convient de calculer le contrôle de redondance cyclique à 8 bits, avec comme polynôme générateur $G_8(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$.

Annexe 5

Structure du fichier de messages

La Figure 18 illustre la façon dont un groupe de données est construit pour un fichier de messages. La première étape consiste à créer un en-tête visant à décrire le corps du message (un fichier de messages). Cet en-tête contient les données de gestion du fichier. Puis, l'en-tête et le corps du message sont divisés en segments de même taille (seul le dernier segment de chaque élément peut être de taille inférieure). Un en-tête de segment est joint à chaque segment et chaque segment est mappé sur un groupe de données. Ensuite, chaque groupe de données, accompagné de son en-tête, est mappé directement sur une unité de données. L'unité de données est divisée en paquets pour le transport. «FF» et «LF» représentent l'état du «premier fanion» (*first flag*) et du «dernier fanion» (*last flag*) de chaque paquet.

FIGURE 18
Structure du fichier de messages



Annexe 6

Mode réseau monofréquence du système Digital Radio Mondiale

1 Le système Digital Radio Mondiale

Le système de radiodiffusion numérique international DRM est utilisé pour la radiodiffusion numérique en ondes hectométriques et décamétriques. Le système DRM est basé sur une technologie éprouvée qui permet d'assurer une couverture supérieure, d'améliorer la fidélité du signal (grâce à un codage numérique avec correction des erreurs), d'éliminer les brouillages dus à la propagation par trajets multiples (y compris le brouillage dû à l'onde ionosphérique) et, par conséquent, d'offrir une couverture plus étendue pour les signaux se propageant par l'onde ionosphérique. Les émissions DRM utilisent l'un des deux modes de modulation MAQ-16 et MAQ-64, en fonction de la couverture requise, de l'emplacement de l'émetteur, de la puissance et de la hauteur de l'antenne.

1.1 Fonctionnement en mode réseau monofréquence

Le système est capable de fonctionner en mode SFN, autrement dit plusieurs émetteurs émettent sur la même fréquence, et en même temps, des signaux de données identiques. En règle générale, ces émetteurs sont disposés de manière à avoir des zones de couverture qui se chevauchent, à l'intérieur desquelles une radio recevra des signaux provenant de plusieurs émetteurs. Sous réserve que la différence entre les temps d'arrivée de ces signaux soit inférieure à l'intervalle de garde, il en résultera un renforcement positif du signal. La couverture du service sera donc améliorée à l'endroit considéré par rapport à celle qui serait obtenue si un seul émetteur assurait le service à cet endroit. Par une conception minutieuse et l'utilisation de plusieurs émetteurs dans un réseau SFN, une région ou un pays peut être couvert entièrement en utilisant une seule fréquence, et pour cette application, un seul intervalle de temps, ce qui permet d'améliorer considérablement l'efficacité d'utilisation du spectre et de libérer des intervalles de diffusion.
