

RECOMMANDATION UIT-R BS.1114-6

Systèmes de radiodiffusion sonore numérique de Terre à destination de récepteurs fixes, portatifs ou placés à bord de véhicules fonctionnant dans la gamme de fréquences 30-3 000 MHz

(Question UIT-R 56/6)

(1994-1995-2001-2002-2003-2004-2007)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que, dans le monde entier, la radiodiffusion sonore numérique de Terre à destination de récepteurs placés à bord de véhicules et de récepteurs portatifs ou fixes fonctionnant dans la gamme de fréquences 30-3 000 MHz et assurant une couverture nationale, régionale ou locale, suscite un intérêt croissant;
- b) que l'UIT-R a déjà adopté des Recommandations qui indiquent les spécifications de systèmes de radiodiffusion sonore numérique de Terre (UIT-R BS.774) et par satellite (UIT-R BO.789) à destination de récepteurs placés à bord de véhicules et de récepteurs portatifs ou fixes;
- c) que les Recommandations UIT-R BS.774 et UIT-R BO.789 font état des avantages liés à une utilisation conjointe de systèmes de Terre et de systèmes à satellites et préconisent l'adoption d'un système de radiodiffusion sonore numérique permettant d'utiliser un récepteur commun doté de circuits à intégration à très grande échelle (VLSI, *very large scale integration*) communs et de fabriquer ainsi des récepteurs bon marché en grande série;
- d) que le Système numérique A, décrit en Annexe 2, est parfaitement conforme aux Recommandations UIT-R BS.774 et UIT-R BO.789 et qu'il a été testé en conditions réelles et présenté dans diverses bandes de fréquences comprises entre 200 MHz et 1 500 MHz dans un certain nombre de pays;
- e) que le Système numérique F, décrit en Annexe 3, est conforme à la Recommandation UIT-R BS.774 et qu'il a été testé en conditions réelles et présenté dans les bandes 188-192 MHz et 2 535-2 655 MHz dans plusieurs pays;
- f) que le Système numérique C, décrit en Annexe 4, est conforme à la Recommandation UIT-R BS.774 et qu'il a été testé en conditions réelles et présenté dans la bande 88-108 MHz;
- g) qu'à la 7^{ème} Conférence mondiale des Unions de radiodiffusion (México, 27-30 avril 1992), les Unions de radiodiffusion ont décidé à l'unanimité:
 - «1 qu'il fallait s'efforcer de parvenir à une norme mondiale unique pour la RAN, et
 - 2 que les administrations sont instamment priées d'examiner les avantages pour le consommateur d'un codage commun de source et de canal ainsi que la mise en œuvre de la radiodiffusion sonore numérique à 1,5 GHz à l'échelle mondiale;»

- h) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a attribué la bande de fréquences 1 452-1 492 MHz au service de radiodiffusion sonore par satellite (SRS) et au service de radiodiffusion de Terre complémentaire, pour la radiodiffusion sonore numérique. Des attributions supplémentaires ont par ailleurs été accordées à certains pays dans les bandes 2 310-2 360 MHz et 2 535-2 655 MHz au titre respectivement des numéros 750B et 757A (actuellement numéros 5.393 et 5.418) du Règlement des radiocommunications. En outre, la Résolution 527 (CAMR-92) traite de la radiodiffusion sonore numérique en ondes métriques;
- j) que le flux de transport MPEG-2 (TS, *transport stream*) est couramment utilisé comme conteneur d'informations codées numériques;
- k) qu'un processus de normalisation en Europe a conduit à adopter le Système numérique A (Eureka 147 comme norme ETSI ETS 300 401) pour le SRS et le service de radiodiffusion sonore à destination de récepteurs placés à bord de véhicules et de récepteurs portatifs ou fixes;
- l) qu'un processus de normalisation au Japon a conduit à adopter le Système numérique F de radiodiffusion numérique à intégration de services (RNIS) pour la radiodiffusion sonore numérique de Terre (RNIS-T_{SB}) à destination de récepteurs portatifs, fixes ou à bord de véhicules;
- m) que l'on peut utiliser les techniques de RNIS (radiodiffusion numérique à intégration de services) pour mettre en œuvre des services exploitant pleinement les avantages de la radiodiffusion numérique, et que la Recommandation UIT-R BT.1306 englobe le système RNIS-T pour la radiodiffusion télévisuelle numérique par voie hertzienne de Terre,

notant

- a) que les systèmes numériques sont brièvement présentés en Annexe 1;
- b) que des descriptions condensées des Systèmes numériques A, F et C sont reproduites dans les Annexes 2, 3 et 4, respectivement;
- b) que les descriptions complètes des Systèmes numériques A, F et C figurent dans le Manuel sur la radiodiffusion sonore numérique,

recommande

- 1** d'utiliser les Systèmes numériques A, F et/ou C, décrits dans les Annexes 2, 3 et 4 respectivement, pour les services de radiodiffusion sonore numérique de Terre à destination de récepteurs fixes, portatifs ou placés à bord de véhicules fonctionnant dans la gamme de fréquences 30-3 000 MHz;
- 2** que les administrations qui souhaitent mettre en œuvre des services de radiodiffusion sonore numérique de Terre conformes à certaines ou à toutes les prescriptions énoncées dans la Recommandation UIT-R BS.774, utilisent le Tableau 1 pour évaluer les avantages respectifs des Systèmes numériques A, F et C en vue des choix à faire.

TABLEAU 1

**Evaluation des performances des Systèmes numériques A, F et C sur la base
des caractéristiques techniques et d'exploitation préconisées
dans la Recommandation UIT-R BS.774**

Caractéristiques préconisées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique A	Système numérique F	Système numérique C
Qualité sonore et types de réception	<p>8 à 384 kbit/s par canal audio, par incréments de 8 kbit/s. Un décodeur audio MPEG-2 Couche II fonctionnant normalement à 192 kbit/s est intégré dans les récepteurs.</p> <p>Pour récepteurs fixes, portatifs ou à bord de véhicules.</p>	<p>La gamme s'étend de la «qualité téléphonique» à la «qualité CD». Capacité audio multicanal 5.1. Décodeur MPEG-2 de type AAC (<i>advanced audio coding</i>) fonctionnant généralement à 144 kbit/s pour la stéréophonie.</p> <p>Pour récepteurs fixes, portatifs ou à bord de véhicules.</p>	<p>48 à 96 kbit/s, avec utilisation du décodeur HD Codec⁽¹⁾.</p> <p>Pour récepteurs fixes, portatifs ou à bord de véhicules⁽²⁾.</p>
Efficacité spectrale supérieure à celle des systèmes à MF	<p>Possibilité d'obtenir une qualité équivalente à la stéréo à MF dans une largeur de bande inférieure à 200 kHz; protection requise contre le brouillage dans le même canal et dans les canaux adjacents très inférieure à celle d'un système à MF. L'efficacité spectrale est particulièrement grande lorsque les émetteurs réutilisent la même fréquence (modulation multiporteuse orthogonale avec code de correction d'erreur à convolution, multiplexage par répartition en fréquence orthogonale codée (MRFOC) avec codage convolutionnel avec correction des erreurs).</p>	<p>Possibilité d'obtenir une qualité équivalente à la stéréo à MF dans une largeur de bande inférieure à 200 kHz; protection requise contre le brouillage dans le même canal et dans les canaux adjacents très inférieure à celle d'un système à MF. L'efficacité est particulièrement élevée si les réémetteurs réutilisent la même fréquence. Efficacité accrue par l'emploi de la modulation d'amplitude en quadrature de porteuse (MAQ-16/MAQ-64) (multiplexage par répartition en fréquence orthogonale (MRFO) avec bloc concaténé et codage convolutionnel avec correction des erreurs).</p>	<p>Possibilité d'obtenir une qualité équivalente à la stéréo à MF et de transmettre des données sans spectre additionnel; protection requise contre le brouillage dans le même canal et dans les canaux adjacents très inférieure à celle d'un système à MF. Un entrelacement est prévu afin de réduire le brouillage dans le premier canal adjacent. Le système est plus robuste en présence de brouillage analogique ou numérique dans le même canal.</p>

TABLEAU 1 (*suite*)

Caractéristiques préconisées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique A	Système numérique F	Système numérique C
Performances en présence de trajets multiples et de zones d'ombre	Le système est spécialement conçu pour fonctionner en présence de trajets multiples. Il fonctionne par addition de la puissance des échos pendant un intervalle de temps donné. Ceci permet aux réémetteurs situés sur le canal de couvrir les zones d'ombre dues au terrain.	Le système est spécialement conçu pour fonctionner en présence de trajets multiples. Il fonctionne par addition de la puissance des échos pendant un intervalle de temps donné. Ceci permet aux réémetteurs situés sur le canal de couvrir les zones d'ombre dues au terrain.	Le système est spécialement conçu pour fonctionner en présence de trajets multiples. Il utilise la modulation MRFO, ce qui lui permet d'être très performant en présence de trajets multiples. Ceci permet aux réémetteurs situés sur le canal de couvrir les zones d'ombre dues au terrain.
Utilisation, dans les récepteurs, du même système de traitement du signal pour la radiodiffusion par satellite (S) et la radiodiffusion par voie hertzienne de Terre (T)	Non applicable. Radiodiffusion par voie hertzienne de Terre uniquement.	Non applicable. Radiodiffusion par voie hertzienne de Terre uniquement.	Non applicable. Radiodiffusion par voie hertzienne de Terre uniquement.
Reconfiguration et qualité en fonction du nombre de programmes	Le multiplexage des services est basé sur 64 sous-canaux d'une capacité allant de 8 kbit/s à environ 1 Mbit/s, selon le niveau de protection contre les erreurs, et est complètement reconfigurable, de façon dynamique. Chaque sous-canal peut en outre contenir un nombre illimité de canaux de paquets de données de capacité variable.	Le multiplexage des données de charge utile est fondé sur les systèmes MPEG-2. Le débit de données audio peut être fixé au niveau permettant d'obtenir le meilleur compromis entre la qualité audio des programmes et le nombre de services. Les paramètres de transmission tels que la modulation et la correction des erreurs peuvent être reconfigurés dynamiquement par la commande de configuration de transmission et de multiplexage (TMCC, <i>transmission and multiplexing configuration control</i>).	Les bits peuvent être réattribués dynamiquement pour les signaux audio ou les données grâce aux fonctionnalités de transport HDC, au choix du radiodiffuseur, entre 48 et 96 kbit/s pour les signaux audio, afin d'augmenter ou de diminuer le débit de données. Le récepteur est reconfiguré dynamiquement afin d'être adapté au mode de transmission.

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques préconisées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique A	Système numérique F	Système numérique C
Compromis étendu de la couverture/nombre de programmes	Cinq niveaux de protection pour les services audio et huit niveaux de protection pour les services de données grâce à l'utilisation d'un codage convolutionnel discontinu pour chacun des 64 sous-canaux (correction d'erreurs directe (CED) de 1/4 à 3/4).	Quatre types de modulation et cinq niveaux de protection sont possibles (modulation de porteuse: modulation par quadrature de phase différentielle (MDP-4D), MDP-4, MAQ-16, MAQ-64; taux de codage: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8).	Le système maintient une couverture uniforme pour tous les programmes. Il est possible que les porteuses secondaires aient une portée réduite en présence de brouillage dans les canaux adjacents (modulation de porteuse: MDP-4).
Même récepteur pour différents moyens de diffusion de programme – Diffusion par voie hertzienne de Terre	Permet de fournir des services locaux, sous-nationaux et nationaux par voie hertzienne de Terre avec une même modulation et un émetteur unique ou plusieurs émetteurs fonctionnant dans un réseau monofréquence pour pouvoir utiliser un récepteur commun.	Permet de fournir des services locaux, sous-nationaux et nationaux par voie hertzienne de Terre avec une même modulation et un émetteur unique ou plusieurs émetteurs fonctionnant dans un réseau monofréquence pour pouvoir utiliser un récepteur commun.	Le système utilise une antenne commune et un étage d'entrée compatible avec les services analogiques existants de radiodiffusion à MF. Il permet de fournir un service local ainsi que des services sous-nationaux et nationaux par voie hertzienne de Terre avec un émetteur unique ou plusieurs émetteurs fonctionnant dans un réseau monofréquence dans le cas de la partie numérique du mode hybride ou dans le cas du mode tout numérique. Il permet de diffuser par le même moyen des programmes modulés en fréquence qui passent de façon transparente du numérique à l'analogique et inversement.

TABLEAU 1 (*suite*)

Caractéristiques préconisées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique A	Système numérique F	Système numérique C
<p>Même récepteur pour différents moyens de diffusion de programme (<i>suite</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> – Exploitation mixte/hybride – Distribution par câble 	<p>Permet d'utiliser la même bande que pour la radiodiffusion sonore par voie hertzienne de Terre (mixte) ainsi que d'utiliser des réémetteurs sur le même canal de Terre pour améliorer la couverture du satellite (hybride), donc de recevoir de manière transparente tous ces canaux sur un récepteur commun.</p> <p>Le signal peut être acheminé de façon transparente sur le câble.</p>	<p>Permet d'utiliser la même bande que pour la radiodiffusion sonore par voie hertzienne de Terre (mixte) ainsi que d'utiliser des réémetteurs sur le même canal de Terre pour améliorer la couverture du satellite (hybride), donc de recevoir de manière transparente tous ces canaux sur un récepteur commun.</p> <p>Le signal peut être acheminé de façon transparente sur le câble.</p>	<p>Le signal peut être acheminé de façon transparente sur le câble.</p>
<p>Capacité d'insertion de données associées au programme (DAP)</p>	<p>On dispose d'un canal pour les DAP, d'une capacité de 0,66 à 64 kbit/s, en réduisant d'autant la capacité de l'un quelconque des canaux audio. Seuls les récepteurs équipés de dispositifs d'affichage alphanumérique peuvent afficher les étiquettes dynamiques d'identification des programmes et des services. Le décodage par langage de balisage hypertexte (HTML) de base et le décodage d'images du Groupe mixte d'experts en photographie (JPEG) sont proposés sur les récepteurs à écran graphique (1/4 VGA, <i>video graphic array</i>), etc.</p>	<p>Le multiplexage des données DAP est fondé sur les systèmes MPEG-2.</p>	<p>La capacité DAP fait partie intégrante du système et peut être assurée par le biais de données opportunistes sans dégradation de la qualité audio ni réduction de la capacité des canaux de données. Tous les récepteurs peuvent recevoir l'étiquette dynamique de présentation du nom du programme et du nom du service sur tout dispositif d'affichage alphanumérique d'un récepteur.</p>

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques préconisées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique A	Système numérique F	Système numérique C
Souplesse d'assignation des services	Le multiplex peut être reconfiguré dynamiquement de manière transparente pour l'utilisateur.	Le multiplex peut être reconfiguré dynamiquement de manière transparente pour l'utilisateur.	Le système peut être reconfiguré automatiquement entre les signaux audio et les données de manière transparente pour l'utilisateur.
Structure de multiplex compatible avec le modèle d'interconnexion des systèmes ouverts (OSI)	La structure de multiplex du système est conforme au modèle en couches OSI, notamment pour les canaux de données, sauf pour les caractéristiques différentes de protection contre les erreurs du canal audio MPEG-2 Couche II.	La structure de multiplex du système est entièrement compatible avec l'architecture de systèmes MPEG-2.	Le système est fondé sur un modèle en couches OSI à la fois pour les signaux audio et pour les données, sauf pour la protection particulière contre les erreurs offerte par le codec audio.
Capacité de services de données à valeur ajoutée	Tout sous-canal (parmi les 64 existants) non utilisé pour les services audio peut être utilisé pour des services de données indépendants des programmes. Les canaux réservés à la transmission de paquets de données pour les services hautement prioritaires offerts à tous les récepteurs réglés sur un service du multiplex peuvent être acheminés par canal d'information rapide (CIR). La capacité totale peut aller jusqu'à 16 kbit/s. Les récepteurs sont dotés d'une interface de données radio-électriques (RDI, <i>radio data interface</i>) pour le transfert des données vers un ordinateur.	Une capacité quelconque, pouvant aller jusqu'à la pleine capacité de charge utile, peut être attribuée pour des données indépendantes afin d'assurer la diffusion de données commerciales, de radiomessagerie, d'images fixes, etc., éventuellement sous accès conditionnel.	Une capacité quelconque, pouvant aller jusqu'à la pleine capacité de charge utile, peut être attribuée pour des données indépendantes afin d'assurer la diffusion de données commerciales, de radiomessagerie, d'images fixes, etc., éventuellement sous accès conditionnel.

TABLEAU 1 (*fin*)

Caractéristiques préconisées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique A	Système numérique F	Système numérique C
Possibilité de fabriquer des récepteurs bon marché	Permet de produire en grande série et à faible coût des récepteurs grand public. Des récepteurs types ont été intégrés dans deux circuits intégrés. Un fabricant a intégré l'ensemble des circuits du récepteur dans un seul circuit intégré.	Le système a été spécifiquement optimisé pour qu'un récepteur pour véhicule de faible complexité puisse être produit dès le départ. Un groupe de normalisation a été constitué en vue de la production de récepteurs bon marché par des techniques d'intégration à grande échelle.	Le système a été spécifiquement optimisé pour qu'un récepteur pour véhicule de faible complexité puisse être produit dès le départ.

- (1) On trouvera de plus amples informations sur le décodeur HD Codec (HDC) à l'adresse: www.ibiquit.com.
- (2) Les modes de fonctionnement dans la même bande dans la même voie (IBOC, *in-band on-channel*) (Système numérique C) préprogrammés dans les circuits intégrés ne sont pas utilisables à bord d'un véhicule à des fréquences supérieures à 230 MHz.

Annexe 1

Brève présentation des systèmes numériques

1 Présentation du Système numérique A

Le Système numérique A, également connu sous l'appellation système Eureka 147 DAB (radio-diffusion audionumérique, *digital audio broadcasting*) a été développé pour les applications tant par satellite que de Terre au moyen d'un même récepteur bon marché. Le système a été conçu pour des récepteurs fixes, portatifs ou à bord de véhicules avec des antennes de réception équidirectives à faible gain situées à 1,5 m au-dessus du sol. Le Système numérique A permet l'utilisation complémentaire d'émetteurs de radiodiffusion de satellite et de Terre, d'où une utilisation plus efficace du spectre et une plus grande disponibilité des services dans toutes les conditions de réception. Il offre en particulier de meilleures performances en présence de trajets multiples et de zones d'ombre, situation type d'un environnement urbain, et la puissance du récepteur du satellite requise peut être réduite par l'utilisation de répéteurs de Terre (répéteurs de complément). Le Système numérique A est capable d'offrir divers niveaux de qualité sonore, jusqu'à des niveaux de haute qualité comparables à ceux des enregistrements numériques grand public. Il peut par ailleurs offrir différents services de données et différents niveaux d'accès conditionnel et la possibilité de réorganiser de façon dynamique les différents services du multiplex.

2 Présentation du Système numérique F

Le Système numérique F, également connu en tant que système RNIS-T_{SB} est conçu pour la radiodiffusion sonore et de données de haute qualité avec une grande fiabilité même en réception mobile. Il est conçu pour être flexible et évolutif et pour présenter une grande analogie avec la radiodiffusion multimédias utilisant des réseaux de Terre. C'est un système robuste qui utilise la modulation avec MRFO, l'entrelacement bidimensionnel fréquence-temps et des codes de correction d'erreur concaténés. La modulation à MRFO utilisée par le système est appelée BST-MRFO (BST étant la transmission à segmentation de bande). Le système présente des éléments communs avec le système RNIS-T dans la couche physique. Il comporte de nombreux paramètres de transmission tels que le système de modulation des porteuses, les taux de codage associés au code de correction d'erreur interne ainsi que la longueur de l'entrelacement temporel. Certaines des porteuses sont assignées à la commande TMCC qui transmet les informations sur les paramètres de transmission pour la commande du récepteur. Le Système numérique F peut utiliser des méthodes de codage audio à forte compression telles que MPEG-2 AAC. Enfin, il utilise les systèmes MPEG-2. Il présente des caractéristiques d'analogie et d'interopérabilité avec de nombreux autres systèmes utilisant les systèmes MPEG-2 tels que RNIS-S, RNIS-T, DVB-S et DVB-T.

3 Présentation du Système numérique C

Le Système numérique C (IBOC-DSB) est un système complètement développé. Ce Système est conçu pour des récepteurs fixes, portatifs ou à bord de véhicules¹, les signaux provenant d'émetteurs de Terre. Il peut être mis en œuvre dans des parties non occupées du spectre, mais il présente la caractéristique importante de pouvoir offrir une diffusion simultanée de signaux analogiques et de signaux numériques dans la bande actuellement attribuée à la radiodiffusion MF. Cette caractéristique devrait permettre aux radiodiffuseurs actuels utilisant la MF qui le souhaitent de passer de façon rationnelle d'une radiodiffusion analogique à une radiodiffusion numérique. Le système offre de meilleures performances en présence de trajets multiples et, par conséquent, une plus grande fiabilité que celle offerte par les systèmes analogiques existants à MF. Le Système numérique C offre une qualité audio améliorée, comparable à celle des enregistrements numériques grand public. De plus, il présente une certaine souplesse permettant aux radiodiffuseurs de proposer de nouveaux services de diffusion de données en plus des programmes audio améliorés. Enfin, il permet d'attribuer des bits entre la capacité audio et la capacité de diffusion de données afin de maximiser cette dernière.

Annexe 2

Système numérique A

1 Introduction

Le Système numérique A est un système de radiodiffusion numérique multiservices de haute qualité à destination des récepteurs placés à bord de véhicules et des récepteurs portatifs ou fixes. Il peut être exploité jusqu'à 3 000 MHz et utiliser différents modes de diffusion Terre, satellite, hybride (Terre-satellite) et câble. Il s'agit d'un système de radiodiffusion numérique à intégration de services

¹ Les modes de fonctionnement IBOC (Système numérique C) préprogrammés dans les circuits intégrés ne sont pas utilisables à bord d'un véhicule à des fréquences supérieures à 230 MHz.

polyvalent qui offre une grande souplesse d'exploitation et qui permet, conformément aux exigences de souplesse d'exploitation et de diversité des services qu'imposent aux systèmes et aux services les Recommandations UIT-R BO.789 et UIT-R BS.774 appuyées par le Manuel sur la radiodiffusion sonore numérique et le Rapport UIT-R BS.1203, de nombreuses possibilités de codage des sources et des canaux, de transmettre des données associées aux programmes sonores et de fournir des services de données indépendants.

Ce système de radiodiffusion sonore et de radiodiffusion de données est particulièrement fiable, et offre une grande efficacité d'utilisation du spectre et de la puissance. Il fait appel à des techniques numériques de pointe pour l'élimination dans le signal source des redondances et des informations qui n'ont aucune incidence sur le rendu acoustique, et produit une redondance strictement contrôlée sur le signal diffusé destiné à la correction des erreurs. L'information transmise est ensuite étalée en temps et en fréquence pour que le récepteur, fixe ou mobile, restitue un signal de haute qualité même en présence de phénomènes de propagation par trajets multiples. L'amélioration de l'efficacité d'utilisation du spectre est obtenue par entrelacement de plusieurs signaux de programme, et compte tenu des possibilités de réutilisation des fréquences spécifiques à un système, on peut étendre pratiquement sans limites les réseaux de radiodiffusion en plaçant des émetteurs supplémentaires fonctionnant sur la même fréquence.

Le schéma de principe de la partie émission du Système A est donné à la Fig. 1.

Le Système numérique A, mis au point par le Consortium Eureka 147 (DAB) est connu sous le nom de Système Eureka DAB. Il bénéficie du soutien actif de l'Union européenne de radio-télévision (UER) et devrait être utilisé pour offrir des services de radiodiffusion audionumérique en Europe dès 1995. Depuis 1988, il a fait l'objet de démonstrations probantes et d'essais complets en Europe, au Canada, aux Etats-Unis d'Amérique et dans d'autres pays. Dans cette Annexe 2, il sera appelé «Système A». Ses spécifications complètes sont données dans la norme européenne ETS 300 401 (voir la Note 1).

NOTE 1 – Il a été jugé souhaitable d'ajouter un nouveau mode de transmission qui sert de passerelle entre les Modes I et II; il s'agit d'une amélioration compatible du Système A qui permettra d'avoir des espacements plus importants entre réémetteurs, fonctionnant dans le même canal, utilisés dans un réseau monofréquence ou comme réémetteurs de complément, ce qui se traduira par un accroissement de la souplesse et une diminution du coût de mise en œuvre de la radiodiffusion sonore numérique de Terre dans la bande 1452-1492 MHz.

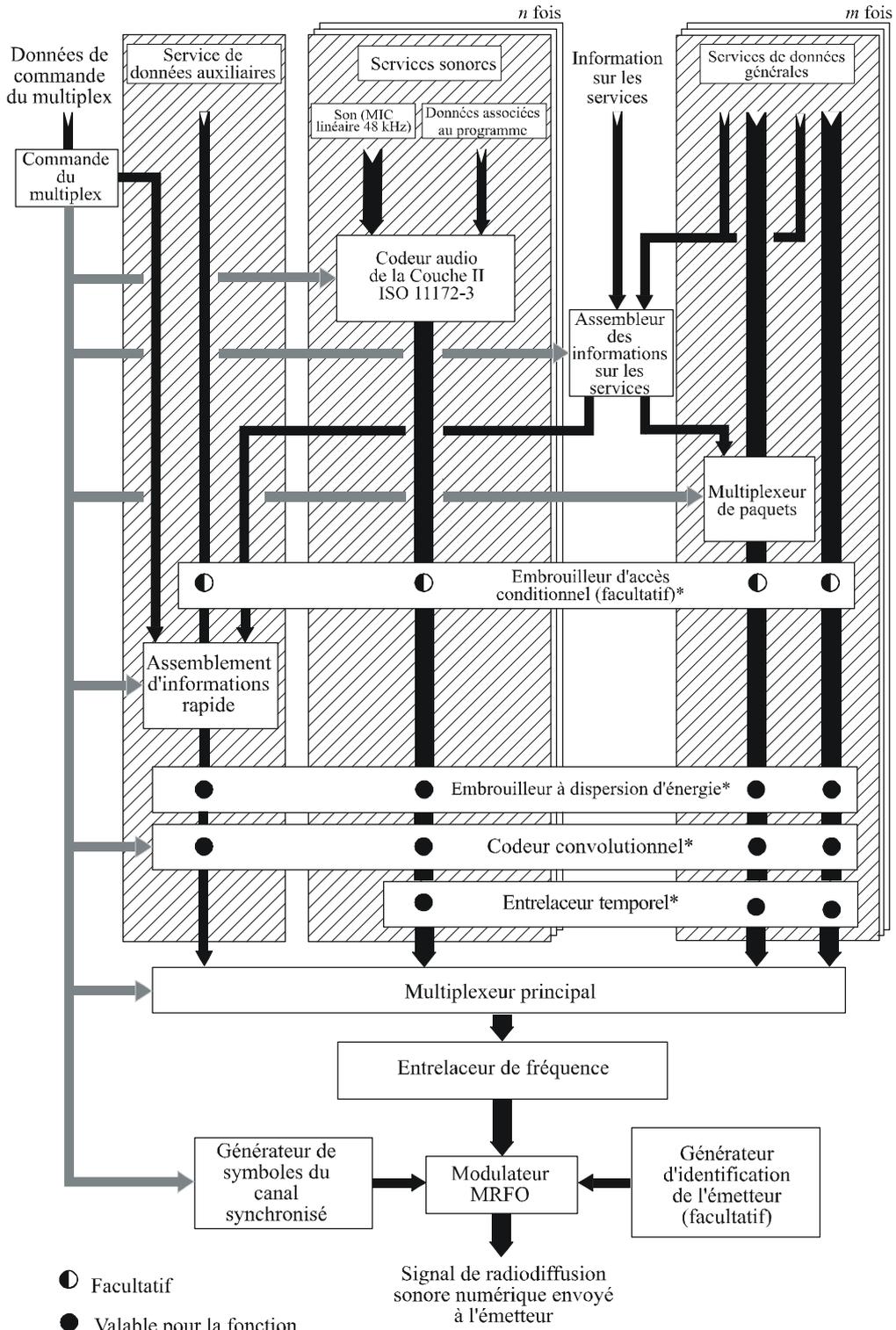
2 Utilisation d'un modèle en couches

Le Système A est conforme au modèle de référence d'OSI décrit dans la Norme de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) 7498 (1984). L'utilisation de ce modèle est préconisée dans la Recommandation UIT-R BT.807 et le Rapport UIT-R BT.1207. La présente Recommandation établit une analogie structurelle entre le modèle OSI et les systèmes de radiodiffusion en couches. En conséquence, le Système A est décrit par référence à ce modèle, l'analogie étant illustrée au Tableau 2.

Bien des techniques en cause sont décrites plus facilement en se plaçant au niveau du fonctionnement de l'équipement à l'émetteur, ou au point central du réseau de distribution dans le cas d'un réseau d'émetteurs.

Le Système A ayant pour but fondamental de fournir des programmes radiophoniques à l'auditeur, il est décrit ci-après dans l'ordre des couches suivantes de la couche application (utilisation de l'information de radiodiffusion) et à la couche physique (moyens d'émission radioélectrique)

FIGURE 1
Diagramme fonctionnel de la partie «émission» du Système A



* Ces processeurs fonctionnent indépendamment sur chaque canal de service.

TABLEAU 2

Interprétation du modèle OSI à plusieurs couches

Nom de la couche	Description	Caractéristiques propres au système
Application	Utilisation pratique du système	Possibilités du système Qualité du son Modes de transmission
Présentation	Conversion pour la présentation	Codage et décodage audio Présentation audio Information de service
Session	Sélection des données	Sélection du programme Accès conditionnel
Transport	Groupe ment des données	Services de programmes Multiplex principal de services Données auxiliaires Association de données
Réseau	Voie logique	Trames audio ISO Données associées au programme
Liaison de données	Format du signal émis	Trames de transmission Synchronisation
Physique	Transmission physique (radioélectrique)	Dispersion d'énergie Codage par convolution Entrelacement en temps et en fréquence Modulation MDP-4D MRFO Transmission radioélectrique

3 Couche application

Cette couche correspond à l'utilisation du Système A au niveau de l'application. Elle englobe les facilités et la qualité du son offertes par le Système A donc offertes par les radiodiffuseurs à leurs auditeurs, ainsi que les différents modes de transmission.

3.1 Facilités offertes par le Système A

Le Système A produit un signal qui contient un multiplex de données numériques, correspondant à plusieurs programmes en même temps. Ce multiplex contient des données radiophoniques, ainsi que des données auxiliaires: DAP, informations sur la configuration du multiplex (ICM), informations de service. Le multiplex peut aussi acheminer des données associées à des services généraux de données qui n'ont pas nécessairement de rapport avec la transmission de programmes radiophoniques.

En particulier, l'utilisateur du Système A dispose des facilités suivantes:

- réception du signal audiofréquence (c'est-à-dire le programme) fourni par le service de programme choisi;
- options fonctionnelles du récepteur qui peuvent utiliser les données auxiliaires transmises avec le programme (par exemple, le contrôle de la plage dynamique);
- affichage d'un texte donnant certaines informations sélectionnées dans les informations de service transmises. Il peut s'agir d'informations relatives au programme choisi, ou à d'autres programmes proposés;

- options permettant de choisir d'autres programmes, d'autres fonctions de récepteur et d'autres informations de service;
- un ou plusieurs services généraux de données, par exemple, informations routières.

Le Système A offre des possibilités d'accès conditionnel, et un récepteur peut être équipé de prises de sortie pour signaux numériques (données) et audionumériques (signal sonore numérisé).

3.2 Qualité du son

En fonction de la capacité du multiplex, le nombre de services radiophoniques et le format de présentation de chacun de ces services (par exemple, stéréo, mono, ambiophonie), la qualité du son et le degré de protection contre les erreurs (et par là même, la fiabilité) peuvent être choisis en fonction des besoins des radiodiffuseurs.

Les options qualité du son sont les suivantes:

- très haute qualité, avec une marge pour traitement du son;
- qualité subjectivement transparente, suffisante pour la plus haute qualité de radiodiffusion;
- haute qualité, correspondant à celle des services à modulation de fréquence actuels;
- qualité moyenne, correspondant à celle des services à modulation d'amplitude actuels;
- qualité «voix» seulement.

Le Système A offre une qualité uniforme de réception dans les limites de couverture de l'émetteur; au-delà, la qualité diminue de manière subjectivement progressive.

3.3 Modes de transmission

Le Système A est compatible avec quatre modes de transmission qui permettent d'utiliser une large gamme de fréquences d'émission jusqu'à 3 GHz. Ces modes de transmission ont été spécialement prévus pour tenir compte de l'étalement en fréquence (effet Doppler) et de l'étalement dans le temps (retard de propagation), dans le cas de la réception mobile en présence d'échos par trajets multiples.

Le Tableau 3 donne les temps de propagation de l'écho constructif et la gamme de fréquence nominale pour la réception mobile. La dégradation due au bruit à la plus haute fréquence et dans les conditions de trajets multiples les plus défavorables, conditions rares en pratique, est de 1 dB à 100 km/h.

TABLEAU 3

Paramètre	Mode I	Mode II	Mode III	Mode IV
Durée de l'intervalle de garde (μ s)	246	62	31	123
Temps de propagation maximal de l'écho constructif (μ s)	300	75	37,5	150

Dans le Tableau 3, on constate que l'utilisation des fréquences les plus élevées impose des limites de temps de propagation plus strictes. Le Mode I convient le mieux à un réseau monofréquence de Terre, car il permet un plus grand espacement entre émetteurs. Le Mode II convient le mieux à la radiodiffusion locale à un seul émetteur de Terre et à la diffusion hybride (satellite/Terre) jusqu'à 1,5 GHz. Néanmoins, on peut aussi utiliser le Mode II pour les réseaux monofréquence à couverture moyenne ou grande dans la bande d'ondes décimétriques (par exemple à 1,5 GHz) en insérant, si

nécessaire, des retards artificiels au niveau de l'émetteur ou en employant des antennes d'émission directives. Le Mode III convient le mieux à la diffusion par satellite et à la diffusion complémentaire de Terre, car on peut l'utiliser à toutes les fréquences jusqu'à 3 GHz.

Le Mode III est le mode à utiliser pour la distribution par câble, jusqu'à 3 GHz.

Le Mode IV convient le mieux aux réseaux monofréquence à couverture moyenne ou grande dans la bande d'ondes décimétriques

4 Couche présentation

Cette couche concerne la conversion et la présentation de l'information diffusée.

4.1 Codage de la source audio

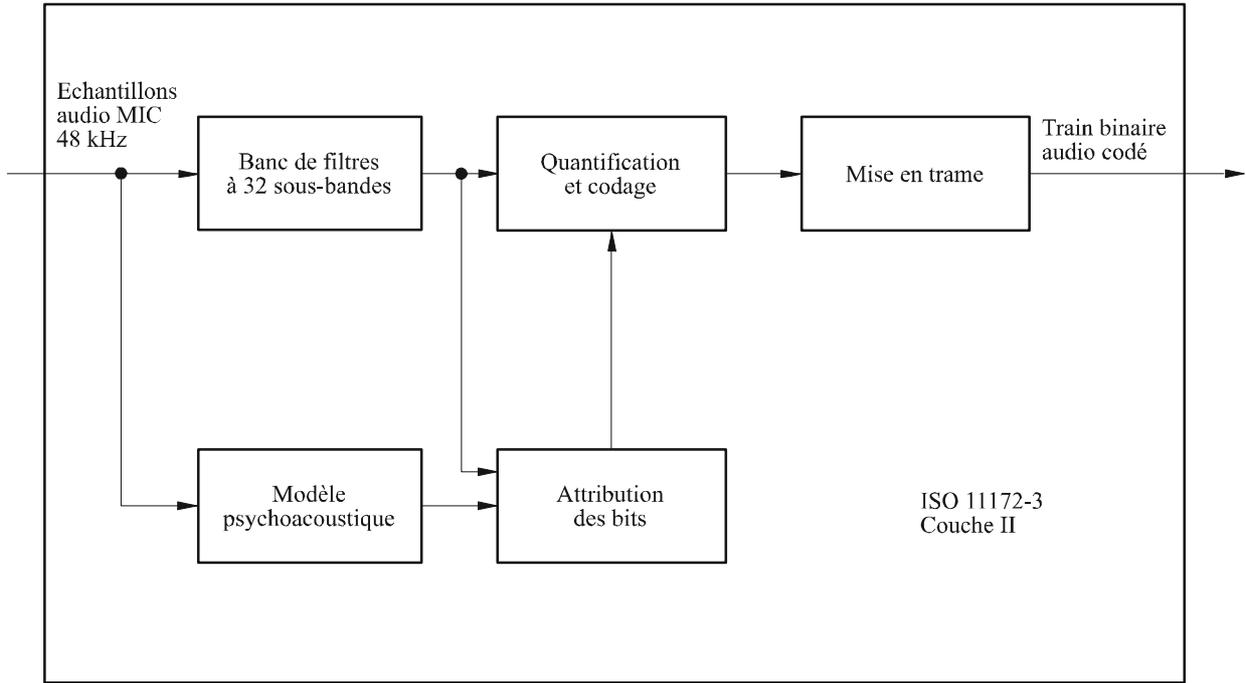
La technique de codage de la source audio utilisée est la technique ISO/CEI MPEG audio de Couche II spécifiée dans la Norme ISO 11172-3. Ce système à compression et à codage en sous-bandes est également connu sous le nom de MUSICAM.

Le Système A accepte plusieurs signaux MIC audio avec une fréquence d'échantillonnage de 48 kHz et des DAP. Le nombre de sources audio possible dépend du débit binaire et du type de protection retenu contre les erreurs. Le codeur audio peut fonctionner à 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160 ou 192 kbit/s par canal monophonique. En mode stéréophonique ou bicanal, le débit du codeur est le double de celui du mode monaural.

Ces possibilités de choix du débit binaire sont très intéressantes pour le radiodiffuseur car il peut moduler le débit binaire, en fonction de la qualité intrinsèque exigée ou du nombre de programmes radiophoniques à diffuser. Ainsi, un débit supérieur ou égal à 128 kbit/s en monophonie, ou supérieur ou égal à 256 kbit/s en stéréophonie offre, outre une excellente qualité, une marge suffisante pour permettre l'application ultérieure de plusieurs processus de codage/décodage en série et le posttraitement audio. Pour une radiodiffusion de haute qualité, il est préférable d'utiliser un débit binaire de 128 kbit/s pour la monophonie et de 256 kbit/s pour la stéréophonie, ce qui permet d'obtenir une qualité du son dite «transparente». Même le débit de 192 kbit/s par programme stéréophonique satisfait en général aux spécifications de l'UER pour les systèmes audionumériques avec réduction du débit binaire. Un débit binaire de 96 kbit/s pour la monophonie donne une bonne qualité sonore et à 48 kbit/s la qualité est pratiquement celle de la radiodiffusion en modulation d'amplitude. Pour les programmes ne comportant que des signaux vocaux, un débit de 32 kbit/s peut être suffisant si le multiplex du système est associé avec un nombre maximal de services.

La Fig. 2 donne le diagramme fonctionnel du codeur audiofréquence. Les échantillons d'entrée MIC sont appliqués à l'entrée du codeur audiofréquence. Le codeur est capable de traiter les deux voies d'un signal stéréophonique, bien qu'il puisse, éventuellement, recevoir un signal monophonique. Un banc de filtrage polyphase divise le signal audionumérique en 32 signaux de sous-bande et crée une représentation filtrée et sous-échantillonnée du signal audiofréquence d'entrée, les échantillons filtrés étant appelés échantillons de sous-bande. La quantification et le codage sont asservis à un modèle «perceptuel» de l'oreille humaine intégré au codeur. Cet asservissement pouvant différer selon le type de codeur, on peut par exemple, utiliser une évaluation du seuil de masquage de l'oreille humaine pour obtenir les données d'asservissement du quantificateur. Les échantillons successifs de chaque signal en sous-bande sont groupés en blocs, puis, dans chaque bloc, l'amplitude maximale de chaque signal en sous-bande est déterminée et indiquée par un facteur d'échelle. Le quantificateur-codeur crée un ensemble de mots de codage à partir des échantillons de sous-bande. Ces processus sont exécutés pendant la durée des trames audiofréquences ISO, qui seront décrites à la couche réseau.

FIGURE 2
Diagramme fonctionnel du système codeur audio de base

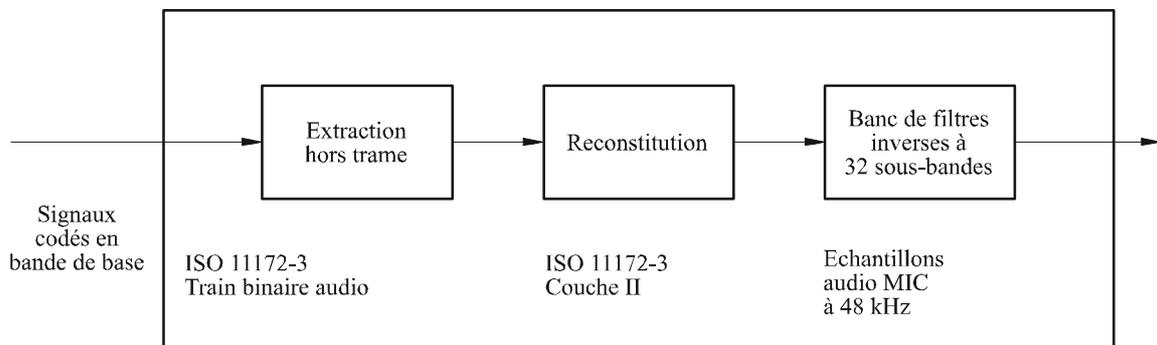


1114-02

4.2 Décodage audiofréquence

Le décodage dans le récepteur, qui repose sur une technique simple de traitement du signal est simple et économique; il exige seulement des opérations de démultiplexage, d'extension et de filtrage inverse. La Fig. 3 donne le diagramme fonctionnel du décodeur.

FIGURE 3
Diagramme fonctionnel du système décodeur audio de base



1114-03

La trame audiofréquence ISO est introduite dans le décodeur audio ISO/MPEG Couche II qui désassemble les données de la trame afin de reconstituer les divers éléments d'information. L'unité de reconstitution rétablit les échantillons quantifiés de sous-bande et un banc de filtrage inverse transforme les échantillons de sous-bande afin de produire des signaux MIC numériques audiofréquence uniformes à la fréquence d'échantillonnage de 48 kHz.

4.3 Présentation audiofréquence

Les signaux audiofréquence peuvent être présentés sous forme monophonique ou stéréophonique, les canaux audiofréquence peuvent aussi être groupés pour la restitution de l'effet spatial. Les programmes peuvent être reliés de manière à diffuser un même programme simultanément dans plusieurs langues. Afin de satisfaire les auditeurs en milieu bruyant et les amateurs de haute-fidélité, le radiodiffuseur peut émettre un signal facultatif de commande de plage dynamique (CPD) qui peut servir, en milieu bruyant, à comprimer la plage dynamique du signal audiofréquence reproduit par le récepteur. Cette technique peut également être utilisée pour les auditeurs malentendants.

4.4 Présentation des informations associées au service

Pour chaque programme transmis par le système, on peut prévoir de visualiser les informations de service suivantes sur le récepteur:

- étiquette du programme de base (c'est-à-dire le nom du programme);
- heure et date;
- indication de programmes identiques («références réciproques») ou analogues (par exemple, dans une autre langue) diffusés dans un autre ensemble ou diffusés simultanément en modulation d'amplitude ou en modulation de fréquence;
- étiquette de service allongée pour les services associés au programme;
- informations sur le programme (par exemple, nom des artistes, des intervenants, des présentateurs, etc.);
- langue;
- type de programme (par exemple, actualités, sport, musique);
- identificateur d'émetteur;
- informations routières, reproduites au moyen d'un synthétiseur vocal intégré au récepteur.

Des données relatives au réseau d'émetteurs peuvent être également insérées pour usage interne par les radiodiffuseurs.

5 Couche session

Cette couche concerne le choix et l'accès aux informations radiodiffusées.

5.1 Sélection du programme

Pour qu'un récepteur puisse avoir un accès quasi immédiat à certains services ou à tous les services, le CIR transmet des ICM relatives au contenu actuel et futur du multiplex qui sont accessibles en lecture automatique. Les données du CIR ne sont pas entrelacées dans le temps, de sorte que les ICM ne sont pas affectées d'un retard inhérent au processus d'entrelacement temporel appliqué aux services audiofréquence et aux services de données générales. Ces données sont toujours répétées fréquemment pour des raisons de fiabilité. Lorsque la configuration de multiplexage est sur le point de changer, la nouvelle information et l'indication temporelle du changement sont envoyées à l'avance dans l'ICM.

L'auditeur peut choisir les programmes en fonction des informations textuelles transmises dans l'information de service, en utilisant le nom de service du programme, l'identité du type de programme ou la langue. Les ordres de l'auditeur sont alors exécutés par le récepteur qui utilise les éléments correspondants de l'ICM.

Si d'autres sources d'un service de programme donné sont disponibles et si un service numérique n'est plus utilisable, les données de liaison contenues dans l'information de service (à savoir les «références réciproques») peuvent être utilisées pour trouver une autre solution (renvoi, par exemple, vers un service à modulation de fréquence) et se placer en l'écoute sur le programme correspondant à cette solution. Néanmoins, en pareil cas, le récepteur reviendra au service de départ dès que la réception sera possible.

5.2 Accès conditionnel

Le système est prévu pour permettre l'accès conditionnel (synchronisation et contrôle).

L'accès conditionnel peut être appliqué indépendamment à tous les composants du service (transmis dans le canal de service principal (CSP) ou le CIR), aux services proprement dits ou à l'ensemble du multiplex.

6 Couche transport

Cette couche concerne l'identification des groupes de données en tant que services de programme, le multiplexage des données pour ces services et l'association des éléments des données multiplexées.

6.1 Services de programme

On entend par service de programme un programme radiophonique accompagné ou non de services audio et/ou de données supplémentaires, qui sont diffusés par un fournisseur de service (le radio-diffuseur). La capacité totale d'un multiplex peut être affectée à un fournisseur de service (par exemple, la diffusion de cinq ou six services de programme radiophonique de haute qualité), ou répartie entre plusieurs fournisseurs de programmes (par exemple, diffusion collective d'une vingtaine de services de programme de qualité moyenne).

6.2 Multiplex principal des services

Comme indiqué sur la Fig. 1, les données représentant chacun des programmes diffusés (données audionumériques avec des données auxiliaires, voire des données générales) sont protégées des erreurs par codage convolutionnel (voir le § 9.2) et entrelacement temporel. L'entrelacement temporel augmente la fiabilité de la transmission de données dans un environnement variable (par exemple, réception à bord d'un véhicule en mouvement) et impose un retard de transmission prévisible. Les données entrelacées et codées sont ensuite introduites dans le multiplexeur de service principal dans lequel, toutes les 24 ms, les données sont placées en séquence dans la trame multiplex. Le flux binaire combiné en sortie du multiplexeur, qu'on appelle canal CSP, a une capacité brute de 2,3 Mbit/s. Selon la vitesse de codage choisi (qui peut différer pour chacun des composants de service), le débit net est compris entre 0,8 et 1,7 Mbit/s, sur une largeur de bande de 1,5 MHz. C'est au niveau du multiplexeur de service principal que les données synchronisées provenant de tous les services de programme utilisant le multiplex sont regroupées.

Des données générales peuvent être envoyées dans le CSP sous forme d'un flux binaire non structuré ou organisé sous la forme d'un multiplex de paquets, dans lequel plusieurs sources sont combinées. Le débit, qui peut être un multiple quelconque de 8 kbit/s, est synchronisé avec le multiplex du système, sous réserve que la capacité totale du multiplex soit suffisante et compte tenu de la demande de services audio.

Le CIR n'est pas intégré au CSP et ne subit pas d'entrelacement temporel.

6.3 Données auxiliaires

Il existe trois domaines dans lesquels des données auxiliaires peuvent être acheminées dans le multiplex du système:

- le CIR, dont la capacité est limitée en fonction de la quantité d'ICM essentielles incluses;
- données associées au programme: il est possible de pouvoir transmettre une quantité modérée de DAP dans chaque canal audiofréquence;
- toutes les données auxiliaires restantes sont traitées comme un service distinct dans le CSP. La présence de ces données est signalée dans l'information de configuration de multiplexage.

6.4 Association de données

L'ICM, qui est transmise dans le CIR, décrit de façon précise le contenu actuel et futur du CSP. Les éléments essentiels de l'information de service qui concernent le contenu du CSP (pour le choix du programme) doivent être également transmis dans le CIR. Les textes plus longs, par exemple la liste de tous les programmes de la journée, doivent être transmis séparément dans le cadre d'un service de données générales. Ainsi, l'ICM et l'information de service contiennent des contributions provenant de tous les programmes diffusés.

Les DAP sont transmises dans chaque canal audio car elles comprennent surtout l'information qui est étroitement liée au programme radiophonique; elles ne peuvent donc pas être envoyées par un autre canal de transmission de données, sur lequel le temps de propagation pourrait être différent.

7 Couche réseau

Cette couche concerne l'identification de groupes de données en tant que programmes.

7.1 Trames audio ISO

Dans le codeur de la source audio, les processus sont exécutés pendant les trames audio ISO d'une durée de 24 ms. L'attribution des bits, qui varie d'une trame à l'autre et les facteurs d'échelle sont codés et multiplexés avec les échantillons de sous-bande dans chaque trame audio. L'unité d'assemblage de trame (voir la Fig. 2) assemble le flux de données délivrées par le quantificateur et le codeur et y ajoute d'autres informations, comme un en-tête, les mots du code CRC pour la détection des erreurs et les DAP, qui sont acheminées avec le signal audio codé. Chaque canal audiofréquence contient une voie de DAP de capacité variable (en général 2 kbit/s au moins), qui peut servir à acheminer une information étroitement liée au programme radiophonique (œuvres lyriques, indication parole/musique et information de CPD, par exemple).

La trame audio résultante contient, pour un seul programme, des données représentant une durée de 24 ms d'informations stéréophoniques (ou monophoniques), plus les DAP; elle correspond au format de Couche II de l'ISO 11172-3, de sorte qu'on peut la considérer comme une trame ISO. Cela permet d'utiliser un décodeur audiofréquence ISO/MPEG de Couche II dans le récepteur.

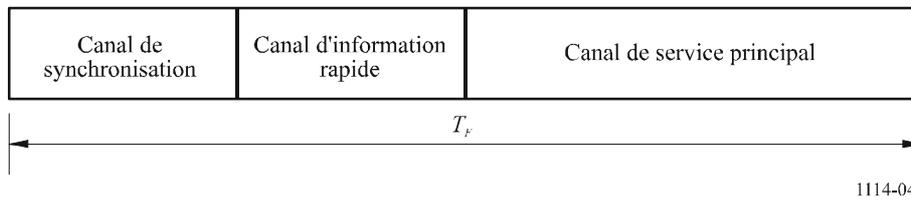
8 Couche liaison de données

Cette couche concerne les moyens permettant la synchronisation du récepteur.

8.1 Trame de transmission

Pour faciliter la synchronisation du récepteur, le signal diffusé a une structure de trame régulière (voir la Fig. 4) comprenant une séquence fixe de symboles. Chaque trame de transmission commence par un symbole zéro pour assurer une synchronisation approximative (lorsqu'aucun signal RF n'est diffusé), suivi d'un symbole de référence fixe pour assurer une synchronisation précise, des fonctions de contrôle automatique du gain et de la fréquence et de référence de phase dans le récepteur; ces symboles constituent le canal de synchronisation. Les symboles suivants sont réservés au CIR et les symboles restant fournissent le CSP. La durée totale de trame T_F est de 96 ms, de 48 ms ou de 24 ms selon le mode de transmission, comme indiqué au Tableau 4.

FIGURE 4
Structure de la trame du multiplex



1114-04

TABLEAU 4
Paramètres de transmission du Système A

Paramètres	Mode I	Mode II	Mode III	Mode IV
Durée totale de la trame, T_F	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
Durée du symbole zéro, T_{NULL}	1,297 ms	324 μ s	168 μ s	648 μ s
Durée des symboles MRFO, T_s	1,246 ms	312 μ s	156 μ s	623 μ s
Inverse de l'espacement entre porteuses, T_u	1 ms	250 μ s	125 μ s	500 μ s
Durée de l'intervalle de garde, Δ ($T_s = T_u + \Delta$)	246 μ s	62 μ s	31 μ s	123 μ s
Nombre de porteuses émises, K	1 536	384	192	768

Chaque service audiofréquence du CSP se voit attribuer un intervalle de temps fixe dans la trame.

9 Couche physique

Cette couche concerne les moyens de transmission radioélectrique (c'est-à-dire la méthode de modulation et la protection contre les erreurs).

9.1 Dispersion d'énergie

Afin d'assurer une dispersion d'énergie correcte dans le signal transmis, chaque source alimentant le multiplex est brouillée.

9.2 Codage convolutionnel

Le codage convolutionnel est appliqué à chacune des sources de données alimentant le multiplex, afin d'obtenir une réception fiable. Le processus de codage passe par l'adjonction volontaire de redondances aux paquets de données de la source (longueur imposée de 7). Les paquets ainsi obtenus sont appelés paquets de données «brutes».

Dans le cas d'un signal audio, certains bits codés à la source sont volontairement mieux protégés, suivant un schéma prédéterminé appelé profil de protection inégale d'erreurs. Le rendement moyen du codage, défini comme le rapport entre le nombre de bits codés à la source au nombre de bits après le codage par convolution, est compris entre 1/3 (niveau de protection le plus élevé) et 3/4 (niveau de protection le plus faible). Différents rendements moyens peuvent être appliqués à différentes sources audio, selon le niveau de protection exigé et le débit binaire de données codées à la source. Par exemple, le niveau de protection des services audio assurés par réseau câblé peut être inférieur à celui retenu pour les services transmis par canal hertzien.

Les services de données générales sont codés par convolution au moyen d'une sélection de rendement uniforme. Les données du CIR sont codées au rendement constant de 1/3.

9.3 Entrelacement temporel

Pour faciliter la réception par un récepteur mobile, un entrelacement temporel d'une profondeur de 16 trames est appliqué aux données après codage convolutionnel.

9.4 Entrelacement fréquentiel

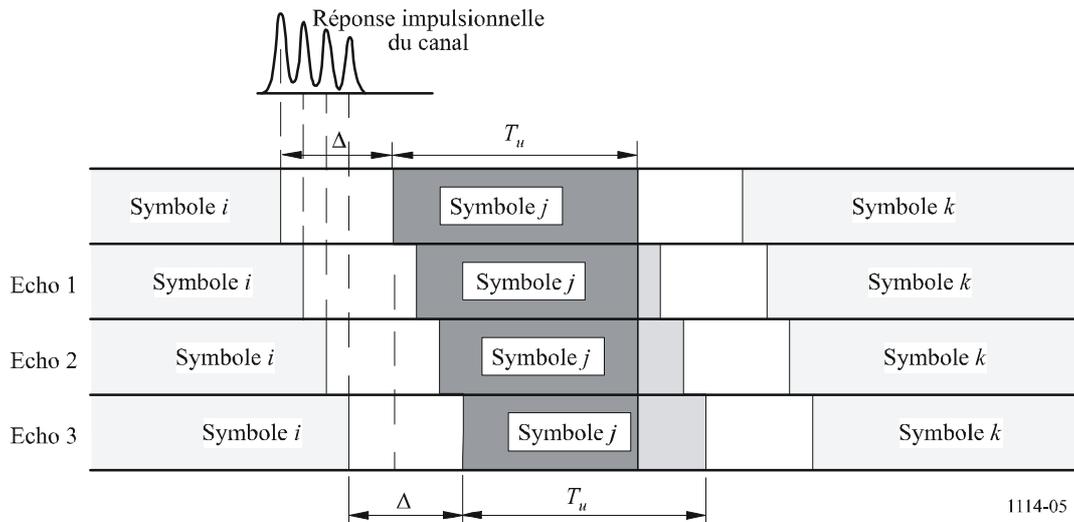
En présence de phénomènes de propagation par trajets multiples, certaines porteuses sont renforcées par des «interférences constructives», alors que d'autres sont affaiblies par des «interférences destructives» (évanouissement du signal sélectif en fréquence). C'est la raison pour laquelle le système effectue un entrelacement fréquentiel par réarrangement du flux binaire parmi les différentes porteuses, de telle sorte que les échantillons successifs d'une même source ne sont pas tous soumis à l'évanouissement sélectif. Quand le récepteur est immobile, la diversité en fréquence est le principal moyen d'obtenir une bonne réception.

9.5 Modulation par MDP-4D MRFO

Le Système A utilise la modulation MDP-4D MRFO. Ce type de modulation satisfait aux conditions très rigoureuses de la radiodiffusion numérique à grand débit binaire destinée aux récepteurs mobiles, portables et fixes, et en particulier en présence de phénomènes de propagation par trajets multiples.

Le principe de base consiste à diviser l'information à diffuser en un grand nombre de flux binaires à un faible débit qui servent à moduler ensuite différentes sous-porteuses. La durée de symbole correspondante est alors supérieure à l'étalement du temps de propagation dans le canal de transmission. Dans le récepteur, tout écho d'une durée inférieure à l'intervalle de garde ne cause pas de brouillage intersymbole mais contribue au contraire de manière positive à la puissance reçue (voir la Fig. 5). Le grand nombre K de sous-porteuses est désigné collectivement sous l'appellation d'ensemble.

FIGURE 5
Contribution favorable des échos



En présence de phénomènes de propagation par trajets multiples, certaines porteuses sont favorisées par des signaux favorables alors que d'autres subissent des interférences défavorables (évanouissement sélectif en fréquence). Par conséquent, le Système A assure une redistribution des éléments du flux binaire dans le temps et en fréquence, de telle sorte que les échantillons source successifs sont affectés par des évanouissements indépendants. Lorsque le récepteur est immobile, la diversité de fréquences est le seul moyen d'assurer une bonne réception; la diversité de temps obtenue par l'entrelacement temporel n'apporte aucune amélioration pour un récepteur immobile. Pour le Système A, la propagation par trajets multiples est une forme de diversité d'espace; on considère qu'elle offre un avantage important, ce qui contraste fortement avec les systèmes classiques à modulation de fréquence ou numériques à bande étroite dans lesquels la propagation par trajets multiples peut empêcher toute réception d'un service.

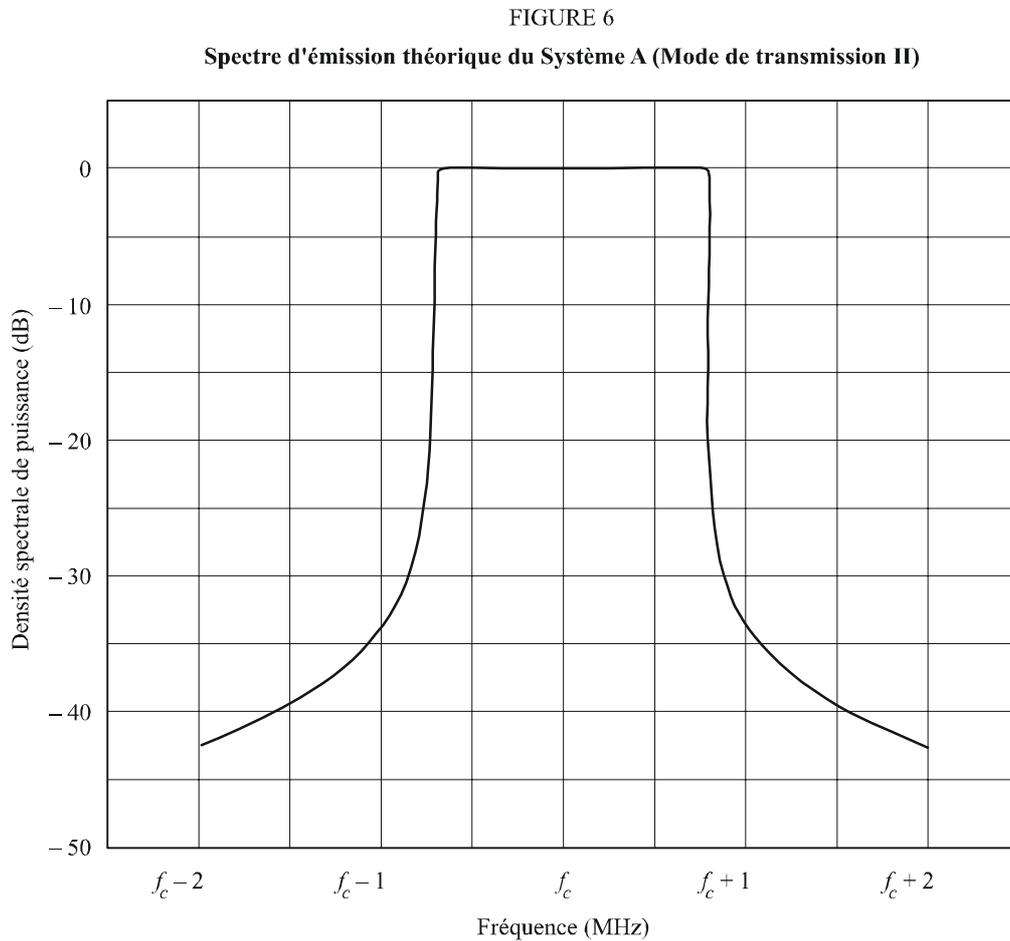
Pour tout système pouvant bénéficier de la propagation par trajets multiples, la fiabilité du système est d'autant plus élevée que la largeur de bande du canal est grande. Dans le système, une largeur de bande d'ensemble de 1,5 MHz a été choisie pour bénéficier des avantages de la technique à large bande, et pour permettre également une certaine souplesse de planification. Le Tableau 4 indique aussi le nombre de porteuses MRFO contenues dans cette largeur de bande pour chaque mode de transmission.

L'utilisation du multiplexage MRFO offre un autre avantage: il permet d'obtenir une grande efficacité d'utilisation du spectre et de la puissance avec des réseaux monofréquence couvrant une zone étendue, ainsi qu'avec des réseaux denses pour zone urbaine. Les émetteurs diffusant le même programme peuvent émettre à la même fréquence quel que soit leur nombre, ce qui se traduit en outre par une réduction générale de la puissance de fonctionnement nécessaire. On peut ainsi réduire considérablement les distances de réutilisation des fréquences entre différentes zones de service.

Du fait que les échos renforcent le signal reçu, les récepteurs de tous types (portatifs, domestiques et à bord de véhicules) peuvent utiliser des antennes simples et non directives.

9.6 Spectre d'émission du Système A

A titre d'exemple, le spectre théorique du Système A est illustré à la Fig. 6 pour le Mode de transmission II.



1114-06

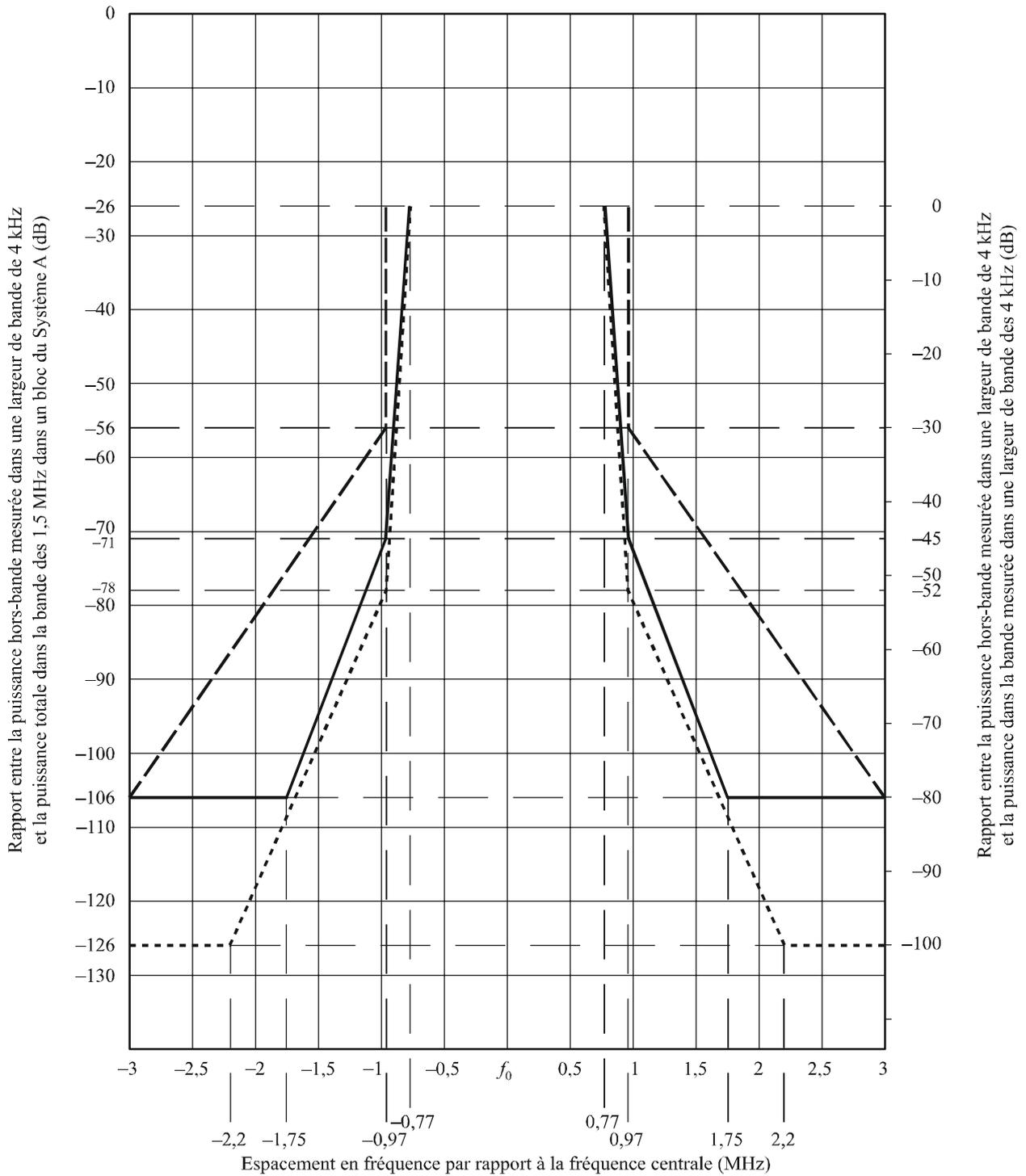
Le spectre du signal rayonné hors bande dans une bande quelconque de 4 kHz devrait se situer dans les limites d'un des gabarits définis à la Fig. 7.

Le gabarit en traits pleins devrait s'appliquer aux émetteurs en ondes métriques fonctionnant dans les cas critiques. Le gabarit en tirets devrait s'appliquer aux émetteurs en ondes métriques fonctionnant dans les cas non critiques ou dans la bande des 1,5 GHz. Le gabarit en traits pointillés devrait s'appliquer aux émetteurs en ondes métriques fonctionnant dans certaines zones dans lesquelles le bloc de fréquences 12D est utilisé.

Il est possible d'abaisser le niveau du signal à des fréquences situées en dehors de la largeur de bande normale de 1,536 MHz en utilisant un filtre approprié.

FIGURE 7

Gabaris du spectre hors-bande pour un signal d'émission du Système A



- Gabarit du spectre hors-bande pour les émetteurs en ondes métriques du Système A fonctionnant dans les cas non critiques ou dans la bande des 1,5 GHz
- Gabarit du spectre pour les émetteurs en ondes métriques du Système A fonctionnant dans les cas critiques
- Gabarit du spectre pour les émetteurs en ondes métriques du Système A fonctionnant dans certaines zones dans lesquelles le bloc de fréquences 12D est utilisé

TABLEAU 5

Tableau du spectre hors-bande pour un signal d'émission du Système A

	Fréquence par rapport au centre du canal à 1,54 MHz (MHz)	Niveau relatif (dB)
Gabarit du spectre pour les émetteurs en ondes métriques du Système A fonctionnant dans les cas non critiques ou dans la bande des 1,5 GHz	±0,97	-26
	±0,97	-56
	±3,0	-106
Gabarit du spectre pour les émetteurs en ondes métriques du Système A fonctionnant dans les cas critiques	±0,77	-26
	±0,97	-71
	±1,75	-106
	±3,0	-106
Gabarit du spectre pour les émetteurs en ondes métriques du Système A fonctionnant dans certaines zones dans lesquelles le bloc de fréquences 12D est utilisé	±0,77	-26
	±0,97	-78
	±2,2	-126
	±3,0	-126

10 Qualité de fonctionnement RF du Système A

Des tests d'évaluation de la qualité de fonctionnement du Système A ont été effectués en Mode I à 226 MHz et en Mode II à 1480 MHz, pour diverses conditions représentatives de la réception mobile et fixe. Les taux d'erreur binaire (TEB) ont été mesurés en fonction du rapport signal/bruit, S/N , sur un canal de données dans les conditions suivantes:

$$D = 64 \text{ kbit/s}, \quad R = 0,5$$

$$D = 24 \text{ kbit/s}, \quad R = 0,375$$

où:

D : débit de données à la source

R : rendement moyen de codage du canal.

10.1 TEB en fonction de S/N , sur une largeur de bande de 1,5 MHz et sur un canal gaussien

Du bruit blanc gaussien a été ajouté au signal pour faire varier S/N à l'entrée du récepteur. Les Fig. 8 et 9 montrent les résultats obtenus. Par exemple, pour un rendement $R = 0,5$, les résultats mesurés (Fig. 8) peuvent être comparés à ceux obtenus par simulation informatique pour mettre en valeur la qualité de fonctionnement propre du système. On constate qu'on dispose d'une marge de mise en œuvre de moins de 1,0 dB pour un TEB de 1×10^{-4} .

10.2 TEB en fonction de S/N , sur une largeur de bande de 1,5 MHz et sur un canal de Rayleigh simulé dans un environnement rural

Les mesures du TEB en fonction de S/N ont été faites sur des canaux de données à l'aide d'un simulateur de canal avec évanouissement. Les simulations sur un canal de Rayleigh correspondent à la Fig. 5 dans la documentation Cost 207 (zone rurale type, 0-0,5 μ s) la vitesse de déplacement du récepteur étant de 15 km/h.

FIGURE 8
 TEB en fonction du rapport S/N pour le Système A
 (Mode de transmission I) - Canal gaussien

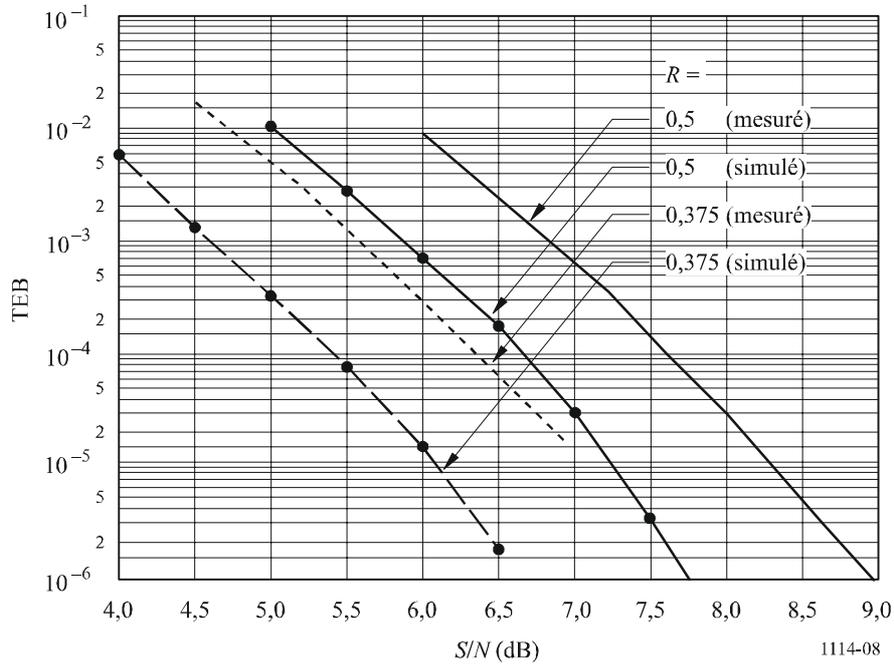
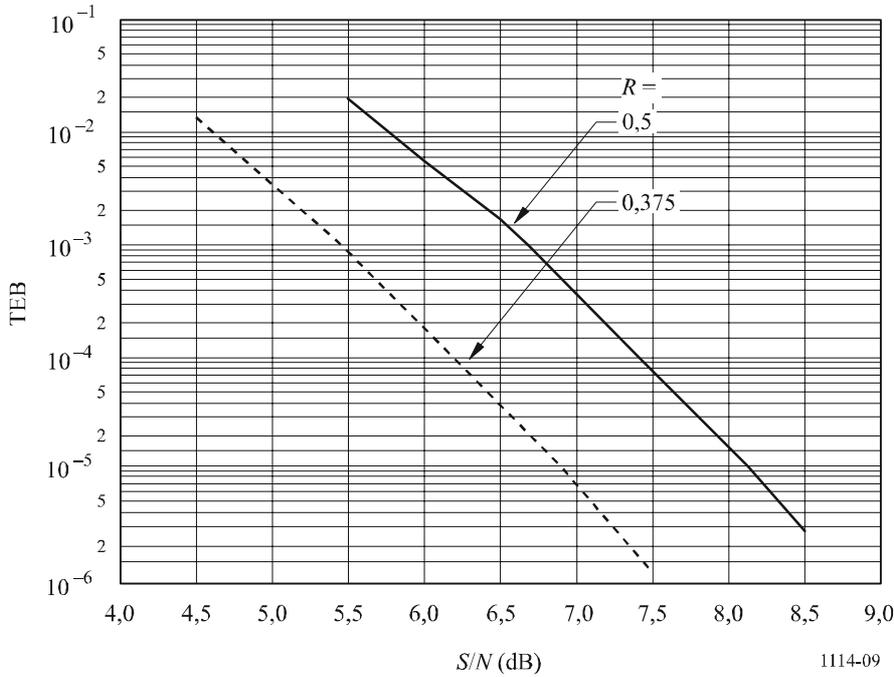


FIGURE 9
 TEB en fonction du rapport S/N pour le Système A
 (Mode de transmission II ou III) - Canal gaussien



Les résultats sont indiqués aux Fig. 10 et 11.

FIGURE 10
TEB en fonction du rapport S/N pour le Système A
(Mode de transmission I, 226 MHz)

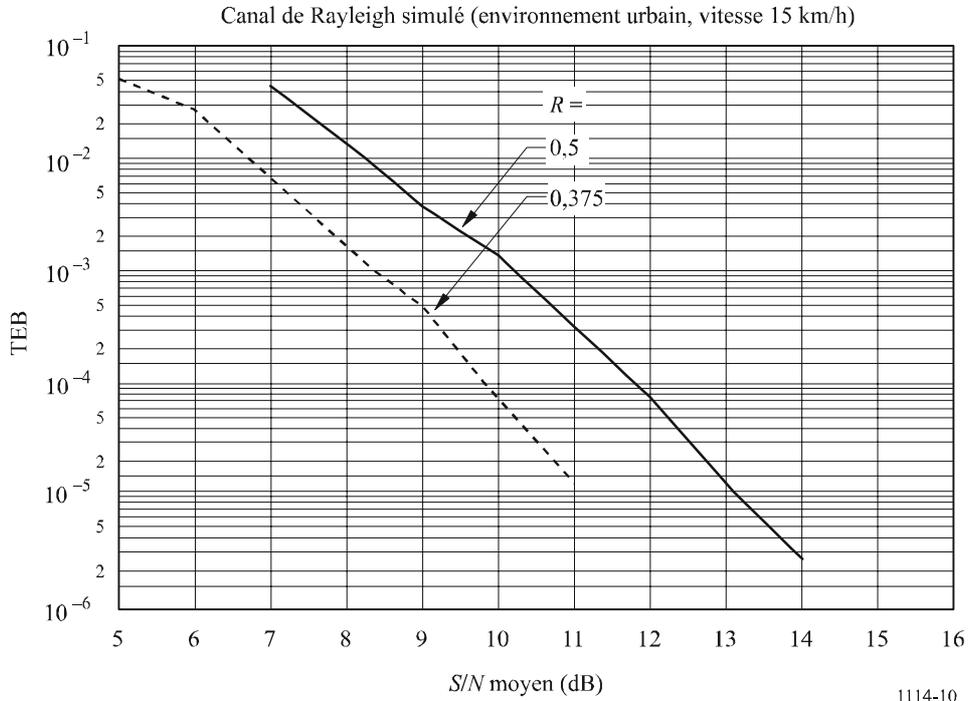
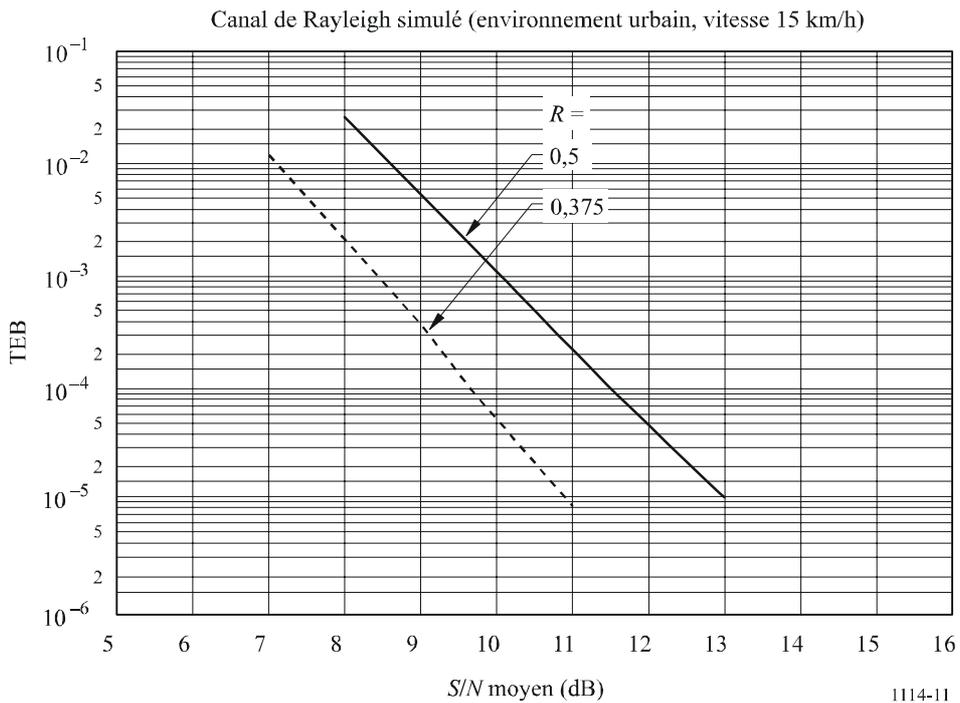


FIGURE 11
TEB en fonction du rapport S/N pour le Système A
(Mode de transmission II, 1 480 MHz)



10.3 TEB en fonction de S/N , sur une largeur de bande de 1,5 MHz et sur un canal de Rayleigh simulé dans un environnement rural

Des mesures du TEB en fonction de S/N ont été exécutées sur des canaux de données à l'aide d'un simulateur de canal avec évanouissement. Les simulations sur le canal de Rayleigh correspondent à la Fig. 4 dans la documentation Cost 207 (environnement rural, non vallonné, 0-5 μ s) la vitesse de déplacement du récepteur étant de 130 km/h. Les résultats sont indiqués aux Fig. 12 et 13.

FIGURE 12
TEB en fonction du rapport S/N pour le Système A
(Mode de transmission I, 226 MHz)

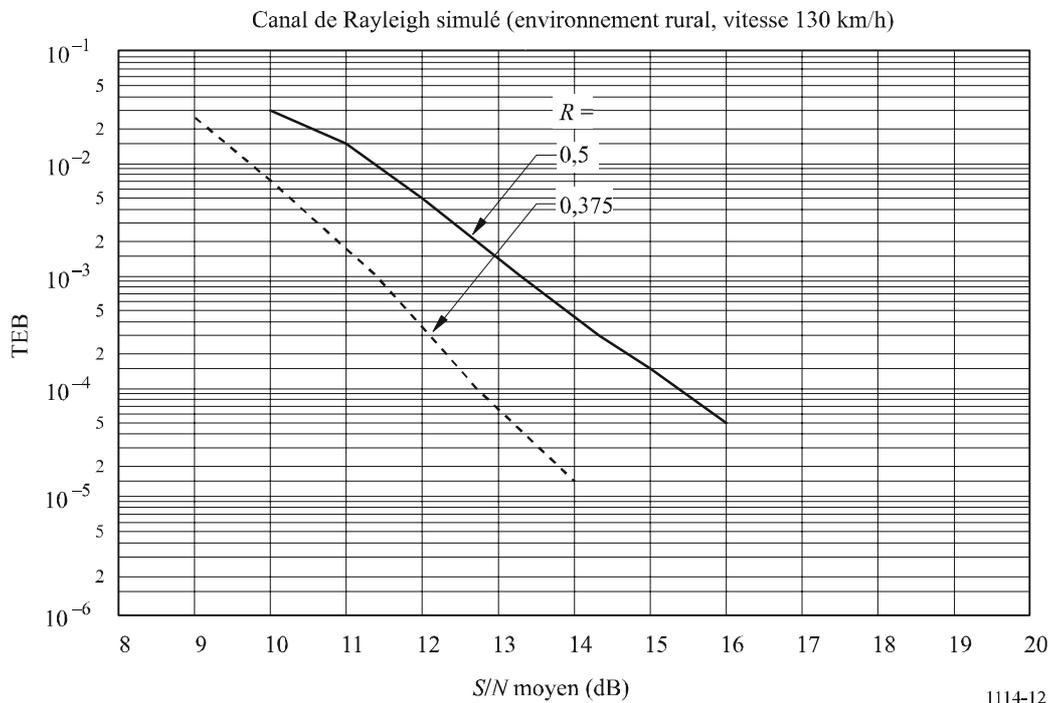
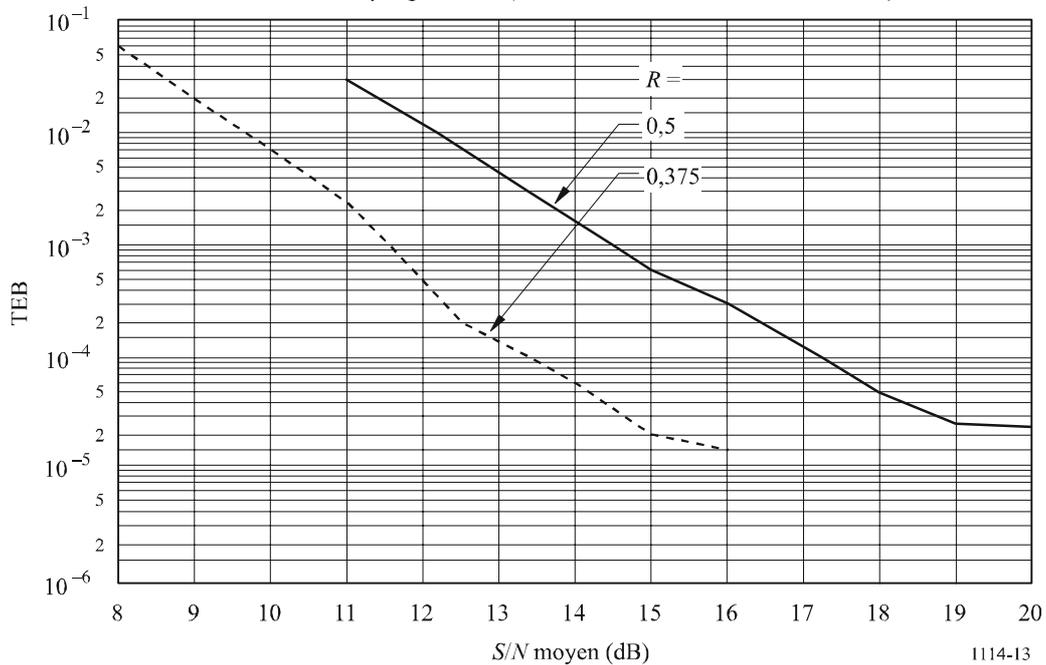


FIGURE 13

TEB en fonction du rapport S/N pour le Système A
(Mode de transmission II, 1 480 MHz)

Canal de Rayleigh simulé (environnement rural, vitesse 130 km/h)



1114-13

10.4 Qualité sonore en fonction de S/N

On a procédé à un certain nombre d'évaluations subjectives pour évaluer la qualité du son en fonction de S/N . Pour le trajet de transmission, on a utilisé l'équipement nécessaire pour établir S/N dans un canal gaussien; pour le canal de Rayleigh, on a utilisé un simulateur de canal avec évanouissement. Deux modèles «de simulation» différents, identiques à ceux décrits aux § 10.2 et 10.3, ont été utilisés dans le cas d'un canal de Rayleigh.

Dans chaque cas, il a été procédé à un essai d'écoute pendant lequel S/N a été réduit par pas de 0,5 dB en fonction des deux conditions suivantes:

- Le seuil de dégradation, c'est-à-dire le moment auquel les effets des erreurs commencent à se faire sentir. Ce seuil a été défini comme étant le moment où il se produit 3 ou 4 erreurs dans un intervalle d'environ 30 s.
- Le seuil de tolérance des dégradations, c'est-à-dire le moment auquel un auditeur cesserait vraisemblablement d'écouter le programme parce que celui-ci est devenu inintelligible ou parce que le confort d'écoute n'est plus celui recherché. Ce seuil a été défini comme étant le moment où les erreurs se produisent quasiment sans interruption et où la réception du programme est interrompue deux ou trois fois dans un intervalle d'environ 30 s.

Deux valeurs de S/N ont été relevées pour chaque essai; elles traduisent le consensus auquel est parvenu le groupe d'ingénieurs du son. Les résultats présentés ci-après correspondent aux valeurs moyennes résultant de plusieurs essais effectués avec différentes séquences de programmes.

TABLEAU 6

**Qualité du son en fonction de S/N pour le Système A
(Mode de transmission I): canal gaussien**

Codage source		Rendement moyen de codage de canal	Seuil de dégradation S/N (dB)	Seuil de tolérance des dégradations S/N (dB)
Débit binaire (kbit/s)	Mode			
256	Stéréo	0,6	7,6	5,5
224	Stéréo	0,6	8,3	5,9
224	Stéréo	0,5	7,0	4,8
224	Stéréo converti en mono	0,5	6,8	4,5
192	Stéréo converti en mono	0,5	7,2	4,7
64	Mono	0,5	6,8	4,5

TABLEAU 7

**Qualité du son en fonction de S/N pour le Système A
(Mode de transmission II ou III): canal gaussien**

Codage source		Rendement moyen de codage de canal	Seuil de dégradation S/N (dB)	Seuil de tolérance des dégradations S/N (dB)
Débit binaire (kbit/s)	Mode			
256	Stéréo	0,6	7,7	5,7
224	Stéréo	0,6	8,2	5,8
224	Stéréo	0,5	6,7	4,9
224	Stéréo converti en mono	0,5	6,6	4,6
192	Stéréo converti en mono	0,5	7,2	4,6
64	Mono	0,5	6,9	4,5

TABLEAU 8

**Qualité du son en fonction de S/N pour le Système A
Canaux de Rayleigh simulés (224 kbit/s stéréo, taux de codage 0,5)**

Mode	Fréquence (MHz)	Canal	Vitesse (km/h)	Seuil de dégradation S/N (dB)	Seuil de tolérance des dégradations S/N (dB)
I	226	Urbain	15	16,0	9,0
II	1 500	Urbain	15	13,0	7,0
I	226	Rural	130	17,6	10,0
II	1 500	Rural	130	18,0	10,0

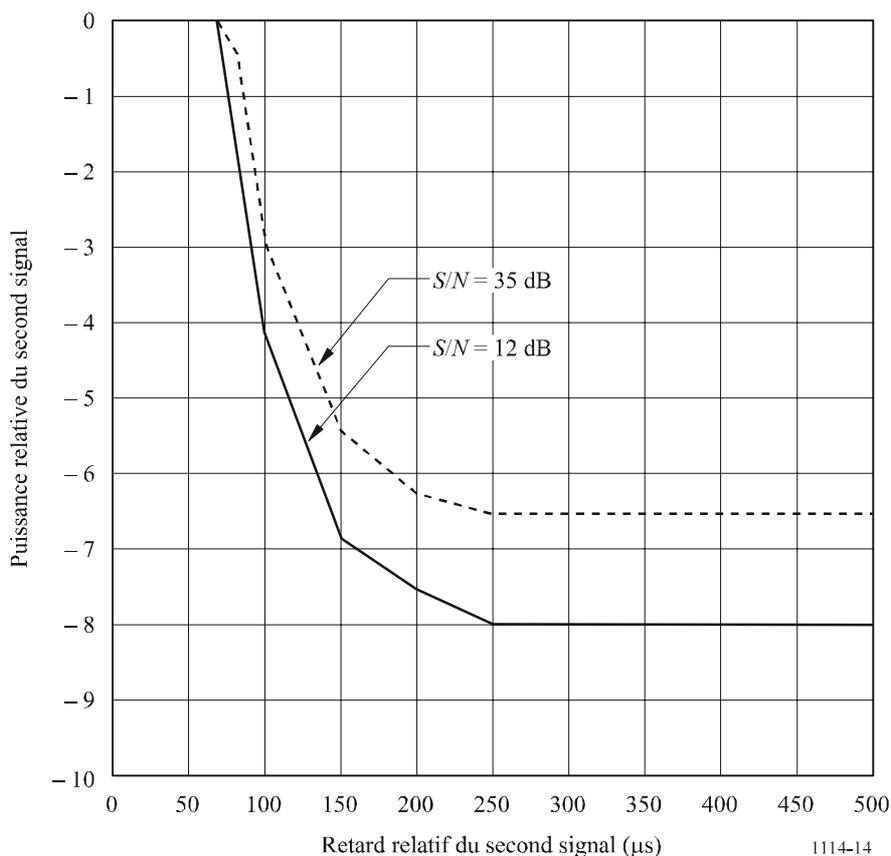
10.5 Possibilité de fonctionnement dans des réseaux monofréquences

Un signal du Système A (Mode de transmission II) a été traité par un simulateur de canal pour générer deux versions du signal, l'une représentant le signal reçu sur un trajet de transmission de référence, sans retard et à puissance constante et l'autre représentant un signal avec retard provenant d'un deuxième émetteur d'un réseau monofréquence (ou un autre écho à temps de propagation important). Le décalage Doppler appliqué au second signal était compatible avec les possibilités limites du Système A. Deux séries de mesures ont été faites: dans la première, le S/N du signal reçu total avait été fixé à 12 dB et dans la seconde à 35 dB. On a mesuré la puissance relative du second signal avec retard en faisant varier le retard sur un canal de données caractérisé par un TEB de 1×10^{-4} , un débit de 64 kbit/s et un taux de codage de 0,5. Les résultats sont indiqués à la Fig. 14.

L'intervalle de garde est de 64 μ s en Mode de transmission II; les résultats font donc apparaître qu'il n'y a aucune dégradation tant que le second signal est situé dans l'intervalle de garde.

FIGURE 14

Exemple de possibilité d'un réseau monofréquence pour le Système A
(Mode de transmission II)



Annexe 3

Système numérique F

1 Introduction

Le Système numérique F (Système F), également connu en tant que Système RNIS-T_{SB} est conçu pour la radiodiffusion sonore et de données de haute qualité avec une grande fiabilité même en réception mobile. Il est conçu pour être flexible et évolutif, pour présenter une grande analogie avec la radiodiffusion multimédia utilisant des réseaux de Terre et pour être conforme aux caractéristiques prescrites dans la Recommandation UIT-R BS.774.

C'est un système robuste qui utilise la modulation avec multiplexage MRFO, l'entrelacement fréquence-temps bidimensionnel et des codes de correction d'erreur concaténés. La modulation à MRFO utilisée par le système est appelée BST-MRFO (BST étant la transmission à segmentation de bande). Le Système F présente des éléments communs avec le système RNIS-T de radiodiffusion de télévision de Terre numérique dans la couche physique. La largeur de bande d'un bloc MRFO, appelé segment MRFO, est de 500 kHz, environ. Etant donné que le Système F est constitué d'un ou de trois segments MRFO, sa largeur de bande est d'environ 500 kHz ou 1,5 MHz environ.

Il comporte de nombreux paramètres de transmission tels que le système de modulation de porteuse, les taux de codage du code de correction d'erreur interne ainsi que la longueur de l'entrelacement temporel. Certaines des porteuses sont assignées à la commande TMCC qui transmet les informations sur les paramètres de transmission pour la commande du récepteur.

Le Système F peut utiliser des méthodes de codage audio à forte compression telles que MPEG-2 Couche II, AC-3 et MPEG-2 AAC. Enfin, il utilise les systèmes MPEG-2. Il présente des caractéristiques d'analogie et d'interopérabilité avec de nombreux autres systèmes utilisant les systèmes MPEG-2 tels que RNIS-S, RNIS-T, DVB-S et DVB-T.

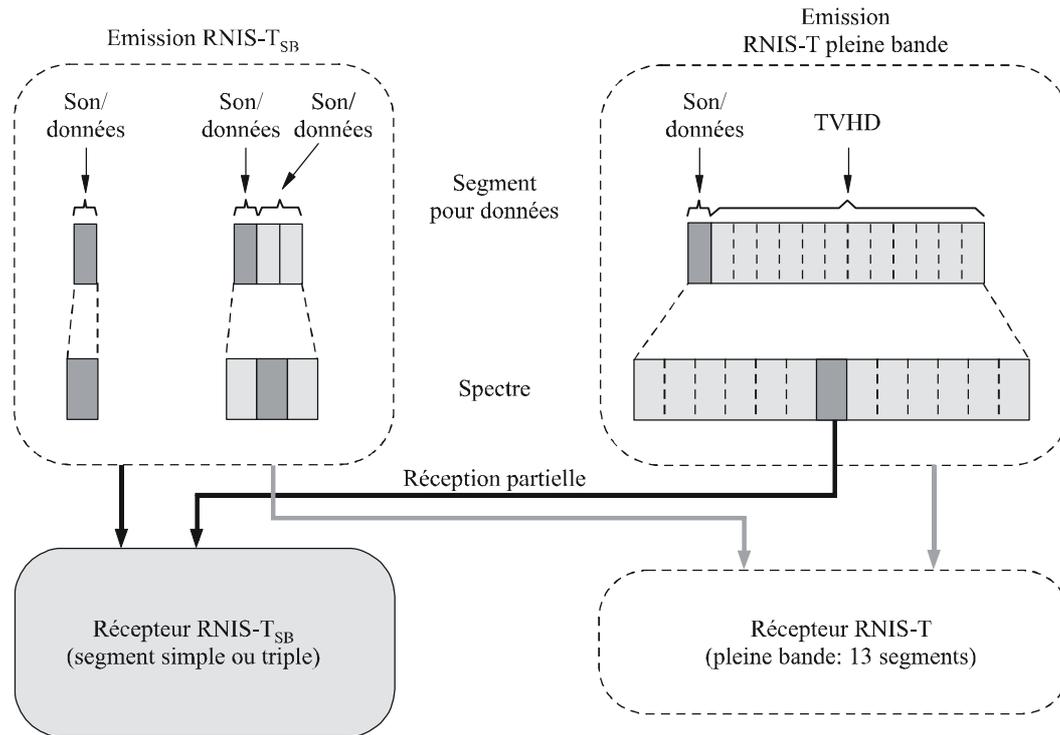
La Fig. 15 montre les concepts de transmission RNIS-T_{SB} et RNIS-T pleine bande ainsi que la réception correspondante.

2 Caractéristiques du Système F

2.1 Robustesse

Le Système F utilise la modulation à multiplexage MRFO, l'entrelacement fréquentiel et temporel bidimensionnel et des codes de correction d'erreur concaténés. Le MRFO est une méthode de modulation multiporteuse, insensible aux trajets multiples et qui, en particulier, ajoute un intervalle de garde dans le domaine temporel. L'information émise est répartie dans les domaines fréquentiel et temporel par entrelacement, puis elle est corrigée par le décodeur de Viterbi et le décodeur Reed-Solomon (RS). C'est ainsi que l'on obtient dans le récepteur un signal de haute qualité, même en présence d'une importante propagation par trajets multiples, que le récepteur soit fixe ou mobile.

FIGURE 15

RNIS-T_{SB} et RNIS-T pleine bande - Principe d'émission et réception

TVHD: Télévision à haute définition

1114-15

2.2 Grand choix de modes d'émission

Le Système F utilise la transmission BST-MRFO à un ou trois segments MRFO, c'est-à-dire la transmission à segment simple ou triple. La largeur de bande du segment MRFO est définie d'une des trois manières selon le gabarit de canal de référence, soit 6, 7 ou 8 MHz. La largeur de bande est égale au quatorzième de la largeur de bande du canal de référence (6, 7 ou 8 MHz), c'est-à-dire 429 kHz (6/14 MHz), 500 kHz (7/14 MHz) ou 571 kHz (8/14 MHz). La largeur de bande du segment MRFO doit être choisie en fonction de la situation des fréquences de chaque pays.

La largeur de bande d'un segment simple est d'environ 500 kHz, raison pour laquelle la largeur de bande en transmission à segment simple est de 500 kHz environ et celle de la transmission à segment triple de 1,5 MHz environ.

Le Système F propose un choix de trois modes de transmission qui permet d'utiliser une large gamme de fréquences d'émission et quatre longueurs d'intervalle de garde possibles pour la détermination de la distance entre émetteurs de réseau monofréquence. Ces modes de transmission ont été conçus pour faire face à l'étalement Doppler et à l'étalement temporel de propagation compte tenu de la réception mobile en présence d'échos par trajets multiples.

2.3 Souplesse

La structure multiplexée du Système F est entièrement conforme à l'architecture des systèmes MPEG-2. Pour cette raison, il est possible de transmettre simultanément plusieurs contenus numériques tels que son, texte, images fixes et/ou données.

Le radiodiffuseur peut aussi choisir, selon ses préférences, la méthode de modulation de la porteuse, le rendement de codage avec correcteur d'erreur, le temps d'entrelacement, etc., du système. Quatre méthodes de modulation de porteuse sont possibles, MDP-4D, MDP-4, MAQ-16 et MAQ-64, cinq taux de codage, 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8, et cinq temps d'entrelacement, de 0 à environ 1 s. La porteuse TMCC transmet au récepteur les informations sur le type de modulation et le taux de codage utilisés par le système.

2.4 Analogie et interopérabilité

Le Système F utilise la modulation BST-MRFO et les systèmes MPEG-2; il présente donc des éléments communs avec le système RNIS-T pour la radiodiffusion télévisuelle numérique de Terre (DTTB, *digital terrestrial television broadcasting*) au niveau de la couche physique, ainsi qu'avec les systèmes RNIS-T, RNIS-S, DVB-T et DVB-S qui utilisent les systèmes MPEG-2 dans la couche transport.

2.5 Transmission et codage de la source efficaces

Le Système F utilise le MRFO, une méthode de modulation très efficace au niveau de l'utilisation de la bande de fréquences qui permet aussi de faire des réseaux de radiodiffusion avec réutilisation des fréquences utilisant des émetteurs additionnels fonctionnant tous à la même fréquence rayonnée.

Par ailleurs, les canaux de radiodiffuseurs indépendants peuvent être transmis ensemble sans bande de garde par le même émetteur tant que la fréquence et la synchronisation des bits sont les mêmes dans les différents canaux.

Le Système F peut adopter le codage MPEG-2 AAC. La qualité «proche du CD» peut être obtenue au débit de 144 kbit/s pour la stéréophonie.

2.6 Indépendance des radiodiffuseurs

Il s'agit d'un système à bande étroite pour l'émission d'au moins un programme sonore. Pour cette raison, les radiodiffuseurs peuvent disposer de leur propre canal RF dans lequel ils peuvent choisir eux-mêmes les paramètres de transmission.

2.7 Faible consommation

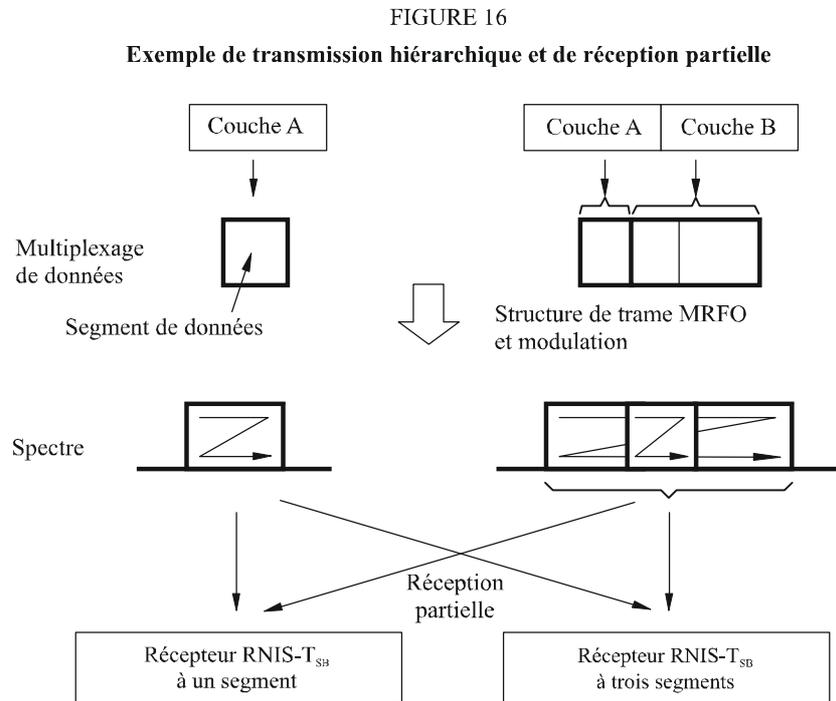
Pratiquement tous les dispositifs peuvent être rendus petits et légers par l'emploi de circuits intégrés à grande échelle. L'aspect le plus important des efforts visant à réduire la taille de la batterie est la faible consommation de courant du dispositif. Plus l'horloge du système est lente, plus la consommation est faible. Pour cette raison, un système à bande étroite, à faible débit tel que celui de la transmission par segment unique permet de réaliser un récepteur portatif et léger.

2.8 Transmission hiérarchique et réception partielle

Dans la transmission à triple segment, on peut obtenir tant un mode de transmission non hiérarchique que hiérarchique. En transmission hiérarchique, il y a deux couches, A et B. Les paramètres de transmission du système de modulation de la porteuse, les rendements de codage du code interne et le temps d'entrelacement peuvent être changés d'une couche à l'autre.

Le segment central de la transmission hiérarchique peut être reçu par un récepteur à segment unique. En raison de la structure commune du segment MRFO, le récepteur à segment unique peut partiellement recevoir le segment central d'un signal RNIS-T pleine bande lorsque celui-ci est utilisé pour la transmission d'un programme indépendant.

La Fig. 16 est un exemple de transmission hiérarchique et de réception partielle.



1114-16

3 Paramètres de transmission

On peut attribuer au Système F une disposition des canaux à 6 MHz, 7 MHz ou 8 MHz. La largeur de bande de segment est le quatorzième de la largeur de bande du canal, soit 429 kHz (6/14 MHz), 500 kHz (7/14 MHz) ou 571 kHz (8/14 MHz). Toutefois, la largeur de bande de segment peut être choisie en fonction de la situation des fréquences dans chaque pays.

Les paramètres de transmission du système RNIS-T_{SB} sont reproduits dans le Tableau 9.

4 Codage de la source

La structure multiplexée du Système F est entièrement conforme à l'architecture des systèmes MPEG-2; il est donc possible de transmettre dans le flux de transport MPEG-2 des paquets contenant des signaux audio numériques comprimés. Les méthodes de compression audio numérique telles que MPEG-2 Couche II audio (spécifiée dans l'ISO/CEI 13818-3), AC-3 (norme de compression audio numérique spécifiée dans le Document ATSC A/52) et MPEG-2 AAC (spécifiée dans l'ISO/CEI 13818-7) peuvent être appliquées au Système F.

TABLEAU 9

Paramètres de transmission du système RNIS-T_{SB}

Mode		Mode 1	Mode 2	Mode 3
Nombre total de segments ⁽¹⁾ ($N_s = n_d + n_c$)		1, 3		
Gabarit de canal de référence (BW_f) (MHz)		6, 7, 8		
Largeur de bande de segment (BW_s) (kHz)		$BW_f \times 1000/14$		
Largeur de bande utilisée (BW_u) (kHz)		$BW_s \times N_s + C_s$		
Nombre de segments pour modulation différentielle		n_d		
Nombre de segments pour modulation cohérente		n_c		
Espacement des porteuses (C_s) (kHz)		$BW_s/108$	$BW_s/216$	$BW_s/432$
Nombre de porteuses	Total	$108 \times N_s + 1$	$216 \times N_s + 1$	$432 \times N_s + 1$
	Données	$96 \times N_s$	$192 \times N_s$	$384 \times N_s$
	SP ⁽²⁾	$9 \times n_c$	$18 \times n_c$	$36 \times n_c$
	CP ⁽²⁾	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC ⁽³⁾	$n_c + 5 \times n_d$	$2 \times n_c + 10 \times n_d$	$4 \times n_c + 20 \times n_d$
	AC1 ⁽⁴⁾	$2 \times N_s$	$4 \times N_s$	$8 \times N_s$
	AC2 ⁽⁴⁾	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
Modulation de porteuse		MDP-4D, MDP-4, MAQ-16, MAQ-64		
Nombre de symboles par trame		204		
Durée utile du symbole (T_u) (µs)		$1000/C_s$		
Durée d'intervalle de garde (T_g)		$1/4, 1/8, 1/16$ ou $1/32$ de T_u		
Durée de symbole totale (T_s)		$T_u + T_g$		
Durée de trame (T_f)		$T_s \times 204$		
Échantillons TFR (F_s)		256 ($N_s = 1$) 512 ($N_s = 3$)	512 ($N_s = 1$) 1024 ($N_s = 3$)	1024 ($N_s = 1$) 2048 ($N_s = 3$)
Horloge d'échantillonnage TFR (F_{sc}) (MHz)		$F_{sc} = F_s/T_u$		
Code interne		Code convolutionnel (taux de codage = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8) (code mère = 1/2)		
Code externe		Code RS (204,188)		
Paramètre d'entrelacement temporel (I)		0, 4, 8, 16, 32	0, 2, 4, 8, 16	0, 1, 2, 4, 8
Durée d'entrelacement temporel		$I \times 95 \times T_s$		

TFR: transformée de Fourier rapide

- (1) Le Système F utilise un ou trois segments pour les services audio, mais tout nombre de segments peut être utilisé pour d'autres services tels que la télévision. (Voir le Système C de la Recommandation UIT-R BT.1306).
- (2) On peut utiliser les porteuses pilotes réparties (SP, *scattered pilot*) ou les porteuses pilotes continues (CP, *continual pilot*) pour la synchronisation des fréquences et l'estimation des canaux. Le nombre de porteuses CP englobe toutes les porteuses CP sur tous les segments et une porteuse CP pour le bord supérieur de l'ensemble de la largeur de bande.
- (3) La commande TMCC achemine l'information sur les paramètres de transmission.
- (4) Le canal auxiliaire (AC, *auxiliary channel*) achemine les informations auxiliaires relatives au fonctionnement du réseau.

5 Multiplexage

Le multiplexage du Système F est compatible avec le flux de transport MPEG-2 (TS) de l'ISO/CEI 13818-1. De plus, la trame de multiplexage et les descripteurs TMCC sont définis pour la transmission hiérarchique avec un seul flux de transport.

En ce qui concerne l'interopérabilité maximale entre un certain nombre de systèmes de radiodiffusion numérique, tels que le RNIS-S défini dans la Recommandation UIT-R BO.1408, RNIS-T défini dans la Recommandation UIT-R BT.1306 (Système C) et le service de radiodiffusion (sonore) par satellite utilisant la bande 2,6 GHz défini dans la Recommandation UIT-R BO.1130 (Système E), ceux-ci peuvent échanger des flux de données de radiodiffusion avec d'autres systèmes de radiodiffusion à travers cette interface.

5.1 Trame multiplex

Pour les besoins de la transmission hiérarchique au moyen du système BST-MRFO, le système RNIS-T_{SB} définit une trame multiplex de flux de transport dans le contexte des systèmes MPEG-2. Dans la trame multiplex, le flux de transport est un flux continu de 204 octets (paquet de flux de transport RS (RS-TSP, *Reed Solomon-transport stream packet*)) composé de 188 octets TSP et de 16 octets de données nulles ou la parité RS.

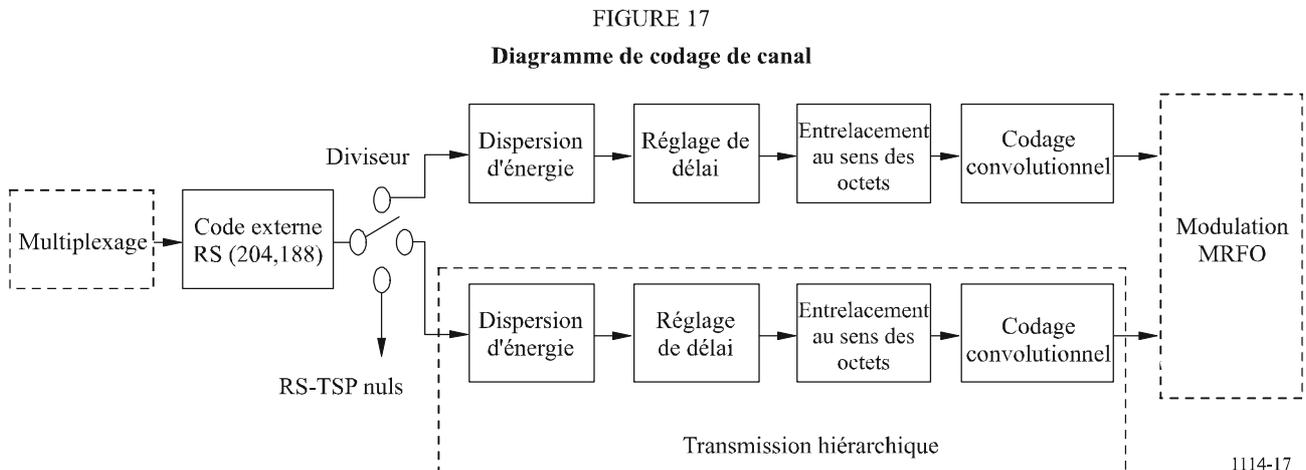
La durée de la trame multiplex est réglée sur celle de la trame MRFO par comptage des paquets RS-TSP au moyen d'une horloge deux fois plus rapide que l'horloge d'échantillonnage de TFR inverse (TFRI) dans le cas de transmission à simple segment. Dans le cas de la transmission à triple segment, la durée de la trame multiple est réglée sur celle de la trame MRFO par comptage des paquets RS-TSP au moyen d'une horloge quatre fois plus rapide que l'horloge d'échantillonnage TFRI.

6 Codage de canal

La présente section décrit le bloc de codage de canal qui reçoit les paquets disposés dans la trame multiplex et dirige les blocs codés canal vers le bloc de modulation MRFO.

6.1 Schéma de principe fonctionnel du codage de canal

La Fig. 17 est le schéma fonctionnel de codage de canal du système RNIS-T_{SB}.



La durée de la trame multiplex coïncide avec la trame MRFO par comptage des octets dans la trame multiplex utilisant une horloge plus rapide que l'horloge d'échantillonnage TFRI décrite dans la section précédente.

A l'interface entre le bloc multiplex et le bloc de codage extérieur, l'octet de tête de la trame multiplex (correspondant à l'octet de synchronisation du flux de paquets TSP) est considéré comme l'octet de tête de la trame MRFO. Au niveau des bits, le bit de plus fort poids (MSB, *most significant bit*) de l'octet de tête est considéré comme le bit de synchronisation de la trame MRFO.

Pour la transmission structurée en couches à trois segments, le flux RS-TSP est divisé en deux couches conformément aux informations de commande de transmission. Dans chaque couche, le rendement de codage du code de correction d'erreur interne, le système de modulation de porteuse et la durée de l'entrelacement temporel peuvent être spécifiés individuellement.

6.2 Codage externe

Le code raccourci RS (204,188) est appliqué à chaque paquet MPEG-2 TSP pour produire un paquet TSP protégé contre les erreurs qui est le RS-TSP. Le code RS (208,188) peut corriger jusqu'à huit octets erronés aléatoires dans un mot de 204 octets reçu.

Polynôme générateur du corps: $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

Polynôme générateur du code: $g(x) = (x - \lambda^0)(x - \lambda^1)(x - \lambda^2)(x - \lambda^3) \dots (x - \lambda^{15})$

où $\lambda = 02_h$

Il convient de noter que les paquets TSP nuls provenant du multiplexeur sont également codés en paquets RS (204,188).

Les paquets MPEG-2 TSP et RS-TSP (paquets TSP protégés contre les erreurs RS) sont montrés à la Fig. 18. Le paquet TSP protégé contre les erreurs RS est également appelé paquet TSP de transmission.

FIGURE 18

Paquets MPEG-2 TSP et RS-TSP (TSP de transmission)

Synchronisation 1 octet	Données de transport multiplexées MPEG-2 187 octets
----------------------------	---

a) TSP MPEG-2

Synchronisation 1 octet	Données de transport multiplexées MPEG-2 187 octets	16 octets de parité
----------------------------	---	------------------------

b) Paquets RS-TSP (TSP de transmission) et paquets TSP protégés contre les erreurs, RS(204,188)

1114-18

6.3 Dispersion d'énergie

Pour qu'il y ait suffisamment de transitions binaires, les données provenant du diviseur sont rendues aléatoires au moyen d'une séquence binaire pseudo-aléatoire (PRBS, *pseudo-random binary sequence*).

Le polynôme du générateur de séquence PRBS sera:

$$g(x) = x^{15} + x^{14} + 1$$

6.4 Réglage des retards

Dans l'entrelacement des octets, le retard causé par le processus d'entrelacement est différent d'un flux à l'autre des différentes couches selon ses propriétés (c'est-à-dire modulation et codage de canal). Afin de compenser cette différence de retard, y compris le retard de désentrelacement dans le récepteur, le réglage du retard est effectué avant l'entrelacement des octets du côté émission.

6.5 Entrelacement des octets (entrelacement entre codes)

L'entrelacement convolutionnel des octets avec une longueur de $I = 12$ est appliqué aux paquets de 204 octets protégés contre les erreurs et rendus aléatoires. L'entrelacement peut être composé de $I = 12$ branches, cycliquement connectées au flux d'octets d'entrée par le commutateur d'entrée. Chaque branche j doit être un registre à décalage de type «premier arrivé – premier sorti» (FIFO, *first-in first-out*), d'une longueur de $j \times 17$ octets. Les cellules du registre FIFO doivent contenir un octet et les commutateurs d'entrée et de sortie doivent être synchronisés.

Le désentrelacement est analogue sur le principe à l'entrelacement, mais les indices des branches sont inversés. Le retard total produit par l'entrelacement et le désentrelacement est de $17 \times 11 \times 12$ octets (correspondant à 11 paquets TSP).

6.6 Codage interne (codes convolutionnels)

Le Système F doit disposer d'une gamme de codages convolutionnels discontinus fondés sur un code convolutionnel mère de taux 1/2 à 64 états. Les taux de codage de ces codes sont 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8. Cela permet de sélectionner la propriété la plus appropriée de correction d'erreur pour un service donné ou un débit donné dans les services RNIS-T_{SB}, y compris les services mobiles. Les polynômes générateurs du code mère sont de $G_1 = 171_{\text{oct}}$ pour la sortie X et de $G_2 = 133_{\text{oct}}$ pour la sortie Y.

7 Modulation

La configuration du bloc de modulation est montrée dans les Fig. 19 et 20. Après l'entrelacement des bits, les données de chaque couche sont mappées dans le domaine complexe.

7.1 Réglage du retard pour l'entrelacement de bits

L'entrelacement de bits produit un retard de 120 données complexes ($I + jQ$), comme indiqué dans le paragraphe qui suit. En ajoutant le retard approprié, le retard total dans l'émetteur et le récepteur est ajusté à la valeur de deux symboles MRFO.

7.2 Entrelacement et mappage de bits

On peut choisir un des systèmes de modulation de porteuse MDP-4D, MDP-4, MAQ-16 ou MAQ-64. La séquence de bits série à la sortie du codeur interne est convertie en séquence parallèle à 2 bits pour subir le mappage MDP-4D mode $\pi/4$ ou le mappage MDP-4, par lequel n bits de données de l'axe I et de l'axe Q sont remis. Le nombre n peut dépendre de la réalisation matérielle. En modulation MAQ-16, la séquence est convertie en séquence parallèle à 4 bits. En modulation MAQ-64, elle est convertie en séquence parallèle à 6 bits. Après la conversion série-parallèle, l'entrelacement des bits est effectué par l'insertion d'un retard de 120 bits au maximum.

FIGURE 19

Diagramme de bloc de modulation

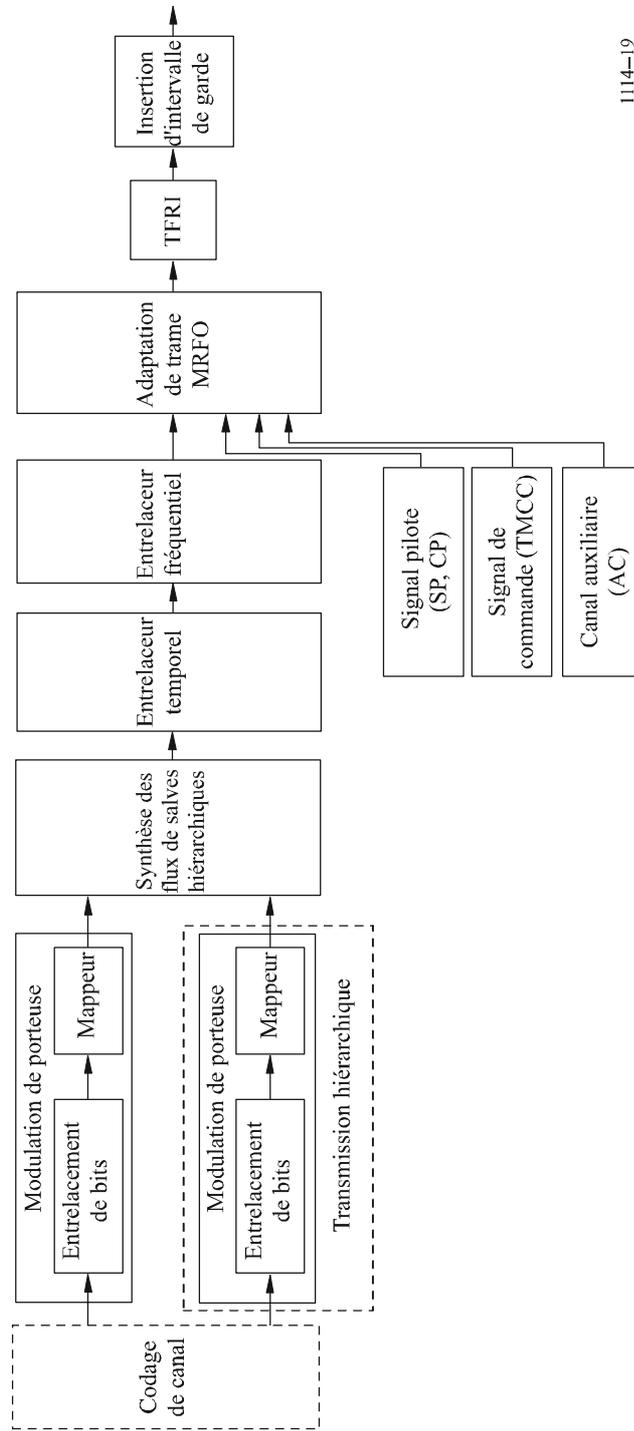
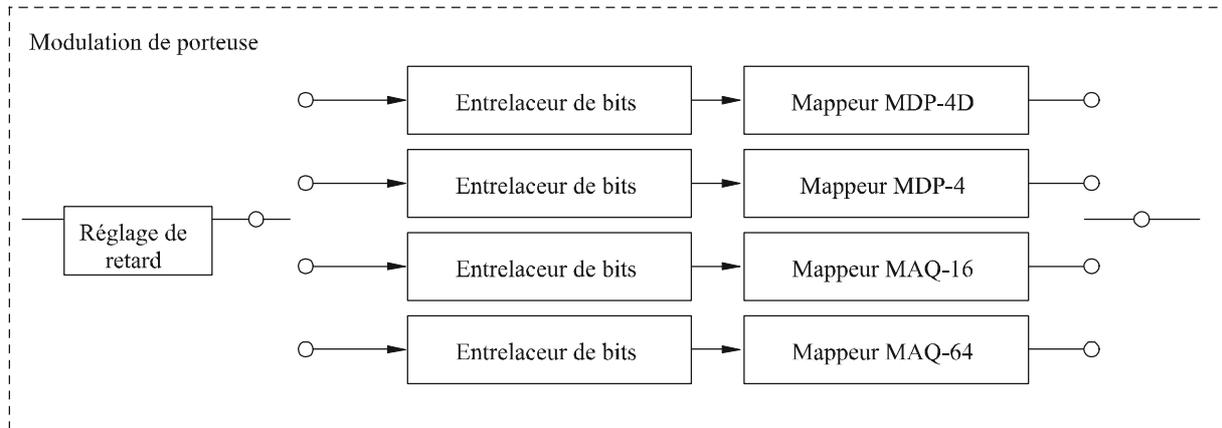


FIGURE 20

Configuration du bloc de modulation de porteuse



1114-20

7.3 Segment de données

Le segment de données est défini comme étant un tableau d'adresses pour les données complexes sur lesquelles seront exécutés les conversions de taux, l'entrelacement temporel et l'entrelacement fréquentiel. Le segment de données correspond à la portion des données du segment MRFO.

7.4 Synthèse des flux de données de couche

Après avoir été codées pour le canal et mappées, les données complexes de chaque couche sont introduites à chaque symbole dans des segments de données préattribués.

Les données enregistrées dans tous les segments de données sont lues cycliquement au moyen de l'horloge d'échantillonnage TFRI; ensuite sont effectuées les conversions de taux et la synthèse des flux de données de couches.

7.5 Entrelacement temporel

Après la synthèse, s'effectue l'entrelacement temporel au sens des symboles. La longueur de l'entrelacement temporel peut varier de 0 à 1 s environ et doit être spécifiée pour chaque couche.

7.6 Entrelacement fréquentiel

L'entrelacement fréquentiel est constitué de l'entrelacement fréquentiel intersegment, d'une rotation de porteuses intrasegment et d'une randomisation de porteuses intrasegment. L'entrelacement fréquentiel intersegment est pris entre les segments ayant le même système de modulation. L'entrelacement fréquentiel intersegment peut être effectué uniquement en transmission à trois segments. Après la rotation de porteuses, la randomisation de porteuses est effectuée selon le tableau de randomisation.

7.7 Structure de trame de segment MRFO

Les segments de données sont disposés en trames de segments MRFO tous les 204 symboles par l'adjonction de pilotes tels que le CP et le SP, la TMCC et l'AC. La phase de modulation du pilote CP est fixée à chaque symbole MRFO. Le pilote SP est introduit toutes les 12 porteuses et tous les 4 symboles MRFO en cas de méthode de modulation cohérente. La porteuse TMCC achemine des paramètres de transmission tels que la modulation de porteuse, le taux de codage

et l'entrelacement temporel pour la commande du récepteur. La porteuse AC achemine les informations auxiliaires.

8 Masque spectral

Le spectre du signal rayonné en transmission à simple segment du système à segment 6/14 MHz doit être confiné par le masque défini dans la Fig. 21 et dans le Tableau 10. Le niveau du signal aux fréquences extérieures à la largeur de bande 429 kHz (6/14 MHz) peut être réduit par l'application d'un filtrage approprié.

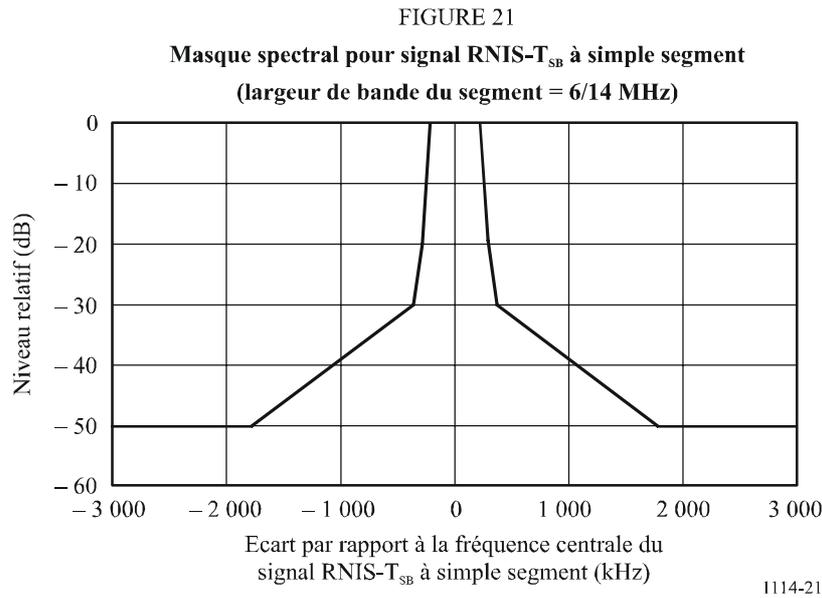


TABLEAU 10

Valeurs seuils du masque spectral pour la transmission à simple segment
(largeur de bande du segment = 6/14 MHz)

Ecart de fréquence par rapport à la fréquence centrale du signal transmis (kHz)	Niveau relatif (dB)
±220	0
±290	-20
±360	-30
±1790	-50

NOTE 1 – Le spectre du signal rayonné est mesuré au moyen d'un analyseur de spectre. La largeur de bande de résolution de l'analyseur spectral doit être mise à 10 kHz ou 3 kHz. La largeur de bande vidéo se situe entre 300 Hz et 30 kHz, et il est souhaitable d'effectuer un moyennage vidéo. L'excursion de fréquence est réglée à la valeur minimale requise pour mesurer le masque spectral de transmission.

La Fig. 22 et le Tableau 11 définissent le masque spectral de la transmission à triple segment du système à segment 6/14 MHz.

NOTE 1 – Le masque spectral des systèmes à segments 7/14 MHz et 8/14 MHz devrait être modifié en fonction de la forme spectrale de son système.

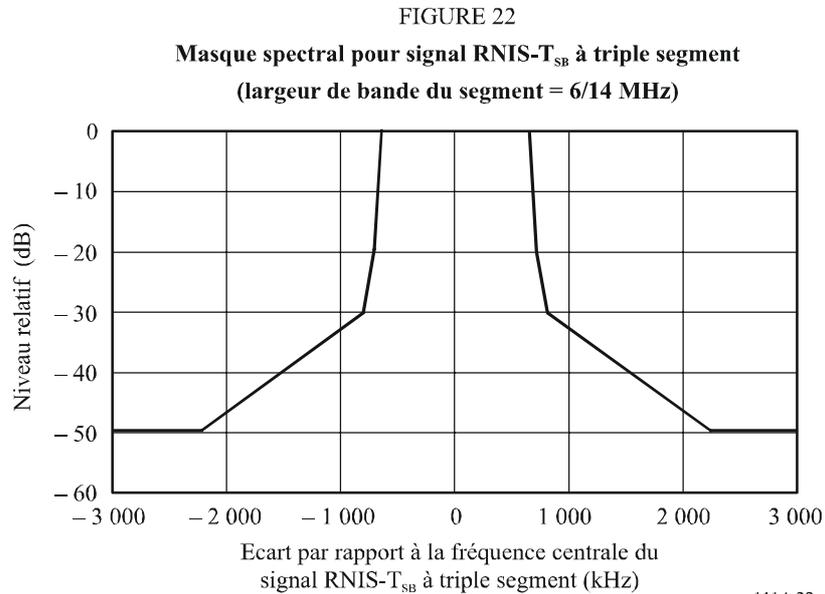


TABLEAU 11

**Valeurs seuils du masque spectral pour la transmission
à triple segment (largeur de bande
du segment = 6/14 MHz)**

Ecart par rapport à la fréquence centrale du signal sonore numérique de Terre (kHz)	Niveau relatif (dB)
±650	0
±720	-20
±790	-30
±2 220	-50

9 Caractéristiques de performance RF

Les tests d'évaluation RF ont été effectués sur un système RNIS-T_{SB} dans diverses conditions de transmission. Les résultats des essais en laboratoire sont décrits dans la présente section.

Des expériences ont été faites en laboratoire pour établir les caractéristiques de TEB en fonction du bruit aléatoire et des évanouissements par trajets multiples. Les mesures de TEB en fonction du rapport porteuse/bruit, (C/N), dans le canal de transmission ont été menées dans les conditions ci-après (voir le Tableau 12).

TABLEAU 12

Paramètres de transmission pour essais en laboratoire

Nombre de segments	1 (Largeur de bande: 429 kHz)
Mode de transmission	3 (Durée de symbole utile: 1,008 ms)
Nombre de porteuses	433
Modulations des porteuses	MDP-4D, MAQ-16 et MAQ-64
Intervalle de garde	63 μ s (taux d'intervalle de garde: 1/16)
Rendement du code interne	1/2, 2/3, 3/4 et 7/8
Entrelacement temporel	0 et 407 ms

9.1 TEB en fonction du rapport C/N dans un canal gaussien

Du bruit blanc gaussien additif a été ajouté pour établir le rapport C/N à l'entrée du récepteur. Les résultats sont présentés dans les Fig. 23, 24 et 25. On peut comparer ces valeurs à celles obtenues en simulation par ordinateur pour faire apparaître les performances inhérentes au système. On constate qu'une perte de marge de mise en œuvre inférieure à 1 dB a été obtenue pour un TEB de 2×10^{-4} avant le décodage RS.

FIGURE 23

TEB avant décodage RS en fonction du rapport C/N
(Mode de transmission: 3, modulation de porteuse: MDP-4D,
entrelacement temporel: 407 ms): canal gaussien

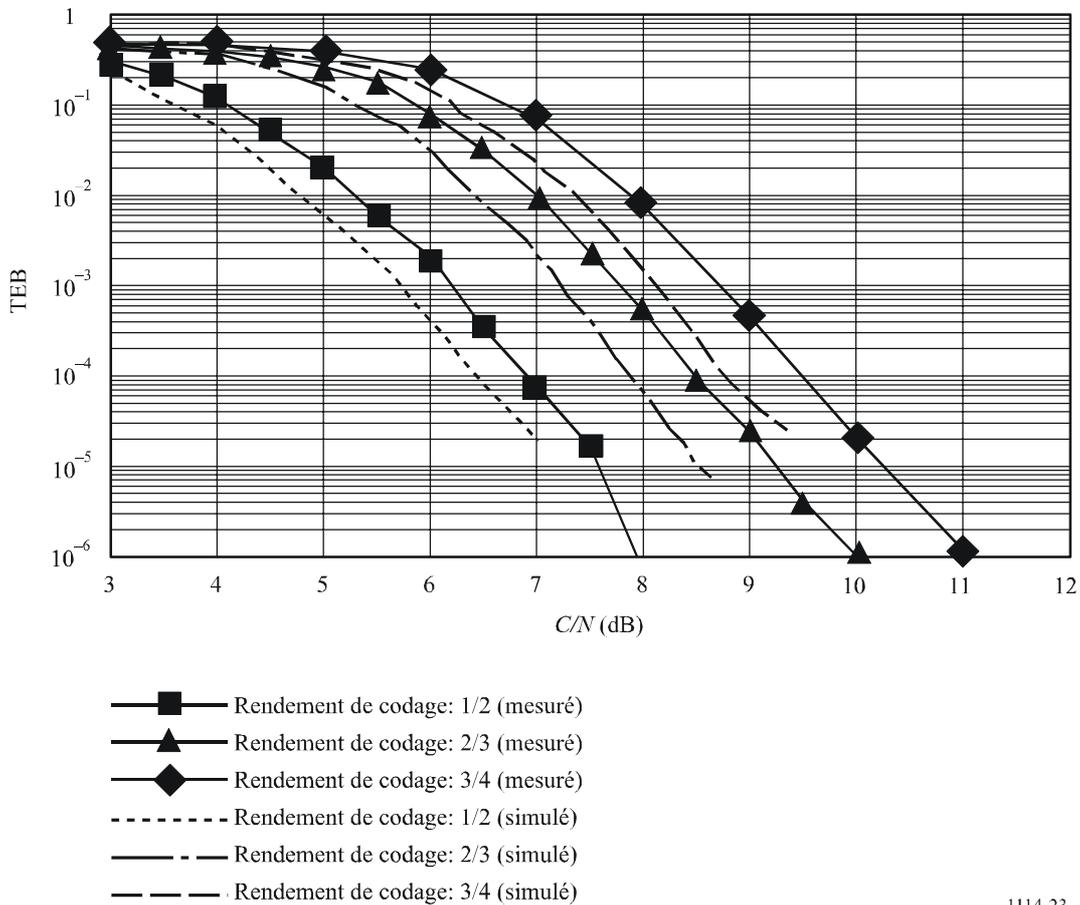
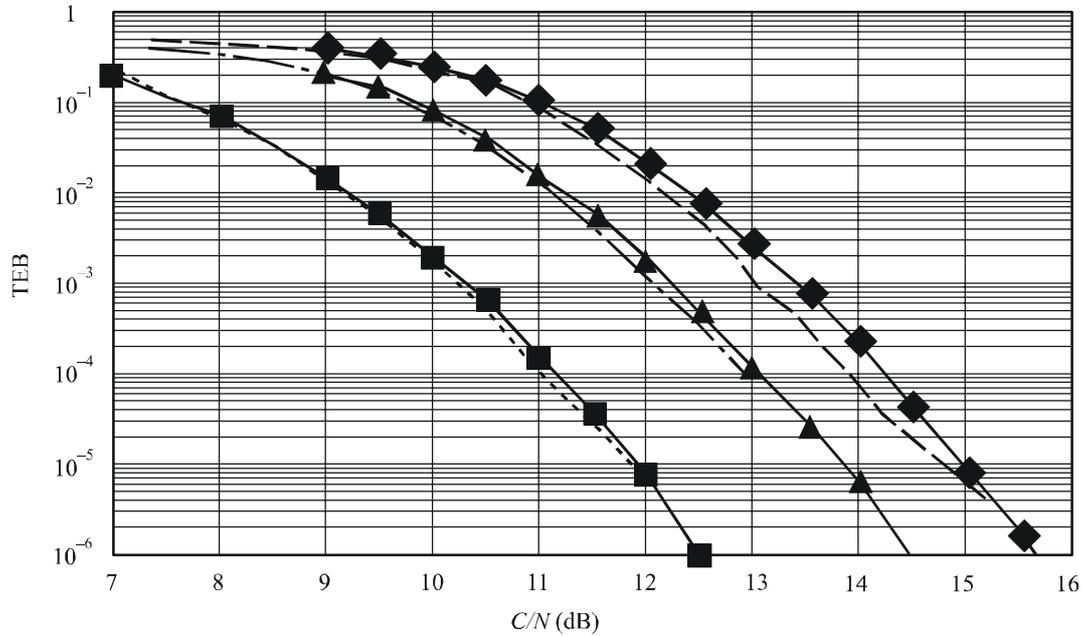


FIGURE 24

TEB avant décodage RS en fonction du rapport C/N
 (Mode de transmission: 3, modulation de porteuse: MAQ-16,
 entrelacement temporel: 407 ms): canal gaussien

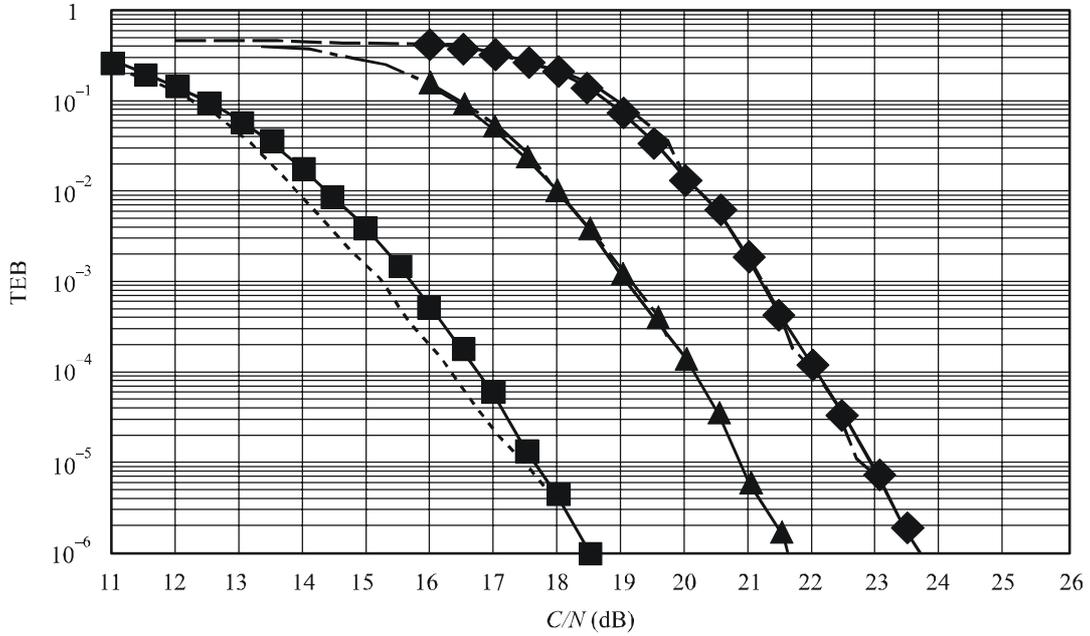


- Rendement de codage: 1/2 (mesuré)
- ▲— Rendement de codage: 2/3 (mesuré)
- ◆— Rendement de codage: 3/4 (mesuré)
- Rendement de codage: 1/2 (simulé)
- - — Rendement de codage: 2/3 (simulé)
- - - Rendement de codage: 3/4 (simulé)

FIGURE 25

TEB avant décodage en fonction du rapport C/N

(Mode de transmission: 3, modulation de porteuse: MAQ-64,
entrelacement temporel: 407 ms): canal gaussien



- Rendement de codage: 1/2 (mesuré)
- ▲— Rendement de codage: 3/4 (mesuré)
- ◆— Rendement de codage: 7/8 (mesuré)
- - - Rendement de codage: 1/2 (simulé)
- - - Rendement de codage: 3/4 (simulé)
- - - Rendement de codage: 7/8 (simulé)

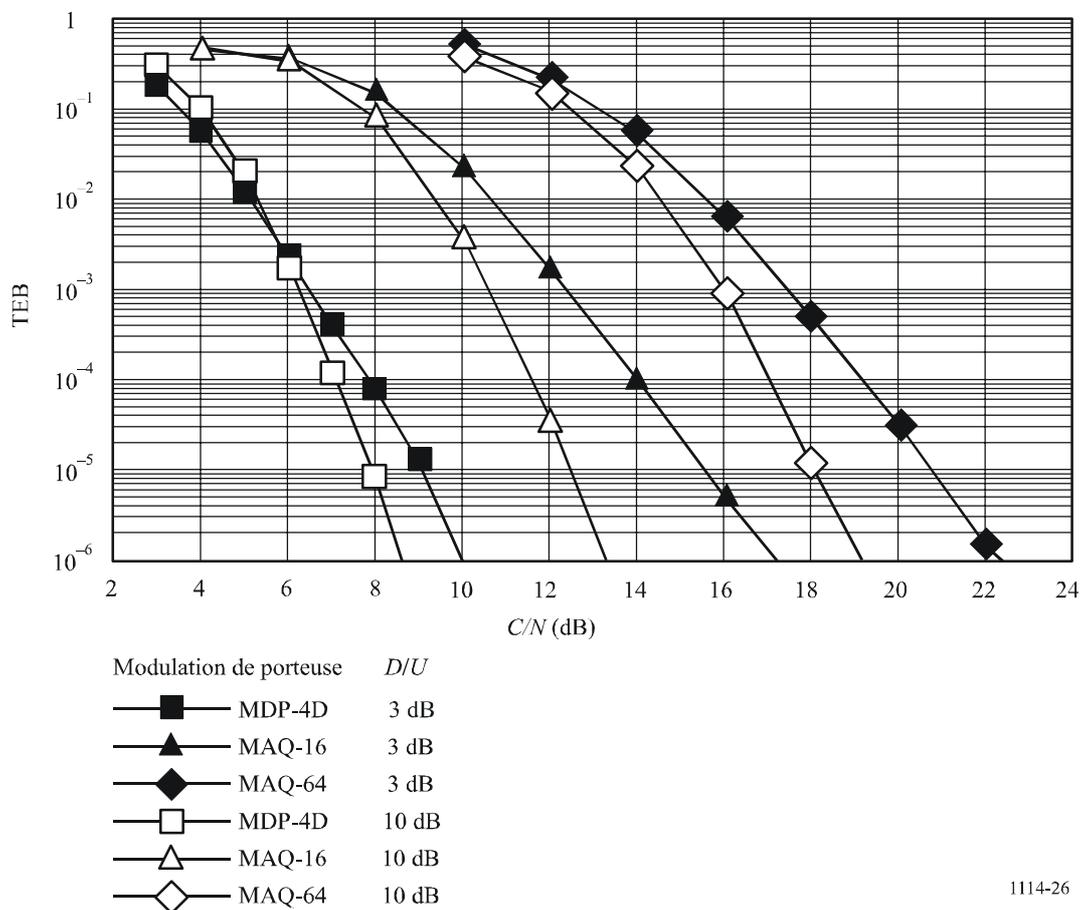
9.2 TEB en fonction du rapport C/N dans un canal à trajets multiples

Les mesures de TEB en fonction du rapport C/N ont été faites au moyen d'un simulateur de canal à trajets multiples. Le rapport du niveau du signal utile et du niveau du signal brouilleur ou non désiré (D/U , *desired signal level, undesired or interfering signal level*) du signal principal et du signal retardé a été fixé à 3 et 10 dB. Le retard du signal retardé par rapport au signal principal a été fixé à 15 μ s. Les résultats sont présentés dans la Fig. 26.

FIGURE 26

TEB avant décodage RS en fonction du rapport C/N

(Mode de transmission: 3, rendement de codage: 1/2,
entrelacement temporel: 407 ms): canal à trajets multiples

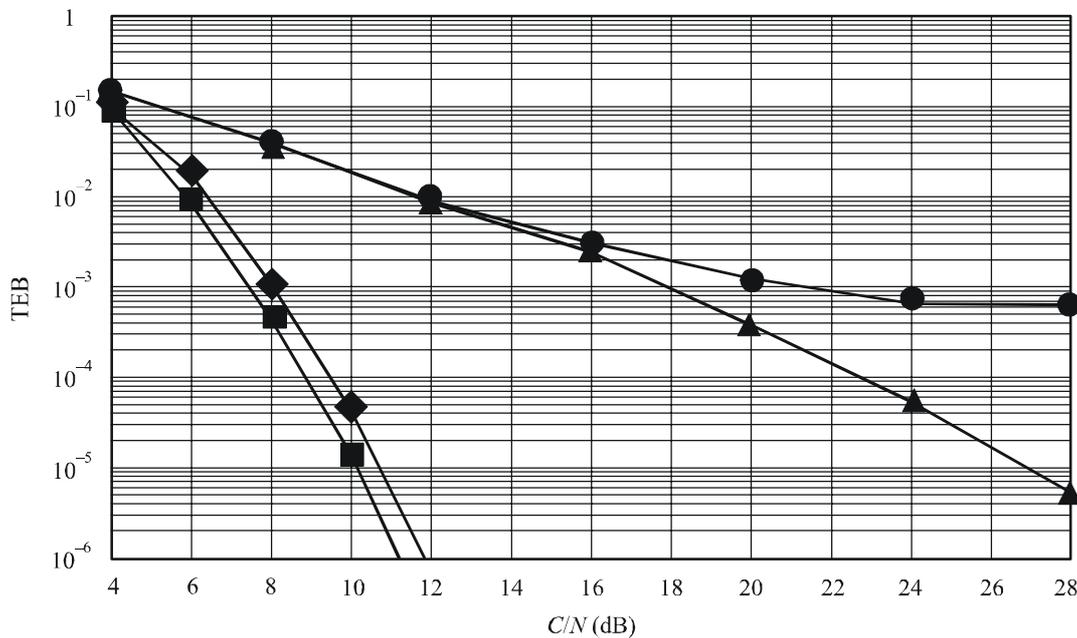


9.3 TEB en fonction du rapport C/N dans un canal de Rayleigh

Des mesures de TEB en fonction du rapport C/N ont été faites au moyen d'un simulateur de canal avec évanouissement. Le canal a été réglé pour figurer un canal avec évanouissement à répartition de Rayleigh à deux trajets et le rapport D/U des deux trajets a été fixé à 0 dB. La durée du signal retardé a été réglée à 15 µs. Les fréquences Doppler maximales du signal ont été fixées à 5 et 20 Hz. Les résultats sont présentés dans la Fig. 27.

FIGURE 27

TEB avant décodage RS en fonction du rapport C/N
 (Mode de transmission: 3, modulation de porteuse: MDP-4D,
 rendement de codage: 1/2): canal de Rayleigh à deux trajets



- Entrelacement temporel: 407 ms
Fréquence d'évanouissement: 20 Hz
- ▲ Entrelacement temporel : 0 ms
Fréquence d'évanouissement: 5 Hz
- ◆ Entrelacement temporel : 407 ms
Fréquence d'évanouissement: 5 Hz
- Entrelacement temporel : 0 ms
Fréquence d'évanouissement: 20 Hz

Annexe 4

Systeme numérique C

1 Aperçu du système

Le Système numérique C emploie la technologie IBOC pour faciliter l'introduction de la radio-diffusion sonore numérique. Celle-ci permet aux radiodiffuseurs de procéder à des mises à niveau par rapport à leur service analogique en offrant une plus grande fidélité audio, une meilleure robustesse des signaux et des services auxiliaires étendus. Les radiodiffuseurs peuvent procéder à ces mises à niveau sans que de nouvelles attributions de fréquences soient nécessaires pour le signal numérique; en effet, la technologie IBOC permet aux stations existantes de diffuser les mêmes programmes en analogique et en numérique. Ainsi, grâce à cette technologie, qui permet d'utiliser efficacement le spectre, le passage de l'environnement analogique existant à un environnement numérique peut se faire de façon rationnelle.

2 Couches IBOC

Les spécifications détaillées de qualité de fonctionnement IBOC sont organisées sur la base du modèle en couches de l'interconnexion des systèmes ouverts de l'Organisation internationale de normalisation (modèle OSI de l'ISO). Chaque couche OSI du système de radiodiffusion a une couche correspondante, appelée homologue, dans le système de réception. La fonctionnalité de ces couches est telle que la combinaison des couches inférieures a pour effet d'établir une communication virtuelle entre une couche donnée et son homologue de l'autre côté.

2.1 Couche 1 hybride

La Couche 1 (L1, *Layer 1*) du Système numérique C convertit les informations et les commandes de système provenant de la Couche 2 (L2, *Layer 2*) pour les insérer dans l'onde IBOC en vue d'une transmission dans la bande d'ondes métriques. Les informations et les commandes sont mises dans des trames de transfert discrètes et transportées dans plusieurs canaux logiques via les points d'accès au service (SAP, *service access point*) de la L1. Ces trames de transfert sont également appelées respectivement unités de données de service (SDU, *service data unit*) et unités de commandes de service (SCU, *service control unit*) de la L2.

La taille et le format des unités SDU de la L2 varient en fonction du mode de service. Celui-ci, composante importante des commandes de système, détermine les caractéristiques de transmission de chaque canal logique. Après évaluation des besoins des applications candidates, les couches de protocole supérieures choisissent les modes de service permettant de configurer au mieux les canaux logiques. La multiplicité des canaux logiques est le reflet de la souplesse intrinsèque du système, qui permet de diffuser simultanément diverses classes d'audio numérique et des données.

La L1 reçoit aussi des commandes de système sous forme d'unités SCU en provenance de la L2. Les commandes de système sont traitées dans le processeur des commandes de système.

Les paragraphes qui suivent présentent:

- un aperçu des types d'onde et des spectres;
- un aperçu des commandes de système, y compris les modes de service disponibles;
- un aperçu des canaux logiques;
- une description de haut niveau de chacune des composantes fonctionnelles constituant la L1 de l'interface hertzienne MF.

2.2 Types d'onde et spectres

Trois nouveaux types d'onde: hybride, hybride étendu et tout numérique sont prévus dans la conception, ce qui permet d'introduire avec souplesse un système de radiodiffusion numérique. Pour les types hybride et hybride étendu, le signal MF analogique est conservé tandis que pour le type tout numérique, il ne l'est pas. Les spectres associés à ces trois types d'onde sont bien au-dessous du gabarit des émissions spectrales attribué tel qu'il est actuellement défini par la Federal Communications Commission (FCC).

Le signal numérique est modulé par la technique du multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence MRFO. La technique MRFO est une technique de modulation parallèle dans laquelle le flux de données module un grand nombre de sous-porteuses orthogonales, qui sont transmises simultanément. Elle est intrinsèquement souple, permettant une mise en correspondance directe des canaux logiques avec différents groupes de sous-porteuses.

Les paramètres de temps associés aux symboles sont définis dans le Tableau 13.

TABLEAU 13
Paramètres de temps associés aux symboles

Nom du paramètre	Symbole	Unité	Valeur exacte	Valeur calculée (4 chiffres significatifs)
Espacement des sous-porteuses MRFO	Δf	Hz	1 488 375/4 096	363,4
Largeur de préfixe cyclique	α	Aucune	7/128	$5,469 \times 10^{-2}$
Durée d'un symbole MRFO	T_s	s	$(1 + \alpha) / \Delta f =$ $(135/128) \cdot (4 096/1 488 375)$	$2,902 \times 10^{-3}$
Débit de symboles MRFO	R_s	Hz	$= 1/T_s$	344,5
Durée d'une trame L1	T_f	s	$65 536/44 100 = 512 \cdot T_s$	1,486
Débit de trames L1	R_f	Hz	$= 1/T_f$	$6,729 \times 10^{-1}$
Durée d'un bloc L1	T_b	s	$= 32 \cdot T_s$	$9,288 \times 10^{-2}$
Débit de blocs L1	R_b	Hz	$= 1/T_b$	10,77
Durée d'un couple de blocs L1	T_p	s	$= 64 \cdot T_s$	$1,858 \times 10^{-1}$
Débit d'un couple de blocs L1	R_p	Hz	$= 1/T_p$	5,383
Nombre de trames pour le retard lié à la diversité	N_{dd}	Aucune	= nombre de trames L1 pour le retard lié à la diversité	3

2.2.1 Type d'onde hybride

Pour le type d'onde hybride, le signal numérique est transmis dans les bandes latérales principales primaires d'un côté ou de l'autre du signal MF analogique. Le niveau de puissance de chaque bande latérale est inférieur d'environ 23 dB à la puissance totale du signal MF analogique. Le signal analogique peut être mono ou stéréophonique, et il peut inclure des canaux de type (SCA, *subsidiary communications authorization*, communications secondaires autorisées).

2.2.2 Type d'onde hybride étendu

Pour le type d'onde hybride étendu, la largeur des bandes latérales associée au type d'onde hybride peut être étendue en direction du signal MF analogique afin d'augmenter la capacité numérique. Ce spectre supplémentaire, attribué vers le bord interne de chaque bande latérale principale primaire, est appelé bande latérale étendue primaire.

2.2.3 Type d'onde tout numérique

C'est avec le type d'onde tout numérique que les améliorations de système sont les plus grandes; en effet, pour ce type d'onde, le signal analogique est supprimé et la largeur des bandes latérales numériques primaires est entièrement étendue, de manière analogue au cas hybride étendu. De plus, pour ce type d'onde, des bandes latérales secondaires numériques de plus faible puissance peuvent être transmises dans le spectre libéré par le signal MF analogique.

2.3 Canal de commande du système

Le canal de commande du système (SCCH, *system control channel*) transporte des commandes et des informations d'état. Les modes de service primaires et secondaires et la commande de retard lié à la diversité sont transmis de la L2 à la L1, tandis que les informations de synchronisation sont transmises de la L1 à la L2.

Les modes de service, au nombre de onze, déterminent toutes les configurations admissibles des canaux logiques.

2.4 Canaux logiques

Un canal logique est un conduit de signaux qui transmet les unités SDU L2 sous forme de trames à la L1 avec une qualité de service donnée, fonction du mode de service. La L1 du Système numérique C fournit dix canaux logiques vers des protocoles de couche supérieure. Les canaux logiques ne sont pas tous utilisés dans chaque mode de service.

2.4.1 Canaux logiques primaires

Il existe quatre canaux logiques primaires, qui sont utilisés pour les types d'onde hybride et tout numérique. Ils sont désignés par P1, P2, P3 et les services de données IBOC primaires (PIDS, *primary IBOC data service*). Le Tableau 14 donne le débit d'informations théorique pris en charge par chaque canal logique primaire en fonction du mode de service primaire.

TABLEAU 14

Débit d'informations théorique des canaux logiques primaires

Mode de service	Débit d'informations théorique (kbit/s)				Type d'onde
	P1	P2	P3	PIDS	
MP1	25	74	0	1	Hybride
MP2	25	74	12	1	Hybride étendu
MP3	25	74	25	1	Hybride étendu
MP4	25	74	50	1	Hybride étendu
MP5	25	74	25	1	Hybride étendu, tout numérique
MP6	50	49	0	1	Hybride étendu, tout numérique
MP7	25	98	25	1	Hybride étendu, tout numérique

2.4.2 Canaux logiques secondaires

Il existe six canaux logiques secondaires, qui sont utilisés uniquement pour le type d'onde tout numérique. Ils sont désignés par S1, S2, S3, S4, S5 et les services de données IBOC secondaires (SIDS, *secondary IBOC data service*). Le Tableau 15 donne le débit d'informations théorique approximatif pris en charge par chaque canal logique secondaire en fonction du mode de service secondaire.

TABLEAU 15

Débit d'informations théorique approximatif des canaux logiques secondaires

Mode de service	Débit d'informations approximatif (kbit/s)						Type d'onde
	S1	S2	S3	S4	S5	SIDS	
MS1	0	0	0	98	6	1	Tout numérique
MS2	25	74	25	0	6	1	Tout numérique
MS3	50	49	0	0	6	1	Tout numérique
MS4	25	98	25	0	6	1	Tout numérique

2.4.3 Fonctionnalité des canaux logiques

Les canaux logiques P1 à P3 sont conçus pour acheminer des signaux audio et des données. Les canaux logiques S1 à S5 peuvent être configurés pour acheminer des données ou des signaux audio associés à un son environnant. Les canaux logiques PIDS et SIDS sont conçus pour acheminer des informations de service de données IBOC (IDS, *IBOC data service*).

La qualité de fonctionnement de chaque canal logique est complètement décrite par trois paramètres de caractérisation: transfert, temps d'attente et robustesse. Le codage de canal, la mise en correspondance spectrale, la profondeur d'entrelacement et le retard lié à la diversité sont les composantes de ces paramètres de caractérisation. Pour chaque mode de service, ces composantes sont configurées de façon univoque pour chaque canal logique actif, ce qui permet d'assigner des paramètres de caractérisation appropriés.

De plus, pour chaque mode de service, le verrouillage et la synchronisation des trames de transfert sont spécifiés pour chaque canal logique actif.

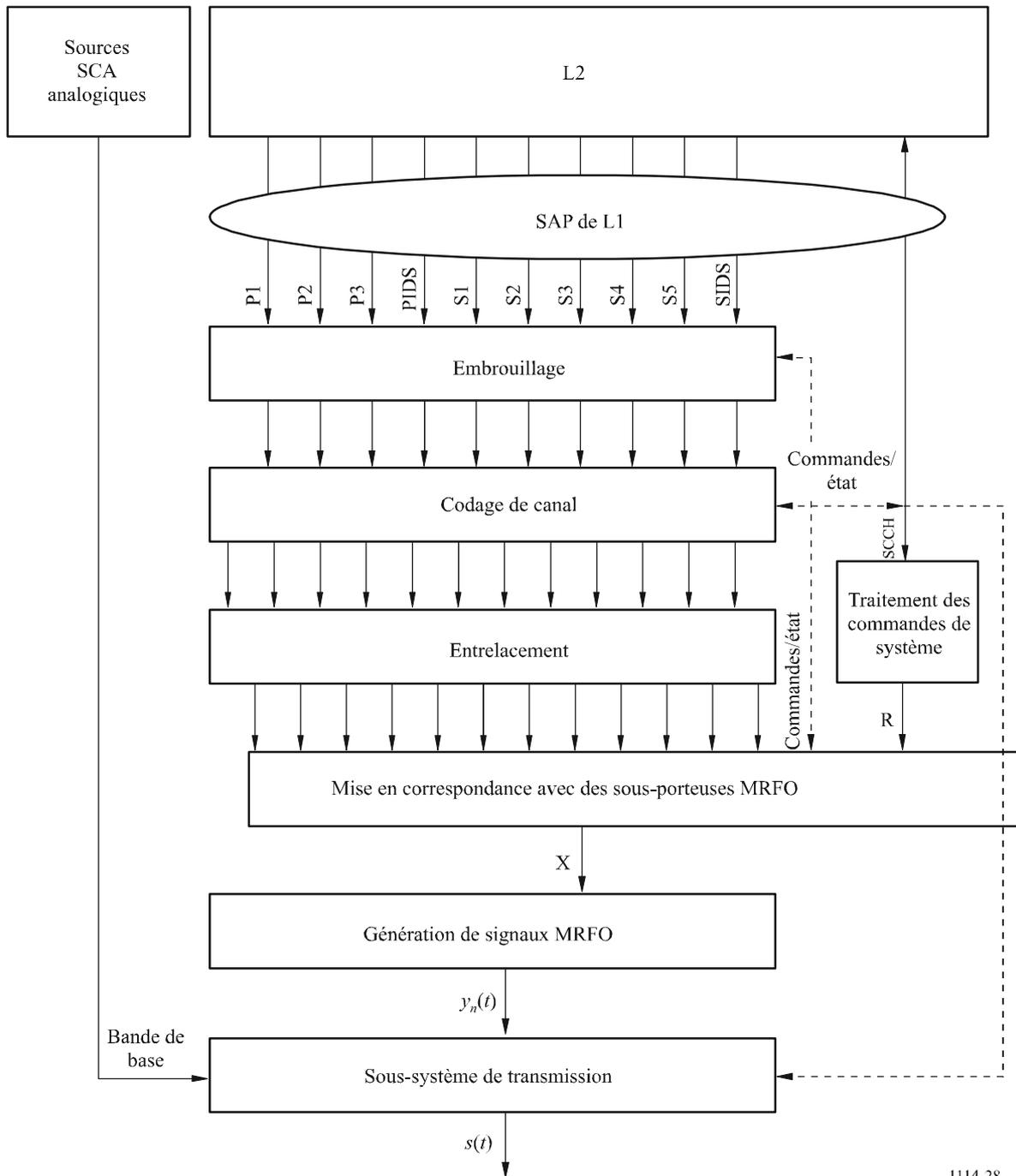
2.5 Composantes fonctionnelles

Le présent paragraphe contient une description de haut niveau de chaque bloc fonctionnel de la L1 et du flux de signaux associé. La Fig. 28 donne un schéma fonctionnel du traitement opéré dans la L1. Les signaux audio et les données sont transmis des couches OSI supérieures à la couche physique, le modem, via les points d'accès au service de la L1.

2.5.1 Points d'accès au service

Les points SAP de la L1 définissent l'interface entre la L2 et la L1 de la pile de protocoles du système. Chaque canal logique et le canal SCCH ont leur propre point SAP. Chaque canal entre dans la L1 avec des trames de transfert discrètes, la taille et le débit étant uniques et déterminés par le mode de service. Ces trames de transfert provenant de la L2 sont généralement désignées par unités SDU et unités SCU de L2.

FIGURE 28
Schéma fonctionnel de L1 de l'interface hertzienne MF



1114-28

2.5.2 Embrouillage

Cette fonction embrouille les données numériques de chaque canal logique afin de faire disparaître les périodicités des signaux lorsque l'onde est démodulée dans un démodulateur MF analogique classique.

2.5.3 Codage de canal

Le Système numérique C utilise les codes convolutionnels de Viterbi avec un taux de codage effectif de $2/5$. Ce codage convolutionnel ajoute une redondance aux données numériques dans chaque canal logique afin d'en améliorer la fiabilité en présence de dégradations dans le canal. La taille des vecteurs de canal logique est augmentée de façon inversement proportionnelle au taux de codage. Les techniques de codage sont configurables pour chaque mode de service. Un retard lié à la diversité est par ailleurs imposé aux canaux logiques sélectionnés. A la sortie du codeur de canal, les vecteurs de canal logique conservent leur identité.

2.5.4 Entrelacement

L'entrelacement temporel et fréquentiel sert à réduire les effets des salves d'erreurs. Les techniques d'entrelacement sont adaptées à l'environnement d'évanouissement des ondes métriques et sont configurables pour chaque mode de service. Chaque canal logique est entrelacé individuellement. La profondeur d'entrelacement est fondée sur l'utilisation du canal. La longueur d'entrelacement dans les canaux audio primaires (P1 et P2) est équivalente à une trame L1. Dans ce processus, les canaux logiques perdent leur identité. La sortie de l'entrelaceur est structurée dans un format matriciel; chaque matrice est constituée d'un ou de plusieurs canaux logiques et elle est associée à une partie donnée du spectre transmis. Le retard total lié à la diversité y compris l'entrelacement correspond à trois trames L1 ($3 \times 1,486$ s).

2.5.5 Traitement des commandes de système

Cette fonction génère une matrice de séquences de données de commande de système – incluant les commandes et les informations d'état (notamment le mode de service) – à diffuser sur les sous-porteuses de référence.

2.5.6 Mise en correspondance avec des sous-porteuses MRFO

Cette fonction assigne les matrices résultant de l'entrelacement et la matrice des commandes de système aux sous-porteuses MRFO. Une ligne de chaque matrice active résultant de l'entrelacement est traitée en un temps T_s correspondant à la durée d'un symbole MRFO pour produire un vecteur de sortie \mathbf{X} , qui est une représentation du signal dans le domaine fréquentiel. Spécifiquement adaptée à l'environnement de brouillage non uniforme, cette mise en correspondance est fonction du mode de service.

2.5.7 Génération de signaux MRFO

Cette fonction génère la partie numérique du signal dans le domaine temporel. Les vecteurs d'entrée sont transformés en une impulsion mise en forme en bande de base dans le domaine temporel, $y_n(t)$, définissant un seul symbole MRFO.

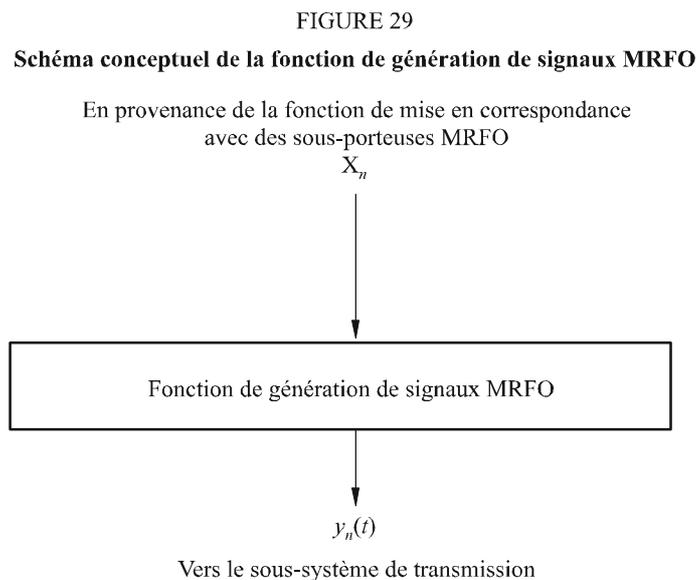
2.5.8 Sous-système de transmission

Cette fonction formate l'onde en bande de base en vue de sa transmission dans le canal en ondes métriques. Les principales sous-fonctions comprennent la concaténation des symboles et la conversion vers des fréquences supérieures. De plus, en cas de transmission d'une onde de type hybride, cette fonction module la source et la combine avec le signal numérique pour former un signal hybride composite, $s(t)$, prêt pour la transmission.

3 Description fonctionnelle

3.1 Introduction

La fonction de génération de signaux MRFO reçoit des symboles MRFO complexes dans le domaine fréquentiel en provenance de la fonction de mise en correspondance avec des sous-porteuses MRFO, et produit en sortie des impulsions dans le domaine temporel représentant la partie numérique du signal du Système numérique C. Un schéma conceptuel de la fonction de génération de signaux MRFO est représenté sur la Fig. 29.



1114-29

La fonction de génération de signaux MRFO reçoit en entrée un vecteur complexe X_n de longueur L , représentant les valeurs de constellation complexes pour chaque sous-porteuse MRFO pour le symbole MRFO n . Elle produit en sortie une onde $y_n(t)$ complexe, en bande de base, dans le domaine temporel, représentant la partie numérique du signal du Système numérique C pour le symbole MRFO n .

3.2 Sous-système de transmission

3.2.1 Introduction

Le sous-système de transmission formate l'onde IBOC en bande de base en vue de sa transmission dans le canal en ondes métriques. Les fonctions comprennent la concaténation des symboles et la conversion vers des fréquences supérieures. De plus, en cas de transmission d'une onde de type hybride ou hybride étendu, cette fonction retarde et module le signal analogique en bande de base avant de le combiner avec l'onde numérique.

Ce module reçoit en entrée une onde MRFO, $y_n(t)$, complexe, en bande de base, dans le domaine temporel, en provenance de la fonction de génération de signaux MRFO. En cas de transmission d'une onde de type hybride ou hybride étendu, ce module reçoit en outre un signal analogique en bande de base $m(t)$ en provenance d'une source analogique, ainsi que, éventuellement, des signaux de type SCA. Il reçoit aussi une commande analogique de retard lié à la diversité (DD, *diversity delay*) en provenance de L2 via le canal de contrôle. Ce module produit en sortie l'onde IBOC.

FIGURE 30

Schéma fonctionnel du sous-système de transmission dans le cas hybride ou hybride étendu

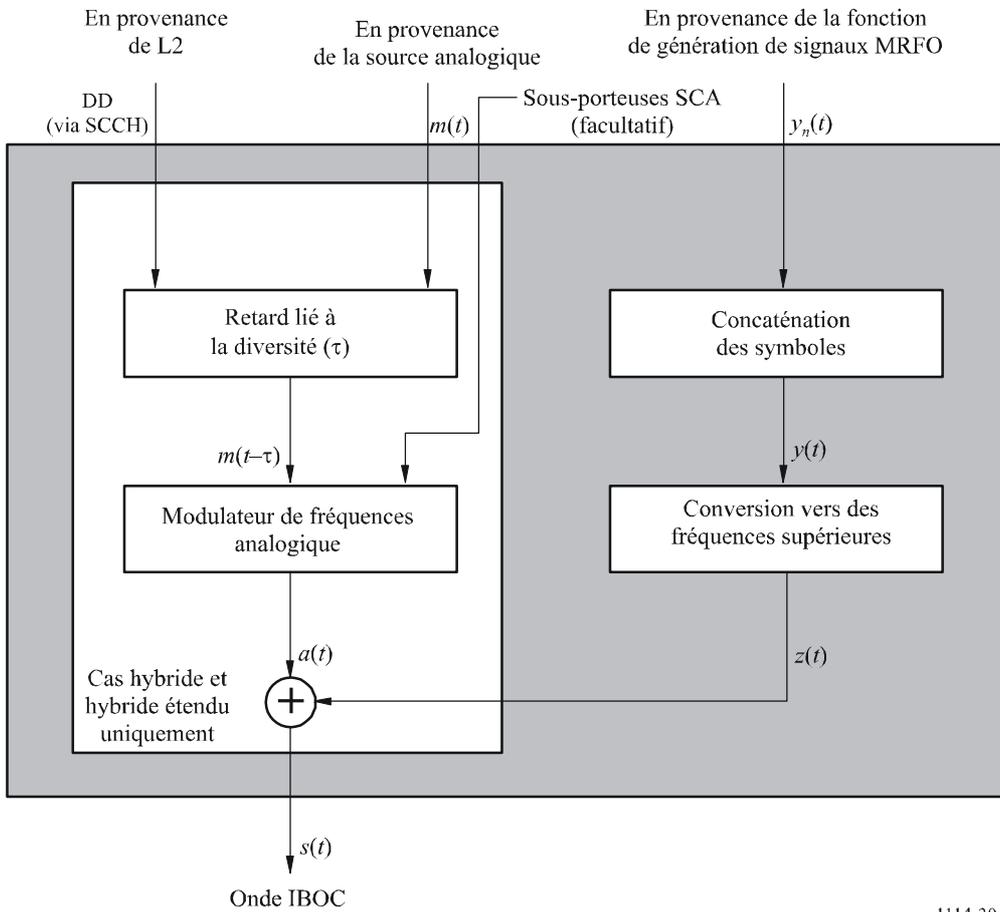
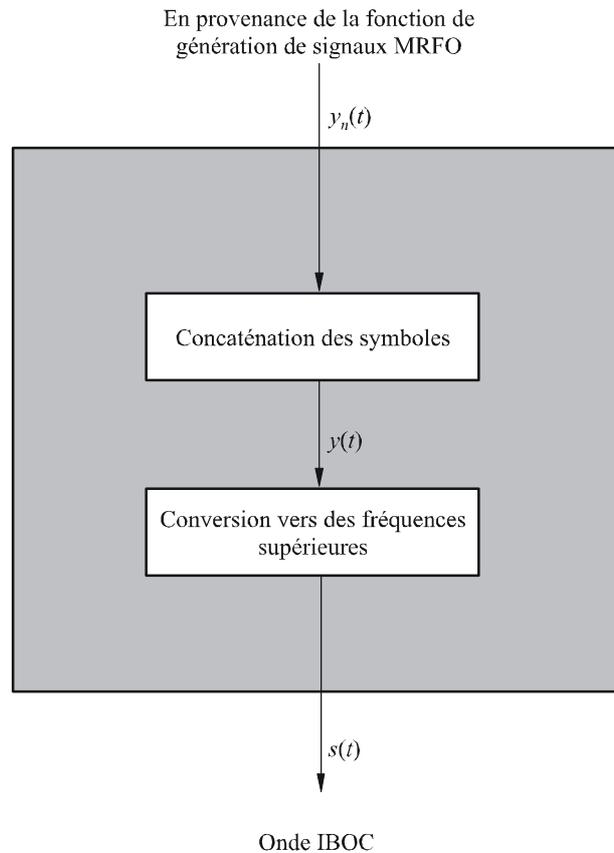


FIGURE 31

Schéma fonctionnel du sous-système de transmission dans le cas du tout numérique



1114-31

3.2.2 Retard lié à la diversité

En cas de diffusion d'une onde de type hybride ou hybride étendu, $z(t)$ est combiné avec le signal MF analogique $a(t)$. Pour la génération de $a(t)$, la première étape consiste à appliquer un DD au signal analogique en bande de base $m(t)$. Le bit de commande analogique de DD, reçu en provenance de L2 via le canal SCCH, est utilisé par les couches de protocole supérieures pour activer ou désactiver cette commande. Si DD vaut 0, la commande est désactivée; si DD vaut 1, elle est activée. Lorsque la commande est activée, un retard ajustable τ est appliqué au signal analogique en bande de base $m(t)$. Le retard est fixé de sorte que, à la sortie du combineur analogique/numérique, $a(t)$ soit retardé par rapport au signal numérique correspondant $z(t)$ d'une durée égale à T_{dd} . Dans le Système numérique C, les signaux analogique et numérique acheminent le même programme audio, le signal audio analogique étant retardé par rapport au signal audio numérique correspondant d'une durée égale à T_{dd} à la sortie du combineur analogique/numérique. Le retard est ajustable afin de tenir compte des délais de traitement dans les chaînes analogique et numérique.

3.2.3 Modulateur de fréquences analogique

Pour les types d'onde hybride et hybride étendu, le signal analogique en bande de base retardé $m(t-\tau)$ est modulé en fréquence afin de produire une onde MF analogique RF identique aux signaux analogiques existants.

3.2.4 Combineur analogique/numérique

En cas de diffusion d'une onde de type hybride ou hybride étendu, le signal RF MF modulé analogiquement est combiné avec le signal RF IBOC modulé numériquement pour produire le signal du Système numérique C dans la bande des ondes métriques, $s(t)$. La partie analogique et la partie numérique de l'onde sont centrées sur la même fréquence porteuse. Les niveaux de chaque bande latérale numérique dans le spectre de sortie sont réduits ainsi qu'il convient par la fonction de mise en correspondance avec des sous-porteuses MRFO.

3.3 Utilisation de répéteurs sur le canal

L'utilisation de la modulation MRFO dans le Système numérique C permet à des répéteurs numériques sur le canal ou à un réseau monofréquence d'assurer la couverture désirée lorsque les affaiblissements du signal dus au terrain et/ou à des effets d'écran sont sévères. De tels répéteurs peuvent notamment être utilisés lorsque des montagnes ou d'autres obstacles formés par le terrain sont situés dans les zones de service d'une station et affectent la transmission du signal analogique ou numérique.

Le Système numérique C fonctionne avec un temps de garde effectif entre les symboles MRFO d'environ $150 \mu\text{s}^2$. Afin d'éviter un trop grand brouillage intersymbole, la couverture effective dans la direction du système d'émission primaire doit être limitée à moins de 22 km. Plus précisément, le rapport entre le signal provenant de l'émetteur primaire et le signal amplifié doit être d'au moins 10 dB à une distance supérieure à 22 km du répéteur dans la direction de l'antenne primaire. La qualité de fonctionnement et les distances entre les amplificateurs sur le canal peuvent être améliorées par l'utilisation d'antennes directives destinées à protéger la station principale.

3.4 Synchronisation par système mondial de radiorepérage (GPS)

Afin de garantir une synchronisation temporelle précise, en vue d'une acquisition rapide par les stations et d'une synchronisation des amplificateurs, chaque station est verrouillée sur le système GPS. Cette synchronisation est normalement fondée sur un signal synchronisé temporellement et fréquentiellement avec le système GPS³. Les stations non verrouillées sur le système GPS ne peuvent pas offrir un accord rapide au niveau du récepteur dans le cas d'un réseau monofréquence car elles ne peuvent pas être synchronisées avec les autres stations⁴.

4 Niveaux des bandes latérales numériques

La réduction d'amplitude de chaque sous-porteuse MRFO dans chaque bande latérale numérique est donnée au Tableau 16 pour les types d'onde hybride, hybride étendu et tout numérique. Pour le type d'onde hybride, les valeurs sont spécifiées par rapport à la puissance totale de la porteuse MF analogique non modulée (supposée égale à 1). Pour le type d'onde tout numérique, les valeurs sont spécifiées par rapport à la puissance totale de la porteuse MF analogique non modulée (supposée égale à 1) qui aurait été transmise pour les types d'onde hybride et hybride étendu.

² $150 \mu\text{s}$ correspondent à une distance de propagation de 45 km.

³ Les stations verrouillées sur le système GPS appartiennent au niveau I: installations de transmission verrouillées sur le système GPS.

⁴ Niveau II: installations de transmission non verrouillées sur le système GPS.

TABLEAU 16

Réduction de l'amplitude des sous-porteuses MRFO

Type d'onde	Mode	Bandes latérales	Notation du facteur de réduction d'amplitude	Facteur de réduction d'amplitude ⁽¹⁾ (par rapport à la puissance MF analogique totale)	Facteur de réduction ⁽²⁾ (par rapport à la puissance MF analogique totale) (dB)
Hybride	MP1	Primaires	a_0	$5,123 \times 10^{-3}$	-41,39
Hybride étendu	MP2-MP7	Primaires	a_0	$5,123 \times 10^{-3}$	-41,39
Tout numérique	MP5-MP7	Primaires	a_2	$1,67 \times 10^{-2}$	-31,39
		Secondaires	a_4	$5,123 \times 10^{-3}$	-41,39
	MS1-MS4	Secondaires	a_5	$3,627 \times 10^{-3}$	-44,39
		Secondaires	a_6	$2,567 \times 10^{-3}$	-47,39
		Secondaires	a_7	$1,181 \times 10^{-3}$	-50,39

⁽¹⁾ Facteur de réduction d'amplitude par plage de sous-porteuse IBOC.

⁽²⁾ Facteur de réduction d'amplitude en dB mesuré dans une largeur de bande de 1 kHz.

Pour ces derniers, les valeurs ont été choisies de sorte que la puissance totale moyenne dans une bande latérale numérique primaire (supérieure ou inférieure) soit inférieure de 23 dB à la puissance totale de la porteuse MF analogique non modulée.

Pour le type d'onde tout numérique, les valeurs ont été choisies de sorte que la puissance totale moyenne dans une bande latérale numérique primaire (supérieure ou inférieure) soit supérieure d'au moins 10 dB à la puissance totale dans les bandes latérales numériques primaires pour le type d'onde hybride. En outre, les valeurs ont été choisies de sorte que la puissance totale moyenne dans les bandes latérales numériques secondaires (supérieure et inférieure) soit inférieure d'au moins 20 dB à la puissance totale dans les bandes latérales numériques primaires pour le type d'onde tout numérique.

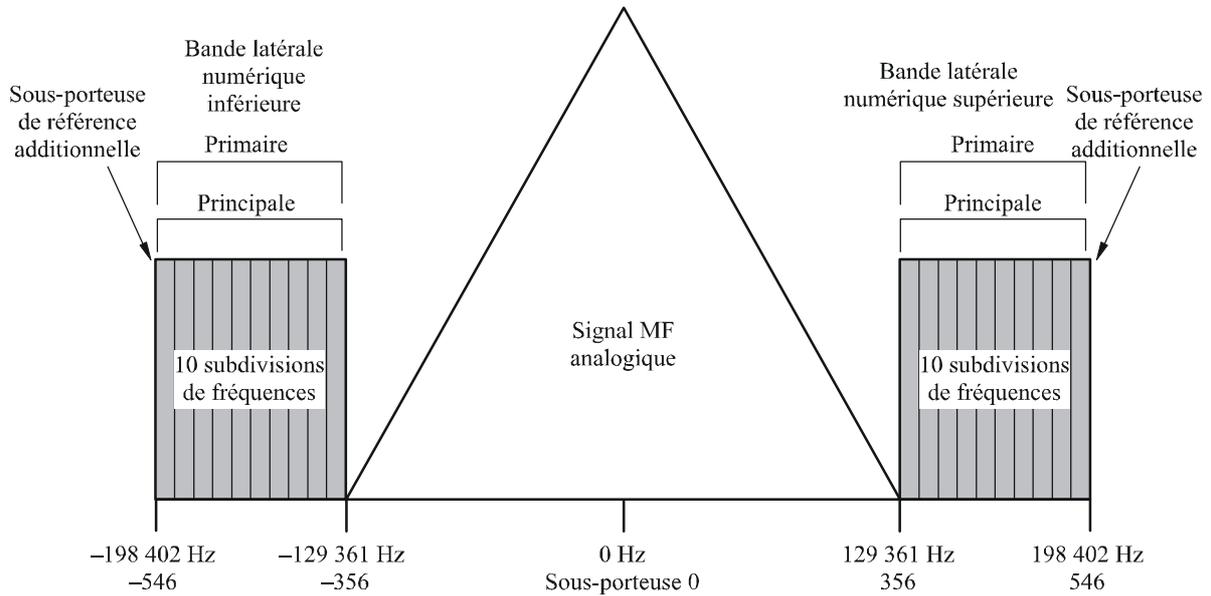
5 Spectre associé au type d'onde hybride

Le signal numérique est transmis dans les bandes latérales principales primaires d'un côté ou de l'autre du signal MF analogique. Chaque bande latérale principale primaire comprend dix subdivisions de fréquences, incluant les sous-porteuses 356 à 545 ou -356 à -545 (voir la Fig. 32 et le Tableau 17). Les sous-porteuses 546 et -546, également incluses dans les bandes latérales principales primaires, sont des sous-porteuses de référence additionnelles. L'amplitude des sous-porteuses dans les bandes latérales principales primaires est uniformément réduite par un facteur de réduction d'amplitude.

FIGURE 32

Spectre associé au type d'onde hybride – Mode de service MP1

(Le niveau des sous-porteuses numériques est tel que leur puissance totale est inférieure de 20 dB à la puissance nominale de la porteuse analogique MF)



1114-32

TABLEAU 17

Spectre associé au type d'onde hybride – Récapitulation pour le mode de service MP1

Bande latérale	Nombre de subdivisions de fréquences	Ordre des subdivisions de fréquences	Plage de sous-porteuses	Fréquences des sous-porteuses (par rapport au centre du canal) (Hz)	Facteur de réduction d'amplitude	Espacement des fréquences (Hz)	Observations
Principale Primaire Supérieure	10	A	356 à 546	129 361 à 198 402	a_0	69 041	Inclut la sous-porteuse de référence supplémentaire 546
Principale Primaire Inférieure	10	B	-356 à -546	-129 361 à -198 402	a_0	69 041	Inclut la sous-porteuse de référence supplémentaire -546

6 Spectre associé au type d'onde hybride étendu

Pour créer l'onde de type hybride étendu, on ajoute les bandes latérales étendues primaires aux bandes latérales principales primaires présentes dans l'onde de type hybride. Selon le mode de service, une, deux ou quatre subdivisions de fréquences peuvent être ajoutées vers le bord interne de chaque bande latérale principale primaire. Chaque bande latérale principale primaire comprend dix subdivisions de fréquences et une sous-porteuse de référence additionnelle, incluant les sous-porteuses 356 à 546, ou -356 à -546 . La bande latérale étendue primaire supérieure inclut les sous-porteuses 337 à 355 (une subdivision de fréquences), 318 à 355 (deux subdivisions de fréquences) ou 280 à 355 (quatre subdivisions de fréquences). La bande latérale étendue primaire inférieure inclut les sous-porteuses -337 à -355 (une subdivision de fréquences), -318 à -355 (deux subdivisions de fréquences) ou -280 à -355 (quatre subdivisions de fréquences). L'amplitude des sous-porteuses contenues dans les bandes latérales étendues primaires est uniformément réduite par le même facteur de réduction d'amplitude, a_0 , que celui qui s'applique dans les bandes latérales principales primaires (voir la Fig. 33 et le Tableau 18).

FIGURE 33

Spectre associé au type d'onde hybride étendu – Modes de service MP2 à MP4

(Le niveau des sous-porteuses numériques est tel que leur puissance totale est inférieure de 20 dB à la puissance nominale de la porteuse analogique MF)

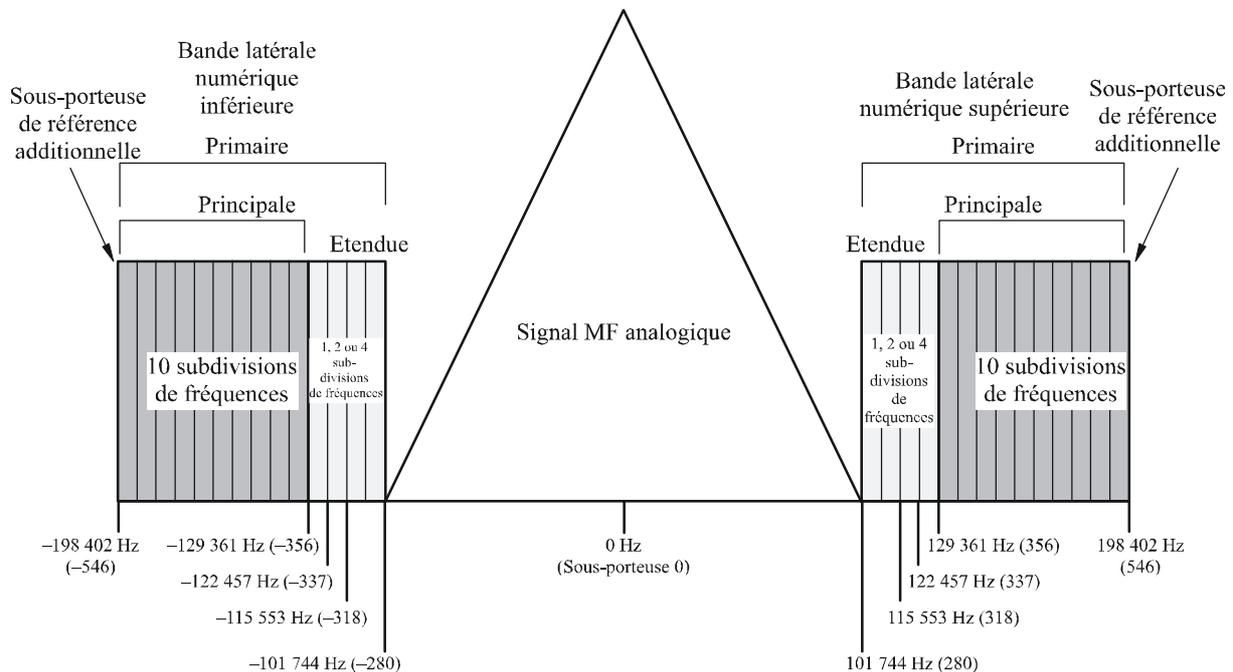


TABLEAU 18
Spectre associé au type d'onde hybride étendu – Récapitulation
pour les modes de service MP2 à MP4

Bande latérale	Nombre de subdivisions de fréquences	Ordre des subdivisions de fréquences	Plage de sous-porteuses	Fréquences des sous-porteuses (par rapport au centre du canal) (Hz)	Facteur de réduction d'amplitude	Espacement des fréquences (Hz)	Observations
Principale Primaire Supérieure	10	A	356 à 546	129 361 à 198 402	a_0	69 041	Inclut la sous-porteuse de référence additionnelle 546
Principale Primaire Inférieure	10	B	-356 à -546	-129 361 à -198 402	a_0	69 041	Inclut la sous-porteuse de référence additionnelle -546
Etendue primaire supérieure (1 subdivision de fréquences)	1	A	337 à 355	122 457 à 128 997	a_0	6 540	Aucune
Etendue primaire inférieure (1 subdivision de fréquences)	1	B	-337 à -355	-122 457 à -128 997	a_0	6 540	Aucune
Etendue primaire supérieure (2 subdivisions de fréquences)	2	A	318 à 355	115 553 à 128 997	a_0	13 444	Aucune
Etendue primaire inférieure (2 subdivisions de fréquences)	2	B	-318 à -355	-115 553 à -128 997	a_0	13 444	Aucune
Etendue primaire supérieure (4 subdivisions de fréquences)	4	A	280 à 355	101 744 à 128 997	a_0	27 253	Aucune
Etendue primaire inférieure (4 subdivisions de fréquences)	4	B	-280 à -355	-101 744 à -128 997	a_0	27 253	Aucune

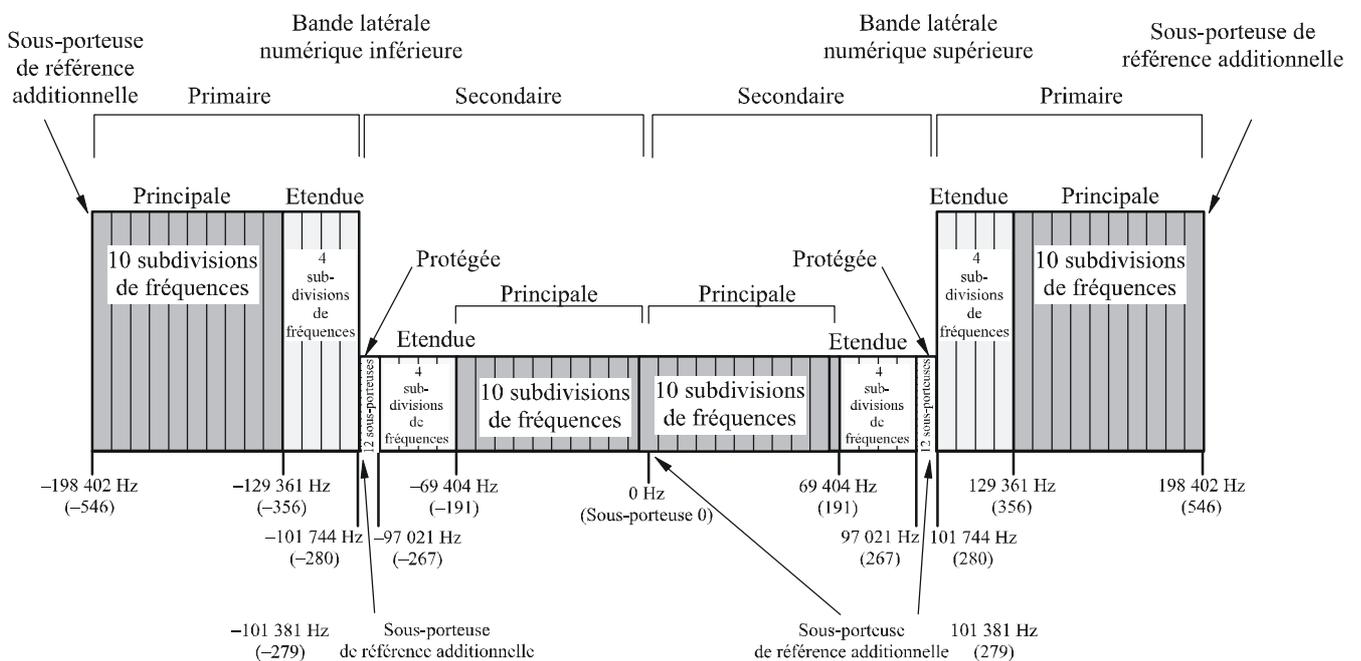
7 Spectre associé au type d'onde tout numérique

Pour créer l'onde de type tout numérique, on supprime le signal analogique, ce qui permet d'étendre entièrement la largeur des bandes latérales numériques primaires et d'ajouter des bandes latérales secondaires de plus faible puissance dans le spectre libéré par le signal analogique. Le spectre associé au type d'onde tout numérique est représenté sur la Fig. 34.

FIGURE 34

Spectre associé au type d'onde tout numérique Modes de service MP5 à MP7 et MS1 à MS4

(Le niveau des sous-porteuses numériques est tel que leur puissance totale n'est pas inférieure de plus de 10 dB à la puissance nominale de la porteuse analogique MF remplacée)



1114-34

En plus des dix subdivisions de fréquences principales, les quatre subdivisions de fréquences étendues sont présentes dans chaque bande latérale primaire associée au type d'onde tout numérique. Chaque bande latérale secondaire comprend aussi dix subdivisions de fréquences principales et quatre subdivisions de fréquences étendues. A la différence des bandes latérales primaires, toutefois, les subdivisions de fréquences principales secondaires sont plus près du centre du canal que les subdivisions de fréquences étendues secondaires.

Chaque bande latérale secondaire inclut par ailleurs une petite région protégée comprenant 12 sous-porteuses MRFO et les sous-porteuses de référence 279 et -279. On parle de bandes latérales «protégées» car celles-ci sont situées dans la zone de spectre la moins susceptible d'être affectée par un brouillage analogique ou numérique. Une sous-porteuse de référence additionnelle est placée au centre du canal (0). L'ordre des subdivisions de fréquences ne s'applique pas dans la région protégée secondaire étant donné que celle-ci ne contient pas de subdivision de fréquences.

Chaque bande latérale principale secondaire inclut les sous-porteuses 1 à 190 ou -1 à -190. La bande latérale étendue secondaire supérieure inclut les sous-porteuses 191 à 266 et la bande latérale protégée secondaire supérieure inclut les sous-porteuses 267 à 278, plus la sous-porteuse de référence additionnelle 279. La bande latérale étendue secondaire inférieure inclut les sous-porteuses -191 à -266 et la bande latérale protégée secondaire inférieure inclut les sous-porteuses -267 à -278, plus la sous-porteuse de référence additionnelle -279. Le spectre associé au type d'onde tout numérique s'étale en tout sur 396 803 Hz. L'amplitude des sous-porteuses comprises dans les bandes latérales principales primaires et étendues primaires est réduite par un facteur de réduction d'amplitude, a_2 . L'amplitude des sous-porteuses comprises dans les bandes latérales principales secondaires, étendues secondaires et protégées secondaires est uniformément réduite par un facteur de réduction d'amplitude ayant quatre niveaux discrets: a_4 à a_7 .

TABLEAU 19

Spectre associé au type d'onde tout numérique – Récapitulation pour les modes de service MP5 à MP7 et MS1 à MS4

Bande latérale	Nombre de subdivisions de fréquences	Ordre des subdivisions de fréquences	Plage de sous-porteuses	Fréquences des sous-porteuses (par rapport au centre du canal) (Hz)	Facteur de réduction d'amplitude	Espacement des fréquences (Hz)	Observations
Principale Primaire Supérieure	10	A	356 à 546	129 361 à 198 402	a_2	69 041	Inclut la sous-porteuse de référence additionnelle 546
Principale Primaire Inférieure	10	B	-356 à -546	-129 361 à -198 402	a_2	69 041	Inclut la sous-porteuse de référence additionnelle -546
Etendue Primaire Supérieure	4	A	280 à 355	101 744 à 128 997	a_2	27,253	Aucune
Etendue Primaire Inférieure	4	B	-280 à -355	-101 744 à -128 997	a_2	27 253	Aucune
Principale Secondaire Supérieure	10	B	0 à 190	0 à 69 041	a_2	69 041	Inclut la sous-porteuse de référence additionnelle 0
Principale Secondaire Inférieure	10	A	-1 à -190	-363 à -69 041	a_2	68 678	Aucune
Etendue Secondaire Supérieure	4	B	191 à 266	69 404 à 96 657	a_4-a_7	27 253	Aucune
Etendue Secondaire Inférieure	4	A	-191 à -266	-69 404 à -96 657	a_4-a_7	27 253	Aucune
Protégée Secondaire Supérieure	Non applicable	Non applicable	267 à 279	97 021 à 101 381	a_4-a_7	4 360	Inclut la sous-porteuse de référence additionnelle 279
Protégée Secondaire Inférieure	Non applicable	Non applicable	-267 à -279	-97 021 à -101 381	a_4-a_7	4 360	Inclut la sous-porteuse de référence additionnelle 279

8 Limites d'émission

8.1 Limites d'émission en système IBOC

Les niveaux des porteuses hybrides et des porteuses entièrement numériques se situent nettement au-dessous du gabarit d'émission en MF. Le Tableau 20 contient un exemple de masque propre à une administration, celle des Etats-Unis d'Amérique, Code of Federal Regulations (CFR), Titre 47, § 73.317.

TABLEAU 20

Canaux MF aux Etats-Unis d'Amérique – Limites d'émission en fonction de l'écart par rapport à la fréquence porteuse

Ecart par rapport à la fréquence porteuse (kHz)	Densité spectrale de puissance par rapport à la porteuse MF analogique non modulée (dBc/kHz)⁽¹⁾
120 à 240	-25
240 à 600	-35
Plus de 600	-80, ou $-43 - 10 \log_{10} x$, la valeur moins élevée étant retenue, où x , la puissance (W), désigne la puissance de la porteuse de sortie de l'émetteur non modulée totale

⁽¹⁾ Les mesures ont été faites en moyennant la densité spectrale de puissance dans une bande de 1 kHz sur un segment temporel de 10 s.

Les Fig. 35 et 36 illustrent le niveau de bruit de toutes les sources exprimé en dB par rapport à la densité spectrale de puissance nominale des bandes latérales numériques dans une bande de 1 kHz. Cette mesure de bruit, y compris de toutes les sources comprend:

- le bruit de phase de l'excitateur IBOC et;
- les produits d'intermodulation de l'émetteur. Dans les Tableaux 20, 21, 22 et 23 les niveaux ont été ajustés pour illustrer le niveau au-dessous du gabarit d'émission 0 dBc.

TABLEAU 21

Puissance de porteuse numérique IBOC⁽¹⁾

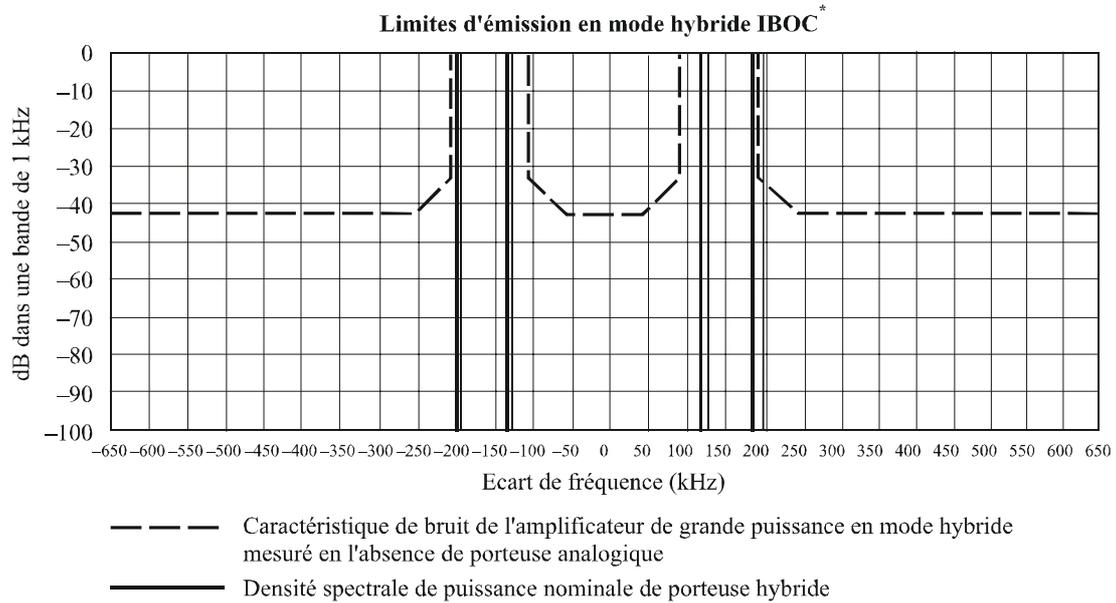
Mode hybride	Mode entièrement numérique	
	Porteuses du programme principal	Porteuses de service auxiliaire secondaire
-41,39	-31,39	-50,39

⁽¹⁾ Densité spectrale de puissance nominale dans une bande de 1 kHz par rapport au gabarit 0 dBc de référence.

8.1.1 Limites d'émission en mode de fonctionnement hybride

Le bruit de toutes les sources, sauf les fréquences éliminées de la porteuse entre 100 et 200 kHz, y compris le bruit de phase de l'excitateur IBOC et des produits d'intermodulation, doivent être conformes aux limites indiquées dans la Fig. 35 et le Tableau 22. Les prescriptions sont résumées de la manière suivante, où la valeur en dB est exprimée par rapport à la densité spectrale de puissance nominale dans une bande de 1 kHz des bandes latérales numériques.

FIGURE 35



* La valeur 0 dB est relative à la puissance surfacique nominale dans une largeur de bande de 1 kHz des bandes latérales numériques.

1114-35

TABLEAU 22

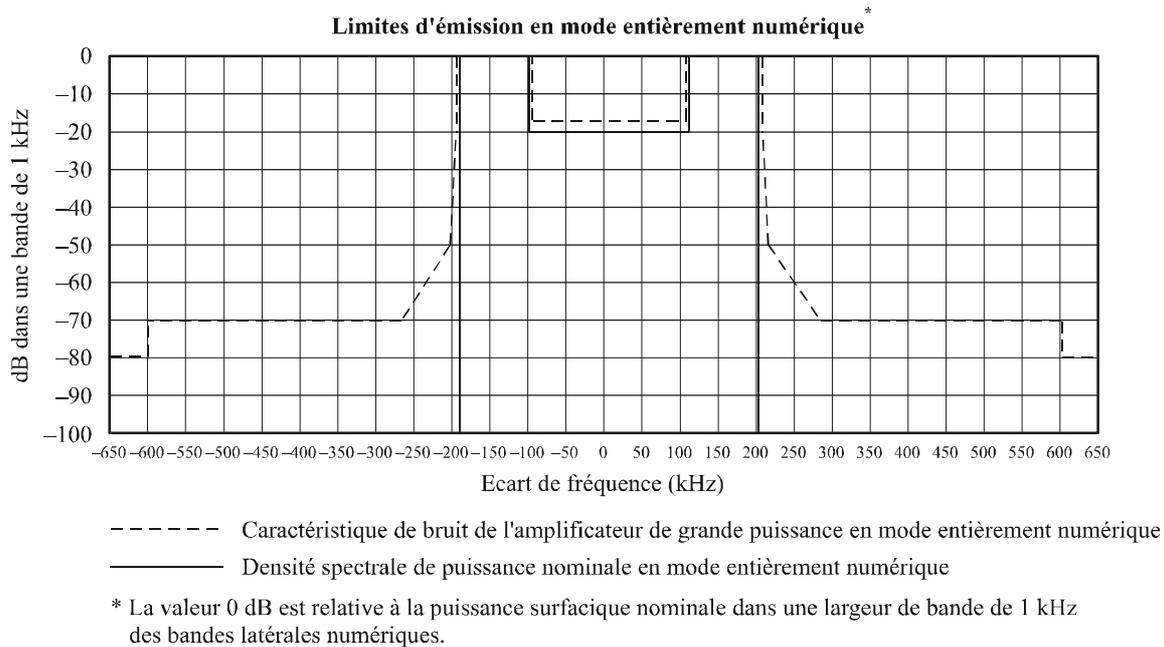
Limites d'émission en mode hybride

Ecart de fréquence, <i>F</i> , par rapport à la porteuse (kHz)	Niveau (dB/kHz)
0-50	-83,39 dB
50-95	$\{-83,39 + (\text{fréquence (kHz)} - 50 \text{ kHz}) \cdot 0,2\}$ dB
95-100	$\{-61,39 + (\text{fréquence (kHz)} - 100 \text{ kHz}) \cdot 2,6\}$ dB
200-205	$\{-61,39 - (\text{fréquence (kHz)} - 200 \text{ kHz}) \cdot 2,6\}$ dB
205-250	$\{-74,39 - (\text{fréquence (kHz)} - 205 \text{ kHz}) \cdot 0,2\}$ dB
>250	-83,39 dB

8.1.2 Limites d'émission en mode de fonctionnement entièrement numérique

Le bruit dû à toutes les sources pour les fréquences situées à plus de 200 kHz de la porteuse, y compris le bruit de phase de l'excitateur IBOC et les produits d'intermodulation, devra être conforme aux limites de la Fig. 36 et du Tableau 23.

FIGURE 36



1114-36

Les prescriptions sont résumées comme indiqué ci-après, pour des valeurs dB par rapport à la densité spectrale de puissance nominale dans une bande de 1 kHz des bandes latérales numériques.

TABLEAU 23

Limites d'émission en tout numérique

Ecart de fréquence, F , par rapport à la porteuse (kHz)	Niveau (dB/kHz)
200-207,5	$\{-51,39 - (\text{fréquence (kHz)} - 200 \text{ kHz}) \cdot 1,733\}$ dB
207,5-250	$\{-64,39 - (\text{fréquence (kHz)} - 207,5 \text{ kHz}) \cdot 0,2118\}$ dB
250-300	$\{-73,39 - (\text{fréquence (kHz)} - 250 \text{ kHz}) \cdot 0,56\}$ dB
300-600	-101,39 dB
>600	-111,39 dB

9 Résumé des résultats de tests en laboratoire

Les essais en laboratoire du Système numérique C sont résumés ci-dessous. Les profils d'évanouissement utilisés sont désignés (UF), urbain rapide, (US), urbain lent, (RF), rural rapide et (TO), relief avec obstacles, rapide; ils ont été appliqués de manière indépendante au signal utile et à chacun des brouilleurs. Le niveau de brouillage est exprimé en unités de dB_{des} , définie comme étant la valeur en dB relative à la puissance totale du signal hybride utile. Pour chaque essai de taux d'erreur sur les blocs, le Tableau 24 mentionne le scénario de brouillage dans lequel l'essai est effectué, le rapport C_d/N_0 (dB/Hz), le profil d'évanouissement, le niveau de brouillage et le taux d'erreur sur les blocs mesuré.

TABLEAU 24

**Résultats des essais de qualité de fonctionnement en radiodiffusion
sonore numérique MF hybride IBOC**

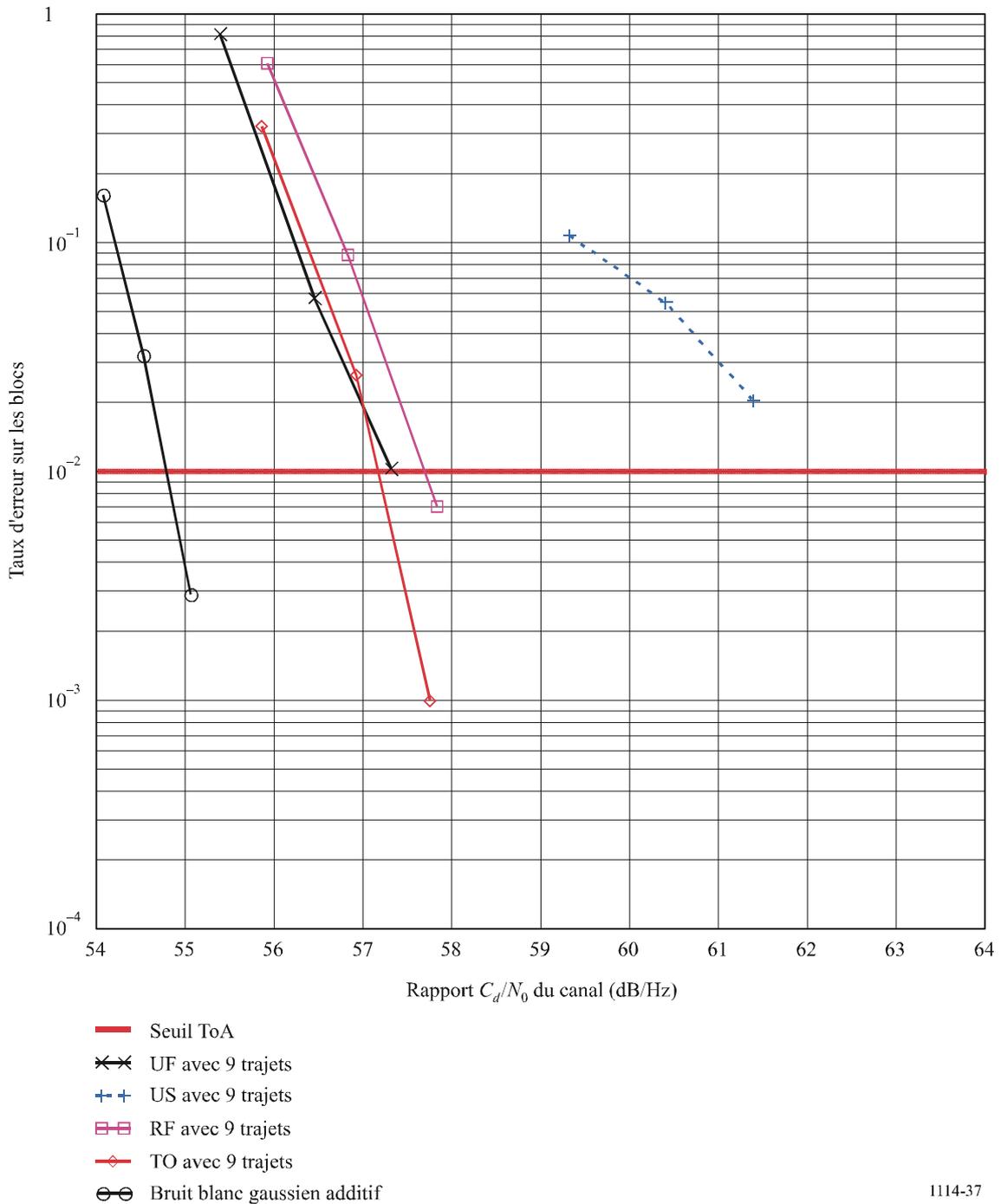
Essais	Paramètres d'entrée					Mesures			
						Qualité numérique	Evaluation subjective du son analogique au seuil numérique d'audibilité ToA		
	C_d/N_0 (dB/Hz)	Evanouissement	Dans canal (dB _{des})	1 ^{er} canal adjacent (dB _{des})	2 ^{ème} canal adjacent (dB _{des})	Taux d'erreur sur les blocs	Fichier	Dégradation subjective du son	
Bruit gaussien (sans évanouissement/sans brouillage)	54,1					0,16	audio1.wav	Audible	
	54,5					0,032			
	55,1					0,0029			
Evanouissement 9 rayons	55,4	UF				0,8	audio2.wav	Audible	
	56,4					0,056			
	57,3					0,012			
	59,3	US				0,106	audio3.wav	Audible	
	60,4					0,054			
	61,4					0,0202			
	55,9	RF				0,6	audio4.wav	Audible	
	56,8					0,087			
	57,8					0,007			
	55,9	TO				0,317	audio5.wav	Audible	
	56,9					0,026			
	57,8					0,001			
Brouillage par 1 ^{er} canal adjacent	61,5	UF		-6,0		0,075	audio6.wav	Audible	
	62,4								0,045
	63,4								0,00842
	59,4	UF		-18,0		0,077	audio7.wav	Audible	
	60,3								0,012
	61,3								0,006
	58,2	UF		-24,0		0,0735	audio8.wav	Audible	
	59,2								0,0109
	60,1								0,005
	57,2	UF		-30,0		0,0287	audio9.wav	Audible	
58,2						0,0082			
Brouillage par 2 ^{ème} canal adjacent	57,9	UF			20,0	0,1	audio10.wav	Audible	
	58,9								0,018
	60,5								0,00085
Brouillage dans le canal	60,2	UF	-10,0			0,013	audio11.wav	Non fonctionnement	
	61,3								0,0097
	65,3								0,00014
	58,4	UF	-20,0			0,013	audio12.wav	Audible	
	59,3								0,0011
60,4					0,00035				

9.1 Comportement en présence de bruit gaussien

Cet essai mesure une limite supérieure de la qualité de fonctionnement du système et enregistre le son analogique au seuil numérique d'audibilité (seuil ToA, *threshold of audibility*) en présence de bruit gaussien et en l'absence d'évanouissement de Rayleigh et de brouillage. Les caractéristiques sont montrées dans les courbes de taux d'erreur sur les blocs de la Fig. 37 et sont résumées dans le Tableau 24. Celui-ci montre qu'immédiatement avant le seuil ToA numérique, la qualité du son analogique est dégradée de manière perceptible.

FIGURE 37

Taux d'erreur sur les blocs du système hybride pour différents types d'évanouissement sur 9 trajets et de bruit blanc gaussien additif

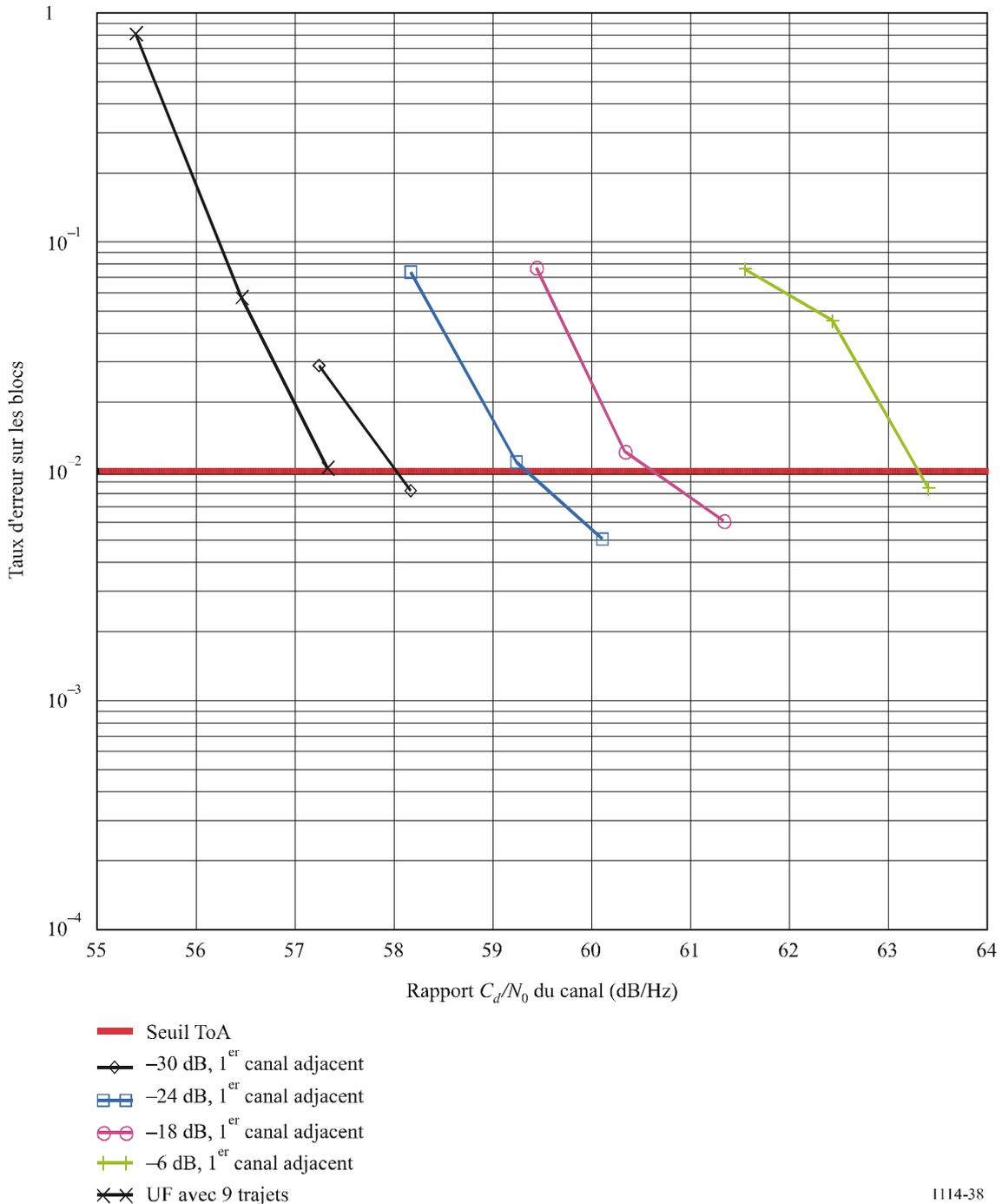


9.2 Comportement en présence d'évanouissements de Rayleigh

Cet essai mesure la qualité de fonctionnement du système et enregistre le son analogique au seuil ToA numérique en présence de bruit gaussien et de divers types d'évanouissement de Rayleigh. Les caractéristiques sont présentées dans les courbes de taux d'erreur sur les blocs de la Fig. 38 et résumées dans le Tableau 24. Les résultats font apparaître une insensibilité au profil d'évanouissement, sauf en cas d'évanouissement lent en milieu urbain, qui donne lieu à des évanouissements du signal de très longue durée. Le profil d'évanouissement lent en milieu urbain se traduit par des coupures particulièrement gênantes dans les transmissions analogiques existantes.

FIGURE 38

Taux d'erreur sur les blocs d'un système hybride dans un environnement urbain à 9 trajets à évanouissement rapide avec un brouilleur du premier canal adjacent à évanouissement individuel



9.2.1 Urbain rapide (UF)

Le Tableau 24 présente l'évaluation subjective du son analogique et montre qu'immédiatement avant le seuil ToA numérique, la qualité du son analogique est dégradée de manière audible.

9.2.2 Urbain lent (US)

Le Tableau 24 présente l'évaluation subjective du son analogique, qui montre qu'immédiatement avant le seuil ToA numérique, la qualité de son analogique est dégradée de manière audible.

9.2.3 Rural rapide (RF)

Le Tableau 24 présente l'évaluation subjective du son analogique, qui montre qu'immédiatement avant le seuil ToA numérique, la qualité de son analogique est dégradée de manière audible.

9.2.4 Relief avec obstacles, rapide (TO)

Le Tableau 24 présente l'évaluation subjective du son analogique, qui montre qu'immédiatement avant le seuil ToA numérique, la qualité de son analogique est dégradée de manière audible.

9.3 Qualité de fonctionnement en présence de brouillages à évanouissement individuel

Cet essai mesure la qualité de fonctionnement du système et le son analogique enregistré en puissance de bruit gaussien et d'évanouissements de Rayleigh, et en présence de brouilleurs à évanouissement individuel IBOC sur le premier canal adjacent, le second canal adjacent et dans le même canal. Chaque brouilleur a été soumis au même type de canal d'évanouissement de Rayleigh que le signal utile; cependant, tous les signaux ont subi un évanouissement individuel, raison pour laquelle ils ne sont pas corrélés.

9.3.1 Brouillage à source unique par le premier canal adjacent

Les stations de classe B correctement espacées sont protégées jusqu'au contour 54 dBU contre le brouillage par le canal adjacent dépassant 48 dBU dans 50% des emplacements et pendant 10% du temps. En conséquence, des essais ont été faits avec des brouilleurs hybrides de diverses puissances dans le premier canal adjacent, jusqu'à un niveau se situant à 6 dB au-dessous de celui du signal utile. Les résultats en matière de taux d'erreur sur les blocs sont présentés dans la Fig. 38 et résumés dans le Tableau 24. Comme on pouvait le prévoir, le niveau de qualité diminue à mesure que le niveau de brouillage augmente de $-30 \text{ dB}_{\text{des}}$ à $-6 \text{ dB}_{\text{des}}$. Toutefois, l'algorithme d'annulation du brouillage par le premier canal adjacent utilisé dans le récepteur assure un niveau de qualité supérieur au système, même en présence d'un brouilleur puissant dans le premier canal adjacent dans un environnement urbain à évanouissement rapide. Le Tableau 24 donne l'évaluation subjective du son analogique qui indique que jusqu'au niveau précédant immédiatement le seuil ToA numérique, la qualité du son analogique est dégradée de manière audible pour tous les niveaux de brouillage par le premier canal adjacent.

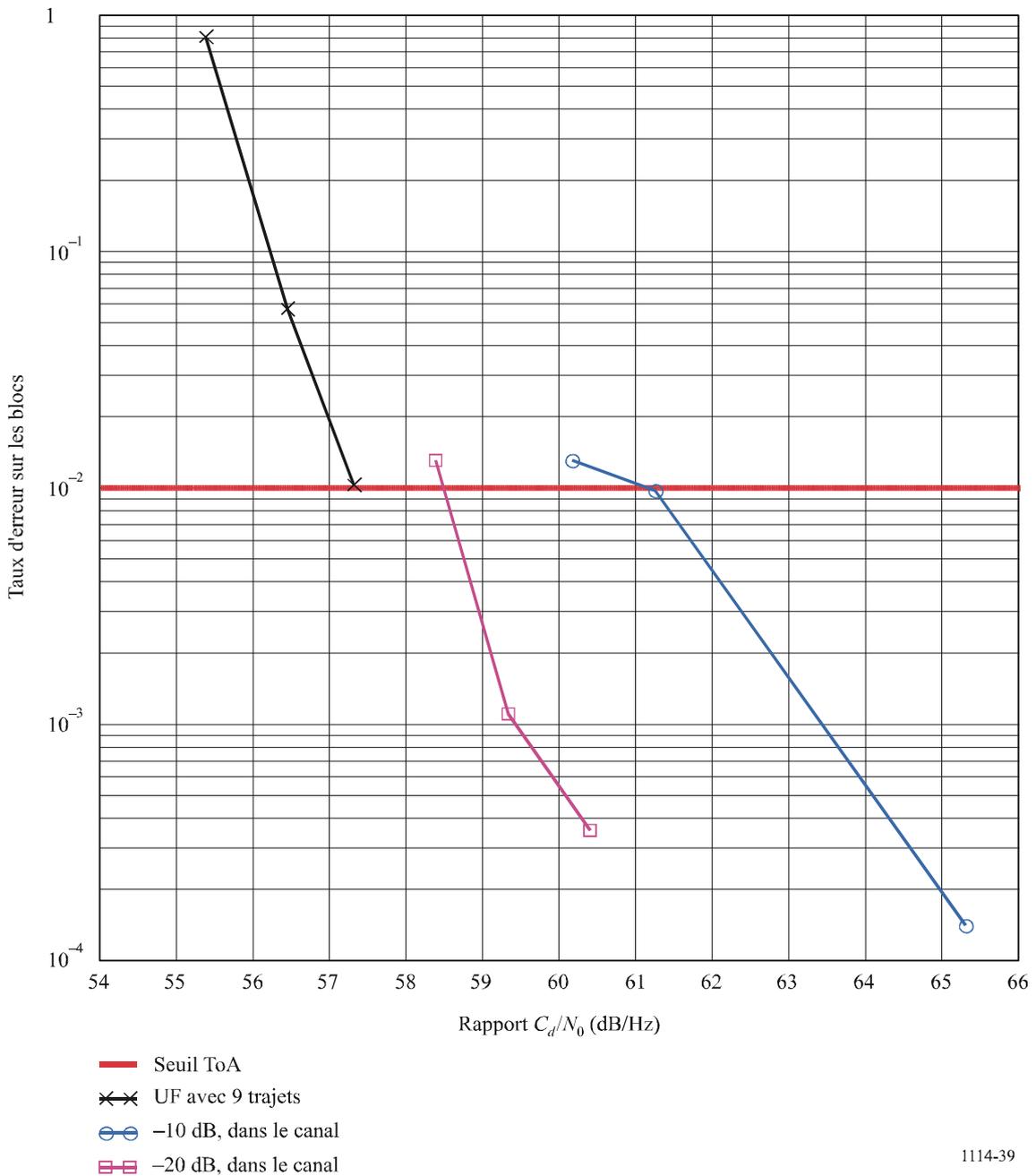
9.3.2 Brouillage à source unique dans le canal

Les stations de classe B correctement espacées sont protégées jusqu'au contour 54 dBU contre le brouillage dans le canal dépassant 34 dBU dans 50% des emplacements et pendant 10% du temps. Cela signifie que pendant 90% du temps au niveau du contour 54 dBU, le rapport D/U dépasse 20 dB. Compte tenu de cette information, on peut faire un certain nombre d'observations relatives à la nature du brouillage dans le canal. Un brouillage hybride dans le canal devrait avoir un effet minimal sur la qualité du signal numérique utile étant donné qu'il sera généralement d'au moins 20 dB inférieur en puissance par rapport aux bandes latérales numériques au contour protégé analogique de 54 dBU. Ceci a été vérifié par des essais en laboratoire. Un brouilleur hybride de $-20 \text{ dB}_{\text{des}}$ dans le canal a été appliqué au signal hybride utile dans un environnement urbain à

évanouissement rapide. Les résultats du taux d'erreur sur les blocs sont présentés dans la Fig. 38 et résumés dans le Tableau 24. La Fig. 39 montre que le fait d'ajouter un brouilleur dans le canal hybride de $-20 \text{ dB}_{\text{des}}$ ne dégrade le niveau de qualité que de 1 dB environ. La Fig. 38 fait également apparaître que, même si le niveau du brouilleur dans le canal était porté à $-10 \text{ dB}_{\text{des}}$, la dégradation supplémentaire serait limitée à moins de 3 dB. Le Tableau 24 présente l'évaluation subjective du son analogique qui fait apparaître que, immédiatement avant le niveau numérique ToA, la qualité du son analogique est dégradée de manière audible par un brouilleur de $-20 \text{ dB}_{\text{des}}$ dans le canal. Pour un brouilleur de $-10 \text{ dB}_{\text{des}}$ dans le canal, la qualité du son analogique est dégradée au-delà du point de non fonctionnement avant que le son numérique n'atteigne son niveau de seuil ToA.

FIGURE 39

Taux d'erreur sur les blocs du système hybride avec un brouilleur à 10 canaux à évanouissement individuel

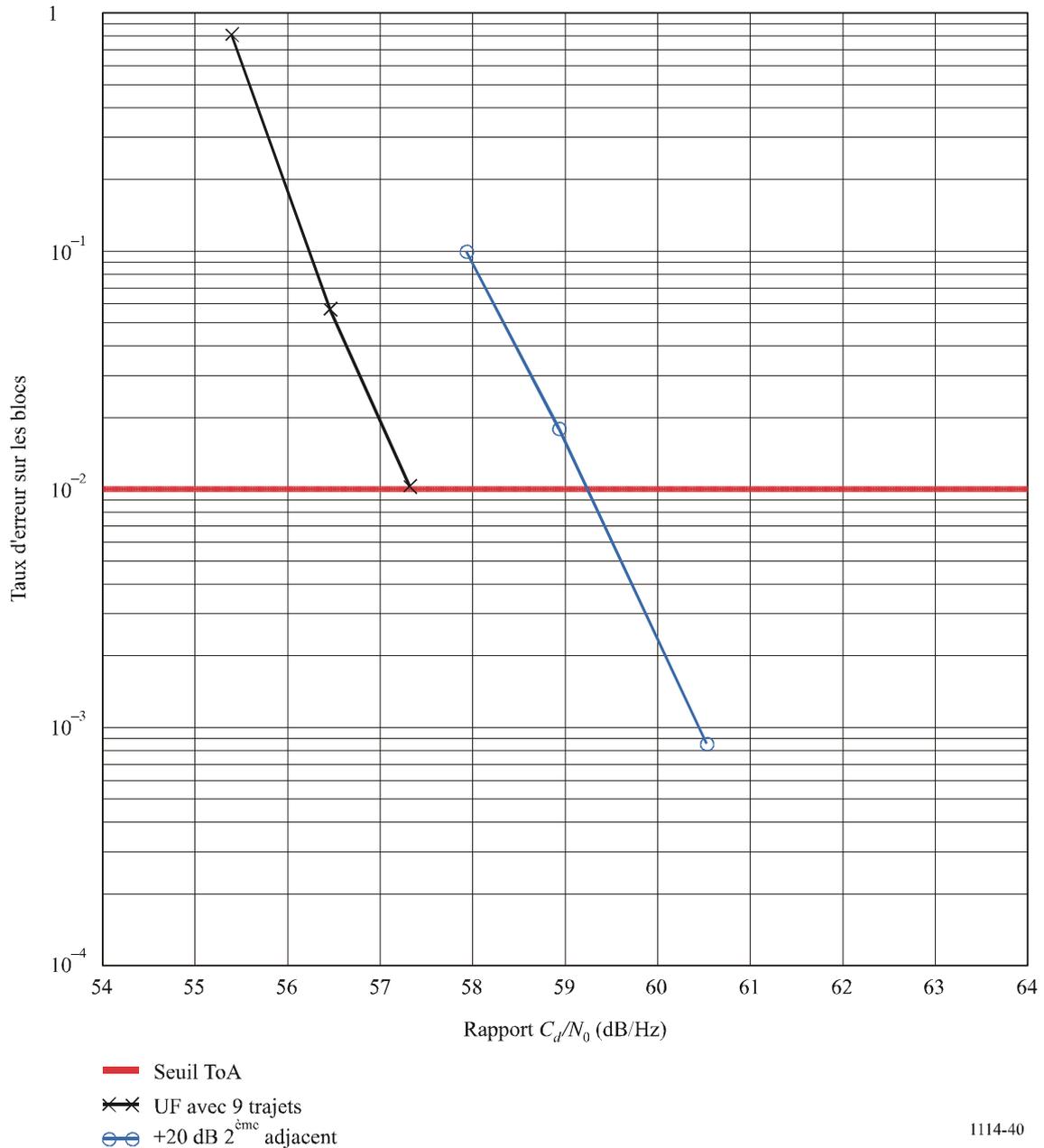


9.3.3 Brouillage à source unique par le deuxième canal adjacent

Un brouilleur IBOC de second canal adjacent hybride peut avoir un léger effet sur le niveau de qualité numérique étant donné que les lobes latéraux du brouilleur peuvent se répandre dans les bandes latérales numériques utiles. Cet effet a été quantifié par des tests en laboratoire. Un brouilleur de +20 dB du second canal hybride a été appliqué au signal hybride utile dans un environnement urbain à évanouissement rapide. Les résultats du taux d'erreur sur les blocs sont présentés à la Fig. 40 et résumés dans le Tableau 24. La Fig. 40 montre que le fait d'ajouter un brouilleur de +20 dB du deuxième canal adjacent hybride dégrade le niveau de qualité d'environ 2 dB. Le Tableau 24 donne l'évaluation subjective du son analogique qui fait apparaître qu'immédiatement avant le niveau du seuil ToA numérique, la qualité du son analogique est dégradée de manière audible.

FIGURE 40

Taux d'erreur sur les blocs du système hybride avec brouilleur
du deuxième canal adjacent à évanouissement individuel



9.4 Conclusions

Les rapports montrent, dans tous les environnements soumis aux essais, qu'au point où le signal numérique commence à se dégrader, le signal audio analogique correspondant présente lui aussi une dégradation audible. Cela laisse entendre que le signal audio analogique est dégradé à des niveaux de signal où la dégradation du son numérique n'est pas encore perceptible. En conséquence, jusqu'au niveau du seuil ToA numérique, la qualité du signal numérique est supérieure à celle du signal analogique existant. Et lorsque le signal numérique présente enfin une dégradation, le récepteur IBOC passera automatiquement sur le signal analogique. Pour cette raison, la qualité de fonctionnement du Système numérique C est supérieure à celle du service MF analogique existant.
