

RECOMMANDATION UIT-R BS.1114-1

**SYSTÈME 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 107/10)

(1994-1995)

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 VLSI communs et de fabriquer ainsi des récepteurs bon marché en grande série;
- d) que le Système numérique A, décrit en Annexe 1, est parfaitement conforme aux Recommandations UIT-R BS.774 et UIT-R BO.789 et que les sous-systèmes d'émission et de réception ont été testés en conditions réelles et présentés dans un certain nombre de pays;
- e) que l'on étudie actuellement la normalisation d'un système de radiodiffusion sonore numérique par satellite à destination de récepteurs placés à bord de véhicules et de récepteurs portatifs ou fixes, fonctionnant dans la gamme de fréquences 1 400-2 700 MHz;
- f) qu'à la 7^e Conférence mondiale des Unions de radiodiffusion (Mexico, 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 ...»;
- g) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a attribué la bande de fréquences 1 452-1 492 MHz au service de radiodiffusion sonore par satellite 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 des renvois 750B et 757A du Règlement des radiocommunications. En outre, la Résolution N° 527 adoptée par la CAMR-92 traite de la radiodiffusion sonore numérique en ondes métriques;
- h) 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 service de radiodiffusion sonore par satellite et le service de radiodiffusion sonore à destination de récepteurs placés à bord de véhicules et des récepteurs portatifs ou fixes,

recommande

- 1** d'utiliser le Système numérique A décrit en Annexe 1 pour les services de 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.

NOTE 1 – La technologie dans ce domaine évolue rapidement. Par conséquent, si de nouveaux systèmes conformes aux spécifications de la Recommandation UIT-R BS.774 sont mis au point, ils pourront eux aussi être utilisés lorsqu'ils auront été portés à la connaissance de l'UIT-R. Les administrations qui élaborent des normes sur la radiodiffusion sonore numérique devraient s'efforcer, dans la mesure du possible, de parvenir à une certaine harmonisation avec d'autres normes de systèmes existantes ou en cours d'élaboration. Par exemple, on met actuellement au point des systèmes de radiodiffusion sonore numérique qui acheminent sur le même canal ou sur un canal adjacent, en signal numérique associé à un service analogique existant (diffusant généralement le même programme).

ANNEXE 1

Description du 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 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 BS.774 (établies à partir de la Publication spéciale de l'UIT sur la radiodiffusion sonore numérique et des Rapports UIT-R BS.1203 et UIT-R BO.955), 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 est donné à la Fig. 1.

Le Système numérique A, mis au point par le Consortium Eurêka 147 (DAB) est connu sous le nom de Système Eurêka 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 l'Annexe 1, 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 numérique 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 dans la bande 1 452-1 492 MHz.

2 Utilisation d'un modèle en couches

Le Système A est conforme au modèle de référence d'interconnexion des systèmes ouverts (OSI) décrit dans la Norme 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 1.

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.

FIGURE 1
Diagramme fonctionnel de la partie «émission» du système

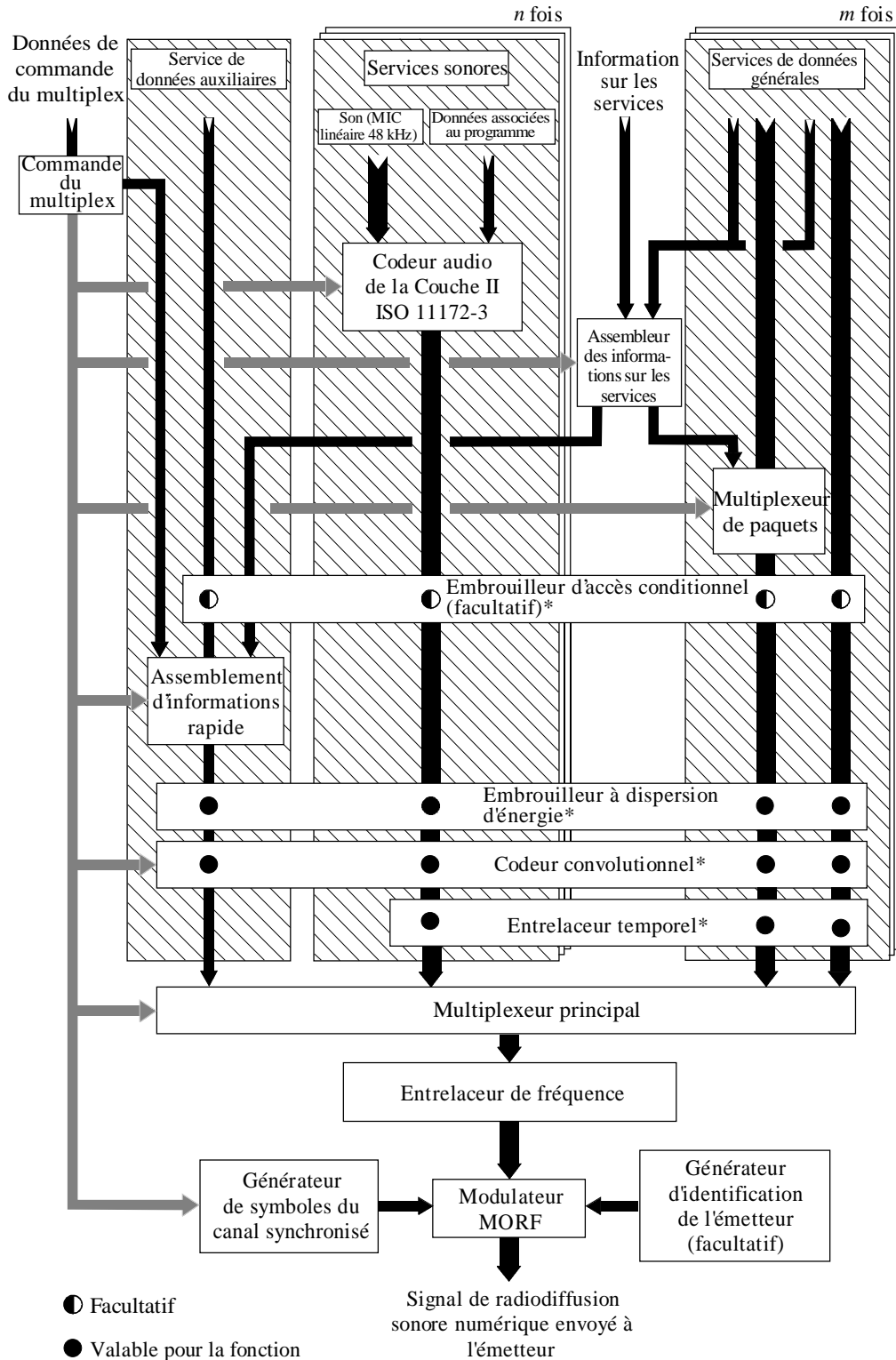


TABLEAU 1

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	Groupement 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 MDPD-4 MORF (multiplexage orthogonal par répartition en fréquences) Transmission radioélectrique

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)

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: données associées au programme (DAP), informations sur la configuration du multiplex (ICM), informations de service (IS). 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 SI;
- un ou plusieurs services généraux de données, par exemple, informations routières.

Le système 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 MF actuels,
- qualité moyenne, correspondant à celle des services MA 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 trois 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 2 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 2

Paramètre	Mode I	Mode II	Mode III
Durée de l'intervalle de garde (μ s)	246	62	31
Temps de propagation maximal de l'écho constructif (μ s)	300	75	37,5
Gamme nominale de fréquences pour la réception mobile allant jusqu'à:	375 MHz	1,5 GHz	3 GHz

Dans le Tableau 2, 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 un réseau monofréquence à couverture moyenne ou grande (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.

4 Couche présentation

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

4.1 Codage de la source audio

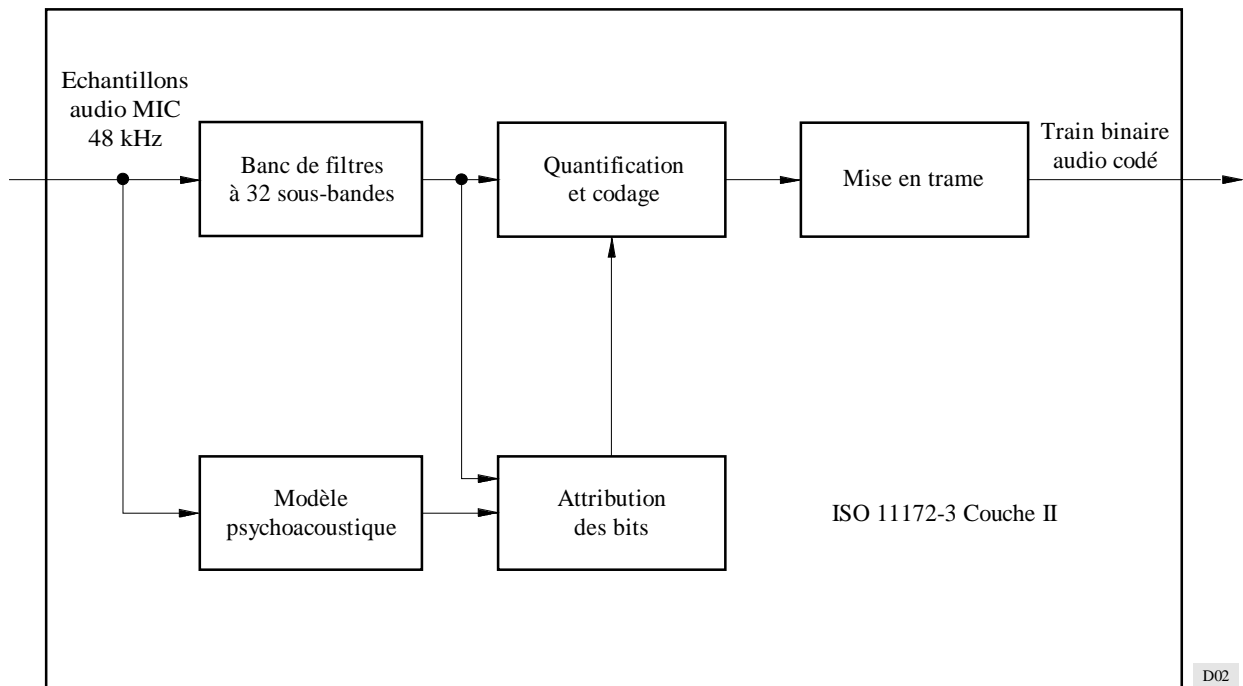
La technique de codage de la source audio utilisée est la technique ISO/CEI MPEG audio de Couche II spécifiée dans la Norme ISO 11172-3. Ce système à compression et à codage en sous-bandes est également connu sous le nom de MUSICAM.

Le Système A accepte plusieurs signaux MIC audio avec une fréquence d'échantillonnage de 48 kHz et des données associées au programme. 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 post-traitement 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 MA. 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.

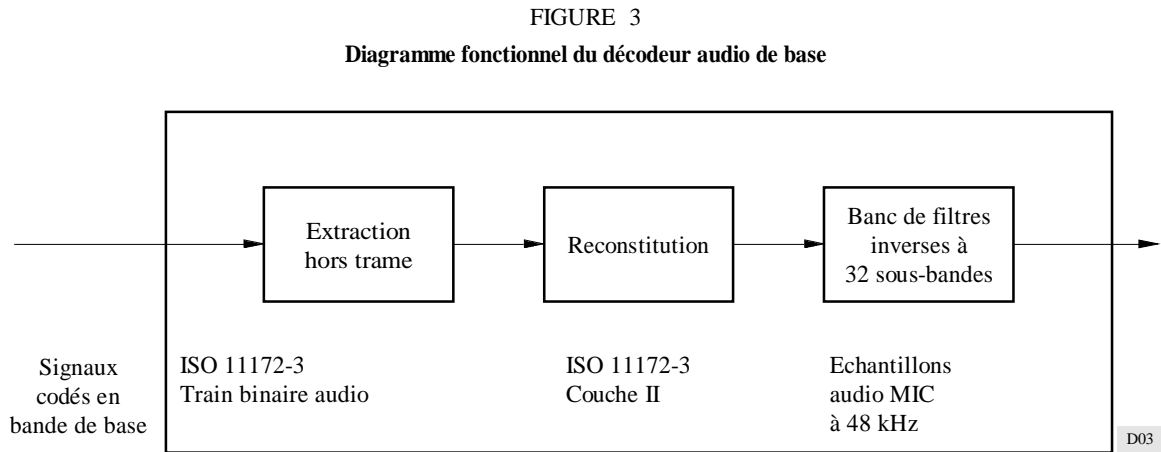
La Fig. 2 donne le diagramme fonctionnel du codeur audiofréquence. Les échantillons d'entrée MIC sont appliqués à l'entrée du codeur audiofréquence. Le codeur est capable de traiter les deux voies d'un signal stéréophonique, bien qu'il puisse, éventuellement, recevoir un signal monophonique. Un banc 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



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.



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 MA ou en FM,
- 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 canal d'information rapide (CIR) transmet des informations relatives au contenu actuel et futur du multiplex appelées information de configuration de multiplexage (ICM) 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 (IS), 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'IS (à savoir les «références réciproques») peuvent être utilisées pour trouver une autre solution (renvoi, par exemple, vers un service MF) 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 radiodiffuseur). 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 de service principal (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 données associées au programme (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 (IS) 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'IS 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 données associées au programme, qui sont acheminées avec le signal audio codé. Chaque canal audiofréquence contient une voie de données associées au programme 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 données associées au programme; 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.

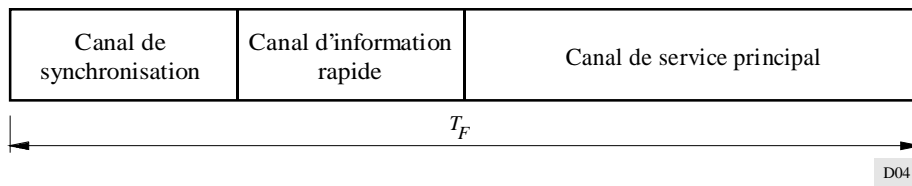
8 Couche liaison de données

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 (CAG) et de la fréquence (CAF) 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 ou de 24 ms selon le mode de transmission, comme indiqué au Tableau 3.

FIGURE 4
Structure de la trame du multiplex



TABEAU 3
Paramètres de transmission du Système

	Mode I	Mode II	Mode III
Durée totale de la trame, T_F	96 ms	24 ms	24 ms
Durée du symbole zéro, T_{NULL}	1,297 ms	324 μ s	168 μ s
Durée des symboles MORF, T_s	1,246 ms	312 μ s	156 μ s
Inverse de l'espacement entre porteuses, T_u	1 ms	250 μ s	125 μ s
Durée de l'intervalle de garde, Δ ($T_s = T_u + \Delta$)	246 μ s	62 μ s	31 μ s
Nombre de porteuses émises, K	1536	384	192

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 uniformes. Les données du CIR sont codés 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.

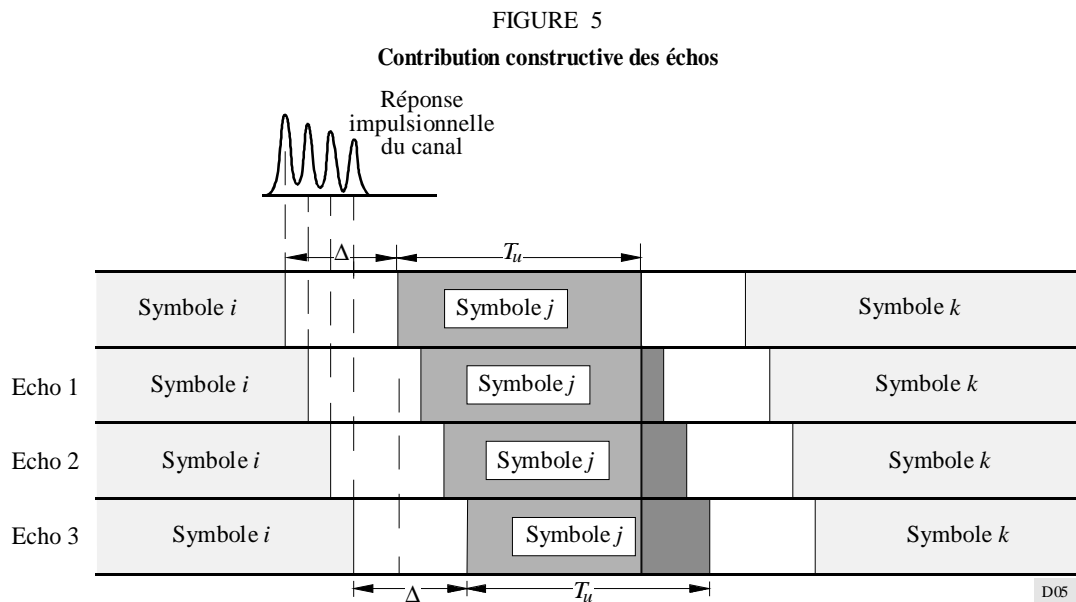
9.4 Entrelacement fréquentiel

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 MDPD-4 MORF

Le système utilise la modulation MDPD-4 MORF (multiplexage orthogonal par répartition en fréquence). 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.



En présence de phénomènes de propagation par trajets multiples, certaines porteuses sont favorisées par des signaux constructifs, alors que d'autres subissent des interférences destructives (évanouissement sélectif en fréquence). Par conséquent, le système 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, 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 MF ou numériques à bande étroite dans lesquels la propagation par trajets multiples peut empêcher toute réception d'un service.

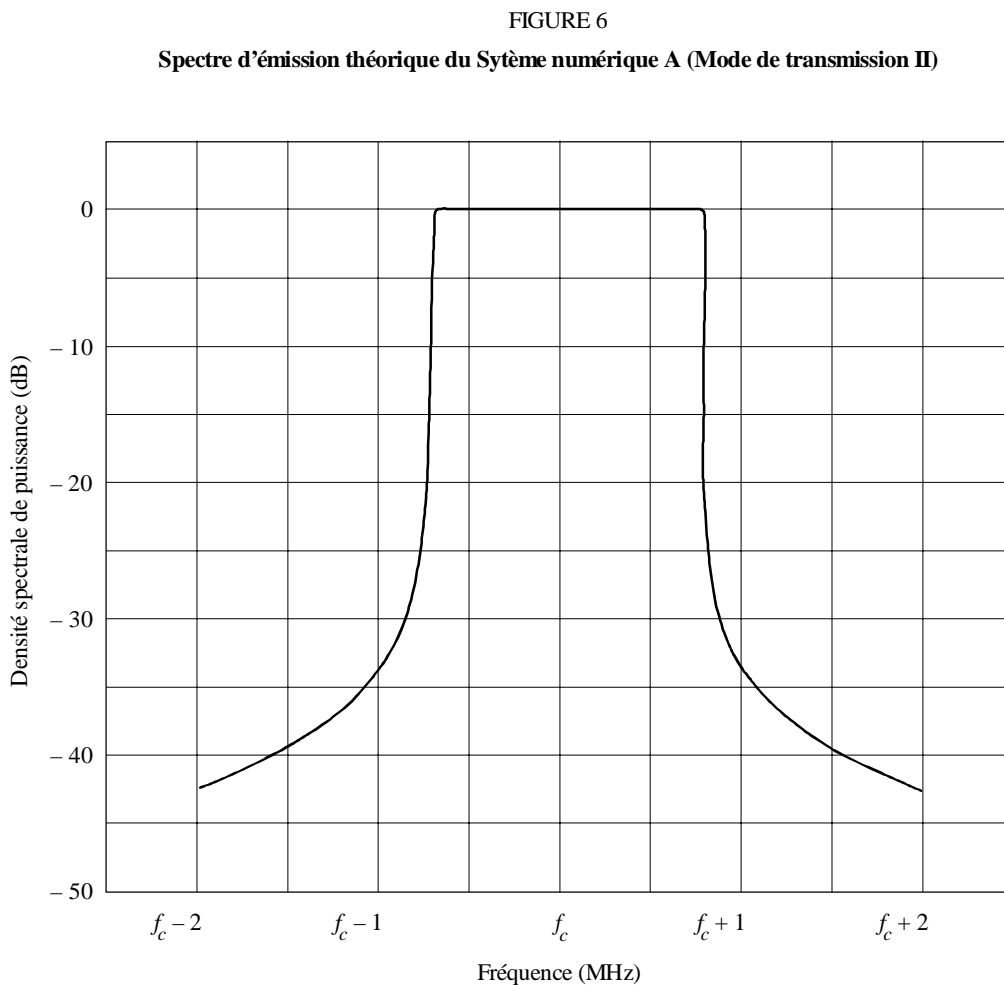
Pour tout système pouvant bénéficier de la propagation par trajets multiples, la fiabilité du système est d'autant plus élevée que la largeur de bande du canal est grande. Dans le système, une largeur de bande d'ensemble de 1,5 MHz a été choisie pour bénéficier des avantages de la technique à large bande, et pour permettre également une certaine souplesse de planification. Le Tableau 3 indique aussi le nombre de porteuses MORF contenues dans cette largeur de bande pour chaque mode de transmission.

L'utilisation du multiplexage MORF 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 numérique A

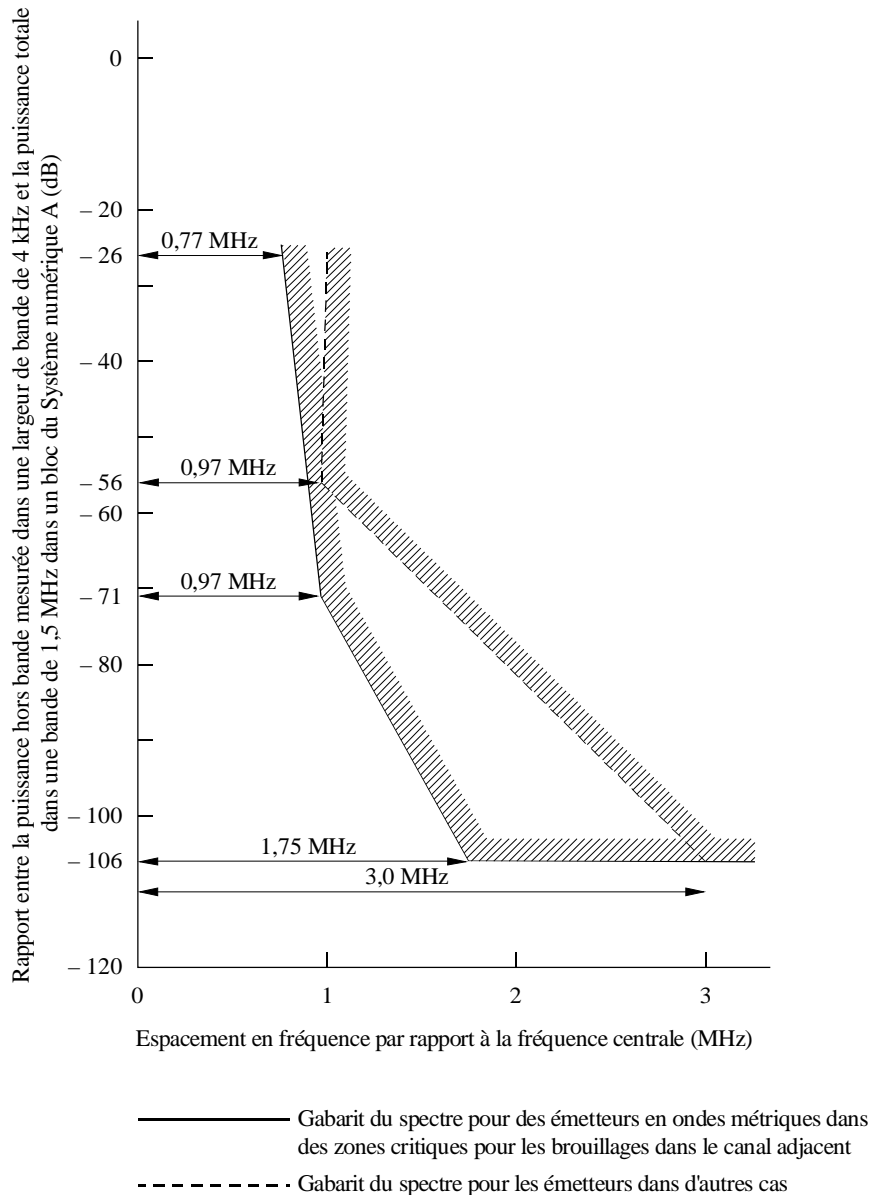
A titre d'exemple, le spectre théorique du Système numérique A est illustré à la Fig. 6 pour le mode de transmission II.



f_c : fréquence centrale du canal

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.

FIGURE 7
**Gabarit du spectre hors bande pour un signal d'émission du Système numérique A
 (quel que soit le mode de transmission)**



D07

Le gabarit en traits pleins devrait s'appliquer aux émetteurs en ondes métriques dans des zones critiques pour les brouillages dans le canal adjacent. Le gabarit en pointillés devrait s'appliquer aux émetteurs en ondes métriques dans les autres cas et aux émetteurs en ondes décimétriques dans des cas critiques pour les brouillages dans le canal adjacent.

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.

10 Qualité de fonctionnement RF du Système numérique A

Des tests d'évaluation de la qualité de fonctionnement du Système numérique A ont été effectués en Mode I à 226 MHz et en Mode II à 1 480 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

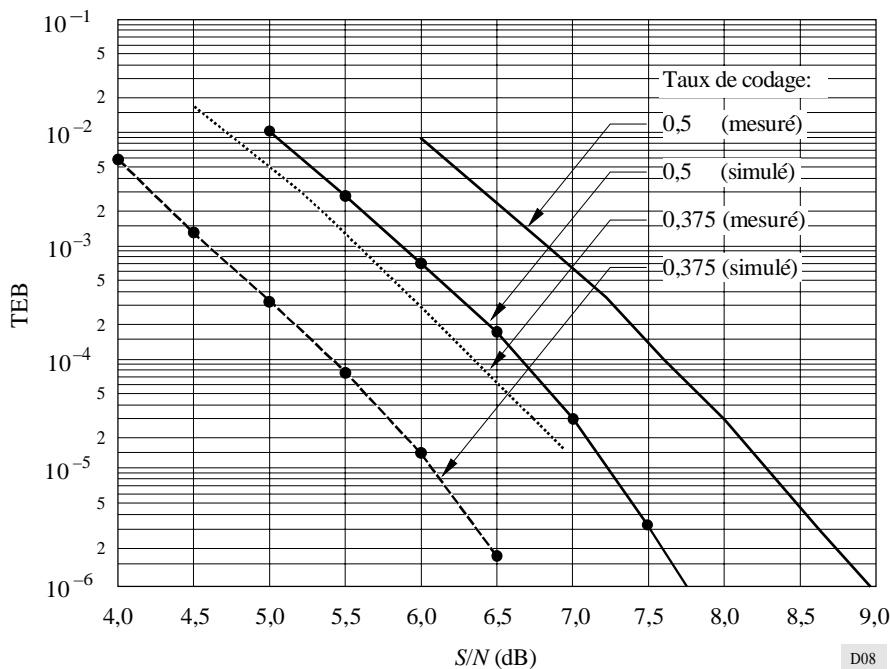
R : rendement moyen du codage.

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 taux d'erreur binaire TEB de 1×10^{-4} .

FIGURE 8

Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal/bruit pour le Système numérique A (Mode de transmission I) - Canal gaussien



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.

Les résultats sont indiqués aux Fig. 10 et 11.

FIGURE 9

Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal/bruit pour le Système numérique A (Mode de transmission II ou III) - Canal gaussien

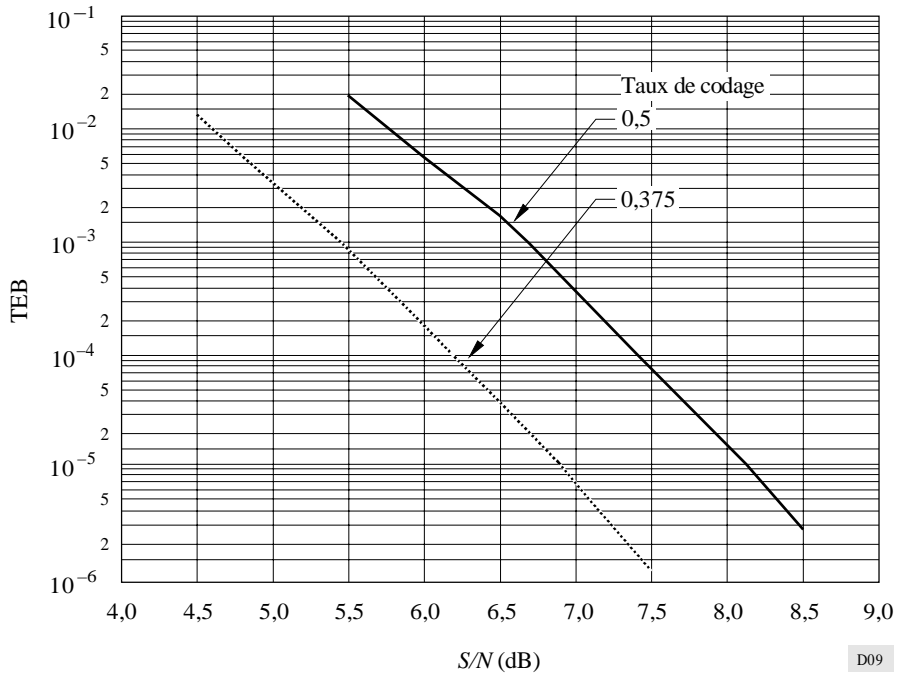


FIGURE 10

Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal/bruit pour le Système numérique A (Mode de transmission I, 226 MHz)

Canal de Rayleigh simulé (environnement urbain, vitesse 15 km/h)

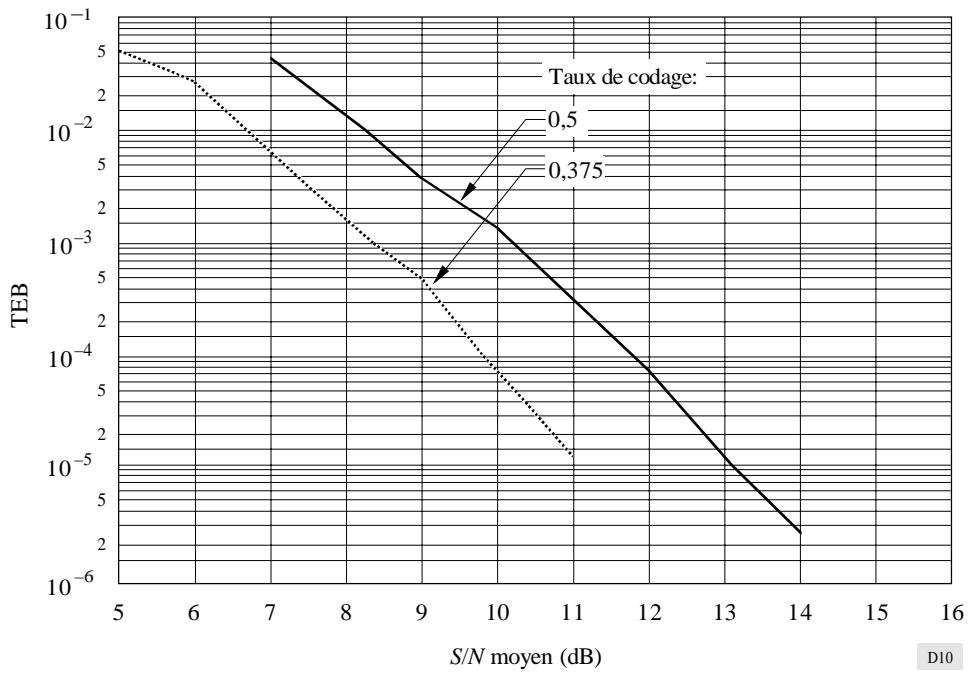
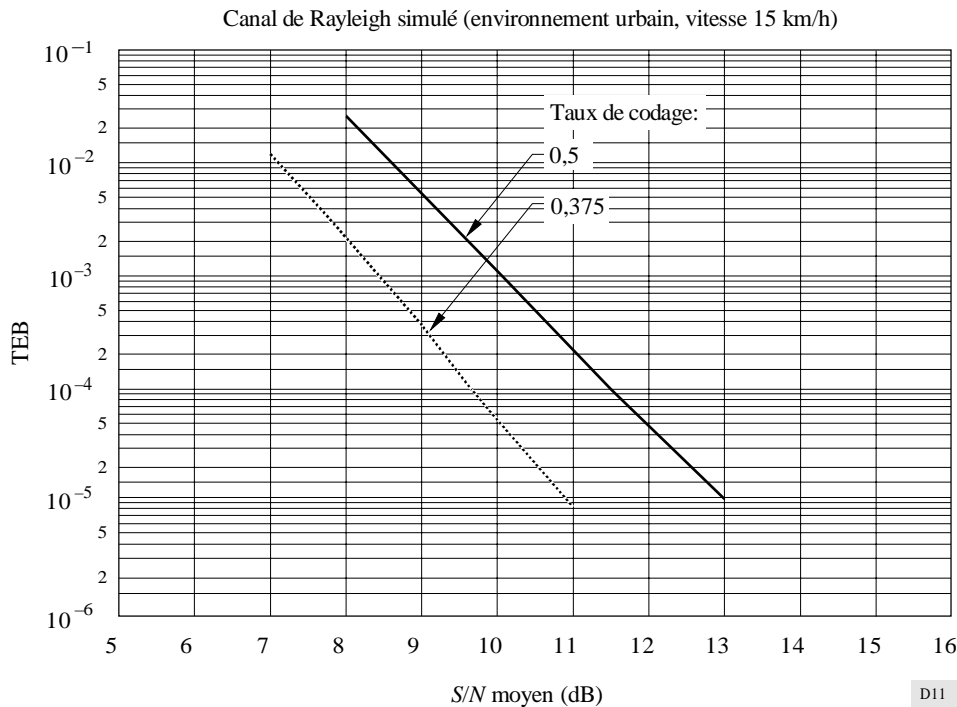


FIGURE 11

**Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal/bruit pour le
Système numérique 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.

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 4

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

Codage source		Taux 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 5

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

Codage source		Taux 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 6

**Qualité du son en fonction de S/N pour le Système numérique 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

FIGURE 12

Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal/bruit pour le Système numérique A (Mode de transmission I, 226 MHz)

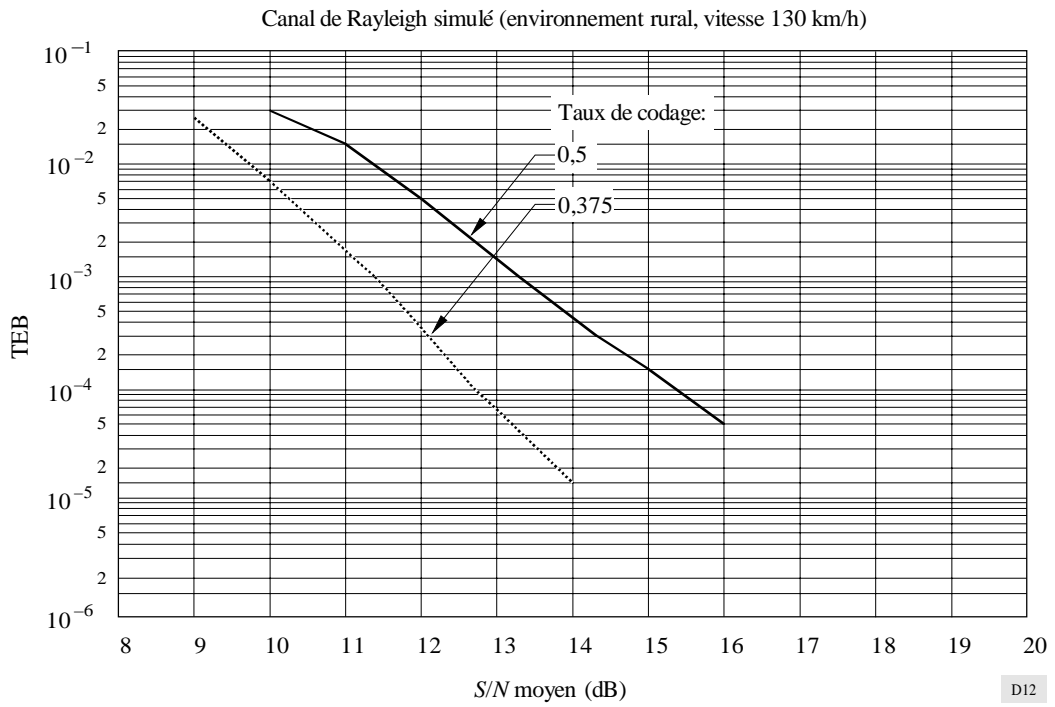
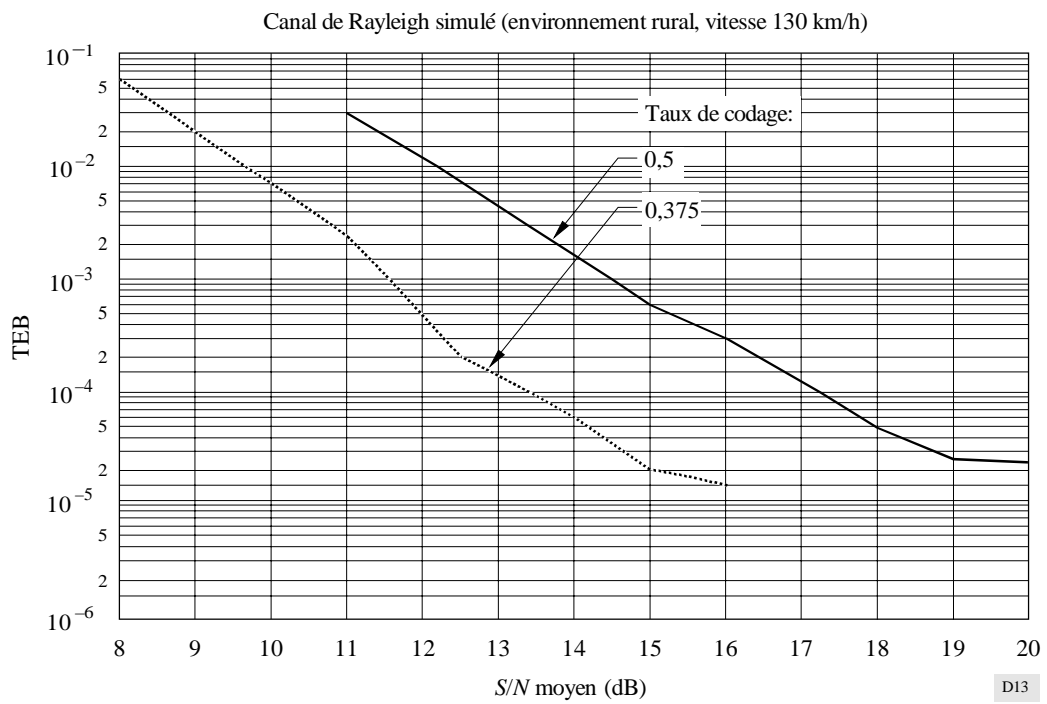


FIGURE 13

Taux d'erreur binaire en fonction du rapport signal/bruit pour le Système numérique A (Mode de transmission II, 1 480 MHz)

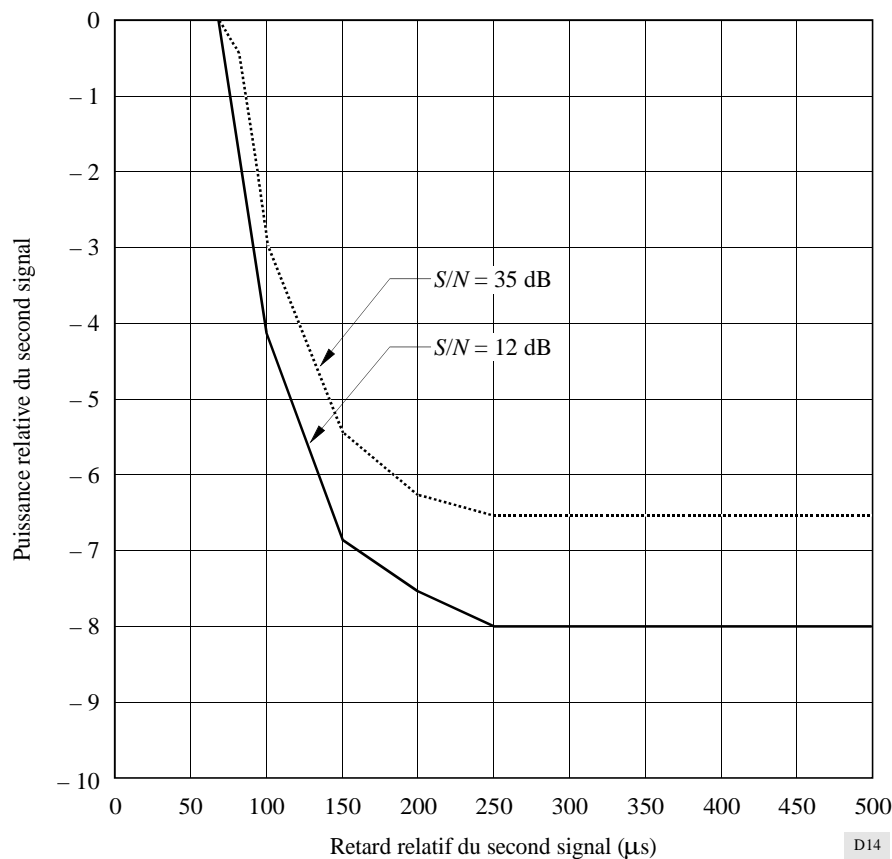


10.5 Possibilité de fonctionnement dans des réseaux monofréquences

Un signal du Système numérique 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 numérique 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 μs 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 numérique A (Mode de transmission II)



D14