

RECOMMANDATION UIT-R BO.1130-1

**SYSTÈME DE RADIODIFFUSION SONORE NUMÉRIQUE PAR SATELLITE (SRS)
À DESTINATION DES RÉCEPTEURS À BORD DE VÉHICULES, PORTATIFS
ET FIXES DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES 1 400-2 700 MHz**

(Question UIT-R 93/10)

(1994-1995)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que dans le monde entier la radiodiffusion audionumérique à destination des récepteurs à bord de véhicules, de récepteurs portatifs ou fixes dans les bandes de fréquences attribuées aux services de radiodiffusion (sonore) par satellite par la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) suscite un intérêt croissant et que l'on envisage la mise en place de plusieurs services de radiodiffusion sonore par satellite pour une couverture nationale et supranationale;
- b) que l'UIT-R a adopté les Recommandations UIT-R BS.774 et UIT-R BO.789 qui donnent les spécifications des systèmes de radiodiffusion audionumérique, de Terre et par satellite respectivement, à destination de récepteurs à bord de véhicules, de récepteurs portatifs ou fixes;
- c) que le Système numérique A, décrit dans l'Annexe 1, est entièrement conforme à ces Recommandations, et que les sous-systèmes d'émission et de réception, qui ont été testés en conditions réelles, ont fait leurs preuves dans plusieurs pays;
- d) qu'un prototype du Système numérique B, que décrit l'Annexe 2, a été mis à l'essai en conditions réelles, en association avec un satellite de communication à faible puissance déjà en service;
- e) que les Recommandations UIT-R BS.774 et UIT-R BO.789, qui font état des avantages liés à l'utilisation complémentaire des systèmes de Terre et des systèmes par satellite, préconisent un système de radiodiffusion audionumérique permettant d'utiliser un récepteur commun doté de circuits VLSI communs et de fabriquer ainsi des récepteurs bon marché produits en grande série;
- f) que le Groupe de travail 10B des radiocommunications étudie actuellement la normalisation d'un système de radiodiffusion audionumérique de Terre à destination des récepteurs à bord de véhicules, de récepteurs portatifs ou fixes, fonctionnant dans la gamme de fréquences 30-3 000 MHz;
- g) 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 que tous les efforts doivent être accomplis en vue de parvenir à une norme mondiale unique pour le DAB, et
 - 2 que les administrations sont instamment priées de prendre en considération les avantages pour le consommateur d'un codage commun, de source et de canal ainsi que de la mise en œuvre de la radiodiffusion sonore numérique autour de 1 500 MHz à un niveau mondial.»;
- h) qu'en Europe, la normalisation s'est déjà traduite par l'adoption du Système numérique A (Eurêka 147) comme norme ETSI (ETS 300 401) pour le service de radiodiffusion (sonore) par satellite/le service de radiodiffusion (sonore) à destination des récepteurs à bord de véhicules, de récepteurs portatifs ou fixes,

recommande

- 1 aux administrations souhaitant prochainement mettre en place un service de radiodiffusion (sonore) par satellite partiellement ou totalement conforme aux dispositions de la Recommandation UIT-R BO.789 d'envisager de recourir au Système numérique A que décrit l'Annexe 1.

NOTE 1 – Les administrations souhaitant mettre en place un service de radiodiffusion (sonore) par satellite dans des délais plus souples pourront aussi envisager de recourir au Système numérique B que décrit l'Annexe 2 lorsque les caractéristiques de ce système auront été intégralement définies et que la qualité de son fonctionnement aura été vérifiée. Dans ce domaine, les techniques évoluent rapidement. En conséquence, d'autres systèmes respectant les conditions

spécifiées dans la Recommandation UIT-R BO.789 pourront également être envisagés. Compte tenu du § g), les administrations qui participent aux travaux de normalisation des systèmes de radiodiffusion (sonore) par satellite devraient s'efforcer, si possible, de tenir compte des autres systèmes de radiodiffusion (sonore) par satellite, existants ou à l'étude.

ANNEXE 1

Système numérique A

1 Introduction

Le Système numérique A est conçu pour assurer une radiodiffusion numérique multiservices de haute qualité pour réception par des récepteurs à bord de véhicules, fixes et portatifs. Il est destiné à être exploité dans n'importe quelle bande de fréquences inférieure à 3 000 MHz pour diffusion de Terre, par satellite, hybride (Terre/satellite) et par câble. Il constitue aussi un système souple et à multiples fonctions de radiodiffusion numérique à intégration de services qui, conformément aux exigences de souplesse et de couverture qu'impose aux systèmes et services l'UIT-R (Recommandations UIT-R BO.789 et UIT-R BS.774 complétées par les Rapports UIT-R BS.1203 et UIT-R BO.955), permet d'offrir un grand nombre d'options pour le codage du son et les services de données qui sont indépendantes ou associées au programme sonore.

Ce système de diffusion du son et des données est robuste mais utilise avec efficacité le spectre et la puissance. Il a recours à des techniques numériques avancées pour éliminer du signal de la source sonore la redondance et les informations perceptibles sans intérêt, puis applique une redondance strictement contrôlée au signal émis pour corriger les erreurs. L'information transmise est ensuite répartie à la fois dans les domaines spatial et temporel pour que le récepteur restitue un signal de haute qualité même en présence de conditions de propagation par trajets multiples très défavorables, qu'il soit fixe ou mobile. On améliore l'utilisation du spectre en entrelaçant plusieurs signaux de programme et au moyen d'un mode spécial de réutilisation des fréquences qui permet de développer pratiquement sans limites les réseaux de radiodiffusion en insérant des émetteurs supplémentaires qui travaillent tous sur les mêmes fréquences rayonnées.

Le schéma fonctionnel de l'émetteur du système est représenté sur la Fig. 1.

Le Système numérique A qui a été mis au point par le Consortium Euréka 147 (DAB) est connu sous l'appellation système Euréka DAB. Il bénéficie de l'appui actif de l'UER en vue de l'introduction des services de radiodiffusion sonore numérique en Europe en 1995. Depuis 1988, il fait l'objet de démonstrations et d'essais très poussés en Europe, au Canada, aux Etats-Unis d'Amérique et dans d'autres pays. Dans la présente Annexe, le Système numérique A est appelé «le Système». Sa spécification complète sera disponible sous la forme d'une Norme européenne de télécommunication ETS 300 401 (voir la Note 1).

NOTE 1 – L'adjonction d'un nouveau mode de transmission est apparue souhaitable, ceci devant être une amélioration compatible avec le Système numérique A qui permette l'utilisation de réémetteurs de Terre cocanal de plus forte puissance. Ainsi, on augmentera les possibilités de desservir les zones non couvertes et on donnera plus de souplesse (tout en diminuant les coûts) dans la mise en œuvre du SRS (sonore) dans la bande 1 452-1 492 MHz.

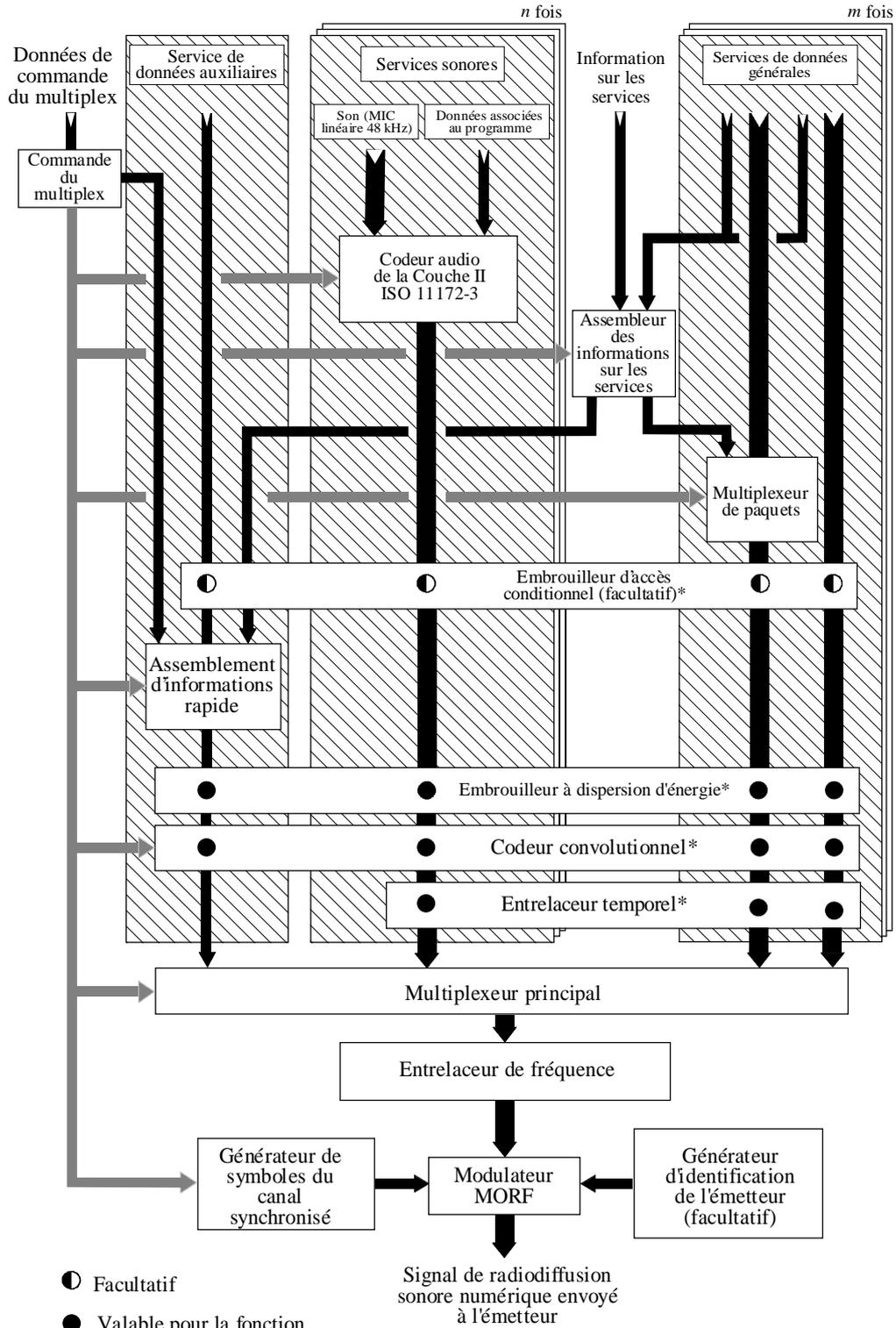
2 Utilisation d'un modèle à plusieurs couches

Le Système peut se conformer au modèle de référence de base de l'interconnexion des systèmes ouverts (OSI) que décrit l'ISO 7498 (1984). La Recommandation UIT-R BT.807 et le Rapport UIT-R BT.1207 préconisent le recours à ce modèle. Quant à la présente Recommandation, elle en donne une interprétation appropriée aux systèmes à couches pour la radiodiffusion. En conséquence, le Système sera décrit en fonction des couches de ce modèle dont l'interprétation figure au Tableau 1.

On décrira plus facilement les diverses techniques mises en jeu en se référant au fonctionnement des équipements de l'émetteur ou de ceux du point central d'un réseau de distribution dans le cas d'un réseau d'émetteurs.

Le Système vise essentiellement à fournir des programmes sonores à l'auditeur; la description ci-après partira donc de la couche application (utilisation de l'information radiodiffusée) pour descendre jusqu'à la couche physique (moyens de transmission radioélectrique).

FIGURE 1
Schéma fonctionnel de l'émetteur du Système



- ◐ Facultatif
- Valable pour la fonction

* Ces processeurs fonctionnent indépendamment sur chaque canal de service.

MORF: multiplexage orthogonal par répartition en fréquence

TABLEAU 1

Interprétation du modèle à plusieurs couches de l'OSI

Nom de la couche	Description	Caractéristiques propres au Système
Couche application	Utilisation du Système dans la pratique	Possibilités du Système Qualité sonore Modes d'émission
Couche présentation	Conversion en vue de la présentation	Codage et décodage audio Présentation audio Information sur les services
Couche session	Sélection des données	Sélection des programmes Accès conditionnel
Couche transport	Groupement des données	Services de programme Multiplex des services principaux Données auxiliaires Association des données
Couche réseau	Canal logique	Trames audio de l'ISO Données associées au programme
Couche liaison de données	Format du signal émis	Trames de transmission Synchronisation
Couche physique	Emission physique (radio)	Dispersion d'énergie Codage convolutionnel Entrelacement temporel Entrelacement en fréquence Modulation par MORF MDPD-4 Emission radioélectrique

3 Couche application

Cette couche concerne l'utilisation du Système au niveau application. Elle considère les possibilités et la qualité sonore que le Système fournit et que les radiodiffuseurs peuvent offrir aux auditeurs ainsi que les divers modes d'émission.

3.1 Possibilités offertes par le Système

Le Système fournit un signal qui transporte un multiplex de données numériques contenant simultanément plusieurs programmes. Le multiplex comprend les données du programme sonore ainsi que des données auxiliaires, à savoir les données associées au programme DAP, l'information sur la configuration du multiplex (ICM) et l'information sur les services. Le multiplex peut aussi acheminer des services de données générales qui ne se rapportent pas nécessairement à l'émission des programmes sonores.

Les utilisateurs du Système disposent notamment de ce qui suit:

- du signal audio (c'est-à-dire le programme) qui est fourni par le service de programme choisi;
- de la mise en œuvre facultative des fonctions du récepteur, comme le contrôle de la dynamique, qui peut être assuré au moyen des données auxiliaires accompagnant le programme;
- d'un affichage textuel d'une information choisie parmi celles qui concernent le service. Il peut s'agir de renseignements sur le programme choisi ou sur ceux qui sont disponibles par sélection;
- d'options disponibles pour choisir d'autres programmes, d'autres fonctions du récepteur et d'autres informations sur le Système;
- d'un ou de plusieurs services de données générales, comme un canal d'information sur le trafic.

Le Système comprend des possibilités d'accès conditionnel et le récepteur peut être équipé de sorties numériques pour les signaux sonores ou de données.

3.2 Qualité sonore

Dans la capacité du multiplex, on peut choisir, en fonction des besoins des radiodiffuseurs, le nombre de services de programme et pour chacun d'eux, le format de présentation (par exemple, stéréo, mono, son spatial, etc.), la qualité audio et le degré de protection contre les erreurs (et donc, la robustesse).

Les options ci-après sont disponibles pour la qualité sonore:

- très haute qualité avec marge pour le traitement audio,
- qualité subjectivement transparente, suffisante pour une radiodiffusion de très haute qualité,
- haute qualité, équivalente à une bonne qualité de service en MF,
- qualité moyenne, équivalente à une bonne qualité de service en MA,
- qualité parole seulement.

Le Système assure la réception avec la qualité exactement prévue dans les limites de la couverture de l'émetteur; au-delà la réception se dégrade subjectivement de façon progressive.

3.3 Modes d'émission

Le Système présente en option trois modes d'émission qui permettent d'utiliser une vaste gamme de fréquences d'émission, jusqu'à 3 GHz. La conception de ces modes d'émission tient compte de l'effet Doppler et de la variation des retards dans le cas des récepteurs mobiles, en présence d'échos dus aux trajets multiples.

Le Tableau 2 indique le retard prévu dû aux échos et la gamme nominale de fréquences pour la réception mobile. A la fréquence la plus élevée et en présence des effets de trajets multiples les plus critiques, ce qui arrive rarement dans la pratique, le bruit augmente de 1 dB à 100 km/h.

TABLEAU 2

Caractéristique	Mode I	Mode II	Mode III
Durée de l'intervalle de garde (μ s)	246	62	31
Retard prévu dû aux échos (μ s)	300	75	37,5
Limite supérieure de la gamme nominale de fréquences (pour la réception mobile)	375 MHz	1,5 GHz	3 GHz

Ce Tableau montre qu'aux fréquences les plus élevées la limitation du retard maximal dû aux échos est la plus importante. Le Mode I convient le mieux à un réseau de Terre à fréquence unique (RFU) car les écarts entre émetteurs peuvent y être les plus grands. Le Mode II convient le mieux à des applications locales qui nécessitent un émetteur de Terre unique et à l'émission hybride satellite/de Terre jusqu'à 1,5 GHz. On peut toutefois recourir aussi au Mode II dans un RFU à moyenne ou à grande échelle (à 1,5 GHz, par exemple) en insérant, si nécessaire, dans l'émetteur des retards artificiels ou en utilisant des antennes d'émission directives. Enfin, le Mode III est le plus approprié pour les émissions par satellite et de Terre associées, à toutes les fréquences jusqu'à 3 GHz.

C'est aussi le mode préféré pour la transmission sur câble jusqu'à 3 GHz.

4 Couche présentation

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

4.1 Codage audio à la source

La méthode de codage à la source employée par le Système est la Couche II MPEG-Audio ISO/CEI que décrit la Norme ISO 11172-3. Ce système de compression à codage en sous-bande est aussi appelé système MUSICAM.

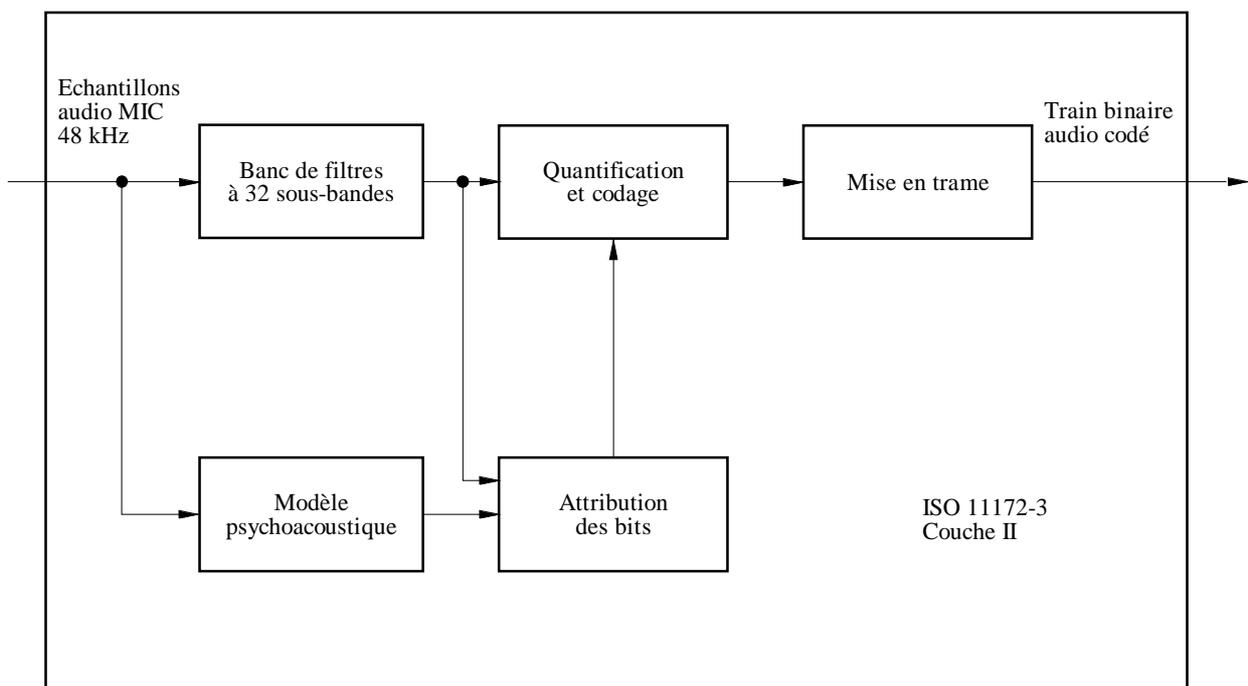
Le Système accepte un certain nombre de signaux audio MIC au taux d'échantillonnage de 48 kHz, avec les données associées au programme (DAP). Le nombre de sources audio autorisé dépend du débit binaire et du type de protection contre les erreurs. Le codeur audio peut fonctionner à 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160 ou 192 kbit/s par canal monophonique. En mode stéréophonique ou à deux voies, le codeur produit un débit binaire double de celui d'un canal mono.

Les radiodiffuseurs peuvent choisir le débit binaire proposé qu'ils veulent selon la qualité intrinsèque désirée ou le nombre de programmes sonores à fournir. Si, par exemple, on utilise des débits binaires supérieurs ou égaux à 128 kbit/s en mono ou supérieurs ou égaux à 256 kbit/s en stéréo, on dispose non seulement d'une très haute qualité mais aussi d'une marge de traitement suffisante pour plusieurs codages/décodages ultérieurs, y compris la postproduction audio. Dans l'optique d'une radiodiffusion de haute qualité, on préfère un débit binaire de 128 kbit/s en mono ou de 256 kbit/s en stéréo, ce qui donne une qualité audio tout à fait transparente. Même le débit binaire de 192 kbit/s par programme stéréo répond généralement aux exigences de l'UER pour les systèmes audionumériques à réduction du débit binaire. Au débit binaire de 96 kbit/s, on a une bonne qualité sonore mono et le débit de 48 kbit/s donne à peu près la même qualité que la radiodiffusion MA classique. Pour certains programmes uniquement parlés, un débit binaire de 32 kbit/s peut suffire quand on veut que le multiplex du Système contienne le plus grand nombre de services possible.

La Fig. 2 donne un schéma de principe des organes fonctionnels du codeur audio. Les échantillons audio MIC sont envoyés à l'entrée du codeur audio. Un codeur est capable de traiter les deux canaux d'un signal stéréo mais il peut, éventuellement, ne recevoir qu'un signal mono. Un banc de filtres polyphasés divise le signal audionumérique en 32 signaux de sous-bande et produit une représentation filtrée et sous-échantillonnée du signal audio d'entrée. Les échantillons filtrés sont appelés échantillons de sous-bande. Un modèle perceptuel de l'oreille humaine crée un jeu de données de contrôle du quantificateur et du codage. Ces données peuvent varier selon la mise en œuvre effective du codeur. A l'aide d'une estimation du seuil de masquage il est possible d'obtenir ces données de contrôle du quantificateur. Les échantillons successifs de chaque signal de sous-bande sont rassemblés en blocs et dans chaque bloc l'amplitude maximale qu'atteint chaque signal de sous-bande est indiquée par un facteur d'échelle. Les organes de quantification et de codage fournissent un jeu de mots de codage à partir des échantillons de sous-bande. Ces opérations sont effectuées pendant les trames audio ISO qui seront décrits dans la couche réseau.

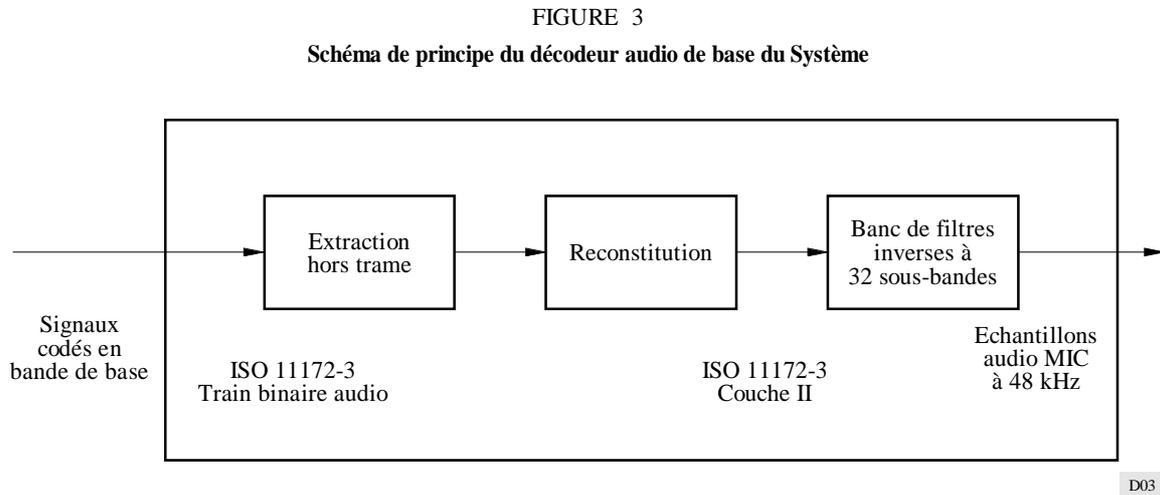
FIGURE 2

Schéma de principe du codeur audio de base du Système



4.2 Décodage audio

Dans le récepteur, le décodage est facile et économique grâce à une technique simple de traitement du signal qui n'exige que les opérations de démultiplexage, d'expansion et de filtrage inverse. Le schéma de principe des organes fonctionnels du décodeur est reproduit sur la Fig. 3.



La trame audio ISO est envoyée au décodeur Couche II Audio ISO/MPEG qui extrait les données de la trame pour récupérer les divers éléments d'information. L'organe de reconstruction reconstitue les échantillons de sous-bande quantifiés et un banc de filtres inverses ramène les échantillons de sous-bande à l'état de signaux audio numériques MIC uniformes au taux d'échantillonnage de 48 kHz.

4.3 Présentation audio

Les signaux audio peuvent apparaître sous forme monophonique ou stéréophonique; les canaux audio peuvent aussi être groupés en vue d'obtenir un son spatial. On peut associer les programmes pour fournir le même programme simultanément en plusieurs langues différentes. Afin de satisfaire à la fois les auditeurs qui écoutent en haute fidélité et ceux qui écoutent dans des environnements bruyants, le radiodiffuseur peut au besoin transmettre un signal de contrôle de la dynamique que l'on peut utiliser, dans un récepteur situé dans un environnement bruyant, pour comprimer la dynamique du signal sonore restitué. Cette technique peut d'ailleurs intéresser les auditeurs à l'ouïe déficiente.

4.4 Présentation de l'information sur les services

En accompagnement de chaque programme émis par le Système, les éléments ci-après d'information sur les services peuvent être affichables sur le récepteur:

- étiquette de base du programme (c'est-à-dire son nom),
- heure et date,
- référence à l'émission du même programme ou d'un programme similaire (par exemple, dans une autre langue) dans un autre ensemble ou diffusé simultanément par un service MA ou MF,
- étiquette de service généralisée pour services associés au programme,
- information sur les programmes (par exemple, le nom des acteurs),
- langue,
- type de programme (par exemple, journal, sport, musique, etc.),
- identification de l'émetteur,
- canal d'information sur le trafic (peut utiliser un synthétiseur de parole dans le récepteur).

On peut aussi y inclure des données sur le réseau d'émission à l'intention des radiodiffuseurs.

5 Couche session

Cette couche concerne le choix de l'information diffusée et le moyen d'y accéder.

5.1 Choix du programme

Pour que le récepteur ait accès aussi vite que possible à un service donné ou à tous, le canal d'information rapide (CIR) achemine des renseignements sur le contenu présent et futur du multiplex. Ces renseignements constituent l'information sur la configuration du multiplex (ICM) qui se prête à une lecture machine. Les données du CIR ne sont pas entrelacées dans le temps, de sorte que l'ICM n'est pas soumise au délai qu'implique le processus d'entrelacement temporel des services audio et de données générales. Toutefois, ces données sont répétées fréquemment pour les rendre moins vulnérables. Lorsque la configuration du multiplex est sur le point de changer, la nouvelle information est envoyée à l'avance à l'ICM ainsi que l'heure de la modification.

L'utilisateur d'un récepteur peut choisir les programmes en fonction de l'information textuelle qu'achemine l'information sur les services, en précisant le nom de service du programme, le genre de programme ou la langue. Le récepteur effectue alors le choix à l'aide des éléments correspondants de l'ICM.

Si d'autres sources du service de programme choisi sont disponibles et si le service numérique initial devient trop mauvais, les données de référence que fournit l'information sur les services peuvent servir à trouver une solution de rechange (par exemple, un service MF) et à l'exploiter. Toutefois, dans ce cas, le récepteur reviendra sur le service initial dès que la réception y sera possible.

5.2 Accès conditionnel

On a prévu la synchronisation et le contrôle de l'accès conditionnel.

L'accès conditionnel peut s'appliquer indépendamment aux composantes du service (acheminées dans le canal de service principal (CSP) ou dans le CIR) ou à tout le 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

Un service de programme comprend généralement une composante de service audio et, facultativement, des composantes de service audio et/ou de données additionnelles que fournit un fournisseur de service. La capacité totale du multiplex peut être dévolue à un seul fournisseur de service (qui diffuse, par exemple, cinq ou six services de programmes sonores de haute qualité) ou répartie entre plusieurs fournisseurs (qui diffusent à eux tous quelque vingt services de programme de qualité moyenne).

6.2 Multiplex de service principal

Comme le montre la Fig. 1, les données qui représentent chacun des programmes diffusés (données audionumériques avec quelques données auxiliaires et peut-être aussi des données générales) subissent un codage convolutionnel (voir le § 9.2) et un entrelacement temporel, le tout pour les protéger des erreurs. L'entrelacement temporel améliore la robustesse de la transmission des données dans un environnement changeant (par exemple, dans le cas d'un récepteur à bord d'un véhicule en déplacement) et entraîne un retard de transmission prévisible. Les données entrelacées et codées sont ensuite envoyées au multiplexeur de service principal où, toutes les 24 ms, elles sont mises en séquence dans la trame du multiplex. Le train binaire combiné sortant du multiplexeur s'appelle le canal de service principal (CSP) et a une capacité brute de 2,3 Mbit/s. Selon le débit binaire retenu (qui peut varier d'une composante de service à l'autre), on arrive ainsi à un débit binaire net qui va d'environ 0,8 à 1,7 Mbit/s dans une largeur de bande de 1,5 MHz. C'est dans le multiplexeur de service principal que sont rassemblées les données synchronisées reçues de tous les services de programme utilisant le multiplex.

Les données générales peuvent être envoyées sur le CSP sous la forme d'un train non structuré ou être organisées en multiplex de paquets où se combinent plusieurs sources. Le débit binaire peut être un multiple quelconque de 8 kbit/s, synchronisé sur le multiplex du système, pourvu que le multiplex ait une capacité suffisante, compte tenu des services audio exigés.

Le CIR ne fait pas partie du CSP et n'est pas entrelacé dans le temps.

6.3 Données auxiliaires

Il existe, dans le multiplex du Système, trois zones qui peuvent acheminer des données auxiliaires:

- le CIR dont la capacité est limitée par la quantité d'ICM essentielles incluses,
- il est prévu en particulier d'acheminer sur chaque canal audio une quantité modérée de données DAP,
- toutes les données auxiliaires restantes sont traitées dans le CSP comme un service distinct. La présence de cette information est signalée dans l'ICM.

6.4 Association de données

L'ICM, acheminée sur le CIR, fournit une description précise du contenu présent et futur du CSP. Le CIR doit aussi acheminer les éléments essentiels de l'information sur les services qui concernent le contenu du CSP (en vue, par exemple, de la sélection de programme). Les textes plus longs, comme la liste de tous les programmes de la journée, seront véhiculés séparément comme un service de données générales. Les ICM ainsi que les informations sur les services concernent donc tous les programmes diffusés.

Les données DAP qu'achemine chaque canal audio contiennent surtout des informations étroitement liées au programme sonore et ne peuvent donc être envoyées sur un canal de données distinct qui risque d'avoir un temps de transmission différent.

7 Couche réseau

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

7.1 Trames audio de l'ISO

Dans le codeur audio de la source, les opérations sont effectuées au cours de trames audio de l'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 de l'ISO. L'organe de mise en trame (voir la Fig. 2) assemble le train binaire existant qui provient des données de sortie du quantificateur et de l'organe de codage et y ajoute d'autres informations comme l'information d'en-tête, les mots du CRC pour la détection des erreurs et les données DAP, qui circulent avec le signal audio codé. Chaque canal audio comprend un canal de données DAP de capacité variable (au moins 2 kbit/s en général) qui peut servir à acheminer des informations strictement rattachées au programme sonore. C'est ce qui se produit dans le cas de passages chantés, d'indications de transition parole/musique et d'informations pour le contrôle de la dynamique.

Il en résulte une trame audio acheminant des données qui, pour un programme unique, s'étendent sur une période de 24 ms du signal audio stéréo (ou mono), plus les données DAP et répond au format de la Couche II d'ISO 11172-3; on peut donc l'appeler trame ISO. Par conséquent, un décodeur audio de Couche II ISO/MPEG peut être employé dans le récepteur.

8 Couche liaison de données

Cette couche assure la synchronisation du récepteur.

8.1 Trame de transmission

Pour faciliter la synchronisation du récepteur, le signal émis est constitué selon une structure de trame régulière (voir la Fig. 4). La trame d'émission comprend une séquence fixe de symboles. Le premier est un symbole nul qui assure une synchronisation approximative (lorsqu'aucun signal RF n'est émis), suivi d'un symbole de référence fixe qui apporte au récepteur une synchronisation précise et les fonctions de CAG, CAF et de référence de phase; ces symboles constituent le canal de synchronisation. Les symboles suivants sont réservés au CIR et ceux qui restent forment le CSP. La durée totale T_F de la trame est soit 96 ms soit 24 ms, selon le mode d'émission comme le montre le Tableau 3.

Dans le CSP, un créneau temporel fixe de la trame est attribué à chaque service audio.

FIGURE 4
Structure de la trame du multiplex

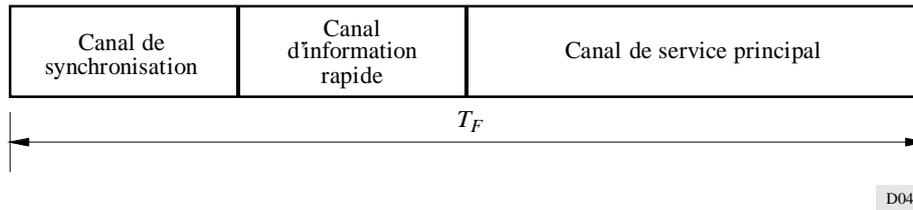


TABLEAU 3
Caractéristiques d'émission du Système

	Mode I	Mode II	Mode III
Durée totale de la trame, T_F	96 ms	24 ms	24 ms
Durée du symbole nul, T_{NULL}	1,297 ms	324 μ s	168 μ s
Durée totale du symbole, T_s	1,246 ms	312 μ s	156 μ s
Durée utile du symbole, t_s	1 ms	250 μ s	125 μ s
Durée de l'intervalle de garde, Δ ($T_s = t_s + \Delta$)	246 μ s	62 μ s	31 μ s
Nombre de porteuses émises, N	1 536	384	192

9 Couche physique

Cette couche concerne les procédés d'émission radioélectrique (c'est-à-dire le schéma de modulation et la protection contre les erreurs).

9.1 Dispersion d'énergie

Pour que le signal émis présente la dispersion d'énergie voulue, les diverses sources qui forment le multiplex sont embrouillées.

9.2 Codage convolutionnel

Afin d'avoir une réception fiable, chacune des sources qui constituent le multiplex subit un codage convolutionnel. Le codage ajoute volontairement une certaine redondance aux salves de données de la source (avec une longueur de contrainte égale à 7), ce qui donne des salves «brutes» de données.

Dans le cas d'un signal audio, à la suite d'une structure choisie à l'avance appelée profil de protection variable contre les erreurs, certains des bits codés à la source sont mieux protégés que les autres. Le débit de codage moyen, qui est le rapport du nombre de bits codés à la source sur le nombre de bits codés après codage convolutionnel, peut prendre des valeurs allant de 1/3 (meilleure protection) à 3/4 (protection la plus faible). On peut appliquer divers débits de codage moyens à des sources audio différentes en fonction de la protection voulue et le débit binaire peut s'appliquer à des sources audio différentes, selon la protection voulue et le débit binaire des données codées à la source. C'est ainsi que la protection de services audio acheminés par câble peut être plus faible que celle des services émis sur des canaux radiofréquence.

Les services de données générales subissent un codage convolutionnel de débit uniforme choisi parmi ceux d'une sélection. Les données du CIR sont codées au débit fixe de 1/3.

9.3 Entrelacement temporel

Afin de faciliter le fonctionnement des récepteurs mobiles, on applique aux données à codage convolutionnel un entrelacement temporel qui s'étend sur 16 trames.

9.4 Entrelacement en fréquence

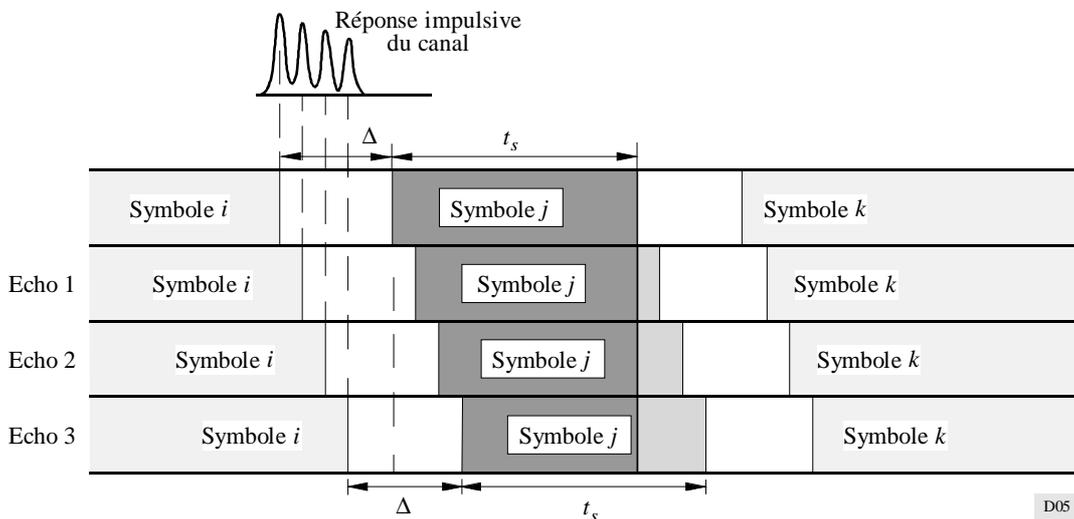
En présence de propagation par trajets multiples, certaines porteuses sont améliorées par des signaux favorables, tandis que d'autres subissent des brouillages défavorables (évanouissements sélectifs en fréquence). Le système assure donc l'entrelacement en fréquence par redistribution du train numérique entre les porteuses, de sorte que les échantillons de source successifs ne souffrent pas des évanouissements sélectifs. Quand le récepteur reste sur place, la diversité en fréquence est le procédé essentiel pour garantir une bonne réception.

9.5 Modulation MORF MDPD-4

Le Système emploie la modulation MORF MDPD-4. Ce schéma répond aux exigences impérieuses de la radiodiffusion numérique à fort débit binaire destinée à des récepteurs mobiles, portatifs ou fixes, notamment en présence de trajets multiples.

Il s'agit fondamentalement de diviser l'information à émettre en un grand nombre de trains binaires ayant chacun un faible débit binaire et qui modulent des porteuses différentes. La durée correspondante des symboles devient plus longue que la gamme d'étalement des retards du canal d'émission. Tout écho plus court que l'intervalle de garde ne cause pas dans le récepteur de brouillage intersymboles mais accroît en fait la puissance reçue (voir la Fig. 5). Le grand nombre N des porteuses est appelé un ensemble.

FIGURE 5
Contribution favorable des échos



En présence de propagation par trajets multiples, certaines porteuses sont améliorées par des signaux favorables tandis que d'autres subissent des brouillages défavorables (évanouissements sélectifs en fréquence). Le Système prévoit donc une redistribution dans le temps et en fréquence du train numérique binaire, de sorte que les échantillons de source successifs seront affectés par des évanouissements distincts. Quand le récepteur reste sur place, la diversité en fréquence est le seul procédé pour garantir une bonne réception; la diversité temporelle assurée par l'entrelacement temporel n'est d'aucun secours pour un récepteur immobile. Pour le Système, la propagation par trajets multiples est une forme de diversité d'espace qui se révèle être un avantage substantiel alors qu'elle peut au contraire annihiler totalement le service des systèmes MF classiques ou numériques à bande étroite.

Avec un système qui tire profit des trajets multiples, plus le canal d'émission a une large bande, plus le système est robuste. Pour le Système, on a choisi un ensemble de 1,5 MHz de largeur de bande afin de profiter des avantages des techniques à large bande mais aussi afin de rendre la planification plus souple. Le Tableau 3 indique aussi combien il y a de porteuses MORF dans chaque mode d'émission.

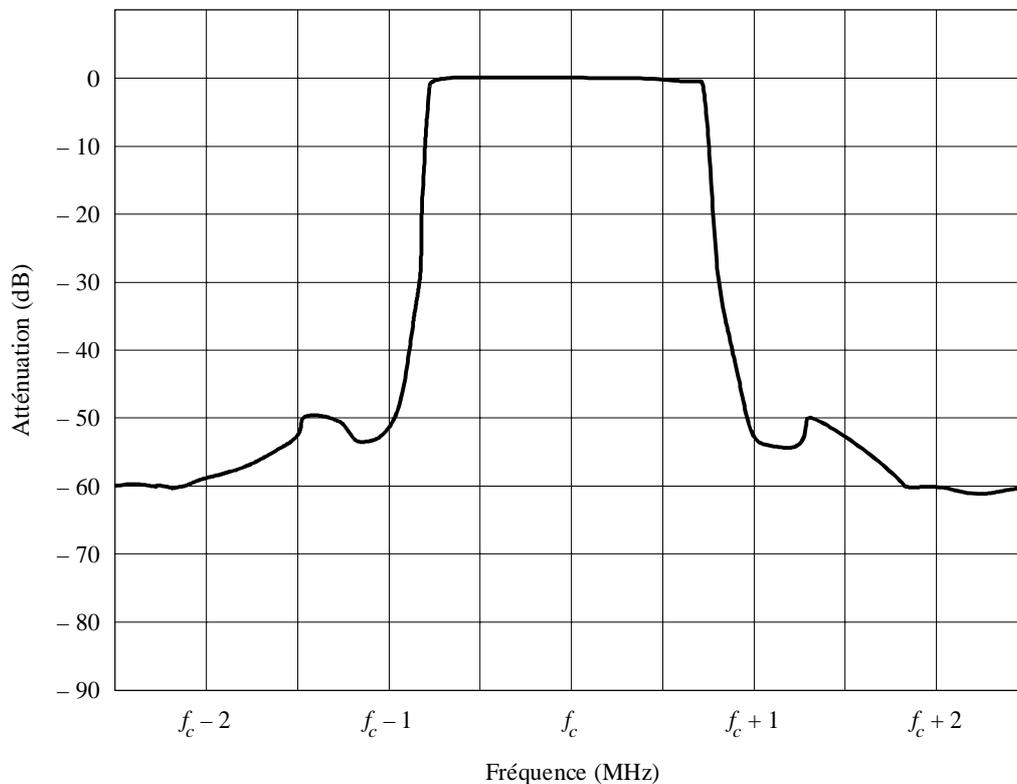
Autre avantage du recours aux porteuses MORF: pour la couverture de zones étendues et pour les réseaux de zones urbaines denses, on utilise efficacement le spectre et la puissance avec des réseaux à fréquence unique. On peut exploiter sur la même fréquence autant d'émetteurs diffusant le même programme que l'on veut, ce qui réduit aussi globalement les puissances nécessaires. En outre, les distances entre les diverses zones de service s'en trouvent sensiblement réduites.

Etant donné que les échos améliorent le signal reçu, tous les types de récepteurs (c'est-à-dire portatifs, domestiques et à bord de véhicules) peuvent avoir des antennes simples non directives.

9.6 Spectre du signal RF

Le spectre de l'ensemble du Système est représenté sur la Fig. 6.

FIGURE 6
Exemple de spectre du signal RF



f_c : fréquence centrale du canal

D06

10 Caractéristiques de qualité RF du Système

Les essais d'évaluation en RF du Système ont été effectués en Mode I à 226 MHz et en Mode II à 1 500 MHz dans des conditions variables correspondant à la réception fixe et à la réception mobile. On a procédé aux mesures du TEB en fonction du C/N sur un canal de données et cela, dans les conditions suivantes:

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

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

où:

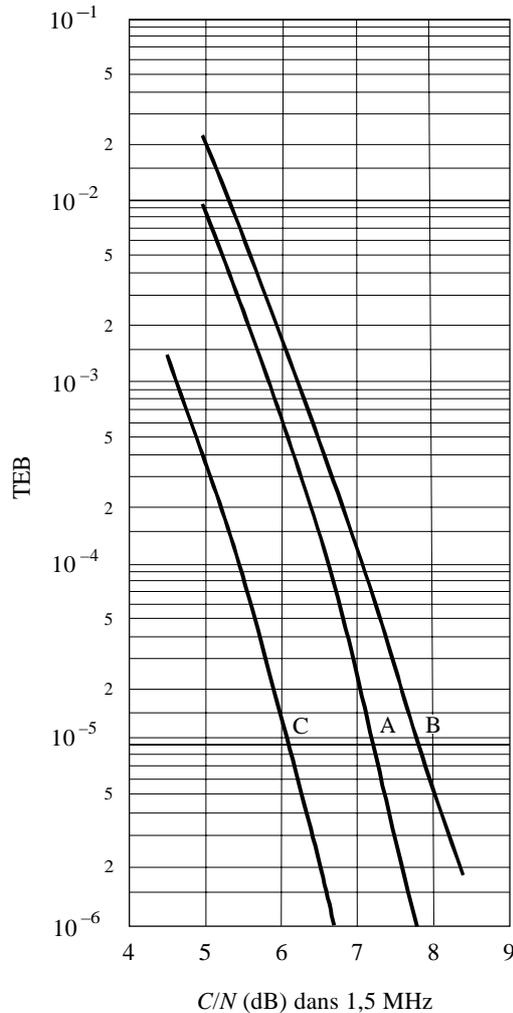
D : débit de données de la source

R : débit de codage moyen du canal.

10.1 TEB en fonction du C/N (dans 1,5 MHz) sur un canal gaussien à 226 MHz

On a ajouté un bruit blanc gaussien pour obtenir le C/N voulu à l'entrée du récepteur. Les résultats sont présentés sur la Fig. 7. On peut, par exemple, comparer pour $R = 0,5$, les résultats mesurés avec ceux qu'on obtient au moyen d'une simulation par logiciel pour faire apparaître les qualités inhérentes au Système. On voit qu'on obtient une marge d'exploitation inférieure à 0,5 dB pour un TEB de 1×10^{-4} .

FIGURE 7
Taux d'erreur binaire dans 1,5 MHz
et sur un canal gaussien, 226 MHz, Mode I



Courbes A: $R = 0,5$ (simulation par logiciel)
 B: $R = 0,5$
 C: $R = 0,375$

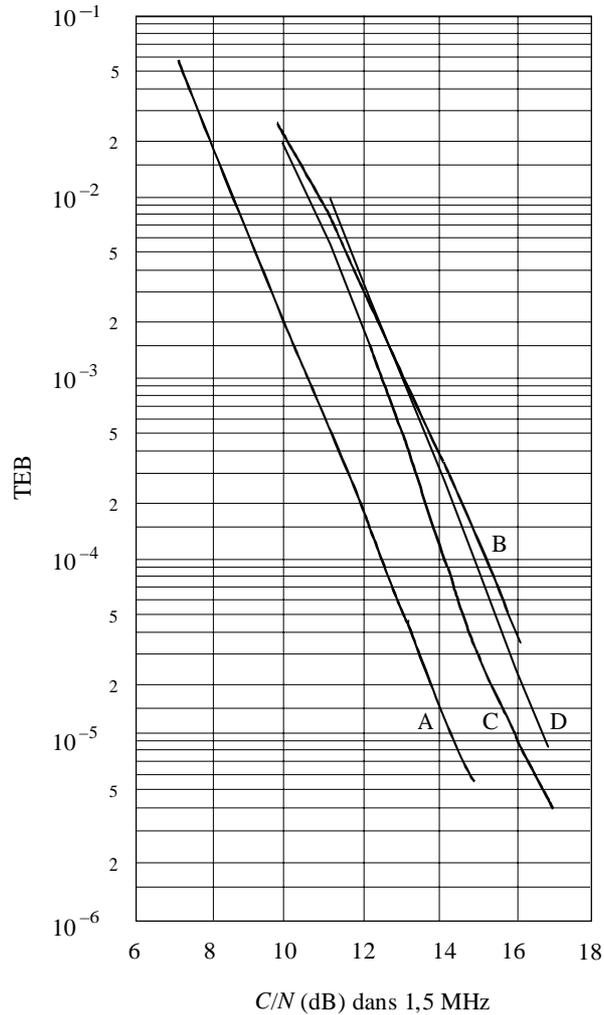
D07

10.2 TEB en fonction du C/N (dans 1,5 MHz) sur un canal de Rayleigh à 226 MHz

On a procédé aux mesures du TEB en fonction du C/N sur un canal de données ($D = 64$ kbit/s, $R = 0,5$) au moyen d'un simulateur d'évanouissements sur un canal.

Les résultats sont présentés sur la Fig. 8. Dans le cas d'un canal de Rayleigh et d'un profil rural et aussi d'un récepteur qui se déplace à 130 km/h, on peut comparer les résultats mesurés (Courbe B) à ceux qu'on obtient au moyen d'une simulation par logiciel (Courbe A). Pour un TEB de 1×10^{-4} , la différence est inférieure à 3 dB. La Courbe C illustre la qualité normalement obtenue en ville mais avec un canal à forte dispersion de fréquence. La Courbe D illustre la qualité d'un réseau type à fréquence unique, dans de mauvaises conditions, les signaux étant reçus avec des délais atteignant 600 μ s (ce qui correspond à une différence de trajet de 180 km).

FIGURE 8
Taux d'erreur binaire dans 1,5 MHz
et sur un canal de Rayleigh, 226 MHz, Mode I



Courbes A: $R = 0,5$, rural, 130 km/h
(simulation par logiciel)
B: $R = 0,5$, rural, 130 km/h
C: $R = 0,5$, urbain, 15 km/h
D: $R = 0,5$, réseau à fréquence
unique, 130 km/h

D08

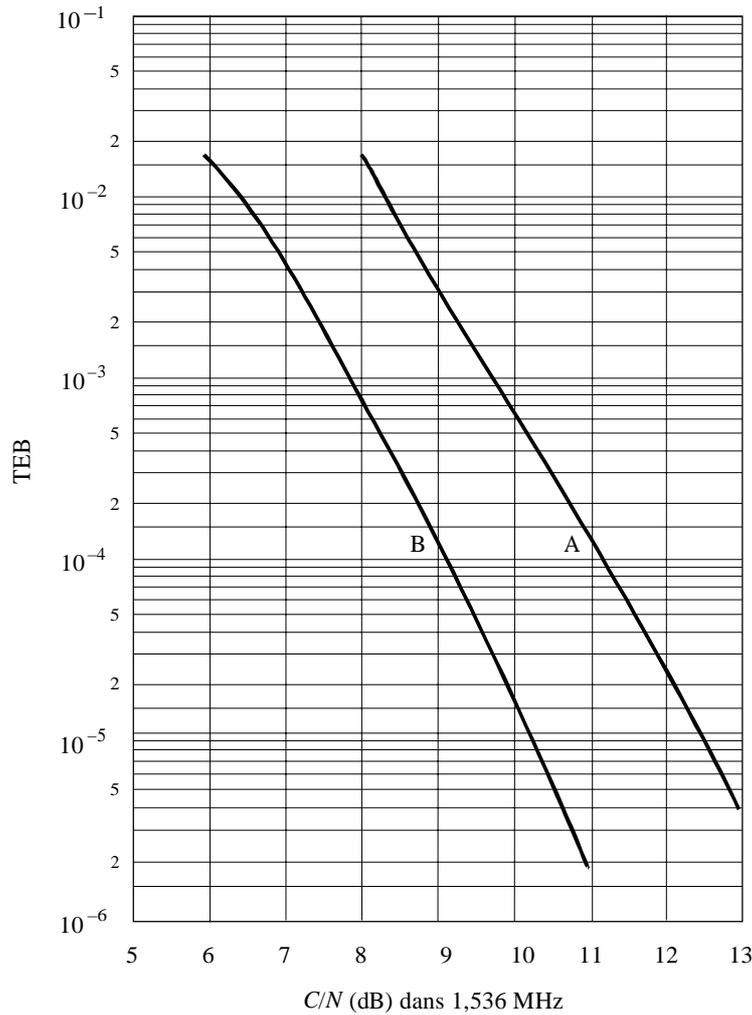
10.3 TEB en fonction du C/N (dans 1,5 MHz) sur un canal de Rayleigh à 1 500 MHz

Des mesures du TEB en fonction du C/N ont été faites sur un canal de données au moyen d'un simulateur d'évanouissement sur un canal. Les résultats sont présentés sur la Fig. 9.

10.4 Disponibilité du service audio

Des estimations provisoires de la qualité sonore montrent qu'aucune dégradation n'est perçue si le TEB est inférieur à 1×10^{-4} .

FIGURE 9
Taux d'erreur binaire dans 1,5 MHz et sur un canal de Rayleigh, 1 500 MHz, Mode II



Courbes A: $R = 0,5$, urbain, 15 km/h
 B: $R = 0,375$, urbain, 15 km/h

D09

ANNEXE 2

Système numérique B

1 Introduction

Le Système numérique B de radiodiffusion sonore est un système souple qui utilise efficacement la bande passante et la puissance, et assure la radiodiffusion de données numériques audio et auxiliaires à destination de récepteurs fixes, portatifs ou mobiles placés à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments. Le Système B est conçu pour la transmission par satellite, par voie hertzienne de Terre ou par des moyens hybrides dans les bandes de fréquences attribuées à la radiodiffusion.

Le Système B permet de moduler chaque porteuse par un multiplex adaptable de sources audio et de données numérisées. Cette caractéristique associée à la vaste gamme de débits de transmission possibles, permet de concilier les exigences des fournisseurs des services, la puissance des émetteurs et les largeurs de bande disponibles.

Le récepteur pour le Système B a une architecture modulaire. Un bloc central de réception standard permet la réception fixe ou mobile. Il est fait appel à des techniques de traitement du signal normalisées et éprouvées pour lesquelles des

circuits intégrés peu coûteux ont été mis au point. Des techniques de compensation, qui sont en général nécessaires en réception mobile, sont mises en oeuvre sous forme de fonctions de traitement additionnelles.

En radiodiffusion par satellite, le phénomène le plus gênant est l'effet d'écran dû aux immeubles, aux arbres et autres obstacles. L'effet d'écran est à l'origine d'évanouissements très profonds et il n'est pas possible en général de les compenser totalement en prévoyant une marge adéquate de la liaison. Plusieurs techniques de compensation ont été développées ou adaptées lors de la conception du récepteur pour le Système B. Ce récepteur prend en charge:

- la diversité de temps (retransmission de données): une version décalée dans le temps du flux de données est multiplexée avec les données initiales et émise sur la même porteuse;
- la diversité de réception (diversité d'antenne/de récepteur): deux récepteurs/antennes physiquement séparés reçoivent et traitent le même signal;
- la diversité d'émission (diversité de satellite/émetteur): le même flux de données est émis par deux récepteurs physiquement séparés sur des fréquences distinctes et reçu sur la même antenne et traité indépendamment;
- le renforcement du signal dans le même canal (réseau monofréquence): le même flux de données est émis par plusieurs émetteurs physiquement séparés ou plus sur la même fréquence et le signal composite reçu est traité par un égaliseur.

Dans les systèmes de Terre dotés de plusieurs émetteurs émettant sur le même canal, ainsi que dans les systèmes à satellites utilisant un renforcement du signal par des moyens de Terre, le récepteur du Système B disposera d'un égaliseur. Il s'agit là des seuls cas où le système central du récepteur devra avoir une configuration particulière. Les récepteurs non dotés de systèmes d'égalisation devront disposer d'une fonction de détection et d'élimination des symboles de conditionnement insérés dans le flux de données.

2 Description générale du système

La Fig. 10 qui représente le schéma fonctionnel du récepteur (à partir de la FI), illustre parfaitement la conception du Système B. Les fonctions de la partie centrale du récepteur sont représentées par des rectangles en trait plein et les fonctions facultatives de compensation des effets de la propagation par des rectangles en trait interrompu.

Après syntonisation du récepteur sur la porteuse voulue, le signal est converti en un signal FI de fréquence fixe inférieure à celle du signal d'entrée.

Dans la partie centrale du récepteur, la porteuse est reconstituée au moyen d'une boucle de Costas MDP-4 et les symboles sont détectés par un filtre adapté, le signal de rythme étant extrait par une boucle suiveuse de symboles. Après synchronisation de la trame, les symboles récupérés sont décodés et démultiplexés. Le décodeur de Reed-Solomon assure les fonctions supplémentaires de marquage des blocs mal décodés. Cette information est utilisée par le décodeur audio et peut être utilisée par le combineur à diversité de temps ou de signal, lorsque ce type de fonction est présent dans le récepteur.

Les signaux de la source audionumérique sélectionnée sont appliqués au décodeur tandis que les autres données numériques sont appliquées aux interfaces appropriées. Chaque codeur audio est capable de multiplexer des données asynchrones associées au programme avec le flux de données audio (voir la Fig. 10).

Lorsque le récepteur est équipé d'un égaliseur, celui-ci doit pouvoir être désactivé en l'absence de transmission sur trajets multiples afin de ne pas provoquer de dégradation de la qualité de réception.

La présence de propagation sur trajets multiples peut être détectée automatiquement, ou bien l'égaliseur peut aussi être activé manuellement lorsque le récepteur se trouve dans la zone desservie par des émetteurs de Terre. Lorsque l'égaliseur est activé, les boucles suiveuses de la porteuse et des symboles sont actives.

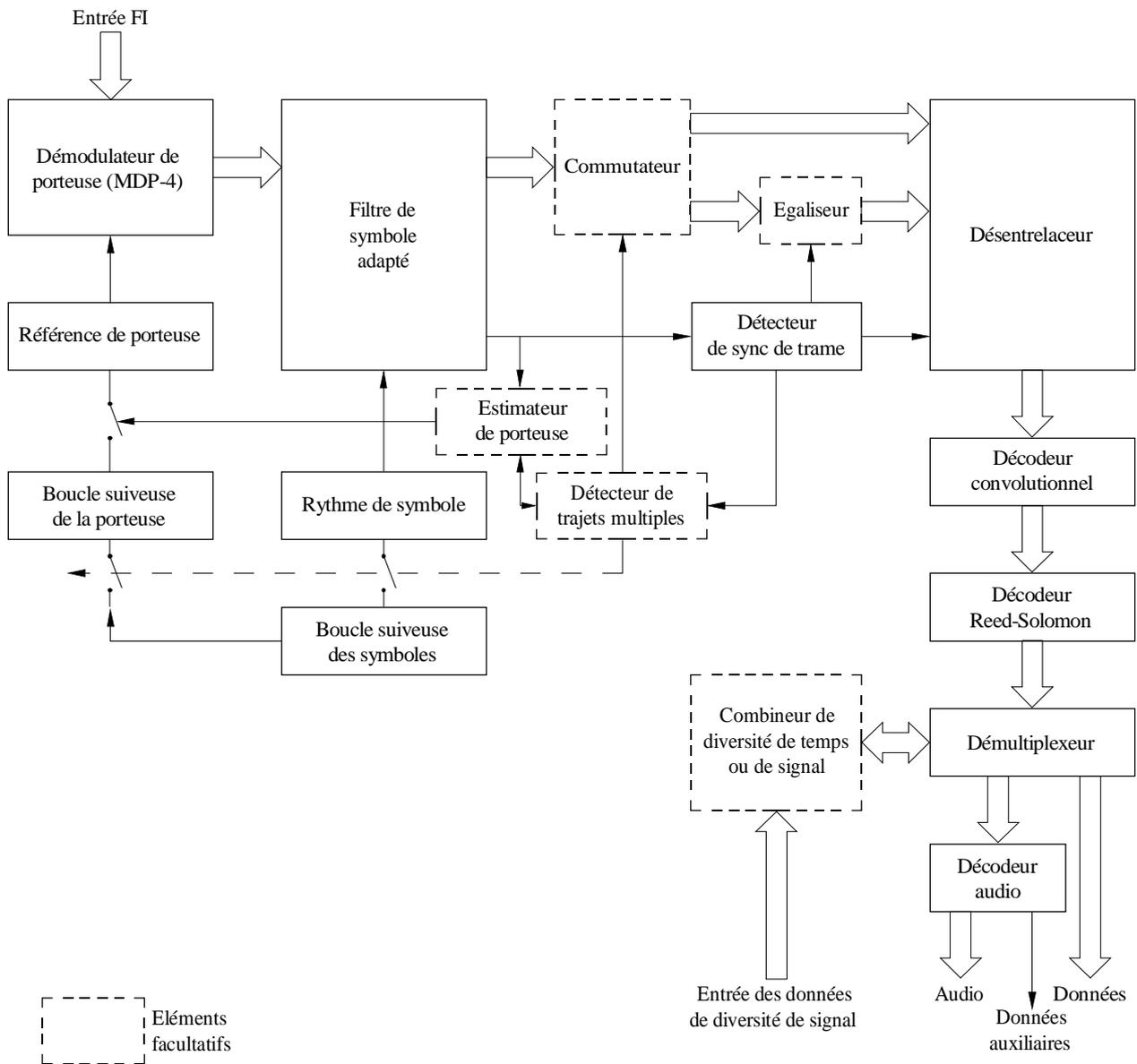
La diversité de temps est mise en oeuvre en émettant une version décalée dans le temps d'un flux de données multiplexé avec le flux d'origine. Dans le récepteur, ces deux flux sont démultiplexés et recalés dans le temps. Le flux contenant le moins d'erreurs est alors choisi pour la sortie.

La diversité de signal exige un traitement indépendant du signal ou de signaux de fréquences différentes, jusqu'au combineur de diversité. Le combineur de diversité assure les fonctions de recalage temporel et sélection du flux contenant le moins d'erreurs.

3 Description du Système B

Les couches de traitement de l'émetteur et du récepteur du Système B sont décrites pour chacun des blocs fonctionnels représentés à la Fig. 11. Les spécifications sont définies pour chacun de ces blocs.

FIGURE 10
Schéma de principe du récepteur



D10

3.1 Émetteur

L'émetteur exécute toutes les fonctions de traitement nécessaires à la production d'une seule porteuse radiofréquence. Il assure ainsi le multiplexage de la source audio analogique avec données numériques sur une seule porteuse, le codage pour correction d'erreur directe et applique la modulation MDP-4.

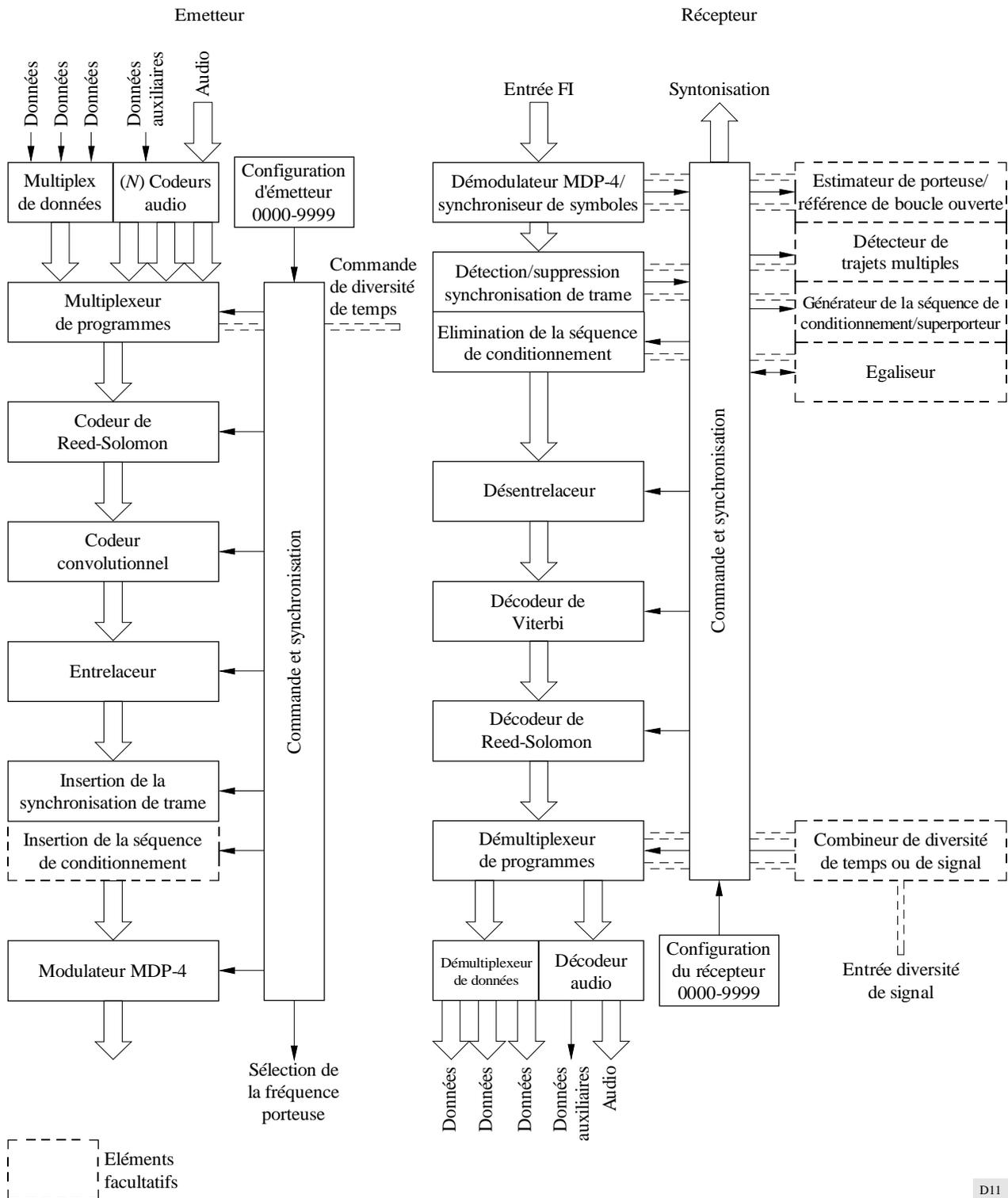
3.1.1 Interfaces d'entrée

L'émetteur accepte un ensemble de signaux audio analogiques échantillonnés, un ensemble de sources de données asynchrones et un ensemble de sources de données synchrones.

3.1.2 Codage audio

Un certain nombre de codeurs audio sont prévus pour prendre en charge le nombre requis de canaux monophoniques à largeur de bande limitée, de canaux stéréophoniques (pleine bande ou à largeur de bande limitée) et de canaux son ambiophoniques pleine bande à 5 voies.

FIGURE 11
Schéma fonctionnel du Système B



Chaque codeur accepte aussi un canal de données asynchrone multiplexé avec le flux de données audio. Le débit de données de ces canaux varie dynamiquement en fonction de la capacité non utilisée du canal audio.

La sortie de chaque codeur audio est constituée par un flux de données asynchrones avec un débit proportionnel à la bande audio et à la qualité audio. Les débits sont compris entre un minimum de 16 Kbit/s pour un canal audio monaural à largeur de bande limitée et 320 kbit/s pour un signal ambiophonique à 5 voies (le débit exact doit être déterminé par le Comité MPEG-2). Les débits des codeurs audio sont des multiples de 16 kbit/s.

3.1.3 Multiplexage des programmes

Tous les canaux audio numérisés et les canaux de données sont multiplexés en un flux de données série composite. Le débit en sortie est compris entre 32 kbit/s et un maximum qui dépend de la largeur de la bande d'émission et de la puissance. Ce maximum devrait être compris entre 1 et 10 Mbit/s.

A chaque combinaison de multiplex de sources audio et de leurs débits correspondants, ainsi que pour les sources de données et les débits correspondants, sera associé un unique identificateur numérique d'émission. Ce nombre sera utilisé pour régler le débit et la configuration de multiplexage.

3.1.4 Codage avec code correcteur d'erreur

Le codage avec code correcteur d'erreur du flux composite est un codage convolutionnel avec taux de 1/2 et de dimension $k = 7$, précédé par un codage de Reed-Solomon 140/160.

3.1.5 Entrelacement

Un entrelaceur de blocs est utilisé pour entrelacer le flux de données composites. La longueur de bloc de l'entrelaceur sera proportionnelle au débit de données composites afin d'obtenir une durée de trame de l'entrelaceur voisine de 200 ms quel que soit le débit de données.

3.1.6 Synchronisation de trame

Un mot de code de pseudo-bruit est inséré au début de chaque trame de l'entrelaceur. La synchronisation de trame de l'entrelaceur aura aussi une relation unique avec la trame du multiplexeur de programmes.

3.1.7 Insertion de la séquence de conditionnement

Si le programme radiodiffusé doit être reçu dans un environnement comportant des répéteurs fonctionnant dans le même canal, une séquence de conditionnement connue sera insérée avec un symbole de conditionnement placé tous les n symboles de données (n étant compris entre 2 et 4). La présence de symboles de conditionnement et leur fréquence sera identifiée par un numéro d'identification unique de l'émission.

3.1.8 Modulation

La dernière étape de ce processus consiste à appliquer une modulation MDP-4 à une fréquence intermédiaire. On utilisera un conditionneur d'impulsions pour que le signal reste dans la largeur de bande prescrite. Ensuite, le signal FI modulé est amené par conversion à la fréquence d'émission. Si l'on utilise un multiplex par répartition en fréquence (MRF), d'autres porteuses sont produites par un certain nombre d'émetteurs identiques à celui qui vient d'être décrit.

3.2 Récepteur

Après syntonisation sur la porteuse voulue et conversion du signal en un signal FI fixe de fréquence inférieure à celle du signal d'entrée, le récepteur exécute les fonctions de démodulation, de décodage et de démultiplexage ainsi que la conversion numérique-analogique du signal audio choisi.

Le débit de données et la configuration de démultiplexage des programmes dans le récepteur, seront réglés par insertion d'un numéro unique d'identification de l'émission. La partie centrale du récepteur sera alors en mesure d'exécuter toutes les fonctions de réception requises dans un contexte de réception fixe ou mobile, lorsque le signal est stable et que le rapport signal/bruit est suffisamment élevé.

Dans des conditions de réception mobile, en présence de problèmes et notamment de problèmes associés à l'effet d'écran, le récepteur devra disposer des perfectionnements nécessaires pour assurer la diversité de temps ou de signal, ou l'égalisation en cas d'utilisation de renforceurs (réémetteurs).

3.2.1 Démodulation

En général, la porteuse est démodulée dans un démodulateur cohérent MDP-4 à verrouillage de phase et les symboles sont détectés au moyen d'un filtre adapté, le rythme étant fourni par une boucle suiveuse de symboles.

Lorsque l'égalisation est activée en présence d'échos, les boucles suiveuses de la porteuse et des symboles sont ouvertes. Un estimateur de fréquence à transformée de Fourier rapide est utilisé pour fournir une référence fixe de démodulation de porteuse. Un échantillonnage à une fréquence double de celle du débit des symboles est appliqué au filtre de symboles adapté et ces échantillons sont transmis à l'égaliseur.

3.2.2 Synchronisation de trame

La synchronisation de trame de l'entrelaceur est effectuée par détection avec corrélation croisée du mot unique du mode de verrouillage de trame. Ce processus permet aussi de lever l'ambiguïté due à la modulation MDP-4.

3.2.3 Egalisation

En présence d'échos, il y aura plusieurs crêtes de corrélation très peu espacées à la sortie du détecteur de synchronisation de trame. Cette information peut être utilisée pour assurer la commutation automatique de l'égaliseur. L'égaliseur utilise une séquence de conditionnement produite localement dont le démarrage s'effectue sur la base d'une estimée de la position du mot de synchronisation de trame. Une comparaison du séquençement du mot de synchronisation de trame produit localement et de la sortie du détecteur de synchronisation de trame, permet de compenser les erreurs de temps entre la référence de synchronisation des symboles entrants et celle produite localement.

Le Système B utilise un égaliseur à décision prédictive en treillis avec réaction (PDFE). La tolérance en matière d'étalement temporel de tous les échos dépend de la plage d'action de l'égaliseur. Pour les essais de qualité de fonctionnement du Système B, on a utilisé un égaliseur comportant 22 cellules aller et 4 cellules retour. L'égaliseur pourra assurer l'acquisition dans une fenêtre temporelle correspondant à la durée de 100 symboles successifs. La plage d'action de l'égaliseur peut être élargie s'il est nécessaire de compenser un étalement temporel plus important.

3.2.4 Elimination de la séquence de conditionnement

A la sortie de l'égaliseur, les symboles de la séquence de conditionnement sont éliminés. Lorsqu'un récepteur non équipé d'un égaliseur traite des signaux comportant des symboles de conditionnement, ce récepteur doit aussi éliminer ces symboles. Le processus d'élimination est simple puisque la position des symboles de conditionnement par rapport au mot de verrouillage de trame est connue.

3.2.5 Désentrelacement

Le désentrelaceur rétablit la séquence temporelle d'origine des symboles détectés, telle qu'elle se trouvait dans l'émetteur avant l'opération d'entrelacement.

3.2.6 Décodage avec correction d'erreur

Un décodeur de Viterbi, suivi d'un décodeur de Reed-Solomon, abaisse le taux d'erreur sur les symboles détectés et reconvertit les symboles en bits de données. Si le décodeur de Reed-Solomon ne parvient pas à éliminer toutes les erreurs à l'intérieur d'un bloc de données, il ajoute une marque indiquant que le bloc est erroné. Cette indication peut ensuite être utilisée par le combineur de diversité pour choisir le meilleur signal, et aussi par le décodeur audio pour commander le silencieux audio.

3.2.7 Démultiplexage des programmes

Ici, le flux de données composite est démultiplexé en plusieurs flux de données numériques séparés et le flux audio désiré est sélectionné et appliqué au décodeur audio.

Lorsqu'on utilise la diversité de temps, le démultiplexeur de programmes sépare la version en temps réel et la version différée du flux de données, et les envoie au combineur de diversité qui choisit les données les moins erronées.

Si l'on utilise un récepteur indépendant pour la diversité de réception, on choisit les données de sortie; c'est lors du démultiplexage que les données les moins perturbées sont choisies.

3.2.8 Décodage audio

Le décodeur audio convertit le canal audionumérique choisi en un canal analogique. Il assure aussi le démultiplexage du canal de données auxiliaires et applique ces données à l'interface de sortie appropriée.

L'interface à partir du démultiplexeur de programmes fournit non seulement les données et le signal d'horloge, mais aussi une indication sur la qualité des données fournie par le décodeur de Reed-Solomon. Le signal peut être utilisé pour commander le silencieux lorsque le signal est reçu dans des conditions limites. Cette fonction a été utilisée lors des essais du Système B avec le décodeur audio PAC d'AT&T, et désactivée lors des essais avec un décodeur audio MUSICAM.

3.2.9 Sorties des interfaces

Les sorties des interfaces se composent du canal audio et des canaux de données sélectionnés. Les données peuvent comporter une indication «bon» ou «mauvais» fournie par le décodeur de Reed-Solomon. Les canaux de données peuvent commander des afficheurs du récepteur, ou des afficheurs spéciaux en cas de radiodiffusion de données. Comme plusieurs programmes peuvent être intégrés dans un même multiplex, les canaux non sélectionnés pour l'écoute peuvent être enregistrés pour reproduction ultérieure.

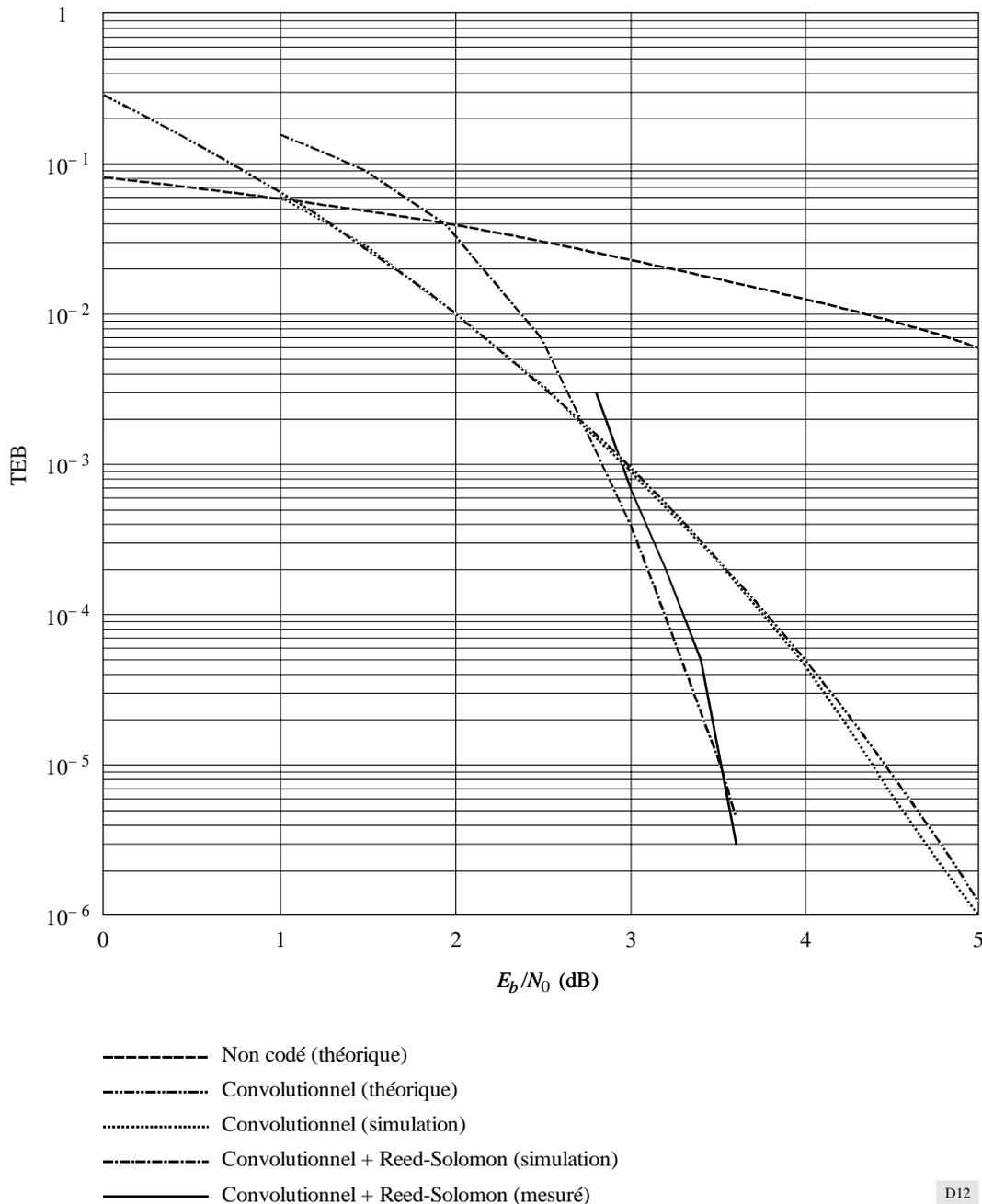
4 Qualité de fonctionnement

La qualité de fonctionnement du Système B est donnée par référence à un ensemble de modèles de canaux: un modèle de canal à bruit blanc gaussien additif (BBGA); un modèle de canal de satellite pour un seul signal de satellite; un modèle de canal avec plusieurs signaux (de même fréquence) qui représente un signal satellite associé à des réémetteurs-renforceurs de Terre, ou des signaux diffusés par un réseau d'émetteurs de Terre exclusivement.

4.1 Canal à bruit blanc gaussien additif (BBGA)

Une liaison satellite en visibilité directe peut être approximée par un canal BBGA. Le nombre de trajets multiples est très faible (le facteur k de Rice est généralement inférieur à 10 dB) pour des angles d'élévation supérieurs à 20°. La qualité de fonctionnement mesurée d'un récepteur du Système B d'un canal BBGA est représentée en termes de taux d'erreur binaire (TEB) à la Fig. 12 et comparée avec les résultats théoriques et ceux obtenus par simulation.

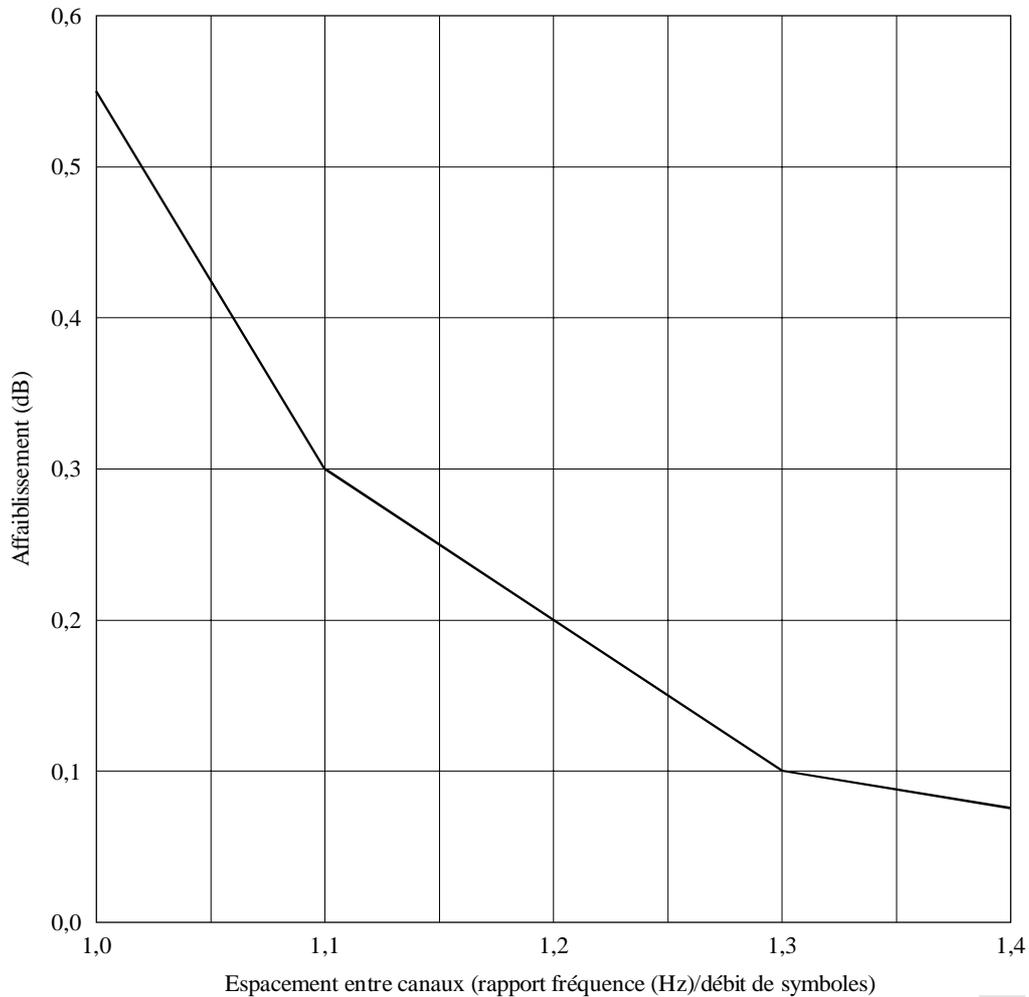
FIGURE 12
Qualité de fonctionnement du Système B sur un canal BBGA



Etant donné que le Système B peut utiliser plusieurs porteuses indépendantes dans le mode MRF, l'espacement des porteuses est déterminant. La Fig. 13 montre la dégradation de la qualité de fonctionnement mesurée en fonction de l'espacement des canaux.

FIGURE 13

Dégradation de la qualité de fonctionnement en fonction de l'espacement des porteuses



D13

L'espacement est donné en termes de rapport de l'espacement entre porteuses (Hz) sur le débit de symboles transmis (symbole/s). Dans le Système B, le débit de symboles est égal au produit du débit de données et du préfixe Reed-Solomon 160/140 et du préfixe du symbole de conditionnement.

4.2 Canal de satellite

Le niveau d'un signal émis par un satellite varie en cas de réception mobile car ce signal est aléatoirement occulté par les immeubles, les arbres et autres obstacles. Afin d'évaluer la qualité de fonctionnement du Système B en réception mobile, on a élaboré un modèle à partir de mesures effectuées sur un trajet test dans la région de Pasadena en Californie. Ce trajet a une durée de 45 min et correspond à des conditions de réception très variées (dégagée, partiellement occultée, très occultée, etc.). Les mesures sur le signal en provenance du satellite étaient effectuées sur une bande étroite avec une dynamique de 35 dB. Une courbe en fonction du temps est donnée à la Fig. 14. La Fig. 15 est un récapitulatif des statistiques de mesure du signal.

FIGURE 14
Modèle de disposition des canaux de satellite

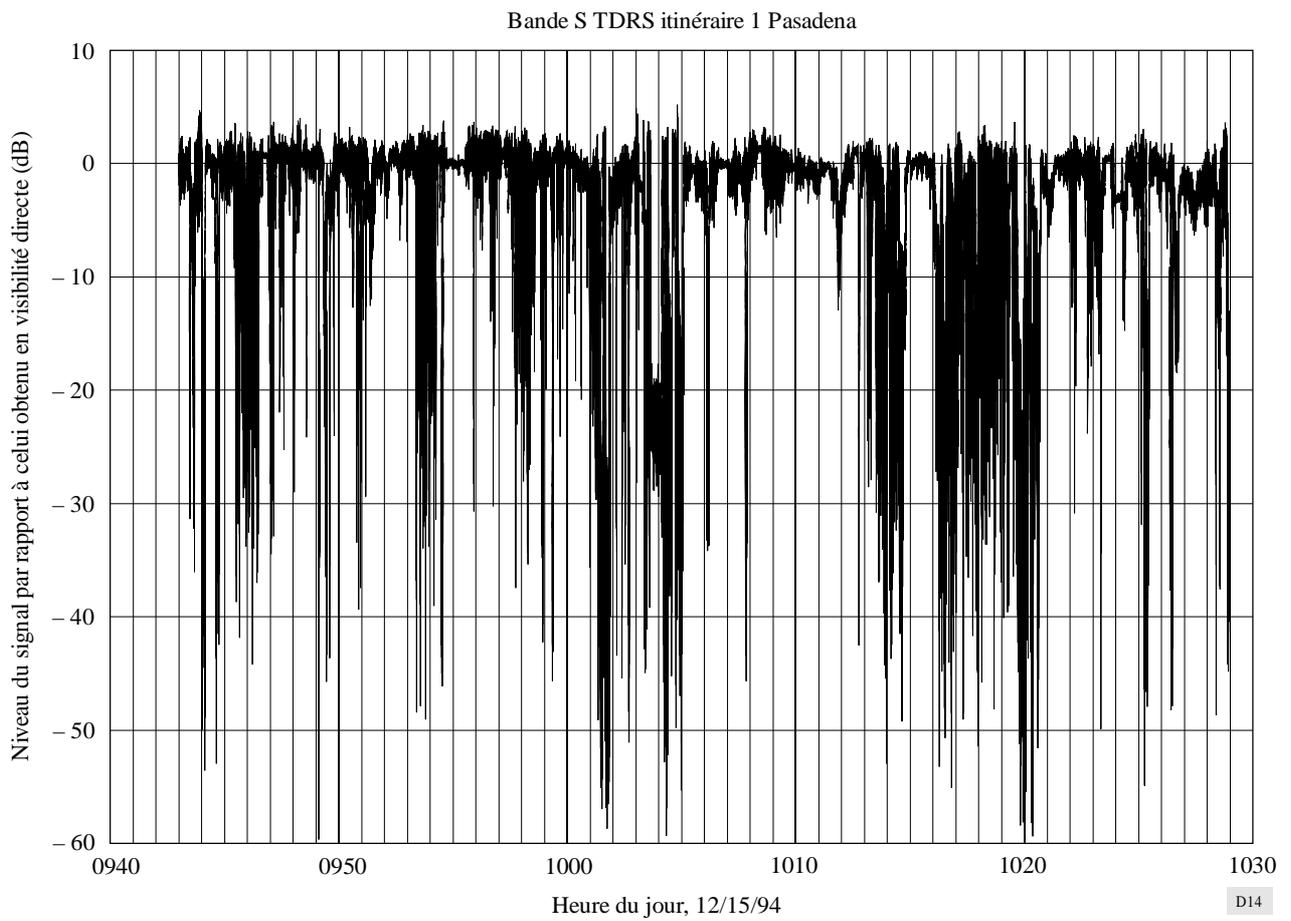
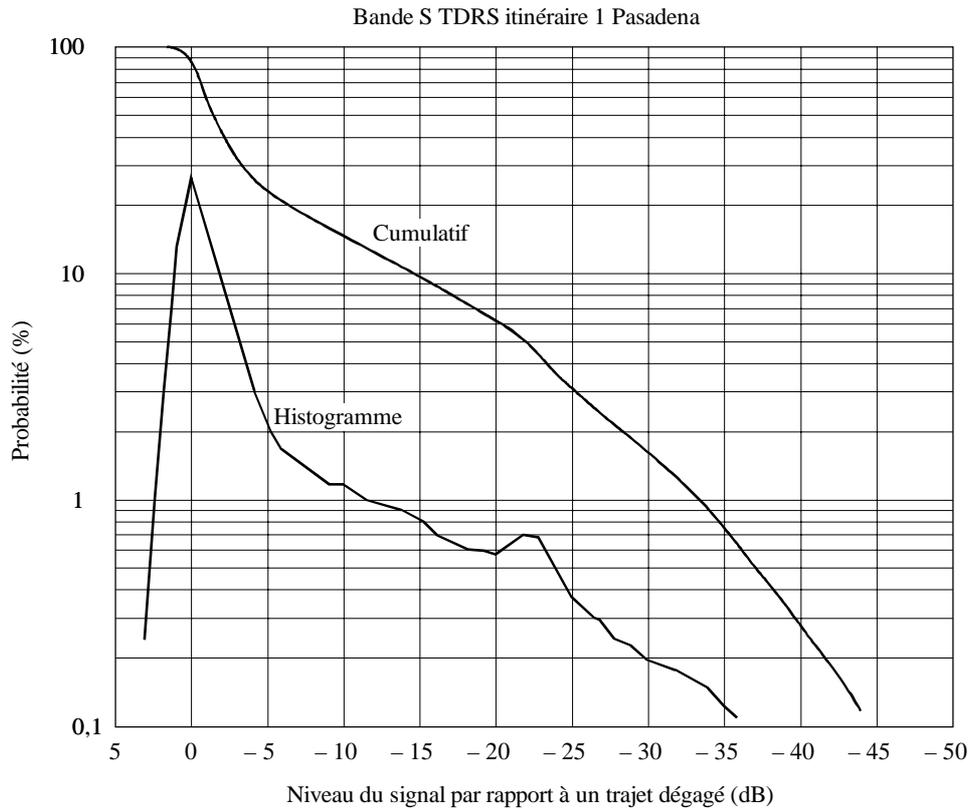


FIGURE 15
Statistiques du modèle de disposition des canaux de satellite



4.2.1 Diversité de temps

Lorsqu'il n'y a qu'un seul signal de satellite, une technique de compensation efficace est la diversité dans le temps. Une version décalée dans le temps du flux de données est multiplexée avec le flux d'origine, en espérant qu'au moins une version ne sera pas occultée. Le récepteur réaligne les deux flux de données et retient celui qui comporte le moins d'erreurs. Cette opération peut être effectuée à partir des indications fournies par le décodeur de Reed-Solomon.

La retransmission du flux de données dégrade la caractéristique du système de 3 dB, pourtant on montre que cette méthode donne de meilleurs résultats qu'une augmentation de 3 dB de la marge pour la liaison. Les Fig. 16 et 17 illustrent l'efficacité de la diversité de temps pour le modèle de canal utilisé à Pasadena. La Fig. 16 montre la probabilité totale d'apparition d'un évanouissement dépassant la plage des marges pour la liaison, moyennée sur toutes les conditions de réception du modèle. On notera que l'amélioration se produit lorsque le retard est inférieur à 4 s environ. La Fig. 17 montre les probabilités totales pour une marge fixe de 10 dB, pour chacune des conditions de réception.

4.2.2 Diversité de satellite

Plusieurs satellites peuvent être utilisés pour diffuser le même flux de données, en utilisant des fréquences et des récepteurs distincts pour chaque signal. Avec une telle technique, on s'attend à ce qu'au moins un signal ne sera pas occulté compte tenu de la différence de direction entre le récepteur et les satellites.

L'efficacité de la diversité de satellite, tout comme celle de la diversité dans le temps, dépend de la géométrie des obstacles à l'origine de l'occultation du signal. On a récemment utilisé des techniques photogrammétriques pour obtenir des statistiques sur l'efficacité de la diversité de satellite. Ces techniques font intervenir une prise de vues avec un appareil photographique équipé d'un objectif œil de poisson pointé sur le zénith, puis une analyse de ces photographies pour déterminer le pourcentage de ciel dégagé, partiellement occulté ou totalement occulté. La position du satellite peut ensuite être superposée sur ces images et servir à évaluer le gain de diversité obtenu en un lieu ou sur un trajet précis.

FIGURE 16
Probabilité d'évanouissement composée en fonction de la marge pour la liaison

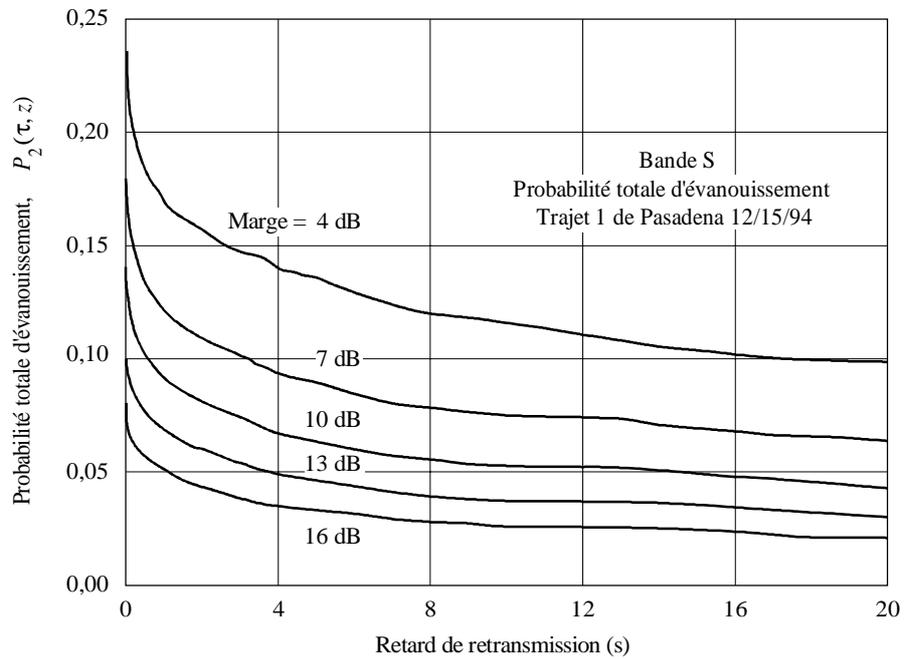
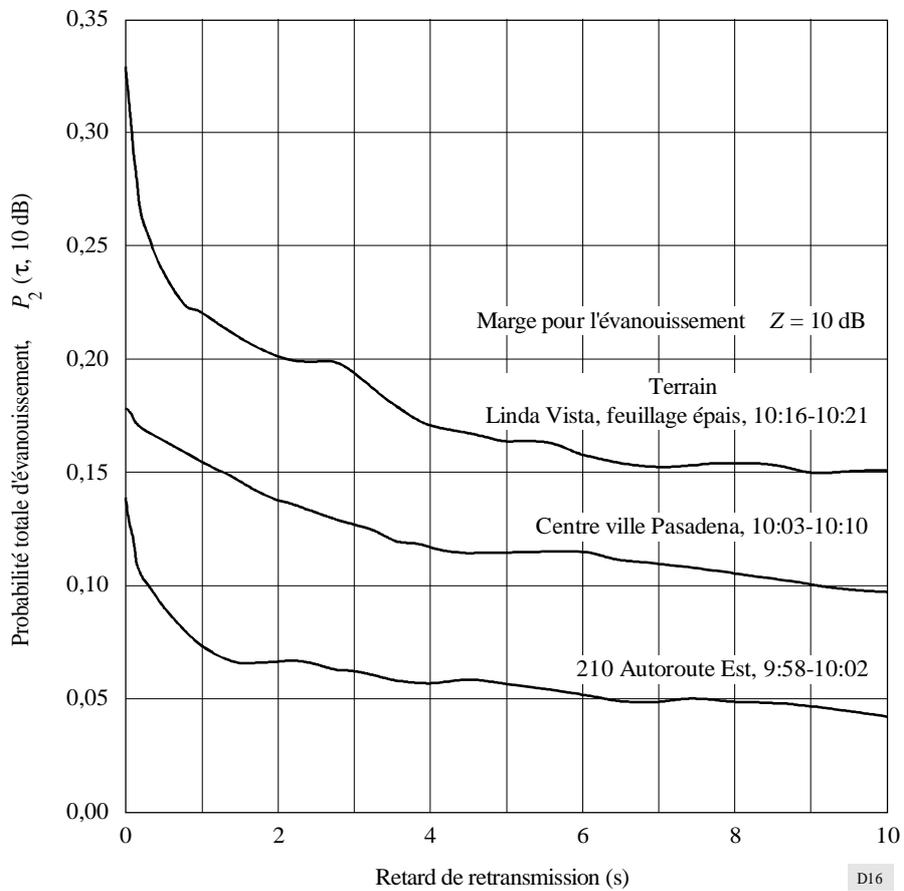


FIGURE 17
Probabilité d'évanouissement composée en fonction de l'environnement



4.3 Réseau monofréquence

Une méthode qui permet de recevoir un signal en provenance d'un satellite dans des zones de réception difficile, consiste à utiliser des réémetteurs de Terre fonctionnant sur le même canal. Le Système B utilise un dispositif d'égalisation lui permettant de fonctionner dans de telles conditions. La seule restriction à l'utilisation de l'égalisation est que les signaux soient décalés dans le temps les uns des autres de plus de $1/2$ symbole. Il n'y a pas de restriction concernant la distance entre les réémetteurs à condition que le retard associé à chaque réémetteur soit différent de celui des autres réémetteurs. Le retard maximal entre réémetteurs sera fonction du nombre d'étages prévus dans l'égaliseur.

4.3.1 Modèles de canal

Deux modèles de signal ont été établis pour évaluer la qualité de fonctionnement de l'égaliseur du Système B. L'efficacité de la réception par diversité de signal a aussi été évaluée.

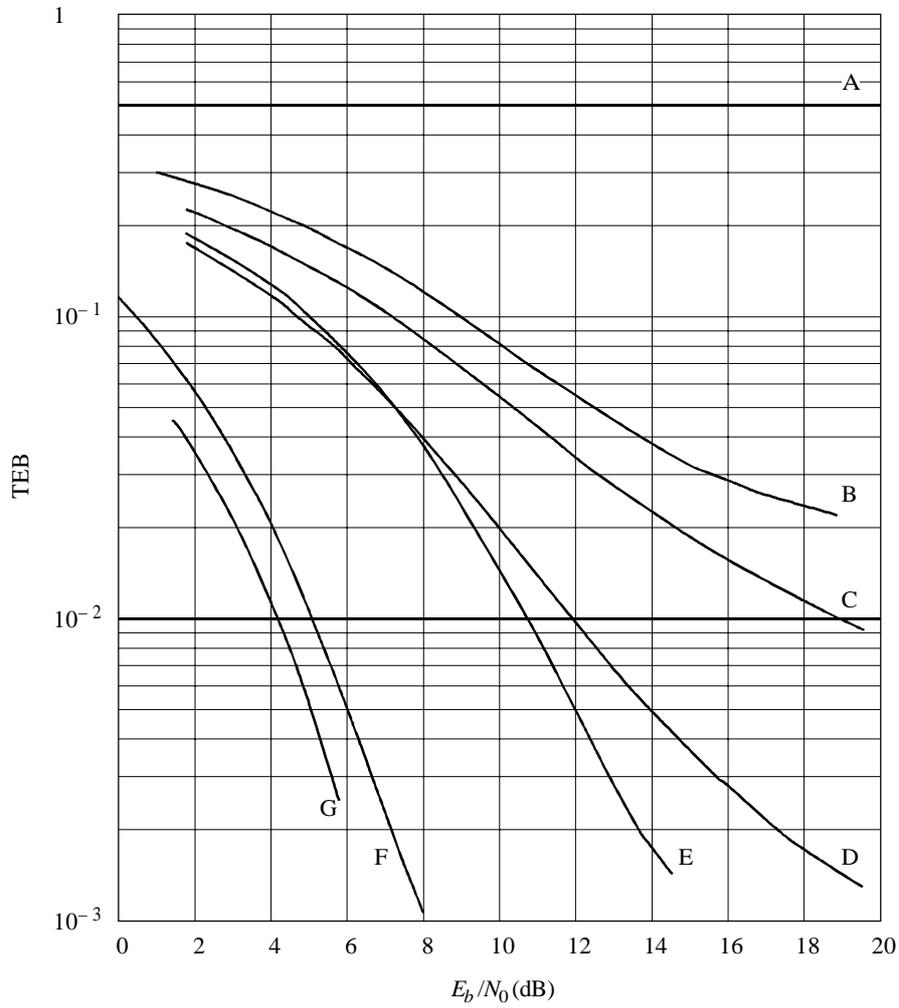
Le premier est un modèle de Rice dans lequel la moitié de la puissance se trouve dans la composante directe du signal et un quart dans chacune des deux composantes de Rayleigh. L'étalement Doppler sur les composantes de Rayleigh a été fixé à ± 213 Hz, ce qui correspond à une vitesse du véhicule de 100 km/h à 2,3 GHz. Le débit de transmission était de 300 000 symboles/s. Le rapport E_b/N_0 est défini sur la base de la puissance totale et inclut les effets associés à la présence de la séquence de conditionnement.

Le deuxième est un modèle de Rayleigh comportant trois composantes de Rayleigh de puissance égale.

4.3.2 Qualité de fonctionnement de l'égaliseur

La validité des compromis initiaux et la qualité de fonctionnement de l'égaliseur ont été évaluées en utilisant une simulation simplifiée dans laquelle le retard entre les signaux était égal à un nombre entier de durée de symboles et la récupération de la synchronisation des symboles était parfaite. Les résultats sont représentés à la Fig. 18. Le TEB est le taux d'erreur non codé, avant décodage de Viterbi et de Reed-Solomon. Un taux d'erreur de 1×10^{-2} est ramené à 1×10^{-6} par le processus de décodage.

FIGURE 18
 Qualité de fonctionnement de l'égaliseur du Système B (non codé)

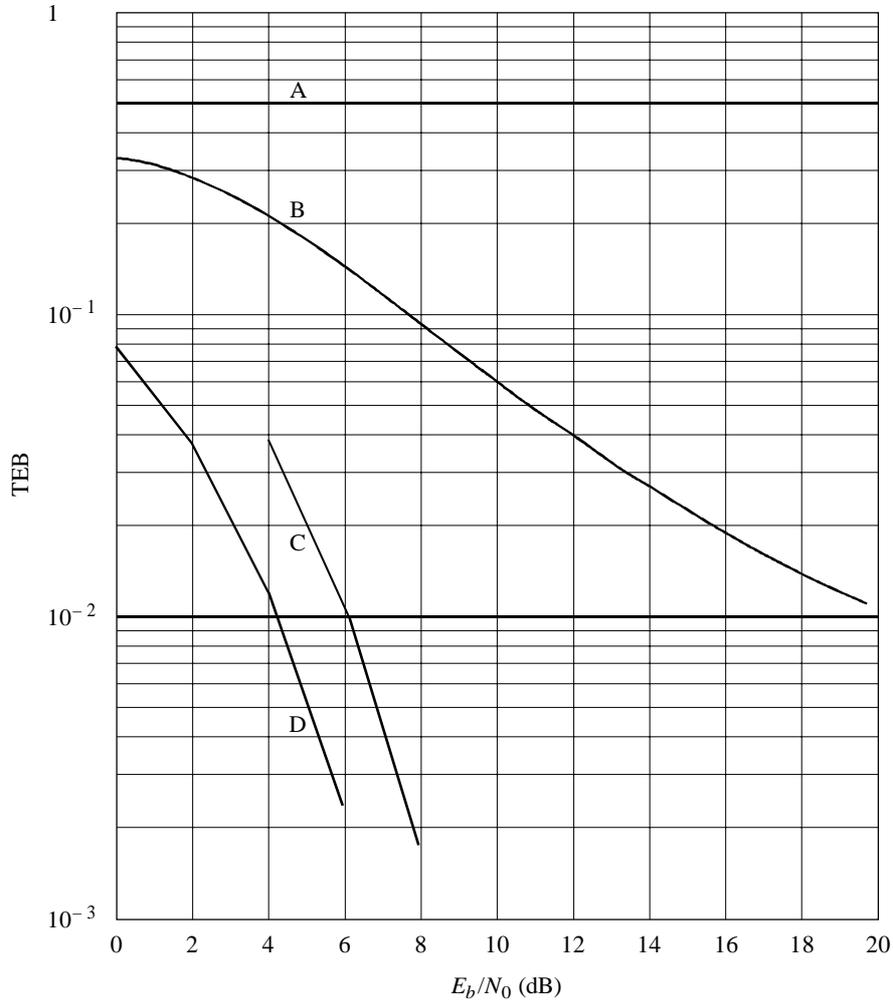


- Courbes A: pas d'égalisation, canal de Rice ou de Rayleigh
- B: Rayleigh, diversité = 1
Symboles de conditionnement 1:5
- C: Rayleigh, diversité = 1
Symboles de conditionnement 1:3
- D: Rayleigh, diversité = 2
Symboles de conditionnement 1:3
- E: Rice, diversité = 1
Symboles de conditionnement 1:3
- F: pas de trajets multiples, pas d'évanouissement, égaliseur actif
Pas de préfixe de symboles de conditionnement
- G: pas de trajets multiples, pas d'évanouissement, pas d'égaliseur

TEB non codé = 1×10^{-2}
 TEB codé = 1×10^{-6}

La Fig. 19 montre la qualité de fonctionnement obtenue avec simulation intégrale, y compris le fonctionnement en boucle ouverte des boucles de démodulation de la porteuse et de synchronisation des symboles.

FIGURE 19
Qualité de fonctionnement de l'égaliseur du Système B (non codé)



Courbes A: pas d'égalisation, canal de Rayleigh

B: Rayleigh, diversité = 1

Symboles de conditionnement 1:3

C: pas de trajets multiples, pas d'évanouissement, égaliseur actif

Pas de préfixe de symboles de conditionnement

D: pas de trajets multiples, pas d'évanouissement, pas d'égaliseur

TEB non codé = 1×10^{-2}

TEB codé = 1×10^{-6}

D18