

## RECOMMANDATION UIT-R BO.1130-2

**SÉLECTION DE SYSTÈMES DE RADIODIFFUSION SONORE NUMÉRIQUE PAR SATELLITE  
À DESTINATION DE RÉCEPTEURS PLACÉS À BORD DE VÉHICULES, DE RÉCEPTEURS  
PORTATIFS ET FIXES DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES 1400-2700 MHz**

(Question UIT-R 93/10)

(1994-1995-1999)

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 (SRS(sonore)) 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 caractéristiques techniques et d'exploitation des systèmes de radiodiffusion audionumérique, de Terre et par satellite respectivement, pour récepteurs à bord de véhicules, portatifs et fixes;
- c) que, conformément aux conditions imposées par la Résolution UIT-R 1, lorsqu'une Recommandation contient des informations sur plusieurs systèmes, ces systèmes doivent faire l'objet d'une évaluation que sera incluse dans la Recommandation en question;
- d) que l'UIT-R dispose d'une documentation suffisante sur les trois systèmes recommandés (Systèmes numériques A, B et D);
- e) que ces trois systèmes ont été suffisamment mis à l'essai en conditions réelles et que l'UIT-R dispose de documents exposant les résultats des essais;
- f) que le Système numérique A, décrit dans l'Annexe 1, est le système recommandé pour la radiodiffusion audionumérique par voie hertzienne de Terre pour des récepteurs à bord de véhicules portatifs et fixes, fonctionnant dans la gamme de fréquences attribuée à la radiodiffusion sonore au-dessus de 30 MHz, comme spécifié dans la Recommandation UIT-R BS.1114;
- g) qu'en Europe, la normalisation s'est déjà traduite par l'adoption du Système numérique A (Eurêka 147 comme Norme ETS 300401 de l'Institut européen des normes de télécommunication (ETSI)) pour le SRS le service de radiodiffusion (sonore) pour récepteurs à bord de véhicules, portatifs et fixes;
- h) que la Résolution 1 (Radiodiffusion audionumérique) de la huitième Conférence mondiale des Unions de radiodiffusion (La Barbade, 24 et 25 avril 1995) invite à poursuivre les efforts pour déterminer si une norme mondiale unique pour la radiodiffusion audionumérique est envisageable et que, dans la négative, il faut encourager des normes aussi proches les unes des autres que possible en ce qui concerne le codage à la source, la structure de transport, le codage de canal et la bande de fréquences,

*notant*

- a) que de brèves présentations des Systèmes numériques A, B et D figure à l'Annexe 1;
- b) que des descriptions complètes des Systèmes numériques A, B et D sont respectivement données dans les Annexes 2, 3 et 4,

*recommande*

**1** aux administrations souhaitant mettre en place des SRS (sonore) partiellement ou totalement conformes aux dispositions de la Recommandation UIT-R BO.789 d'utiliser le Tableau 1 pour comparer les avantages respectifs des Systèmes numériques A, B et D lorsqu'elles choisiront leur système.

TABLEAU 1

**Evaluation de la performance des Systèmes numériques A, B et D sur la base des caractéristiques techniques et d'exploitation recommandées dans la Recommandation UIT-R BO.789\*, (1)**

Caractéristiques recommandées dans la Recommandation UIT-R BO.789 (libellé condensé)	Système numérique A	Système numérique B	Système numérique D
1. Qualité sonore et types de réception	8 à 384 kbit/s par canal audio, par incréments de 8 kbit/s. Un décodeur audio MPEG-2 Couche II fonctionnant normalement à 192 kbit/s est intégré dans les récepteurs.  Pour récepteurs fixes, portatifs ou à bord de véhicule <sup>(2)</sup>	16 à 320 kbit/s par canal audio, par incréments de 16 kbit/s. Un codeur PAC de la source à 160 kbit/s a été utilisé pour la plupart des essais en conditions réelles.  Pour récepteurs fixes, portatifs ou à bord de véhicule <sup>(3), (4)</sup>	16 à 128 kbit/s par canal audio, par incréments de 16 kbit/s. Un codage audio MPEG-2 et MPEG-2.5 Couche III est utilisé.  Pour récepteurs fixes et portatifs <sup>(4), (5)</sup>
2. Efficacité spectrale supérieure à celle des systèmes MF	Possibilité d'obtenir une qualité équivalente à la stéréo MF dans une largeur de bande inférieure à 200 kHz; protection requise dans le même canal et dans les canaux adjacents très inférieure à celle d'un service MF. L'efficacité spectrale est particulièrement grande lorsque les émetteurs réutilisent la même fréquence (COFDM)	Possibilité d'obtenir une qualité équivalente à la stéréo MF dans une largeur de bande inférieure à 200 kHz; protection requise dans le même canal et dans les canaux adjacents très inférieure à celle d'un service MF. (Modulation MDP-4 avec bloc concaténé et codage convolutionnel avec correction d'erreur.)	Possibilité d'obtenir une qualité équivalente à la stéréo MF dans une largeur de bande inférieure à 200 kHz; protection requise dans le même canal et les canaux adjacents très inférieure à celle d'un service MF (Modulation MDP-4 avec bloc concaténé et codage convolutionnel avec correction d'erreur)
3. Performance en présence de trajets multiples et de zones d'ombre	Le système est spécialement conçu pour fonctionner en présence de trajets multiples. Il fonctionne par addition de la puissance des échos pendant un intervalle de temps donné, ce qui permet aux réémetteurs situés sur le canal de couvrir les zones d'ombre	Le système est conçu pour maximiser la marge de liaison pour le satellite <sup>(4)</sup> et pour atténuer les conséquences des trajets multiples et l'effet Doppler qui affectent la diffusion complémentaire par voie hertzienne de Terre. <sup>(3)</sup>  Les zones d'ombre sont couvertes grâce à l'utilisation d'émetteurs fonctionnant sur le même canal <sup>(3)</sup>	Dans sa configuration de base, le système est avant tout conçu pour la réception directe par satellite et, dans ce mode, la réception avec des trajets multiples ne pose pas de problèmes. <sup>(1)</sup>  La marge de liaison du satellite est maximisée pour accroître les performances en cas de réception directe par satellite en présence d'un certain effet de masque <sup>(4)</sup>
4. Traitement du signal commun à la réception pour radiodiffusion par satellite et la radiodiffusion par voie hertzienne de Terre	Permet l'utilisation du même récepteur, de l'entrée RF à la sortie audio et données. Des antennes de réception intégrées ou distinctes peuvent être utilisées pour la réception du signal par satellite (polarisation circulaire) et du signal transmis par voie hertzienne de Terre (polarisation verticale)	Permet l'utilisation du même récepteur de base pour les signaux transmis par satellite et par voie hertzienne de Terre, un composant d'égalisation devant cependant être ajouté pour la diffusion par voie hertzienne de Terre <sup>(3)</sup>	Pour les applications fixes et mobiles en environnement rural, le même récepteur de base peut être utilisé à condition que la partie voie hertzienne de Terre (pour les récepteurs placés à l'intérieur de bâtiments) soit uniquement constituée d'émetteurs de complément de très faible puissance. Des récepteurs de deuxième génération sont actuellement développés pour la réception en environnement urbain, applications mobiles comprises <sup>(5)</sup>

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques recommandées dans la Recommandation UIT-R BO.789 (libellé condensé)	Système numérique A	Système numérique B	Système numérique D
5. Reconfiguration et qualité/ nombre de programmes	Le multiplexage des services est basé sur 64 sous-canaux d'une capacité allant de 8 kbit/s à environ 1 Mbit/s, selon le niveau de protection contre les erreurs, et est complètement reconfigurable, de façon dynamique. Chaque sous-canal peut en outre contenir un nombre illimité de canaux de paquets de données d'une capacité variable	Structuré, à cet effet en modules de 16 kbit/s	Système de multiplexage souple à modules de 16 kbit/s permettant d'établir un compromis, dans le cadre de l'échange de programmes, entre la qualité sonore et le nombre de services (programmes)
6. Compromis étendue de la couverture/ nombre de programmes	5 niveaux de protection pour les services audio et 8 niveaux de protection pour les services de données grâce à l'utilisation d'un codage convolutionnel discontinu pour chacun des 64 sous-canaux (CED de 1/4 à 3/4)	Ce type de compromis est possible grâce à un débit binaire d'information en étapes de 32 kbit/s et à un taux de CED variable <sup>(3)</sup>	Le système est optimisé pour la réception directe par satellite. N'est intéressant que pour la diffusion par voie hertzienne de Terre <sup>(1)</sup>
7. Même récepteur pour différents types de diffusion de programme <ul style="list-style-type: none"> <li>- Couverture satellite</li> <li>- Exploitation mixte/hybride</li> <li>- Diffusion par voie hertzienne de Terre</li> <li>- Distribution par câble</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de fournir des services de satellite pour différentes tailles de zone de couverture (des restrictions existent, qui sont dues à la puissance émise par le satellite<sup>(4)</sup> et à la taille de l'antenne d'émission)</li> <li>- Permet d'utiliser la même bande que pour la radiodiffusion sonore par voie hertzienne de Terre (mixte) ainsi que d'utiliser des réémetteurs sur le même canal de Terre pour améliorer la couverture du satellite (hybride), donc de recevoir de manière transparente tous ces canaux sur un récepteur commun</li> <li>- Permet de fournir des services locaux, sous-nationaux et nationaux par voie hertzienne de Terre avec une même modulation et un émetteur unique ou plusieurs émetteurs fonctionnant dans un réseau monofréquence pour pouvoir utiliser un récepteur commun</li> <li>- Le signal peut être acheminé de façon transparente sur le câble</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de fournir des services de satellite pour différentes tailles de zone de couverture (des restrictions existent, qui sont dues à la puissance émise par le satellite<sup>(4)</sup> et à la taille de l'antenne d'émission)</li> <li>- Utilisation mixte et hybride de la diffusion par satellite et de la diffusion complémentaire par voie hertzienne de Terre dans les bandes allouées aux systèmes SRS (sonore) par la CAMR-92<sup>(3)</sup></li> <li>- Avec des émetteurs de Terre dans les bandes de fréquences appropriées<sup>(3)</sup></li> <li>- Le signal peut être acheminé de façon transparente sur le câble</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de fournir des services de satellite pour différentes tailles de zone de couverture (des restrictions existent, qui sont dues à la puissance émise par le satellite<sup>(4)</sup> et à la taille de l'antenne d'émission)</li> <li>- Sera possible avec le récepteur de deuxième génération<sup>(5)</sup></li> <li>- Sera possible avec le récepteur de deuxième génération<sup>(5)</sup></li> <li>- Le signal peut être acheminé de façon transparente sur le câble</li> </ul>

TABLEAU 1 (*fin*)

Caractéristiques recommandées dans la Recommandation UIT-R BO.789 (libellé condensé)	Système numérique A	Système numérique B	Système numérique D
8. Possibilité d'insertion de données associées au programme (DAP)	On dispose d'un canal pour les DAP, d'une capacité de 0,66 à 64 kbit/s, en réduisant d'autant la capacité de l'un quelconque des canaux audio. Une information évolutive apparaît sur l'afficheur alphanumérique de tous les récepteurs pour indiquer le programme et les services. Le décodage HTML de base et le décodage d'images JPEG sont proposés sur les récepteurs à écran graphique (1/4 VGA, <i>video graphics array</i> ), etc.	A déterminer <sup>(3)</sup>	Les DAP comprenant du texte (étiquettes évolutives) et des graphiques avec commande de l'accès conditionnel peuvent être diffusées
9. Possibilité de services à valeur ajoutée	Tout sous-canal (parmi les 64 existants) non utilisé pour les services audio peut être utilisé pour des services de données indépendants des programmes. Les canaux réservés à la transmission de paquets de données pour les services hautement prioritaires offerts à tous les récepteurs réglés sur un service du multiplex peuvent être acheminés par CIR. La capacité totale peut aller jusqu'à 16 kbit/s. Les récepteurs sont dotés d'une interface de données radioélectriques pour le transfert des données vers un ordinateur	Tout bloc de 32 kbit/s peut être utilisé pour des services à valeur ajoutée; non testé <sup>(3)</sup>	Une capacité variable, par incréments de 8 kbit/s, allant jusqu'à 1,536 Mbit/s (capacité totale multiplex) peut être assignée à des données indépendantes pour la diffusion de données commerciales, de données de radiomessagerie, d'images fixes, etc., éventuellement sous commande de l'accès conditionnel. Un connecteur de données est prévu sur les récepteurs pour assurer l'interface avec les réseaux infotiques et les réseaux de communication
10. Assignation souple des services	Le multiplex peut être reconfiguré de façon dynamique de manière transparente pour l'utilisateur	A déterminer <sup>(3)</sup>	Un multiplex peut être reconfiguré de façon dynamique de manière transparente pour l'utilisateur
11. Structure multiplexée compatible avec le modèle OSI	La structure multiplexée du système est conforme au modèle en couches OSI, notamment pour les canaux de données, sauf pour les caractéristiques différentes de protection des erreurs du canal audio MPEG-2 Couche II	Possible, quoique jamais testée à l'essai <sup>(3)</sup>	La structure multiplexée du système a été développée conformément au modèle en couches OSI
12. Possibilité de fabriquer des récepteurs bon marché	Permet de produire en grande série et à faible coût des récepteurs grand public. Des récepteurs types ont été intégrés dans deux puces. Un fabricant a intégré l'ensemble des circuits du récepteur dans une seule puce	Avec une configuration relativement simple (faible complexité), il sera possible de développer des récepteurs grand public relativement bon marché	Le système a été spécialement optimisé pour qu'un récepteur portatif de faible complexité puisse être produit dès le départ. Plusieurs modèles de récepteurs bon marché basés sur les techniques de production en grande série de circuits d'intégration à grande échelle (LSI, <i>large scale integration</i> ) sont actuellement fabriqués

Notes relatives au Tableau 1:

CED:	correction d'erreur directe
CIR:	canal d'information rapide
COFDM:	multiplexage orthogonal codé par répartition en fréquence ( <i>coded orthogonal frequency division multiplex</i> )
HTML:	langage de balisage hypertexte ( <i>hypertext markup language</i> )
JPEG:	Groupe mixte d'experts en photographie ( <i>Joint Photographic Experts Group</i> )
LSI:	intégration à grande échelle ( <i>large scale integration</i> )
MDP-4:	modulation par quadrature de phase
MPEG:	Groupe d'experts en images animées ( <i>Moving Pictures Expert Group</i> )
MRT:	multiplexage par répartition dans le temps
OSI:	interconnexion des systèmes ouverts ( <i>open system interconnection</i> )

- \* On trouvera des informations détaillées sur ces systèmes non seulement dans les Annexes de la présente Recommandation, mais aussi dans la Publication spéciale de l'UIT-R sur la radiodiffusion sonore numérique dans les bandes de radiodiffusion au-delà de 30 MHz (Genève, 1995) et dans ses nouvelles éditions. Il existe aussi, comme cela est mentionné au *considérant g*), une norme ETSI pour le Système numérique A.
- (1) Il est entendu que des administrations souhaiteront peut-être développer des systèmes SRS (sonore) numérique et de radiodiffusion numérique n'offrant pas toute la gamme des caractéristiques figurant dans la Recommandation UIT-R BO.789. Ainsi, une administration peut souhaiter avoir un service offrant l'équivalent de services audio MF monophoniques essentiellement à destination de récepteurs fixes ou portatifs très bon marché, et non de récepteurs placés à bord de véhicules. Il est entendu, toutefois, que ces administrations s'attacheront à développer des systèmes de radiodiffusion sonore numérique (RSN) se conformant, dans la mesure du possible, aux caractéristiques figurant dans la Recommandation UIT-R BO.789. Dans le domaine du SRS numérique (sonore), la technologie évolue rapidement. Par conséquent, si d'autres systèmes tendant à se conformer à la Recommandation UIT-R BO.789 sont développés, il pourrait être envisagé qu'ils fassent aussi l'objet de recommandations.
  - (2) Le Système numérique A est exploité dans plusieurs pays pour la radiodiffusion par voie hertzienne de Terre, associé à des émetteurs de complément et des extenseurs de couverture fonctionnant sur le même canal et a été testé en conditions réelles sur deux satellites à 1,5 GHz.
  - (3) Le Système numérique B en est actuellement au stade de prototype. Le Système numérique B a été testé en conditions réelles pour les applications mobiles pendant de nombreuses heures, sur différents satellites, avec différentes zones de couverture, ainsi qu'en laboratoire, par le développeur et par une organisation de test indépendante. Cependant, le récepteur prototype testé était dépourvu d'égalisation de canaux. Une telle égalisation est nécessaire pour permettre l'exploitation dans un environnement de trajets multiples qui est créé par des répéteurs de Terre fonctionnant sur le même canal qui sont nécessaires pour permettre la réception par des récepteurs mobiles et portatifs en zone urbaine. On a néanmoins communiqué les résultats d'essais effectués en laboratoire sur un égaliseur de canal fonctionnant à 300 ksymbole/s, les conditions de propagation dans les bandes 1 452-1 492 MHz et 2 310-2 360 MHz étant simulées (trajets multiples réalistes et effets Doppler y compris).
  - (4) Dans le cas de systèmes d'émission à porteuse unique (Système numérique D), la puissance d'un répéteur donné dans une marge de liaison est supérieure de 7 dB à la puissance dans le cas de systèmes de transmission à plusieurs porteuses (Système numérique A). Cette différence est de 3,5 dB si le récepteur contient un égaliseur de canal autorisant une réception hybride satellite/de Terre (Système numérique B).
  - (5) Le Système numérique D a fait l'objet d'une démonstration en version satellite, et a été mis à l'essai en conditions réelles par hélicoptère, et les résultats d'essais d'émission de bout en bout en laboratoire ont été communiqués. On développe et teste actuellement des configurations supplémentaires du Système numérique D. Ces autres configurations supplémentaires visent à améliorer la qualité de fonctionnement du système dans les applications mobiles dans les cas où l'on recourt à des réémetteurs de Terre et où l'on craint des difficultés de réception en cas de trajets multiples. Les techniques d'égalisation adaptatives et de COFDM à plusieurs porteuses sont en cours d'évaluation.

## ANNEXE 1

**Description des systèmes SRS (sonore) numériques****1 Système numérique A (Résumé)**

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

**2 Système numérique B (Résumé)**

Comme la question de la puissance de répéteur disponible est essentielle dans les communications par satellite, le Système numérique B, à l'origine proposé par Voice of America/Jet Propulsion Laboratory (VOA/JPL), a été conçu pour offrir un rendement maximal à bord d'un satellite de communication. On utilise une démodulation MDP-4 cohérente. Des niveaux appropriés de correction des erreurs sont inclus. Puisque l'utilisation de Terre complémentaire nécessite une protection importante contre les effets de la propagation par trajets multiples, une technique d'égaliseur adaptatif a été mise au point pour que le Système numérique B soit un système complet de radiodiffusion par satellite et de Terre. Le coût du récepteur devrait être relativement modique en raison de la relative simplicité des méthodes de modulation et de certains aspects relatifs à sa conception générale. Le système en est actuellement au stade du prototype.

**3 Système numérique D (Résumé)**

Le Système numérique D, également connu sous l'appellation «système WorldSpace», a pour fonction première de fournir des services de radiodiffusion audionumérique (son et données) à destination de récepteurs fixes ou portatifs. Il a été conçu pour optimiser la diffusion par satellite dans la bande 1 452-1 492 MHz. Ce résultat est obtenu grâce à l'utilisation d'une démodulation MDP-4, cohérente avec bloc concaténé et codage convolutionnel avec correction d'erreur et d'une amplification linéaire. Grâce au choix de la modulation MRT/MDP-4, la couverture, à puissance de répéteur du satellite égale, est meilleure. Le Système numérique D permet un multiplexage souple de sources audionumérisées qui doivent être modulées sur une porteuse MRT de liaison descendante. Le récepteur du Système numérique D utilise la technologie la plus avancée des micro-ondes et des circuits intégrés numériques à très grande échelle, avec l'objectif premier de parvenir à une production à faible coût et à une haute qualité. On œuvre par ailleurs actuellement au développement de techniques qui permettraient de faire du Système numérique D un système de radiodiffusion hybride satellite/Terre.

## ANNEXE 2

**Système numérique A****1 Introduction**

Le Système numérique A est conçu pour assurer une radiodiffusion numériques 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 (RDNIS) 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 Eurêka 147 (DAB) est connu sous l'appellation système Eurêka DAB. Il bénéficie de l'appui actif de l'Union européenne de radio-télévision (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'Organisation internationale de normalisation (ISO) dans la Norme 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 2.

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).

## 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.

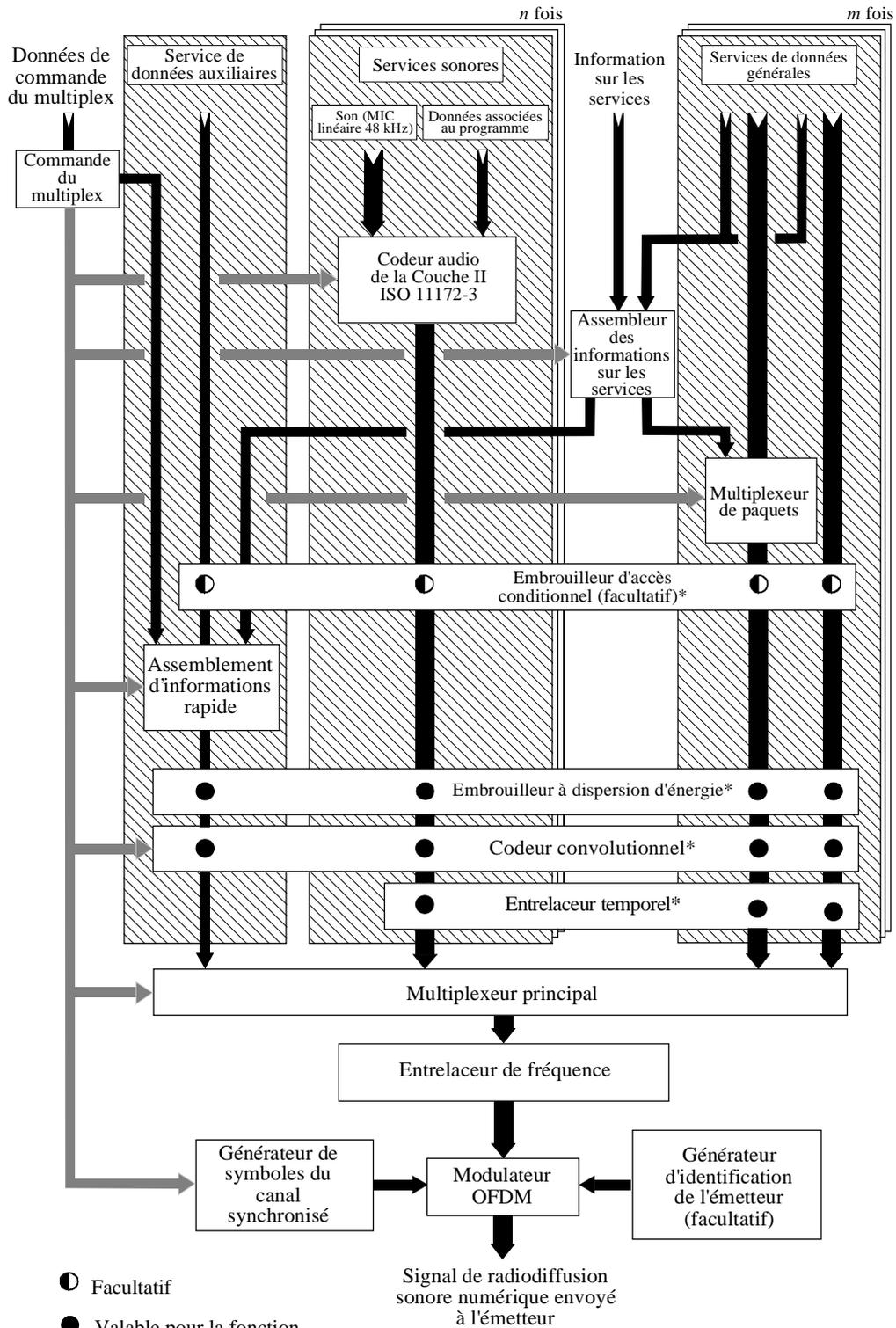
### 3.1 Possibilités offertes par le Système

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 n'ont pas besoin de se rapporter 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 d'autres programmes 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 (TMC, *traffic message channel*).

FIGURE 1  
Schéma fonctionnel de l'émetteur du Système



\* Ces processeurs fonctionnent indépendamment sur chaque canal de service.

OFDM: multiplexage orthogonal par répartition en fréquence

TABLEAU 2

**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 OFDM MDPD-4 Emission radioélectrique

MDPD: MDP différentielle

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 3 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 3

**Modes d'émission**

Caractéristique	Mode I	Mode II	Mode III
Durée de l'intervalle de garde ( $\mu$ s)	246	62	31
Retard prévu dû aux échos ( $\mu$ 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.

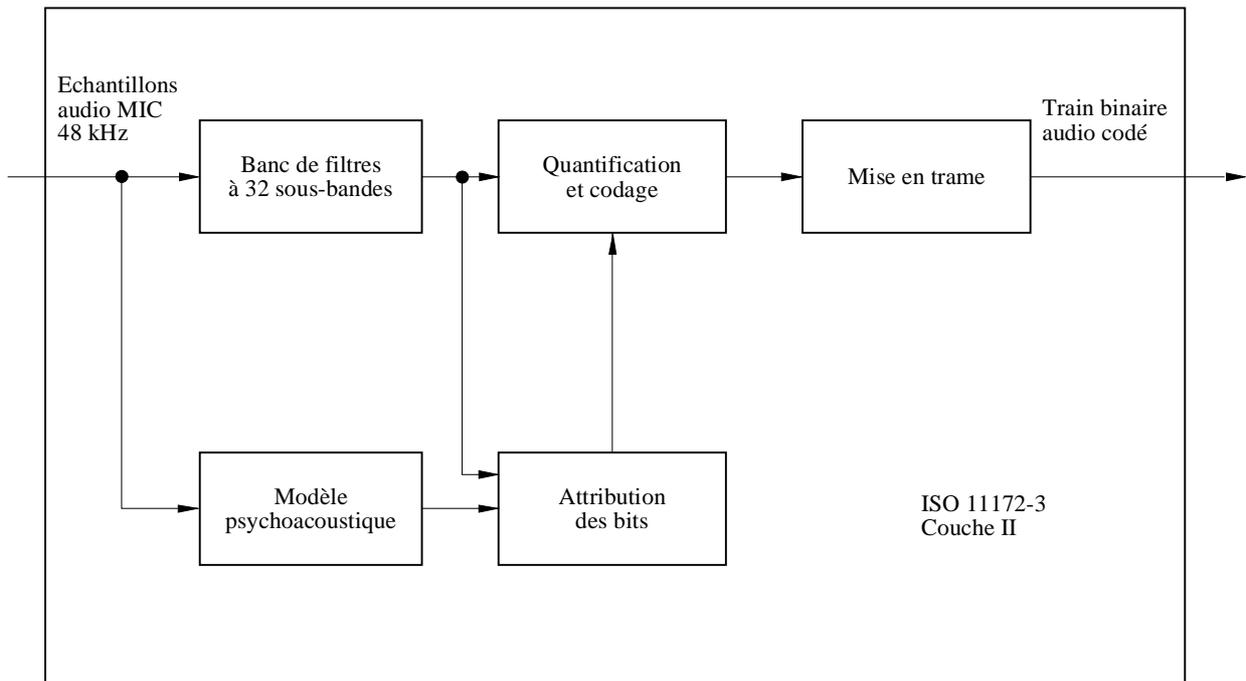
Le Système accepte un certain nombre de signaux audio à modulation par impulsions et codage (MIC) au taux d'échantillonnage de 48 kHz, avec les données associées au programme (DAP). Le nombre de sources audio autorisé dépend du débit binaire et du type de protection contre les erreurs. Le codeur audio 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

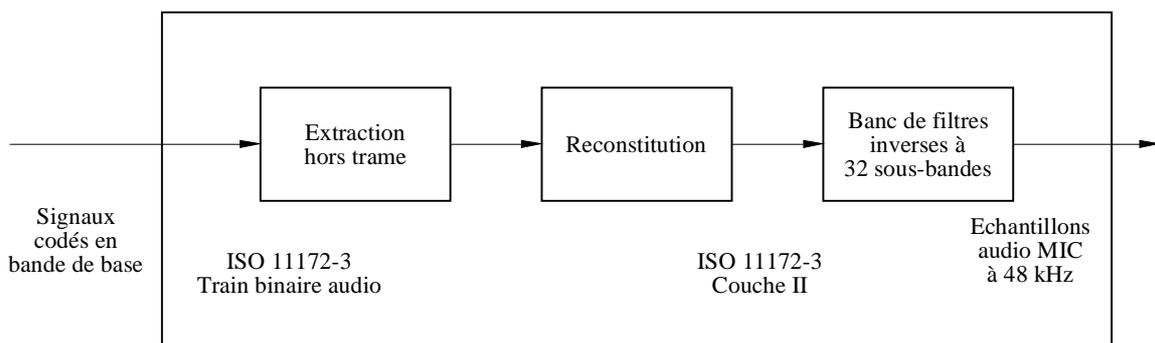


1130-02

## 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.

FIGURE 3  
Schéma de principe du décodeur audio de base du Système



1130-03

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 audionumériques 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 (DRC, *dynamic range control*) 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

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

- étiquette du programme de base (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,
- TMC (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 CIR achemine des renseignements sur le contenu présent et futur du multiplex. Ces renseignements constituent l'information 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 la qualité du service numérique initial devient inacceptable, les données de référence que fournit l'information sur les services peuvent servir à trouver une source 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 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 totale disponible 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 à acheminer,
- 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. Les données d'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 contrôle de redondance cyclique (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 DRC.

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 4.

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

FIGURE 4  
Structure de la trame du multiplex

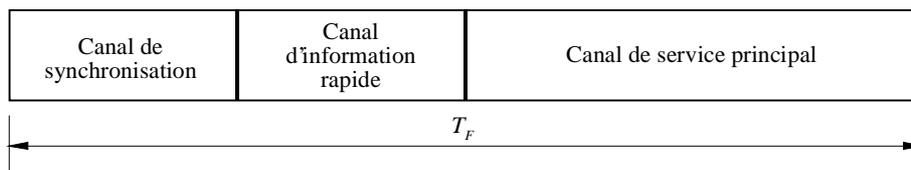


TABLEAU 4

## 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 $\mu$ s	168 $\mu$ s
Durée totale du symbole, $T_s$	1,246 ms	312 $\mu$ s	156 $\mu$ s
Durée utile du symbole, $t_s$	1 ms	250 $\mu$ s	125 $\mu$ s
Durée de l'intervalle de garde, $\Delta$ ( $T_s = t_s + \Delta$ )	246 $\mu$ s	62 $\mu$ s	31 $\mu$ 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, selon le niveau de protection nécessaire 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

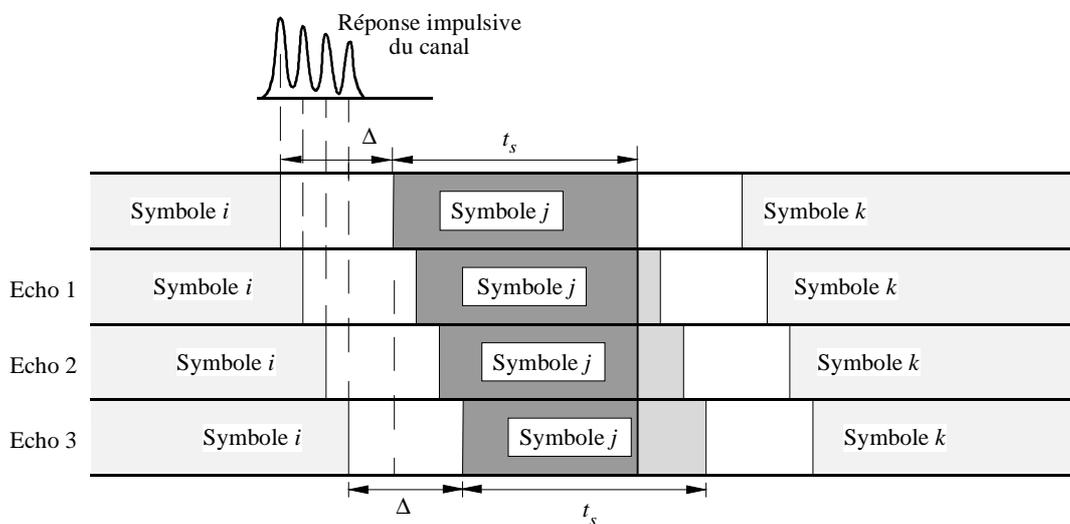
En présence de propagation par trajets multiples, certaines porteuses sont améliorées par des signaux favorables, tandis que d'autres subissent des brouillages défavorables (évanouissements sélectifs en fréquence). Le système assure donc l'entrelacement en fréquence par redistribution du train numérique 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 OFDM MDPD-4

Le Système emploie la modulation OFDM 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



1130-05

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 4 indique aussi combien il y a de porteuses OFDM dans chaque mode d'émission.

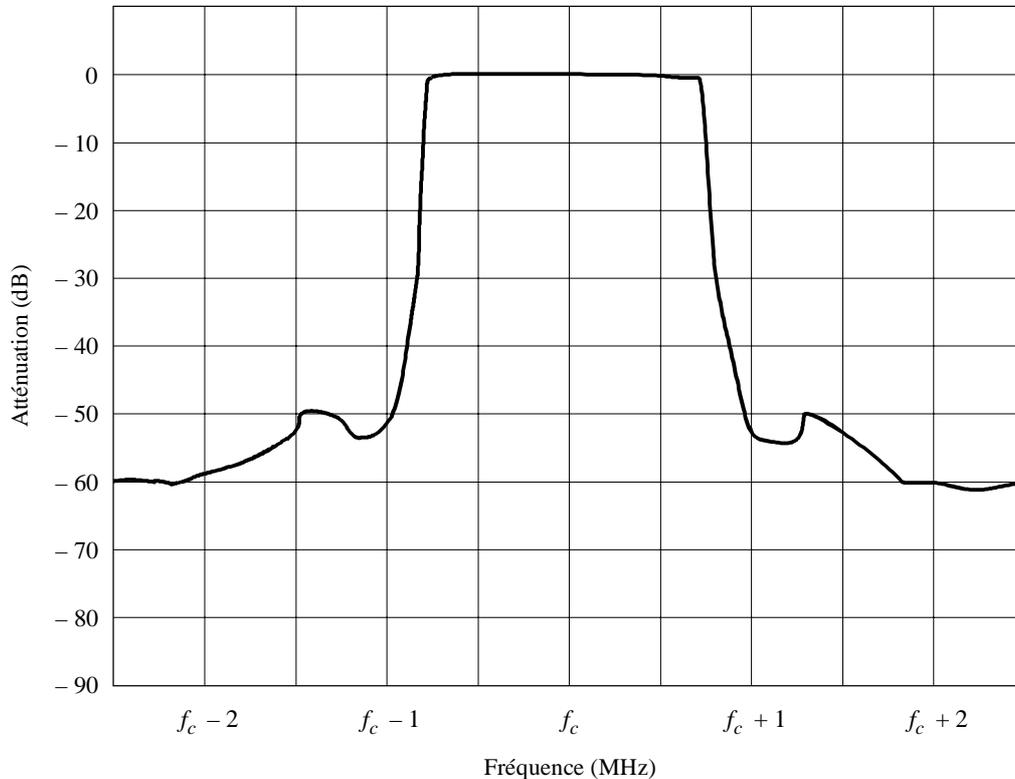
Autre avantage du recours aux porteuses OFDM: pour la couverture de zones étendues et pour les réseaux de zones urbaines denses, on utilise efficacement le spectre et la puissance avec des réseaux à fréquence unique. On peut exploiter sur la même fréquence autant d'émetteurs diffusant le même programme 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

1130-06

## 10 Caractéristiques de qualité RF du Système numérique A

Les essais d'évaluation en RF du Système numérique A 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 taux d'erreur binaire (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

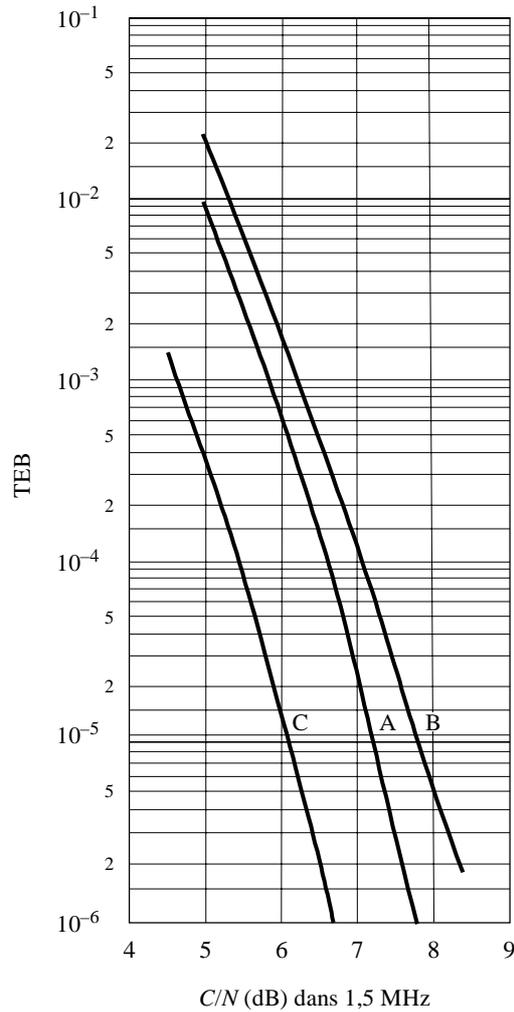
$R$ : débit de codage moyen du canal.

### 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  $1 \times 10^{-4}$ .

FIGURE 7

TEB en fonction du  $C/N$  (dans 1,5 MHz)  
sur un canal gaussien, 226 MHz, Mode I



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

1130-07

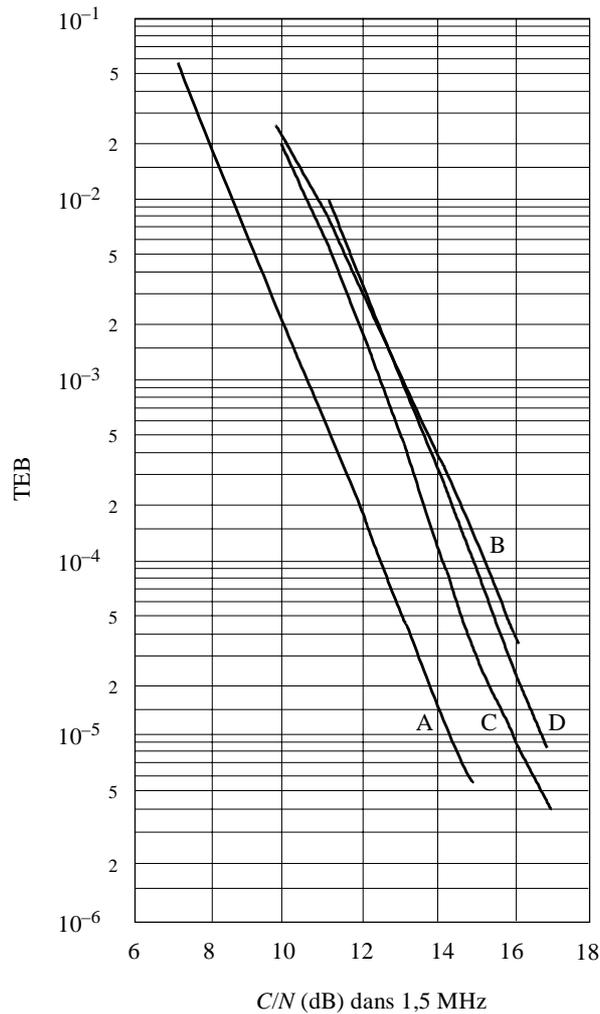
## 10.2 TEB en fonction du $C/N$ (dans 1,5 MHz) sur un canal de Rayleigh à 226 MHz

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  $1 \times 10^{-4}$ , 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  $\mu$ s (ce qui correspond à une différence de trajet de 180 km).

FIGURE 8

TEB en fonction du  $C/N$  (dans 1,5 MHz)  
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

1130-08

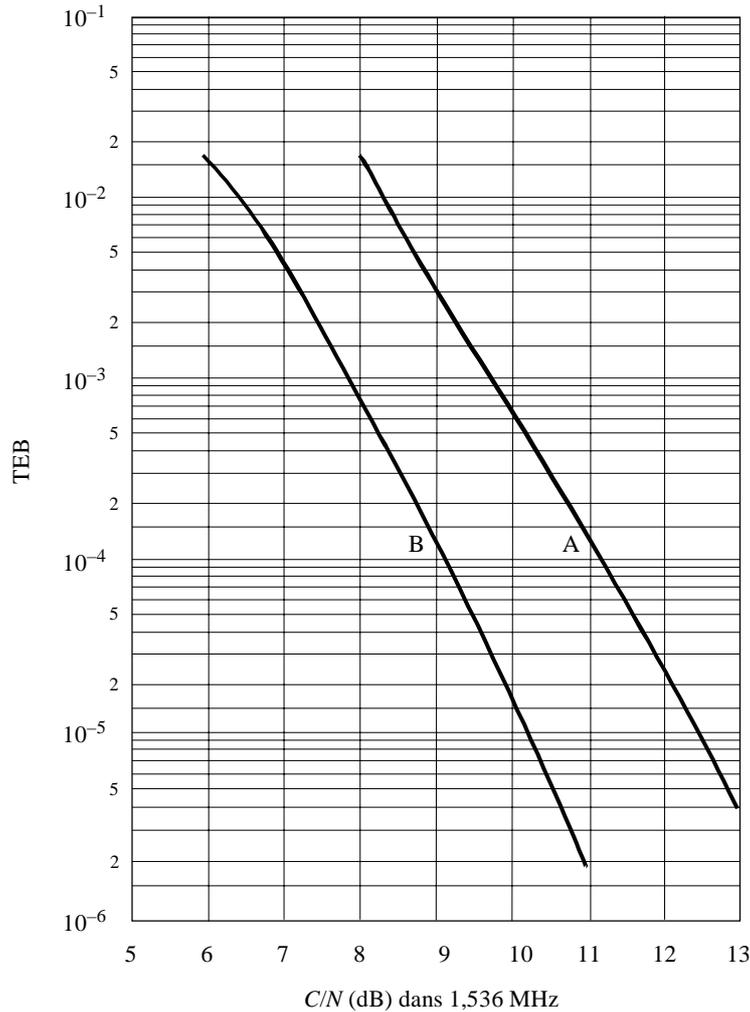
### 10.3 TEB en fonction du $C/N$ (dans 1,5 MHz) sur un canal de Rayleigh à 1 500 MHz

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  $1 \times 10^{-4}$ .

FIGURE 9  
TEB en fonction du  $C/N$  (dans 1,5 MHz) 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

1130-09

## ANNEXE 3

### 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, ou 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 œuvre 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; chaque fréquence est reçue sur une seule antenne et traitée 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 (RS) 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).

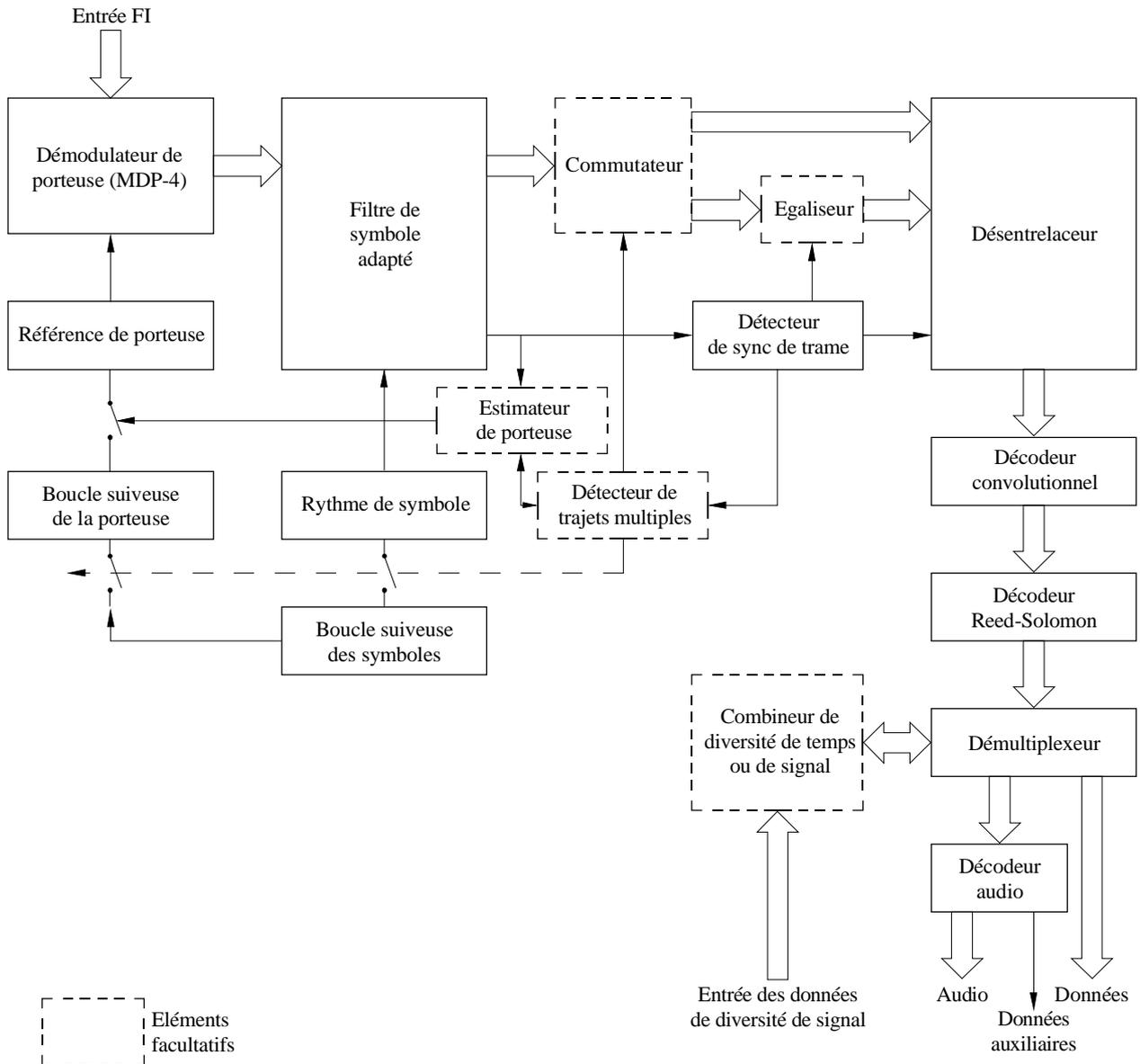
Lorsque le récepteur est équipé d'un égaliseur, celui-ci doit pouvoir être désactivé en l'absence de transmission sur trajets multiples afin de ne pas provoquer de dégradation de la qualité de réception.

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 œuvre 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 de données contenant le moins d'erreurs.

FIGURE 10  
Schéma de principe du récepteur



1130-10

### 3 Description du Système

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.

#### 3.1 Emetteur

L'émetteur exécute toutes les fonctions de traitement nécessaires à la production d'une seule porteuse RF. 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.

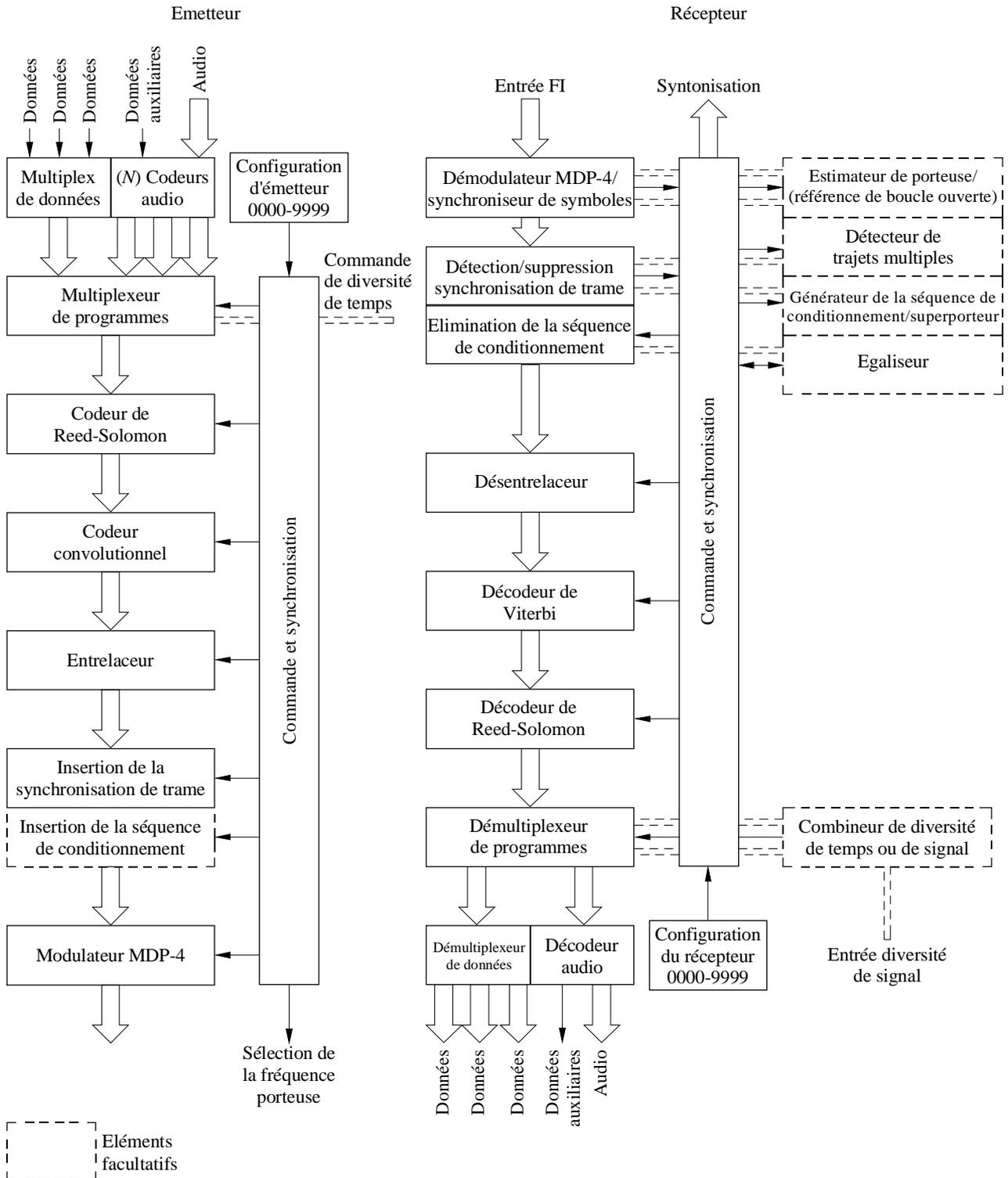
##### 3.1.1 Interfaces d'entrée

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 cinq 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 cinq voies (le débit exact doit être déterminé en se référant aux spécifications 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 RS 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 (TFT) 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, *predictive decision feedback equalizer*). 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 RS, abaisse le taux d'erreur sur les symboles détectés et reconvertit les symboles en bits de données. Si le décodeur RS 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 RS. 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 RS. 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 à la Fig. 12 et comparée avec les résultats théoriques et ceux obtenus par simulation.

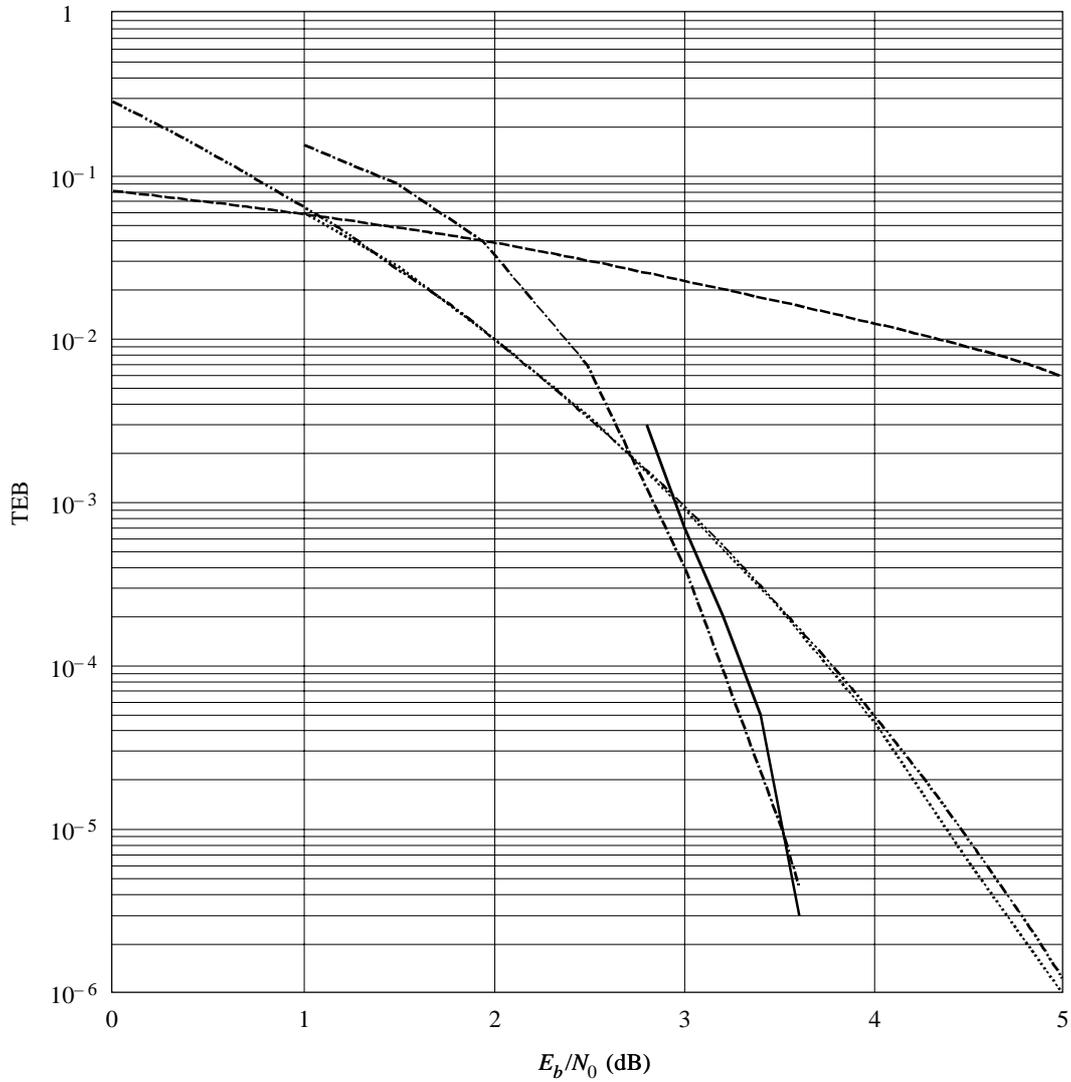
Etant donné que le Système B peut utiliser plusieurs porteuses indépendantes dans le mode MRF, l'espacement des porteuses est déterminant. La Fig. 13 montre la dégradation de la qualité de fonctionnement mesurée en fonction de l'espacement des canaux.

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 débit de données multiplié par le préfixe RS 160/140, multiplié par le 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.

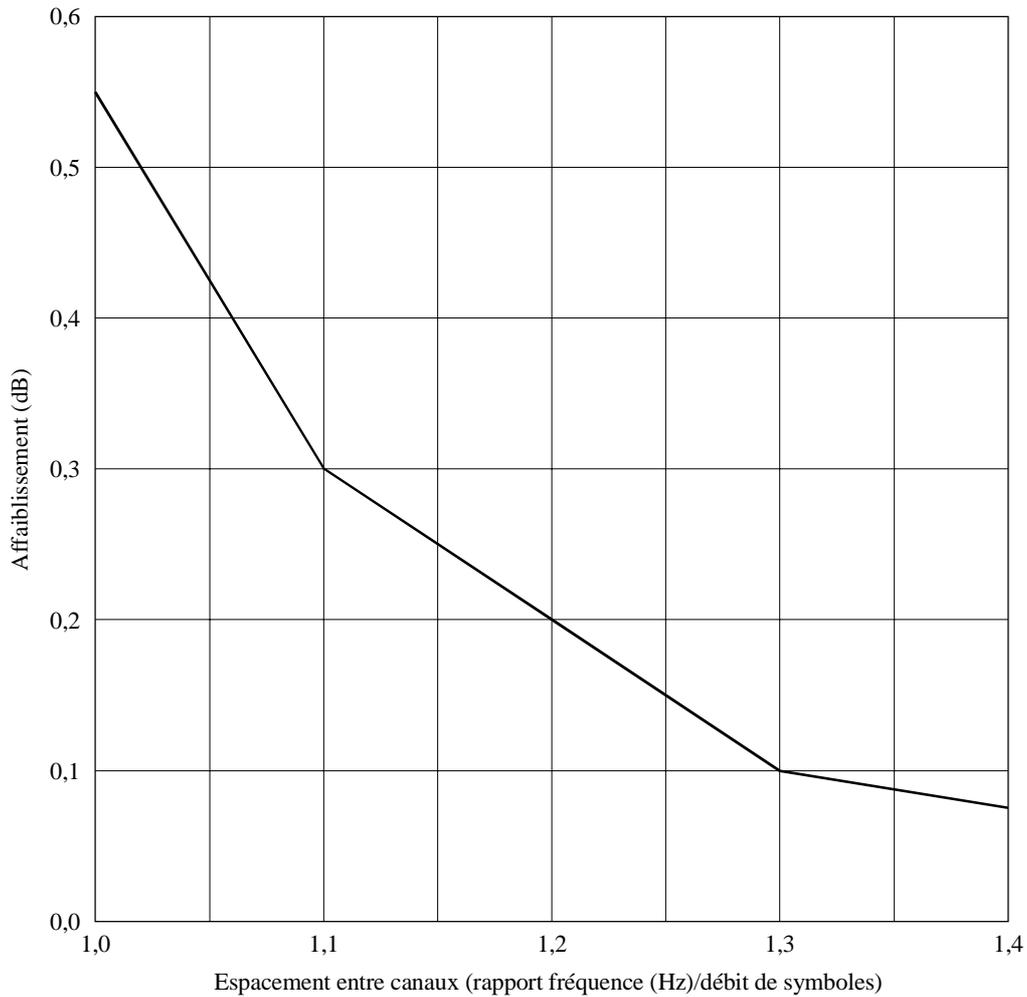
FIGURE 12  
 Qualité de fonctionnement du Système B sur un canal BBGA



- Non codé (théorique)
- .-.-.-.- Convolutionnel (théorique)
- ..... Convolutionnel (simulation)
- .-.-.-.- Convolutionnel + Reed-Solomon (simulation)
- Convolutionnel + Reed-Solomon (mesuré)

FIGURE 13

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



1130-13

#### 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 RS.

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

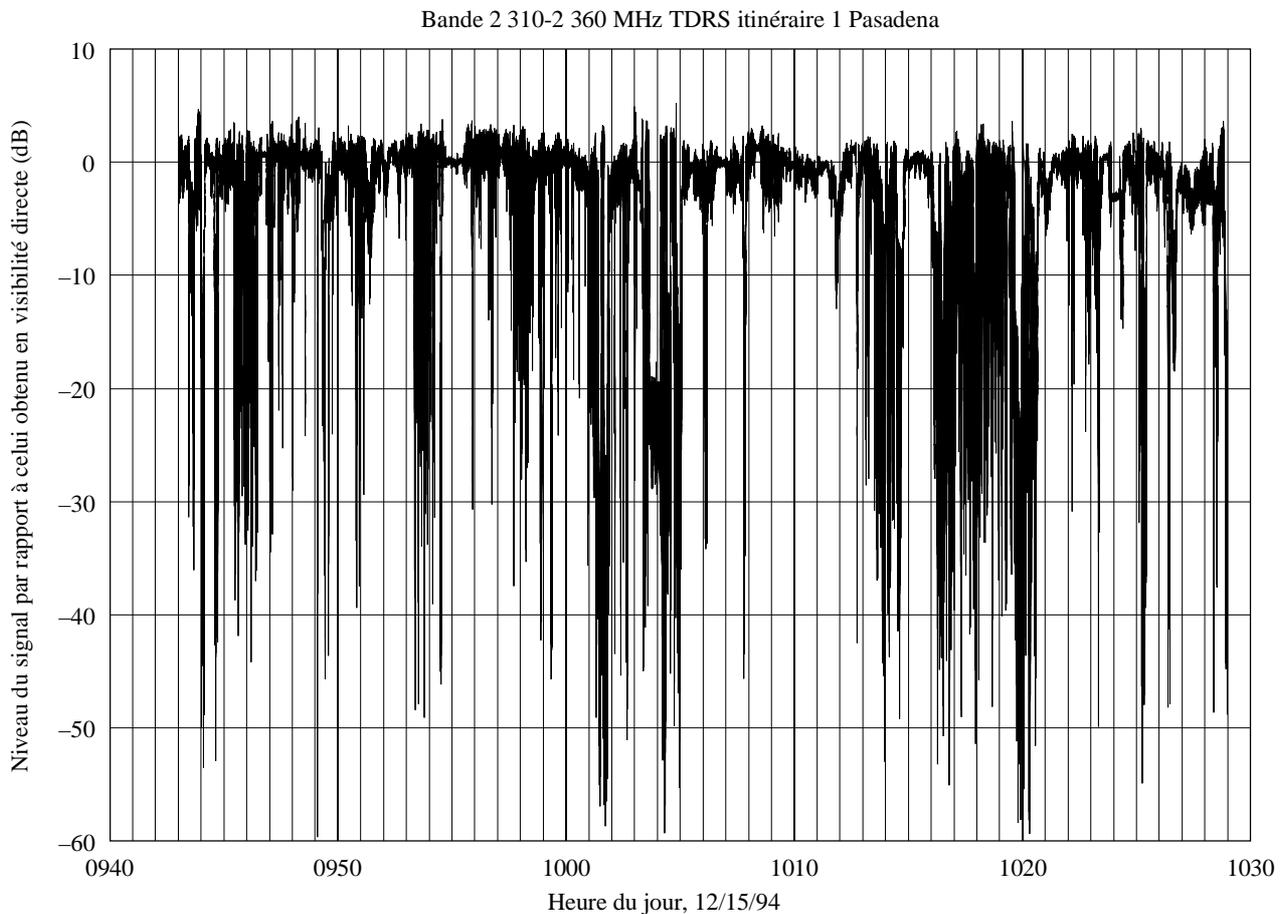
Plusieurs satellites peuvent être utilisés pour diffuser le même flux de données, en utilisant des fréquences et des récepteurs distincts pour chaque signal. Avec une telle technique, on s'attend à ce qu'au moins un signal ne sera pas occulté compte tenu de la différence de direction entre le récepteur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

### 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.

FIGURE 14  
Modèle de disposition des canaux de satellite



### 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  $\pm 213$  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 RS. Un taux d'erreur de  $1 \times 10^{-2}$  est ramené à  $1 \times 10^{-6}$  par le processus de décodage.

FIGURE 15

#### Statistiques du modèle de disposition des canaux de satellite

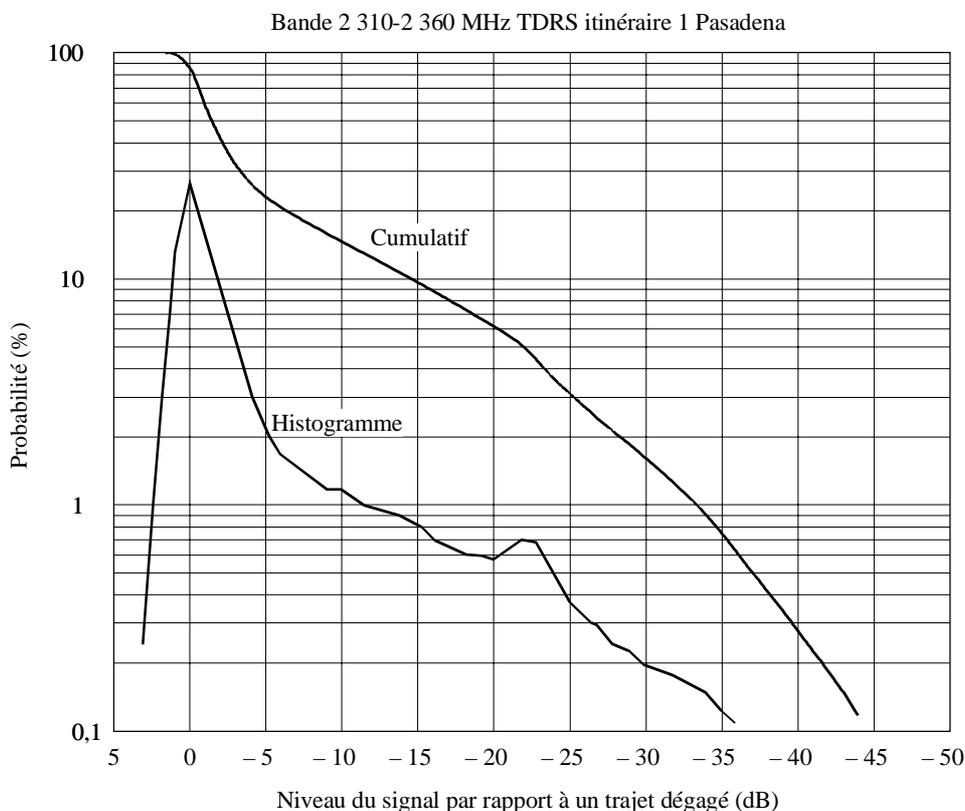


FIGURE 16  
 Probabilité d'évanouissement composée en fonction de la marge pour la liaison

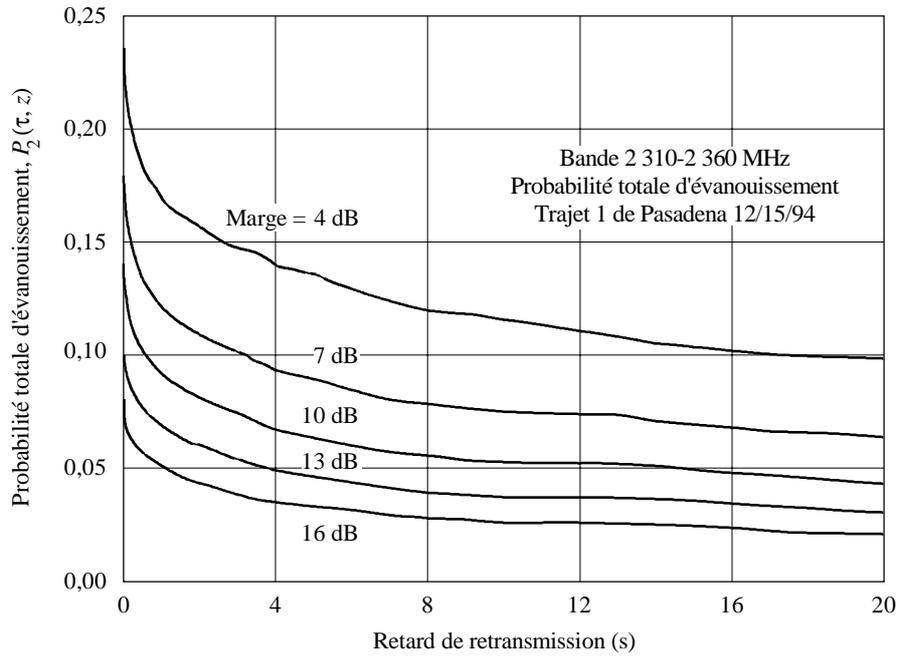


FIGURE 17  
 Probabilité d'évanouissement composée en fonction de l'environnement

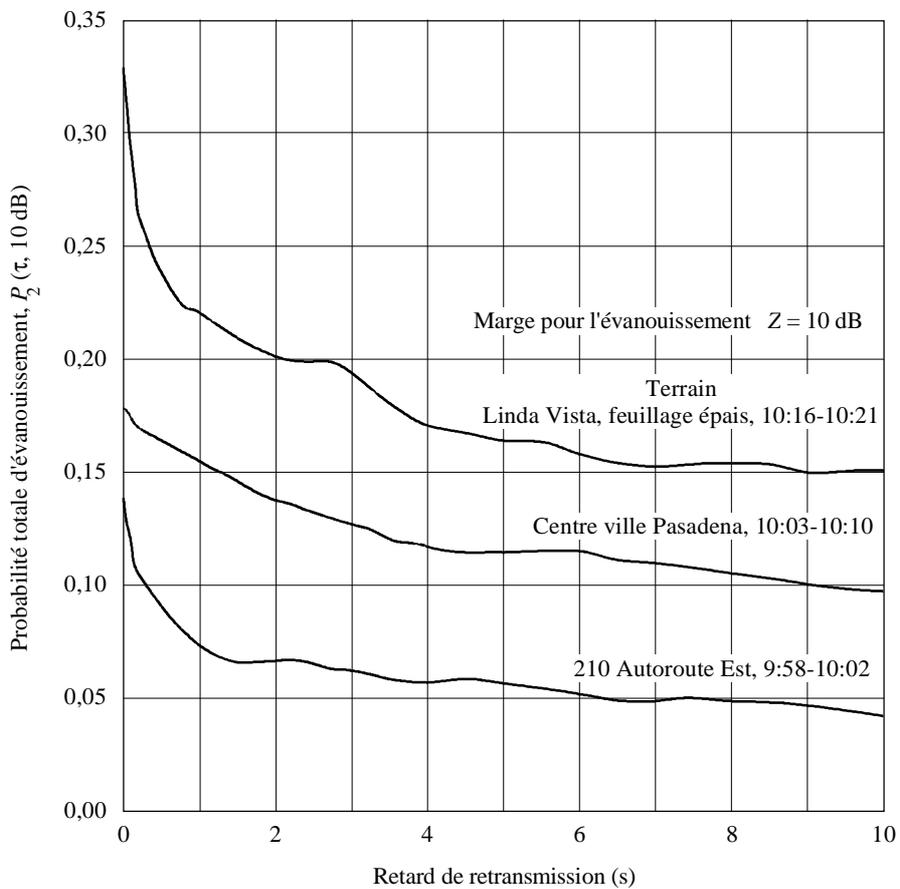
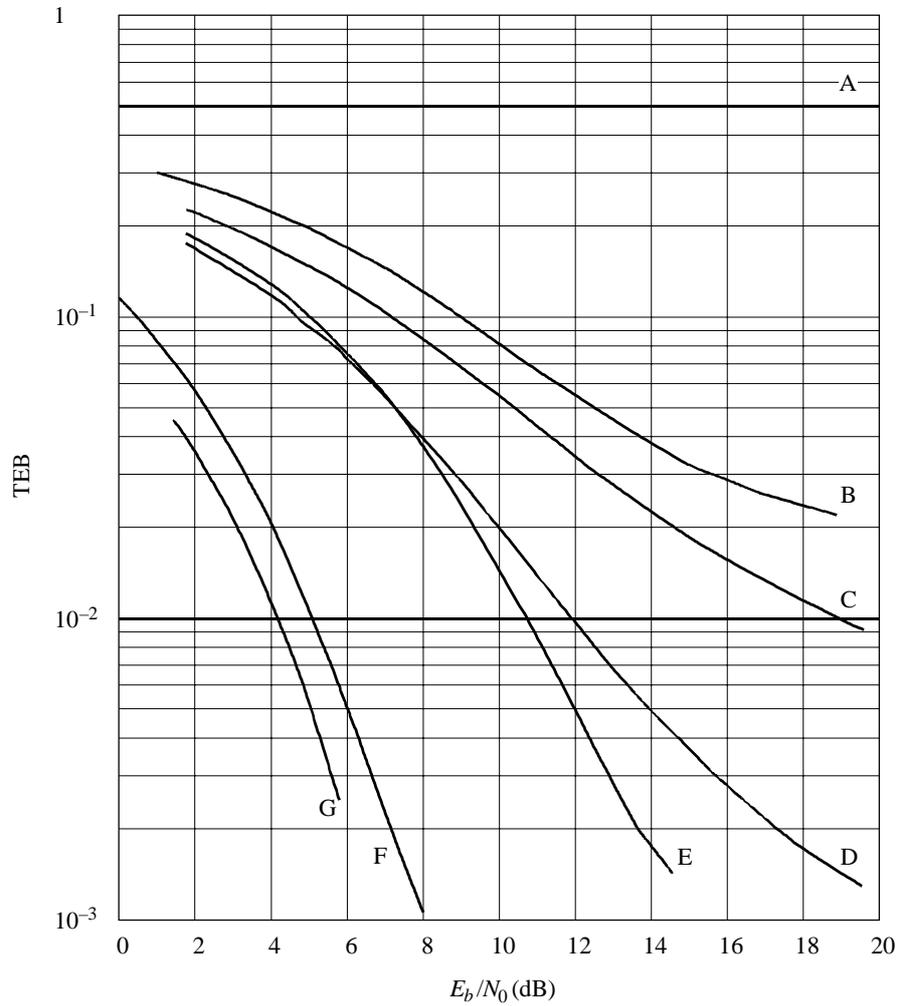


FIGURE 18

## 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

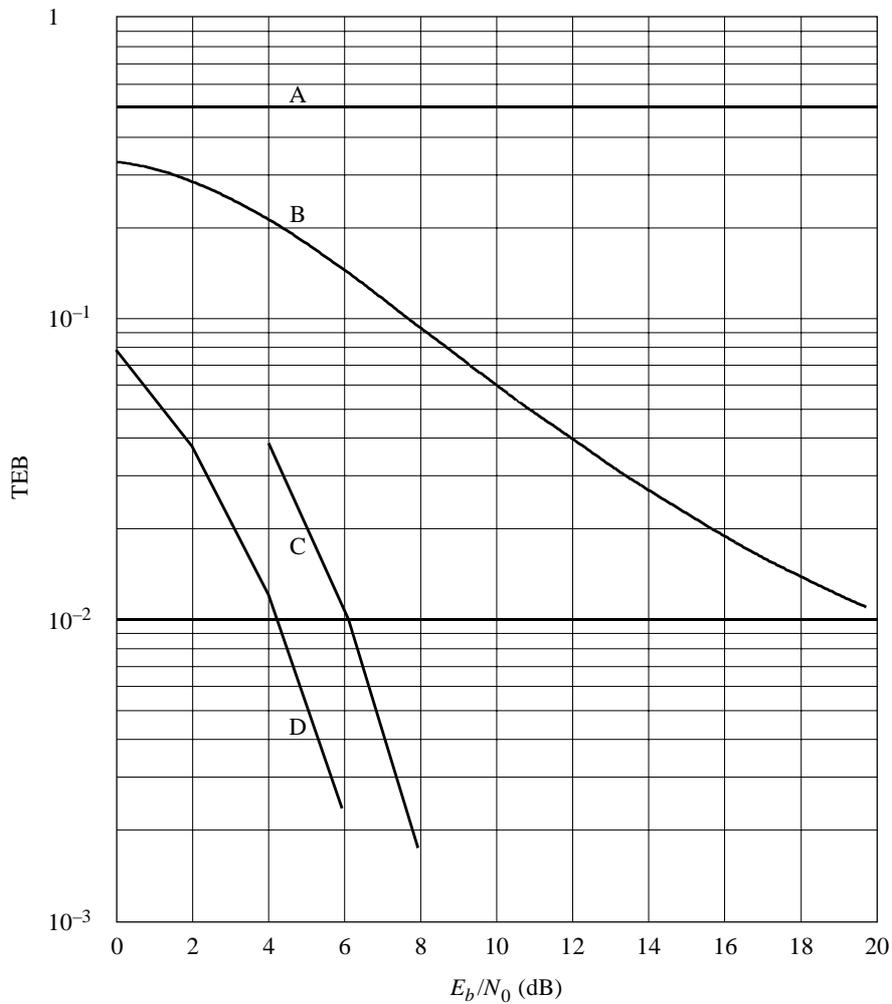
F: pas de trajets multiples, pas d'évanouissement, égaliseur actif  
Pas de préfixe de symboles de conditionnement

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

TEB non codé =  $1 \times 10^{-2}$   
TEB codé =  $1 \times 10^{-6}$

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<sup>-2</sup>  
TEB codé = 1 × 10<sup>-6</sup>

## Systeme numérique D

### 1 Introduction

Le Système numérique D est un système de radiodiffusion audionumérique (son et données) par satellite à destination de récepteurs bon marché fixes, portatifs ou mobiles. Il est optimisé pour la distribution du service par satellite en bande 1 452-1 492 MHz, ce qui a été obtenu par l'emploi de la modulation MDP-4 associant une amplification linéaire et un codage par blocs et à convolution avec correction d'erreur. On essaye actuellement de mettre au point un système hybride par satellite/de Terre utilisant ce système.

Le Système numérique D permet de moduler sur une porteuse MRT descendante un multiplex particulièrement souple de sources audionumérisées. Il fait appel au modèle OSI conformément à la proposition faite dans la Recommandation UIT-R BT.807.

### 2 Aperçu général du système

Dans le Système numérique D, la liaison descendante acheminant le signal diffusé est une porteuse MRT à 3,68 Mbit/s acheminant 96 canaux à débit primaire (PRC, *prime rate channel*) d'une capacité de 16 kbit/s chacun. Un seul satellite émet plusieurs porteuses MRT descendantes, chacune étant associée à un amplificateur de forte puissance pouvant fonctionner à saturation. Un satellite type de la première génération peut rayonner simultanément six porteuses MRT descendantes (soit 576 PRC) au moyen d'amplificateur à tubes à ondes progressives (ATOP). Les PRC sont structurées en trames de canaux de radiodiffusion (BC, *broadcast channel*) de huit PRC au maximum. Les PRC peuvent être utilisés individuellement ou être combinés pour fournir des débits de composante de service de  $n \times 16$  kbit/s, où  $n$  varie de 1 à 8, offrant ainsi aux fournisseurs de services de radiodiffusion une très grande souplesse.

Chaque porteuse MRT descendante a un débit de 1,536 Mbit/s en bande de base. Le flux de trafic sur la porteuse MRT est divisé en 96 créneaux temporels de canal acheminant chacun un canal PRC à 16 kbit/s par rapport à la bande de base. L'adjonction d'en-têtes de commande de service (SCH, *service control headers*), de préambules de synchronisation de trame et de données redondantes pour la CED élève le débit réel sur chaque flux MRT descendant nécessaire pour acheminer les 96 canaux PRC de 3,68 Mbit/s. On utilise la modulation MDP-4 sur les porteuses MRT descendantes à un débit de symboles de 1,84 Msymbole/s (2 bit/symbole) pour acheminer le flux MRT au récepteur. L'espacement des fréquences des porteuses MRT, compris entre 2,3 et 3,0 MHz (voir la Note 1), laisse une bande de garde suffisante pour un fonctionnement correct en présence de brouillages intersymboles et de brouillages par le canal adjacent faibles à négligeables, lorsque les ATOP fonctionnent dans les canaux définis par des filtres en racine carrée de puissance cosinus avec compensation d'ouverture côté émission. Les petits récepteurs individuels portatifs reçoivent et sélectionnent les créneaux temporels de canal dans les flux de données MRT pour reconstituer l'information numérique du trafic en bande de base.

NOTE 1 – L'espacement nécessaire entre les fréquences centrales des porteuses MRT est fonction du découplage spatial des faisceaux et du découplage de polarisation entre porteuses adjacentes.

Le Tableau 5 est un résumé des principales caractéristiques du système; la Fig. 20 est le schéma synoptique d'un satellite type montrant l'utilisation des charges utiles transparente et non transparente.

Une caractéristique essentielle du Système numérique D est l'utilisation d'un processeur numérique en bande de base embarqué à bord du satellite. Le démultiplexeur-démodulateur et le commutateur de routage embarqués insèrent plusieurs canaux d'accès multiple par répartition en fréquence (AMRF) de liaison montante à chaque flux numérique MRT de liaison descendante. La Fig. 21 est le schéma synoptique du traitement du signal de bout en bout via une charge utile type.

Les signaux audio codés MPEG Couche III transportés dans le système ont un format incrémentiel dont les incréments correspondent au débit primaire de 16 kbit/s. Les canaux BC sont formés de un à huit incréments multiplexés. Pour chaque incrément, 6 912 bits sont attribués à une trame BC d'une durée de 0,432 s. Ils peuvent être répartis entre plusieurs composantes de service dans la trame en question. Une trame BC, comme le montre la Fig. 22, commence par un en-tête de commande de service (SCH, *service control header*), qui contient 224 bits par incrément acheminé dans la trame. Avec cet en-tête, chaque incrément au débit primaire contient 7 136 bits dans la trame de 0,432 s. L'en-tête SCH fournit les informations nécessaires au récepteur pour sélectionner les composantes de service et permettre au fournisseur du service de télécommander des fonctions liées au service. Pour identifier et démultiplexer des composantes de service, l'en-tête contient un champ de commande de composante de service pour chaque composante de service. Les fonctions radioélectriques ainsi commandées peuvent inclure le cryptage des services à abonnement, le choix de la

catégorie de service, l'adressage à un sous-groupe d'utilisateurs, l'affichage de messages, la mise en fonction/hors fonction d'un service, etc. Les trames de radiodiffusion sont assemblées dans les installations de départ.

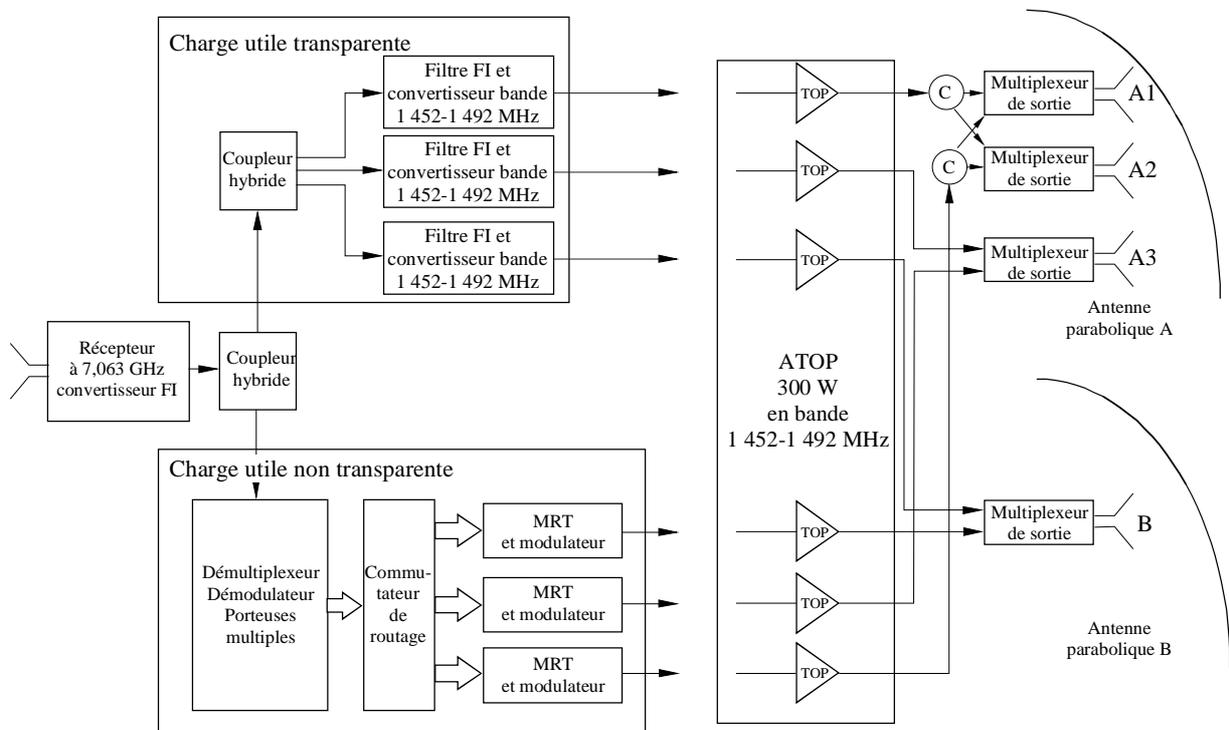
TABLEAU 5

Système numérique D – Principales caractéristiques

Fonction	Radiodiffusion numérique audio/données
Format de liaison montante	SCPC-AMRF (charge utile non transparente), ou porteuse multicanal/MRT (charge utile transparente)
Format de liaison descendante	Porteuse multicanal/MRT
Fréquence de liaison descendante	Bande 1 452-1 492 MHz
p.i.r.e. type de répéteur (crête)	53,5 dBW
p.i.r.e. type de répéteur en limite de zone de couverture de service principale	49 dBW
p.i.r.e. type de répéteur en limite de zone de couverture de service secondaire	44 dBW
Modulation	MDP-4 cohérente
Seuil (à l'entrée de l'antenne (gain de 0 dBi))	-109 dBm
Codage pour correction des erreurs	Par blocs et convolutionnel

FIGURE 20

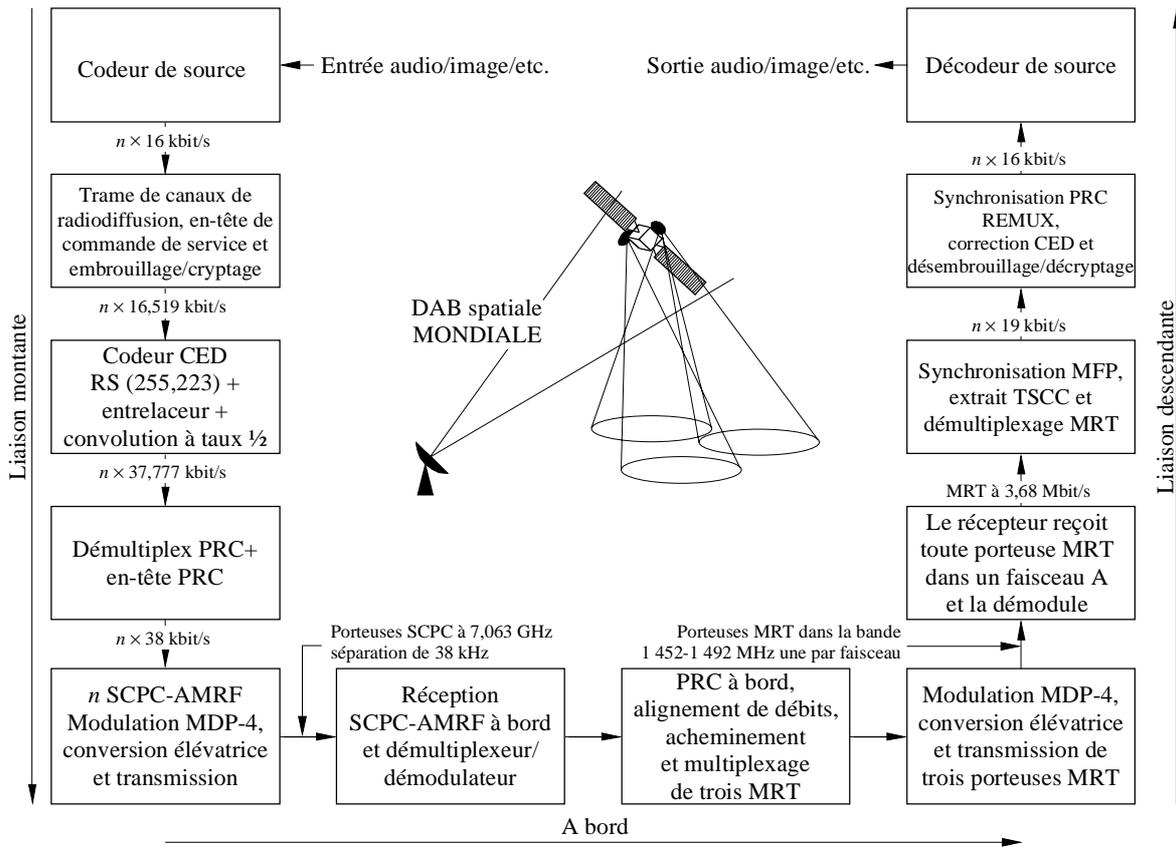
Système numérique D - Charge utile type de communication par satellite



C: commutateur

FIGURE 21

Système numérique D - Traitement de bout en bout du signal (non transparent)



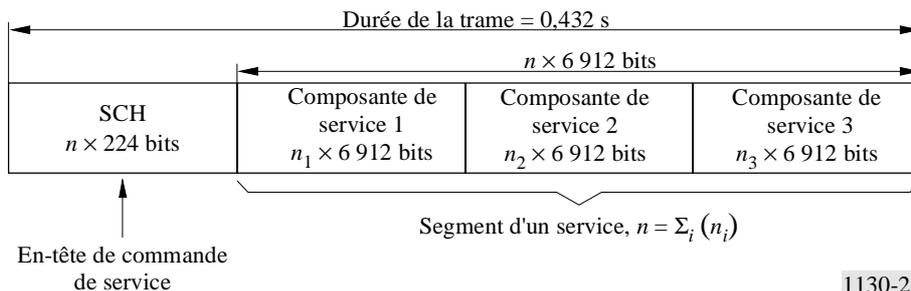
MFP: préambule de trame de référence (*master frame preamble*)  
 TSCC: canal de commande d'intervalle de temps (*time slot control channel*)

1130-21

Pour préparer le signal en vue de sa transmission, on assemble une trame de canal de radiodiffusion d'une durée de 0,432 s constituée d'un segment de service de  $n \times 16$  kbit/s ( $n \times 6\,912$  bits par trame), d'un segment SCH de  $n \times 518,5$  bit/s ( $n \times 224$  bits par trame), où  $n$  est un entier compris entre 1 et 8. Les canaux BC sont donc structurés en multiples de  $n \times 16,5185$  kbit/s. Le segment de service d'un canal de radiodiffusion peut encore être divisé en composantes de service séparées destinées à des fins spécifiques telles que la musique, la parole, l'image, l'image dynamique, etc. Les composantes de service sont organisées en termes de multiples entiers de 8 kbit/s par composante avec un maximum de huit composantes de service par canal BC. L'attribution des composantes de service peut être dynamique. Par exemple, une composante de service musical utilisant 64 kbit/s peut être dynamiquement convertie en quatre composantes de service vocal de 16 kbit/s en quatre langues pour constituer un programme formé d'un service musical de haute qualité complété d'un service vocal en quatre langues.

FIGURE 22

Trame de canal de radiodiffusion

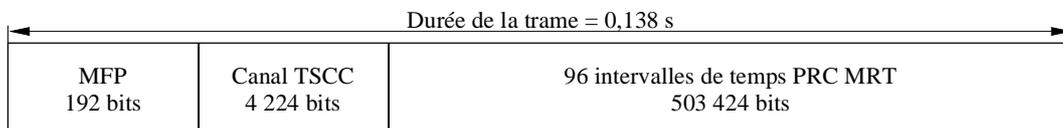


1130-22

Après assemblage, le canal BC est codé avec CED et concaténation d'un codeur de blocs RS (255,223) suivi d'un entrelaceur de blocs, lui-même suivi d'un codeur convolusionnel à taux 1/2. Ce codage multiplie le débit binaire par un facteur  $2 \times 255/223$ . Dans ces conditions, le débit du canal BC codé est de  $n \times 37,77$  kbit/s. Les trames de canal BC codées CED sont ensuite démultiplexées de manière synchrone en  $n$  canaux PRC parallèles contenant chacun 16 320 bits par période de trame de canal BC (0,432 s). L'adjonction d'un en-tête de synchronisation élève le débit du canal PRC codé à 38 kbit/s exactement (16 416 bits par trame). Les canaux PRC codés subissent ensuite un codage différentiel, puis sont modulés MDP-4 sur  $n$  porteuses AMRF-SCPC, et transmis au satellite.

A bord du satellite, les porteuses de liaison montante au débit primaire codées sont reçues en groupes de 48 porteuses PRC, démultiplexées et démodulées à leur débit primaire codé en bande de base individuelle. Un assembleur de trames MRT localise chaque canal PRC dans l'un des 96 emplacements d'intervalle de temps de canal PRC dans une trame MRT d'une durée de 0,138 s. Chaque intervalle de temps de canal PRC contient 5 244 bits, et la trame contient  $96 \times 5\,244 = 503\,424$  bits. La trame MRT est représentée à la Fig. 23. Chaque trame MRT commence par un préambule de trame de référence de 192 bits suivi d'un canal TSCC de 4 224 bits.

FIGURE 23

**Trame MRT de liaison descendante**

Débit = 3,68 Mbits/s = 1,84 MDP-4 Msymboles/s

1130-23

Le récepteur utilise le MFP et le canal TSCC pour se synchroniser sur la trame MRT et pour localiser les canaux PRC comportant les divers canaux acheminés dans la trame et pour en extraire l'information nécessaire au démultiplexage des canaux PRC appartenant à un canal BC sélectionné et de le reconstituer. Le flux de trafic MRT est divisé en 96 intervalles de temps MRT acheminant chacun un canal PRC de 16 kbit/s au débit de 1,536 Mbit/s en bande de base. En raison de l'adjonction des en-têtes SCH, des préambules de synchronisation et de données redondantes pour la CED, le débit réel sur chaque flux MRT descendant nécessaire pour acheminer les 96 canaux PRC est de 3,68 Mbit/s. On utilise la modulation MDP-4 sur les porteuses en bande 1452-1492 MHz avec un débit de symboles de 1,84 Msymboles/s (2 bits/symboles) pour acheminer le flux MRT jusqu'au récepteur.

Le Système numérique D peut également être mis en œuvre par l'emploi d'une charge utile transparente (parfois appelée en anglais «*bent pipe transponder*» ou répéteur simple de changement de fréquence). Un tel équipement convertit les porteuses MRT montantes (fonctionnant en général dans la bande 7 025-7 075 MHz) en des porteuses descendantes situées dans la bande 1452-1492 MHz. La charge utile n'est pas soumise à un traitement à bord ou un aiguillage des canaux PRC à bord. Chaque porteuse MRT montante est multiplexée pour acheminer 96 canaux PRC de 16 kbit/s transmis depuis des stations centrales situées dans la zone de service des liaisons montantes. Le format de l'onde MRT utilisée dans les liaisons montante et descendante d'une charge utile transparente est identique à celui décrit ci-dessus pour les liaisons descendantes avec charge utile non transparente. Toutefois, l'assemblage n'a pas lieu dans le satellite mais dans la station terrienne émettant l'onde MRT montante.

### 3 Algorithme de codage audio MPEG Couche III

#### 3.1 Considérations générales

Le Système numérique D de radiodiffusion sonore par satellite utilise le codage ISO/MPEG Couche III. Les trois versions couramment utilisées de celui-ci sont les systèmes normalisés MPEG-1 Couche III et MPEG-2 (demi-fréquence d'échantillonnage) Couche III ainsi que le complément MPEG-2.5 (quart de fréquence d'échantillonnage). A l'aide de ces diverses options de codage de la source, le système peut fonctionner à des débits audionumériques de 16 à 128 kbit/s par pas de 16 kbit/s pour fournir divers équivalents de qualité audio équivalents au CD stéréo, à la MF stéréo, la MF mono, la MA stéréo et la MA mono.

Les principes généraux des systèmes de codage ISO/MPEG, et l'algorithme de Couche III en particulier, font l'objet de nombreuses publications (telles que [Brandenburg et autres, 1992; Eberlein et autres, 1993]). Le signal temporel MIC est transposé dans le domaine fréquentiel au moyen d'un banc de filtrage mis en œuvre par une transformée de Fourier rapide (TFR) (dans le cas du codage Couche III, un banc de filtrage hybride mis en œuvre par une transformée de Fourier discrète (TFD)). Un modèle psychoacoustique calcule les seuils de perception du signal audio dans le domaine fréquentiel admissibles. Un noyau de quantification et de codage applique des seuils de domaine fréquentiel de données transposées vers le spectre des fréquences audio. Enfin, les données codées sont multiplexées avec l'en-tête de trame et les informations pour former le flux binaire. Le décodeur effectue les opérations inverses pour récupérer le signal audio analogique.

Quatre caractéristiques fondamentales sont les facteurs déterminants de la grande efficacité du codage de Couche III par rapport à d'autres systèmes:

- la *grande résolution dans le domaine fréquentiel* optimise la mise en forme du spectre de bruit en fonction des exigences du modèle psychoacoustique;
- le *codage entropique* (c'est-à-dire de *Huffman*) supprime la redondance dans un signal. La Couche III utilise 32 tables de Huffman différentes qui peuvent être attribuées d'une manière souple au codage du signal;
- le *réservoir de bits* est un tampon éphémère permettant une «économie de débit binaire» qui se traduit par une qualité équivalente à celle d'un codage constant;
- les *méthodes de codage stéréo mixte récentes* permettent d'obtenir des rapports de compression élevés des signaux stéréophoniques. La Couche III est la seule qui accepte deux méthodes de codage stéréo: le codage stéréo milieu/côté (MS) et le codage stéréo à intensité variable.

### 3.2 MPEG-1 Couche III

La Norme ISO/CEI 11172 [ISO/CEI, 1993] généralement appelée norme «MPEG-1», a été arrêtée en 1991. La partie audio de cette norme, ISO/CEI 11172-3, définit trois algorithmes – Couches I, II et III – pour le codage des signaux audio MIC avec des fréquences d'échantillonnage de 48, 44,1 et 32 kHz. La Couche III est le système le plus puissant des trois et peut fonctionner à des débits de 32 à 320 kbit/s par signal mono ou stéréo. Le codage MPEG Couche III a été le seul à atteindre la qualité radiodiffusion à 192 kbit/s conformément à la Recommandation UIT-R BS.1115.

### 3.3 MPEG-2 Couche III (complément pour une demi-fréquence d'échantillonnage)

Les algorithmes de codage MPEG-1 ont été principalement conçus pour la compression audio de haute qualité (qualité CD) de signaux monophoniques ou stéréophoniques. Quand la norme MPEG-1 a été établie, il est apparu clairement qu'un développement permettant des fréquences d'échantillonnage plus faibles était nécessaire. Pour des raisons techniques, l'efficacité de codage optimale pour les très faibles débits binaires (inférieurs ou égaux à 32 kbit/canal) ne peut être atteinte qu'avec des fréquences d'échantillonnage inférieures. En conséquence, le complément pour les faibles fréquences d'échantillonnage de la norme MPEG-2 (ISO/CEI 13818-3 [ISO/CEI, 1998]) définit l'utilisation des fréquences d'échantillonnage 24, 22,05 et 16 kHz pour des débits binaires aussi bas que 8 kbit/s.

### 3.4 MPEG-2.5 Couche III (complément pour les faibles fréquences d'échantillonnage)

Bien que le codage MPEG-2 Couche III à demi-fréquence d'échantillonnage permette des débits binaires aussi bas que 8 kbit/s, on a constaté que le codage aux débits compris entre 8 et 16 kbit/canal pouvait encore être amélioré par l'emploi de fréquences d'échantillonnage toujours plus faibles. En conséquence, on a défini en complément du codage MPEG-2, le codage MPEG-2.5, fonctionnant au quart de la fréquence d'échantillonnage. Ce codage est pratiquement identique au codage MPEG-2 Couche III, mais permet des fréquences d'échantillonnage de 12, 11,025 et 8 kHz pour obtenir la meilleure qualité audio possible aux très faibles débits. Les essais d'écoute par des spécialistes ont montré que la qualité perçue aux faibles débits est considérablement améliorée par l'emploi de faibles fréquences d'échantillonnage.

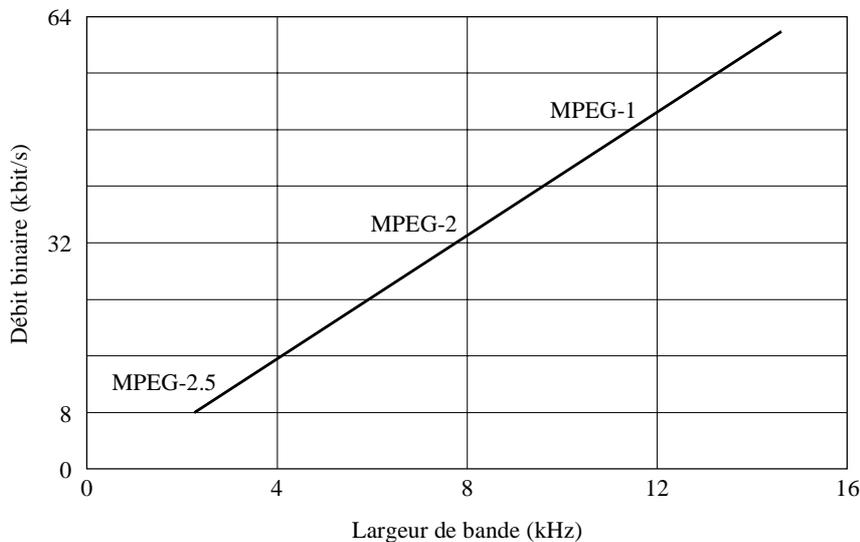
### 3.5 Qualité audio Couche III – Situation et améliorations à venir

Au niveau de la qualité de la reproduction audio, la largeur de bande audio est le paramètre le plus important. Au cours du processus de codage, la largeur de bande est choisie de telle manière que les défauts liés au codage soient aussi peu audibles que possible. La stéréophonie Couche III à 128 kbit/s restitue l'équivalent de la qualité CD, la stéréophonie à 64 kbit/s fournit une très bonne qualité à une largeur de bande d'environ 11 kHz, et la monophonie à 16 kbit/s offre une qualité «supérieure à la qualité ondes courtes». La Fig. 24 donne un exemple de la largeur de bande audio en fonction du

débit binaire par canal pour le codage Couche III. Il est important de noter que les normes MPEG décrivent uniquement le format du flux binaire et le processus de décodage et non le processus de codage. Toutes les améliorations réalisées au niveau du codage se traduiront donc par une qualité audio résultante supérieure (par exemple, une largeur de bande plus grande) au niveau du décodeur. Les principaux éléments des travaux actuels sur le codage Couche III visent à:

- l'optimisation des techniques de stéréophonie mixte,
- l'amélioration du mécanisme de commutation des blocs,
- l'affinage des paramètres psychoacoustiques dans diverses conditions.

FIGURE 24  
Système numérique D - Exemple de largeur de bande audio  
en fonction du débit binaire pour le codage MPEG Couche III



1130-24

Les résultats de ces travaux devraient encore améliorer l'efficacité de l'algorithme de codage audio Couche III.

## 4 Fonctionnement et interfaces des récepteurs radiophoniques

### 4.1 Fonctionnement du récepteur

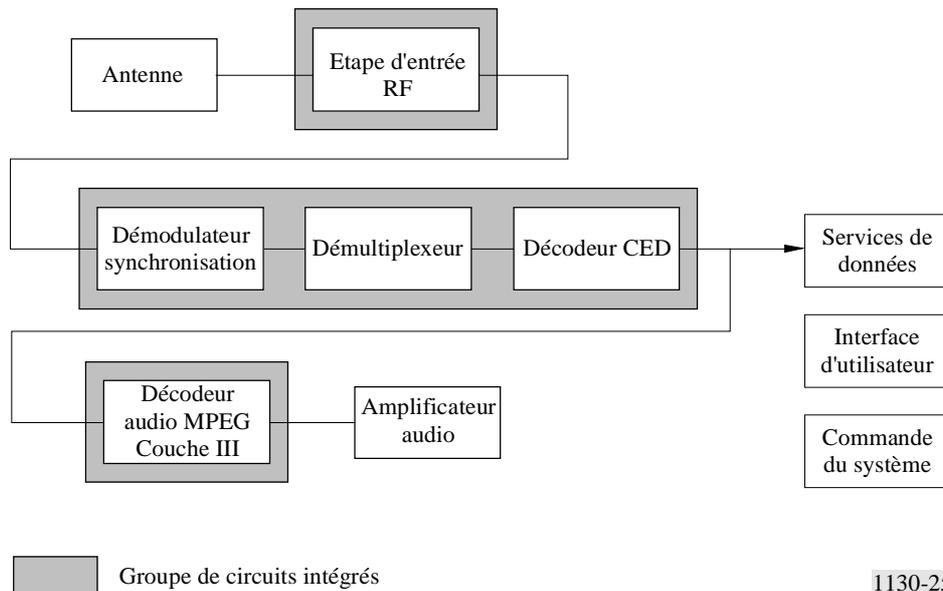
La Fig. 25 représente le schéma synoptique du récepteur pour le Système numérique D.

#### 4.1.1 Choix de l'antenne

L'antenne doit pouvoir recevoir différentes porteuses MRT entre 1452 et 1492 MHz émises avec deux types de polarisations circulaires. Pour atteindre le rapport  $G/T$  minimal spécifié de  $-16,5 \text{ dB}(K^{-1})$  dans l'hypothèse d'une valeur  $T_{\text{sys}}$  de 160 K, il faut un gain d'antenne minimal de 6 dBi.

Une même antenne convient pour les deux types de polarisation (du moins dans le cas des appareils portatifs) par l'emploi d'un commutateur de polarisation à semi-conducteurs. L'antenne standard est une antenne plane alimentant deux amplificateurs à faible bruit (AFB) distincts à partir de prises fournissant respectivement la polarisation circulaire droite et la polarisation circulaire gauche. L'antenne demi-onde mesure  $6 \times 6 \text{ cm}$  et présente un gain d'environ 6 dBi et une ouverture de faisceau d'environ  $100^\circ$ , raison pour laquelle elle ne requiert pratiquement aucun pointage, ce qui est un avantage supplémentaire pour les appareils portatifs.

FIGURE 25  
Système numérique D - Schéma synoptique du récepteur



1130-25

En conditions de réception médiocres, on peut utiliser des antennes ayant un gain supérieur (12 dBi environ). La réduction de l'ouverture du faisceau nécessitera un certain pointage de l'antenne vers le satellite qui sera facilité par la présence d'un indicateur de «qualité du signal». Un avantage important de la plus grande directivité de l'antenne est l'amélioration du rapport signal/brouillage.

Pour les raisons qui précèdent, l'antenne est amovible et, dans ce cas, son signal de sortie est transmis au récepteur via un câble et un connecteur d'entrée. Cette configuration est surtout intéressante à l'intérieur, quand le signal est fortement affaibli par la pénétration. L'antenne amovible peut être montée à l'extérieur ou près d'une fenêtre, permettant une réception en visibilité directe; dans ce cas, elle transmet le signal au récepteur via un câble coaxial intermédiaire. Toutefois, comme l'affaiblissement d'insertion pourrait abaisser excessivement le rapport  $G/T$ , il faut un supplément de gain de l'amplificateur AFB pour disposer d'une marge suffisante.

D'autres choix possibles d'antennes à gain élevé sont les antennes en hélice à rayonnement transversal ou à rayonnement longitudinal. L'inclinaison azimutale peut être alignée sur l'azimut local de réception du satellite. Si l'on utilise le récepteur comme poste fixe, une autre solution intéressante consiste à utiliser l'antenne plane comme tête de réception d'une antenne parabolique. Dans ce cas, on peut utiliser pour la sélection de la polarisation un signal de commande du récepteur.

#### 4.1.2 Filtrage de l'étage d'entrée

L'étage d'entrée du récepteur est de type superhétérodyne à double conversion. Pour obtenir la rejection image et pour atténuer efficacement le brouillage hors bande, on utilise un filtre tripolaire constitué de résonateurs coaxiaux diélectriques à  $Q$  élevé. Après la première conversion à la fréquence intermédiaire de 115,244 MHz, on obtient la sélectivité dans la bande au moyen d'un filtre à ondes acoustiques de surface (SAW, *surface acoustic wave*). La bande passante correspond à la bande passante MRT légèrement majorée pour tenir compte des tolérances de température du premier oscillateur local et du filtre proprement dit. La décroissance du spectre voulu est entièrement réalisée dans le domaine numérique. On obtient ainsi une précision élevée qui améliore la marge pour la liaison.

#### 4.1.3 Limitations dues à la linéarité du récepteur (IP3)

L'immunité du récepteur au brouillage est fonction de la sélectivité du filtre d'entrée tant que de la linéarité du récepteur et de la qualité de réponse au signal. Etant donné que le récepteur est de type portatif, alimenté par piles, et qu'il est destiné à des marchés où les considérations de coût sont importantes, la consommation d'énergie est une préoccupation essentielle. Pour cette raison, il est difficile d'aboutir à des valeurs de linéarité élevées. Initialement, la valeur minimale spécifiée pour le récepteur par rapport au connecteur d'antenne de réception est  $IP3 = -40$  dBm.

La valeur IP3 d'entrée de l'amplificateur AFB utilisée dans l'antenne active est de  $-20$  dBm, ce qui laisse une marge suffisante pour améliorer l'immunité aux brouillages intenses dans la bande par l'insertion de filtres entre la sortie de l'antenne et l'entrée du récepteur.

#### 4.1.4 Syntonisation sur une porteuse MRT

La gamme de fréquences de réception dans la bande 1452-1492 MHz d'une largeur de 40 MHz accepte jusqu'à 82 porteuses MRT par polarisation (sur une grille de 460 kHz). Ces positions potentielles de porteuse MRT sont directement accessibles. La largeur de bande d'une porteuse MRT est d'environ 2,5 MHz et la finesse de la grille confère une souplesse suffisante pour la planification des fréquences et les mesures contre les brouillages.

#### 4.1.5 Démodulation

Le signal de sortie du côté entrée du syntoniseur analogique (bande de base à 1,84 Msymbole/s) est directement échantillonné et converti dans le domaine numérique. La démodulation cohérente du flux de bits MDP-4 en composantes  $I/Q$  est effectuée par un mélangeur complexe. Après filtrage de Nyquist en racine carrée de puissance cosinus des signaux complexes, le rythme de l'horloge des symboles est rétabli par ré-échantillonnage numérique. Des boucles de commande intelligentes rétablissent faiblement le signal aux très faibles niveaux de rapport  $C/N$ . Elles présentent une grande capacité de poursuite jusqu'aux rapports  $C/N$  proches de 0 dB et des TEB proches de la limite théorique.

#### 4.1.6 Synchronisation des trames MRT

Le bloc de synchronisation des trames principales reçoit le flux de symboles démodulé du démodulateur MDP-4 et effectue le verrouillage en détectant par corrélation le préambule de la trame de référence. La configuration connue du mot de synchronisation est également utilisée pour corriger l'ambiguïté de phase inhérente à la démodulation MDP-4.

#### 4.1.7 Démultiplexage d'un canal BC

La trame MRT comprend trois champs:

- le préambule de trame de référence nécessaire à la synchronisation,
- le canal de commande d'intervalle de temps contenant l'information sur les emplacements et l'organisation des données du canal PRC et
- le champ des données du canal PRC MRT.

Le champ de données PRC contient 96 canaux PRC ayant un débit de données net de 16 kbits; un à huit de ces canaux peuvent être groupés pour former un canal de radiodiffusion. Les canaux BC correspondent aux capacités de données choisies individuellement par les prestataires pour répondre aux différentes exigences de qualité audio et de contenu de données auxiliaires.

La fonction du démultiplexeur MRT est d'extraire du flux de données le canal BC sélectionné. Les symboles des différents canaux PRC appartenant au canal de radiodiffusion sélectionné passent par l'unité de rétablissement du flux de données. Le désalignement temporel entre les canaux PRC du canal BC sélectionné est éliminé par la technique des «bits de bourrage».

#### 4.1.8 Décodage CED d'un canal BC: décodage de Viterbi + suppression des entrelacements + RS

Pour obtenir des TEB de  $1 \times 10^{-4}$  à peine avec de faibles rapports  $C/N$ , on applique une méthode de correction puissante comprenant une série de décodages Viterbi convolutifs comme code interne, de la suppression des entrelacements et du décodage RS par blocs comme code externe. Ces mécanismes de protection sont appliqués au niveau du canal BC (et non du canal PRC) afin de permettre au récepteur de ne les appliquer qu'une seule fois au niveau du débit de données du canal BC sélectionné. A la sortie de ce module on obtient le canal BC. Celui-ci est formé de différentes composantes de service appartenant au même service. La structure de service et la composition des composantes de service du canal BC sont transmis dans l'en-tête SCH.

## 4.2 Fonctions SCH: types de service et services à abonnement

Pour permettre la sélection optimale automatique d'un service, l'en-tête SCH fournit au récepteur des informations telles que les types et numéros des composantes de service, la langue, le type de programme et l'étiquette identifiant le fournisseur de service. En plus du service audio, on peut transmettre des séquences d'images fixes et des services de

données. Ceux-ci utiliseront des formats de composantes de service différents identifiés par le récepteur dans l'information SCH. Le cryptage est une autre possibilité. Le système de cryptage retenu utilise trois clés: une clé matériel (pour identifier le récepteur), une clé utilisateur (pour identifier l'autorisation) et une clé dans le signal émis (pour identifier le fournisseur du service).

Le Tableau 6 est un résumé des fonctions de l'en-tête SCH.

TABLEAU 6

## Système numérique D – Résumé des fonctions de l'en-tête SCH

Groupe de champs	Nom de champ	Objet
Préambule de service	Préambule de service	Synchronisation de chaque composante de service
	Indice de débit	Indication du débit binaire global du service
	Commande de cryptage	Informations sur le type de cryptage éventuellement utilisé
	Indicateur 1 de contenu de champ auxiliaire, ACI1	Champ à usages multiples qui commande les fonctionnalités spécifiques associées au service. Cet indicateur donne des informations sur l'objet de la valeur contenue dans le champ ADF1
	Indicateur 2 de contenu de champ auxiliaire, ACI2	Même fonction que l'indicateur ACI1 mais commande l'ADF2
Données de commande de service	Nombre de composantes du service, $N_{sc}$	Contient l'indication du nombre de composantes de service contenues dans le canal BC; ce nombre peut varier de un à huit
	Champ 1 de données auxiliaires, ADF1	Champ de données dont le contenu est défini par l'indicateur ACI1
	Fanion de départ de multitrame ADF2	Indique la présence et le départ d'un champ de données multitrame dans lequel les données sont acheminées dans des trames successives à l'intérieur de l'ADF2
	Champ du décalage et de la longueur du segment ADF2	Contient le nombre total de segments contenus dans la multitrame moins un
	Champ 2 de données auxiliaires (ADF2)	Champ de données contenant le type de données indiqué par ACI2
Données de commande de composante de service	Champ de commande de composante de service	Contient les informations nécessaires pour démultiplexer et décoder chaque composante de service contenue dans le canal BC. Inclut le débit, le type (MPEG audio, etc.) et le type de programme (musique, parole, etc.) ainsi que la langue de la composante de service
Service auxiliaire	Étiquettes dynamiques	Flux d'octets série dont la largeur de champ varie en fonction de la taille du canal BC. Peut être utilisé pour l'envoi d'éléments tels que le nom du radiodiffuseur ou l'annonce publicitaire associée pour affichage sur le récepteur

### 4.3 Décodage d'un service audio

Le décodeur MPEG reçoit du canal BC la composante de service audio sélectionnée et démultiplexée. L'extraction de l'en-tête MPEG et de l'information auxiliaire a lieu en premier. L'en-tête contient des informations sur le mode de décodage nécessaire tel que la fréquence d'échantillonnage, le débit et la stéréophonie, alors que l'information auxiliaire contient des facteurs d'échelle pour les intervalles spectraux, le type de bloc à transformée en cosinus discrète (DCT) et le choix de tables de Huffman. Après un contrôle de redondance cyclique (CRC) ont lieu le décodage de Huffman et le traitement DCT. Enfin, les signaux de sortie numériques sont convertis en analogique et introduits dans les sorties des lignes audio et l'amplificateur basse fréquence.

#### 4.4 Sélectivité RF/FI globale

La sélectivité globale d'un récepteur Système numérique D type est illustrée par la courbe du rapport de protection montrée à la Fig. 26. Celle-ci montre le niveau (dBm) et en fonction de la fréquence d'un brouilleur modulé en MDP-4,  $P_{int}$ , nécessaire pour produire un TEB de  $1 \times 10^{-2}$  en sortie du démodulateur du récepteur. Le signal utile est un signal de  $-90$  dBm modulé en MDP-4. Les deux signaux sont modulés par l'onde MRT à 1,84 Msymboles/s. La forme de la courbe de sélectivité est déterminée par cinq données principales:

- la sélectivité de l'antenne (fréquence et directivité),
- la sélectivité RF,
- la sélectivité du dispositif à ondes SAW de la 1<sup>ère</sup> FI,
- le filtre passe-bas de la 2<sup>e</sup> FI
- la mise en forme du spectre d'émission numérique.

#### 4.5 Objectifs et marges de TEB à la réception

En raison des puissants systèmes de correction des erreurs, il est possible d'atteindre l'objectif TEB visé de  $1 \times 10^{-4}$  avec des rapports  $C/N$  de 4,5 dB à peine. Etant donné que ce niveau de porteuse est proche de celui du bruit de fond, il faut abaisser autant que possible le brouillage sur le même canal par un arrangement approprié des parties déterminant la sélectivité.

#### 4.6 Protection du récepteur contre des brouillages et stratégies pour l'améliorer

Si le brouillage est modéré, on peut introduire entre l'antenne et le module de réception des filtres sélectifs passe-bande et éliminateurs de bande ou des atténuateurs. On peut les compléter par une antenne à gain élevé qui peut affaiblir encore le brouillage par l'amélioration de la directivité. Si le brouillage est très intense, on peut utiliser en plus des antennes à gain élevé avec des amplificateurs AFB présentant une linéarité et une sélectivité appropriées.

### 5 Bilans de liaison

Pour des puissances surfaciques types de  $-141,4$  et  $-145,4$  dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz)), les marges pour les liaisons descendantes sont respectivement de 9 et 5 dB pour un récepteur ayant un rapport  $G/T$  de  $-13$  dB(K<sup>-1</sup>). Ces puissances surfaciques correspondent également aux contours de gain approximatifs de  $-4$  et  $-8$  dB par rapport au gain de crête de l'antenne dans chaque faisceau.

#### 5.1 Répéteur non transparent

Le Tableau 7a) montre un bilan de liaison type de liaison descendante d'un répéteur non transparent. Le bilan de liaison s'applique à une station terrienne ayant un rapport  $G/T$  de  $-13,0$  dB(K<sup>-1</sup>) en un angle d'élévation de 30°.

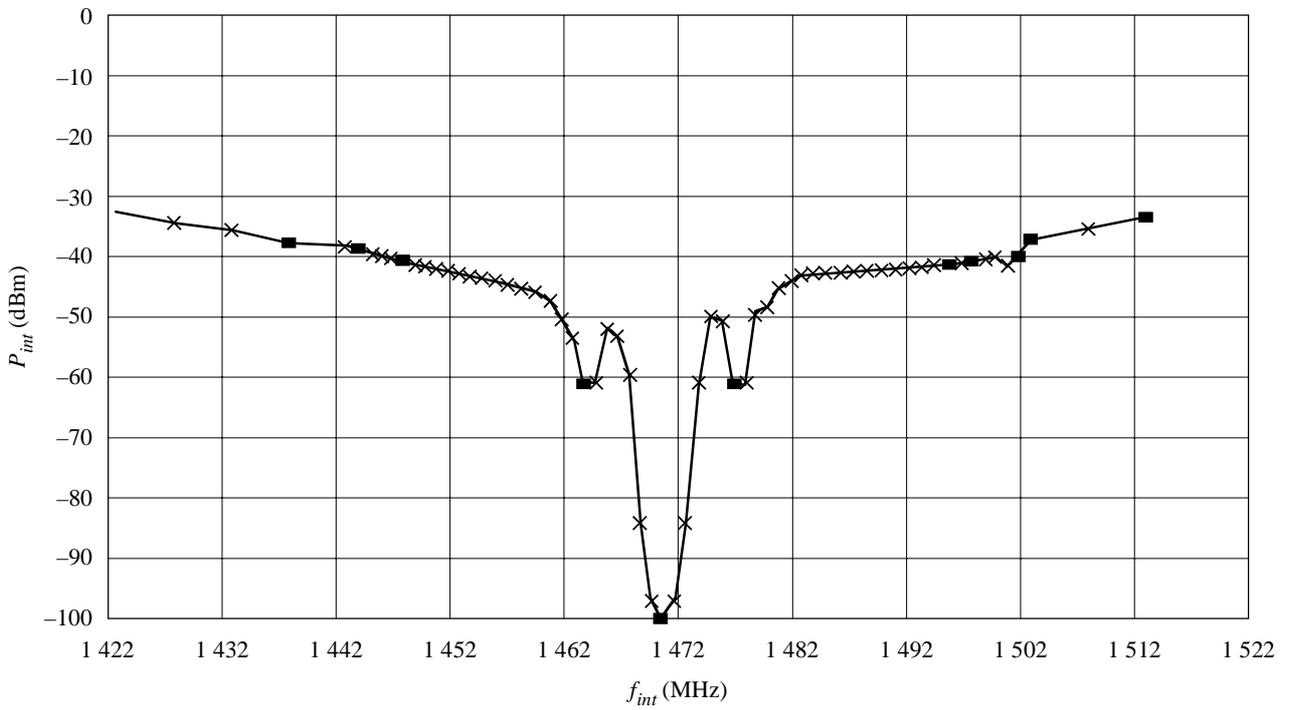
Le gain de l'antenne de satellite est de 25,6 dB ( $-4$  dB par rapport à la valeur maximale) et la puissance de sortie du répéteur est de 300 W (2 amplificateurs ATOP de 150 W fonctionnant en parallèle). Les affaiblissements de sortie résultant de la mise en parallèle de ces amplificateurs, de l'isolateur de grande puissance, des filtres et du guide d'ondes s'élèvent au total à 1,3 dB. L'onde MRT produit un affaiblissement de modulation de 0,3 dB. La p.i.r.e. nette de la liaison descendante est donc de 48,8 dBW (en limite de la zone de couverture).

Si l'on utilise un décodeur de Viterbi 1/2 et un décodeur RS de blocs, la valeur théorique du rapport  $E_b/N_0$  nécessaire pour obtenir après CED un TEB de  $1 \times 10^{-4}$  est de 2,7 dB. Les affaiblissements de mise en œuvre dus aux équipements de bord et aux équipements du récepteur prototype ont été fixés à 2,3 dB. Il faut donc un rapport  $C/N_0$  de 67,0 dB(Hz) à l'entrée du récepteur pour accepter un débit binaire de 1 584 kbit/s.

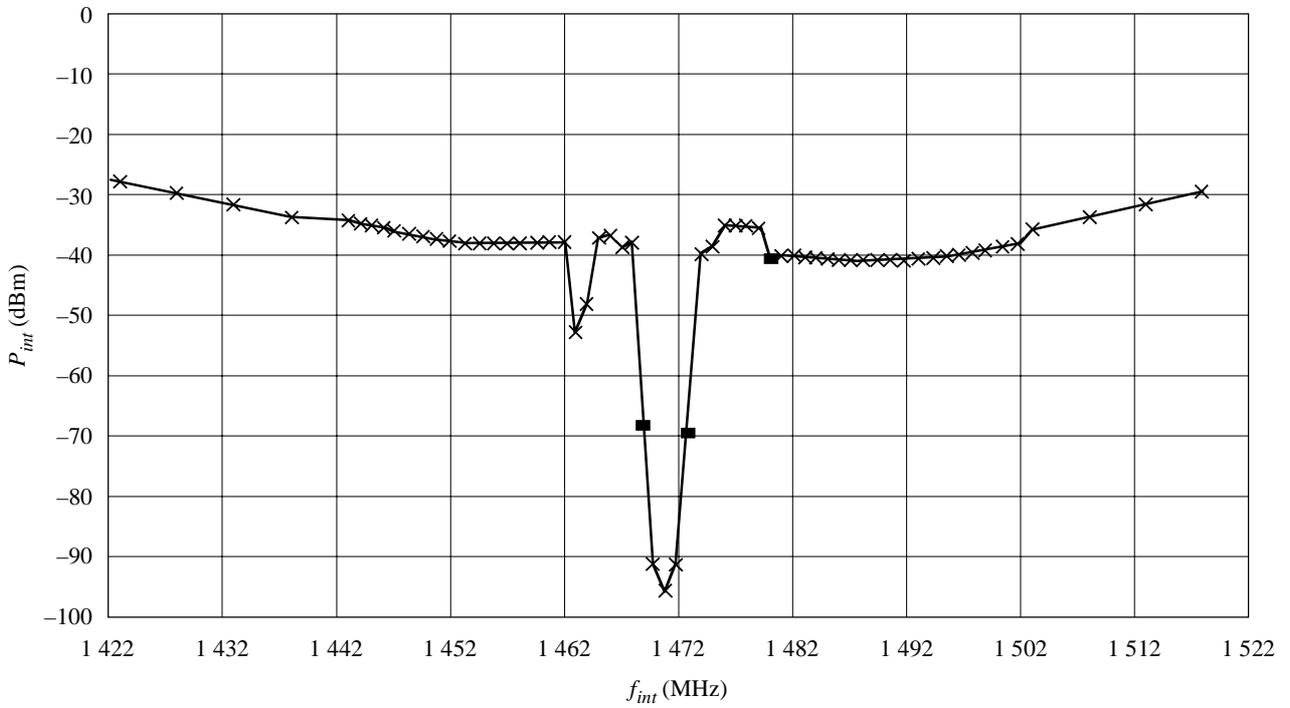
Pour un rapport  $G/T$  du récepteur de  $-13,0$  dB(K<sup>-1</sup>), une p.i.r.e. du satellite de 48,8 dBW et des affaiblissements atmosphériques de 0,1 dB, le rapport  $C/N_0$  reçu est de 76,7 dB(Hz), ce qui se traduit par une marge de 9,7 dB. Les récepteurs ayant d'autres valeurs de rapport  $G/T$  ou fonctionnant hors du contour d'antenne de  $-4$  dB du faisceau descendant auraient des marges de liaison différentes.

FIGURE 26

Système numérique D - Rapport de protection d'un récepteur type



a) Brouilleur: MDP-4; puissance du signal: -90 dBm (à l'entrée)



b) Brouilleur: onde sinusoïdale; puissance du signal: -90 dBm (à l'entrée)

- — Perte de synchronisation
- × — TEB = 1 × 10<sup>-2</sup> (décision formelle)

5.2 Répéteur transparent

Le Tableau 7b) montre un bilan de liaison type de la liaison descendante d'un répéteur transparent avec le récepteur cité. Le bilan de liaison s'applique pour une onde MRT avec un rapport  $C/(N_0 + I_0)$  nominal de la liaison montante de 82,4 dB(Hz) ou un rapport  $C/N$  de 17,4 dB et un recul de puissance à la sortie (OBO, *output backoff*) consécutif au bruit de la liaison montante de 0,1 dB. Cette valeur du recul OBO et une p.i.r.e. de satellite de 48,7 dBW donnent un rapport  $C/(N_0 + I_0)$  de 76,6 dB(Hz) à l'entrée du récepteur prototype en l'absence de toute occultation ou évanouissement dans la liaison descendante (mais n'incluant pas le bruit retransmis depuis la liaison montante, sauf s'il produit un recul de puissance supplémentaire du satellite). Pour un rapport  $C/(N_0 + I_0)$  de liaison montante de 82,4 dB(Hz) et le rapport  $C/(N_0 + I_0)$  requis à l'entrée du récepteur de 67,2 dB(Hz), le rapport  $C/(N_0 + I_0)$  total requis de la liaison descendante est de 67,3 dB(Hz) et la marge de liaison descendante de 9,3 dB. D'une manière analogue, pour le cas de la variation la plus défavorable du signal de la liaison montante, on peut montrer que la marge de liaison descendante est de 8,6 dB.

TABLEAU 7

a) Bilan de liaison descendante avec répéteur non transparent pour le Système numérique D

Liaison descendante	
Fréquence (GHz)	1,48
Satellite	
Puissance de sortie du répéteur (W)	300,0
Affaiblissements de sortie (dB)	1,3
Recul OBO (dB)	0,3
Gain d'antenne (dB)	25,6
p.i.r.e. (dBW)	48,8
Propagation	
Élévation (degrés)	30,0
Distance (km)	38 612,6
Affaiblissements en espace libre (dB)	187,6
Affaiblissements de pointage (dB)	0,0
Affaiblissements atmosphériques (dB)	0,1
Récepteur	
Puissance surfacique (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-114,1
$G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	-13,0
$C/N_0$ à la réception (dB(Hz))	76,7
$E_b/N_0$ requis à $1 \times 10^{-4}$ (dB)	2,7
Affaiblissements dus au matériel (dB)	1,8
Brouillage intersymboles (dB)	0,5
Débit binaire (kHz)	1 584,0
$C/N_0$ requis (dB(Hz))	67,0
Marge (dB)	9,7

b) Bilan de liaison descendante avec répéteur transparent pour le Système numérique D

Liaison descendante	
Fréquence (GHz)	1,48
Satellite	
Puissance de sortie du répéteur (W)	300,0
Affaiblissements de sortie (dB)	1,3
Compression du recul OBO (dB)	0,3
Gain d'antenne à EOC (dB)	25,6
p.i.r.e. (dBW)	48,8
Propagation	
Élévation (degrés)	30,0
Distance (km)	38 612,6
Affaiblissements en espace libre (dB)	187,6
Affaiblissements de pointage (dB)	00,0
Affaiblissements atmosphériques (dB)	0,1
Récepteur	
Rapport $G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	-13,0
$E_b/N_0$ requis à $1 \times 10^{-4}$ (dB)	2,7
Affaiblissements dus au matériel (dB)	1,8
Brouillage intersymboles (dB)	0,5
Affaiblissements HW de satellite (dB)	0,2
Débit binaire (kHz)	1 584,0
$C/N_0$ requis (dB(Hz))	67,2

TABLEAU 7 (fin)

Conditions nominales sur liaison montante:		Conditions les plus défavorables de liaison montante:	
Satellite		Satellite	
OBO dû à liaison montante $C/(N+I)$ (dB)	0,1	OBO dû à liaison montante $C/(N+I)$ (dB)	0,3
p.i.r.e. (dBW)	48,7	p.i.r.e. (dBW)	48,5
Récepteur		Récepteur	
Puissance surfacique (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-114,1	Puissance surfacique (dB(W/m <sup>2</sup> ))	-114,4
Rapport $G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	-13,0	Rapport $G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	-13,0
$C/N_0$ reçu (dB(Hz))	76,6	$C/N_0$ reçu (dB(Hz))	76,4
$C/(N_0 + I_0)$ de liaison montante (dB)	82,4	$C/(N_0 + I_0)$ de liaison montante (dB)	76,4
$C/(N_0 + I_0)$ requis (dB)	67,2	$C/(N_0 + I_0)$ requis (dB)	67,2
$C/(N_0 + I_0)$ de liaison descendante requis (dB)	67,3	$C/(N_0 + I_0)$ de liaison descendante requis (dB)	67,8
Marge (dB)	9,3	Marge (dB)	8,6

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BRANDENBURG, K., STOLL, G., DEHERY, Y. F., JOHNSTON, J. D., KERKHOFF, L. V. D., et SCHRÖDER E. F., [1992] The ISO/MPEG-audio codec: A generic standard for coding of high quality digital audio (Le codec audio ISO/MPEG: une norme générique pour le codage du son numérique de haute qualité). 92nd Audio Engineering Society (AES) Convention, Vienne, Autriche. Preprint 3336.
- EBERLEIN, E., POPP, H., GRILL, B., HERRE, J. [1993] Layer III – A flexible coding standard (Couche III – une norme de codage particulièrement souple). 94th AES Convention, Berlin, Allemagne. Preprint 3493.
- ISO/CEI [1993] Norme internationale ISO 11172-3 – Technologies de l'information. Codage de l'image animée et du son associé pour les supports de stockage numérique jusqu'à environ 1,5 Mbit/s – Partie 3: Audio.
- ISO/CEI [1998] Norme internationale ISO 13818-3 – Technologies de l'information. Codage générique des images animées et des informations sonores associées – Partie 3: Son.

### BIBLIOGRAPHIE

- ISO/CEI [1994] ISO/CEI JTC1/SC29/WG11 MPEG94/0848. Report on the subjective testing of coders at low sampling frequencies (Rapport sur l'évaluation subjective des codeurs aux faibles fréquences d'échantillonnage). Singapour.