

RECOMMANDATION UIT-R BS.1547

Composante voie hertzienne de Terre des systèmes hybrides satellite/voie hertzienne de Terre de radiodiffusion sonore numérique pour récepteurs portatifs, fixes ou de véhicule fonctionnant dans la bande 1 400-2 700 MHz

(Question UIT-R 107/10)

(2001)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) l'intérêt croissant suscité dans le monde entier par la radiodiffusion audionumérique à couverture locale, régionale ou nationale par satellite et par voie hertzienne de Terre, destinée à des récepteurs portatifs, fixes ou de véhicule, dans la bande de fréquences 30-3 000 MHz;
- b) que l'UIT a déjà adopté les Recommandations UIT-R BS.774 et UIT-R BO.789 qui donnent les spécifications de besoin des systèmes de radiodiffusion sonore numérique, par voie hertzienne de Terre et par satellite respectivement, pour récepteurs portatifs, fixes ou de véhicule;
- c) qu'en fonctionnant dans le cadre du service de radiodiffusion par satellite (SRS (sonore)) dans une configuration hybride, les objectifs de service énumérés au b) ci-dessus peuvent mieux être remplis;
- d) que les Recommandations UIT-R BS.774 et UIT-R BO.789, qui font état des avantages liés à l'utilisation complémentaire de systèmes par voie hertzienne de Terre et de systèmes par satellite, préconisent le recours à un système de radiodiffusion sonore numérique permettant l'utilisation d'un récepteur commun bon marché, produit en grande série et doté de circuits de traitement à intégration à très grande échelle (VLSI, *very large scale integration*) communs;
- e) que le Système numérique D_H, décrit dans l'Annexe 2, répond à la plupart des exigences formulées dans les Recommandations UIT-R BS.774 et UIT-R BO.789, et que ce système a été testé en conditions réelles et fait l'objet de démonstrations dans plusieurs pays;
- f) que le Système numérique E décrit dans l'Annexe 3, répond à la plupart des exigences formulées dans les Recommandations UIT-R BS.774 et UIT-R BO.789, et que ce système a été testé en conditions réelles;
- g) que certains systèmes décrits dans la Recommandation UIT-R BO.1130 ont une composante voie hertzienne de Terre complémentaire à la partie SRS (sonore) et forment ainsi des systèmes hybrides satellite/voie hertzienne de Terre;
- h) qu'à la septième Conférence mondiale des Unions de radiodiffusion (Mexico, 27-30 avril 1992), les Unions de radiodiffusion ont décidé à l'unanimité:
 - «1. que tous les efforts doivent être accomplis en vue de parvenir à une norme mondiale unique pour le DAB; et
 2. que les administrations sont instamment priées de prendre en considération les avantages pour le consommateur d'un codage commun de source et de canal ainsi que de la mise en œuvre de la radiodiffusion sonore numérique autour de 1,5 GHz sur une base commune à un niveau mondial»;

j) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a attribué la bande 1 452-1 492 MHz au service de radiodiffusion par satellite (sonore) et au service de radiodiffusion complémentaire par voie hertzienne de Terre. Des attributions additionnelles par renvoi ont également été faites pour des pays particuliers dans la bande 2 310-2 360 MHz et dans la bande 2 535-2 655 MHz dans les numéros 5.393 et 5.418 du Règlement des radiocommunications (RR),

notant

- a) qu'un résumé succinct des systèmes numériques hybrides est présenté dans l'Annexe 1;
- b) que les systèmes numériques D_H et E sont succinctement décrits dans les Annexes 2 et 3 respectivement;
- c) que les systèmes numériques D_H et E sont décrits dans le détail dans le Manuel sur la radiodiffusion sonore numérique,

recommande

1 aux administrations souhaitant mettre en place des services de radiodiffusion sonore numérique hybrides par satellite/voie hertzienne de Terre partiellement ou totalement conformes à la Recommandation UIT-R BS.774, d'utiliser le Tableau 1 pour comparer les avantages respectifs des systèmes numériques D_H ou E (voir la Note 1). Cette comparaison doit être faite en tenant compte de la Recommandation UIT-R BO.1130 pour la partie satellite en vue de choisir un système hybride du SRS (sonore) global.

NOTE 1 – Les technologies dans ce domaine évoluent rapidement. Ainsi, si de nouveaux systèmes répondant aux exigences formulées dans la Recommandation UIT-R BS.774 sont mis au point, leur utilisation pourrait être également recommandée lorsqu'ils seraient portés à l'attention de l'UIT-R. Les administrations impliquées dans le développement de systèmes de radiodiffusion sonore numérique devraient déployer tous les efforts pour parvenir, dans la mesure du possible, à une harmonisation avec les systèmes déjà mis au point ou en cours de développement.

TABLEAU 1

Evaluation des performances des Systèmes D_H et E sur la base des caractéristiques techniques et opérationnelles recommandées dans la Recommandation UIT-R BS.774

Caractéristiques recommandées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique D_H	Système numérique E
1. Qualité sonore et types de réception	16 à 128 kbit/s par canal audio, par incréments de 16 kbit/s. Chaque incrément de 16 kbit/s peut être partagé en deux services à 8 kbit/s. Un codage audio MPEG-2 et MPEG-2.5 Couche III est utilisé. Pour récepteurs fixes, portatifs ou de véhicule	16 kbit/s à 320 kbit/s par canal audio, par incréments quelconques. Un codage audio AAC MPEG-2 est utilisé. Pour récepteurs fixes, portatifs ou de véhicule

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques recommandées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique D _H	Système numérique E
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 les canaux adjacents très inférieure à celle d'un service MF. (MDP-4 avec une correction d'erreur utilisant un code en bloc et un code convolutionnel concaténés)	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. (MRC fondé sur la modulation MDP-4 avec une correction d'erreur utilisant un code en bloc et un code convolutionnel concaténés)
3. Performance en présence de trajets multiples et de zones d'ombre	Ce système hybride satellite/voie hertzienne de Terre est conçu pour la réception d'un signal MRT provenant d'un satellite complété par un signal MMP retransmis par voie hertzienne de Terre. Le signal MMP est spécialement conçu pour la réception en présence de trajets multiples. Il fonctionne par sommation de puissance des échos qui apparaissent pendant un intervalle de temps donné	Le système est spécialement conçu pour fonctionner en présence de trajets multiples. Il fonctionne par addition de la puissance de réception des trajets multiples au moyen d'un récepteur RAKE. Cela permet aux réémetteurs fonctionnant sur le même canal de couvrir les zones d'ombre. En outre, les coupures de plus d'une seconde seront récupérées au moyen d'un entrelaceur de bits convolutionnel segmenté
4. Même traitement au récepteur du signal de radiodiffusion diffusé par satellite et par voie hertzienne de Terre	Des récepteurs sont en cours de développement pour la réception des signaux MRT-MMP en zone urbaine, y compris pour la réception mobile. Le signal MRT-MMP est diffusé par des réémetteurs de Terre qui rediffusent en MRT-MMP le signal MRT du satellite. On utilise la polarisation circulaire pour la réception du signal émis par le satellite et la polarisation verticale pour la réception du signal émis par les émetteurs de Terre. On utilise des antennes extérieures pour la réception mobile	Ce système est fondé sur la réception simultanée à partir du satellite et de réémetteurs complémentaires fonctionnant sur le même canal. Il permet l'utilisation du même récepteur, de l'entrée RF à la sortie audio et données. L'adoption des systèmes MPEG-2 permettra d'obtenir une interopérabilité maximale entre les récepteurs de radiodiffusion numérique du même type (par exemple RDNIS-S, RDNIS-T et DVB-T, RDNIS-S) grâce à l'utilisation d'un futur mécanisme d'interconnexion (IEEE1394)

TABLEAU 1 (suite)

Caractéristiques recommandées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique D _H	Système numérique E
5. Reconfiguration et qualité/nombre de programmes	On utilise un système de multiplexage souple à blocs de 16 kbit/s. Il est possible d'attribuer 8 blocs à chaque canal de diffusion, ce qui permet d'établir un compromis entre la qualité sonore et le nombre de services. L'assignation aux services est ajustable dynamiquement. On obtient la qualité audio FM à 64 kbit/s. Tous les blocs disposent d'une protection contre les erreurs. Le service de données achemine les flux et les paquets de données	Le multiplexage des données de charge utile est fondé sur les systèmes MPEG-2. Pour le choix du débit de données audio, on peut utiliser des incréments quelconques afin d'obtenir un compromis entre qualité audio des programmes et nombre de services. Il est possible d'avoir un service à débit de données supérieur si on utilise plusieurs canaux MRC par flux audio de programme
6. Compromis étendu de la couverture/nombre de programmes	Le système est optimisé pour la réception en diversité de signaux en provenance d'un ou de plusieurs satellites et de signaux en provenance de réémetteurs de Terre. Le compromis couverture-débit est fixe	Le débit de données d'un seul canal MRC peut être choisi entre 236 kbit/s et 413 kbit/s grâce à un codage convolutionnel discontinu (poinçonné). (Le taux de codage peut être 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 ou 7/8)
7. Même récepteur pour différents types de diffusion de programme: – Diffusion mixte/hybride – Diffusion complémentaire par voie hertzienne de Terre – Distribution par câble	– Utilisation 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. Un récepteur commun permettra de recevoir les signaux MRT en provenance du satellite et les signaux MMP en provenance des réémetteurs de Terre. – Permet de fournir sur un récepteur commun des services locaux, régionaux et nationaux en modulation MRT-MMP avec des réseaux monofréquence de Terre et en modulation MRT-MDP-4 avec un satellite en visibilité directe. – Le signal peut être acheminé de façon transparente sur le câble	– Permet d'utiliser la même bande que celle utilisée pour la radiodiffusion sonore par voie hertzienne de Terre (mixte) et d'utiliser aussi des réémetteurs de Terre sur le même canal pour améliorer la couverture du satellite (hybride), donc de recevoir de manière transparente tous ces canaux sur un récepteur commun. – Permet de fournir des services locaux, régionaux et nationaux par voie hertzienne de Terre avec une même modulation et un émetteur unique ou plusieurs émetteurs fonctionnant dans un réseau monofréquence pour tirer parti de l'utilisation d'un récepteur commun. – Le signal peut être acheminé de façon transparente sur le câble

TABLEAU 1 (*fin*)

Caractéristiques recommandées dans la Recommandation UIT-R BS.774 (libellé condensé)	Système numérique D _H	Système numérique E
8. Possibilité d'associer des données au programme	Les DAP comprenant du texte (étiquettes dynamiques) et des graphiques avec contrôle d'accès conditionnel peuvent être diffusés	Le multiplexage des DAP est fondé sur les systèmes MPEG-2. Des services de données sont disponibles, avec n'importe quel canal MRC et une partie de canal MRC
9. Assignment souple des services	Un multiplex peut être reconfiguré de façon dynamique de manière transparente pour l'utilisateur	Un multiplex peut être reconfiguré de façon dynamique de manière transparente pour l'utilisateur
10. Structure du multiplex compatible avec le modèle OSI	La structure multiplexée est compatible avec le modèle en couches OSI	La structure multiplexée du système est entièrement conforme à l'architecture des systèmes MPEG-2
11. Possibilité de services à valeur ajoutée	Une capacité variable, par incréments de 8 kbit/s, allant jusqu'à 1,536 Mbit/s (capacité totale multiplex MRT) 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 pour données est prévu sur les récepteurs pour assurer l'interface avec les réseaux informatiques	Une capacité allant d'un débit quelconque jusqu'à la capacité totale de la charge utile (dépend du nombre de canaux MRC multiplexés) peut être assignée à des données indépendantes pour la diffusion de données commerciales, de données de radiomessagerie, d'images fixes, etc., éventuellement avec contrôle d'accès conditionnel
12. Fabrication de récepteurs bon marché	La réception des signaux provenant du satellite et des signaux MMP-MRT ainsi que le traitement numérique seront assurés sur des circuits intégrés produits en grande série	Le système a été spécialement optimisé pour qu'un récepteur de véhicule de faible complexité puisse être produit dès le départ. Un groupe de normalisation a été établi, le but étant de parvenir à des récepteurs bon marché sur la base de techniques de production en grande série de circuits intégrés à grande échelle

AAC: codage audio avancé (*advanced audio coding*)

DAP: données associées au programme

DVB: radiodiffusion vidéonumérique

IEEE: Institut des ingénieurs en électricité et en électronique

MDP-4: modulation par quadrature de phase

MF: modulation de fréquence

MMP modulation multiporteuses

MPEG: Groupe d'experts en images animées

MRC: multiplexage par répartition en code

MRT: multiplexage par répartition dans le temps

OSI: interconnexion des systèmes ouverts (*open system interconnection*)

RDNIS: radiodiffusion numérique à intégration des services

ANNEXE 1

Description succincte des systèmes numériques**1 Système numérique D_H**

Le Système numérique D_H, également connu sous l'appellation système WorldSpace hybride satellite/voie hertzienne de Terre, a pour fonction première de fournir des services de radiodiffusion audionumérique (son et données) à destination de récepteurs portatifs, fixes ou de véhicule. Sa composante satellite utilise le même mode de transport à MRT pour le canal de diffusion que celui du système D_S mais avec quelques améliorations permettant de renforcer la réception en visibilité directe dans des zones partiellement occultées par des arbres. Ces améliorations sont les suivantes: levée rapide de l'ambiguïté de phase en MDP-4, diversité temporelle direct/différé et combinaison de probabilité maximale des signaux de diversité temporelle direct/différé.

Il complète l'architecture du Système numérique D_S par une composante de diffusion par voie hertzienne de Terre utilisant la modulation (MMP). Cette modulation est une technique de multiplexage par répartition orthogonale de fréquence (MROF) adaptée à la propagation par trajets multiples. Cette technique est largement utilisée pour la réception mobile en tout lieu de signaux provenant d'émetteurs de Terre. Cette extension MMP vient améliorer les techniques couramment utilisées dans certains systèmes tel le système Euréka 147, qui est l'une des normes utilisées pour les services de radiodiffusion sonore numérique hyperfréquence par voie hertzienne de Terre. La modulation MMP utilise plusieurs fréquences pour compenser les évanouissements sélectifs en fréquence et éviter les effets désastreux de l'étalement des temps de propagation.

2 Système numérique E

Le Système numérique E, également connu sous l'appellation système ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*), est conçu pour fournir des services audio de haute qualité et des services de données multimédia à destination de récepteurs portatifs, fixes ou de véhicule. Il utilise des satellites et des répéteurs complémentaires de Terre fonctionnant sur le même canal. Il a été conçu pour optimiser la diffusion par satellite et par répéteur de Terre dans le même canal dans la bande 2 630-2 655 MHz. Pour cela, il utilise un multiplexage MRC fondé sur la modulation MDP-4 avec une correction d'erreur utilisant un code en bloc et un code convolutionnel concaténés. Le récepteur du Système numérique E fait appel aux technologies hyperfréquence les plus récentes et à des circuits intégrés numériques à très grande échelle, l'objectif premier étant d'obtenir une qualité élevée et une production à faible coût.

ANNEXE 2

Système numérique D_H**1 Introduction**

Le Système numérique D_H, également connu sous l'appellation système WorldSpace hybride satellite/voie hertzienne de Terre, a pour fonction première de fournir des services de radiodiffusion audionumérique (son et données) à destination de récepteurs bon marché portatifs, fixes ou de véhicule. Il complète l'architecture du Système numérique D_S décrit dans la Recommandation UIT-R BO.1130. Le Système numérique D_S a été conçu pour optimiser la diffusion par

satellite grâce à l'utilisation d'une modulation MDP-4, cohérente avec codage de blocs convolutionnel et recours à des amplificateurs à tubes à ondes progressives fonctionnant à saturation en mode non linéaire. Il est maintenant exploité en Afrique avec le satellite Worldspace AfriStar positionné à 21° E et en Asie avec le satellite AsiaStar positionné à 105° E. Le système permet un multiplexage souple de sources audionumériques et de données numérisées devant moduler une porteuse MRT de liaison descendante. Ce système fait appel à une structure de multiplexage hiérarchisée à trois couches (physique, service et transport) conforme au modèle OSI et préconisé dans la Recommandation UIT-R BT.807.

Depuis le lancement en octobre 1998 du satellite AfriStar, le Système numérique D_S assure un service de radiodiffusion numérique directe sur l'Afrique. Le même service est assuré en Asie par le satellite AsiaStar qui a été lancé en mars 2000. Dans leur zone de couverture qui atteint 28 millions de km², ces deux satellites permettent la diffusion de programmes numériques avec des marges de réception très élevées (4 à 13 dB). Les signaux audionumériques sont acheminés depuis des stations terriennes placées dans des lieux différents vers les satellites équipés de charges utiles de traitement transparentes. Ces signaux sont ensuite diffusés par AfriStar sur trois faisceaux de 5,7 à 6° d'ouverture couvrant l'Afrique et le Moyen-Orient. Quant à AsiaStar, il couvre au moyen de trois faisceaux un territoire allant de l'Indonésie et l'Inde jusqu'à la Chine et la Corée. Il existe quatre modèles de récepteur à 1,5 GHz de fabrication différente.

Par rapport au Système numérique D_S, le Système D_H offre de meilleures performances de réception en zone urbaine où les phénomènes d'occultation par les arbres et les bâtiments sont très pénalisants. Une architecture a maintenant été définie pour le Système D_H: elle comporte une partie complémentaire voie hertzienne de Terre et permet d'assurer des services de radiodiffusion numérique à destination de récepteurs statiques ou mobiles grâce à une configuration hybride satellite/voie hertzienne de Terre. Actuellement, ce système subit les tests de validation dans une configuration qui fait intervenir le satellite AfriStar et un réseau de trois émetteurs monofréquence à Erlangen (Allemagne). D'autres tests sont prévus à Pretoria (République sudafricaine).

La composante de diffusion par satellite du Système D_H utilise le même mode de transport sur canal de diffusion MRT que le Système D_S mais avec quelques améliorations permettant de renforcer la réception en visibilité directe dans des zones partiellement occultées par des arbres. Ces améliorations sont les suivantes: levée rapide de l'ambiguïté de phase en MDP-4 (toutes les 1,4375 ms), diversité temporelle direct/différé et combinaison de probabilité maximale des signaux de diversité temporelle direct/différé.

La composante de diffusion par voie hertzienne de Terre utilise la modulation MMP. Cette modulation est une technique de multiplexage MROF robuste en présence de trajets multiples et est une technique largement utilisée pour la réception mobile en tout lieu de signaux provenant d'émetteurs de Terre. Cette extension MMP vient améliorer les techniques couramment utilisées dans certains systèmes tel le Système numérique A qui est l'une des normes utilisées pour les services de radiodiffusion numérique hyperfréquence par voie hertzienne de Terre. La modulation MMP utilise plusieurs fréquences pour compenser les évanouissements sélectifs en fréquence et éviter les effets désastreux de l'étalement des temps de propagation. La modulation MMP est particulièrement adaptée à la réception mobile en zone urbaine et est de plus, une solution à haute efficacité spectrale lorsqu'on utilise des réseaux monofréquence. Une nouvelle architecture de récepteur pour le Système D_H vient améliorer et compléter celle du système D_S. En effet, une partie réception MMP permet de recevoir les signaux diffusés par voie hertzienne de Terre. Le récepteur utilise un syntoniseur à deux branches et démodule le même flux MRT provenant des composantes satellite et voie hertzienne de Terre. Pour l'extension MMP, de nouvelles spécifications ont été ajoutées à celles des couches service, transport et physique du Système D_S. Comme dans la partie

voie hertzienne de Terre, on module directement dans des porteuses MMP les symboles MRT en bande de base récupérés par les récepteurs au niveau de chaque station de Terre du réseau de réémetteurs de Terre, le mode de transport par voie hertzienne de Terre est appelé MRT-MMP.

Les sections qui suivent décrivent avec plus de détails les composantes satellite et retransmission par voie hertzienne de Terre du Système numérique D_H .

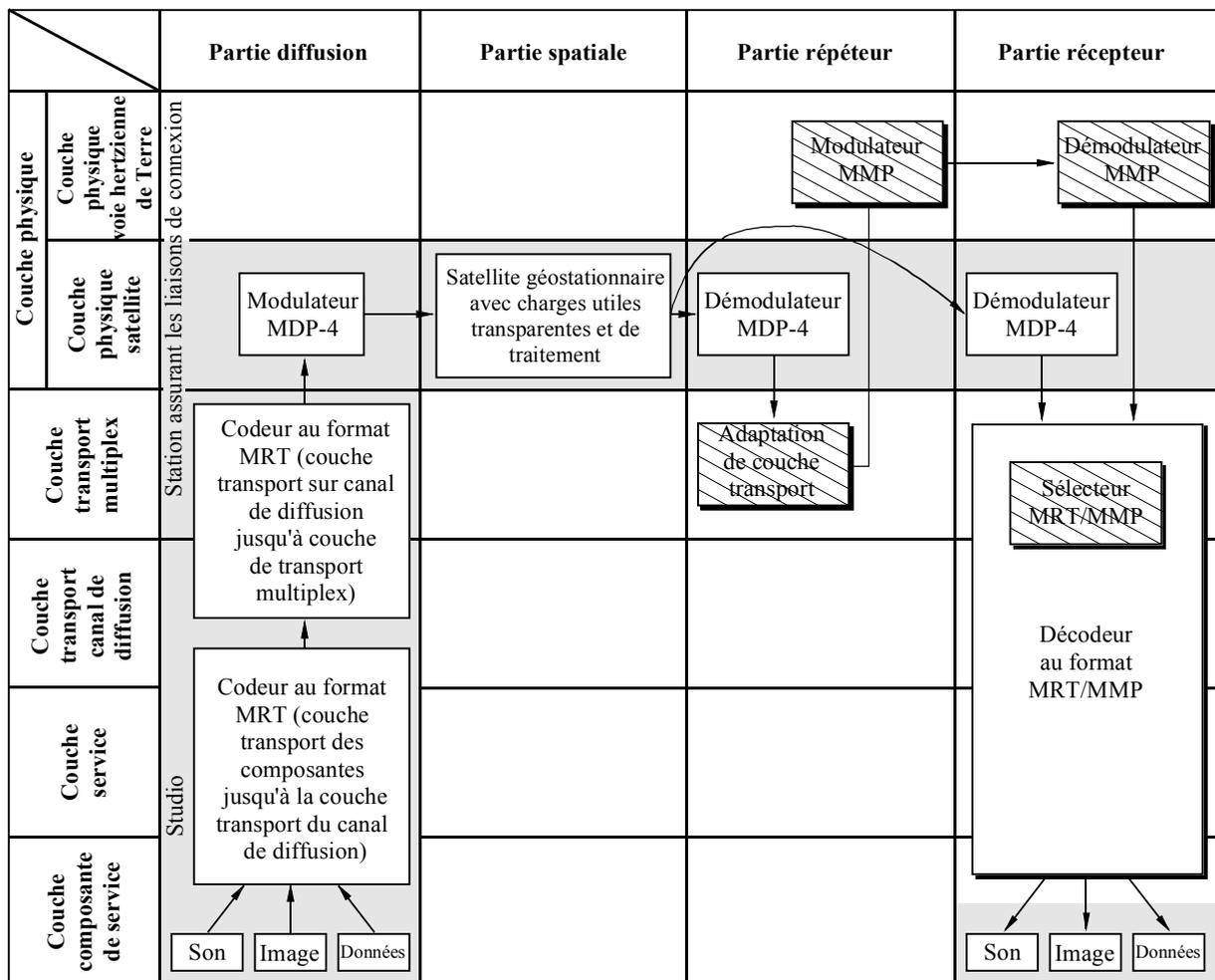
L'inclusion de la composante voie hertzienne de Terre permet au Système D_H de remplir non seulement le cahier des charges en matière de service de la Recommandation UIT-R BO.789, mais aussi celui de la Recommandation UIT-R BS.774 en ce qui concerne la radiodiffusion audionumérique par satellite et par système complémentaire de Terre.

2 Description générale du système

2.1 Structure en couches du Système numérique D_H

Le Système numérique D_H utilise la structure en couches illustrée à la Fig. 1. Elle se compose, pour les composantes MRT satellite et MRT-MMP voie hertzienne de Terre, des couches service, transport et physique.

FIGURE 1
Structure en couches du Système numérique D_H de WorldSpace et de son extension MMP



2.2 Partie diffusion par satellite

2.2.1 Couche service

La couche service comporte les codeurs de source audio, image et données. WorldSpace utilise une variante de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) MPEG 2 Couche III appelée MPEG 2.5 Couche III pour l'audio et l'ISO JPEG (Groupe mixte d'experts en photographie) pour l'image. Les données source sont organisées en trames de canal de diffusion de 432 ms de durée avec incréments de débit primaire de 16 kbit/s. Les incréments de débit primaire sont les modules constitutifs de l'architecture multiplex en bande de base. Un canal de diffusion peut prendre en charge 8 composantes de service au maximum, correspondant chacune à un débit compris entre 8 et 128 kbit/s, auxquelles le récepteur peut accéder individuellement. Chaque incrément de débit primaire peut prendre en charge deux composantes de service à 8 kbit/s. La somme des débits associés aux composantes de service ne peut dépasser 128 kbit/s. Un canal de diffusion achemine un mélange de services tels que musique, émissions en plusieurs langues, images associées à ces émissions et enfin des données sous la forme de paquets ou de flux continu. Chaque trame de diffusion achemine un en-tête de commande de service qui fournit au récepteur un préambule de synchronisation de trame de canal de diffusion ainsi que les informations nécessaires pour identifier le type d'information acheminé, le débit d'information, l'identité des divers services acheminés, les informations auxiliaires associées aux divers types de service, l'affichage de texte alphanumérique, la diffusion restreinte des services, la sélection des services auxquels on accède et l'autorisation d'accès aux services restreints et aux services à abonnement pour les utilisateurs.

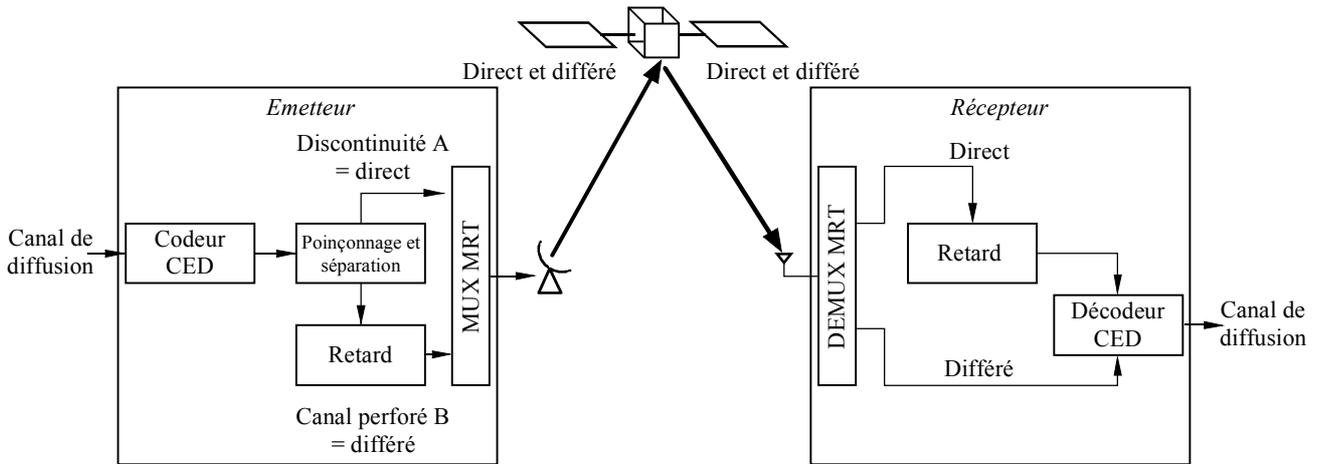
2.2.2 Couche transport

2.2.2.1 Cas de la diversité temporelle uniquement

Dans le cas de la diversité temporelle avec un seul satellite, la couche transport utilise l'architecture représentée à la Fig. 2. Cette couche accepte les bits du canal de diffusion de la couche service et les organise d'abord en symboles acheminant chacun deux bits. Un code de correction d'erreurs directe (CED) est ensuite appliqué aux symboles, ce code résulte de la concaténation d'un codeur de blocs de Reed-Solomon (RS) et d'un codeur à convolution. Le poinçonnage après ce codage crée deux canaux complémentaires associés et protégés contre les erreurs. Un de ces canaux poinçonnés est appelé canal direct. Il est entrelacé sur une trame de 432 ms pour compenser les effets des évanouissements à court terme. L'autre canal de diffusion poinçonné associé, appelé canal différé, est retardé d'environ 4,32 s. Ce canal est destiné à la réception par les actuels récepteurs WorldSpace et aussi par les nouveaux récepteurs mobiles. Pour des raisons de compatibilité avec les récepteurs WordSpace conventionnels ce canal n'est pas entrelacé. Ce retard de 4,32 s entre les canaux direct et différé assure, lors de la réception mobile des signaux provenant du satellite, une protection suffisamment longue pour compenser les effets d'occultation dus aux ponts, arbres et courts tunnels lorsque le véhicule circule à vitesse normale sur autoroute. Les deux canaux de diffusion poinçonnés associés sont ensuite multiplexés temporellement en un flux MRT avec les autres canaux de diffusion conventionnels pour récepteurs statiques et mobiles. Le système est conçu pour acheminer une combinaison de canaux de diffusion conventionnels pour les récepteurs satellite courants WorldSpace et de paires de canaux complémentaires de canaux de diffusion poinçonnés (un canal direct et un canal différé) pour les récepteurs mobiles.

FIGURE 2

Diversité temporelle avec un seul satellite



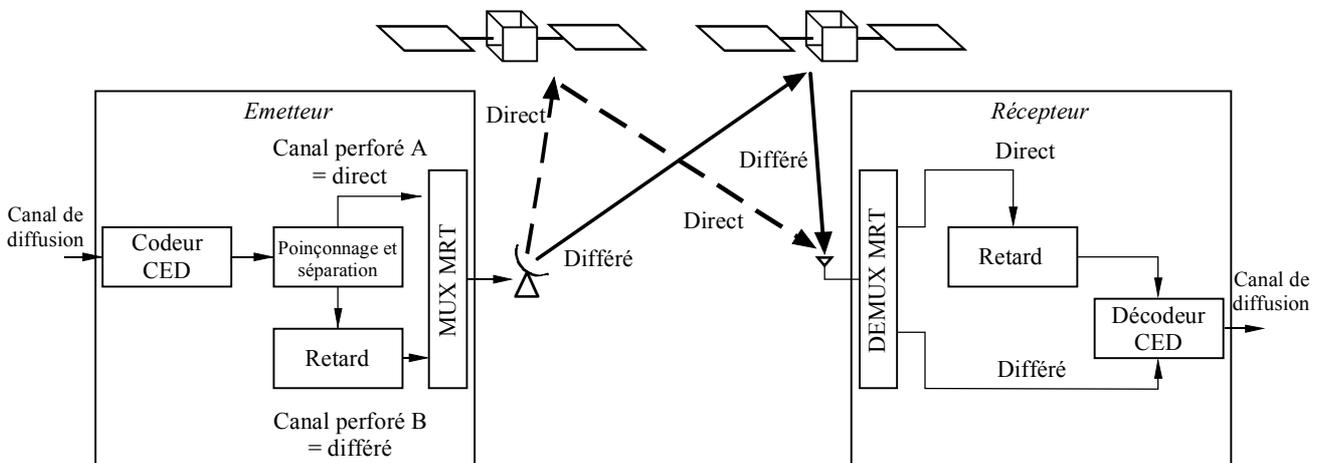
1547-02

2.2.2.2 Diversité temporelle et spatiale

L'architecture de la couche transport de radiodiffusion par satellite avec diversité temporelle et spatiale représentée à la Fig. 3 utilise deux satellites dont l'espacement angulaire sur l'orbite des satellites géostationnaires est compris entre 15 et 35°. La meilleure configuration est celle dans laquelle la zone de couverture désirée est centrée sur la bissectrice de l'angle formé avec les deux satellites. En ce qui concerne uniquement la diversité temporelle, elle fait appel à la même structure à canaux de diffusion directs et différés décrite ci-dessus. Toutefois, deux porteuses MRT sont utilisées, à raison d'une par satellite; chaque porteuse peut contenir une combinaison de canaux de diffusion directs et différés ou bien contenir l'une les canaux directs et l'autre les canaux différés. Les canaux non destinés à la réception mobile peuvent être mélangés à des canaux destinés à la réception mobile. Cela est possible car à chaque canal de diffusion est associé un identificateur de canal de diffusion spécifique qui est utilisé par le récepteur pour sélectionner des canaux de diffusion spécifique parmi les deux flux MRT reçus.

FIGURE 3

Diversité spatiale et temporelle avec deux satellites



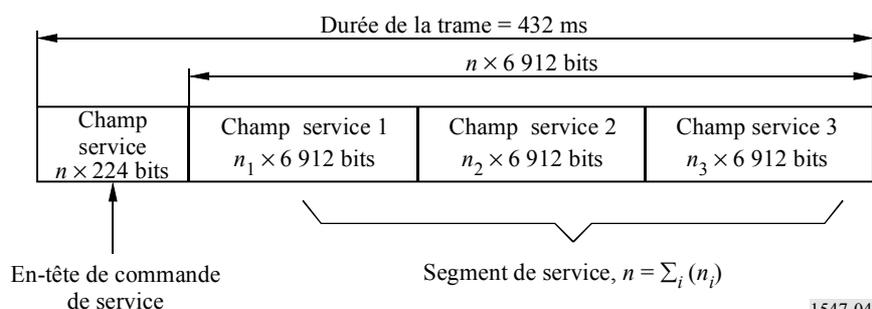
1547-03

2.2.2.3 Trame de canal de diffusion et CED

La Fig. 4 représente une trame de canal de diffusion contenant trois champs service. Chaque champ service achemine des données à un débit qui est un multiple entier n_i de 16 kbit/s qui est l'incrément à débit primaire. Ainsi dans chaque trame de 432 ms, le champ service i qui achemine un débit de $n_i \times 16$ kbit/s occupe $n_i \times 6912$ bits. Le débit binaire associé à un champ service est compris entre 16 et 128 kbit/s. Ainsi, le débit binaire d'un canal de radiodiffusion est compris entre 16 et 128 kbit/s inclus. Un canal de diffusion peut acheminer au maximum 8 composantes de service dont les débits sont compris entre 8 et 128 kbit/s. Il convient de noter que les composantes de service sont des multiples de 8 kbit/s. Par conséquent, si une composante de service est un multiple impair de 8 kbit/s, 8 kbit/s fictifs lui seront ajoutés pour faire en sorte d'obtenir un multiple entier de 16 kbit/s pour les champs service dans un canal de diffusion. Le nombre total de champs service dans un canal de diffusion est égal à $n = \sum_i (n_i)$. En vue de l'acheminement, on associe à chaque incrément de débit primaire de 6912 bits du champ service d'un canal de diffusion un en-tête de commande de service de 224 bits ce qui porte à $n \times 7136$ le nombre de bits de chaque canal de diffusion. Un code de CED est ensuite appliqué à la trame de canal de diffusion en utilisant un codeur de bloc RS 223,255 ce qui aboutit à un nombre de bits par trame de canal de diffusion égal à $n \times 8160$. Pour la réception mobile, le flux de sortie du codeur de RS est ensuite appliqué à un codeur convolutionnel R 1/4 dont le flux de sortie est à son tour scindé en deux canaux de diffusion à codage convolutionnel R 1/2, l'un étant destiné à être le canal de diffusion direct et l'autre le canal de diffusion différé. A ce moment, sont assignés $n \times 16320$ bits aux n champs service de chaque canal de diffusion. Les n champs service sont ensuite démultiplexés en n canaux à débit primaire (PRC, *prime rate channel*). L'adjonction d'un préambule de 96 bits porte à 16416 le nombre total de bits par canal PRC.

FIGURE 4

Trame de canal de radiodiffusion



2.2.2.4 Voie hertzienne de Terre

Lorsque les studios sont éloignés des stations terriennes assurant les liaisons de connexion, les canaux PRC d'un canal de diffusion sont acheminés sur des liaisons téléphoniques numériques terrestres. On utilise en général des multiplex de téléphonie numérique conformes à la Recommandation UIT-T G.736. Si le studio se trouve placé à côté de la station terrienne, les signaux sont acheminés sur un câble local. Ces signaux sont ceux produits à la sortie du codeur de blocs RS. A ce stade, les signaux sont dits acheminés sous forme protégée. Dans les stations terriennes assurant les liaisons de connexion, les canaux PRC des canaux de diffusion protégés d'origines diverses sont calés de manière synchrone au moyen d'un tampon plésiochrone pour pouvoir par la suite les acheminer sur la liaison montante. Ensuite, les canaux PRC des canaux de

diffusion protégés subissent un codage convolutionnel R 1/4 et sont scindés par poinçonnage complémentaire en deux canaux de diffusion à codage convolutionnel R 1/2 à savoir un canal de diffusion direct et un canal de diffusion différé. Ces deux canaux PRC des canaux de diffusion sont ensuite acheminés par liaison montante vers la charge utile du satellite. Il y a alors deux possibilités: soit le signal passe par une charge utile de traitement, soit il passe par une charge utile transparente.

2.2.2.5 Liaison montante vers le satellite

En ce qui concerne les canaux PRC des canaux de diffusion destinés à la charge utile de traitement, les signaux sont acheminés sur la liaison montante sous un format d'accès multiple à répartition de fréquence (AMRF). Chaque signal AMRF comprend un flux numérique MDP-4 à 38 kbit/s opérant sur des porteuses espacées de 38 kHz et formant un ensemble de 48 porteuses à bandes contiguës. Ces 48 porteuses occupent ainsi une largeur de bande de 1824 kHz. Six de ces ensembles sont acheminés sur des liaisons montantes à des fréquences comprises entre 7025 et 7075 MHz. A bord du satellite, 96 canaux PRC des canaux de diffusion codés en CED sont démodulés en symboles et calés de manière synchrone. Les canaux PRC des canaux de diffusion peuvent être acheminés vers 1, 2 ou 3 multiplexeurs MRT. On applique aux symboles acheminés un multiplexage MRT en 2622 ensembles de 96 symboles chacun dans une période de trame de 138 ms. Au début de chaque trame MRT est placé un préambule de trame principale (MFP, *master frame preamble*) de 96 symboles et d'un mot de contrôle d'intervalle de trame (TSCW, *time slot control word*) de 2112 symboles ce qui porte à 253920 le nombre total de symboles contenus dans une trame MRT et conduit à un débit de 1840000 symbole/s. Ainsi, chaque porteuse MRT requiert une largeur de bande de 2,3 MHz. En vue d'assurer une meilleure fiabilité de la transmission, une séquence pseudo-aléatoire de symbole est ajoutée modulo 2 aux symboles d'embrouillage du flux MRT. Dans la pratique, ces flux MRT peuvent prendre en charge 24 canaux de diffusion de 64 kbit/s dans le cas d'un service audio de qualité MF utilisant un codeur source MPEG 2.5 Couche III. Trois flux MRT de charge utile de traitement, modulés en MDP-4 sur trois porteuses, sont émis en bande L sur des fréquences différentes comprises entre 1467 et 1492 MHz. Dans chacun des trois faisceaux de liaison descendante, la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) de chaque porteuse est de 53,5 dBW au centre du faisceau. L'ouverture à -3 dB des faisceaux est de 6° environ.

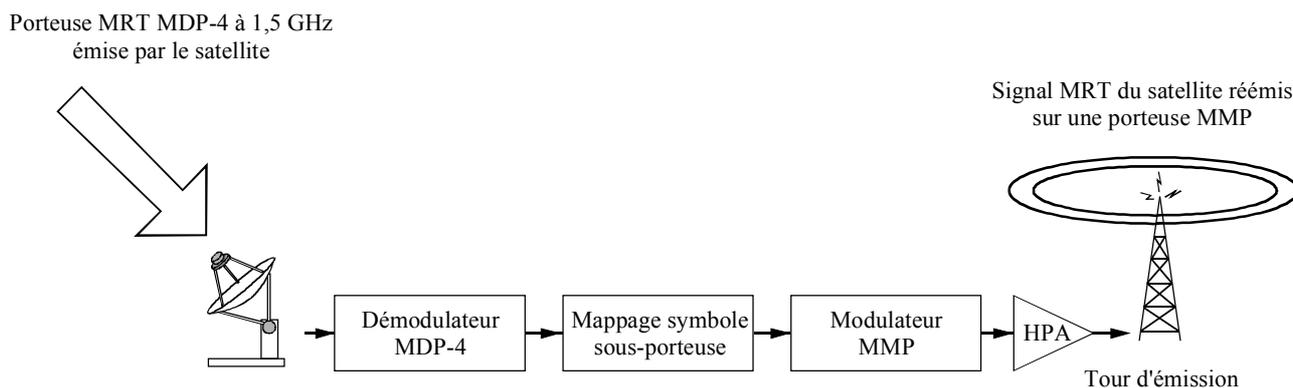
En ce qui concerne la charge utile transparente, au niveau de la station terrienne assurant les liaisons montantes, les signaux des canaux PRC des canaux de diffusion ayant subi un codage convolutionnel R 1/2 sont multiplexés en une porteuse MRT. On applique à un agrégat de 96 symboles de canaux PRC convertis en un format de 2 bits, un multiplexage temporel sur 2622 symboles. Chaque groupe contient un symbole des 96 canaux PRC acheminés dans un intervalle de trame MRT de 0,138 s. On ajoute un MFP de 96 symboles et un canal de contrôle d'intervalle de trame de 2112 symboles ce qui porte à 253920 le nombre total de symboles contenus dans une trame MRT et conduit à un débit de 1,84 Mbits. Ainsi, chaque porteuse MRT utilisant la modulation MDP-4 requiert une largeur de bande de 2,3 MHz. Les 96 canaux PRC transportés dans le flux MRT acheminent le trafic d'une combinaison de canaux de diffusion pour les services mobiles et statiques.

Pour les canaux de diffusion destinés uniquement à la réception statique (en visibilité directe), un codeur convolutionnel R 1/2 est utilisé après le codeur de RS. Ce codeur convolutionnel et le codeur convolutionnel R 1/4 poinçonné R 1/2 utilisé pour le canal mobile différé sont compatibles avec le même codeur de Viterbi utilisé à la réception. A tous les autres points de vue, le traitement des canaux de diffusion et le multiplexage MRT pour les récepteurs mobiles ou statiques sont les mêmes.

2.3 Mise en œuvre de la modulation MMP

La conversion MRT-MMP du flux de symboles MRT du satellite pour obtenir un signal MRT-MMP pour les réémetteurs de Terre est illustrée à la Fig. 5. Pour les systèmes à diversité temporelle uniquement, le signal MRT-MMP est réémis par de nombreuses stations de Terre appartenant à un réseau monofréquence (SFN, *single frequency network*).

FIGURE 5
Conversion MRT-MMP et réémission par voie hertzienne de Terre



HPA: amplificateur de puissance (*high power amplifier*)

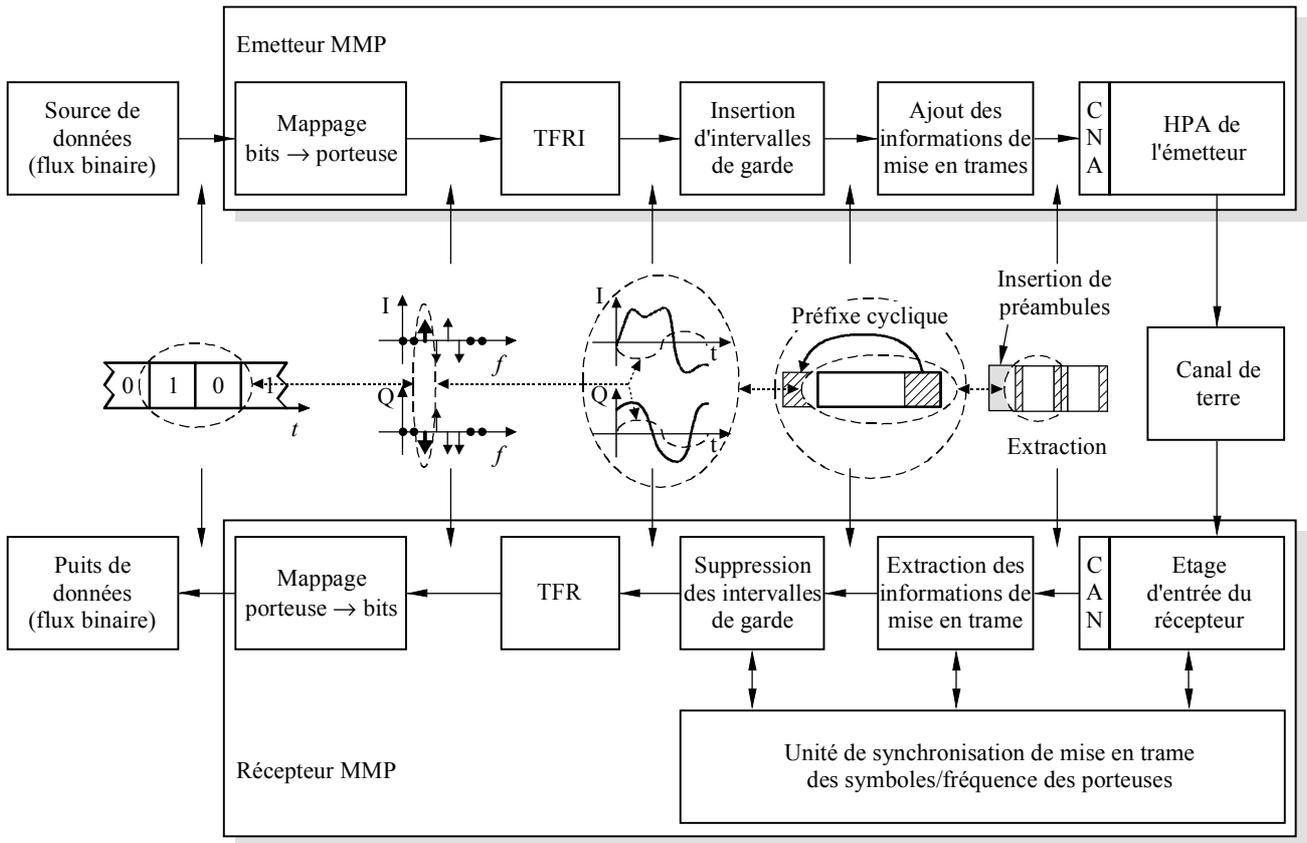
1547-05

Dans une station terrienne équipée d'une antenne parabolique à alimentation décalée de 1,2 m de diamètre connectée à un récepteur WorldSpace, la porteuse MRT MDP-4 provenant du satellite est démodulée en un signal de symboles MRT en bande de base. Ce signal est ensuite converti en un signal MRT-MMP selon les étapes représentées à la Fig. 6. Les symboles MRT sont mappés en symboles de sous-porteuses MMP par construction d'un signal multiporteuses dans le domaine fréquences. Pour cela, les symboles MRT sont d'abord mis sous un format lignes-colonnes, chaque colonne correspondant à un symbole MMP. Les éléments ligne des symboles MRT correspondent aux sous-porteuses MMP individuelles d'un symbole MMP. Pour créer le signal dans le domaine temps pour chaque symbole, une transformée de Fourier rapide inverse (TFRI) est appliquée aux éléments ligne de chaque colonne afin de générer plusieurs signaux MDP-4 différentiel (MDP-4D), à raison de un par symbole. Pour réduire les brouillages intersymboles (BIS), on insère un intervalle de garde entre les symboles MMP par compression temporelle et on répète certaines parties de la séquence de sortie de la transformée TFRI.

Du point de vue temporel une trame MMP comporte une séquence de symboles MMP comme indiqué à la Fig. 7. Chaque trame MMP commence par une séquence de synchronisation à modulation d'amplitude (AMSS, *amplitude modulation synchronisation sequence*) qui est utilisée par le récepteur pour la resynchronisation de trame MMP et la récupération de la phase et de la fréquence des porteuses. Chaque trame MMP comporte 23 symboles MMP. Chaque symbole MMP achemine 552 porteuses MDP-4D à raison d'une pour chaque symbole MRT à 2 bits plus une porteuse qui sert de référence de phase pour la modulation MDP-4D. Chaque symbole MMP se termine par un intervalle de garde dans lequel un segment temporel de durée égale au temps de garde, mais échantillonné au début du symbole MMP, est répété. Les trames MMP sont elles-mêmes formatées en trames de 138 ms c'est-à-dire de même longueur que la trame MRT. Au niveau du récepteur, la séquence AMSS assure la synchronisation des trames MRT qui empruntent les trajets par satellite et par voie hertzienne de Terre.

FIGURE 6

Conversion MRT-MMP



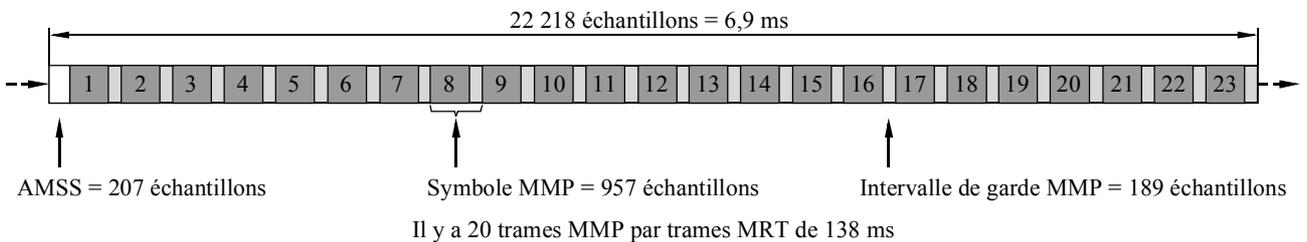
CAN: convertisseur analogique-numérique
 CNA: convertisseur numérique-analogique (*digital analogue converter*)
 TFR: transformée de Fourier rapide

1547-06

FIGURE 7

Structure temporelle d'une trame MMP

Une trame MMP contient 23 symboles MMP



1547-07

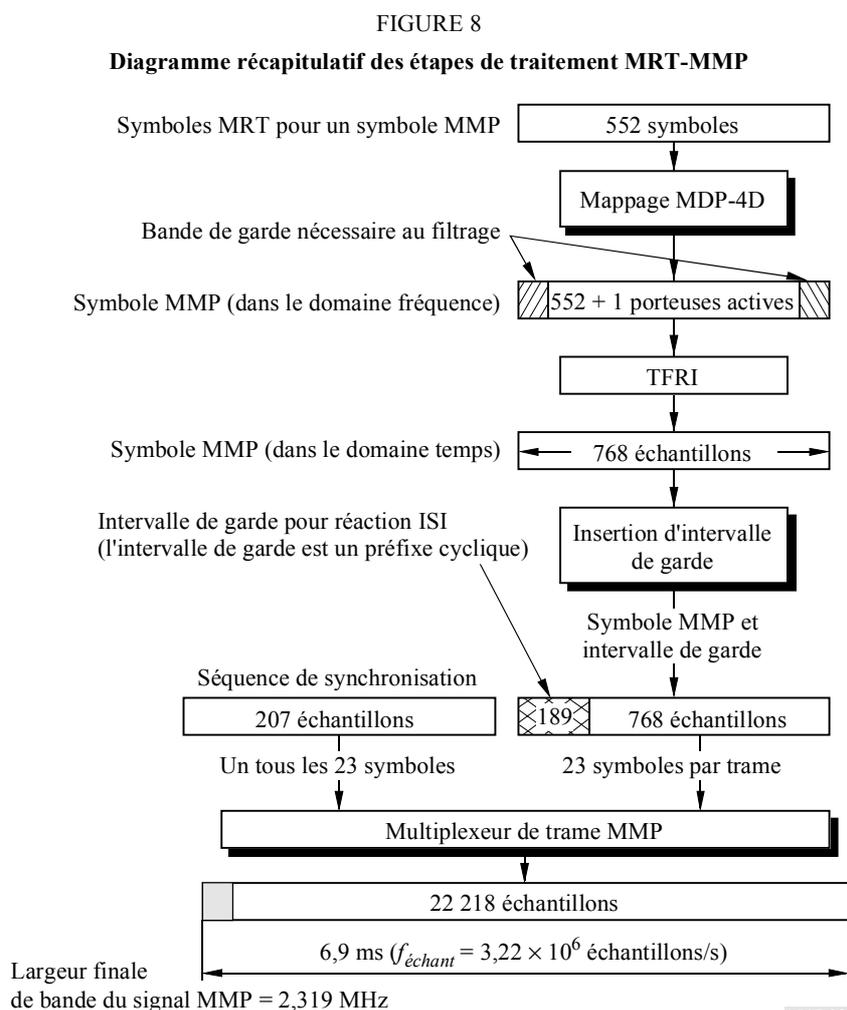
2.4 Caractéristiques du signal MMP

Les caractéristiques du signal MMP utilisées pour la réception mobile dans la bande 1 467-1 492 MHz sont données dans le Tableau 2.

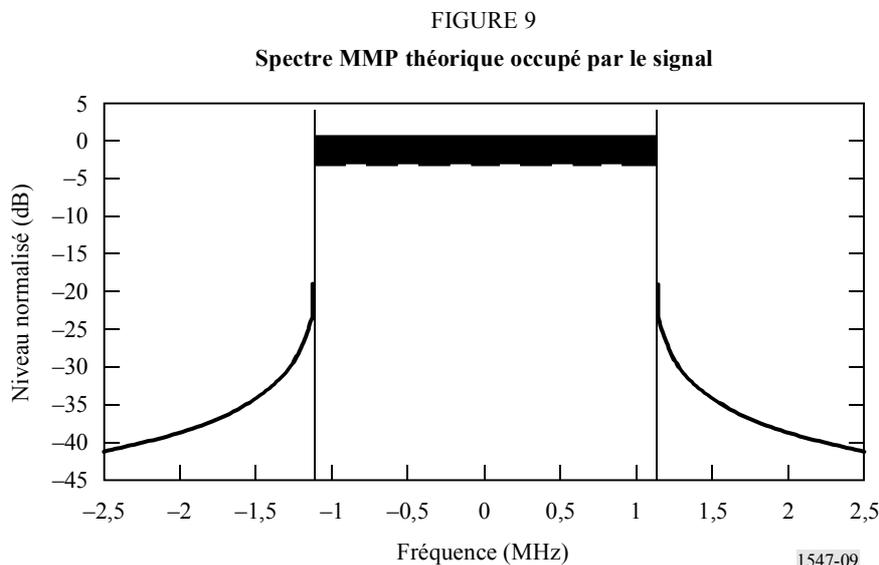
TABLEAU 2
Caractéristiques du signal MMP

Paramètre	Valeur
Longueur TFR	768
Nombre de porteuses MDP-4D actives	552
Porteuse de référence MDP-4D	1 par symbole MMP
Mappage symbole MRT → Symbole MMP	552 symboles MRT de 2 bits par symbole MMP utilisant la MDP-4D
Nombre de symboles MMP par trame MMP	23
Durée d'une trame de symboles MMP	6,9 ms
Durée d'un symbole	297,21 μs
Intervalle de garde	58,70 μs inclus dans la durée d'un symbole
Préambule de synchronisation AMSS (au début de chaque trame MMP)	64,29 μs
Structure de la trame	20 symboles MMP (138 ms)
Fréquence d'échantillonnage	3,22 MHz
Largeur de bande	2,32 MHz

De plus amples détails concernant la construction du signal MMP sont donnés à la Fig. 8.



Le spectre théoriquement occupé par le signal MMP est représenté à la Fig. 9. A noter, la décroissance hors bande très rapide qui est caractéristique du processus de modulation MMP et qui participe à la réduction des brouillages dans les canaux adjacents.



2.5 Retard de diversité temporelle entre les canaux de diffusion direct et différé

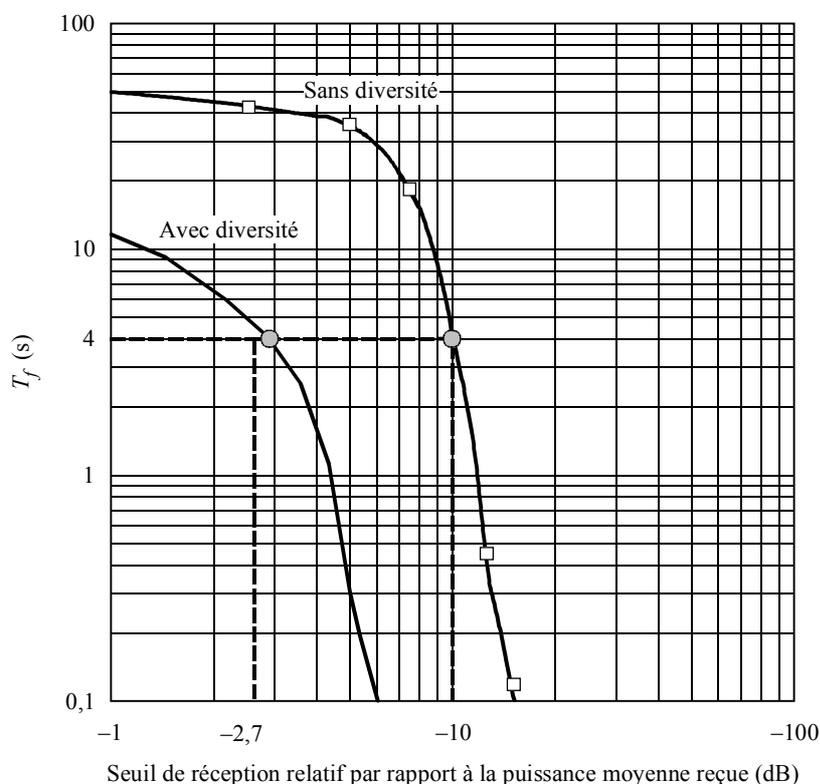
Dans le cas de la diversité temporelle seule, les canaux de diffusion direct et différé peuvent être transmis comme deux canaux de diffusion différents sur une porteuse MRT depuis un satellite et, dans le cas de la diversité temporelle et spatiale avec deux satellites espacés, ces canaux peuvent être transmis sur deux porteuses MRT, à raison d'une par satellite.

En ce qui concerne la valeur du retard nécessaire à une bonne réception en diversité temporelle, on a utilisé des données expérimentales provenant d'études effectuées en Europe par l'Etablissement de recherche et d'essais aérospatiaux, Allemagne (DFVLR, Deutsche Forschung und versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt) (qui a changé de nom et est devenu la DLR) en 1985 en relation avec le système PROSAT/PRODAT et rapportées dans les actes de la Septième Conférence internationale sur les télécommunications numériques par satellite (ICDSC-7, *Seventh International Conference on Digital Satellite Communications*) (Munich, Allemagne, 12-16 mai 1986, pages 537-541) qui donnent certaines indications. Ces expériences ont été effectuées avec le satellite MARECS-A positionné à 15° de longitude Ouest. Les données ont été recueillies sur un véhicule circulant à 60 km/h sur des routes rurales. Les résultats intéressants dans notre cas se trouvent consignés à la Fig. 3b de la référence précitée dont la Fig. 10 présente deux courbes.

Ces deux courbes concernent la réception mobile depuis un véhicule circulant à 60 km/h sur une route, l'une avec diversité temporelle, l'autre sans. Elles montrent la relation qui existe entre la durée des évanouissements dépassée pendant 1% du temps exprimé en secondes (axe des ordonnées) et le seuil de réception relatif par rapport à la puissance moyenne reçue exprimée en dB (axe des abscisses). La courbe sans diversité montre que pour un seuil de réception de -10 dB, la durée des évanouissements dépasse 4 s pendant moins de 1% du temps. Avec diversité, ce seuil est ramené à -2,7 dB. Inversement, les évanouissements ayant une durée de 4 s ou moins se produisent pendant 99% du temps pour un seuil de réception de -10 dB sans diversité temporelle et de -2,7 dB avec diversité temporelle. Le système décrit ici présentera un retard de 4,28 s.

FIGURE 10

Durée des évanouissements $\geq T_f$ en fonction du rapport seuil de réception/puissance moyenne reçue (dB) pour des évanouissements se produisant pendant 1% du temps en réception mobile sur une route, avec et sans diversité temporelle



1547-10

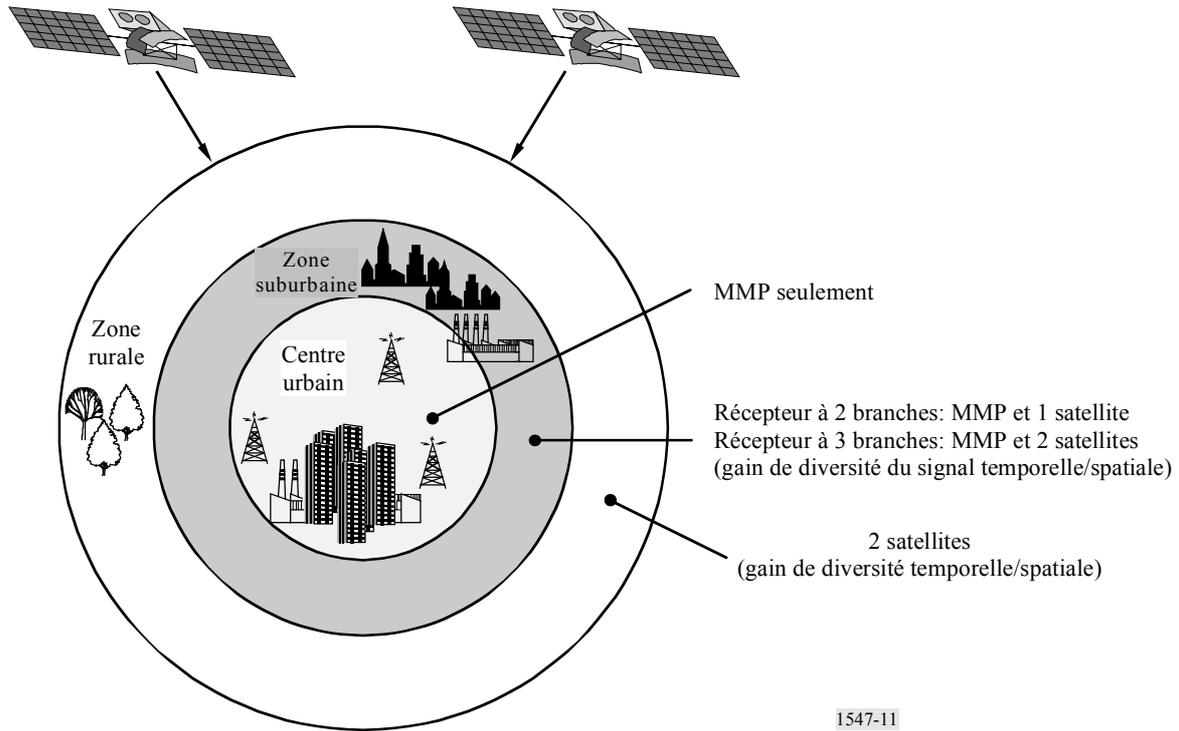
2.6 Scénarios de réception de signaux hybrides satellite/voie hertzienne de Terre

Le scénario général de réception mobile d'un mélange de signaux provenant du satellite en visibilité directe avec ceux des réémetteurs de Terre est illustré à la Fig. 11. Dans ce scénario, on distingue trois régions qui vont faire l'objet de l'analyse ci-dessous.

2.6.1 Région externe – Région dans laquelle la réception des signaux en provenance des satellites prédomine

La région la plus externe, représentée par une couronne située autour d'une ville importante à la Fig. 11, comprend essentiellement des zones rurales dégagées que traversent des autoroutes reliant des villes importantes et des routes rurales qui relient de petites villes. Sur la plupart des autoroutes et des routes rurales, la réception en visibilité directe des signaux provenant des satellites sera possible sur un véhicule en déplacement pendant une grande partie du temps. Toutefois, le véhicule traversera de petites zones dans lesquelles des constructions ou des arbres perturberont la réception en visibilité directe des signaux en provenance du ou des satellites, même en cas de mise en œuvre d'une diversité temporelle ou spatiale. Ainsi, dans de nombreuses régions rurales de ce type, on installera des réémetteurs complémentaires de Terre qui émettront le signal MRT-MMP, en particulier lorsque le volume de service le justifie. Il s'agira souvent d'émetteurs délivrant une p.i.r.e. comprise entre 10 et 20 dBW, utilisés principalement dans des régions où la disponibilité du service avec les signaux provenant du ou des satellites sera insuffisante.

FIGURE 11
Scénarios de réception



2.6.2 Région intermédiaire – Région dans laquelle il y a une combinaison de signaux diffusés par satellite et par voie hertzienne de Terre

Il s'agit d'une région de transition entre des zones urbaines denses et des zones suburbaines ou rurales. Elle est constituée d'îlots d'immeubles d'habitation élevés et de zones d'activité séparées par des habitations de faible hauteur et d'établissements ruraux. Dans ces régions, le signal émis par le ou les satellites ne suffit généralement pas à assurer une couverture totale. Il faut recourir plus largement à des réémetteurs de Terre dans ces régions qu'en zone rurale. En fonction de la topologie, les réémetteurs de Terre diffusant un signal MRT-MMP sous des puissances comprises entre 10 et 20 dBW seront installés afin d'obtenir la disponibilité du service requise.

2.6.3 Région intérieure – Région dans laquelle on utilise principalement le signal diffusé par voie hertzienne de Terre

Les réémetteurs de Terre sont les seuls à assurer la couverture dans les centres urbains. On utilise des réseaux de réémetteurs monofréquence pour diffuser le signal MRT-MMP sous une puissance d'au moins 30 dBW afin d'assurer la couverture complète d'un centre urbain lorsque le rayon de couverture d'un réémetteur n'est pas suffisant.

2.6.4 Véhicule passant à travers les régions

Le récepteur d'un véhicule se dirigeant vers un centre urbain en franchissant les différentes régions du scénario de la Fig. 11 captera des signaux d'intensité différente constitués de combinaisons de signaux provenant de satellite et de ceux provenant de réémetteurs de Terre.

Dans les zones rurales dégagées de la couronne externe, le véhicule se trouve à grande distance, même au-dessus de l'horizon radioélectrique, du réémetteur urbain MRT-MMP le plus proche, le signal satellite sera le signal dominant. Dans ce cas, la ou les sections satellite du récepteur démoduleront la ou les porteuses, extrairont les canaux de diffusion directs et différés sur lesquels le récepteur est syntonisé et les combineront par décodage CED à probabilité maximale pour enfin extraire les bits des canaux de diffusion.

Lorsque le véhicule passe dans la région intermédiaire, le signal MRT-MMP devient plus intense. Le récepteur, au moyen de ses décodeurs CED, analyse et compare la qualité des signaux satellite et voie hertzienne de Terre en termes de taux d'erreur binaire (TEB_{ter} et TEB_{sat}). La réception se fait sur le signal satellite tant que l'on a $TEB_{sat} = \Delta \times TEB_{ter}$, Δ étant supérieur à 1. Lorsque cette condition n'est plus vérifiée la réception passe sur le signal voie hertzienne de Terre. Le passage inverse se fera uniquement si le TEB décroît de manière telle que $TEB_{ter} = \Delta \times TEB_{sat}$. Si le TEB_{ter} et le TEB_{sat} sont trop faibles pour assurer une réception satisfaisante, la réception sera interrompue. Les valeurs de Δ peuvent atteindre 10.

Un véhicule transitant dans la région intermédiaire et aussi dans la région extérieure passe par des villes, des montagnes et des forêts dans lesquelles le satellite ne sera par en visibilité directe. Des réémetteurs MRT-MMP de Terre seront généralement installés pour offrir une couverture interrompue aux voyageurs et aux résidents. Ainsi, un récepteur fonctionne alternativement en mode satellite et en mode voie hertzienne de Terre étant donné que le récepteur analyse la qualité du signal et déclenche la commutation en termes de TEB . Il est important que la commutation ne nuise pas à la continuité du service. Si pour les services audio, des interruptions imperceptibles peuvent être tolérées, en revanche, pour les données, ces interruptions peuvent provoquer une discontinuité du service. Des mesures visent à éviter de telles interruptions.

Lorsque le véhicule pénètre dans la région centrale, la réception se fait quasi exclusivement sur les signaux voie hertzienne de Terre, pour la simple raison que l'on a délibérément prévu d'inclure un grand nombre de réémetteurs de Terre, dans le système, afin d'obtenir une couverture intégrale. De plus, lorsque le récepteur est verrouillé sur le signal voie hertzienne de Terre, le dispositif comparateur de qualité du signal, décrit ci-dessus, est conçu pour empêcher le retour de la réception sur le signal satellite lorsque le signal satellite est meilleur depuis un certain temps. C'est la valeur de Δ qui régit cet aspect de la commutation.

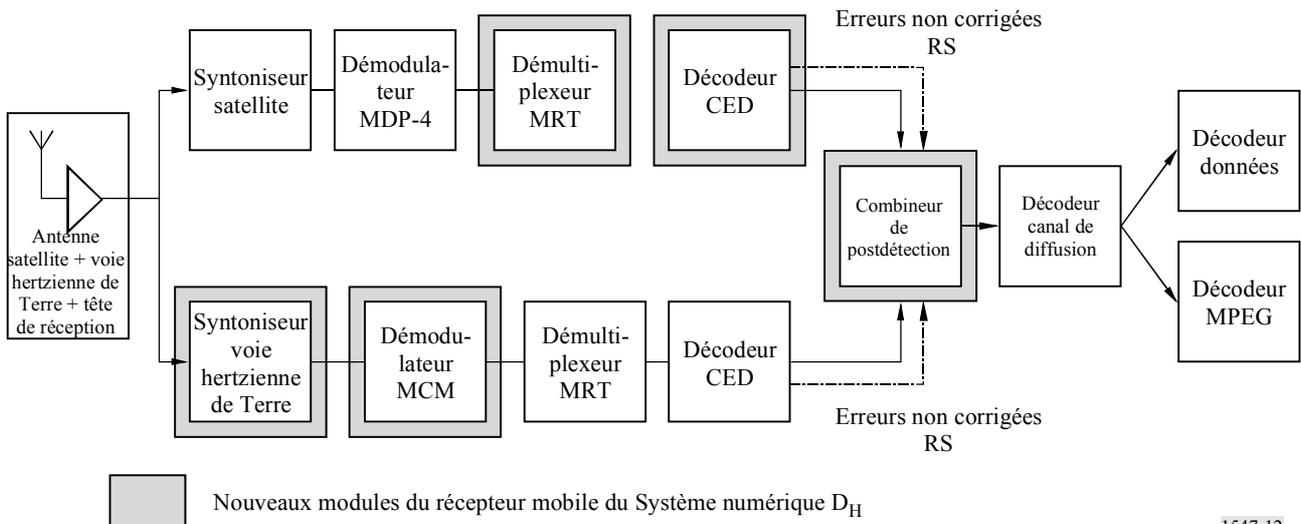
2.7 Architecture du récepteur

Deux architectures de récepteur sont décrites dans ce qui suit: l'une avec diversité temporelle seulement, l'autre avec diversité spatiale et temporelle.

Le diagramme fonctionnel du récepteur à diversité temporelle seulement est présenté à la Fig. 12. Il utilise une antenne de réception hybride satellite voie hertzienne de Terre reliée à deux branches du récepteur, l'une pour le satellite et l'autre pour la voie hertzienne de Terre. La branche satellite comporte un syntoniseur qui sélectionne la porteuse satellite MRT désirée et un démodulateur MDP-4 qui permet d'extraire le flux de symbole MRT, et un démultiplexeur MRT qui sélectionne la paire complémentaire de canaux direct et différé. Un décodeur à CED utilisant un décodeur de Viterbi en treillis et à probabilité maximale combine de manière synchrone le signal direct retardé et le signal différé. Le retard appliqué au signal direct est mis en œuvre dans le démultiplexeur MRT. La synchronisation précise nécessaire pour assurer la combinaison des signaux est effectuée par alignement des préambules des trames des canaux de diffusion direct et différé. Le combineur de postdéttection est un commutateur qui sélectionne le canal de diffusion de la branche satellite ou voie hertzienne de Terre du récepteur sur la base de la mesure de qualité précédemment décrite. La branche MMP du récepteur fonctionne de manière simultanée et indépendante de celle du satellite. Elle se syntonise sur la porteuse MMP voulue et la démodule en un flux de symboles MRT. Puis, cette branche fonctionne précisément de la même manière que la branche satellite. Le combineur de postdéttection connecte la branche satellite ou la branche voie hertzienne de Terre à la sortie en fonction de leur qualité relative conformément à sa déclaration logique. Le canal de diffusion sélectionné est ensuite démultiplexé en ses composantes de service.

FIGURE 12

Récepteur à diversité temporelle seulement

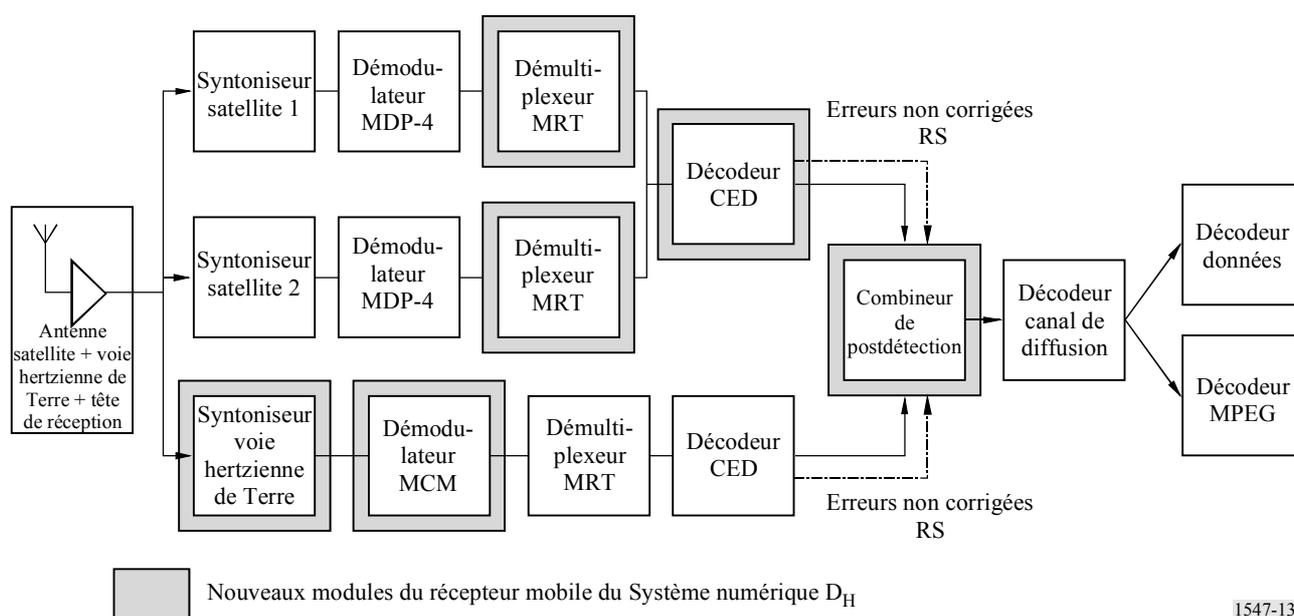


1547-12

Le récepteur à diversité spatiale et temporelle est représenté à la Fig. 13. Il comporte trois branches: deux pour la réception par satellite et une pour la réception par voie hertzienne de Terre. Ces trois branches utilisent une antenne et un amplificateur à faible bruit communs. Un satellite achemine les signaux des canaux de diffusion directs et l'autre ceux des canaux de diffusion différés. La troisième branche reçoit le signal voie hertzienne de Terre qui comporte une porteuse MRT-MMP acheminant le signal MRT. Ce signal MRT est celui qui achemine les canaux de diffusion directs et qui est directement reçu par le réémetteur en provenance du satellite. Chaque branche satellite comporte un syntoniseur qui sélectionne la porteuse MRT désirée, un démodulateur MDP-4 qui permet d'extraire le flux de symboles MRT et enfin un démultiplexeur MRT. Une branche délivre le canal de diffusion direct et l'autre le canal de diffusion différé associé à un décodeur qui utilise un décodeur de Viterbi en treillis avec CED et probabilité maximale et combine de manière synchrone le signal direct retardé et le signal différé. Le retard appliqué au signal direct est mis en œuvre dans le démultiplexeur MRT. La synchronisation précise nécessaire pour assurer la combinaison des signaux est effectuée par alignement des préambules des trames des canaux de diffusion direct et différé. La branche MMP du récepteur fonctionne de manière simultanée et indépendante de la branche satellite. Elle se syntonise sur la porteuse MMP voulue et la démodule en un flux de symboles MRT, démultiplexe ce flux pour en extraire le canal de diffusion direct voulu et décode ce canal avec CED au moyen d'un décodeur de Viterbi. On applique un retard à ce canal de diffusion direct pour le synchroniser avec le canal de diffusion extrait de la branche satellite. Ce retard qui résulte de la conversion du signal MRT en un signal MRT-MMP sera introduit au niveau des réémetteurs de Terre. La synchronisation précise nécessaire pour assurer la combinaison des signaux est effectuée par alignement des préambules des trames des canaux de diffusion direct et différé. Le combineur de postdetection connecte la branche satellite ou la branche voie hertzienne de Terre à la sortie en fonction de leur qualité relative conformément à sa déclaration logique. Le canal de diffusion sélectionné est ensuite démultiplexé en ses composantes de service.

FIGURE 13

Récepteur à diversité temporelle et spatiale



ANNEXE 3

Système numérique E

1 Introduction

Le Système numérique E est conçu pour fournir des services audio de qualité élevée et de données multimédias utilisant des satellites et des répéteurs complémentaires de Terre fonctionnant sur le même canal pour des récepteurs fixes, portatifs ou de véhicule. Il a été conçu pour optimiser la diffusion par satellite et par répéteur de Terre fonctionnant sur le même canal dans la bande 2 630-2 655 MHz. Pour cela, il utilise un multiplexage MRC fondé sur la modulation MDP-4 avec concaténation d'un code RS et d'un codage convolutionnel pour la correction d'erreur. Le récepteur du Système numérique E utilise une technologie hyperfréquence ultra-récente et des circuits intégrés numériques à grande échelle, avec l'objectif premier de parvenir à une haute qualité et à une production à faible coût.

Les principales caractéristiques de ce système sont les suivantes:

- Ce système est le premier système de radiodiffusion sonore numérique testé en conditions réelles dans la bande 2 630-2 655 MHz, qui est attribuée au SRS (sonore) dans certains pays.
- L'architecture des systèmes MPEG-2 est adoptée, le but étant d'assurer un multiplexage souple de nombreux services de radiodiffusion et de garantir l'interopérabilité avec d'autres services de radiodiffusion numérique. Il s'agit du premier système SRS (sonore) à adopter les systèmes MPEG-2.
- Le codage AAC MPEG-2 est adopté pour le codage de la source audio. Il donne les meilleures performances de compression audio pour les services de radiodiffusion audio de qualité élevée.

- Ce système est principalement conçu pour les récepteurs de véhicule. La stabilité de réception a été confirmée dans des véhicules circulant à grande vitesse au cours d'essais corroborants.
- Le signal provenant du satellite peut être reçu par une antenne omnidirectionnelle à un seul élément dans le plan horizontal et une diversité de réception avec deux antennes est utilisée pour les véhicules.

2 Vue d'ensemble du système

La Fig. 14 donne une vue d'ensemble du système. Ce système du SRS (sonore) comprend une station terrienne de liaison de connexion, un satellite de radiodiffusion, deux types de réémetteurs complémentaires de Terre et des récepteurs portatifs, fixes ou de véhicule.

Le signal est d'abord transmis depuis une station terrienne de liaison de connexion à un satellite de radiodiffusion au moyen d'une liaison montante du service fixe par satellite (SFS) (dans la bande des 14 GHz par exemple). Le signal est converti de la bande des 14 GHz à la bande des 2,6 GHz dans le satellite. Le signal dans la bande des 2,6 GHz est amplifié par un répéteur de satellite jusqu'au niveau souhaité et ce signal est diffusé dans la zone de service grâce à une antenne d'émission de grandes dimensions équipant le satellite.

Les principaux programmes diffusés par ce système sont d'abord des programmes sonores de qualité élevée puis ultérieurement des programmes multimédias, y compris la diffusion de données.

Les utilisateurs de ce service peuvent recevoir le signal diffusé par le satellite au moyen de petites antennes avec une faible directivité. Pour pouvoir générer une p.i.r.e. suffisante pour les récepteurs de véhicule, la station spatiale devra être dotée d'une grande antenne d'émission et de répéteurs à forte puissance.

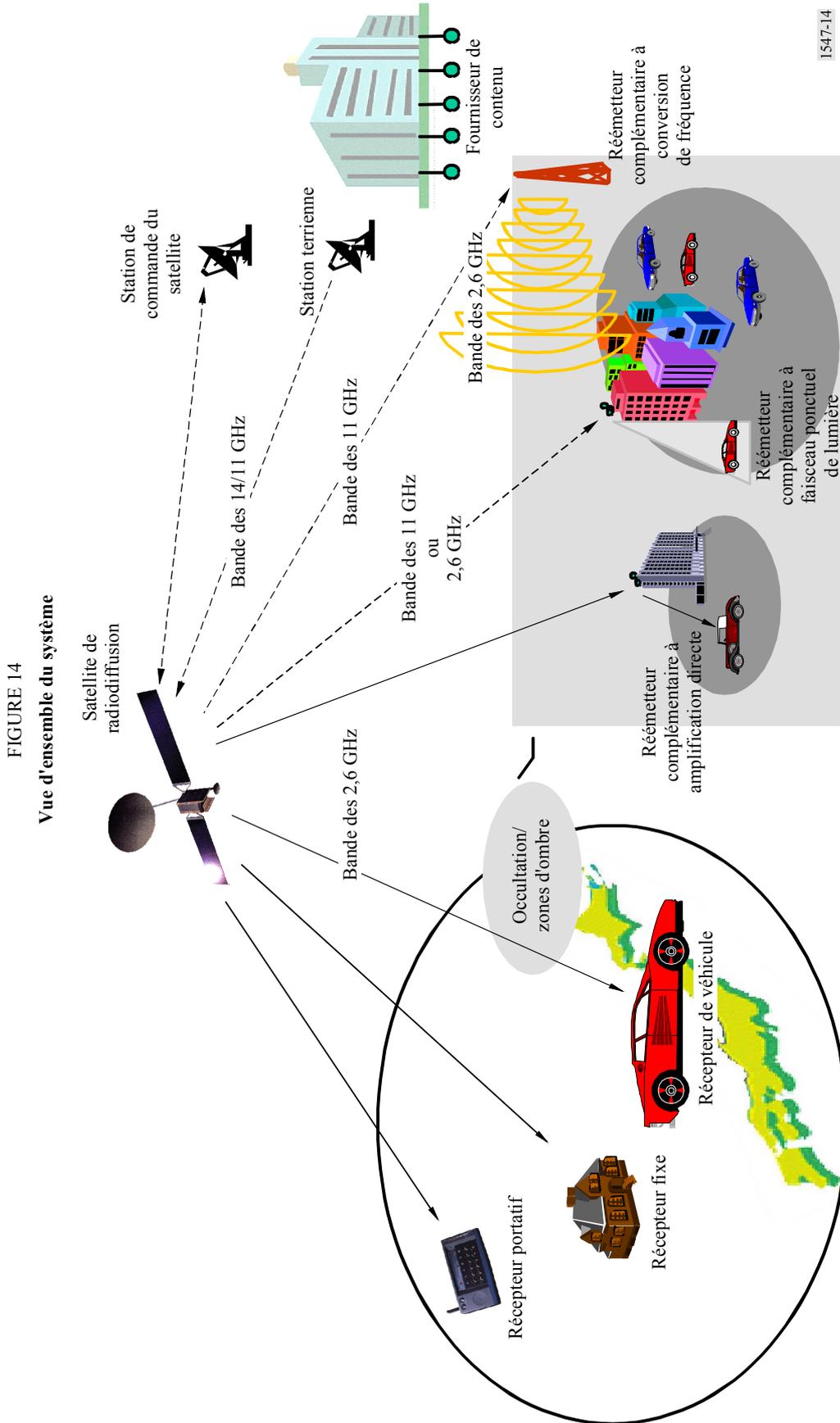
Les principaux problèmes concernant la propagation du signal dans la bande des 2,6 GHz sont les zones d'ombre et l'occultation du trajet direct depuis le satellite. Ce système utilise deux techniques pour tenir compte des divers types de zones d'ombre et d'occultation.

La première technique consiste à placer un désentrelaceur de bits dans le récepteur pour remédier au problème des zones d'ombre et de l'occultation causées par de petits objets. Ces zones d'ombre et cette occultation se manifestent dans les récepteurs de véhicule sous la forme de rafales de bruit dans le signal reçu d'une durée pouvant atteindre une seconde environ.

Chaque rafale de bruit est répartie sur plusieurs secondes grâce à ce désentrelaceur, le but étant l'adaptation aux capacités de correction d'erreur de ce système.

La seconde technique permettant de réduire les évanouissements du signal causés par les zones d'ombre et l'occultation consiste à inclure des réémetteurs complémentaires dans la configuration du système. Ces réémetteurs complémentaires, qui retransmettent le signal provenant du satellite, sont censés couvrir la zone occultée, par exemple, par des bâtiments et des constructions de grandes dimensions. Il existe deux types de réémetteur complémentaire dans ce système: le réémetteur complémentaire dit à amplification directe et le réémetteur complémentaire à conversion de fréquence, permettant de couvrir différents types de zones occultées.

Le réémetteur complémentaire à amplification directe ne fait qu'amplifier le signal de la bande des 2,6 GHz diffusé par le satellite. Ce type de réémetteur complémentaire est intrinsèquement limité à une amplification à faible gain pour éviter les oscillations non souhaitées causées par le couplage du signal entre les antennes d'émission et de réception. Ce réémetteur complémentaire couvre une zone étroite du trajet direct jusqu'à une zone en visibilité directe de 500 m.



Un réémetteur complémentaire à conversion de fréquence est, quant à lui, destiné à couvrir une grande zone de 3 km de rayon. Le signal diffusé par le satellite utilise une fréquence différente de 2,6 GHz, il est par exemple situé dans la bande des 11 GHz.

Dans ce cas, l'évanouissement dû aux trajets multiples apparaît dans une zone où plus de deux signaux radiodiffusés sont reçus. Dans ce système de radiodiffusion, on adopte la technique MRC pour assurer la stabilité de réception du signal ayant subi un évanouissement dû aux trajets multiples. L'utilisation de la technique RAKE et d'une diversité d'antenne dans le récepteur devrait permettre d'améliorer nettement les performances du récepteur en présence d'évanouissements limités dus aux trajets multiples.

Un réémetteur complémentaire à faisceau ponctuel de lumière, également représenté sur la Fig. 14, pourrait permettre d'améliorer la réception en présence de trajets multiples lorsque le récepteur MRC et RAKE ne peut pas procéder à un décodage correct sans ce réémetteur complémentaire. Il s'agit d'une caractéristique importante du système MRC. Un réémetteur complémentaire à faisceau ponctuel peut utiliser soit l'amplification soit la conversion de fréquence pour répondre au besoin particulier de la zone cible où la réception doit être améliorée.

Dans les systèmes MRC, des radiodiffuseurs différents utiliseront des codes orthogonaux différents pour étaler le signal afin de diffuser leurs propres programmes de manière indépendante. La puissance surfacique par unité de largeur de bande est relativement faible car le signal MRC est étalé sur une large bande de fréquences.

3 Couche physique et modulation

La Fig. 15 montre le schéma fonctionnel de base du système de radiodiffusion et la Fig. 16, le schéma détaillé de la partie MRC de la Fig. 15. Dans la suite du présent paragraphe, on donne les paramètres et capacités de base relatifs au codage de canal et à la modulation de ce système de radiodiffusion.

FIGURE 15

Schéma fonctionnel du système de radiodiffusion

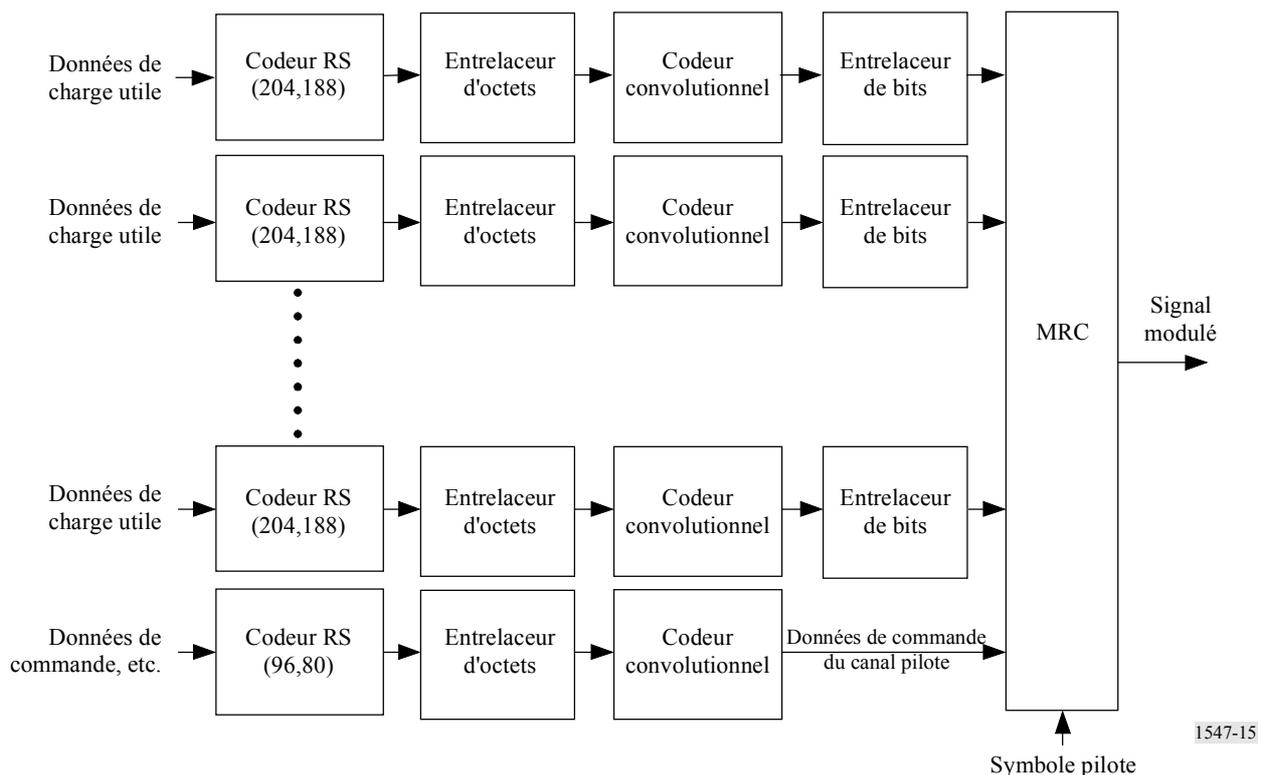
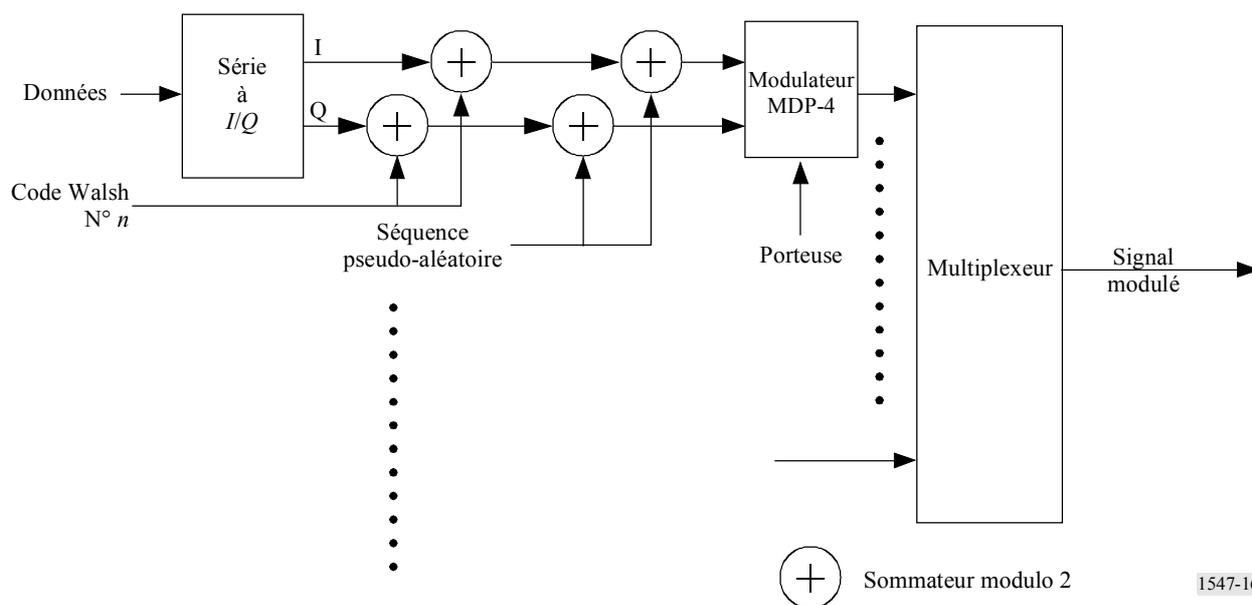


FIGURE 16
Schéma détaillé du MRC



1547-16

3.1 Bande de fréquences

Ce système peut être utilisé dans diverses bandes de fréquences. Mais la principale cible de ce système est la bande 2 630-2 655 MHz. Comme c'est la bande de fréquences la plus élevée attribuée au SRS (sonore), les signaux reçus subiront probablement le plus grand décalage Doppler.

3.2 Largeur de bande

La largeur de bande de base est de 25 MHz.

3.3 Polarisation

Le système utilise une polarisation circulaire; toutefois, un répéteur complémentaire de Terre peut utiliser une polarisation circulaire ou rectiligne.

3.4 Modulation

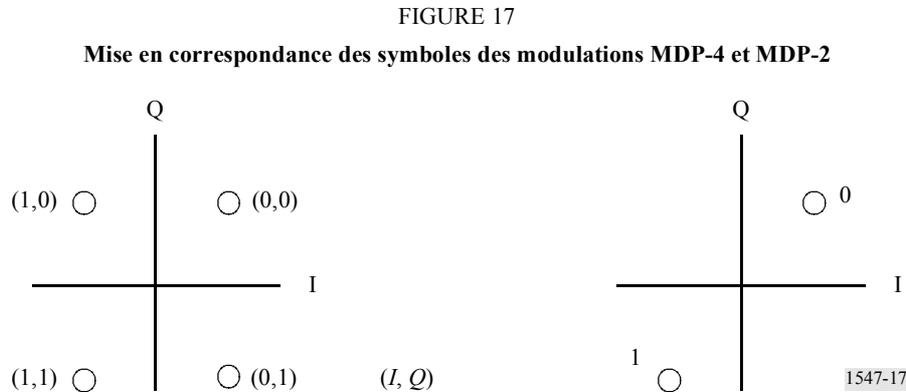
On adopte la technique MRC pour la modulation à la fois de la liaison par satellite et de la liaison du réémetteur complémentaire de Terre. Comme indiqué sur la Fig. 16, une séquence de données est d'abord convertie d'un flux binaire série en séquences de données I et Q. Ces séquences de données I et Q sont ensuite étalées par le même code unique de Walsh (N° n) et une séquence M tronquée. Ces données étalées sont modulées en signal MDP-4. Les signaux modulés sont multiplexés les uns avec les autres dans la même bande de fréquences, chaque signal étant identifié par son code Walsh.

3.4.1 Modulation de la porteuse

Comme indiqué sur la Fig. 15, un système complet de radiodiffusion à modulation MRC comprend un canal pilote et plusieurs canaux de radiodiffusion. Un flux de données sur un canal de radiodiffusion et sur une partie du canal pilote utilise la modulation MDP-4 pour la modulation des composantes, tandis que les symboles pilotes, le symbole de synchronisation de trame et le compteur de trames (voir la définition du § 4.3) acheminés dans le flux de données du canal pilote sont modulés au moyen de la modulation par inversion de phase (MDP-2).

3.4.2 Mappage des symboles

Le mappage des symboles de la MDP-4 et de la MDP-2 est illustré à la Fig. 17. Dans ce système, la MDP-4 est démodulée grâce à la détection de phase cohérente.



3.5 Fréquence de traitement

La fréquence de traitement est de 16,384 MHz et le gain de traitement est de 64.

3.6 Séquence de signature et séquence d'étalement

On adopte respectivement des codes Walsh de 64 bits de long et une séquence M tronquée de 2048 bits de long comme séquence de signature et comme séquence d'étalement. Cette séquence d'étalement est obtenue en tronquant des séquences de longueur maximale égale à 4095 bits générées au moyen d'une séquence de registre à décalage avec rétroaction comportant 12 étages.

3.7 Etalement des données

Les séquences de signature et les séquences d'étalement sont ajoutées modulo 2 à la séquence I et Q d'origine, comme indiqué sur la Fig. 16.

3.8 Facteur de décroissance

Le signal transmis est filtré au moyen d'un filtre en racine carrée de cosinus surélevée. Le facteur de décroissance vaut 0,22.

3.9 Nombre de canaux MRC

En théorie, ce système peut multiplexer 64 canaux MRC car un code Walsh de 64 éléments de long est adopté. Dans les essais corroborants, 30 canaux MRC sur 64 canaux possibles sont multiplexés pour assurer la stabilité de réception en présence de trajets multiples.

4 Codage de canal

4.1 Codage correcteur d'erreur

Pour la protection d'erreur directe, on adopte un code concaténé comprenant un code convolutionnel $K = 7$ comme code interne et un code abrégé de RS (204,188) comme code externe.

4.1.1 Code externe

Le code externe est le même que pour les autres systèmes de radiodiffusion numérique. Le code de RS (255,235) d'origine est défini comme suit:

Polynôme générateur du code: $g(x) = (x + \lambda^0) (x + \lambda^1) (x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15})$, où $\lambda = 02_h$

Polynôme générateur: $P(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

En ce qui concerne le code de RS abrégé, on peut ajouter 51 octets, tous mis à zéro, avant les octets d'information à l'entrée du codeur de RS (255,239). Après la procédure de codage de RS, ces octets nuls sont éliminés.

4.1.2 Code interne

On adopte le code convolutionnel $K = 7$ comme code interne de ce système. N'importe quel taux de codage peut être sélectionné parmi les valeurs 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8 par une technique de poinçonnage pour chaque canal de radiodiffusion. Ces taux sont signalés au moyen des données de commande du canal pilote. Un code convolutionnel de taux 1/2 est utilisé pour le canal pilote.

4.2 Entrelacement

On utilise un entrelacement convolutionnel d'octets entre le codage externe et le codage interne. On adopte en outre un entrelacement convolutionnel de bits avec regroupement de trois segments après le codage interne.

4.2.1 Entrelacement d'octets

L'entrelacement d'octets est le même que pour les autres systèmes de radiodiffusion numérique (par exemple DVB-S, DVB-T, RDNIS-S et RDNIS-T).

4.2.2 Entrelacement de bits

La Fig. 18 montre le mécanisme de fonctionnement de l'entrelaceur de bits et la Fig. 19 le schéma conceptuel d'un entrelaceur et d'un désentrelaceur de bits. Le délai de l'entrelaceur de bits peut être choisi parmi huit positions possibles définies dans le Tableau 3 pour chaque canal de radiodiffusion au moyen des données de commande du canal pilote. Dans les essais corroborants, la position 5 a été choisie; l'entrelaceur de bits dispose donc d'un délai d'environ 3,257 s pour récupérer une coupure du signal reçu allant jusqu'à 1,2 s.

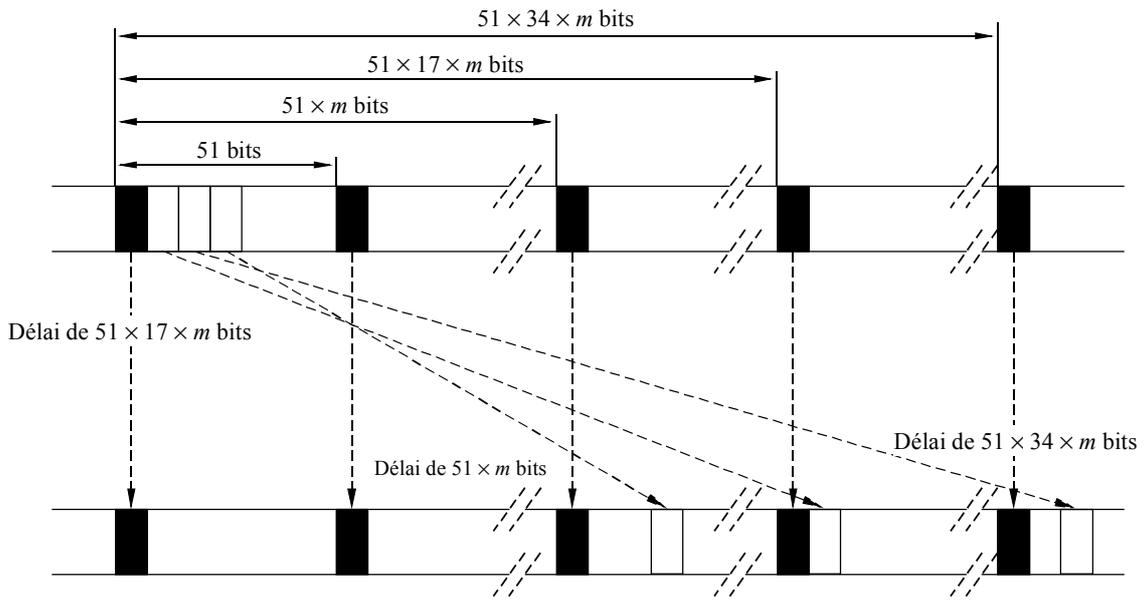
4.3 Canal pilote

Les données de charge utile sont transmises par des canaux de radiodiffusion, tandis que le système utilise un canal pilote pour simplifier la synchronisation du récepteur et pour transmettre les données de commande du système.

Le canal pilote a trois fonctions. La première consiste à transmettre le mot unique pour la synchronisation de trame et le compteur de trames pour la synchronisation de supertrame. La deuxième consiste à envoyer le symbole pilote et la troisième à transmettre des données de commande pour faciliter les fonctions du récepteur.

FIGURE 18

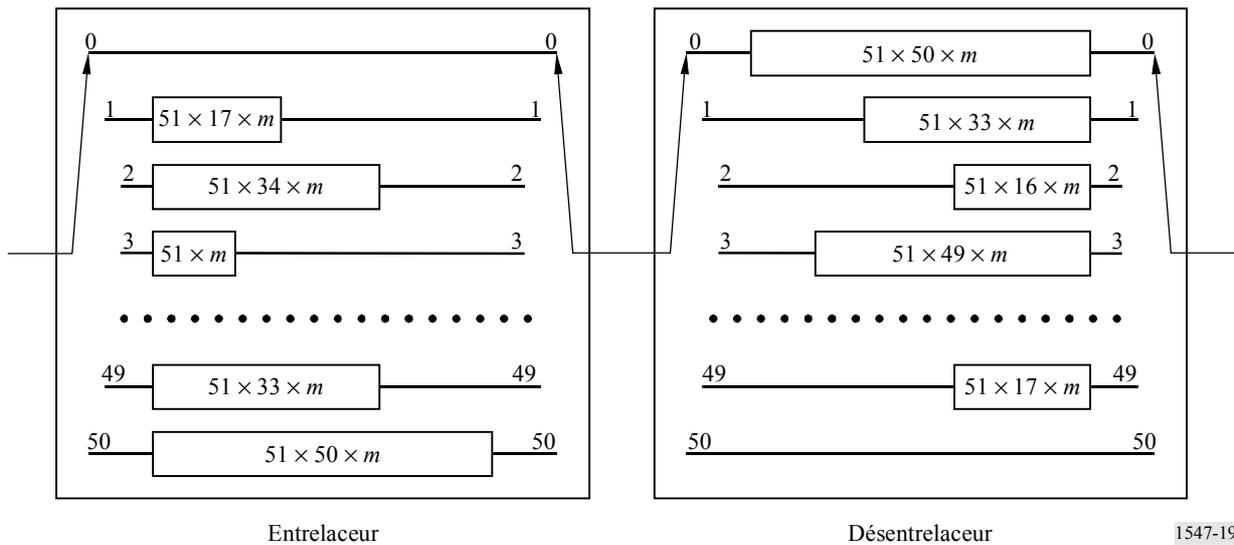
Entrelaceur de bits



1547-18

FIGURE 19

Schéma conceptuel de l'entrelaceur et du désentrelaceur de bits



Entrelaceur

Désentrelaceur

1547-19

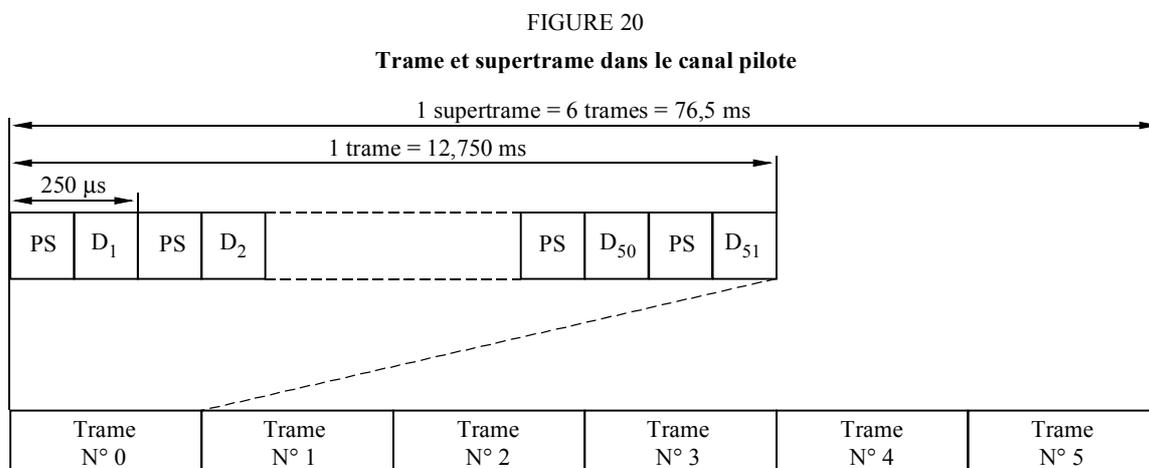
TABLEAU 3

Positions pouvant être choisies pour la taille de l'entrelacement de bits

Position	Valeur du paramètre <i>m</i>
0	0
1	53
2	109
3	218
4	436
5	654
6	981
7	1 308

4.3.1 Trame et supertrame

La Fig. 20 montre la trame et la supertrame de transmission de ce système.



PS: Symbole pilote (32 bits)
 D₁: Mot unique (32 bits)
 D₂: Compteur de trame (32 bits)
 D₃ à D₅₁: Données de commande, etc.

1547-20

Un symbole pilote est inséré toutes les 250 µs, comme décrit au paragraphe suivant. Une trame de transmission comprend 51 fois la période d'insertion d'un symbole pilote, ce qui correspond à une période de 12,75 ms. Le premier symbole D₁ (4 octets ou 32 bits) autre que les symboles pilotes constitue le mot unique.

Une supertrame de transmission comprend six trames de transmission et sa période est de 76,5 ms. Le deuxième symbole D₂ est le compteur de trames, qui aide le récepteur à établir la synchronisation des supertrames. Tout canal de radiodiffusion avec un taux arbitrairement discontinu peut être synchronisé sur une période de supertrame car c'est le plus petit commun multiple des intervalles de temps unitaires de chaque canal de radiodiffusion avec n'importe quel taux de poinçonnage possible de code convolusionnel.

4.3.2 Symbole pilote

Les données spéciales imbriquées dans le canal pilote sont des symboles pilotes qui sont composés de 32 bits positionnés à 1. Grâce à ces symboles pilotes, le récepteur peut analyser les profils des signaux reçus (analyse par recherche de chemin) et les résultats constituent une aide pour la fonction du récepteur RAKE. Des symboles pilotes sont transmis toutes les 250 µs.

Afin d'améliorer la précision de l'analyse par recherche de chemin, le canal pilote peut avoir une puissance de signal supérieure à celle d'un canal de radiodiffusion. Dans les essais corroborants, le canal pilote avait une puissance de signal deux fois supérieure à celle d'un canal de radiodiffusion.

5 Multiplexage de services

On adopte la Norme ISO/CEI 13818-1 (systèmes MPEG-2) pour le multiplexage des services. Pour une interopérabilité maximale entre un certain nombre de systèmes de radiodiffusion numérique (par exemple DVB-S, DVB-T, RDNIS-S et RDNIS-T), ce système peut échanger des flux de données diffusés avec d'autres systèmes de radiodiffusion via ce point d'interfaçage.

Dans ce système, on pourra adopter certains futurs services de radiodiffusion à condition qu'ils aient des capacités d'adaptation pour pouvoir utiliser les systèmes MPEG-2.

6 Codage de la source

6.1 Codage de la source audio

On choisit le codage AAC MPEG-2 (ISO/CEI 13818-7) pour ce système. Pour utiliser un flux binaire AAC dans un environnement de systèmes MPEG-2, on adopte le flux de transport de données audio (ADTS, *audio data transport stream*).

6.2 Codage des données

Divers types de diffusion de données sont applicables – comprenant la diffusion monomédia (par exemple codage de source vidéo, texte) et la diffusion multimédia (mélange d'audio, de vidéo, de texte et de données) – dans la mesure où ces structures de données sont conformes aux systèmes MPEG-2.

7 Exemple d'application du Système numérique E

7.1 Liaison par satellite

Dans cet exemple, on suppose que l'on a un satellite géostationnaire avec une grande antenne d'émission. Le signal sur la liaison de connexion provient d'une station terrienne fonctionnant dans la bande des 14 GHz tandis que la liaison de service (liaison descendante) couvre la zone de service japonaise dans la bande des 2,6 GHz. Les principales caractéristiques du satellite sont indiquées ci-après:

- fréquence du signal sur la liaison de connexion: bande des 14 GHz
- fréquence sur la liaison descendante: 2 642,5 MHz
- largeur de bande de la liaison descendante (BW): 25 MHz
- p.i.r.e. minimale: 67 dBW
(dans la zone de service, y compris les pertes liées au pointage de l'antenne)

7.1.1 Spectre

Le spectre du signal de sortie de la station de radiodiffusion du satellite est représenté sur la Fig. 21 dans le cas d'un recul à la sortie (OBO, *output back-off*) de 2 dB. Ce spectre est simulé au moyen d'un amplificateur non linéaire qui présente les mêmes caractéristiques d'entrée/sortie qu'un répéteur de satellite type.

7.1.2 Taux TEB en fonction du rapport C/N_0 en présence de bruit blanc gaussien additif (BBGA)

Le TEB en fonction du rapport C/N_0 en présence de BBGA a été mesuré pour diverses valeurs de réduction du recul à la sortie et de décalage de fréquence.

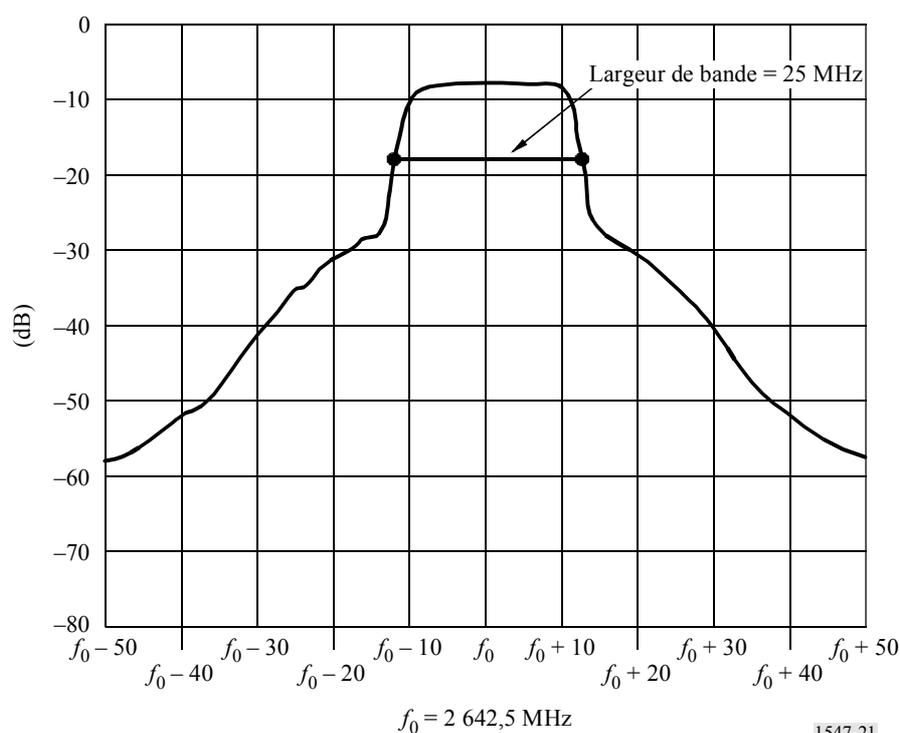
La Fig. 22 montre le TEB en fonction du rapport C/N_0 pour différentes valeurs d'un recul à la sortie d'un simulateur de satellite. Sauf indication contraire, on a utilisé les conditions suivantes pour la mesure du TEB en fonction du rapport C/N_0 décrite dans le présent paragraphe.

- le TEB a été mesuré juste après le décodage de Viterbi;
- le taux de codage utilisé dans le codage convolutionnel était de 1/2;

- le débit de données après le décodeur de Viterbi était de 256 kbit/s;
- on a utilisé une diversité avec deux antennes.

FIGURE 21

Spectre du signal de sortie du satellite (OBO de 2 dB)
(simulé au moyen d'un amplificateur non linéaire)



Conformément à la Fig. 22, lorsque le recul à la sortie d'un simulateur de satellite correspond au point de fonctionnement (= 2 dB), le rapport C/N_0 requis qui est défini dans ce système comme le rapport C/N_0 lorsque le TEB vaut 2×10^{-4} , est de 56,4 dB(Hz). Comme la valeur théorique du rapport C/N_0 requis pour le récepteur idéal est de 54,3 dB(Hz), la perte mesurée liée à la mise en œuvre est de 2,1 dB.

Lorsque le recul à la sortie correspond à 1 dB de moins que le point de fonctionnement, le rapport C/N_0 requis augmente de 0,1 dB. En revanche, lorsque le recul correspond à 1 dB de plus que le point de fonctionnement, le rapport C/N_0 requis diminue de 0,1 dB. Par conséquent, les dégradations du taux TEB dues à cette non-linéarité sont très faibles même si elles peuvent être observées.

La Fig. 23 montre le taux TEB en fonction du rapport C/N_0 pour différents décalages de fréquence au niveau du récepteur. Il est à noter que le recul à la sortie était de 2 dB et que les conditions autres que la valeur du décalage de fréquence étaient identiques à celles de la Fig. 22. Conformément à la Fig. 23, la dégradation du rapport C/N_0 requis était de 0,3 dB pour les décalages de fréquence de ± 264 Hz ($= \pm 1 \times 10^{-7}$ à 2 642,5 MHz); la dégradation mesurée due à un décalage de fréquence jusqu'à ± 264 Hz est donc faible.

Pendant ces tests, la qualité du son reçu a été surveillée et il a été confirmé qu'aucune dégradation perceptible n'a été observée tant que le taux TEB mesuré était inférieur à 2×10^{-4} à la sortie du décodeur de Viterbi. La fonction de sélection de programme a aussi été vérifiée et il a été confirmé que la fonction de passage à un autre programme remplissait correctement son rôle lorsque le contenu de radiodiffusion était reçu correctement.

FIGURE 22
TEB en fonction du rapport C/N_0 en présence de BBGA pour différentes valeurs d'OBO du répéteur

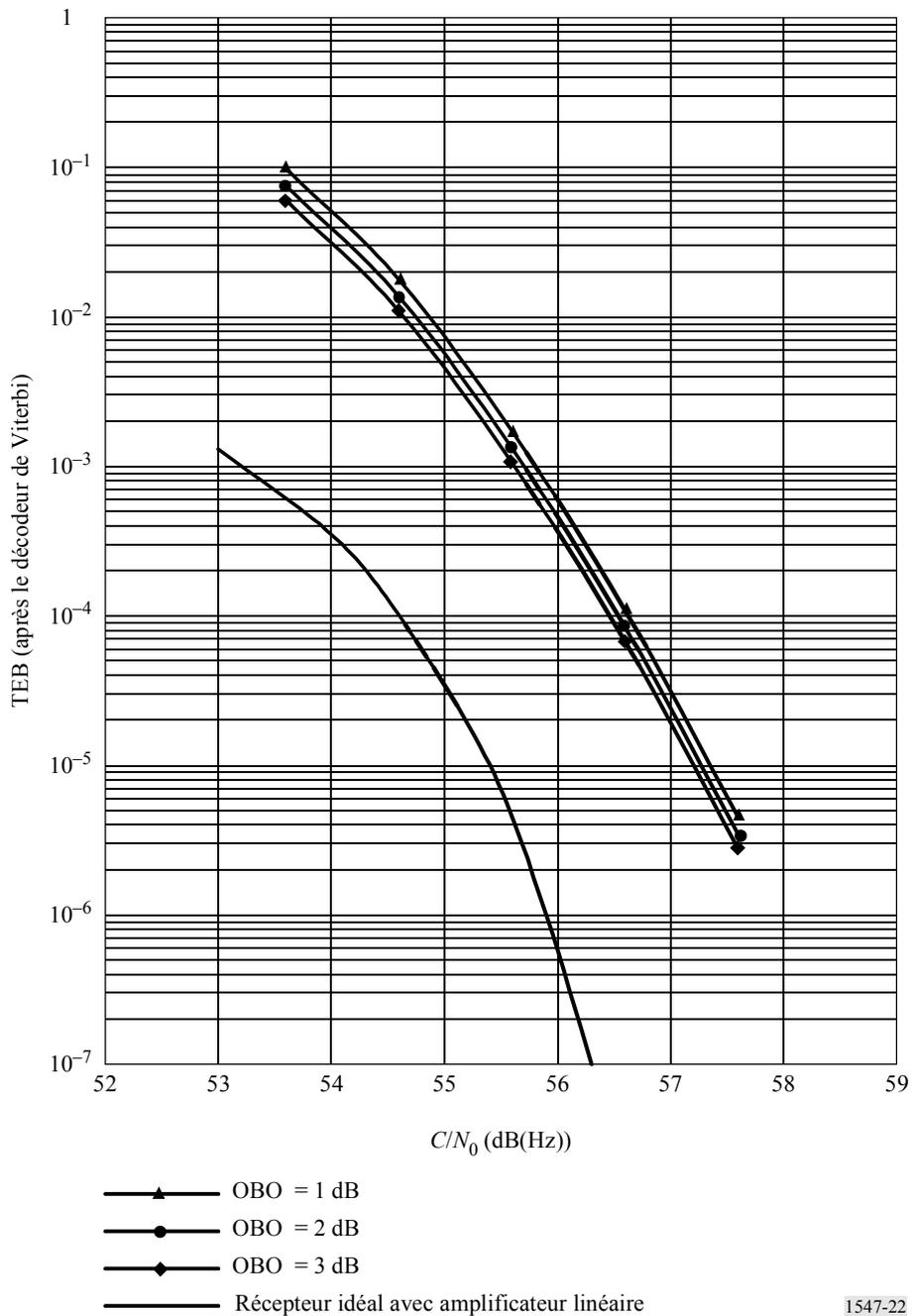
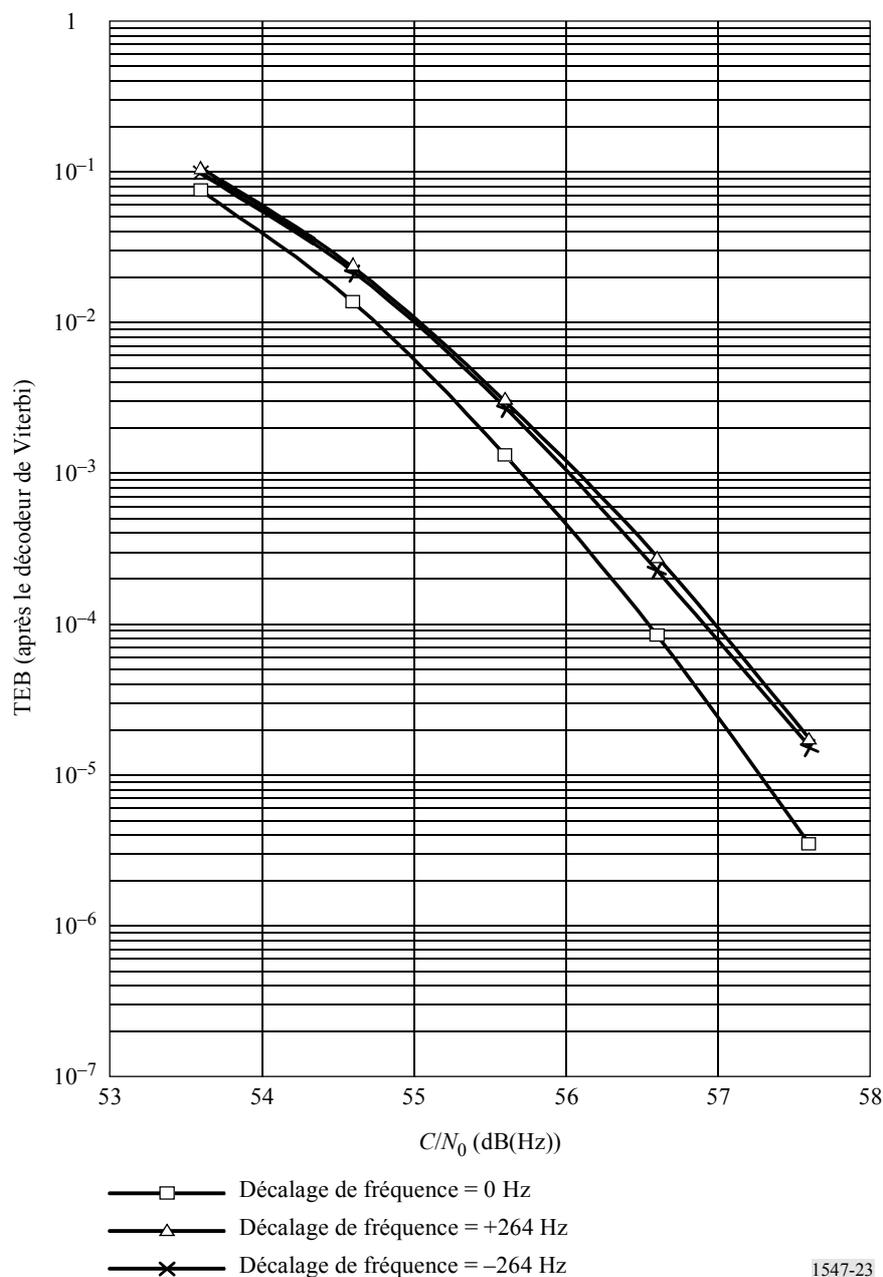


FIGURE 23

TEB en fonction du rapport C/N_0 en présence de BBGA
pour différents décalages de fréquence



7.2 Réémetteur de complément

7.2.1 Réémetteur de complément à amplification directe

Le principal objet du réémetteur de complément à amplification directe est de permettre la réception du signal de radiodiffusion directement du satellite de radiodiffusion, de l'amplifier et de le retransmettre dans la zone où le signal est occulté.

- Fréquence de réception: 2 630-2 655 MHz
- Fréquence d'émission: 2 630-2 655 MHz
- p.i.r.e.: 1,7 dBm
- Zone de couverture: zone en visibilité directe jusqu'à 500 m de la station.

7.2.2 Réémetteur de complément à conversion de fréquence

Cet équipement reçoit des signaux dans les bandes des 11/12 GHz provenant du satellite, le fait passer dans la bande des 2,6 GHz, l'amplifie jusqu'au niveau souhaité et l'émet dans la zone où le signal est occulté. Les caractéristiques principales de l'équipement sont les suivantes.

- Fréquence de réception: bandes des 11/12 GHz
- Fréquence d'émission: 2 630-2 655 MHz
- p.i.r.e.: 60,7 dBm
- Couverture: zone circulaire de rayon allant jusqu'à 3 km.

7.3 Résultats expérimentaux de réception dans des véhicules à vitesse élevée

L'une des principales caractéristiques de ce système est sa capacité de prise en charge des récepteurs de véhicules. Dans les essais corroborants, la réception dans des véhicules à vitesse élevée a été examinée avec soin au cours d'essais en laboratoire et d'essais en conditions réelles. Le TEB en fonction du rapport C/N_0 est illustré sur la Fig. 24 en ce qui concerne les tests en laboratoire. On n'observe qu'une faible dégradation du taux TEB à 50 km/h, 100 km/h et 150 km/h. Les essais en conditions réelles de récepteurs de véhicules à vitesse élevée ont été réalisés à des vitesses allant jusqu'à 100 km/h sur l'autoroute Chuo dans la partie ouest de la zone métropolitaine de Tokyo.

7.4 Modèle du récepteur

Les caractéristiques du récepteur type de véhicule de ce système sont indiquées ci-après et la Fig. 25 montre le schéma fonctionnel du récepteur type de véhicule.

- Fréquence centrale: 2 642,5 MHz
- Largeur de bande du signal d'entrée: 25 MHz
- Facteur de qualité (G/T): Plus de $-21,8 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$
- Gain d'antenne: Plus de 2,5 dBi pour la réception par satellite
Plus de 0 dBi pour la réception par voie hertzienne de Terre
- Facteur de bruit: Moins de 1,5 dB
- Démodulation: Démodulation cohérente avec symbole pilote et récepteur RAKE avec six dents
- Diversité: Diversité à deux antennes
- Filtre de réception: Filtre à décroissance en racine carrée de cosinus surélevé (le facteur de décroissance est de 22%)
- Décodage du code convolutionnel: Décodage de Viterbi à décision pondérée
- Perte liée à la mise en œuvre: Moins de 2 dB (dégradation par rapport à la valeur théorique pour un TEB de 2×10^{-4}).

FIGURE 24
 TEB en fonction du rapport C/N_0 pour des récepteurs de véhicules à vitesse élevée
 (50 km/h, 100 km/h et 150 km/h)

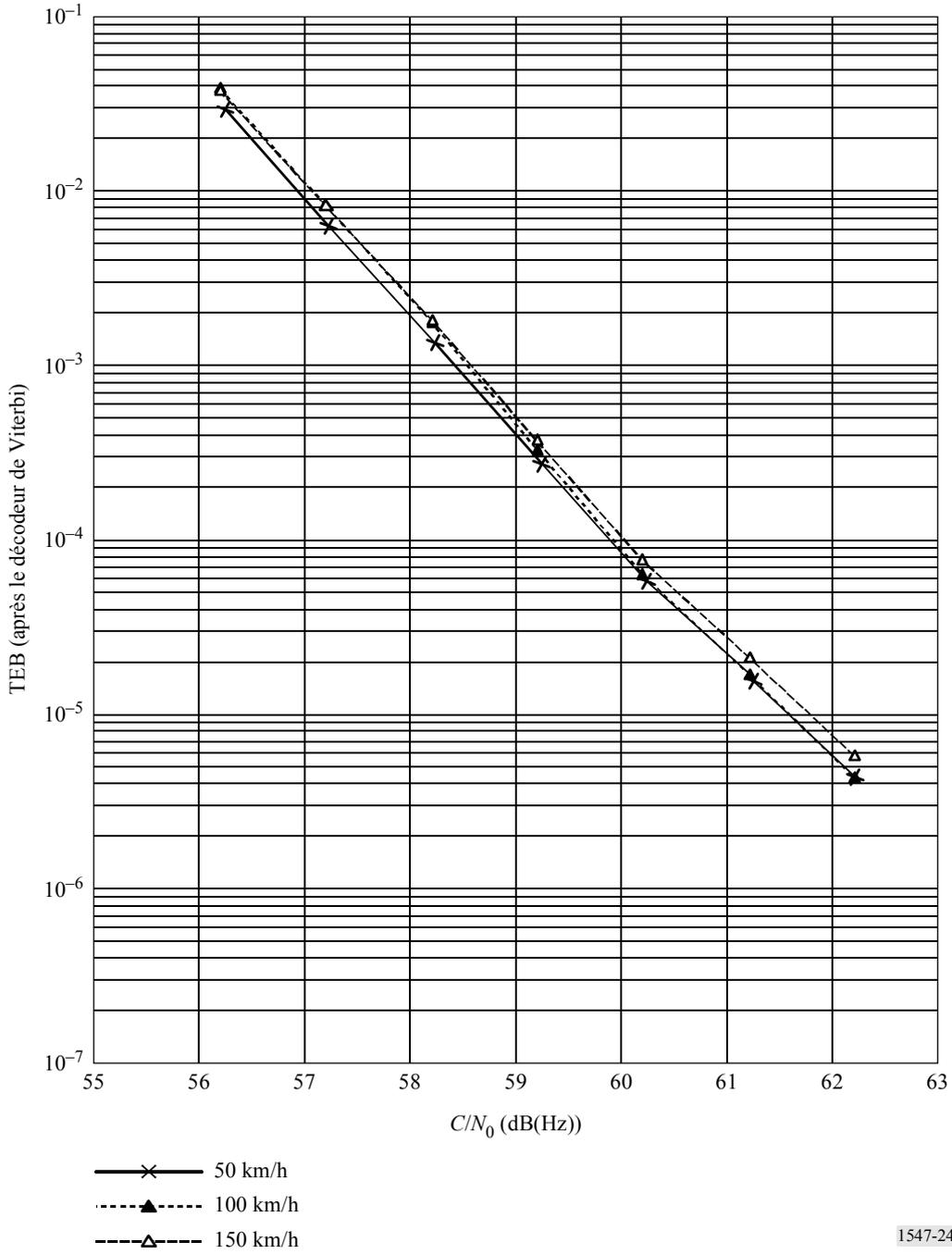


FIGURE 25
Schéma fonctionnel du récepteur type

