

RECOMMANDATION UIT-R BS.1350

**SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES D'UN SYSTÈME DE MULTIPLEXAGE DE SIGNAUX
RADIOPHONIQUES MF AVEC UNE VOIE DE DONNÉES SUR SOUS-PORTEUSE
AYANT UNE GRANDE CAPACITÉ DE TRANSMISSION POUR
RÉCEPTION FIXE ET MOBILE**

(Question UIT-R 71/10)

(1998)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) qu'il apparaît nécessaire de disposer, dans le monde entier, d'un système adéquat de multiplexage d'un signal radiophonique MF avec une voie de données en sous-porteuse ayant une grande capacité de transmission pour réception fixe et mobile;
- b) que les systèmes de radiodiffusion sonore MF offrent des capacités de transmission de données importantes;
- c) que la capacité des actuels systèmes de transmission de données couramment utilisés en radiodiffusion sonore MF est limitée;
- d) que les progrès techniques réalisés dans le domaine des systèmes de transmission de données à forte capacité pouvant être multiplexés avec des signaux radiophoniques MF montrent qu'il est techniquement possible de mettre au point des systèmes pour données à forte capacité;
- e) que divers essais en conditions réelles, ainsi que des démonstrations, ont confirmé la possibilité de mettre au point des systèmes de transmission de données ayant une grande capacité et pouvant être utilisés en radiodiffusion sonore MF;
- f) qu'il est établi que les services stéréophoniques MF, notamment le système RDS conforme à la Recommandation UIT-R BS.643, sont compatibles avec tout nouveau système en sous-porteuse qui pourrait être proposé;
- g) que certaines applications pourraient exiger une très importante capacité de transmission de données;
- h) que, comparés au système RDS, les systèmes de radiodiffusion en sous-porteuse peuvent offrir une capacité de transmission relativement importante tout en respectant les spécifications de la Recommandation UIT-R BS.412;
- j) que des systèmes de transmission de données à capacité relativement importante sont déjà en service,

recommande

- 1** de faire en sorte que les systèmes de multiplexage de signaux radiophoniques MF avec une voie de données en sous-porteuse ayant une grande capacité de transmission pour réception fixe et mobile:
 - 1) soient conformes à la politique actuelle de l'UIT en matière de droits de propriété intellectuelle;
 - 2) ne causent aucun brouillage:
 - au programme principal, sur la même porteuse, ou sur une porteuse adjacente, comme spécifié dans la Recommandation UIT-R BS.412;
 - au service RDS et/ou à tout autre service en sous-porteuse, sur la même porteuse ou sur une porteuse adjacente, comme spécifié dans les Recommandations UIT-R BS.412 et UIT-R BS.643;
 - au service de radionavigation aéronautique, comme spécifié dans la Recommandation UIT-R IS.1009;
 - 3) soient sélectionnés après considération des caractéristiques et spécifications suivantes relatives aux besoins de l'application considérée:
 - a) caractéristiques de qualité de fonctionnement:
 - fiabilité des données en bruit gaussien;
 - fiabilité des données dans des conditions de réception par trajets multiples;
 - fiabilité des données en présence de signaux sur les canaux adjacents;
 - brièveté de la durée de propagation d'extrémité à extrémité;

- taux d'erreur pour diverses longueurs de message dans des conditions de propagation par trajets multiples;
 - temps d'acquisition de la synchronisation;
 - b) caractéristiques additionnelles, par exemple:
 - cycle de service minimal (économie d'énergie);
 - adressabilité des récepteurs;
 - accès conditionnel;
 - acceptation de divers types de données;
 - capacité à fonctionner dans un réseau de services de données;
 - possibilité de services en sous-porteuse additionnels;
 - capacité à fonctionner indépendamment du réseau radioélectrique;
 - accès de multiples stations;
 - capacité de radiodiffusion.
 - c) compatibilité avec la Recommandation UIT-R BS.450;
 - d) capacité du système à minimiser toute dégradation éventuelle sur la voie audio principale et/ou la voie RDS dans des conditions de réception par trajets multiples; et
 - e) résultats d'essais du système en conditions réelles;
- 4) soient choisis et spécifiés dans des conditions dans lesquelles soient au moins connues les caractéristiques générales suivantes:
- fréquence de sous-porteuse;
 - largeur de bande;
 - débit de données sur la voie;
 - débit de données d'information;
 - méthode de modulation;
 - structure des paquets et des trames (structure des données);
 - correction d'erreur directe et méthode d'entrelacement;
 - capacité de détection d'erreur;
 - niveau d'application.

NOTE 1 – Ces contraintes et considérations sont considérées plus en détail dans l'Annexe 1. Les appendices de cet annexe donnent des exemples de systèmes pouvant convenir à diverses applications.

ANNEXE 1

Spécifications techniques d'un système de multiplexage d'un signal radiophonique MF avec une voie de données en sous-porteuse ayant une grande capacité de transmission pour réception fixe et mobile

1 Introduction

1.1 Objet

Le présent document a pour objet de faciliter le choix d'un système spécifique offrant une capacité de transmission de données relativement importante sur des sous-porteuses multiplexées avec le programme radiophonique MF; il expose dans un ensemble de caractéristiques techniques à considérer lors du choix d'un tel système, caractéristiques classées en quatre catégories:

- **Les caractéristiques générales** définissent les paramètres de base du système de transmission de données (Section 3).
- **Les caractéristiques additionnelles** sont spécifiques de chaque système de transmission de données, qu'elles rendent plus ou moins approprié pour telle ou telle application (Section 4).

- **Les caractéristiques de compatibilité** définissent l'incidence quantitative du système sur les services existants, qu'il s'agisse de la voie principale de radiodiffusion ou de voies adjacentes (Section 5).
- Enfin, **les caractéristiques de qualité de fonctionnement** du système définissent de diverses façons le fonctionnement du système de transmission de données proprement dit (Section 6).

Il est établi que les caractéristiques de compatibilité d'un système sont toujours importantes, quelle que soit l'application envisagée. Les caractéristiques de qualité de fonctionnement dépendent des besoins spécifiques de l'application. Le présent document définit les principales caractéristiques de qualité de fonctionnement d'un système pour un certain nombre d'applications différentes.

1.2 Considérations particulières

Comme pour tout système recommandé par l'UIT, le système choisi devra être conforme à la politique actuelle de l'Union en matière de droits de propriété intellectuelle. Par ailleurs, tout système proposé devra être essayé en conditions réelles avant le choix définitif.

1.3 Structure du document

Les Appendices 1, 2 et 3 du présent document décrivent plusieurs systèmes de transmission de données envisageables, avec références aux documents applicables de l'UIT-R, où l'on trouvera des informations plus détaillées.

2 Applications

Les applications dépendent des caractéristiques des récepteurs, des types de données et des caractéristiques de transmission, qui font l'objet respectivement des sections 2.1, 2.2 et 2.3. Une application consiste à transmettre des données d'une ou de plusieurs catégories à partir d'émetteurs de caractéristiques diverses et à destination de récepteurs présentant également certaines caractéristiques. Les applications cibles dépendent du type de données, des caractéristiques de l'émetteur et des caractéristiques supposées des récepteurs, certaines caractéristiques de fonctionnement seront plus importantes que d'autres.

2.1 Caractéristiques des récepteurs

Au niveau des récepteurs, la détermination des applications se fait sur la base des caractéristiques suivantes. Certains récepteurs, suffisants pour des débits de données peu élevés ou des critères de fiabilité relativement souples, ne conviendront pas pour des débits de données élevés et des critères de fiabilité stricts.

2.1.1 Caractéristiques physiques du récepteur

- alimentation principale du récepteur (taille et capacité des piles);
- caractéristiques de fonctionnement de l'antenne du récepteur;
- mobilité du récepteur et vitesse de déplacement;
- caractéristique de bruit du récepteur;
- bruit électrique ambiant.

2.1.2 Caractéristiques "données"

- intégrité des données;
- option d'adressabilité du récepteur;
- type de trafic de données;
- fonctions de réseautage.

Il existe, pour les récepteurs, plusieurs applications (voir le Tableau 1).

TABLEAU 1
Applications "récepteur"

| Application | Puissance requise | Qualité de l'antenne du récepteur | Mobilité |
|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------|
| Véhicules | Elevée | Moyenne à bonne | 0 – 150 km/h |
| Systèmes portatifs | Faible | Moyenne | 0 – 5 km/h |
| Systèmes personnels fixes | Extrêmement faible | Médiocre | 0 – 300 km/h |
| Fixes | Très élevée | Bonne à excellente | 0 km/h |

2.2 Types de données

On distingue deux types de données. Dans la transmission par paquets, on transmet des informations naturellement séparées en segments de données ou en messages, pour une raison quelconque. La segmentation fait en général intervenir un en-tête qui peut être utilisé pour spécifier l'adresse de l'utilisateur ou pour désigner une caractéristique unique de l'élément d'information considéré. La structuration peut être affinée sur la base de la longueur des messages (de quelques dizaines de bits à plusieurs centaines de milliers d'octets).

En second lieu, les données peuvent être transmises en continu, selon un débit fixe: on suppose alors que toute segmentation interviendra au niveau d'une couche supérieure du protocole, souvent sous la forme de séquences de paquets.

2.3 Caractéristiques du système de transmission

- intensité du signal et zone de service envisagée;
- possibilité, à partir de l'émetteur, de contacter un récepteur donné;
- fonctions de réseautage de l'émetteur.

3 Caractéristiques et paramètres généraux

Dans le choix d'un système, il conviendra de tenir compte des caractéristiques générales suivantes:

- fréquence de sous-porteuse;
- largeur de bande;
- débit de données sur la voie;
- débit de données d'information;
- méthode de modulation;
- structure des paquets et mise en trame (structure des données);
- correction d'erreur directe et système d'entrelacement;
- capacité de détection d'erreur;
- niveau d'application.

4 Caractéristiques additionnelles

Dans le choix d'un système, il conviendra de tenir compte des caractéristiques additionnelles suivantes:

- cycle de service minimal (économique d'énergie);
- adressabilité du récepteur;

- accès conditionnel;
- acceptation de divers types de données;
- capacité à fonctionner dans un réseau de services de données;
- possibilité de services en sous-porteuse additionnels;
- capacité à fonctionner indépendamment du réseau radioélectrique;
- accès de stations multiples;
- capacité de rediffusion.

5 Caractéristiques de compatibilité

Dans le choix d'un système, il conviendra de tenir compte des caractéristiques de compatibilité suivantes:

- brouillages occasionnés au service de radiodiffusion principal (sur la même porteuse);
- brouillages occasionnés au RDS et/ou à tout autre service en sous-porteuse (sur la même porteuse);
- rapport de protection pour les services de radiodiffusion (sur les voies adjacentes);
- rapport de protection pour le RDS et/ou à tout autre service;
- Recommandation UIT-R BS.450;
- rapport de protection pour le service aéronautique, Recommandation UIT-R IS.1009;
- dégradation du signal audio sur la voie principale dans des conditions de réception par trajets multiples.

6 Caractéristiques de qualité de fonctionnement du système

Dans le choix d'un système, il conviendra de tenir lieu des caractéristiques suivantes, relatives à la qualité de fonctionnement du système:

- fiabilité des données en présence de bruit gaussien;
- fiabilité des données dans des conditions de réception par trajets multiples;
- fiabilité des données en présence de bruit impulsionnel;
- fiabilité des données en présence de signaux sur voie adjacente;
- brièveté du temps de propagation d'extrémité à extrémité;
- taux d'erreur pour diverses longueurs de message dans des conditions de propagation par trajets multiples;
- temps d'acquisition de la synchronisation.

La fiabilité des données appelle quelques observations. Cette caractéristique est déterminée par les méthodes de modulation et de codage et par d'autres aspects du système. Le niveau de fiabilité des données est en général défini par référence au TEB (taux d'erreur sur les bits) ou au taux de perte de paquets (probabilité de réception de messages corrects) en fonction de la situation sur la voie.

Dans le cas du bruit, on se réfère en général au rapport signal/bruit. Pour la propagation par trajets multiples et le bruit, on se réfère au profil d'étalement des temps de propagation et aux taux d'évanouissement, ainsi qu'au rapport signal/bruit moyen. Pour les bruits impulsionnels, on s'appuie sur la puissance impulsionnelle de crête, la largeur d'impulsion et le taux de répétition des impulsions. D'une manière générale, la fiabilité des données détermine la zone de couverture et dépend du niveau d'application.

7 Exemples d'applications

Un certain nombre d'éléments doivent être considérés comme caractéristiques minimales dans la définition des spécifications génériques d'un service de radiodiffusion de données en modulation de fréquence.

- **Voies de service I1:** Voie de service offrant une forte capacité de gestion des accès à un service donné à partir d'un terminal d'utilisateur final (syntonisation automatique, localisation des services, ...).
- **Services de transfert de fichiers I2:** Il est souhaitable que le système puisse gérer les transferts de fichiers en transparence, de telle sorte que l'on puisse disposer d'une large gamme d'applications reposant par exemple sur les logiciels courants des ordinateurs personnels.

- **Services en temps réel I3:** Dans le cas de certains services, il peut être nécessaire d'avoir la garantie d'un fonctionnement soit en temps réel, soit dans des délais garantis (cas, par exemple, du GPS différentiel - DGPS).
- **Accès conditionnel I4:** L'accès conditionnel est fondamental pour les services commerciaux.

NOTE – Multiplexage de services: un système d'identification et de gestion des services offre une grande souplesse lorsque l'on cherche à radiodiffuser plusieurs services ensemble.

La compatibilité avec les futurs services DBL doit être prise en compte.

Si l'on considère la définition générique d'un système de radiodiffusion quelconque (interface systèmes ouverts OSI à sept couches), les sept éléments fondamentaux peuvent être obtenus dans le cadre d'une approche commune des interfaces des couches 3 (I1), 4 (I3, I4) et 5 (I2).

Cette observation est à la base de toute discussion plus poussée et, pour résumer, on peut dire qu'une norme universelle doit être articulée sur les interfaces requises.

Les sections qui suivent offrent quelques exemples d'applications spécifiques déjà en service ou à l'essai et indiquent celles des caractéristiques définies dans les sections précédentes qui apparaissent les plus importantes pour chacune de ces applications.

7.1 Système de transport intelligent (STI)

Dans un système de transport intelligent, la transmission des informations relatives au transport fait intervenir plusieurs types de données. Les données de type 1 se rapportent aux textes adressés à des récepteurs portatifs dotés de petits écrans d'affichage. En général, ces textes ont une longueur comprise entre 10 et 100 octets. Les données de type 2 sont utilisées pour les textes plus longs ou les informations graphiques (cartes routières simples adressées aux récepteurs mobiles installés à bord de véhicules dans le cas par exemple de situations d'embouteillages). Ici, les volumes de données sont en général compris entre 100 et 5 000 octets. Enfin, les données de type 3 sont associées aux données et informations codées transparentes destinées à la navigation et notamment aux installations embarquées à forte mémoire (CD-ROM) (cartes routières détaillées par exemple).

Les besoins en données sont très variables. Dans un système DGPS, par exemple, les données, de type 3, doivent être transmises très rapidement (< 10 secondes) à raison de plusieurs dizaines de milliers d'octets par seconde. La mise à jour des bases de données (position d'un autocar, situation routière, etc.) se fait par messages de 10 à 20 octets. Du fait que ce sont ces actualisations fréquentes des bases de données qui permettent aux conducteurs de véhicules de déterminer le meilleur itinéraire, et que tout retard de transmission dans l'information peut ainsi se traduire par des décisions individuelles incorrectes et, au niveau d'un réseau autoroutier, par d'importants problèmes de circulation, il est manifeste que le temps de transmission d'extrémité à extrémité est un paramètre critique dans une telle application STI. En général, les messages d'actualisation des bases de données sont transmis à intervalles réguliers mais, en raison de l'importance même du volume de données considéré, la non-réception d'un seul message d'actualisation pour cause d'erreur sur la voie, avec sa conséquence - la nécessité, pour l'utilisateur, d'attendre le message suivant - entraîne en fait des retards réels plus importants et donc des perturbations de la circulation routière.

Les caractéristiques suivantes sont extrêmement importantes pour les applications STI:

- fiabilité des données dans des conditions d'évanouissement sur trajets multiples et en présence de bruit;
- fiabilité des données en présence de bruit impulsionnel;
- temps de propagation d'extrémité à extrémité;
- débit de données d'information;
- temps d'acquisition de la synchronisation;
- capacité de détection et de correction d'erreur;
- coûts et risques de l'application;
- normalisation.

Dans l'évaluation des systèmes envisagés pour une telle application, ces caractéristiques devront être considérées en priorité. Ainsi, la comparaison des systèmes retenus se fera avant tout sur la base de ces éléments.

7.2 Radiorecherche

En radiorecherche, on diffuse des paquets de données relativement courts à destination de récepteurs personnels. L'une des caractéristiques les plus importantes, dans toute application de radiorecherche, est l'efficacité des systèmes d'économie d'énergie électrique, puisque le système principal d'alimentation des récepteurs personnels est par nature extrêmement limité.

Par ailleurs, les récepteurs personnels sont en général dotés d'antenne de rendement fort médiocre. Pour assurer la fiabilité d'un service de radiorecherche, il faut prévoir une retransmission des données, soit sur la même porteuse, soit sur d'autres porteuses. Il en résulte une diminution du débit efficace - mais, en la matière, les besoins ne sont pas aussi impératifs que pour d'autres applications.

Les caractéristiques suivantes sont importantes pour les applications de radiorecherche:

- cycle de service réduit (économie d'énergie);
- coût de mise en oeuvre;
- adressage des récepteurs;
- fonctions de réseautage des émetteurs;
- détection et correction d'erreur.

7.3 Données continues

Pour certaines applications, que l'on pourrait classer dans une catégorie intitulée "données continues", les données à transmettre ne font intervenir aucune segmentation au niveau de la couche physique ou même de la couche liaison de données: toute fragmentation éventuelle se fait au niveau d'une couche située plus haut dans la pile de protocoles. Par ailleurs, une telle segmentation est transparente aux frontières naturelles des données au niveau de la couche physique et de la couche liaison de données, selon les spécifications des systèmes considérés ici. Les applications de données continues font souvent - mais pas toujours - intervenir des signaux de niveau élevé émanant d'émetteurs de forte puissance dotés d'antennes à gain élevé et couvrant d'importantes zones de service.

Pour ces applications, les caractéristiques les plus importantes sont les suivantes:

- débit de données d'information;
- fiabilité des données en présence de bruit gaussien;
- fiabilité des données dans des conditions de propagation par trajets multiples et en présence de bruit;
- fiabilité des données en présence de signaux de forte puissance sur des voies adjacentes;
- adressabilité des récepteurs;
- accès conditionnel.

7.4 Interface de transfert de fichiers

Une interface de transfert de fichiers permet d'acheminer des données, par l'intermédiaire d'une liaison point à point ou point à multipoint, entre un fournisseur d'informations et un ou plusieurs récepteurs. Ici, les caractéristiques suivantes sont importantes:

- adressabilité des récepteurs;
- débit de données d'information;
- accès conditionnel;
- capacité à fonctionner dans un réseau de services de données.

7.5 Informations sous forme de textes

Les informations fournies sous forme de textes - actualités, bulletins météorologiques, programmes musicaux et autres programmes informationnels - représentent l'une des plus importantes applications d'un système de multiplexage en radiodiffusion MF. De tels services exigent un niveau de fiabilité élevé (protection contre les erreurs de transmission) et doit donc faire intervenir des méthodes de correction et de détection d'erreur puissantes.

7.6 Informations relatives aux situations d'urgence

Les informations communiquées en situation d'urgence (avis de tremblement de terre, de gros temps ou de tsunami) représentent l'une des applications importantes d'un système de multiplexage sur voie radiophonique MF. Lorsque des informations urgentes sont transmises sur un programme radiophonique en modulation de fréquences, les récepteurs éventuellement syntonisés sur une autre station affichent automatiquement ces informations.

7.7 GPS différentiel

[A compléter.]

8 Exemples de systèmes

Le Tableau 2 résume les caractéristiques de trois systèmes.

8.1 Système A

Le système DARC (voie de données radioélectrique) offre un compromis très acceptable entre le débit, la fiabilité et la largeur de bande occupée pour de nombreuses applications faisant intervenir une sous-porteuse données normalisée. Par conception, ce système minimise les effets de la transmission par trajets multiples et des évanouissements sur la voie, aussi bien dans des conditions de réception stationnaire que dans les environnements mobiles. Un système de correction et de détection d'erreurs à trois variables assure, sur tous types de récepteur, une réception pour ainsi dire sans erreur.

Le système DARC permet d'envisager les applications suivantes:

- affichage d'informations sur le récepteur, sous forme de pages de texte et de graphiques multiples: programmes radiophoniques, actualités, sports, météorologie, navigation, avis aux voyageurs, etc.;
- actualisation de bases de données informatiques et transfert de fichiers;
- système de radiorecherche et de messagerie à récepteurs portatifs et accès conditionnel (adressabilité des récepteurs);
- données de correction DGPS pour récepteurs portatifs et mobiles.

La méthode de modulation par déplacement minimal avec asservissement de niveau (MDMAN) du système DARC permet d'utiliser des récepteurs simples et plus onéreux.

Le système DARC dépasse les spécifications de la présente Recommandation de l'UIT-R. Les spécifications de la sous-porteuse MF de ce système sont connues (voir la Recommandation UIT-R BS.1194, Norme ETSI 300 751 et l'Appendice 1).

8.2 Système B

Le système HSDS (High Speed Data System - système de transmission rapide de données) repose sur un protocole de communication unidirectionnel souple permettant d'utiliser de très petits récepteurs dont le cycle de service peut varier de 100% à moins de 0,01%. Le système permet de choisir le temps de transmission des messages, le débit de données et la durée de vie des piles. Il peut fonctionner avec un émetteur unique ou avec de multiples émetteurs. Dans le cas d'un système à émetteur multiple, on fait intervenir des récepteurs à agilité de fréquence et on procède à des transmissions décalées dans le temps (selon une liste des fréquences utilisables). La fiabilité peut être accrue par une retransmission des paquets.

Le système repose sur un multiplexage par répartition dans le temps, et sa structure comprend trois éléments: trame principale, sous-trame et intervalle de temps. Chaque intervalle de temps sert à transmettre un seul paquet de données. Dans les systèmes à émetteurs multiples, chaque trame principale est synchronisée sur le temps universel coordonné (UTC).

Le système de correction d'erreur dépend de l'application.

Dans le système HSDS, la modulation et le codage donnent un débit de données élevé en bande étroite: le rendement spectral est excellent, et l'incidence sur la voie principale est négligeable. La modulation est une modulation d'amplitude par déplacement de phase (MDP) avec codage duobinaire. Le débit de données sur la voie est de 19 000 bit/s.

L'excursion peut être comprise entre 3,75 et 7,5 kHz. Des filtres de transmission à forte pente réduisent les répercussions sur la voie principale dans des situations de propagation par trajets multiples. Les données étant pseudo-aléatoires, l'incidence audio est réduite même dans le cas d'une propagation par trajets multiples. La bande étroite garantit la compatibilité avec le RDS et respecte les dispositions de la Recommandation UIT-R BS.450. On trouvera des informations plus détaillées sur ce système dans l'Appendice 2.

8.3 Système C

Le système STIC (Sub-carrier Transmission Information Channel) a été conçu aux Etats-Unis pour le Département des transports dans le cadre du système d'acheminement intelligent (STI). Il a été optimisé pour la radiodiffusion de données STI à destination de récepteurs installés à bord de véhicules. Ce système fait intervenir une modulation MDP4

différentielle sur une sous-porteuse à 72,2 kHz avec un débit de symboles de 9 025 symboles par seconde (18 050 bit/s). La correction d'erreur directe se fait par concaténation (codage convolutif avec décodage de Viterbi, codage Reed-Solomon et deux entrelaceurs).

La concaténation du codage confère au système une grande fiabilité dans des conditions de réception par trajets multiples et de bruit, tout particulièrement pour les longs messages. Le système offre un débit net de 7 600 bit/s, avec une capacité de réserve pour les données à transmission rapide, selon la structure de trame choisie (la voie de transmission rapide réservée aux GPS différentiels ou aux messages prioritaires d'urgence).

Le système est compatible avec le RDS ainsi qu'avec le canal stéréo principal. Il est également compatible avec l'accès conditionnel et l'adressabilité des récepteurs, sans offrir explicitement ses fonctions.

La structure des paquets autorise les configurations à multiples fournisseurs de services. Les paquets présentant une longueur importante, l'identification du fournisseur de service est extrêmement efficace en termes de capacité de débit de données.

Les améliorations prévues permettront d'abaisser la consommation électrique et d'envisager des débits de données plus élevés. Pour de plus amples informations, se reporter à l'Appendice 3.

TABLEAU 2

Principales caractéristiques des systèmes

| | Système A (Rec. UIT-R BS.1194) | Système B | Système C |
|--|---|--|---|
| Paramètres | | | |
| Fréquence de la sous-porteuse | 76 kHz | 66,5 kHz | 72,2 kHz |
| Largeur de bande | 44 kHz (-40 dB) | 16 kHz (60 à 76 kHz à -60 dB) | 16 kHz (-50 dB) |
| Débit binaire données sur la voie | 16 kbit/s | 19 kbit/s | 18,05 kbit/s |
| Débit données d'informations | Méthode A - 6,83 kbit/s Méthode B - 6,95 kbit/s Méthode C - 9,78 kbit/s | Paquets - 10,51 kbit/s Petits blocs - 8,3 kbit/s | 7,6 kbit/s + données à transmission rapide |
| Méthode de modulation | MDMAN | Modulation d'amplitude duobinaire sur la porteuse, suppression de la double bande latérale | MDP4 différentielle $\pi/4$ |
| Correction d'erreur | Code produit (272, 190) | Paquets-Hamming entrelacé (12, 8) petits blocs - Paquets étalés dans le temps, Hamming additionnel | Reed-Solomon (243, 228) + code convolutif 1/2 |
| Détection d'erreur | CRC, 14 bits | CRC, 16 bits | Décodage Reed-Solomon |
| Niveau d'application | de 3 kHz à 7,5 kHz | 3,75 kHz à 7,5 kHz nominal 7,5 kHz | nominal 7,5 kHz |
| Caractéristiques additionnelles | | | |
| Economie d'énergie | Oui, récepteurs récents | Oui, cycle de service de 0,01% à 100% | |
| Adressabilité des récepteurs | Oui | Oui | Oui |
| Différents types de données | Oui | Oui | Oui |
| Services additionnels en sous-porteuse | Non | Oui | Oui |
| Accès de stations multiples | Oui | Oui, y compris transmissions décalées dans le temps pour radiorecherche | Oui |

TABLEAU 2 (CONTINUATION)

Principales caractéristiques des systèmes

| | Système A (Rec. UIT-R BS.1194) | Système B | Système C |
|--|--|----------------------|--------------------|
| Caractéristiques de compatibilité | | | |
| Programme audio | voir la Recommandation UIT-R BS.1194 (Section 2, Annexe 2) | voir L'Appendice 2 | voir l'Appendice 3 |
| Rapport de protection | voir la Recommandation UIT-R BS.1194 (Section 4, Annexe 2) | voir l'Appendice e 2 | voir l'Appendice 3 |
| RDS | voir la Recommandation UIT-R BS.1194 (Section 3, Annexe 2) | voir l'Appendice 2 | |
| Recommandation UIT-R BS.450 | (Fréquence de sous-porteuse, voir la Note 1) | Intégralité | |
| Services de radio navigation aéronautique | | | |
| Audio trajets multiples | voir la Recommandation UIT-R BS.1194 (Annexe 2) | voir l'Appendice 2 | |
| Capacité rediffusion? | Oui | Oui | Oui |
| Caractéristiques de qualité de fonctionnement | | | |
| TEB (Gaussien) | voir la Recommandation UIT-R BS.1194 (Section 1, Annexe 2) | voir l'Appendice 2 | voir l'Appendice 3 |
| TEB (trajets multiples et évanouissement) | voir la Recommandation UIT-R BS.1194 (Section 1, Annexe 2) | voir l'Appendice 2 | voir l'Appendice 3 |
| TEB (bruit impulsionnel) | | | |
| Temps minimal de propagation | | | |
| Taux d'erreur sur messages pour des messages de longueur variable dans des conditions de propagation par trajets multiples | | voir l'Appendice 2 | voir l'Appendice 3 |

NOTE 1 – des directives concernant les fréquences de sous-porteuse et les niveaux d'application sont fournies dans la Recommandation UIT-R BS.450. Un grand nombre de valeurs de rapport de protection ont été utilisées dans le cas du Système A.

APPENDICE 1

Description du Système A

1 Système A

Le système DARC (voie de données radioélectrique) offre un compromis très acceptable entre le débit, la fiabilité et la largeur de bande occupée pour de nombreuses applications faisant intervenir une sous-porteuse données normalisée. Par conception, ce système minimise les effets de la transmission par trajets multiples et des évanouissements sur la voie, aussi bien dans des conditions de réception stationnaire que dans les environnements mobiles. Un système de correction et de détection d'erreurs à trois variables assure, sur tous types de récepteur, une réception pour ainsi dire sans erreur.

Le DARC permet d'envisager les applications suivantes:

- affichage d'informations sur le récepteur, sous forme de pages de textes et de graphiques multiples: programmes radiophoniques, actualités, sports, météorologie, navigation, avis aux voyageurs, etc.;
- actualisation de bases de données informatiques et transferts de fichiers;
- système de radiorecherche et de messagerie à récepteurs portatifs et accès conditionnel (adressabilité des récepteurs);
- données de correction DGPS pour récepteurs portatifs et mobiles.

La méthode de modulation par déplacement minimal avec asservissement de niveau (MDMAN) du système DARC permet d'utiliser des récepteurs simples et peu onéreux.

Le système DARC excède les spécifications de la présente Recommandation de l'UIT-R. Les spécifications de la sous-porteuse MF de ce système sont connues (voir la Recommandation UIT-R BS.1194 et la norme ETSI ETS 300 751).

APPENDICE 2

Description du Système B

1 Introduction

Le système HSDS (High Speed Data System - système de transmission rapide de données) repose sur un protocole de communication unidirectionnel souple permettant d'utiliser de très petits récepteurs dont le cycle de service peut varier de 100% à moins de 0,01%. Le système permet de choisir le temps de transmission des messages, le débit de données et la durée de vie des piles. Il peut fonctionner avec un émetteur unique ou avec de multiples émetteurs. Dans le cas d'un système à émetteurs multiples, on fait intervenir des récepteurs à agilité de fréquence, et on procède à des transmissions décalées dans le temps, selon la liste des fréquences utilisables. La fiabilité peut être accrue par une retransmission des paquets.

Le système repose sur un multiplexage par répartition dans le temps et une structure à trois éléments: trame principale, sous-trame et intervalle de temps. Chaque intervalle de temps sert à transmettre un seul paquet de données. Dans les systèmes à émetteurs multiples, chaque trame principale est synchronisée sur le temps universel coordonné (UTC).

Le système de correction d'erreur dépend de l'application.

Dans le système HSDS, la modulation et le codage donnent un débit de données élevé en bande étroite: le rendement spectral est excellent, et l'incidence sur la voie principale est négligeable. La modulation est une modulation d'amplitude par dépassement de phase (MDP) avec codage duobinaire. Le débit de données sur la voie est de 19 000 bit/s.

L'excursion peut être comprise entre 3,75 et 7,5 kHz. Des filtres de transmission à forte pente réduisent les répercussions sur la voie principale dans des situations de propagation par trajets multiples. Les données étant pseudo-aléatoires, l'incidence audio est réduite même dans le cas d'une propagation par trajets multiples. La bande étroite garantit la compatibilité avec le RDS et respecte les dispositions de la Recommandation UIT-R BS.450.

Voir également le Document 10B/46 (septembre 1995) pour une brève description de ce système.

2 Couche physique

2.1 Modulation

Le système de modulation du HSDS répond aux critères suivants:

- aucun brouillage occasionné aux récepteurs radio MF;
- compatibilité avec la Recommandation de l'UIT-R;
- simplicité des circuits intégrés du démodulateur;
- récepteurs mobiles peu onéreux et peu encombrants;

- taux d'erreur sur les bits satisfaisant en présence de bruit;
- zone de couverture satisfaisante du point de vue commercial;
- débit de données relativement élevé.

La sous-porteuse (66,5 kHz) est verrouillée en phase sur la fréquence pilote avec un déphasage approximatif de 63°. Le système fonctionne en modulation d'amplitude, avec suppression de la double bande latérale et codage duobinaire. Le codage duobinaire, avec contrôle du brouillage inter-symboles, donne un rendement de 1 bit/sec/Hz. Ce résultat est obtenu par utilisation d'un filtre qui génère un brouillage inter-symboles combinant le bit données actuel et le bit données immédiatement précédent, ce qui donne dans le démodulateur un signal de sortie à trois niveaux.

2.2 Compatibilité avec la voie audio principale

Le signal HSDS est à plus de 60 dB au-dessous de la fréquence pilote à l'extérieur de l'enveloppe de la sous-porteuse et fait intervenir une randomisation des données qui "estompe" tout élément de signal qui serait audible - ce qui empêche toute apparition de tonalité dans la portion audio de la bande. Les figures qui suivent résument les résultats d'essais en laboratoire faisant apparaître la compatibilité avec le canal audio principal dans des conditions de propagation par trajets multiples.

Pour ces essais, le simulateur de voie radioélectrique était réglé en configuration trajets multiples statiques. La Figure 1 représente l'affichage du spectre de bande de base sans évanouissement, et la Figure 2 avec évanouissement et un rapport signal utile/signal brouilleur de 5 dB, un temps de propagation de 8 μ s et un déphasage de 120°.

Dans ce type de conditions, le rapport signal/bruit peut être affecté par la sous-porteuse.

La Figure 3 représente le montage de mesure en laboratoire. Un récepteur doté d'un filtre sélectif de 300 kHz est placé devant l'analyseur audio. L'excursion du signal HSDS est réglée à 5,5 kHz, sauf indication contraire.

Pendant les mesures, on a utilisé diverses valeurs du rapport signal utile/signal brouilleur (5,10 et 15 dB). C'est avec la valeur la moins bonne que la plus forte dégradation du rapport signal/bruit a été observée.

Le diagramme de la Figure 4 représente le rapport signal/bruit audio dans des conditions d'évanouissement avec un rapport signal utile/signal brouilleur de 5 dB. Les différents tracés correspondent à divers temps de propagation par trajets multiples, avec commutation alternée du système HSDS. On constate que la présence du signal HSDS est peu sensible.

FIGURE 1
Spectre de bande de base, sans évanouissement

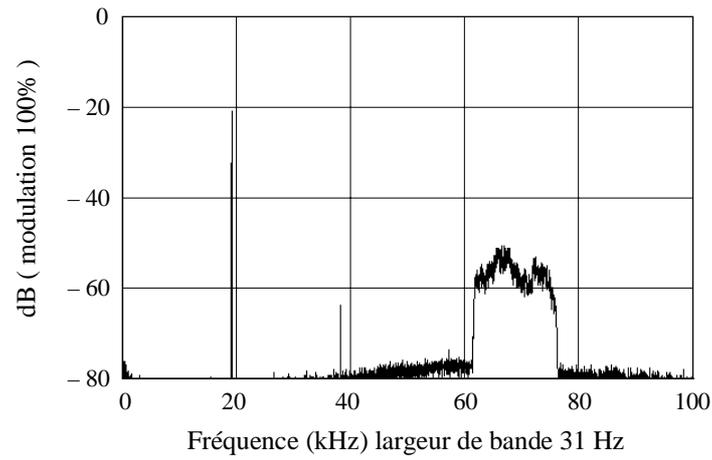


FIGURE 2
Spectre de bande de base, sans évanouissement

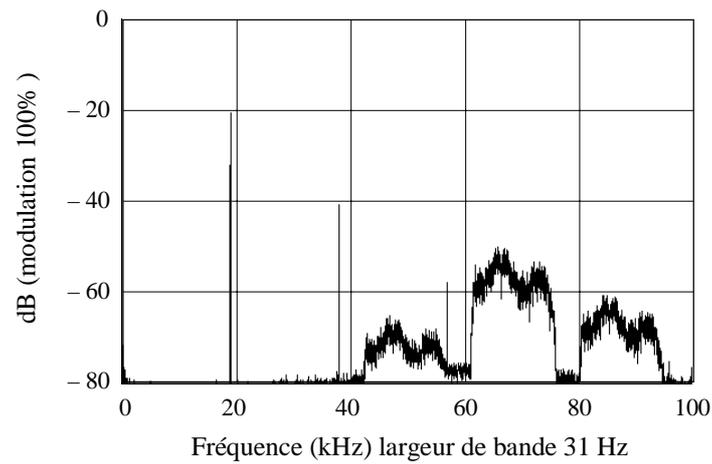
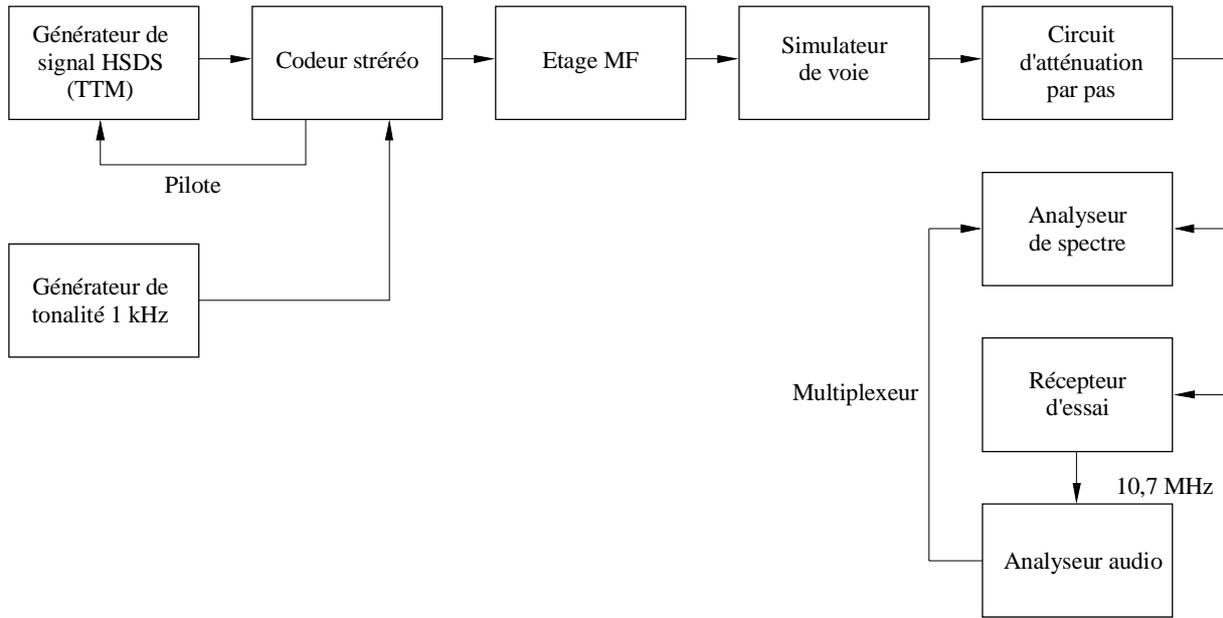


FIGURE 3

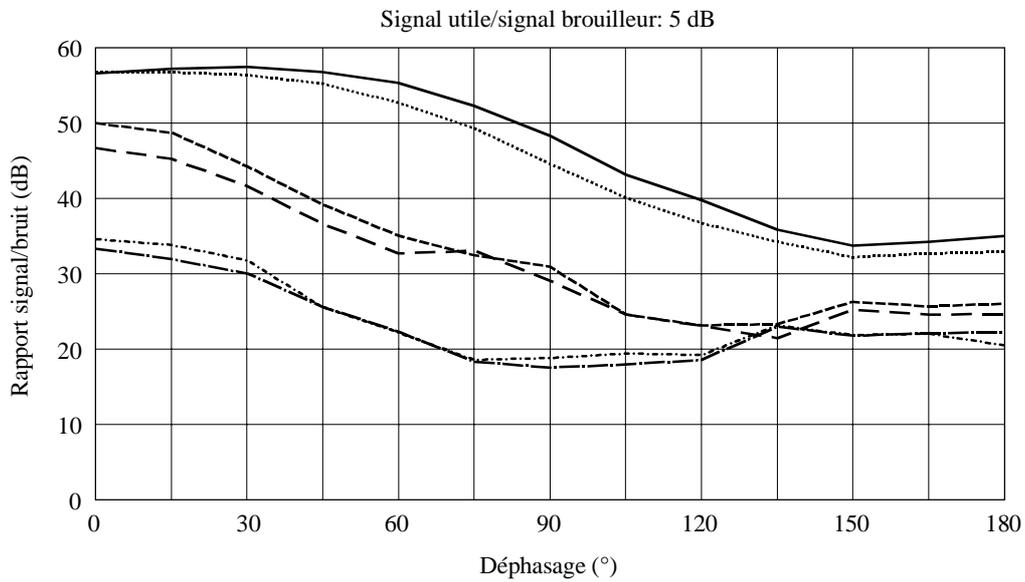
Montage expérimental de mesure du rapport signal/bruit audio



1350-03

FIGURE 4

Rapport signal/bruit en fonction du déphasage dû à la propagation par trajets multiples

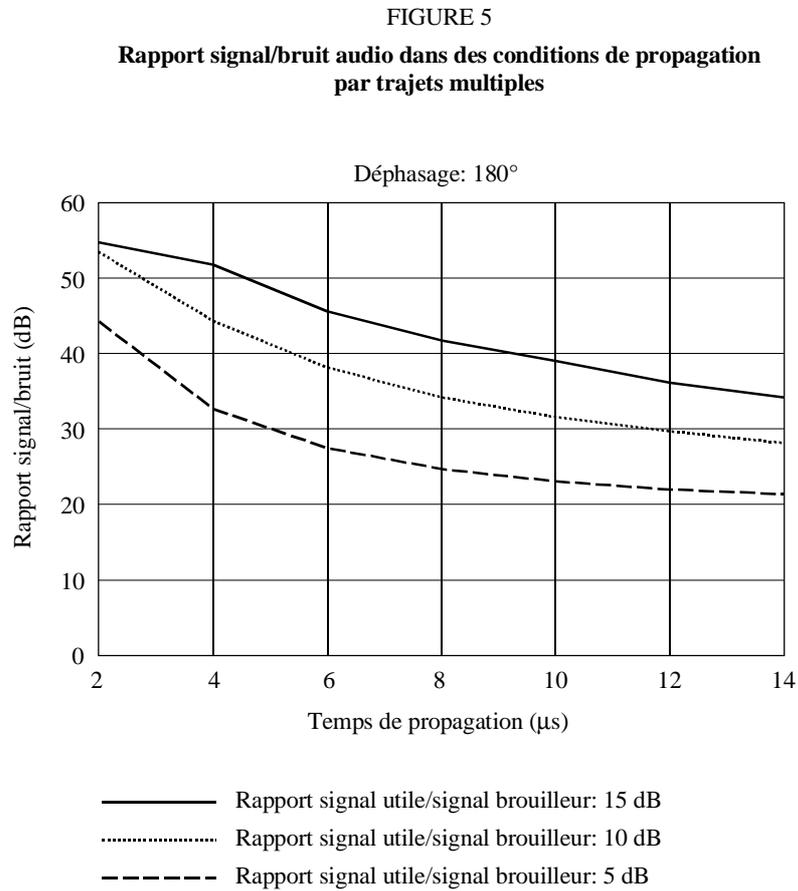


- Temps de propagation = 4 μs, sans HSDS
- Temps de propagation = 4 μs, avec HSDS
- - - - - Temps de propagation = 8 μs, sans HSDS
- - - - - Temps de propagation = 8 μs, avec HSDS
- · - · - Temps de propagation = 12 μs, sans HSDS
- · - · - Temps de propagation = 12 μs, avec HSDS

1350-04

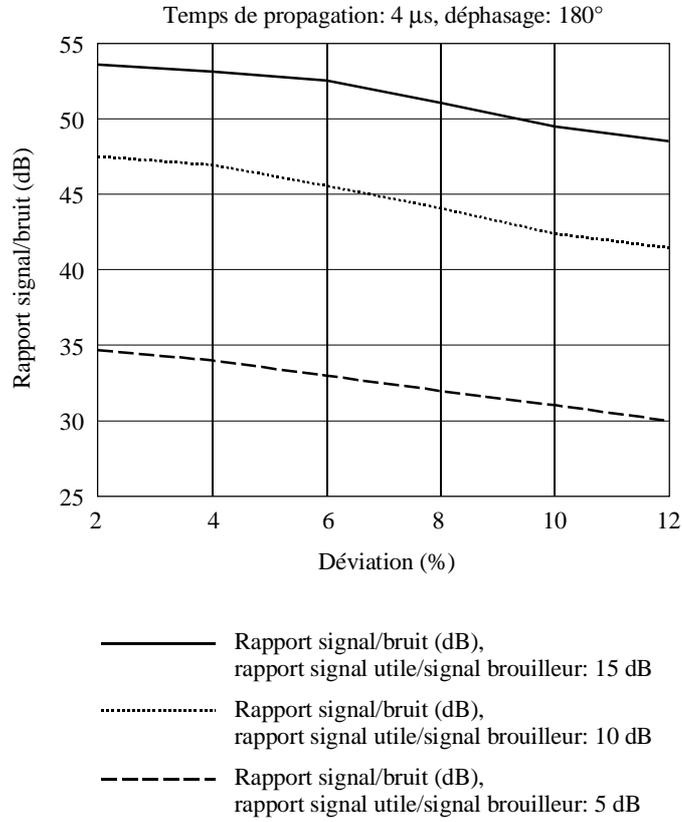
Pendant les mesures, diverses valeurs de déphasage, jusqu'à 180°, ont été utilisées. Comme on peut s'y attendre, le rapport signal/bruit se dégrade parallèlement au déphasage.

La Figure 5 représente la variation du rapport signal/bruit audio en fonction du rapport signal utile/signal brouilleur (3 valeurs différentes ont été utilisées) dans le cas d'un déphasage de 180° dû à une propagation par trajets multiples.



La Figure 6 illustre la variation du rapport signal/bruit audio en fonction de l'excursion, avec un déphasage de 180° (3 valeurs du rapport signal utile/signal brouilleur ont été utilisées).

FIGURE 6
Rapport signal/bruit audio en fonction de l'excursion en fréquence, propagation par trajets multiples

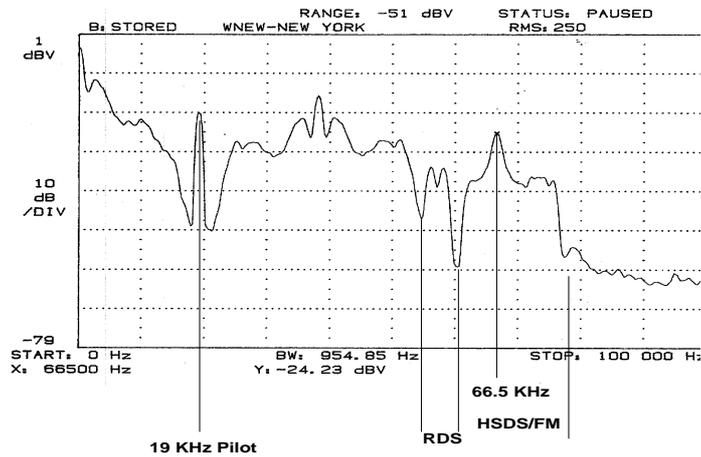


1350-06

2.3 Compatibilité avec le RDS (Recommandation UIT-R BS.643)

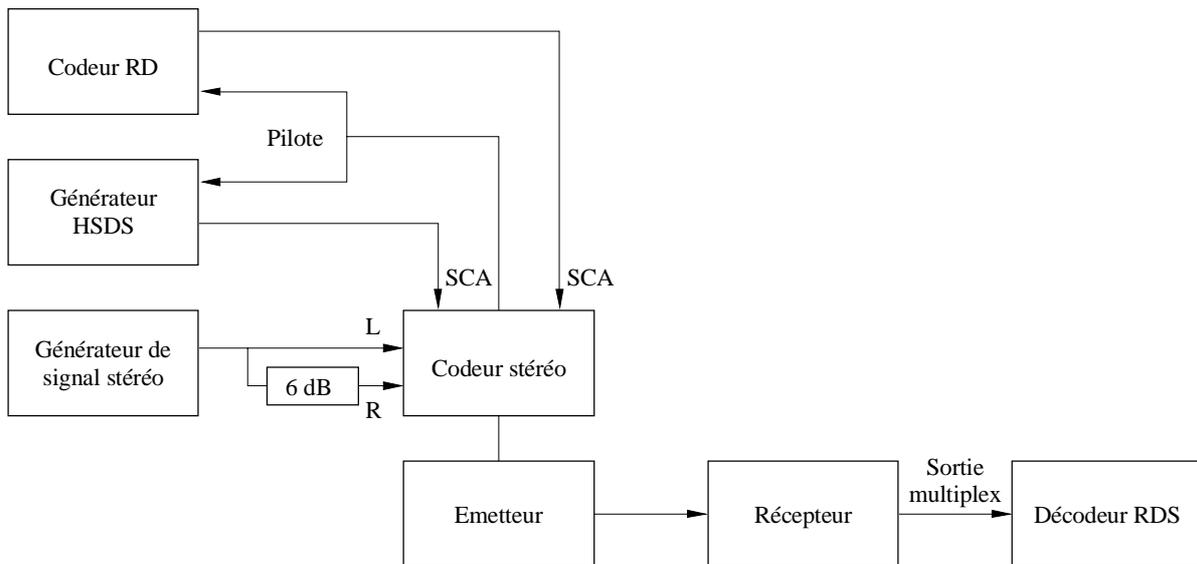
Le graphique de la Figure 7 illustre la compatibilité spectrale avec le RDS.

FIGURE 7
Compatibilité avec le RDS (Recommandation UIT-R BS.643)



Les lignes qui suivent résument les résultats de mesures, effectuées en laboratoire, qui font apparaître la compatibilité entre le HSDS et le RDS. La Figure 8 représente le montage. L'émetteur transmettait des signaux RDS, des signaux HSDS et du bruit coloré. Avec un atténuateur de 6 dB, le signal en sous-porteuse multiplexé était inférieur d'environ 10 dB au signal principal. Les valeurs d'excursion étaient les suivantes: audio, 60 kHz; pilote: 7,5 kHz; RDS: 2 kHz. La sortie multiplex du récepteur était appliquée au décodeur RDS. Le système comportait un dispositif de mesure du taux d'erreur sur les blocs (pourcentage de blocs défectueux au cours des 100 blocs précédents). La procédure consistait à établir la moyenne de 10 mesures de taux d'erreur sur les blocs effectuées en 20 secondes.

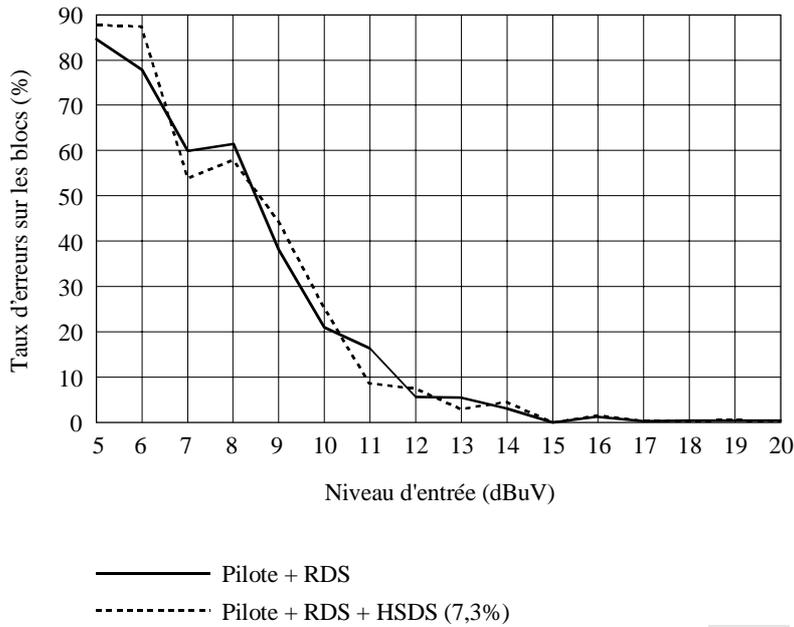
FIGURE 8
Compatibilité avec le RDS: montage de laboratoire



SCA: adaptateur de porteur secondaire

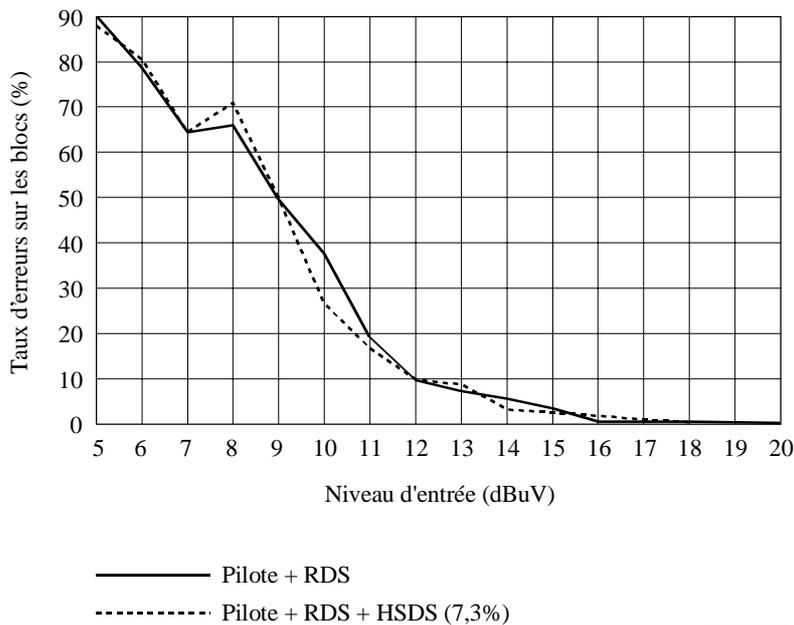
Les Figures 9 à 12 illustrent les résultats des mesures, et font apparaître l'effet de l'excursion en fréquence du signal HSDS (5,5 kHz et 7,5 kHz), ainsi que l'incidence de la présence de la voie audio principale. On constate que le système HSDS n'occasionne aucun brouillage au RDS.

FIGURE 9
Brouillage occasionné par le signal HSDS au signal RDS



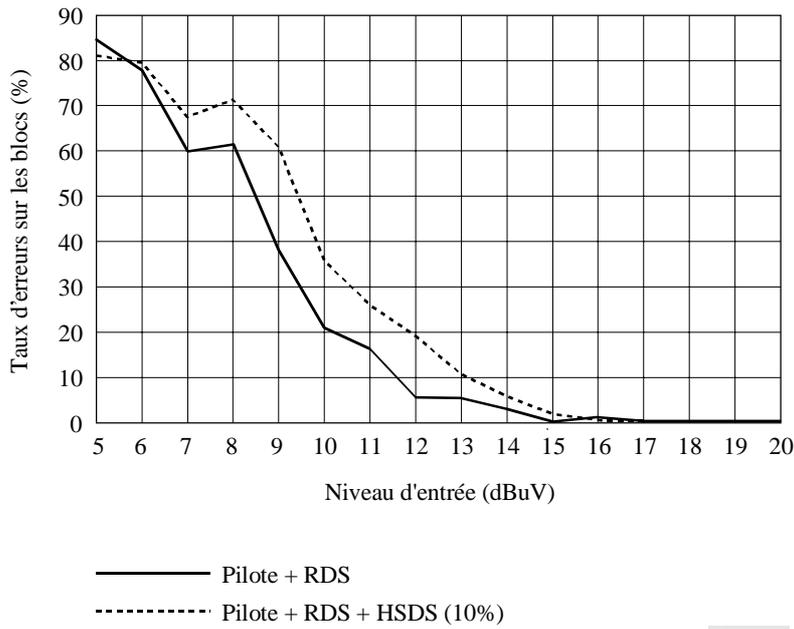
1350-09

FIGURE 10
Brouillage occasionné par le signal HSDS au signal RDS



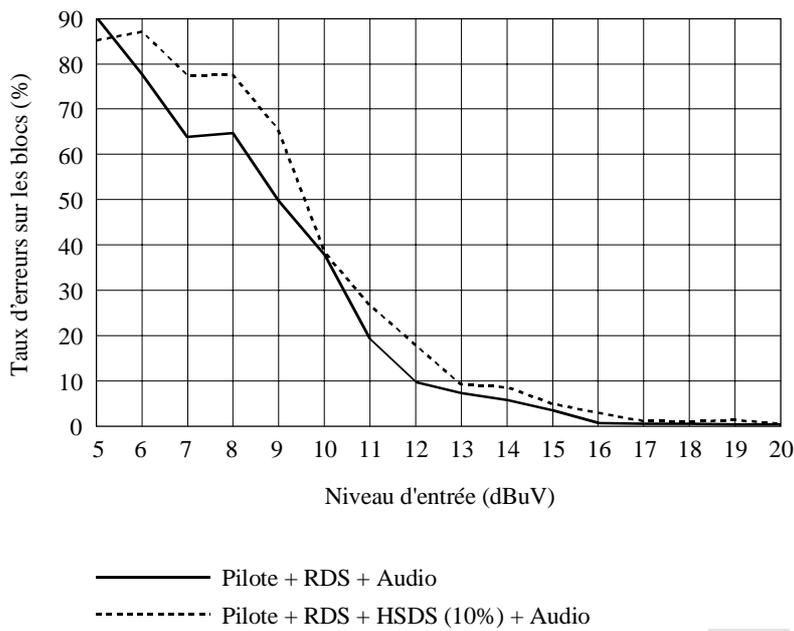
1350-10

FIGURE 11
 Brouillage occasionné par le signal HSDS au signal RDS



1350-11

FIGURE 12
 Brouillage occasionné par le signal HSDS au signal RDS



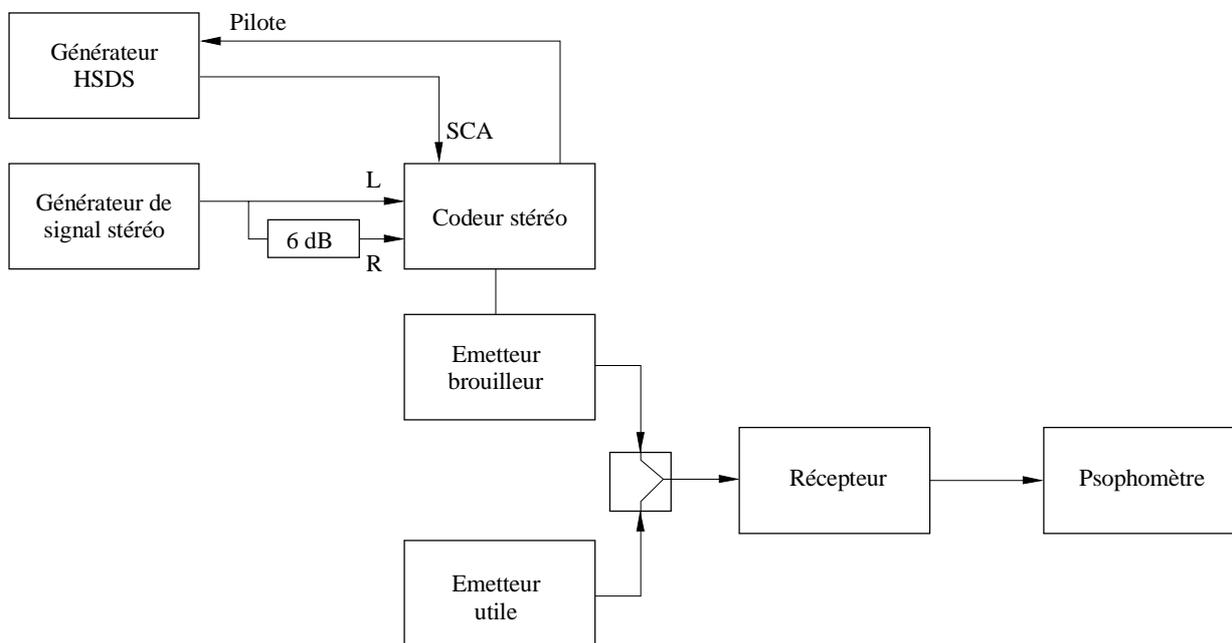
1350-12

2.4 Rapports de protection radiofréquence

Des mesures des rapports de protection audiofréquence ont été effectuées en laboratoire (voir ci-après). Les rapports de protection ont été définis avec des émetteurs stéréophoniques sans limiteurs (ce qui n'est pas la procédure spécifiée dans la Recommandation UIT-R BS.641). Ainsi, le signal brouilleur est beaucoup plus fort, de sorte que les rapports de protection correspondants sont plus contraignants. Les mesures montrent que l'adjonction du signal HSDS n'a aucune répercussion sur les rapports de protection. La Figure 13 représente le montage de mesure.

FIGURE 13

Montage de mesure du rapport de rprotection radiofréquence



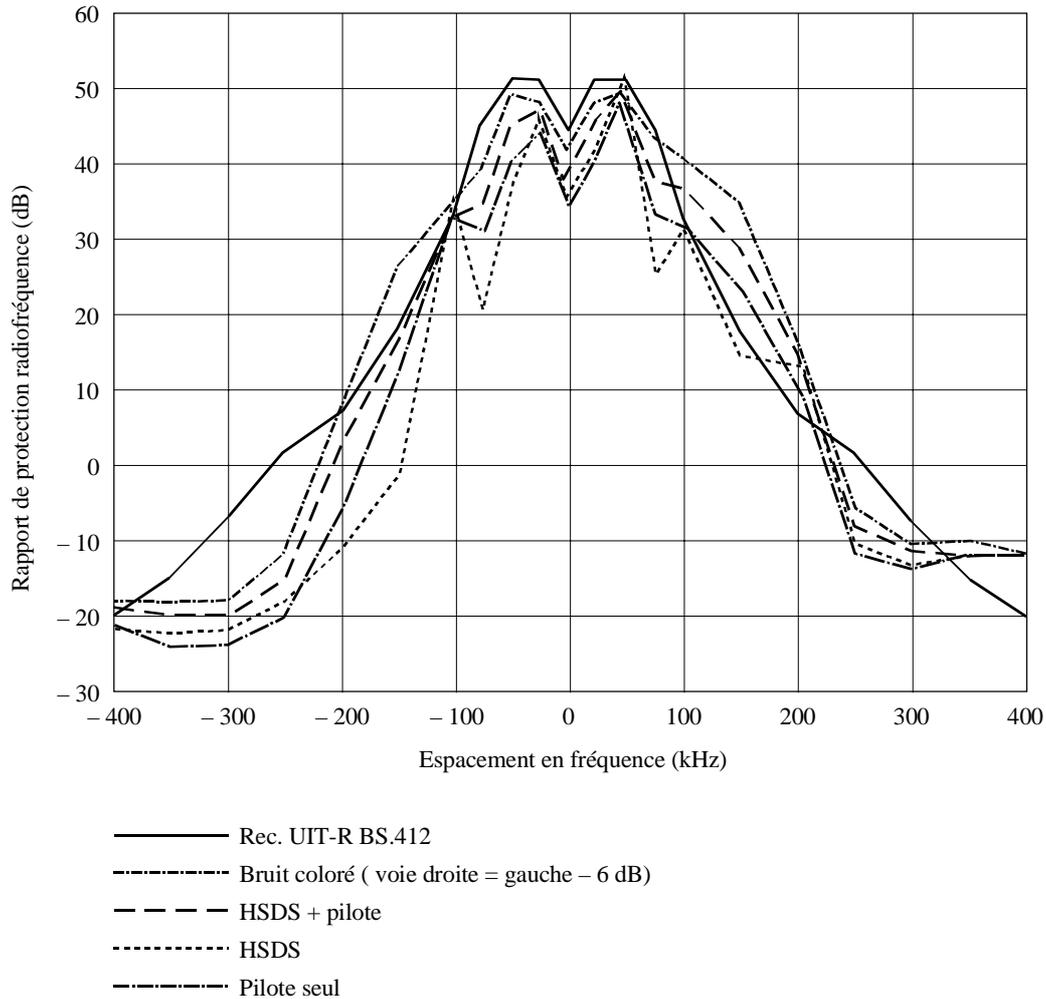
SCA: adaptateur de porteur secondaire

1350-13

L'émetteur brouilleur transmettait du bruit coloré (voir la Recommandation UIT-R BS.559) ou un signal HSDS. Il fonctionnait en mode stéréophonique, c'est-à-dire en conditions réelles de radiodiffusion. L'excursion en fréquence de l'émetteur brouilleur était ajustée par l'intermédiaire d'une tonalité sinusoïdale de 500 Hz donnant une excursion crête à crête de ± 19 kHz. Cette tonalité était ensuite remplacée par un bruit coloré, de niveau efficace égal à l'entrée de la voie droite. L'excursion de l'émetteur utile était ajustée à l'aide d'une tonalité sinusoïdale de 500 Hz donnant une excursion crête à crête de ± 40 kHz, supprimée pendant les mesures. L'excursion du signal HSDS était fixée à 5,5 kHz, valeur courante aux Pays-Bas. Le niveau de sortie de l'émetteur utile était de 57 dB μ V. Le premier récepteur utilisé était un modèle professionnel Studer (A764), le second un produit Philips grand public (FT9410). Les résultats obtenus sont reproduits aux Figures 14 et 15, qui font apparaître que le signal HSDS n'a aucune incidence sur les rapports de protection radiofréquence.

FIGURE 15

Rapport de protection radiofréquence



1350-15

3 Couche liaison

La couche liaison assure les fonctions requise pour assurer la fiabilité de la transmission de données à partir d'un seul émetteur (structure de trame et structure de paquet - dimension, synchronisation des mots, détection et correction d'erreur).

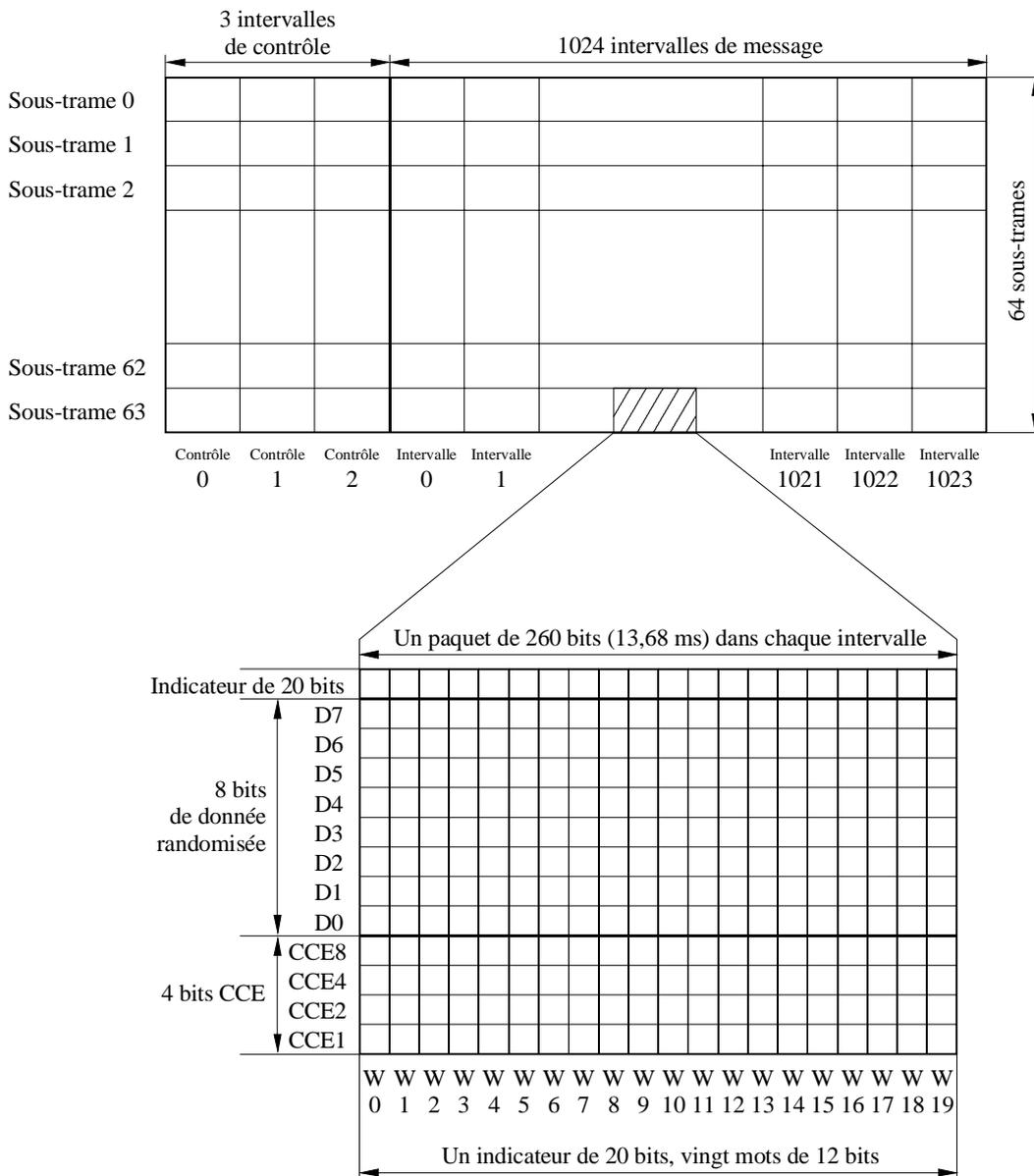
3.1 Structure des paquets

Dans le système HSDS, les paquets de données ont une longueur fixe. La Figure 16 illustre la structure utilisée dans le Protocole HSDS. Chaque paquet comprend 260 bits. Chaque paquet comporte des bits de format qui définissent la structure du paquet. Un paquet type se compose d'un indicateur de synchronisation de mot, d'un code de correction d'erreur (CCE), de bits d'information et d'un code de détection d'erreur.

Les bits d'information des couches supérieures comportent 18 octets (8 bits par octet). Une vérification de redondance cyclique sur 16 bits (norme UIT-T à deux octets) est générée à partir des 18 octets puis rajoutée au paquet, de sorte que l'unité de données sur la liaison comprend 20 octets. Le premier octet (incrémenté d'intervalle) de l'unité de données de 20 octets est associé à chacun des 19 octets restants par une relation "ou exclusif", ce qui donne des données pseudo-randomisées propres à minimiser les distorsions du signal dues par exemple à une réception par trajets multiples, etc.

A chaque octet de données randomisées, on rajoute 4 bits de CCE Hamming. Cette méthode de correction d'erreur assure la détection et la correction des erreurs sur 12 bits: cette capacité de correction s'établit donc à 8,3%, valeur raisonnable facilitant le décodage.

FIGURE 16
Structure de trame et de paquet



1350-16

Pour accroître la capacité de correction d'erreur en séquence, on entrelace les données, ce qui permet d'obtenir une protection contre des séquences de 20 bits erronés. La synchronisation des mots est établie par un indicateur (séquence de 20 bits) au début du paquet. Le Tableau 1 résume la procédure suivie au niveau du codeur de l'émetteur et la procédure inverse suivie au niveau du décodeur du récepteur.

On procède actuellement à l'essai d'un système de double correction d'erreurs sur un flux de paquets (petits blocs) pour des applications moins exigeantes en consommation électrique mais plus contraignantes au niveau de la fiabilité des données.

TABLEAU 1

Structuration des paquets: codage et décodage

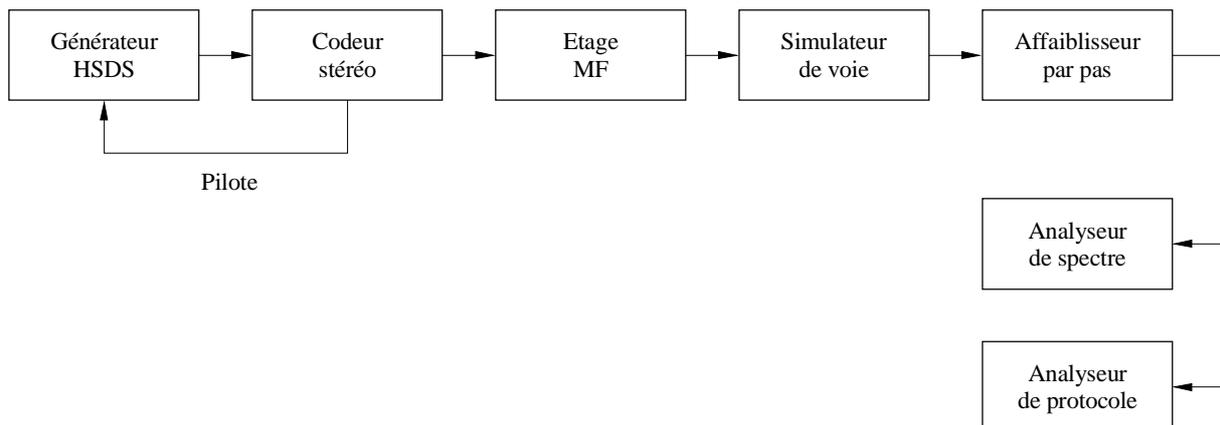
| Phase | Codage à l'émission | Décodage à la réception |
|-------|---|---|
| 1 | Détermination et adjonction de la redondance cyclique | Repérage de l'indicateur |
| 2 | Randomisation des données | Désentrelacement des données |
| 3 | Adjonction de la correction d'erreur | Application de la correction d'erreur |
| 4 | Entrelacement des données | Dérandomisation des données |
| 5 | Adjonction de l'indicateur | Calcul et comparaison de la redondance cyclique |

3.2 Comportement qualitatif (taux d'erreur sur les bits)

Le taux d'erreur sur les bits (TEB) sans évanouissement et dans des conditions d'évanouissement a été évalué à l'aide du montage illustré ci-dessous (Figure 17). Pendant les mesures, la porteuse principale n'acheminait aucune modulation audio.

FIGURE 17

Montage de mesures du TEB en laboratoire



1350-17

Pour les mesures sans évanouissement, le simulateur de voie radioélectrique (HP 11759C) était mis hors service. Pour les mesures avec évanouissement, on utilisait une voie de Rayleigh à 4 prises, simulant une vitesse de déplacement de véhicule de 80 km/h. Les valeurs de prise (indiquées au Tableau 2) représentaient les conditions de conduite sur les routes de campagne hollandaises.

TABLEAU 2

Valeurs des prises du simulateur de voie radioélectrique

| Prise numéro | Retard (μ s) | Affaiblissement (dB) |
|--------------|-------------------|----------------------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 0,15 | 6 |
| 3 | 0,50 | 7 |
| 4 | 3,35 | 15 |

La Figure 18 représente le TEB du système HSDS (sans évanouissement) en fonction du niveau d'entrée du signal pour des valeurs d'excursion en fréquence de 5,5 et 7,5 kHz. La Figure 19 représente le TEB du système dans des conditions d'évanouissement, en valeurs moyennes.

3.3 Comportement qualitatif: taux de reconstitution des paquets

En raison de l'étalement statistique des erreurs sur les bits, les altérations des paquets de données sont variables. Certains paquets peuvent être récupérés par rétablissement après erreur. La structure des paquets a déjà été décrite. Le taux de reconstitution des paquets (Packet Completion Rate (PCR)) permet de mesurer l'efficacité de l'acheminement des données en présence d'erreurs sur les bits.

Le comportement PCR du système HSDS en fonction du niveau d'entrée du signal sans évanouissement et avec évanouissement a été mesuré à l'aide du montage déjà décrit à la Figure 17. Les Figures 20 et 21 illustrent respectivement la variation du PCR sans évanouissement et avec évanouissement (pour des excursions en fréquence de 5,5 et 7,5 kHz).

FIGURE 18
Variation du TEB, sans évanouissement

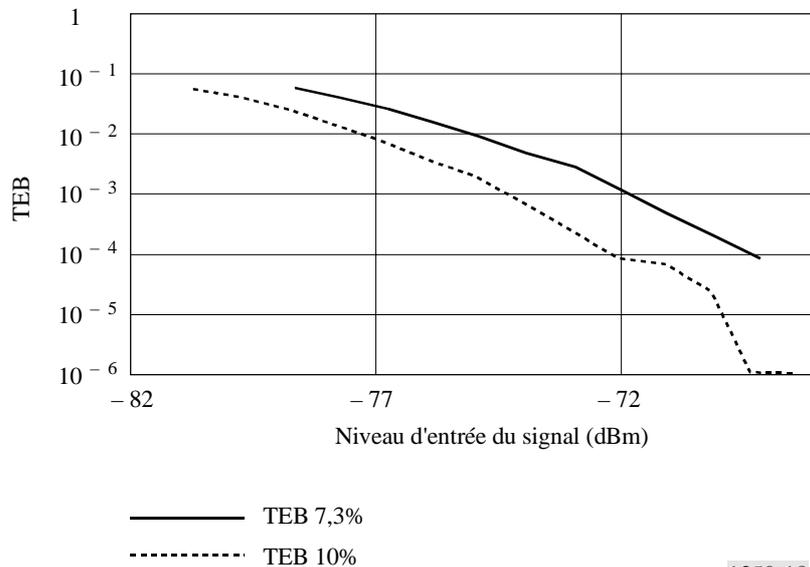
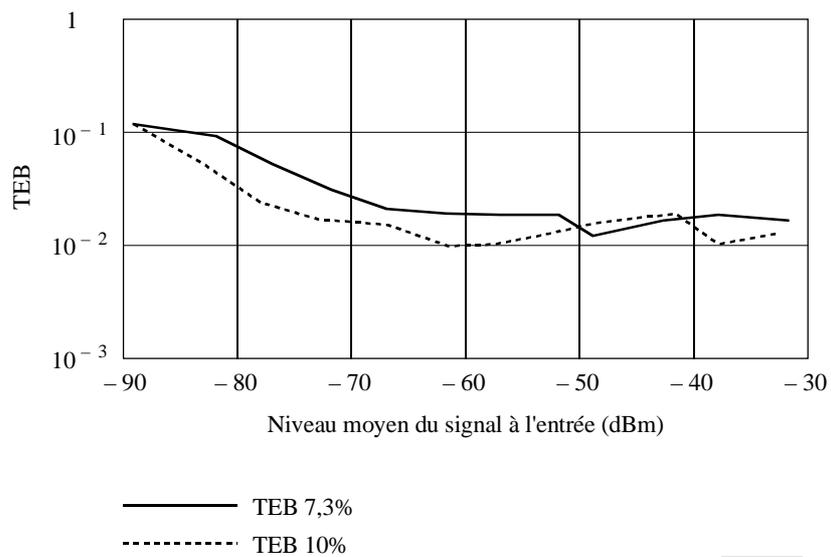
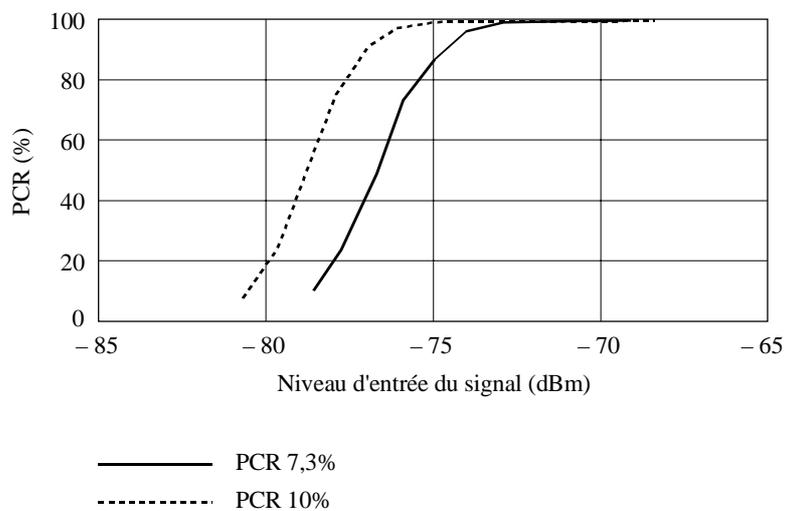


FIGURE 19
Variation du TEB, avec évanouissement



1350-19

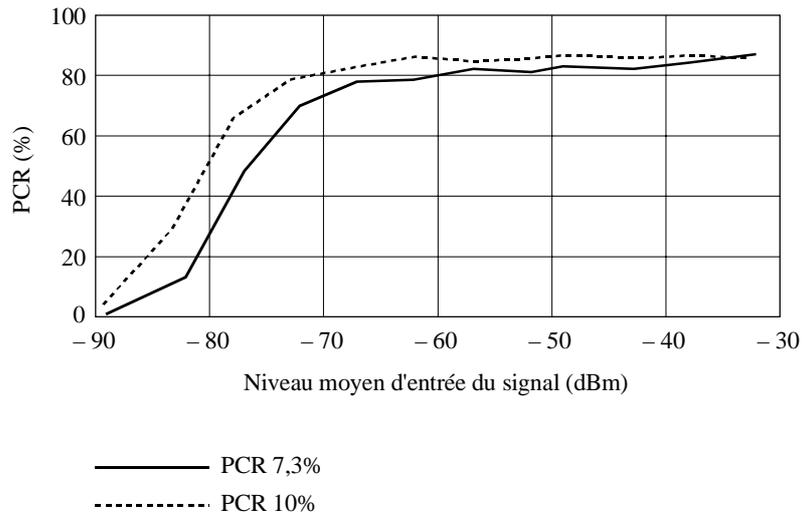
FIGURE 20
Taux de reconstitution des paquets, sans évanouissement



1350-20

FIGURE 21

Taux de reconstitution des paquet, avec évanouissement



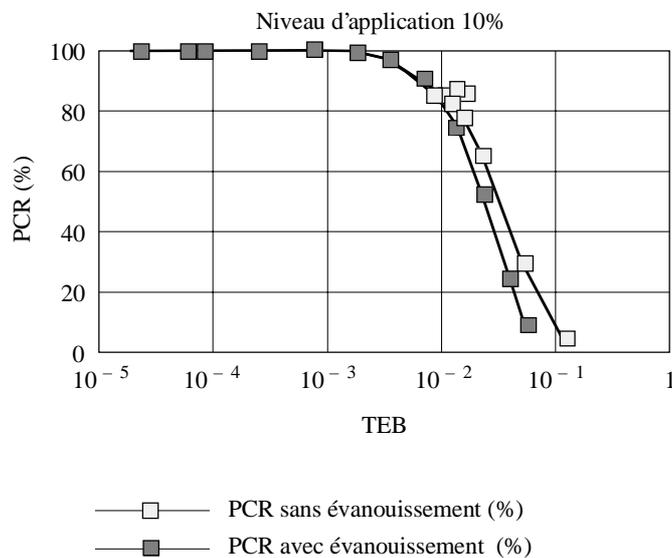
1350-21

En combinant les résultats dont rendent compte les Figures 18, 19, 20 et 21, on obtient un graphe représentant le PCR en fonction du TEB, qui montre que le PCR reste dans des limites acceptables lorsque le TEB augmente. Dans les conditions de mesure, le PCR (Figure 21) n'atteint jamais 100% tandis que le TEB (Figure 19) ne dépasse jamais 10^{-2} , comme le montre la Figure 22 ci-après.

Cette figure représente les résultats obtenus avec une excursion en fréquence de 7,5 kHz, sans évanouissement et avec évanouissement. Sans évanouissement, le PCR et le TEB varient parallèlement au niveau d'entrée du signal. En présence d'évanouissements, les valeurs se maintiennent plus longtemps autour d'un certain point avant de chuter.

FIGURE 22

Taux de reconstitution des paquets en fonction du taux d'erreur sur les bits



1350-22

3.4 Comportement qualitatif du système: taux de reconstitution des messages

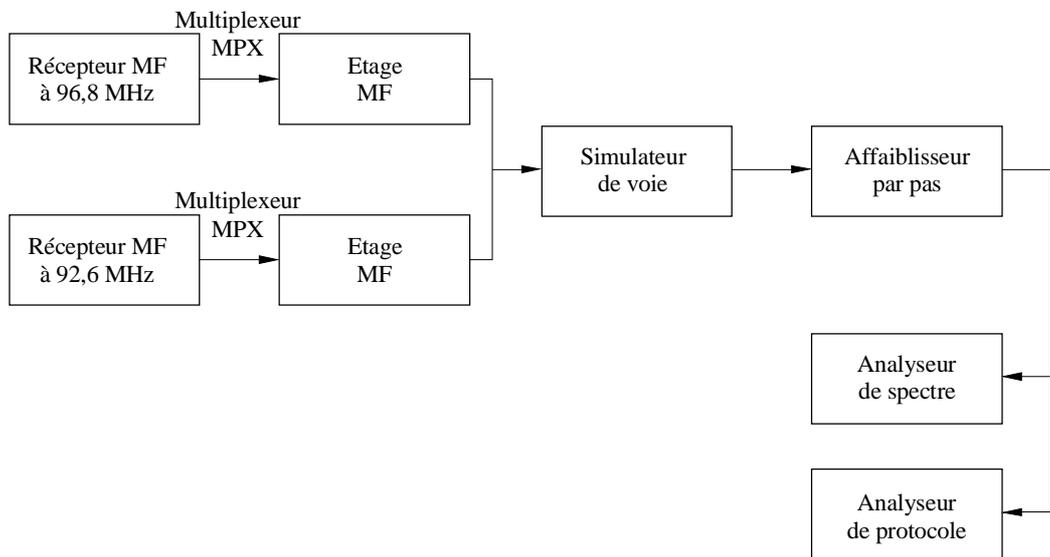
La réception multiple du même paquet de données peut permettre d'accroître la qualité des données reçues. Lorsqu'un récepteur reçoit des paquets transmis par plusieurs émetteurs utilisant des trajets de propagation différents, les messages peuvent être reçus même si certains paquets sont perdus. Or, le récepteur HSDS peut se commuter indifféremment sur un nombre "k" d'émetteurs ne transmettant pas simultanément et répétant chacun les mêmes paquets "n" fois.

Le taux de reconstitution des messages (Message Completion Rate (MCR)) s'exprime comme suit:

$$MCR = 1 - [(1-PCR_1)^n * (1-PCR_2)^n * \dots * (1-PCR_k)^n]$$

Dans le montage de laboratoire illustré par la Figure 23, on ne disposait que d'un seul générateur de signal HSDS. Deux signaux émis par des émetteurs locaux (présentant chacun un PCR de 100%) étaient reçus en temps réel sur deux récepteurs MF Studer, le premier synthonisé sur un signal à 96,8 MHz fortement modulé en musique pop, le second calé sur 92,6 MHz, légèrement modulé en musique de variétés et informations additionnelles. Ces signaux multiplexés (audio, RDS et HSDS) étaient de nouveau modulés et appliqués à l'entrée du simulateur de voie radioélectrique.

FIGURE 23
Montage de mesure du MCR en laboratoire



1350-23

La Figure 24 représente un écran d'analyseur de protocole HSDS. Le PCR et le TEB sont donnés pour les deux émetteurs dans des conditions de transmission avec évanouissements pour une excursion en fréquence de 7,5 kHz.

On a calculé le MCR (la Figure 25 représente le profil temporel d'évolution de ce taux sur plus de 100 secondes dans des conditions d'évanouissement, les signaux étant reçus de deux émetteurs).

Il apparaît clairement que même avec un émetteur médiocre, le MCR combiné demeure acceptable.

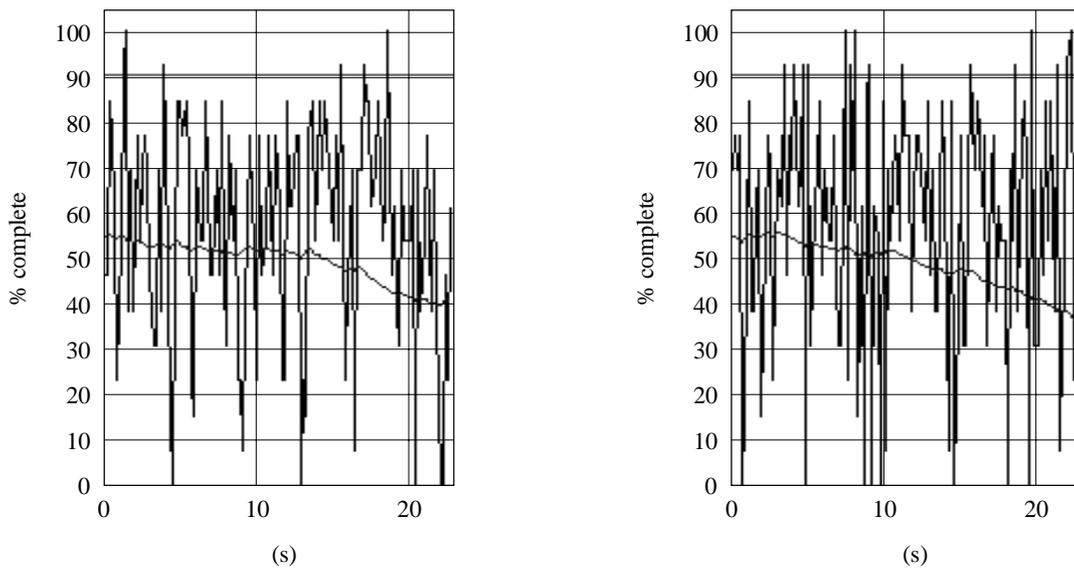
3.5 Structure de trame

Le système HSDS repose sur un multiplexage par répartition dans le temps orienté paquets. La partie supérieure de la Figure 16 illustre la relation entre les intervalles de temps et les sous-trames. La plus grosse unité du protocole est la trame principale. Chaque trame principale comprend 64 sous-trames, subdivisées chacune en 1 027 unités dénommées intervalles de temps. Chaque intervalle de temps comprend un paquet de données. Les trois premiers intervalles de temps de chaque sous-trame sont des intervalles de contrôle, les 1 024 autres sont des intervalles de données. Les paquets d'intervalle de contrôle acheminent l'heure et la date ainsi que la liste des émetteurs proches également HSDS. Les paquets de données se composent d'un numéro d'intervalle de temps, d'une adresse de récepteur, du format des données, du format des paquets et des données de message proprement dites.

La fréquence pilote fait office de référence d'horloge. La structure de trame tient compte de l'inexactitude du signal pilote par bourrage de bit en anticipation. Du fait que la fréquence pilote stéréo n'est pas toujours exactement égale à 19 kHz au moment de la transmission, le système peut ajouter un bit (bit de bourrage) entre paquets successifs, en fonction des besoins, pour maintenir la synchronisation. Cette adjonction occasionnelle de bits de bourrage assure la synchronisation des divers émetteurs et du récepteur.

FIGURE 24

Taux de reconstitution des messages observé sur un analyseur de protocole HS-DS

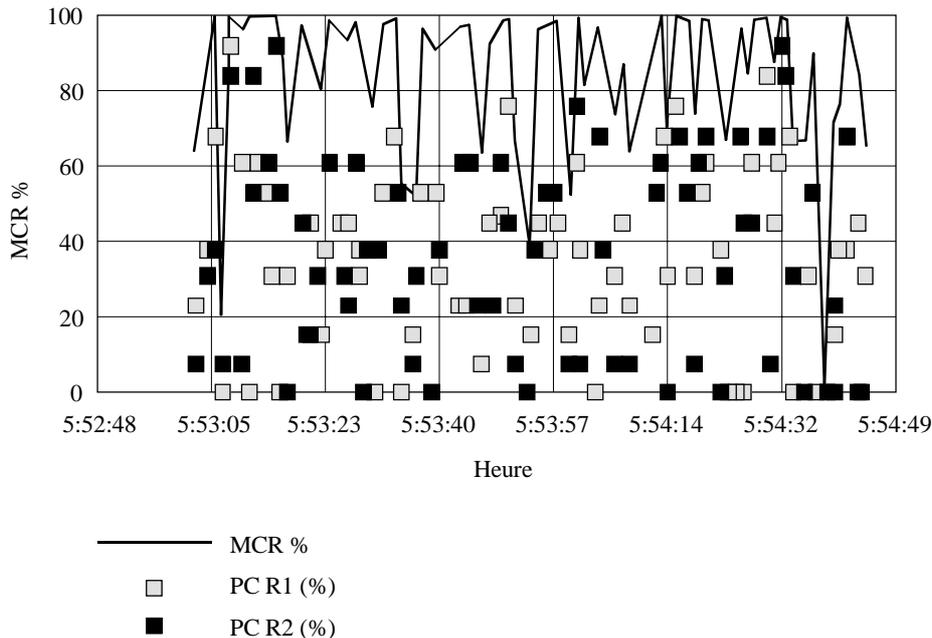


CRC: 5 436
 ECC: 76 264
 BER: 0,031381
 MCR: 0,998081
 PCR: 54,9
 Drapeau: 203
 Entrée RF: -75,5 dBm
 Phase pilote: 67,8°
 SC inj.: 7,9%
 Fréquence: 95,2 test 2
 Attenuator: 0 dB

CRC: 6 097
 ECC: 86 942
 BER: 0,033651
 MCR: 0,998081
 PCR: 54,8
 Drapeau: 167
 Entrée RF: -73 dBm
 Phase pilote: 85°
 SC inj.: 7,1%
 Fréquence: 98,2 test 1
 Attenuator: 0 dB

FIGURE 25

Taux de reconstitution des messages, réception avec évanouissement



1350-25

4 Couche réseau

La couche réseau comporte certaines fonctions nécessaires pour faire en sorte que plusieurs émetteurs individuels fonctionnent comme un système unique. Cela inclut:

- adresse des récepteurs;
- multiplexage des applications;
- liste des fréquences utilisables;
- décalage de temps des émetteurs;
- synchronisation temporelle des émetteurs.

4.1 Émetteurs multiples

Lorsqu'il est nécessaire de prévoir plusieurs émetteurs dans le réseau, les trames principales sont synchronisées au début de chaque quart d'heure (compte tenu du décalage de temps de l'émetteur considéré). Cette double caractéristique (synchronisation et décalage de temps entre les émetteurs) permet à tout récepteur de changer de fréquence et de rechercher des paquets sur d'autres fréquences sans aucune perte de synchronisation des données.

4.2 Fiabilité du système

Les techniques poussées de correction d'erreurs sont très utiles dans le cas d'un récepteur mobile mais perdent toute efficacité lorsque le récepteur est immobile en un lieu où le signal est extrêmement faible ou lorsqu'il se déplace dans des zones où les signaux propagés par trajets multiples s'annulent. Le système HSDS traite les problèmes que posent d'une part la propagation par trajets multiples et d'autre part les effets d'écran par l'intermédiaire d'une combinaison de diversité en fréquence, de diversité d'espace et de diversité temporelle et, dans le cas des systèmes de radiorecherche, d'un système de numérotation des messages.

5 Applications

Le système HSDS offre jusqu'à 64 voies logiques multiplexées asynchrones au niveau de la couche transport. Trois types de paquets sont prévus, à savoir "Data Gram", "Data Stream" et "Data Block".

Les paquets "Data Gram" sont des paquets "autonomes" se composant de 15 octets de données de transport: ces données peuvent être remises de façon non séquentielle.

Les paquets de type "Data Stream" sont composés de flux continus de données transparentes. Toute segmentation des données de transport intervient alors au niveau d'une couche plus élevée. Au niveau transport, le début ou la fin de ce type de paquets n'est pas indiquée. En revanche, des informations d'ordre autorisent l'entrelacement de ces paquets avec d'autres paquets de données sur la même voie. Jusqu'à 128 paquets de flux de données peuvent être remis, à tout moment, de façon non séquentielle, sur une seule voie logique. La transmission de ce type de paquets peut être répétée pour une meilleure fiabilité.

Les paquets de type "Data Block" (blocs de données) permettent d'émettre un nombre d'octets de données de transport transparentes compris entre 1 et 768. Les messages de transport sont fractionnés en blocs de données multiples, chacun subdivisé en paquets de blocs de données. Chaque paquet de bloc de données peut acheminer jusqu'à 12 octets de données de transport. Jusqu'à 32 paquets de bloc de données peuvent être remis à tout moment, de façon non séquentielle, sur une seule voie logique. Ces paquets peuvent être entrelacés avec d'autres paquets de données sur la même voie ou sur d'autres voies logiques. A tout moment, sur une même voie logique, jusqu'à 32 paquets de blocs de données peuvent être remis en ordre non séquentiel. Les paquets de bloc de données peuvent être répétés pour une meilleure fiabilité.

APPENDICE 3

Description du Système C

1 Introduction

Le système STIC (Sub-carrier Transmission Information Channel) a été conçu aux Etats-Unis pour le Département des transports dans le cadre du système d'acheminement intelligent (SFI). Il a été optimisé pour la radiodiffusion de données STI à destination de récepteurs installés à bord de véhicules. Ce système fait intervenir une modulation MDP4 différentielle sur une sous-porteuse à 72,2 kHz, avec un débit de symbole de 9 025 symboles par seconde (18 050 bit/s). La correction d'erreur directe se fait par concaténation (codage convolutif avec décodage de Viterbi, codage Reed-Solomon et deux entrelaceurs). Les paramètres de modulation et de codage sont résumés au Tableau 3.

Le système de codage puissant à concaténation confère au système une grande fiabilité dans des conditions de réception par trajets multiples ou en présence de bruit, tout particulièrement pour les longs messages. Le système offre un débit net de 7 600 bit/s, avec une capacité de réserve pour données à transmission rapide, selon la structure de trame choisie (la transmission rapide est réservée au GPS différentiel ou aux messages prioritaires d'urgence).

Le système est compatible avec le RDS ainsi qu'avec la voie stéréo principale. Il est également compatible avec l'accès conditionnel et l'adressabilité des récepteurs, sans offrir explicitement ses fonctions.

La structure des paquets autorise les configurations à multiples fournisseurs de services. Les paquets présentant une longueur importante, l'identification du fournisseur de service est extrêmement efficace en termes de capacité de débit de donnée. La longueur des en-têtes de paquet, 4 octets, permet d'envisager une adressabilité de récepteur avec un espace adresse important (32 bits) et donc de spécifier divers réseaux, fournisseur de services et formats de paquets, tout en n'utilisant que 1,75% des 7 600 bit/s de capacité de transmission.

On trouvera d'autres informations sur ce système, et notamment ses caractéristiques de TEB en présence de bruit Gaussien ou d'évanouissement dus à une propagation par trajets multiples, ainsi que sur le taux d'erreur de message, dans le Document 10B/57 (1995). On prévoit d'apporter au système des améliorations qui réduiront sa consommation d'énergie électrique, ainsi que certaines options en vue d'un fonctionnement à débit de données élevé.

TABLEAU 3

Principales caractéristiques techniques du système STIC

| Caractéristique | | Description |
|-----------------|--|---|
| 1 | Modulation | MDP4, déphasage $\pi/4$ |
| 2 | Fréquence centrale de la bande de base | 72,2 kHz |
| 3 | Spectre de la bande de base | Voir spectrogramme |
| 4 | Niveau d'application sous-porteuse | $\pm 7,5$ kHz nominal |
| 5 | Débit de symboles sous-porteuse | 9 025 symboles par seconde |
| 6 | Synchronisation des mots | Voir la structure de trame |
| 7 | Correction/détection d'erreur | Codage Reed-Solomon et convolutif avec décodage de Viterbi à décision douce |
| 8 | Temps de propagation | Variable, selon profondeur d'évanouissement et dimension de trame |
| 9 | Débit binaire d'information | 7,6 kbit/s plus données à transmission rapide |

2 Traitement à l'extrémité émission

Le système STIC offre deux voies de données, une voie principale et une voie réservée aux données urgentes. La voie principale offre quatre niveaux optionnels de profondeur d'entrelacement correspondant à quatre durées de supertrame, à savoir: 46,08, 23,04, 11,52 et 5,76 secondes. Ces options permettent de procéder à des compromis entre le temps de propagation et la fiabilité du système dans des conditions d'évanouissements lents.

Au niveau du signal émis, la procédure suivante est appliquée à la voie données principale:

- On suppose que le débit d'entrée (7 600 bit/s) est continu, à raison d'un paquet de données de 228 octets toutes les 240 ms (1 octet comprend 8 bits).
- Les messages subissent un codage de blocs (code Reed-Solomon 256 abrégé, 243, 228).
- En sortie de codage Reed-Solomon, les blocs de message sont entrelacés: les octets de 8 bits sont placés dans une mémoire 243 rangées et six colonnes: chaque cellule de la mémoire contient un octet de 8 bits, et le message, écrit en colonnes, est lu en rangées.
- Après l'entrelacement, le message subit un codage convolutif ((code $\frac{1}{2}$), longueur de contrainte 7, coefficient de polynôme générateur 554 et 744 (octal)). Le fonctionnement du codeur est continu (sans transfert).
- Les messages codés passent dans un entrelaceur convolutif à 72 trajets différents. Chaque trajet est doté d'un registre à décalage de longueur différente (multiple entier de "J" phases, dans le Tableau 4). Chaque phase représente un bit. Le premier trajet comporte $71 \cdot J$ phases, le deuxième $70 \cdot J$ phases etc., ..., et le nombre de phases du dernier trajet est nul. Le pousseur est activé à chaque bit, avec décalage d'une unité dans les registres.
- Le message entrelacé est associé, par une relation "ou exclusif", à un pseudo-bruit à répétition aléatoire (la longueur de la séquence est indiquée au Tableau 4). Le bruit pseudo-aléatoire est synchronisé sur l'entrelacement et sur la supertrame (couverture).
- Le message couvert est subdivisé en sous-frames, trames et superframes. Chaque sous-trame comporte 72 bits de données. Le nombre de sous-frames par trame est indiqué au Tableau 4. Chaque supertrame comporte 72 trames. La mise en trame est synchronisée avec l'entrelacement de telle sorte que le premier bit d'une sous-trame provient toujours du premier trajet de l'entrelaceur convolutif. Un suffixe de 4 bits, ajouté à chaque sous-trame, porte sa longueur à 76 bits (ces 4 bits additionnels sont les bits d'état de la voie).

- Chaque trame comporte un préfixe (sous-trame de synchronisation) de 76 bits. La sous-trame de synchronisation se compose d'un "mot de corrélation" de 56 bits, d'un mot d'identification de trame de 15 bits, d'un bit inutilisé et de 4 bits d'état de voie. Le mot de corrélation de 56 bits est le même pour toutes les trames. Le mot d'identification de trame de 15 bits est le numéro de la trame codée (code Bose, Chaudhuri et Hocquenghem BCH 15, 7). Il y a toujours une sous-trame de synchronisation par trame.
- Certaines sous-trames sont réservées au trajet de transmission rapide. Le nombre de sous-trames ainsi réservées dépend de l'option entrelacement/supertrame (Tableau 4). Le nombre total de sous-trames par trame est également indiqué au Tableau 4. On dénombre toujours 72 trames par supertrame.
- Le message formaté est modulé sur une sous-porteuse 72,2 kHz (MDP4, déphasage $\pi/4$). Le débit de symboles à l'émission est de 9 025 symboles par seconde.
- Le signal modulé subit un filtrage SRRC (filtrage en cosinus surélevé en racine carrée), avec un facteur de décroissance de 0,684, ce qui donne une largeur de bande nominale de 15,2 kHz (bande de base de 64,6 à 79,8 kHz).

Les sous-trames de transmission rapide permettent de transmettre les données devant être traitées sans délai pour des applications dans lesquelles le retard introduit par l'entrelacement n'est pas tolérable. Ces sous-trames comportent 76 bits et sont multiplexées avant couverture (Figure 1). Le Tableau 4 indique les valeurs de débit de données disponibles sur cette "voie rapide".

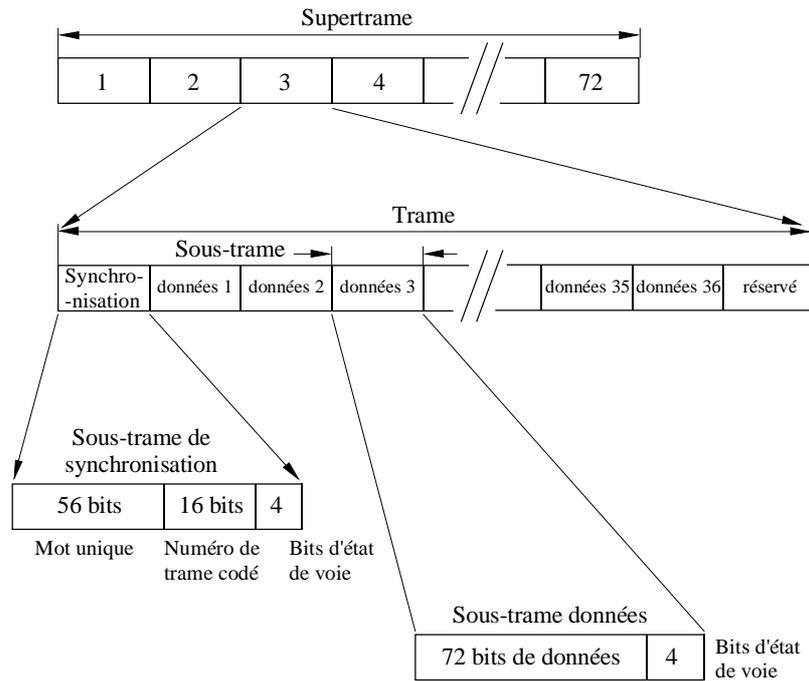
La procédure que nous venons de décrire donne l'onde de sous-porteuse qui est multiplexée par répartition en fréquence avec les autres signaux avant la modulation de fréquence (radiodiffusion). On envisage un niveau d'application (amplitude de crête de la sous-porteuse) de $\pm 7,5$ kHz, mais d'autres niveaux sont possibles au prix de certains compromis en termes de TEB et de qualité de fonctionnement des autres sous-porteuses.

TABLEAU 4

Entrelaceur et options "trame"

| | | | | |
|--|--------|---------|----------|---------|
| Durée d'une supertrame (secondes) | 5,76 | 11,52 | 23,04 | 46,08 |
| Paquets de données par supertrame | 24 | 48 | 96 | 192 |
| Entrelaceur convolutif, "J" = | 18 | 36 | 72 | 144 |
| Nombre de phases dans une séquence m | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Nombre de bits d'une séquence m | 93 312 | 186 624 | 3 73 248 | 746 496 |
| Nombre total de sous-trames par trame | 19 | 38 | 76 | 152 |
| Nombre de sous-trames "rapides" par trame | 0 | 1 | 3 | 7 |
| Débit de données à transmission rapide (bit/s) | 0 | 475 | 712,5 | 831,25 |
| Nombre de sous-trames de synchronisation par trame | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Nombre de sous-trames données par trame | 18 | 36 | 72 | 144 |

FIGURE 26
Exemple de structure de trame



1350-26

La Figure 26 représente une trame de supertrame de 11,52 secondes. Les bits d'état de voie sont utilisés pour le décodage à décision douce. Le code convolutif interne utilise ces bits en les corrélant à la séquence connue et en estimant ainsi la qualité de la voie. Cette estimation de la qualité facilite le processus de décodage de l'algorithme de Viterbi.

NOTE – Certaines caractéristiques de la forme d'onde du signal STIC et du système lui-même sont protégées aux Etats-Unis par un brevet (United States Patent N° 5 442 646). Le système STIC a déjà été concédé sous licence à des utilisateurs intéressés et continuera de l'être.

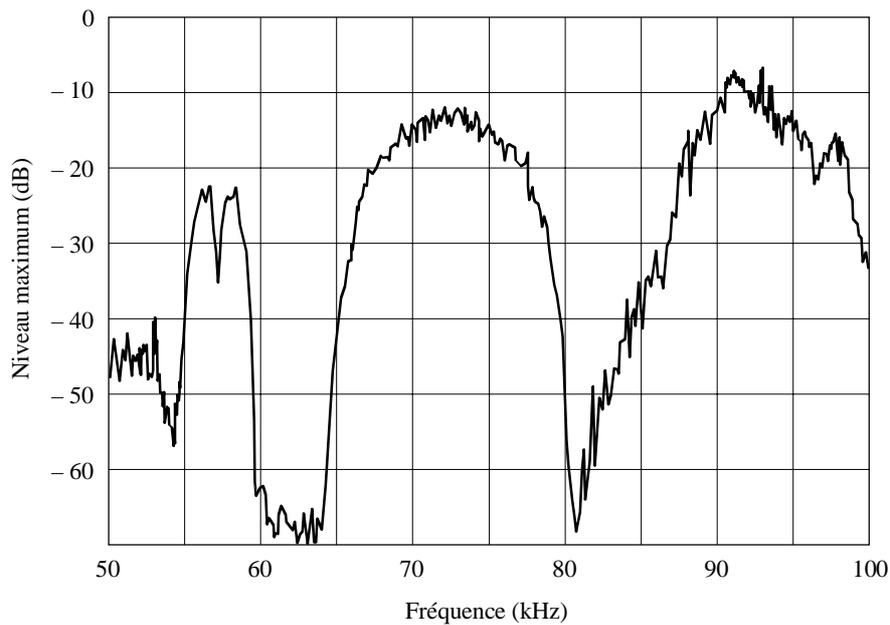
Le code Reed Solomon utilisé dans le système STIC peut corriger jusqu'à 7 erreurs de symbole et détecter la totalité des 8 erreurs de symbole, et cette caractéristique est utilisée en lieu et place d'un code de redondance cyclique pour déterminer de façon fiable si un paquet a été reçu correctement.

La Figure 27 reproduit un spectrogramme de la bande de base MF, de 50 à 100 kHz. Ici, le spectre comprend un signal RDS 57 kHz, le signal STIC 72,2 kHz appliqué à $\pm 7,5$ kHz et une sous-porteuse analogique de 92 kHz. L'affaiblissement de 50 dB à 64 et 81 kHz suffit à garantir que le signal STIC n'empiète pas sur la sous-porteuse RDS 57 kHz adjacente ou sur la sous-porteuse 92 kHz.

3 Mesure quantitative de brouillage audio (même voie)

Il s'agissait de mesurer la dégradation de la qualité audio stéréo en présence d'une sous-porteuse STIC. Les résultats de ces mesures sont résumés au Tableau 5. Les mesures ont été effectuées avec un filtre passe bas de 15 kHz ainsi qu'un filtre psophométrique à pondération. Les résultats montrent qu'une dégradation d'environ 1 dB serait perçue. Un tel degré de détérioration qualitative ne suscite aucun objection, comme le montrent les mesures qualitatives.

FIGURE 27
 Caractéristiques spectrales du signal STIC



1350-27

TABLEAU 5

Effets du signal STIC sur la voie principale

| | Filtre psophométrique SINAD (dB) | Filtre passe bas 15 kHz SINAD (dB) |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Signaux actifs | | |
| Tonalité 1 kHz | 42,15 | 59,73 |
| Tonalité 1 kHz + STIC | 41,02 | 55,01 |

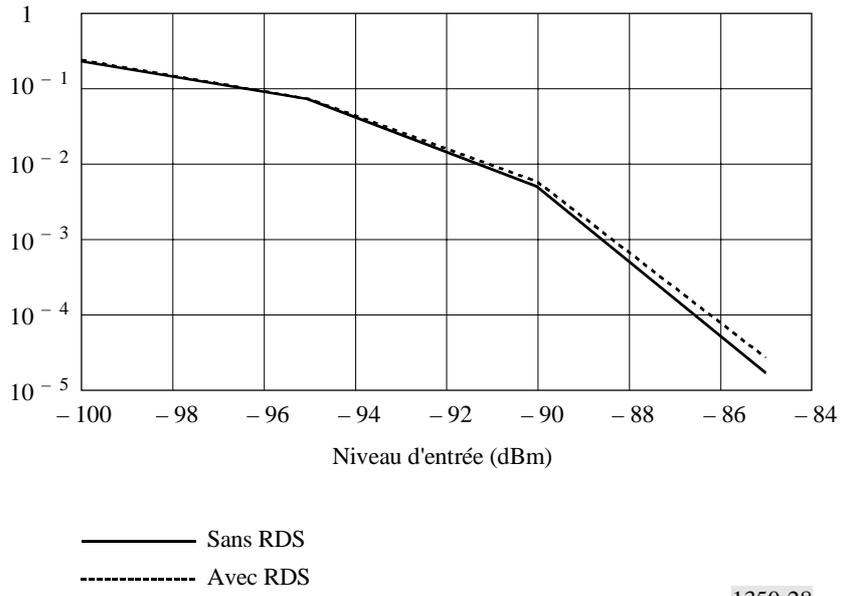
4 Effets du RDS sur le comportement qualitatif du système STIC en termes d'erreurs

On a mesuré le taux d'erreur sur la voie STIC en présence et en l'absence de la sous-porteuse RDS (Figure 28). Il apparaît que la détérioration due au RDS n'est pas significative.

5 Rapports de protection radiofréquence

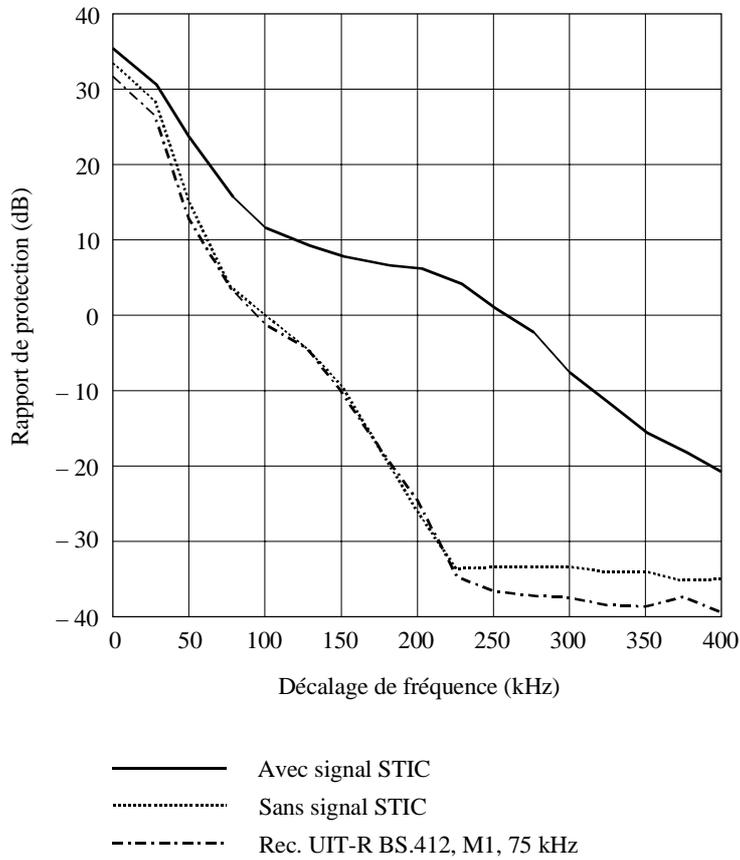
Le système STIC fonctionne bien en termes de rapports de protection, comme le montrent les Figures 29 et 30. La Figure 29 indique la variation du rapport de protection en réception monophonique sur un récepteur radio d'automobile de marque Alpine, modèle 7502.

FIGURE 28
Augmentation du taux d'erreur due au RDS



1350-28

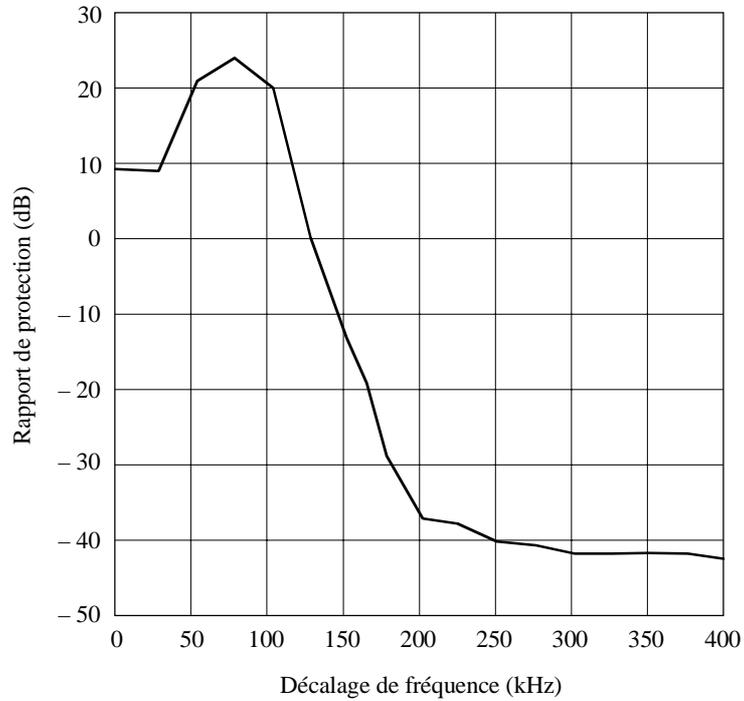
FIGURE 29
Rapport de protection pour la voie principale



1350-29

Le système STIC fonctionne également de façon satisfaisante en présence de brouillages sur les autres voies. La Figure 30 illustre la variation des rapports de protection en présence de brouillages sur une autre voie pour un taux d'erreur sur la voie, sans correction, de 1%.

FIGURE 30
Rapport de protection pour la sous-porteuse STIC



1350-30
