

Union internationale des télécommunications

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R BS.1514-2**  
(03/2011)

**Systeme pour la radiodiffusion sonore  
numérique dans les bandes attribuées à la  
radiodiffusion au-dessous de 30 MHz**

**Série BS**  
**Service de radiodiffusion sonore**



Union  
internationale des  
télécommunications

## Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

### Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans l'Annexe 1 de la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

#### Séries des Recommandations UIT-R

(Egalement disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

| Séries     | Titre                                                                                                      |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>BO</b>  | Diffusion par satellite                                                                                    |
| <b>BR</b>  | Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision                   |
| <b>BS</b>  | <b>Service de radiodiffusion sonore</b>                                                                    |
| <b>BT</b>  | Service de radiodiffusion télévisuelle                                                                     |
| <b>F</b>   | Service fixe                                                                                               |
| <b>M</b>   | Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés               |
| <b>P</b>   | Propagation des ondes radioélectriques                                                                     |
| <b>RA</b>  | Radio astronomie                                                                                           |
| <b>RS</b>  | Systèmes de télédétection                                                                                  |
| <b>S</b>   | Service fixe par satellite                                                                                 |
| <b>SA</b>  | Applications spatiales et météorologie                                                                     |
| <b>SF</b>  | Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe |
| <b>SM</b>  | Gestion du spectre                                                                                         |
| <b>SNG</b> | Reportage d'actualités par satellite                                                                       |
| <b>TF</b>  | Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires                                                      |
| <b>V</b>   | Vocabulaire et sujets associés                                                                             |

*Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2011

© UIT 2011

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## RECOMMANDATION UIT-R BS.1514-2

**Système pour la radiodiffusion sonore numérique dans les bandes attribuées à la radiodiffusion au-dessous de 30 MHz**

(Question UIT-R 60/6)

(2001-2002-2011)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation décrit les caractéristiques des différents systèmes de radiodiffusion sonore numérique de Terre actuellement utilisés dans les bandes des ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques et encourage les fabricants de récepteurs radio à mettre au point des récepteurs radionumériques portables, multibandes et multinormes conçus pour recevoir des signaux émis non seulement dans les bandes des ondes hectométriques et des ondes décamétriques mais aussi dans d'autres bandes pour la réception directe de programmes radiophoniques par le grand public.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) qu'il est de plus en plus nécessaire de disposer dans le monde entier de moyens appropriés permettant de diffuser des programmes sonores monophoniques ou stéréophoniques de haute qualité à destination de récepteurs à bord de véhicules, portables ou fixes;
- b) que les auditeurs de programmes diffusés en ondes kilométriques, hectométriques ou décamétriques n'ont pas encore la possibilité de bénéficier de l'utilisation de la radiodiffusion sonore numérique;
- c) que la radiodiffusion sonore numérique de Terre dans ces bandes permet d'offrir aux auditeurs de nouveaux services ou des services améliorés;
- d) que les auditeurs bénéficieraient de l'existence d'une norme mondiale unique pour la radiodiffusion de Terre de signaux sonores numériques;
- e) que l'encombrement actuel des bandes attribuées à la radiodiffusion sonore de Terre au-dessous de 30 MHz dans certains pays est à l'origine de brouillages importants et limite le nombre de programmes qui peuvent être diffusés;
- f) que les radiodiffuseurs comptent beaucoup sur l'utilisation de ces bandes car les conditions de propagation y sont intéressantes, en particulier lorsque les zones à desservir sont étendues;
- g) que, pour faciliter le passage de la radiodiffusion sonore analogique à la radiodiffusion sonore numérique sans nuire à la continuité du service, il faudra peut-être prévoir parallèlement à la solution du tout numérique une solution analogique-numérique;
- h) que la Recommandation UIT-R BS.1348 relative aux exigences de service applicables à la radiodiffusion sonore numérique dans ces bandes spécifie une série d'exigences invitant les concepteurs de systèmes de plusieurs pays à remédier aux insuffisances actuelles en ce qui concerne la qualité audio et la fiabilité du signal et à offrir de nouveaux services;
- j) qu'à la suite de «l'appel à propositions» de l'UIT-R demandant des descriptions de systèmes et les résultats des essais en laboratoire et en conditions réelles, deux Membres du Secteur de l'UIT-R ont soumis des documents sur deux systèmes différents de radiodiffusion sonore numérique de Terre à utiliser dans les bandes au-dessous de 30 MHz;

k) que les spécifications fonctionnelles nominales précises des deux systèmes proposés mentionnés au point j) du *considérant* ci-dessus sont données dans les Annexes 1 et 2, avec des références plus détaillées dans l'Appendice 1;

l) que, pour chacun des systèmes proposés, des résultats d'essais en laboratoire et en conditions réelles ont été soumis (voir l'Appendice 1 pour les résultats concernant le prototype) et que des résumés des résultats de ces essais, respectant les critères d'évaluation définis dans l'Annexe 3, sont donnés dans les Annexes 4 et 5,

*considérant en outre*

a) que d'autres systèmes de radiodiffusion numérique sont aujourd'hui utilisés dans différentes parties du monde, pour des services de radiocommunication dans diverses bandes et que des systèmes différents nécessitent parfois des filtres à fréquence intermédiaire différents pour assurer des fonctionnalités évoluées, par exemple, la réception simultanée de signaux analogiques-numériques ou de signaux stéréophoniques;

b) que cette grande diversité de systèmes et d'applications peut être source de confusion pour les utilisateurs finals et risque également d'entraîner la mise à disposition, sur le marché, de récepteurs radio conçus uniquement pour recevoir les signaux de certains systèmes numériques;

c) qu'il serait dans l'intérêt des consommateurs, en particulier de ceux qui ont également besoin d'utiliser leur récepteur radio lorsqu'ils voyagent, qu'il existe sur le marché des récepteurs pouvant recevoir les signaux de tous les systèmes de radiodiffusion numérique actuellement utilisés ou en projet;

d) que certains supports interactifs, par exemple l'Internet, permettent de mettre à jour les logiciels utilisés pour décoder et présenter les programmes audio et qu'il serait utile que cette fonctionnalité soit également disponible pour les récepteurs radionumériques, ce qui permettrait en outre de tenir compte des besoins particuliers des utilisateurs malentendants ou âgés,

*recommande*

**1** dans les bandes d'ondes décimétriques entre 3 et 30 MHz

– de faire en sorte que les caractéristiques des systèmes présentées dans l'Annexe 1 et assorties de références plus détaillées dans l'Appendice 1, qui satisfont aux exigences de service prévues dans la Recommandation UIT-R BS.1348 et apportent une réponse positive à la Question UIT-R 60/6, intègrent les caractéristiques du système de radiodiffusion sonore numérique commun unique qui devrait être utilisé dans les bandes attribuées à la radiodiffusion en vertu de l'Article 12 du Règlement des radiocommunications;

– de faire en sorte qu'on utilise les caractéristiques des systèmes décrites dans l'Annexe 1 pour mettre en œuvre un système de radiodiffusion sonore numérique dans les bandes ci-dessus.

**2** dans les bandes de radiodiffusion au-dessous de 3 MHz:

– de faire en sorte que les caractéristiques des systèmes présentées dans les Annexes 1 et 2 assorties de références plus détaillées dans l'Appendice 1, qui satisfont aux exigences de service prévues dans la Recommandation UIT-R BS.1348 et apportent une réponse positive à la Question UIT-R 60/6, intègrent les caractéristiques des systèmes de radiodiffusion sonore numérique qui devraient être utilisés dans ces bandes attribuées à la radiodiffusion; et

– de faire en sorte qu'on utilise les caractéristiques des systèmes décrites dans l'Annexe 1 ou l'Annexe 2 pour mettre en œuvre un système de radiodiffusion sonore numérique dans les bandes ci-dessus;

- que les administrations qui envisagent de mettre en œuvre, dans les bandes de radiodiffusion au-dessous de 3 MHz, des systèmes pour la radiodiffusion sonore numérique conformes à toutes ou à certaines des prescriptions indiquées dans la Recommandation UIT-R BS.1348 se réfèrent au Tableau 1 pour évaluer les avantages respectifs des systèmes qu'ils choisissent.

*invite les fabricants de récepteurs radio à mettre au point*

**1** des récepteurs radio portables, multibandes, multinormes et économiquement viables, conçus pour recevoir, moyennant une sélection manuelle ou de préférence automatique, les signaux de tous les différents systèmes de radiodiffusion analogique ou numérique actuellement utilisés dans toutes les bandes de fréquences concernées;

**2** des récepteurs radionumériques permettant de télécharger des mises à jour pour certaines de leurs fonctionnalités propres telles que le décodage, la navigation, la capacité de gestion, etc.

NOTE 1 – La version révisée de la présente Recommandation, une fois adoptée et approuvée, devrait être portée à l'attention du TC 100 de l'ISO/CEI, selon qu'il conviendra.

TABLEAU 1

## Conformité des systèmes DRM et IBOC au cahier des charges de l'UIT

| Caractéristiques du système                                                                                                                                                                                                                                             | Importance | De conception                              |                                                                                                        | Etat des essais |            |            | Fin prévue |                |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------|------------|------------|----------------|-----------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                         |            | DRM                                        | IBOC                                                                                                   | DRM             |            | IBOC       | DRM        |                | IBOC      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                         |            |                                            |                                                                                                        | MW              | SW         | MW         | MW         | SW             | MW        |
| 1 <i>Prescription de base du système</i><br>a) Récepteur numérique fonctionnant partout dans le monde                                                                                                                                                                   | A          | Oui                                        | Oui                                                                                                    | FUL             | FUL        | NYT        |            |                | 07/2002   |
| 2 <i>Capacité de passage progressif de l'analogique au numérique</i><br>a) Simulcast – Radiodiffusion simultanée (analogique et numérique partageant le même canal)<br>b) Multicast – Radiodiffusion simultanée (analogique et numérique occupant des canaux distincts) | A<br>A     | Oui<br>Oui (si l'administration le permet) | Oui (permet le passage progressif de l'analogique au numérique)<br>Oui (si l'administration le permet) | FUL<br>FUL      | UND<br>FUL | FUL<br>NYT |            | 07/02          |           |
| 3 <i>Radiodiffusion de données</i><br>a) Son et données: capacité de radiodiffusion de données<br>b) Capacité de contrôle d'accès et d'embrouillage                                                                                                                     | B<br>C     | Oui<br>Oui (question ouverte)              | Oui<br>Oui (question ouverte)                                                                          | FUL<br>NYT      | FUL<br>NYT | FUL<br>UND |            | 03/03<br>03/03 | <br>07/02 |
| 4) <i>Prescriptions de qualité de fonctionnement sonore</i><br>a) Amélioration de la qualité sonore par rapport à celle des systèmes analogiques équivalents                                                                                                            | A          | Oui                                        | Oui                                                                                                    | FUL             | FUL        | FUL        |            |                |           |

TABLEAU 1 (suite)

| Caractéristiques du système                                                                                                                          | Importance | De conception                              |                      | Etat des essais |     |      | Fin prévue |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------------------------|----------------------|-----------------|-----|------|------------|-------|-------|
|                                                                                                                                                      |            | DRM                                        | IBOC                 | DRM             |     | IBOC | DRM        |       | IBOC  |
|                                                                                                                                                      |            |                                            |                      | MW              | SW  |      | MW         | MW    |       |
| b) Multilingue ou double mono                                                                                                                        | B          | Oui                                        | Non                  | NYT             | NYT |      | 07/02      | 07/02 |       |
| c) Aptitude à la stéréo                                                                                                                              | B          | Oui (Pseudo stéréo dans canal 9 ou 10 kHz) | Oui                  | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| d) Répartition dynamique du débit entre son et données (capacité de données résiduelle instantanée)                                                  | B          | Oui                                        | Oui                  | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| e) Débit sélectionnable par degrés très progressifs et capacité de prendre en charge un débit plus élevé que celui possible à la date d'introduction | B          | Oui                                        | Oui                  | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| <b>5 Indice d'occupation spectrale</b>                                                                                                               |            |                                            |                      |                 |     |      |            |       |       |
| a) Fréquence unique depuis des émetteurs géographiquement séparés ou situés au même emplacement                                                      | B          | Oui                                        | Oui                  | FUL             | FUL | NYT  |            |       | 12/02 |
| b) Conformité aux largeurs de bande et à l'espacement des canaux RF de l'UIT                                                                         | A          | Oui                                        | Oui (tout numérique) | FUL             | FUL | UND  |            |       | 03/02 |
| c) Potentiel de brouillage pas supérieur à la modulation d'amplitude équivalente                                                                     | A          | Oui                                        | Oui                  | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| d) Susceptibilité au brouillage pas supérieure à la modulation d'amplitude équivalente                                                               | A          | Oui                                        | Oui                  | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |

TABLEAU 1 (suite)

| Caractéristiques du système                                                                                                               | Importance | De conception            |                    | Etat des essais |     |      | Fin prévue |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------------|--------------------|-----------------|-----|------|------------|-------|-------|
|                                                                                                                                           |            | DRM                      | IBOC               | DRM             |     | IBOC | DRM        |       | IBOC  |
|                                                                                                                                           |            |                          |                    | MW              | SW  | MW   | MW         | SW    | MW    |
| <i>6 Fiabilité du service</i>                                                                                                             |            |                          |                    |                 |     |      |            |       |       |
| a) Améliorer la fiabilité de réception                                                                                                    | A          | Oui                      | Oui                | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| b) Susceptibilité aux effets des évanouissements considérablement réduite                                                                 | A          | Oui                      | Oui                | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| c) – Commutation automatique des fréquences par le récepteur                                                                              | A          | Oui                      | Oui                | NYT             | NYT | NYT  | 12/02      | 12/02 | 07/02 |
| – Inaudibilité de la commutation automatique des fréquences par le récepteur                                                              | C          | Oui                      | Oui                | NYT             | NYT | NYT  | 12/02      | 12/02 | 07/02 |
| d) Réception fixe, portative et à bord de véhicules                                                                                       | A          | Oui                      | Oui                | FUL             | FUL | FUL  |            |       | 07/02 |
| e) Syntonisation rapide                                                                                                                   | A          | Oui                      | Oui                | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| f) Fonctionnement en mode dégradé                                                                                                         | B          | Oui (divers modes + UEP) | Oui (mode hybride) | UND             | UND | FUL  |            |       |       |
| g) Maintien de la zone de couverture                                                                                                      | A          | Oui                      | Oui                | FUL             | UND | FUL  |            | 07/02 |       |
| h) Bonne réception en intérieur                                                                                                           | A          | Oui                      | Oui                | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| <i>7 Informations de service pour le choix de syntonisation</i>                                                                           |            |                          |                    |                 |     |      |            |       |       |
| a) Choix simplifié des services par l'emploi de données liées au programme pour sélectionner le radiodiffuseur et le contenu du programme | B          | Oui (fixé dans la norme) | Oui                | NYT             | NYT | NYT  | 12/02      | 12/02 | 07/02 |



TABLEAU 1 (suite)

| Caractéristiques du système                                                                                                      | Importance | De conception                                   |                                | Etat des essais |     |      | Fin prévue |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----|------|------------|-------|-------|
|                                                                                                                                  |            | DRM                                             | IBOC                           | DRM             |     | IBOC | DRM        |       | IBOC  |
|                                                                                                                                  |            |                                                 |                                | MW              | SW  | MW   | MW         | SW    | MW    |
| 8 Considérations relatives au système de transmission                                                                            |            |                                                 |                                |                 |     |      |            |       |       |
| a) Emploi d'émetteurs modernes existants à capacité numérique et analogique                                                      | A          | Oui                                             | Oui                            | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| b) Economies de courant pour une même zone de service et une même fiabilité du service                                           | C          | Oui                                             | Oui                            | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| c) Emissions parasites et hors bande conformes aux règlements de l'UIT                                                           | A          | Oui                                             | Oui                            | FUL             | FUL | FUL  |            |       |       |
| 9 Considérations relatives au récepteur                                                                                          |            |                                                 |                                |                 |     |      |            |       |       |
| a) La complexité du système ne doit pas empêcher la réalisation de récepteurs bon marché                                         | A          | Oui (CI en développement, articulé DSP éprouvé) | Oui (CI présenté à la CES2002) | UND             | UND | FUL  | 12/02      | 12/02 |       |
| b) La complexité du système doit permettre de réaliser des récepteurs à faible consommation fonctionnant sur piles/accumulateurs | B          | Oui (permis par la technologie du CI)           | Oui                            | UND             | UND | UND  | 06/03      | 06/03 | 06/03 |

TABLEAU 1 (*fin*)

| Caractéristiques du système                                                                                                     | Importance | De conception |      | Etat des essais |     |      | Fin prévue |    |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------|------|-----------------|-----|------|------------|----|------|
|                                                                                                                                 |            | DRM           | IBOC | DRM             |     | IBOC | DRM        |    | IBOC |
|                                                                                                                                 |            |               | MW   | SW              | MW  | MW   | SW         | MW |      |
| 10 <i>Compromis variable</i><br>a) Possibilité de choisir les paramètres du système en fonction des exigences du radiodiffuseur | B          | Oui           | Oui  | FUL             | FUL | FUL  |            |    |      |

Les essais en ondes longues (LW) ne sont pas terminés, ni pour le système A, ni pour le système B. Toutefois, les résultats obtenus en ondes moyennes (MW) sont probablement représentatifs des résultats escomptés en ondes longues. Le seul obstacle possible pourrait être la largeur de bande RF de l'antenne.

DSP: Traitement des signaux numériques

FUL: Essais entièrement terminés

NYT: Pas encore soumis aux essais

SW: Ondes courtes

UEP: Protection inégale contre les erreurs

UND: En cours

## Annexe 1

### Description du système mondial de radiodiffusion numérique (DRM, *Digital Radio Mondiale*)

#### 1 Principales caractéristiques pour les marchés que doit desservir le système DRM

Le système DRM est un système de radiodiffusion sonore numérique souple (DSB, *digital sound broadcasting*) destiné à être utilisé dans les bandes attribuées à la radiodiffusion de Terre au-dessous de 30 MHz.

Il est important de bien comprendre que le récepteur radio grand public de demain devra pouvoir décoder l'un des nombreux ou la totalité des programmes diffusés par voie de Terre, c'est-à-dire les programmes numériques à bande étroite ( $RF < 30$  MHz), les programmes numériques à large bande ( $RF > 30$  MHz) et les programmes analogiques pour les bandes des ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques ainsi que pour les bandes des ondes métriques, en modulation de fréquence (MF). Le système DRM sera une composante importante du récepteur. Il est peu probable qu'un récepteur radio grand public conçu pour recevoir des programmes diffusés par voie de Terre et qui fonctionne en mode numérique ne puisse pas fonctionner en mode analogique.

Dans le récepteur radio grand public, le système DRM permettra de recevoir des programmes numériques (son, données associées aux programmes, autres données et images fixes) dans toutes les bandes attribuées à la radiodiffusion au-dessous de 30 MHz. Ce système peut fonctionner de manière indépendante mais comme on l'a dit plus haut, il fera vraisemblablement partie d'un récepteur plus complet, ressemblant à la majorité des récepteurs actuels qui peuvent fonctionner en mode analogique, en modulation d'amplitude (MA) et en MF.

Le système DRM est conçu pour être utilisé dans des canaux de 9 ou 10 kHz de largeur de bande ou des multiples de ces chiffres. La proportion du flux binaire disponible pour ces canaux qui est utilisée pour le son, la protection contre les erreurs, la correction des erreurs et la transmission des données varie et dépend de la bande attribuée (ondes kilométriques, hectométriques ou décamétriques) et de l'utilisation prévue (onde de sol, onde ionosphérique sur grande distance ou sur courte distance). En d'autres termes, plusieurs compromis quant au mode sont envisageables pour que le système puisse répondre aux besoins divers des radiodiffuseurs dans le monde. Comme on le verra dans le prochain paragraphe, lorsque des procédures réglementaires seront en place pour l'utilisation de canaux de plus de 9/10 kHz de largeur de bande, la qualité audio et la capacité totale du flux binaire du système DRM pourront être grandement améliorées.

Le système DRM utilise le codage audio évolué (AAC, *advanced audio coding*) complété par la technique de la réplique de la bande spectrale (SBR, *spectral band replication*) qui constitue le codage numérique principal. La SBR permet d'améliorer la qualité audio perçue grâce à une technique de renforcement des fréquences de la partie supérieure de la bande de base d'après les informations provenant des fréquences inférieures. On utilise le multiplexage par répartition orthogonale en fréquence (MROF) et la modulation d'amplitude en quadrature (MAQ) pour le codage des canaux et la modulation ainsi qu'un entrelacement temporel et une correction d'erreur directe (CED) utilisant un codage multiniveau basé sur un code à convolution. Des symboles de référence pilotes sont utilisés pour obtenir des informations pour l'égalisation du canal au niveau du récepteur. L'utilisation conjointe de ces techniques permet d'améliorer la qualité du signal sonore et la fiabilité de la réception dans la zone de couverture prévue par rapport à celle que l'on obtient avec la MA actuellement utilisée.

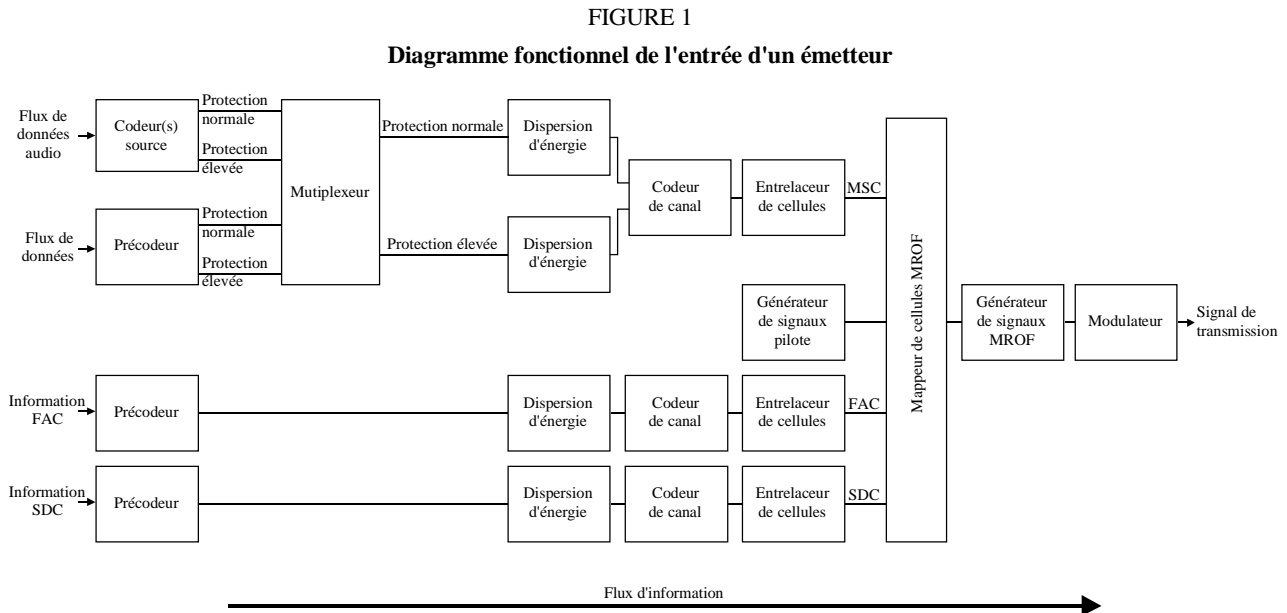
Le système fonctionne bien dans des conditions de propagation très mauvaises (par exemple, propagation par l'onde ionosphérique en ondes décamétriques par trajets multiples sur une longue distance) et dans des conditions moins défavorables (propagation par l'onde de sol en ondes hectométriques). Dans le dernier cas, on utilise le plus possible les algorithmes de codage de source AAC et SBR, ce qui permet d'avoir une qualité audio bien meilleure que celle obtenue avec la modulation d'amplitude étant donné que la correction d'erreur employée est minimale. Souvent, dans des conditions de propagation en ondes décamétriques, l'exigence de très grande fiabilité est au détriment de la qualité audio qui est moins bonne que celle obtenue en mode numérique, en ondes hectométriques; la qualité audio reste toutefois meilleure que celle obtenue actuellement avec la MA.

Le système DRM est conçu pour pouvoir être utilisé dans un réseau monofréquence (SFN, *single frequency network*).

Il a aussi une fonction de commutation automatique de fréquence qui est particulièrement utile pour les radiodiffuseurs qui envoient les mêmes signaux sur différentes fréquences d'émission. C'est ce que font couramment de grands organismes de radiodiffusion en ondes décamétriques qui utilisent la MA pour augmenter la probabilité de recevoir au moins un bon signal dans la zone de réception prévue. Le système DRM permet à un récepteur approprié de sélectionner automatiquement la fréquence la mieux adaptée à un programme, sans aucun effort pour l'auditeur.

## 2 Brève description du système DRM

### 2.1 Conception générale



MSC: canal de service principal (*main service channel*)

1514-01

La Fig. 1 décrit le flux général des différentes classes d'information (audio, données, ...) depuis le codage à gauche de la figure jusqu'aux étages d'attaque de l'émetteur du système DRM à droite. Le schéma du récepteur n'est pas donné dans cette figure mais ce serait exactement l'inverse.

A gauche il y a deux classes de données d'entrée:

- les données audio codées et les données qui sont groupées dans le multiplexeur de service principal, et
- les canaux d'information qui court-circuitent le multiplexeur, à savoir le canal d'accès rapide (FAC, *fast access channel*) et le canal de description du service (SDC, *service description channel*) dont les fonctions sont décrites au § 2.3.

Le codeur source audio et les précodeurs de données convertissent les flux d'entrée au format numérique approprié. Les données en sortie peuvent comprendre deux parties nécessitant deux niveaux différents de protection dans le codeur de canal suivant.

Le multiplexeur tient compte des niveaux de protection de tous les services de données et de tous les services audio.

La dispersion d'énergie complète de façon déterministe et sélective les flux binaires afin de réduire la probabilité d'apparition systématique de séquences identiques qui aboutirait à une uniformité non désirée du signal transmis.

Le codeur de canal ajoute des informations redondantes dont on se sert pour corriger les erreurs et définit le mappage des informations numériques codées en cellules MAQ. Le système a la possibilité, si le radiodiffuseur le souhaite, d'acheminer deux catégories d'éléments binaires, une catégorie étant plus protégée que l'autre.

L'entrelacement de cellules permet de ventiler des cellules MAQ consécutives en une séquence de cellules espacées en temps et en fréquence de façon quasi aléatoire, afin d'avoir un élément de fiabilité supplémentaire pour la transmission des signaux audio dans les canaux à dispersion temps-fréquence.

Le générateur de signaux pilote injecte des informations permettant à un récepteur d'obtenir des informations pour l'égalisation de canal, autorisant ainsi une démodulation cohérente du signal.

Le mappeur de cellules MROF collecte les différentes classes de cellules et les place sur une grille temps-fréquence.

Le générateur de signaux MROF convertit chaque ensemble de cellules ayant le même indice temporel en une représentation du signal dans le domaine temporel contenant une pluralité de porteuses. Le symbole MROF complet dans le domaine temporel est alors obtenu à partir de cette représentation dans le domaine temporel en insérant un intervalle de garde, répétition cyclique d'une portion du signal.

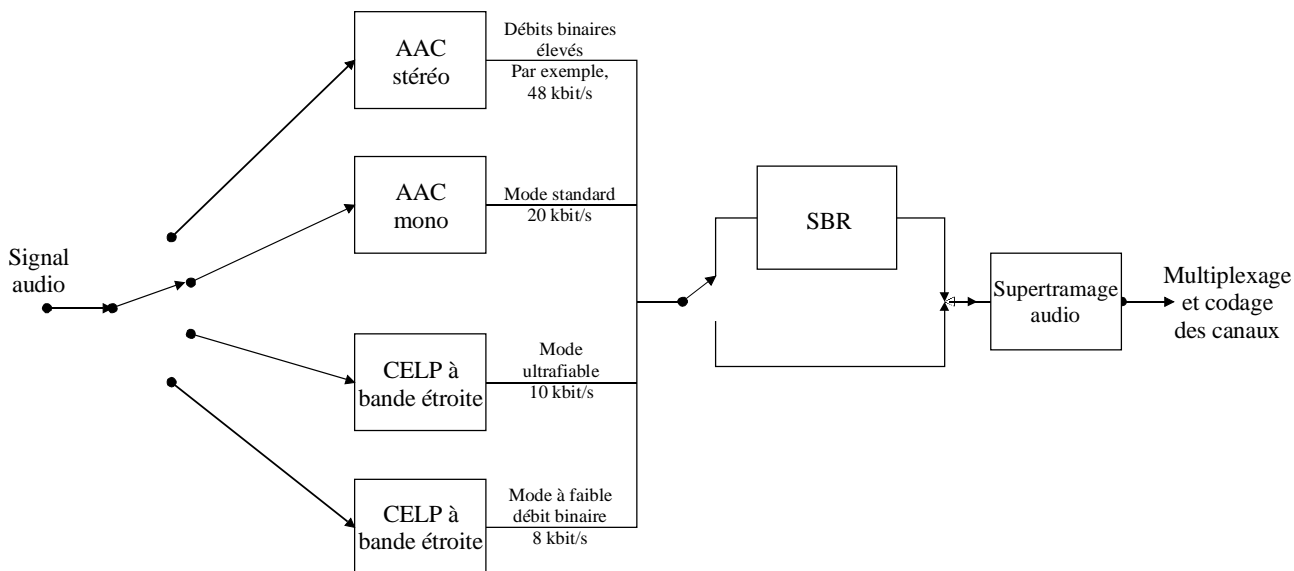
Le modulateur convertit la représentation numérique du signal MROF en un signal analogique qui sera transmis via un émetteur et une antenne à l'environnement radioélectrique. Cette opération suppose une transposition par élévation en fréquence, une conversion numérique/analogique et un filtrage afin que le signal émis soit conforme aux exigences spectrales fixées par l'UIT-R.

Avec un émetteur non linéaire de forte puissance, le signal est tout d'abord décomposé en sa composante d'amplitude et sa composante de phase (ce qui peut être fait avantageusement dans le domaine numérique), puis recombinaison, (par l'émetteur lui-même), avant son émission finale.

## 2.2 Codage de source audio

FIGURE 2

### Aperçu du codage de source



CELP: prédiction linéaire à excitation par code (*coded excited linear prediction*)

1514-02

Les options de codage de source disponibles pour le système DRM sont décrites dans la Fig. 2. Toutes, à l'exception de celle en haut de la Figure (AAC stéréo), sont conçues pour être utilisées dans les canaux actuels de 9/10 kHz pour la radiodiffusion sonore au-dessous de 30 MHz. L'option CELP permet un codage de la parole à un débit binaire relativement faible et l'option AAC utilise un sous-ensemble de signaux MPEG-4 normalisés pour de faibles débits binaires (c'est-à-dire jusqu'à 48 kbit/s). Ces options peuvent être améliorées par des techniques d'amélioration de la largeur de bande, par exemple la technique SBR décrite dans la figure. Les débits binaires en sortie représentatifs sont indiqués dans la figure. Toutes ces options peuvent être sélectionnées par le radiodiffuseur.

On veille tout particulièrement à ce que le signal audio codé puisse être comprimé en supertrames audio de longueur temporelle constante (400 ms). Le multiplexage et la protection inégale contre les erreurs (UEP, *unequal error protection*) des services audio/vocaux s'appuient sur le multiplex et les composants de codage des canaux.

A titre d'exemple de la structure, on peut prendre le schéma de la Fig. 2 AAC mono + SBR. Dans ce cas, les paramètres sont les suivants:

|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| Longueur de trame:               | 40 ms              |
| Fréquence d'échantillonnage AAC: | 24 kHz             |
| Fréquence d'échantillonnage SBR: | 48 kHz             |
| Gamme de fréquences AAC:         | 0-6,0 kHz          |
| Gamme de fréquences SBR:         | 6,0-15,2 kHz       |
| Débit binaire moyen SBR:         | 2 kbit/s par canal |

Dans ce cas, il y a un signal audio de base de 6 kHz de largeur de bande qui offre une meilleure qualité audio que celle obtenue avec la MA standard et un signal d'amélioration (technique SBR) de 15,2 kHz de largeur. Au total la consommation est d'environ 22 kbit/s. Le flux binaire par trame contient une partie de données AAC et SBR très protégées de taille fixe ainsi que la majorité des données AAC et SBR, moins protégées, de taille variable. La supertrame audio de longueur temporelle fixe de 400 ms se compose de plusieurs de ces trames.

### 2.3 Multiplex et canaux spéciaux

Comme indiqué dans la Fig. 1, le multiplex total du système DRM se compose de trois canaux: le MSC, le FAC et le SDC. Le canal MSC contient les services, signaux audio et données. Le canal FAC donne des informations sur la largeur de bande du signal ainsi que d'autres paramètres; il permet également de parcourir rapidement des informations sur la sélection des services. Le canal SDC indique à un récepteur comment décoder le canal MSC, comment trouver d'autres sources pour obtenir les mêmes données et donne des attributs aux services dans le multiplex.

Le multiplex MSC peut contenir jusqu'à quatre services dont chacun peut être un service audio ou un service de données. Le débit binaire brut du canal MSC dépend de la largeur de bande de canal et du mode de transmission utilisé. Dans tous les cas, ce canal se subdivise en trames de 400 ms.

La structure du canal FAC repose aussi sur une trame de 400 ms. Les paramètres du canal sont inclus dans chaque trame FAC. Les paramètres de service sont acheminés en trames FAC successives, au rythme d'un service par trame. Les noms des paramètres du canal FAC sont les suivants: indicateur de base/d'amélioration, identité, occupation du spectre, indicateur de profondeur de l'entrelaceur, mode de modulation, nombre de services, indice de reconfiguration et, «réservé pour une utilisation future». Ils utilisent au total 20 bits. Les paramètres de service du canal FAC sont les suivants: identificateur de service, identificateur court, indication d'accès conditionnel, langage, indicateur audio/données et, «réservé pour une utilisation future». Ils utilisent au total 44 bits. (Des précisions sur ces paramètres, en particulier sur la taille des trames, sont données dans les spécifications du système.)

La périodicité des trames dans le canal SDC est de 1 200 ms. Sans entrer dans les détails concernant l'utilisation de chacun des nombreux éléments des trames dans le canal SDC, on peut donner le nom de ces différentes trames: description du multiplex, étiquette, accès conditionnel, information sur les fréquences, information sur la structure des fréquences, information sur les applications, annonce et commutation, identification de la région à desservir, information d'heure et de date, information audio, information de copie FAC et données de liaison. Le canal SDC achemine ces données et le fait qu'il est inséré périodiquement dans le signal est exploité pour que la commutation entre fréquences soit transparente.

### 2.4 Codage de canal et modulation

Le schéma de codage/de modulation utilisé est un type de multiplexage par répartition en fréquence orthogonal codé (MRFOC) qui associe un multiplexage MROF et un codage multiniveau basé sur un codage à convolution. Ces deux principales composantes sont complétées par un entrelacement de cellules et la fourniture de cellules pilotes pour une évaluation instantanée du canal permettant de réduire les effets des évanouissements à court terme, qu'ils soient sélectifs ou uniformes.

Grâce à cette combinaison, les possibilités de transmission et de protection du signal dans les canaux étroits de 9/10 kHz en ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques attribuées à la radiodiffusion sont excellentes. Cette combinaison pourra aussi être utilisée efficacement dans les mêmes fréquences pour des largeurs de bande de canal plus importantes si demain leur utilisation est autorisée d'un point de vue réglementaire.

Dans le cas du multiplexage MROF, le signal transmis se compose d'une succession de symboles dont chacun comprend un intervalle de garde, préfixe cyclique qui assure l'insensibilité du signal à l'étalement du temps de propagation. L'orthogonalité signifie que dans le cas du système DRM, tel qu'il a été conçu, chaque symbole contient environ 200 sous-porteuses espacées sur l'ensemble des 9/10 kHz de façon à ce que leurs signaux ne se brouillent pas mutuellement (soient orthogonaux). Le nombre exact de sous-porteuses ainsi que d'autres paramètres sont fonction du mode de propagation utilisé: onde de sol, onde ionosphérique et transmissions très fiables.

La modulation MAQ est la modulation qui est appliquée à chacune des diverses sous-porteuses pour acheminer l'information. Deux constellations MAQ principales sont utilisées: la MAQ-64 et la MAQ-16. On utilise un mode MDP-4 pour une signalisation très fiable (mais pas pour le MSC).

La plage temporelle de l'entrelaceur pour des émissions en ondes décamétriques est de l'ordre de 2,4 s pour lutter contre les évanouissements sélectifs en temps et en fréquence. Etant donné que les conditions de propagation sont moins difficiles, on peut utiliser un entrelaceur ayant une plage temporelle plus courte (0,8 s) dans les bandes des ondes kilométriques ou hectométriques.

Le codage multiniveau à convolution utilisera des débits situés entre 0,5 et 0,8, le débit le plus faible correspondant aux conditions de propagation difficiles en ondes décamétriques.

## 2.5 Considérations relatives à l'émetteur

Les étages d'attaque du système DRM peuvent être utilisés pour appliquer des signaux aux émetteurs linéaires ou non linéaires. On peut penser que normalement les radiodiffuseurs disposeront d'émetteurs non linéaires de forte puissance, ce qui est déjà le cas pour la modulation d'amplitude à double bande latérale.

Compte tenu de cette nécessité, on s'est efforcé ces quelques dernières années, en utilisant le système DRM et d'autres prototypes, de déterminer comment ces émetteurs non linéaires peuvent être utilisés avec des signaux numériques à bande étroite. Les résultats obtenus ont été encourageants comme le montrent les récents essais en conditions réelles qu'a subis le système DRM.

Brièvement, le signal entrant dans un émetteur de classe C (émetteur à amplification non linéaire) doit être décomposé en sa composante d'amplitude et sa composante de phase, avant son amplification finale. La première composante est transmise par le circuit anodique et la deuxième par le circuit grille. Après combinaison avec la bonne synchronisation temporelle, elles forment le signal de sortie de l'émetteur.

Des mesures des spectres de sortie font apparaître que l'énergie du signal numérique est plus ou moins également répartie dans le canal assigné de 9/10 kHz, que les flancs sont raides et tombent rapidement à environ 40 dB au-dessous du niveau de densité spectrale dans le canal assigné de 9/10 kHz et que les niveaux de densité spectrale de puissance continuent à décroître plus faiblement au-delà de  $\pm 4,5/5,0$  kHz de part et d'autre de la fréquence centrale du canal assigné.

## 2.6 Environnement radioélectrique

Les informations numériques de phase/d'amplitude concernant le signal RF sont plus ou moins altérées au fur et à mesure que le signal RF se propage. Pour certains canaux en ondes décamétriques on se retrouve face à des situations difficiles: évanouissements uniformes relativement rapides, brouillage dû à la propagation par trajets multiples qui provoque des évanouissements sélectifs en fréquence importants, étalements importants du temps de propagation sur le trajet, et décalages et étalements Doppler importants induits par la propagation ionosphérique.



La protection contre les erreurs et la correction des erreurs intégrées dans le système DRM permettent de beaucoup atténuer ces effets. Le récepteur peut ainsi décoder correctement les informations numériques transmises.

## **2.7 Sélection, démodulation et décodage d'un signal du système DRM au niveau du récepteur**

Un récepteur doit pouvoir détecter le mode particulier du système DRM qui est transmis pour le traiter correctement. Pour ce faire, on utilise plusieurs des champs (voir le § 2.3) des canaux FAC et SDC (canal d'accès rapide et le canal de description du service).

Une fois le mode identifié (et vérifié à intervalles réguliers) le processus de démodulation est l'inverse de celui illustré dans la moitié supérieure de la Fig. 1, diagramme fonctionnel de l'émetteur.

De même, le récepteur est également informé des services présents et, par exemple, de la manière dont il faut effectuer le décodage source d'un service audio.

## **Annexe 2**

### **Système de radiodiffusion sonore numérique dans la bande et dans le canal (IBOC DSB) destiné à fonctionner au-dessous de 30 MHz**

#### **1 Système IBOC DSB**

Le système DSB dans la bande et dans le canal (IBOC, *in-band on-channel*) est conçu pour fonctionner en mode hybride ou en mode tout numérique. Le mode de fonctionnement dépend de la fréquence de radiodiffusion, de l'utilisation qui est faite du spectre et des impératifs de service du radiodiffuseur. Le mode hybride permet de diffuser simultanément des éléments de programmes identiques en format numérique et en format analogique dans le canal actuellement occupé par le signal analogique. Le mode tout numérique offre de meilleures possibilités d'exploitation dans le même canal lorsque le signal analogique existant est supprimé ou lorsque le canal n'est pas utilisé pour la radiodiffusion de programmes analogiques.

Le système IBOC DSB se compose de quatre grands éléments: le codec qui code et décode le signal audio; le codage CED et l'entrelacement qui permettent d'assurer une certaine fiabilité grâce à la redondance et la diversité; le modem qui module et démodule le signal; et un dispositif de sélection permettant de passer en douceur du signal numérique au signal analogique existant dans le cas du mode de fonctionnement hybride ou à un signal numérique de repli dans le cas du mode de fonctionnement tout numérique.

Le système IBOC DSB offre des services audio de meilleure qualité mais aussi des services de données dont les trois principaux sont les suivants: service de données prévus pour un débit fixe, service de données à débit réglable et service de données à débit aléatoirement variable.

Dans le cas de services prévus pour un débit fixe, le débit de données est fixé et ne peut être changé par le radiodiffuseur. Plus précisément, le service de données iDAB (IDS) offre en permanence toute une gamme de services de données à bande étroite analogues à ceux que fournit actuellement le système de radiodiffusion de données (RBDS, *radio broadcast data system*). Le service IDS utilise effectivement une quantité fixe de la capacité du système et la capacité restante est utilisée pour régler le niveau du signal audio, pour la parité ou pour offrir d'autres services de données.

Les services à débit réglable fonctionnent à un débit fixe pour une période préalablement déterminée. Toutefois, à la différence des services à débit fixe, le radiodiffuseur peut régler le débit de données en acceptant toutefois des compromis débit/qualité ou fiabilité du signal audio. Par exemple, on pourrait réduire le débit binaire des informations audio codées (par pas finis) pour obtenir un débit de données plus élevé mais au détriment de la qualité du signal audio numérique.

Dans le cas des services à débit aléatoirement variable, le débit de données est fonction de la complexité des informations audio numériques codées. Des informations audio très complexes nécessitent un débit plus élevé. Le décodeur audio mesure de façon dynamique la complexité des informations et adapte en conséquence le débit de données sans pour autant compromettre la qualité des informations numériques codées.

## **1.1 Composantes du système**

### **1.1.1 Codec**

Le système IBOC DSB utilise un codage AAC complété par une SBR. Le signal audio ainsi obtenu est un signal stéréo de haute qualité assimilable à la MF compte tenu des contraintes de largeur de bande imposées pour l'exploitation des systèmes au-dessous de 30 MHz. Pour que le signal audio numérique soit encore plus fiable que celui obtenu avec la CED et l'entrelacement, les codecs audio utilisent des techniques particulières de masquage des erreurs pour rendre inaudibles les effets des erreurs sur le flux binaire d'entrée. En outre, le format du flux binaire du codec audio offre une certaine souplesse qui permettra d'améliorer encore les techniques de codage audio de base.

### **1.1.2 Techniques de modulation**

Le système IBOC DSB utilise la modulation MAQ. L'efficacité de largeur de bande de la modulation MAQ est suffisante pour transmettre des signaux son stéréo de qualité comparable à la MF et assurer une couverture adéquate compte tenu de la largeur de bande disponible.

Le système utilise aussi un multiplexage MROF qui permet de multiplexer de façon orthogonale par répartition en fréquence plusieurs porteuses MAQ afin d'éviter tout brouillage entre elles. Lorsque le multiplexage MROF est conjugué à un codage CED et à un entrelacement, la fiabilité du signal numérique est encore améliorée. De par sa structure, le multiplexage MROF accepte des techniques de codage CED qui maximisent la qualité de fonctionnement dans un environnement brouilleur non uniforme.

### **1.1.3 Codage CED et entrelacement**

L'intégration du codage CED et de l'entrelacement dans le système de transmission améliore beaucoup la fiabilité des informations transmises: en effet, les informations redondantes soigneusement ajoutées sont utilisées par le récepteur pour corriger les erreurs qui surviennent sur le trajet de transmission. Des techniques de codage CED évoluées ont été spécifiquement conçues à partir d'études détaillées de brouillage pour exploiter le caractère non uniforme des brouillages observés dans ces bandes. Des techniques d'entrelacement particulières ont également été conçues pour étaler en temps et en fréquence les paquets d'erreurs afin d'aider le décodeur CED à prendre sa décision.

La présence de structures conductrices mises à la terre est un problème important auquel se heurtent les systèmes fonctionnant au-dessous de 30 MHz: en effet, ces structures peuvent causer des variations rapides d'amplitude et de phase qui ne sont pas uniformément réparties dans la bande. Pour remédier à ce problème, le système IBOC DSB a recours à des techniques d'égalisation qui stabilisent suffisamment la phase et l'amplitude des porteuses numériques MROF pour pouvoir récupérer les informations numériques. L'utilisation conjointe d'un codage CED évolué, d'une technique d'égalisation des canaux et de techniques d'entrelacement optimales permet au système IBOC DSB d'offrir une réception fiable des signaux audio dans un environnement mobile.

#### 1.1.4 Sélection

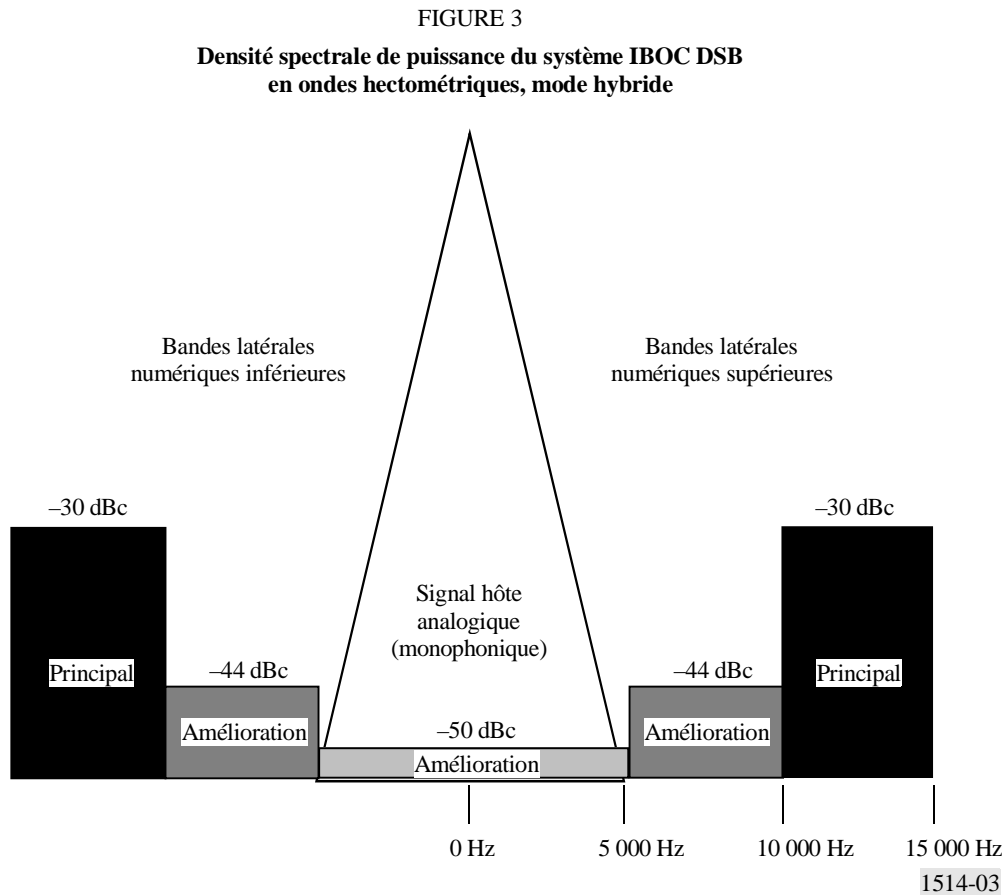
Le système IBOC DSB utilise la diversité temporelle entre deux diffusions indépendantes de la même source audio pour assurer une réception fiable pendant les interruptions de service propres à un environnement mobile. Dans le système hybride, le signal analogique sert de signal de repli alors que dans un système tout numérique, c'est un flux binaire audio numérique distinct qui sert de signal de repli. Le système IBOC DSB assure cette fonction en retardant la transmission du signal de repli d'un laps de temps fixe (de l'ordre de quelques secondes) par rapport à celle du signal audio principal. Ce retard est très utile pour la mise en œuvre d'une fonction de sélection. Pendant la phase de syntonisation, cette fonction permet de passer du signal de repli acquis instantanément au signal principal une fois qu'il a été acquis. Une fois acquise, cette même fonction permet de revenir au signal de réserve lorsque le signal principal est altéré. En cas d'interruption de la transmission, le récepteur passe en douceur au signal audio de repli qui, compte tenu de la diversité temporelle avec le signal principal, ne subit pas la même interruption de transmission.

Les systèmes numériques ont besoin d'un entrelaceur pour étaler les erreurs dans le temps et réduire les interruptions. En règle générale, les entrelaceurs ayant une plage temporelle longue offrent une plus grande fiabilité mais le temps d'acquisition du signal est plus long. La fonction de sélection permet d'acquérir rapidement le signal de réserve pendant la phase de syntonisation ou de réacquisition sans compromettre la qualité de fonctionnement.

## 1.2 Modes de fonctionnement

### 1.2.1 Mode hybride en ondes hectométriques

En mode hybride, le signal numérique est transmis dans les bandes latérales de part et d'autre du signal hôte analogique et sous forme atténuée dans le signal hôte analogique lui-même (voir la Fig. 3). Le niveau de puissance de chaque sous-porteuse MROF est fixe par rapport à la porteuse principale (voir la Fig. 3). Les porteuses MROF, ou porteuses numériques, occupent environ 14,7 kHz de part et d'autre de la porteuse MA. Les porteuses numériques directement intégrées dans le spectre du signal analogique sont modulées de façon à éviter tout brouillage avec le signal analogique. Ces porteuses sont regroupées en paires, chaque paire se composant de deux porteuses équidistantes en fréquence de la porteuse MA. Chaque paire est appelée paire complémentaire et l'ensemble de toutes les porteuses, porteuses complémentaires. Pour chaque paire, la modulation appliquée à l'une des porteuses est la négative conjuguée de la modulation appliquée à l'autre porteuse. Ainsi, la somme des porteuses se trouve en quadrature par rapport à la porteuse MA, ce qui permet de minimiser le brouillage causé au signal analogique lorsqu'il est détecté par un détecteur d'enveloppe. Le fait de placer les porteuses complémentaires en quadrature par rapport au signal analogique permet aussi d'effectuer la démodulation des porteuses complémentaires en présence de la porteuse MA et du signal analogique de fort niveau. Le fait de placer les porteuses complémentaires en quadrature par rapport aux porteuses MA se fait au détriment du contenu d'information sur les porteuses complémentaires qui n'est que la moitié de celui sur des porteuses numériques indépendantes.



Le mode hybride est conçu pour des stations fonctionnant en ondes hectométriques dans des zones où il faut prévoir une transition rationnelle de l'analogique au numérique. Il permet d'introduire les services numériques sans causer de brouillage préjudiciable au signal hôte analogique existant.

Pour maximiser la réception du signal audio numérique, le système IBOC DSB utilise un codec structuré en couches dans lequel le signal audio comprimé est décomposé en deux flux d'information distincts: le flux principal et le flux d'amélioration. Le flux principal donne les informations audio de base alors que le flux d'amélioration donne des informations de meilleure qualité et la stéréo. Le codage CED et le positionnement des flux audio sur les porteuses MROF permettent d'avoir un flux principal très robuste et un flux d'amélioration moins robuste. Pour le système hybride, l'information principale est placée sur des porteuses de forte puissance à  $\pm 10$ -15 kHz de la porteuse analogique alors que l'information d'amélioration est placée sur les porteuses MROF de 0 à  $\pm 10$  kHz.

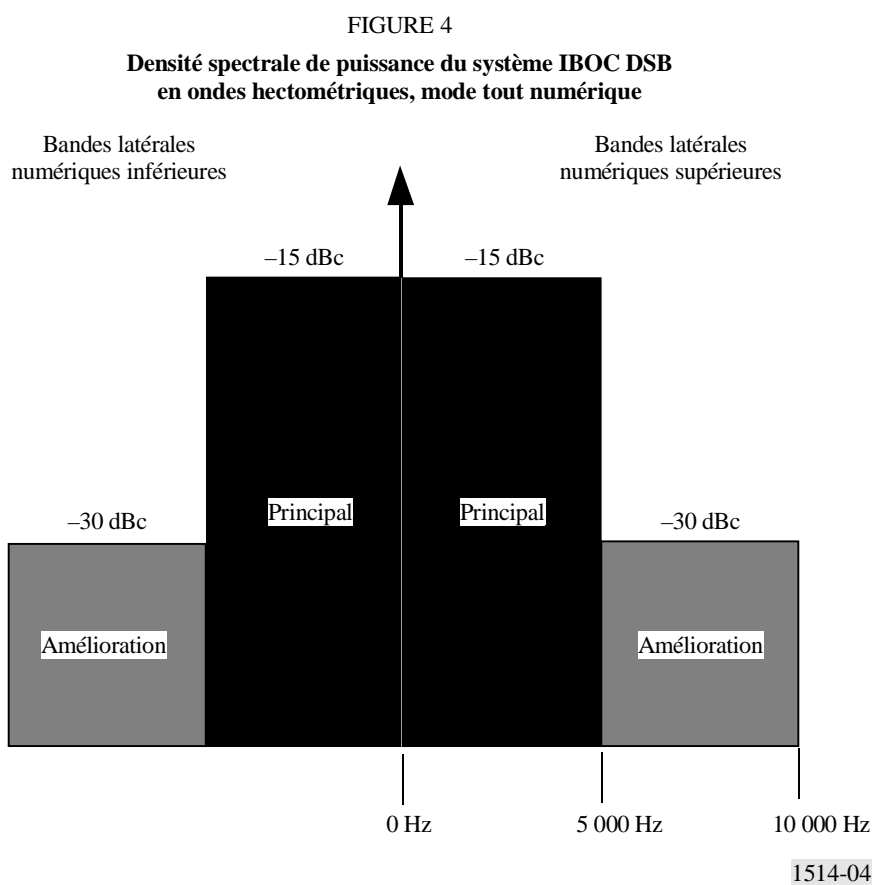
Pour protéger le flux audio principal contre les brouillages et les dégradations des canaux, le système IBOC DSB utilise un type de codage du canal qui a la particularité de découper le code initial en plusieurs codes élémentaires superposés (principal, de repli, bande latérale inférieure et bande latérale supérieure). Chacun de ces quatre éléments est un code complet autonome. Les codes bande latérale inférieure et bande latérale supérieure permettent au système IBOC DSB de fonctionner même en présence d'un brouillage important dans le canal adjacent inférieur ou supérieur; les codes principaux et de repli quant à eux permettent à ce même système d'être acquis rapidement et d'être insensible aux interruptions de transmission de courte durée comme celles causées par des structures conductrices mises à la terre.

Dans le système hybride, le débit audio principal est d'environ 20 kbit/s alors que le débit audio d'amélioration ajoute environ 16 kbit/s.

### 1.2.2 Mode tout numérique en ondes hectométriques

Le mode tout numérique améliore la qualité de fonctionnement numérique après suppression du signal analogique existant. Les radiodiffuseurs peuvent choisir de mettre en œuvre le mode tout numérique dans des zones où il n'y a pas de stations analogiques à protéger ou après une durée d'exploitation en mode hybride suffisante pour que la pénétration des récepteurs numériques sur le marché soit importante.

Comme le montre la Fig. 4, la principale différence entre le mode hybride et le mode tout numérique est la suppression du signal analogique et l'augmentation de la puissance des porteuses qui auparavant étaient intégrées au signal analogique. La puissance supplémentaire du signal tout numérique accroît la fiabilité et le signal en escalier est optimisé pour obtenir un bon fonctionnement en cas de brouillage important dans le canal adjacent.



On utilise dans le système tout numérique le même codec structuré en couches et les mêmes méthodes CED avec des débits identiques (c'est-à-dire environ 20 kbit/s pour le signal son principal et environ 16 kbit/s pour le signal son d'amélioration) que dans le système hybride. Cela simplifie la conception du récepteur qui doit pouvoir accepter les deux systèmes.

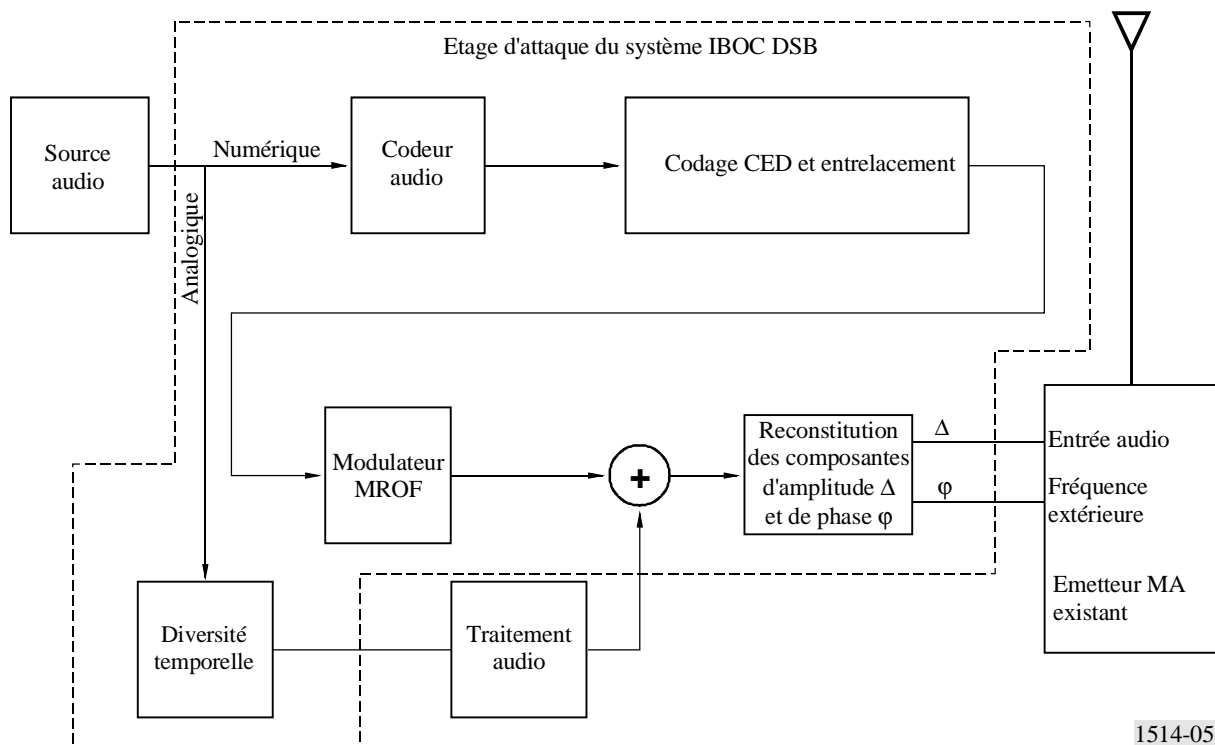
### 1.2.3 Génération du signal

La Fig. 5 donne un schéma fonctionnel de l'émetteur du système IBOC DSB en ondes hectométriques en mode hybride. La source audio d'entrée sur la liaison émetteur-studio envoie un signal droite + gauche (mono) sur le trajet analogique en ondes hectométriques et un signal stéréo au système audio DSB. Le système DSB comprime numériquement le signal audio dans le codeur audio (codeur) et le flux binaire résultant est délivré à l'entrée du codeur CED et de l'entrelaceur. Après combinaison du flux binaire en une trame de modem et modulation MROF, on obtient un

signal DSB en bande de base. On introduit un retard de temps de propagation (diversité temporelle) sur le trajet analogique en ondes hectométriques et on conserve ce retard dans le microprocesseur audio analogique existant de la station jusqu'à l'étage d'attaque du système DSB où l'on fait la sommation avec les porteuses numériques. La reconstitution des composantes d'amplitude  $\Delta$  et de phase  $\varphi$  du signal en bande de base, en vue de son amplification, se fait au niveau de l'émetteur analogique existant de la station (voir Note 1).

NOTE 1 – Par souci de simplicité, des détails comme la synchronisation et l'insertion des données ont été omis.

FIGURE 5  
Schéma fonctionnel de l'émetteur du système IBOC DSB  
en ondes hectométriques, mode hybride



1514-05

Il est apparu que plusieurs émetteurs à semi-conducteurs avaient des caractéristiques de réponse en fréquence, de distorsion et de bruit suffisantes pour reproduire un signal hybride IBOC. Le système a fonctionné pendant de nombreuses heures en utilisant un émetteur à modulation d'amplitude de production courante pour la transmission IBOC DSB.

On utilise une méthode analogue pour le système tout numérique fonctionnant en ondes hectométriques. Dans le système tout numérique, le trajet de transmission analogique n'existe pas.

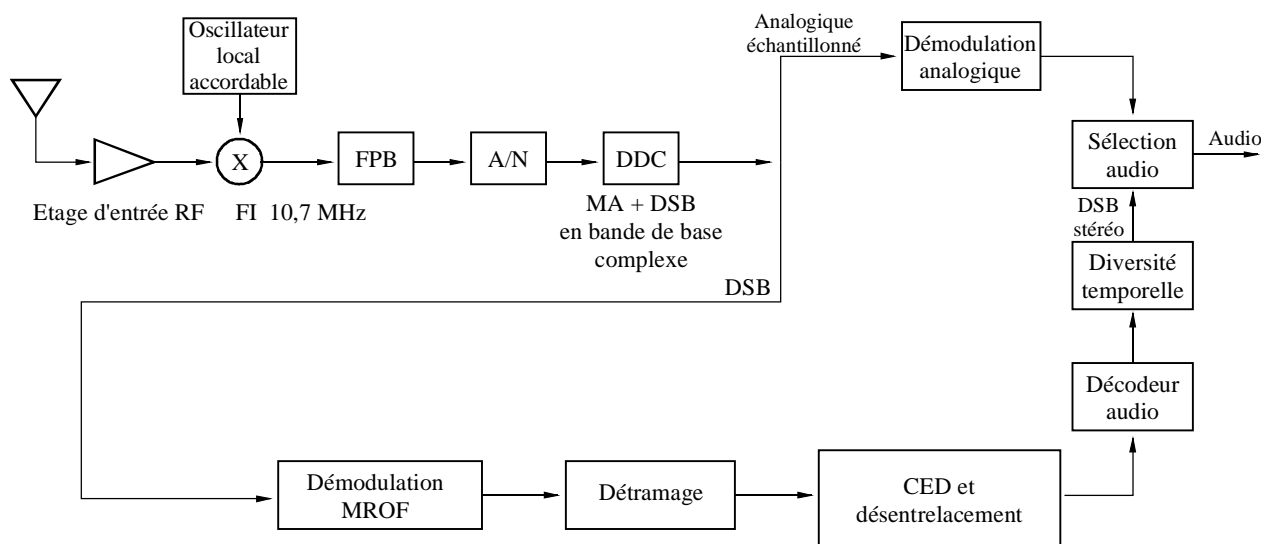
#### 1.2.4 Réception du signal

La Fig. 6 donne un schéma fonctionnel d'un récepteur IBOC en ondes hectométriques. Le signal est reçu par un étage d'entrée RF conventionnel et converti à la fréquence intermédiaire tout comme dans le cas des récepteurs analogiques existants. A la différence des récepteurs analogiques types, le signal est filtré, converti analogique/numérique (A/N) à la fréquence intermédiaire et reconverti numériquement en composantes bande de base en phase et en quadrature. Le signal hybride est alors décomposé en composantes analogique et DSB. Après démodulation de la composante analogique on obtient un signal audio numériquement échantillonné. Le signal DSB est synchronisé et démodulé en symboles. Après déramage de ces symboles on procède à un désentrelacement et à

un décodage CED. Après traitement du flux binaire résultant par le décodeur audio, on obtient le signal de sortie DSB stéréo numérique. Ce signal audio DSB est retardé de la même valeur de temps que le signal analogique au niveau de l'émetteur. La fonction de sélection audio permet de passer du signal numérique au signal analogique si le signal numérique est altéré; elle sert aussi à acquérir rapidement le signal pendant la phase de syntonisation ou de réacquisition.

FIGURE 6

Schéma fonctionnel d'un récepteur type du système IBOC en ondes hectométriques, mode hybride



DDC: rétroconversion numérique  
 FPB: filtre passe-bande

1514-06

La suppression du bruit fait partie intégrante du récepteur IBOC et sert à améliorer la réception numérique et analogique. Les récepteurs utilisent des circuits accordés pour supprimer par filtrage les canaux adjacents et les produits d'intermodulation. Ces circuits accordés ont tendance à surosciller ou à transformer les brèves impulsions en interruptions prolongées. Le dispositif de suppression du bruit détecte l'impulsion et coupe les étages RF pendant la brève durée de l'impulsion, ce qui limite en fait les effets sur l'audibilité du phénomène de suroscillation pour la personne qui écoute le récepteur analogique. Les impulsions brèves ont une incidence minimale sur le flux de données numériques et augmentent l'acceptabilité du signal analogique (voir Note 1).

NOTE 1 – Par souci de simplicité, les trajets de données et le circuit du dispositif de suppression du bruit ne sont pas indiqués.

On utilise une méthode analogue pour le mode tout numérique sauf qu'il n'y a pas de réception analogique, de démodulation et de sélection audio.

## Annexe 3

## Critères d'évaluation

Liens entre la Question UIT-R 217/10 et les critères principaux:

| Études prévues dans la Question UIT-R 217/10 | Critères principaux      |
|----------------------------------------------|--------------------------|
| <i>décide 1</i>                              | 1, 2, 3, 6, 8, 11, 12    |
| <i>décide 2</i>                              | 5, 8, 10                 |
| <i>décide 3</i>                              | 1, 2, 3, 6, 8, 9, 11, 13 |
| <i>décide 4</i>                              | 4, 5, 8, 10              |
| <i>décide 5</i>                              | 6, 9, 13, 14             |
| <i>décide 6</i>                              | 7, 13, 14                |

*Critères d'évaluation*

- 1 Qualité non dégradée du codec audio
- 2 Fiabilité du circuit d'émission
- 3 Zone de couverture et dégradation progressive
- 4 Compatibilité avec les émetteurs nouveaux ou existants
- 5 Considérations relatives à la planification des canaux
- 6 Exploitation sur réseau monofréquence
- 7 Coût et complexité du récepteur
- 8 Brouillages
- 9 Syntonisation et acquisition rapides des canaux
- 10 Compatibilité avec les formats analogiques existants
- 11 Efficacité spectrale
- 12 Norme unique
- 13 Comparatif avec les services MA existants
- 14 Radiodiffusion de données
- 15 Modularité.

**1 Critères d'évaluation – Définitions****Critère 1 – Qualité non dégradée du codec audio**

Perception subjective mesurée du signal de base d'entrée audio comprimé sans bruit induit et sans autres problèmes de transmission.

**Critère 2 – Fiabilité du circuit d'émission**

Qualités audio subjective et objective du système dans des conditions réalistes d'émission et de réception réelle. Prend en considération la capacité de la modulation du signal, de la correction d'erreur, etc., du système à assurer une qualité de fonctionnement satisfaisante dans différentes conditions de propagation; ces conditions de propagation doivent être spécifiées.



**Critère 3 – Zone de couverture et dégradation progressive**

Zone de couverture réelle estimée pour un niveau de puissance donné du système sous diverses conditions de propagation. La zone de couverture sera définie comme étant les parties de zone où le signal décodé est acceptable pour le marché visé.

**Critère 4 – Compatibilité avec les émetteurs nouveaux ou existants**

Capacité à émettre le signal de manière efficace en utilisant:

- les combinaisons existantes d'émetteur et d'antenne avec peu ou pas de modification des équipements; ou
- antenne et émetteur spécialement conçus pour ce système;
- émetteur et antenne spécialement conçus pour acheminer le format numérique et les formats analogiques existants.

Capacité de telles configurations à fonctionner avec des niveaux acceptables de rayonnements parasites.

NOTE 1 – De nombreux radiodiffuseurs souhaiteront ou seront amenés à utiliser leurs installations de radiodiffusion analogique existantes pour acheminer les nouveaux services numériques pendant une période très longue.

**Critère 5 – Considérations relatives à la planification des canaux**

La disposition actuelle des canaux et les règles de brouillage actuelles seront initialement des contraintes importantes même si les études et les nouveaux développements permettront à l'avenir d'apporter des modifications à cette disposition et à ces règles via les processus réglementaires pertinents.

Les possibilités du système doivent donc au minimum être évaluées relativement aux règles existantes concernant l'occupation de la bande, les rayonnements hors bande, les rayonnements parasites, les effets de brouillage, etc.

**Critère 6 – Exploitation sur réseau monofréquence**

La capacité du nouveau système à fonctionner dans un réseau monofréquence doit être évaluée. De nombreux radiodiffuseurs considèrent qu'il s'agit là d'une capacité souhaitable.

**Critère 7 – Coût et complexité du récepteur**

Il faut envisager tant des récepteurs simples que des récepteurs perfectionnés. Le coût du récepteur est de toute évidence lié à d'autres critères. Il faut établir une estimation approximative du coût pour chaque critère et chaque variante.

**Critère 8 – Brouillages**

Qualités audio subjective et objective du système fonctionnant avec des brouillages dans le même canal ou par le canal adjacent provoqués par des sources soit numériques soit analogiques. Cette qualité doit tenir compte aussi bien de la capacité du signal à surmonter le brouillage dans sa zone de service que de sa propension à brouiller d'autres signaux diffusés à l'extérieur de cette zone.

**Critère 9 – Syntonisation rapide et acquisition rapide des canaux**

Les auditeurs sont habitués à ne pas attendre ou à attendre très peu de temps lorsqu'ils allument le récepteur radio ou lorsqu'ils le règlent. La conception du système doit donc:

- tenir compte de la facilité avec laquelle l'auditeur peut choisir la station ou le signal voulu;
- permettre de reconnaître rapidement une demande de sélection ou de changement de canal;

- tenir compte de la vitesse voulue pour le verrouillage audio;
- tenir compte d'interruptions (éventuelles) du signal audio en cas de commutation vers une autre source ou une source plus puissante.

### **Critère 10 – Compatibilité avec les formats analogiques existants**

Pendant la phase de transition de l'environnement de radiodiffusion analogique actuel à l'environnement numérique futur, les services analogiques et numériques devront coexister. Certains problèmes doivent être réglés pour faciliter cette coexistence:

- brouillage dans le même canal et par le canal adjacent (voir critère 8 ci-dessus);
- capacité des radiodiffuseurs à conserver leur audience des services analogiques par des diffusions simultanées pendant la phase d'élaboration de la réception numérique;
- capacité du système numérique à fonctionner dans le cadre des contraintes réglementaires en place.

### **Critère 11 – Efficacité spectrale**

Le système doit permettre une utilisation du spectre radioélectrique plus efficace qu'avec les services analogiques existants. Un système à plus grande efficacité spectrale offrira une qualité de fonctionnement équivalente avec une largeur de bande plus petite ou une meilleure qualité de fonctionnement avec la même largeur de bande.

### **Critère 12 – Norme unique**

On admet qu'il est préférable, pour n'importe quel système, d'être conçu avec des paramètres optimisés permettant une utilisation dans des bandes de fréquences différentes ou dans des conditions de propagation différentes (ondes de sol et ondes ionosphériques par exemple). Toutefois, une norme unique permettra:

- d'utiliser les mêmes modules fondamentaux d'élaboration (par exemple, système de codage audio), même avec des paramètres d'exploitation éventuellement différents (par exemple débit binaire) pour des conditions de propagation différentes;
- de concevoir le récepteur de manière à tenir compte de tous les modes d'exploitation automatiquement, sans dédoublement inutile des installations.

### **Critère 13 – Comparatif avec les services MA existants**

Il convient d'effectuer un ensemble de mesures représentatives des systèmes analogiques existants afin que l'on puisse établir des comparaisons significatives avec les systèmes à l'essai.

### **Critère 14 – Diffusion de données**

Capacité à assurer des services de données supplémentaires parallèlement ou même à la place des services audio. Ces services de données peuvent être liés ou non aux services audio.

### **Critère 15 – Modularité**

Capacité à s'adapter à une largeur de bande supérieure, palier par palier, à un groupage de canaux.

## 2 Définitions des caractéristiques à mesurer et à tester

### 2.1 $E_b/N_0$ pour un TEB = $1 \times 10^{-4}$

On a défini un seuil de taux d'erreur sur les bits (TEB) de  $1 \times 10^{-4}$  pour obtenir un canal de transmission transparent garantissant l'intégrité audio. Le signal émis est ajusté de manière à ce que le TEB reçu après correction des erreurs soit inférieur à  $1 \times 10^{-4}$ , puis on mesure le rapport  $E_b/N_0$ .

On peut aussi procéder à des mesures au-delà et en-deça de ce seuil et on obtient par interpolation le rapport  $E_b/N_0$  pour un TEB de  $1 \times 10^{-4}$ .

### 2.2 Effet Doppler, étalement Doppler et étalement du temps de propagation

L'effet Doppler, l'étalement Doppler et l'étalement du temps de propagation sont susceptibles d'influer sur la réception:

- par effet Doppler, on désigne une différence de fréquences entre le signal reçu et le signal émis en raison du déplacement relatif de la source et du récepteur. La propagation des ondes ionosphériques peut également provoquer un décalage de fréquences;
- par étalement Doppler, on désigne la différence maximale entre les effets Doppler lorsque plusieurs signaux sont reçus via différents trajets de transmission;
- par étalement du temps de propagation, on désigne la différence maximale entre les temps d'arrivée au récepteur lorsque plusieurs signaux sont reçus via différents trajets de transmission.

### 2.3 Brouillage dans le même canal et par le canal adjacent (toutes les combinaisons)

Il faudra préciser les valeurs des rapports de protection dans les cas où:

- des signaux numériques brouillent des signaux numériques;
- des signaux numériques brouillent des signaux analogiques;
- des signaux analogiques brouillent des signaux numériques.

### 2.4 Syntonisation et accès (acquisition de signaux)

L'auditeur n'aime pas attendre que le récepteur se syntonise avec le signal reçu pour accéder au service. Il faut donc mesurer le temps entre la mise sous tension et l'écoute du programme.

### 2.5 Complexité du récepteur/consommation d'électricité/coût

L'un des éléments déterminants sera le coût de fabrication du récepteur grand public, lequel dépendra de la complexité du système. La complexité des puces, et donc leur coût, est un critère de sélection de la solution la meilleure pour réaliser une fonction (démodulation, décodage des canaux, protection contre les erreurs, ...).

### 2.6 Efficacité de l'émetteur

Puissance moyenne à la sortie de l'émetteur/puissance moyenne à l'entrée de l'émetteur. Quelle est la puissance nécessaire pour assurer la même couverture qu'une émission analogique?

### **2.7 Qualité audio au débit binaire maximal**

Dans un canal type, avec le système de protection le moins efficace, il est possible d'assurer la meilleure qualité audio de radiodiffusion (débit binaire maximum attribué au signal audio comprimé).

### **2.8 Qualité audio maximale pour le système hiérarchique**

Il est possible d'avoir plus d'un système de protection pour les données (y compris les données audio). Le système ayant la protection la moins efficace assurera la qualité audio maximale dans les conditions d'émission les plus favorables.

### **2.9 Qualité audio minimale pour le système hiérarchique**

Il est possible d'avoir plus d'un système de protection pour les données (y compris les données audio). Le système ayant la meilleure protection garantira la disponibilité des signaux dans les conditions de transmission les plus défavorables.

### **2.10 Qualité audio pour la modulation analogique**

La diffusion des signaux numériques ne doit pas perturber la diffusion des signaux analogiques soit dans le même canal (diffusion simultanée) soit dans les canaux adjacents (multidiffusion ou contenus différents).

### **2.11 Codage de la parole**

Parmi les résultats recherchés, certains radiodiffuseurs ont demandé à avoir des diffusions simultanées en plusieurs langues différentes (contenu parole seulement) avec des codages de parole spécialisés. Il faut vérifier que le système est capable de gérer cette capacité de diffusion multilingue.

### **2.12 Passage de la MA au numérique**

Le système proposé doit être en mesure de permettre un passage harmonieux de la diffusion entièrement analogique à la diffusion entièrement numérique, ce qui suppose une capacité de diffusion simultanée et de multidiffusion.

### **2.13 Comparaison avec la MA pour les ondes kilométriques, hectométriques et décamétriques**

Dans tous les cas, le système numérique doit apporter des améliorations par rapport au système analogique, de sorte qu'il est nécessaire de comparer tous les paramètres mesurables tels que la couverture, la fiabilité du signal, la disponibilité du signal, la qualité audio (largeur de bande, dynamique, distorsion, ...) dans toutes les bandes à MA.

### **2.14 Possibilité réaliste de diffusion simultanée**

Les radiodiffuseurs ne disposant que d'un seul canal seront appelés à diffuser au même moment des signaux analogiques et numériques (diffusion simultanée).



## Annexe 4

### Résumé des caractéristiques (voir la Note 1) du système DRM sur la base des critères contenus dans l'Annexe 3

NOTE 1 – La présente Annexe résume les caractéristiques du système DRM sur la base des résultats des essais en laboratoire et des essais en conditions réelles (voir l'Appendice 1).

#### 1 Qualité non dégradée du codec audio

Le système DRM utilise le codage AAC et le codage source CELP avec une possibilité d'amélioration du codage AAC par la technique SBR. A l'exception de cette amélioration, les caractéristiques de ces codecs aux débits binaires utilisés par le système DRM sont décrites dans d'autres documents. Les mesures de qualité de fonctionnement intègrent des expériences d'écoute subjective basées sur la Recommandation UIT-R BS.1284, laquelle définit une échelle d'évaluation à 5 notes allant de mauvais (1) à excellent (5).

La qualité non dégradée du système pour le codage AAC est nettement supérieure à la qualité obtenue avec un système analogique à double bande latérale. Comme point de référence, on atteint avec le codage AAC à 24 kbit/s un niveau d'écoute subjective de 4,2 pour la musique alors qu'avec la modulation analogique non dégradée le niveau atteint pour la même entrée audio est de moins de 3. L'amélioration est donc importante par rapport au niveau de qualité des programmes radiodiffusés MA actuels. L'amélioration obtenue en utilisant le codage AAC + SBR accentue encore cette différence de qualité qui est alors comparable à la modulation de fréquence monophonique.

#### 2 Fiabilité du circuit d'émission

La fiabilité du système DRM a été déterminée sur la base d'essais tant en laboratoire et qu'en conditions réelles, pour diverses conditions de propagation.

Les conditions de propagation simulées en laboratoire étaient basées sur plusieurs années d'observation des phénomènes de propagation (trajets multiples, etc.) dont les mesures de propagation faites au début de l'an 2000 par les concepteurs du système DRM pour divers trajets de propagation par l'onde ionosphérique (depuis des trajets courts jusqu'à des trajets de plus de 15 000 km). La propagation par l'onde ionosphérique pouvait ainsi être correctement représentée dans les modèles de laboratoire.

Une autre série d'essais en conditions réelles couvrant une large gamme de situations ont été effectués en juillet et août avec un prototype du système DRM. On avait fait en sorte que les conditions de propagation observées sur les différents trajets soient celles rencontrées pendant des opérations de radiodiffusion normales.

Sur les circuits testés, l'étalement du temps de propagation et de la dispersion de fréquence étaient contraignants pour le signal MROF à bande étroite, mais malgré les valeurs excessives de l'étalement Doppler ou de l'étalement du temps de propagation, on n'a constaté aucune dégradation de la qualité de fonctionnement du système, ce qui donne à penser que les limites nominales du système n'ont pas été dépassées et sont adéquates.

Comme on l'a dit dans le paragraphe consacré aux essais en conditions réelles, la séquence d'essais répétitifs portait à la fois sur des émissions analogiques classiques à double bande latérale et plusieurs émissions numériques. Pour les modes numériques on a utilisé différents niveaux de modulation (MAQ-16 et MAQ-64) et différents modes d'attribution de bits de correction d'erreurs.

Dans tous les cas, les signaux étaient transmis dans une largeur de bande de 10 kHz pour les émissions en ondes courtes et de 9 kHz pour les émissions en ondes moyennes. Il était donc possible de comparer pour chaque trajet la qualité de fonctionnement des différents modes d'une part entre eux et d'autre part avec les transmissions analogiques.

La qualité des émissions numériques était bien supérieure à celle des émissions analogiques puisque la qualité audio initiale était maintenue dans les conditions de bruit et de propagation par trajets multiples qui rendent souvent la réception en mode analogique peu attrayante pour l'auditeur.

Il y a deux principales raisons à cela:

- Le signal numérique peut tolérer un certain niveau de brouillage dans le même canal ou de brouillage dans le canal adjacent, dont les limites sont indiquées dans le rapport sur les essais en laboratoire. Si ces limites du rapport signal/brouillage ne sont pas dépassées, la qualité audio n'est pas du tout dégradée.
- Le signal MROF lutte très bien contre les évanouissements sélectifs et, avec des techniques d'entrelacement temporel et de correction d'erreurs, on peut obtenir une très bonne qualité de fonctionnement ininterrompue dans ce type de conditions de propagation par trajets multiples qui sont à l'origine de brouillage induit.

En règle générale, lorsque l'interruption que subit un récepteur numérique est détectable par l'homme, la réception du signal analogique est très médiocre.

### **3 Zone de couverture et dégradation progressive**

Avec la propagation par l'onde de sol, la couverture en ondes moyennes a été celle attendue, c'est-à-dire au moins aussi bonne qu'avec la modulation analogique pour des puissances d'émission de l'ordre de 5 dB inférieures à celle qui est nécessaire en mode analogique.

Pour les raisons décrites au § 4, la puissance du signal numérique devrait rester d'environ 7 dB inférieure à celle des émissions analogiques dans des situations types liées à la planification des canaux en ondes moyennes. On peut donc conclure que la couverture pouvant être assurée par le système DRM en ondes moyennes sera analogue à celle assurée actuellement pour des émissions analogiques.

Les essais en conditions réelles en ondes courtes ont été effectués pour les séquences MA avec la puissance d'émission nominale. Pour les séquences numériques, le niveau de puissance moyenne était de 10 dB inférieur à la puissance d'enveloppe de crête de l'émetteur. Cette valeur de 10 dB résulte du facteur de crête qui est un paramètre du système DRM. Etant donné qu'en mode MA, la puissance moyenne en sortie est généralement de 6 dB inférieure à la puissance d'enveloppe de crête, la puissance moyenne en sortie du système DRM est de 4 dB inférieure à la puissance MA pour une situation comparable.

Pour évaluer la couverture en ondes courtes, on a utilisé les données concernant la réception analogique et la réception numérique obtenues lors des essais en conditions réelles effectués en juillet et août 2000. Ces estimations ponctuelles dans l'espace et dans le temps montrent que la couverture utile assurée par le système DRM est au moins aussi étendue que dans le cas d'une réception analogique pour une puissance d'émission numérique d'environ 4 dB inférieure à celle d'une émission analogique.

Le système DRM comporte plusieurs modes de modulation numérique afin que l'opérateur d'émission puisse choisir le mode dont la fiabilité convienne le mieux aux conditions de propagation attendues. Les récepteurs pourront automatiquement détecter le mode utilisé.

La séquence d'essais comprenait deux niveaux de modulation (MAQ-64 et MAQ-16). Les résultats, conformes à ce que l'on attendait, montrent que le signal MAQ-16, plus fiable, conjugué à des techniques de protection contre les erreurs et de correction d'erreurs, se comporte mieux que le signal MAQ-64 pour des rapports signal/bruit plus faibles et des conditions de propagation plus difficiles.

#### **4 Compatibilité avec les émetteurs nouveaux ou existants**

Pour les essais en conditions réelles menés depuis décembre 1999 on a utilisé 4 émetteurs de classe C, 1 émetteur linéaire en ondes courtes et 1 émetteur linéaire en ondes moyennes. Les émetteurs de classe C étaient de trois fabricants différents. Chacun d'entre eux pouvait accepter et transmettre le signal MROF.

Les émetteurs linéaires peuvent accepter le signal MROF en entrée, l'amplifier et le transmettre directement. Pour les émetteurs non linéaires, le signal MROF doit être formé à la sortie de l'émetteur à qui on applique des signaux d'amplitude et de phase distincts. Pour que le signal MROF soit correctement généré, les deux trajets à travers l'émetteur doivent être synchronisés: pour ce faire on retarde le signal d'amplitude par rapport au signal de phase avant d'appliquer le signal MROF à l'émetteur.

Le spectre du signal MROF émis a une densité spectrale à peu près constante dans le canal de 9 ou 10 kHz, selon celui qui a été choisi. Le niveau du signal décroît rapidement aux limites inférieure et supérieure (les bords) du canal. Les mesures effectuées pendant les essais ont permis d'établir que cette chute était de 35 dB et que, pour des émetteurs optimisés, elle sera de 50 dB au-dessous de la valeur crête.

L'affaiblissement en bordure dépend du type et de la conception de l'émetteur. En règle générale, elle est la plus rapide pour les émetteurs non linéaires les plus modernes car ils ont une largeur de bande de modulateur plus importante (ils utilisent en général un modulateur à semi-conducteurs) et une meilleure linéarité. Ce sont les deux facteurs les plus importants qui interviennent dans la détermination de la forme du spectre d'émission.

#### **5 Considérations relatives à la planification des canaux**

Ce critère et le critère N° 8 (§ 8 – Brouillages) sont étroitement liés. Un examen plus détaillé est donné dans ce paragraphe.

Sur la base des mesures effectuées en laboratoire et après analyse de ces mesures, on peut conclure que des signaux analogiques et des signaux numériques peuvent coexister dans la même bande si les niveaux de puissance numérique sont bien pris en compte. En d'autres termes, les rapports de protection sont tels qu'il est possible de transmettre un signal numérique de 10 kHz dans une bande d'ondes courtes et un signal de 9 kHz dans une bande d'ondes moyennes.

Les possibilités dans l'ensemble des bandes d'ondes courtes attribuées à la radiodiffusion sont nombreuses, mais elles doivent être examinées avec soin lorsqu'on veut mettre en œuvre un service numérique. Par exemple, si l'on autorise un signal audionumérique à occuper des canaux adjacents à ceux d'un signal audio-analogique, il peut alors être souhaitable de réserver aussi une portion d'une sous-bande d'ondes courtes au signal audionumérique.



## 6 Exploitation sur réseau monofréquence

Aucun essai n'a été effectué pour ce critère mais, étant donné qu'il est basé sur un système MROF avec intervalle de garde, ce système est tout indiqué pour une exploitation sur réseau monofréquence. Cette capacité à fonctionner avec des signaux MROF a été mise en évidence avec d'autres systèmes dans d'autres bandes spectrales. On a veillé tout particulièrement pendant la planification du réseau à ce que les différences de temps de propagation entre tous les signaux transmis vers la zone de service restent dans les limites nominales du système.

## 7 Coût et complexité du récepteur

Pour des raisons de commercialisation, la capacité de réception numérique dans ces bandes de fréquences sera sans doute ajoutée aux récepteurs classiques au lieu d'être proposée dans des récepteurs uniquement numériques. Il s'agit d'une amélioration par rapport aux équipements radio types d'aujourd'hui pour les bandes MA et MF.

Par conséquent l'antenne, l'étage d'entrée, les haut-parleurs et le boîtier sont, en quelque sorte, polyvalents. La compatibilité numérique du récepteur dans les bandes MA devient un plus. La complexité tient au traitement numérique nécessaire. Dans le système DRM on peut penser que le traitement tiendra dans une seule puce. Pour cela, il faudra peut-être s'appuyer sur des améliorations apportées dans d'autres domaines de la radiodiffusion et de la transmission numériques pour utiliser le plus grand nombre possible d'éléments communs.

## 8 Brouillages

Des essais approfondis ont été faits en laboratoire pour établir une base afin d'obtenir des données quantitatives sur les paramètres habituels de brouillage:

- brouillage dans le même canal et dans le canal adjacent;
- brouillage numérique-numérique, analogique-numérique et numérique-analogique (les résultats détaillés de ces essais et des analyses de ces résultats sont présentés dans le Document 6-6/6, 15 septembre 2000, pages 19 à 37, § 3.3.3.2).

Le principal résultat est le suivant: les rapports de protection nécessaires applicables aux brouillages causés au système DRM par des émissions analogiques, aux brouillages causés par le système DRM à des émissions analogiques ou aux brouillages entre signaux DRM sont liés aux rapports de protection analogique-analogique existants et on peut procéder comme suit. Le niveau de puissance autorisé d'une émission analogique existante ou hypothétique respectant les critères de protection analogiques établis existants est déterminé en premier. Si cette émission analogique est par la suite remplacée par un signal DRM dont le niveau de puissance est de 7 dB inférieur, d'autres émissions existantes ne subiront ni ne causeront de brouillage inacceptable. Cette procédure simple est basée sur des mesures approfondies (voir [4], Appendice 1).

On peut noter que les signaux numériques sont quelque peu plus fiables et ont donc besoin de rapports de protection moins élevés que ceux nécessaires dans le cas analogique-analogique.

## 9 Syntonisation et acquisition rapides des canaux

La réception en ondes moyennes par l'onde de sol nécessite un entrelacement temporel de 800 ms seulement. Par conséquent, compte tenu de la structure du signal (trois canaux différents pour la signalisation et les données) l'acquisition prend en moyenne 1,6 s jusqu'à ce que le signal audio soit reconstitué.

Pour la réception par l'onde ionosphérique en ondes courtes, on utilise un entrelacement temporel d'environ 2,4 s qui est appliqué aux données transmises pour atténuer les distorsions du signal audio que causeraient autrement les variations du canal de transmission. Compte tenu de ce temps d'entrelacement plus long et des conditions de propagation plus difficiles, il faudra un temps d'acquisition moyen de 3,6 s jusqu'à ce que le signal audio puisse être reconstitué. Une étiquette de station transmise dans les données de signalisation peut toutefois être décodée en général au bout de 1,6 s.

## **10 Compatibilité avec les formats analogiques existants**

Ce critère est examiné aux § 8, 11 et 15.

## **11 Efficacité spectrale**

Les concepteurs du système DRM ont respecté la nécessité de contenir le signal numérique dans les limites de la largeur de bande de canal qui lui a été assignée. Les flancs en bordure du canal assigné sont très raides et la densité spectrale de puissance atteint rapidement un niveau de plus de 35 dB inférieur à celui observé dans le canal assigné. L'efficacité spectrale est ainsi meilleure car les brouillages au-delà de 4,5/5 kHz du centre de canal sont atténués.

Actuellement, le calendrier des transmissions saisonnières en ondes courtes que tient l'UIT-R prévoit, pour plusieurs programmes, plus d'une transmission du même programme dans une zone cible pour que les chances d'avoir un bon signal de réception soient meilleures. Le signal audionumérique plus fiable devrait permettre à terme de réduire cette nécessité. Ce sera un facteur majeur dans l'amélioration de l'efficacité spectrale. Il faut reconnaître toutefois que, pendant la phase d'introduction de la réception numérique, les émissions analogiques en ondes courtes devront se poursuivre en grand nombre car il n'y aura que très peu de récepteurs numériques. Par conséquent, cette amélioration majeure de l'efficacité spectrale, bien que réelle, ne se concrétisera pas à court terme.

Pour la radiodiffusion en ondes moyennes et, dans certains cas, pour la radiodiffusion en ondes courtes, le réseau monofréquence présente un intérêt pour certains marchés et pourrait constituer un autre gain d'efficacité spectrale mais qui, comme indiqué plus haut, ne se concrétisera que lorsque le nombre de récepteurs numériques dans la zone de radiodiffusion cible sera important.

## **12 Norme unique**

Le système DRM intègre plusieurs modes de fonctionnement pour différentes conditions de radiodiffusion. On peut donc élaborer une norme unique pour la radiodiffusion numérique dans les bandes au-dessous de 30 MHz.

## **13 Comparatifs avec les services MA existants**

Comme indiqué dans ce bref rapport, les caractéristiques du système DRM ont été comparées à celles d'un système MA à double bande latérale pour les mêmes largeurs de bande de canal.

## **14 Radiodiffusion de données**

Il est fait référence à la brève description pour le système DRM et aux spécifications plus détaillées du projet de système qui ont été soumises à l'UIT-R en janvier 2000. Ces spécifications indiquent la gamme des débits de données possibles pour le système DRM dans un canal de 9 ou 10 kHz. Cette fonction, qui fait partie intégrante du système, fait partie d'un compromis entre la qualité, la fiabilité du système audio et la capacité disponible pour la radiodiffusion de données. Le système accepte des débits de données variables qui peuvent utiliser entre 0 et 100% de la capacité nette de données émises.

## **15 Modularité**

Le système DRM a aussi les moyens de tirer parti de largeurs de bande de canal plus importantes au cas où cette possibilité existerait dans l'avenir. En particulier, la disponibilité de largeurs de bande de 18 ou 20 kHz par canal permettrait de beaucoup améliorer la qualité du signal audio et les possibilités de radiodiffusion de données.

# **Annexe 5**

## **Résumé des caractéristiques (voir la Note 1) du système IBOC DSB sur la base des critères contenus dans l'Annexe 3**

NOTE 1 – La présente Annexe résume les caractéristiques du système IBOC DSB sur la base des résultats des essais en laboratoire et des essais en conditions réelles (voir l'Appendice 1).

### **1 Qualité audio non dégradée du codec**

Le système IBOC DSB utilise le codage source AAC amélioré par la technique SBR. Etant donné que les caractéristiques et la qualité du codage AAC ont été bien examinées dans d'autres documents, cette question ne sera pas analysée plus avant.

### **2 Fiabilité du circuit d'émission**

Le système IBOC DSB intègre une redondance importante pour améliorer la fiabilité du circuit. Le système numérique comporte des bandes latérales totalement redondantes de part et d'autre du signal analogique, ce qui permet de transmettre des informations numériques identiques de part et d'autre du signal analogique existant. La perte de l'une ou l'autre bande latérale ne se traduira donc pas par la perte totale du signal, ce qui est particulièrement utile pour renforcer la résistance aux brouillages dans le canal adjacent. Les porteuses du système sont elles aussi placées de façon à améliorer la fiabilité. Dans le système tout numérique, les sous-porteuses numériques, placées à proximité immédiate de la porteuse principale, constituent les porteuses principales et peuvent acheminer 20 kbit/s d'information numérique. Les porteuses numériques extérieures les plus éloignées de part et d'autre de la porteuse principale délimitent le système amélioré. En mode de fonctionnement amélioré, le système peut transmettre 36 kbit/s d'information numérique. Cette souplesse permet d'assurer la fiabilité de réception, à tout le moins, de l'information principale et, dans des conditions plus favorables, d'améliorer le niveau de l'information.

### **3 Zone de couverture et dégradation progressive**

Les essais en conditions réelles du système IBOC DSB effectués à Cincinnati, Ohio font apparaître que la zone de couverture du système hybride en ondes hectométriques est étendue: globalement, elle s'étend jusqu'à environ 90 km de l'émetteur. Le champ, lorsque le système commence à passer fréquemment du signal numérique au signal analogique de réserve, est d'environ 1 mV/m. Le signal ne revient plus au numérique à environ 0,6 mV/m. Etant donné qu'il se sert du signal analogique comme signal redondant et qu'il permet une transition en douceur entre le signal numérique et le signal analogique, le système IBOC DSB assurera toujours une couverture au moins aussi étendue que celle offerte par le signal analogique existant. Les essais de Cincinnati de fait confirment que le système peut continuer d'assurer la même couverture même si la couverture analogique n'est plus assurée et que les signaux numériques fiables sont largement utilisés pour la plus grande partie de la zone de couverture.

Le système IBOC DSB comporte aussi une fonction de transition pour passer du numérique à l'analogique. A un certain taux d'erreur, le modem passe en douceur du numérique à l'analogique pour continuer d'assurer la couverture. Cette fonction de transition améliore la couverture à deux niveaux: premièrement elle permet d'élargir la couverture dans des zones où la couverture analogique risque de dépasser la couverture numérique. Cette fonction de transition conjuguée au repli en mode redondance analogique permet d'élargir la couverture sans gêne pour les auditeurs. Deuxièmement la fonction de transition permet une dégradation progressive du signal numérique. Le passage à l'analogique évite «l'effondrement brutal» courant pour de nombreux signaux numériques lorsque l'affaiblissement du signal se traduit par une perte brusque de la couverture. La fonction de transition du système IBOC DSB permet une dégradation progressive du signal à la fois en bordure de la zone de couverture numérique et lorsque des dégradations ou des brouillages altèrent le signal numérique dans une zone plus proche de l'émetteur.

### **4 Compatibilité avec les émetteurs nouveaux ou existants**

Le système IBOC DSB a été testé avec de nombreux émetteurs disponibles sur le marché. Pour les essais en conditions réelles effectués à Cincinnati, Ohio on a utilisé un émetteur existant sur le marché. Des essais analogues ont été faits avec des émetteurs de deux autres fabricants, tous parfaitement compatibles avec le système IBOC DSB. La quasi-totalité des fabricants d'émetteurs ont analysé les caractéristiques du système IBOC DSB et ont conclu qu'il était compatible avec les émetteurs existants ainsi qu'avec ceux en cours d'élaboration.

### **5 Considérations relatives à la planification des canaux**

Le système IBOC DSB en mode hybride est conçu pour pouvoir transmettre simultanément un signal analogique et un signal numérique dans la même bande. Cela n'aura pas d'incidences sur la planification des canaux existants pour un signal MF de 9 kHz ou 10 kHz.

### **6 Exploitation sur réseau monofréquence**

Le système IBOC DSB n'a pas été testé avec un réseau monofréquence. Toutefois il est facile d'adapter le système MROF pour un fonctionnement sur réseau monofréquence homogène à celui d'autres systèmes monofréquence qui ont déjà été mis en œuvre.

## **7 Coût et complexité du récepteur**

Le système IBOC DSB intègre la radiodiffusion numérique en ondes hectométriques ainsi qu'en ondes métriques et en MF. Les fabricants pourront ainsi exploiter le système IBOC DSB en ondes hectométriques pour un surcoût marginal par rapport à l'exploitation en ondes métriques et en modulation de fréquence. Cela reflétera la structure des coûts actuelle pour les systèmes MA/MF.

## **8 Brouillages**

Le système IBOC DSB est conçu pour permettre l'introduction du signal numérique tout en minimisant l'incidence sur les signaux analogiques existants. Des simulations et des essais du matériel montrent que ce système peut supporter les brouillages dans le même canal et les brouillages dans le canal adjacent.

## **9 Syntonisation et acquisition rapides des canaux**

Le système IBOC DSB permet une acquisition et une syntonisation instantanées des canaux. Il comporte une fonction de sélection entre le signal numérique principal et un signal analogique redondant. Lorsqu'il se syntonise sur une station, le récepteur acquiert immédiatement le signal analogique. Le système passe ensuite progressivement en mode tout numérique. Cette fonction de sélection permet une acquisition immédiate des canaux et la poursuite de l'acquisition rapide des canaux que les auditeurs attendent des radiodiffuseurs analogiques.

En mode tout numérique, la syntonisation rapide est réalisée à l'aide d'un signal numérique de réserve. L'acquisition de ce signal peut être très rapide et ne prendre que 0,2 ms selon la mise en œuvre.

## **10 Compatibilité avec les formats analogiques existants**

Le système IBOC DSB est conçu pour assurer une transition harmonieuse vers la radiodiffusion numérique sans qu'il soit nécessaire d'attribuer de nouvelles bandes de fréquences ou d'éliminer les diffusions analogiques. Le système hybride assure une parfaite compatibilité entre le signal numérique et le signal analogique hôte ainsi qu'entre signaux analogiques et numériques dans le même canal ou dans le canal adjacent. Le fait de pouvoir diffuser simultanément dans le même canal des programmes analogiques et des programmes numériques permettra aux radiodiffuseurs de diffuser parallèlement plusieurs programmes pendant la phase de transition à la radiodiffusion numérique. Les radiodiffuseurs pourront ainsi introduire la radiodiffusion numérique sans que le nombre de leurs auditeurs ne s'en ressente et les régulateurs pourront adopter la radiodiffusion numérique sans qu'il soit nécessaire de faire de nouvelles attributions de fréquences ou de délivrer de nouvelles licences d'exploitation de stations.

## **11 Efficacité spectrale**

Le fait que le système IBOC DSB puisse transmettre des programmes de radiodiffusion numérique sans nuire au signal analogique existant est une preuve en soi de son efficacité spectrale. En utilisant la largeur de bande existante des programmes en ondes hectométriques, ce système peut offrir une qualité audio améliorée et une meilleure fiabilité que les systèmes analogiques existants.

## 12 Norme unique

Suffisamment souple pour pouvoir fonctionner en différents modes, le système IBOC DSB permet de satisfaire les besoins des auditeurs dans différentes régions. Il est en outre compatible avec le système IBOC DSB dans la bande des ondes métriques en MF. Il peut donc servir de norme pour la radiodiffusion audionumérique au-dessous de 30 MHz.

## 13 Comparatifs avec les services MA existants

Le système IBOC DSB a subi des essais en conditions réelles et a été comparé avec des systèmes existants aux Etats-Unis en ondes décamétriques fonctionnant dans le même canal. Ces essais ont montré les avantages qu'offre le système IBOC DSB.

## 14 Radiodiffusion de données

Le système IBOC DSB comporte plusieurs options pour la radiodiffusion de données. Tel qu'il a été conçu, il permet la radiodiffusion de données associées aux programmes en lieu et place des services de données radiophoniques analogiques existants. Il a une capacité de 4 à 16 kbit/s de radiodiffusion de données selon les conditions prévalant dans la zone de service. Il est suffisamment souple pour permettre aux radiodiffuseurs d'améliorer encore les capacités de radiodiffusion de données en fonction des compromis qualité audio/fiabilité.

## 15 Modularité

Le système IBOC DSB est suffisamment souple pour tirer parti d'une plus grande largeur de bande, au cas où l'on disposerait dans l'avenir de cette largeur de bande.

# Appendice 1

## Références bibliographiques et Bibliographie

Appel à propositions de l'UIT-R visé au point k) du *considérant* et source des critères d'évaluation (Annexe 3):

[1] Lettre circulaire 10/LCCE/39 de l'UIT-R.

Deux propositions répondant à l'appel à propositions, spécifications fonctionnelles, points k) et o) du *considérant*:

[2] Document 10-6/10 (17 janvier 2000). DRM proposal for a digital radio system for application in the broadcasting bands below 30 MHz (source: DRM).

[3] Document 10-6/12 (21 janvier 2000). IBOC DSB system for operation below 30 MHz (source: Etats-Unis d'Amérique).

Descriptions brèves du système et rapports complets des résultats des essais en laboratoire et en conditions réelles fournis par les deux entités en réponse à l'appel à propositions (points k) et p) du *considérant* dont les Annexes 4 et 5 sont des versions condensées):

[4] Document 6-6/6 (15 septembre 2000). Summary description of DRM system and laboratory and field tests (source: DRM).

- [5] Document 6-6/7 (11 octobre 2000). IBOC DSB system for operation below 30 MHz (source: États-Unis d'Amérique).

Autres documents pertinents de l'UIT-R:

- [6] Documents 10/128, 11/206 (13 avril 2000). System recommendation for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz.
  - [7] Document 10-6/17 (12 avril 2000). Chairman's Report of TG 10/6 meeting held in Geneva, 25-27 janvier 2000.
-