

RAPPORT 954-2

**MÉTHODES DE MULTIPLEXAGE POUR L'ÉMISSION DE PLUSIEURS SONS NUMÉRIQUES
AINSI QUE DE SIGNAUX DE DONNÉES EN RADIODIFFUSION**

(Question 2/10 et 11, Programmes d'études 2C/10 et 11, 51D/10, 2F/10 et 11, 2N/10 et 11)

(1982-1986-1990)

1. Introduction

Le présent Rapport contient des résultats préliminaires sur la comparaison des méthodes de multiplexage utilisables pour l'émission de plusieurs voies son numériques ou, le cas échéant, d'autres informations, en association ou non avec l'émission d'images de télévision analogique, en vue de nouvelles applications en radiodiffusion. Dans ce contexte, ce Rapport concerne principalement l'utilisation du canal de radiodiffusion par satellite, bien que certaines informations s'appliquent également à l'utilisation des canaux de radiodiffusion de Terre.

L'étude des méthodes de multiplexage de plusieurs signaux audio et de signaux de données doit tenir compte des deux principaux procédés utilisables pour multiplexer le signal numérique complet avec le signal d'image; ces procédés sont respectivement:

- le «multiplexage interrompu», correspondant, par exemple, à l'insertion d'impulsions numériques dans l'intervalle de suppression de ligne;
- le «multiplexage non interrompu», correspondant, par exemple, à des impulsions numériques sur une sous-porteuse.

Dans ce dernier cas, s'il s'agit d'émettre uniquement des voies son en l'absence d'un signal d'image, les impulsions numériques peuvent moduler une porteuse, mais cela ne constitue qu'un cas particulier de la sous-porteuse. En ce qui concerne le «multiplexage interrompu», le cas des impulsions numériques dans l'intervalle de suppression de trame n'est pas examiné dans le présent Rapport.

Pour ce qui est du multiplexage d'un ensemble de signaux audionumériques et de signaux de données, deux techniques de base sont envisagées ici: le multiplexage «continu» et le multiplexage «par paquets»; on a recherché les avantages et les inconvénients de principe de chacun de ces systèmes pour les deux cas mentionnés précédemment, à savoir le multiplex interrompu et le multiplex non interrompu. De nouvelles études seront nécessaires pour optimiser ces catégories de systèmes.

2. Services à assurer

Les services sonores envisagés en radiodiffusion sont les suivants:

- son de haute qualité (stéréophonique ou monophonique) à codage entièrement numérique, largeur de bande audio de 15 kHz et gamme dynamique allant jusqu'à 98 dB [CCIR, 1982-86a, b], réservés aux programmes de radiodiffusion sonore;
- son de haute qualité (stéréophonique ou monophonique) associé à l'image (largeur de bande audio de 15 kHz);
- son de haute qualité (monophonique, stéréophonique ou même tétraphonique) pour des programmes supplémentaires de radiodiffusion sonore (largeur de bande audio de 15 kHz);
- son monophonique de haute qualité ou de qualité moyenne à des fins diverses (par exemple, commentaires multilingues en association avec le son international, etc.);
- signaux de qualité «commentaire»;
- signaux de qualité téléphonique.

Parmi les services de données supplémentaires envisagés, on peut notamment citer les suivants:

- données d'information (par exemple, informations de service, texte codé, sous-titrage, logiciel d'ordinateur et étiquetage des programmes);
- informations spéciales pour la télévision à péage;
- appel de personnes.



Cette liste n'est pas exhaustive; dans l'avenir, d'autres applications apparaîtront en fonction de l'évolution des besoins et de la technologie. Les exigences peuvent varier de pays à pays et dans le temps. Pour cette raison, il est souhaitable de disposer d'une certaine souplesse dans l'utilisation du train de bits. Il est en même temps nécessaire d'utiliser des techniques de multiplexage normalisées qui soient aussi simples que possible afin de minimiser la complexité du récepteur et d'en réduire le prix, tout en facilitant la réception des divers services, même s'ils ne sont pas actuellement identifiés.

Dans le cas de la radiodiffusion par satellite avec un signal d'image, les besoins relatifs au son portent sur une capacité donnant l'équivalent de deux à huit voies monophoniques de haute qualité. En l'absence d'un signal d'image, ces besoins peuvent s'élever jusqu'à l'équivalent de trente ou quarante voies monophoniques.

3. Multiplexage du signal numérique dans le canal de télévision

Deux méthodes principales de multiplexage du signal numérique dans le canal de télévision ont été identifiées; il s'agit:

- du «multiplexage interrompu» correspondant par exemple à l'insertion d'impulsions numériques dans la synchronisation de ligne, soit en bande de base (système B, voir le § 4.3.1 du Rapport 632), soit en radiofréquence (système C, voir le § 4.3.3 du Rapport 632); cette méthode correspond au principe du multiplexage par répartition dans le temps, lequel est utilisé de manière généralisée si le signal d'image est basé sur le codage des composantes avec compression temporelle (système MAC);
- du «multiplexage non interrompu», correspondant par exemple à des impulsions numériques sur sous-porteuse (système A, voir le § 4.2.2 du Rapport 632); cette méthode correspond au principe du multiplexage par répartition en fréquence, lequel est utilisé de manière généralisée si le signal d'image est basé sur le codage composite avec une sous-porteuse couleur.

Le cas de voies son en l'absence de signal d'image peut être considéré comme un cas particulier du multiplex non interrompu. Avant d'étudier le multiplexage du son et des données, il est nécessaire d'examiner les implications de la voie porteuse d'information sur les services transmis.

Les services se groupent en quatre catégories:

- a) les services où les données sont produites à un rythme régulier et doivent être restituées à un rythme régulier et pour lesquels le temps de propagation est critique (par exemple, le son numérique);
- b) les services où les données sont produites à un rythme irrégulier mais pour lesquels le temps de propagation est critique (par exemple, les sous-titres codés accompagnant un programme de télévision);
- c) les services où les données sont produites à un rythme irrégulier et pour lesquels le temps de propagation est, dans certaines limites, assez peu important (par exemple, les messages de service);
- d) les services où les données sont diffusées de façon cyclique à un rythme tel qu'elles occupent complètement la capacité disponible dans le système (par exemple, certaines formes de radiodiffusion de textes codés et de logiciels d'ordinateur).

Cette énumération montre clairement que le service le plus important, c'est-à-dire le son, est aussi le plus critique en ce qui concerne la voie porteuse; ce service sera donc examiné avec plus de détails dans ce qui suit.

Les échantillons d'un signal audio peuvent être considérés comme produits de façon régulière (par exemple, au rythme de 32 kHz). Au récepteur, il est nécessaire de retrouver la régularité des échantillons audio afin d'éviter l'apparition de distorsions ou de fluctuations de fréquence sur le son. Cette opération demande la récupération de l'horloge audio et peut être réalisée par les deux méthodes suivantes:

- Lorsque les fréquences caractéristiques de la voie porteuse sont asynchrones et sans aucune relation avec la fréquence d'échantillonnage du son, il est nécessaire d'utiliser une certaine forme de mémoire élastique du type «First-In, First-Out», ainsi qu'une horloge de précision suffisante, avec ou sans rétroaction, de telle manière que le taux de lecture de la mémoire soit égal à son taux moyen de remplissage.
- Lorsque les fréquences caractéristiques de la voie porteuse sont en synchronisme avec la fréquence d'échantillonnage du son ou sont liées à celle-ci par une fraction rationnelle, la voie porteuse elle-même peut être utilisée pour fournir la fréquence de l'horloge audio. Dans le cas où la relation entre la fréquence d'échantillonnage et le débit binaire sur la voie porteuse est de la forme p/q , la récupération de l'horloge peut être réalisée avec boucle à verrouillage de phase. A titre d'exemple, pour les signaux numériques interrompus, la fréquence de 32 kHz peut être restituée si elle est liée à la fréquence de ligne dans le rapport 256:125. Si la relation est de la forme $1/n$, une simple opération de division est suffisante, ce qui réduit le coût des récepteurs. A titre d'exemple, pour des signaux numériques non interrompus, l'horloge audio peut être récupérée facilement si le débit binaire global est un multiple de 32 kHz (par exemple, 2048 ou 1792 kbit/s).

La première des méthodes précédentes a pour effet de reporter une grande partie de la complexité dans le récepteur domestique tout en permettant une conception relativement simple de l'émetteur. Cette opération de récupération asynchrone de l'horloge peut aussi donner lieu à de la gigue sur l'horloge restituée, particulièrement dans le cas d'un équipement domestique où les coûts doivent être minimisés.

La seconde méthode exige que toutes les fréquences d'échantillonnage des voies son soient en synchronisme avec la voie porteuse, ce qui conduit à un émetteur complexe équipé de synchronisateurs de taux d'échantillonnage, mais correspond à la conception la plus simple et la plus stable des récepteurs domestiques.

La nature essentiellement intermittente d'une voie MRT et les principes de base du système de multiplexage par paquets font qu'il est impossible d'assurer directement la signalisation des relations précises de temps ou de phase comme celles qui sont nécessaires pour certains types de signal de commande ou de son multivoie. Dans un tel cas, ou dans des cas similaires, on peut préserver l'efficacité du codage en utilisant les signaux de synchronisation de télévision pour obtenir une base de temps de référence, et en utilisant la relation entre les blocs de codage du son et la base de temps de référence. Une telle méthode est décrite dans la Partie 3, Chapitre 3, de la Publication spéciale du CCIR: «Spécifications des systèmes de transmission pour le service de radiodiffusion par satellite».

Les problèmes de temps de propagation pour les services de données des catégories b), c) et d) mentionnées ci-dessus sont sensiblement moins critiques que dans le cas des services sonores et ne présentent donc pas de difficultés particulières.

Ce qui précède établit clairement que le fonctionnement synchrone des voies son et de la voie porteuse est avantageux, quelle que soit la méthode par laquelle les voies son et les voies de données sont elles-mêmes multiplexées pour former le signal numérique.

4. Multiplexage des voies son et des voies de données

Le canal numérique unique considéré au § 3 ci-dessus à propos du multiplexage avec le signal d'image est lui-même formé par un multiplexage temporel des différents signaux audio et signaux de données. Deux principes de base sont possibles pour ce multiplexage; ils seront dénommés «multiplexage continu» et «multiplexage par paquets».

4.1 *Multiplexage continu*

Dans le multiplexage continu classique, un nombre déterminé de caractères forme une trame numérique composée de bits ayant chacun une affectation spécifique en fonction de sa position dans la trame. Certains bits sont donc destinés à acheminer l'information qui se rapporte à un signal entrant donné. Une structure de bits prédéterminée, qui constitue un signal de synchronisation de trame numérique, permet au récepteur d'identifier et d'extraire les bits qui acheminent chacun des signaux constituant le multiplex.

Dans sa forme la plus simple, un tel multiplex est réalisé à partir de signaux dont le débit binaire est un sous-multiple précis du débit final. On parle dans ce cas de multiplexage synchrone. Lorsque ce n'est pas le cas, il est possible d'effectuer un multiplexage asynchrone en utilisant certains bits dans la trame numérique pour acheminer des informations réelles ou fictives, un signal de commande permettant de faire la distinction. Ce procédé est connu sous le nom de justification. Dans le cas de signaux audio, on peut faire appel à une autre méthode dans laquelle la fréquence d'échantillonnage est réglée au moyen d'un synchronisateur, ce qui permet d'effectuer un multiplexage synchrone. Des propositions ont été faites en vue d'utiliser le multiplexage continu dans sa forme asynchrone, avec emploi de la justification, pour insérer des signaux audio échantillonnés à 32 kHz dans l'intervalle de suppression de ligne, mais d'autres méthodes sont également possibles. Le § 3 montre clairement que la forme synchrone de ce multiplexage présente de nombreux avantages.

Les systèmes de multiplexage continu ne nécessitent qu'une faible partie du débit binaire total pour remplir les fonctions de servitude telles que la synchronisation de trame numérique. Un exemple du rendement qui peut être obtenu en multiplexage continu est fourni par le système NICAM 3 [Caine et autres, 1980], qui utilise seulement 7 kbit/s sur un débit total de 2048 kbit/s pour la synchronisation. Le temps normal de reconstitution de la trame numérique après perte de synchronisation est de 2 ms pour ce système.

En service normal, la réassignation des voies son sera relativement peu fréquente, en raison de la nature continue du son. Un système de multiplexage continu est donc particulièrement adapté à cette application, car il n'exige qu'un débit supplémentaire relativement faible pour définir avec sécurité la structure de la voie numérique. Une faible capacité peut être employée à des fins de signalisation, pour indiquer les modifications d'utilisation de la voie et introduire ainsi la souplesse de fonctionnement. La capacité d'une voie quelconque non utilisée pour le son peut être assignée aux données. Dans le cas des données, la structure détaillée peut être transmise dans la voie de données d'une façon semblable à celle utilisée en multiplexage par paquets avec une longueur constante des paquets (voir le § 4.2). Cette méthode n'entraîne donc pas d'accroissement du débit supplémentaire du multiplex pour indiquer la présence de données. Le but de cette structure est d'exploiter au maximum la capacité du canal pour les informations utiles, avec un degré de souplesse raisonnable tout en assurant la simplicité et la stabilité du récepteur.

Une forme évoluée du multiplexage continu étudié en Europe consiste à diffuser dans la trame numérique une information codée dite «carte de structure» qui indique la configuration particulière du multiplex. Les adresses et les informations de service sont acheminées dans cette carte de structure et elles servent à commander le démultiplexeur. Celui-ci sélectionne les bits demandés et les achemine vers les décodeurs appropriés. Cette méthode permet d'introduire la souplesse voulue dans un multiplex continu dont la configuration peut alors être modifiée fréquemment. Un rendement de canal utile typique d'environ 99% est possible. D'autres formes de multiplexage continu sont décrites dans [CCIR, 1982-86a, c].

Le système NTSC à sous-porteuse numérique (voir Rapport 1073)
a, pour les voies son et données, une structure de multiplexage continue avec codes de commande qui indiquent, dans la trame numérique, la structure de cette trame. Il comprend aussi, dans le domaine de la voie de données, une structure de multiplexage par paquets [CCIR, 1986-90a].

4.2 Multiplexage par paquets

Dans cette technique, le train de bits final est composé de blocs successifs appelés paquets et constitués de deux parties: l'*en-tête* et l'*information*. Chaque paquet n'achemine les informations que d'un seul signal et la sélection au niveau du récepteur se fait par détection, dans l'en-tête, de l'adresse du service désiré: cette méthode n'impose pas un contenu prédéterminé du train de bits final [CCIR, 1978-82a].

Dans le cadre de cette technique qui a été conçue pour les applications en radiodiffusion, la longueur des paquets est constante. Les paquets sont transmis de façon synchrone, ce qui signifie qu'il y a continuité de phase de la séquence binaire et de la porteuse modulée entre paquets ou groupes de paquets. Les paquets sont également transmis avec une périodicité régulière. La validation devient alors une fonction de synchronisation analogue à celle rencontrée dans une structure de multiplexage continu. Cette synchronisation peut s'effectuer d'une façon classique par une boucle asservie sur un motif de synchronisation présent dans l'en-tête de chaque paquet. Cette restriction n'implique pas d'avoir une longueur fixe dans la zone contenant les données utiles dans les paquets.

A l'intérieur des contraintes de l'émission périodique de paquets, la fréquence à laquelle les paquets sont émis pour un service donné est directement liée au débit binaire du signal d'entrée du service considéré. Dans le multiplexage par paquets, il est possible d'avoir un fonctionnement synchrone ou un fonctionnement asynchrone. Dans ce dernier cas, le débit binaire des différents signaux d'entrée ne doit en aucune façon dépendre du débit binaire final. Il ne faut donc prendre aucune mesure spéciale permettant d'adapter des signaux asynchrones. Le contenu du multiplex ne doit pas être prédéterminé ou fixe et peut être modifié à tout moment en fonction des besoins. Dans le cas du fonctionnement asynchrone pour des services sonores (par exemple, pour l'insertion de signaux son dans l'intervalle de suppression de ligne), le multiplexage par paquets permet, par son principe même, l'insertion asynchrone dans le train de bits final, mais la récupération de la fréquence d'échantillonnage exige une resynchronisation, comme expliqué au § 3.

Un paquet est formé de deux parties:

- une zone de données utile,
- un en-tête réservé au transmetteur servant, d'une part, à la synchronisation du récepteur et, d'autre part, à identifier la source des données insérées dans ce paquet et à transmettre d'autres informations. L'en-tête comporte lui-même un motif de synchronisation et un préfixe.

Le motif de synchronisation permet au récepteur d'extraire convenablement les octets composant le paquet. Son rôle est équivalent à un mot de verrouillage dans le cas du multiplex continu. Lors d'une émission périodique, il peut être également utilisé pour la synchronisation de la boucle qui réalise la fonction de validation. Notons encore la possibilité d'utiliser ce motif pour lever l'ambiguïté due à certains procédés de démodulation; un tel dispositif est avantageux dans la mesure où il évite le codage des transitions et donc une certaine propagation des erreurs de transmission.

Le préfixe a pour rôle de caractériser et d'identifier le contenu sémantique du paquet et plus particulièrement l'origine des données insérées dans la zone utile. Plusieurs configurations de préfixe sont possibles. On pourrait notamment utiliser les types de préfixe envisagés pour la radiodiffusion de données [CCIR, 1978-82b].

L'accroissement de la souplesse offerte aux données transmises par un système de multiplexage par paquets est obtenu au prix d'une augmentation du débit du canal absorbé par les fonctions de servitude correspondant aux en-têtes de paquets; en fonctionnement normal, on insère dans ces en-têtes des identificateurs de programme. On peut obtenir un rendement utile total d'environ 97%.

4.3 Sensibilité aux erreurs des systèmes de multiplexage continu et par paquets

4.3.1 Multiplexage continu

Le multiplexage continu est sensible à deux types de dégradations:

- erreurs sur les bits,
- perte de la synchronisation de trame.

Les erreurs introduites dans le multiplex pour un certain nombre de trames consécutives peuvent provoquer la perte de la synchronisation au niveau du démultiplexeur lorsque la structure de trame numérique n'est pas identifiée, mais ce risque peut être réduit si les circuits de synchronisation sont bien conçus. C'est ainsi, par exemple, que le décodeur du système NICAM 3 mentionné précédemment conserve sa synchronisation jusqu'à des taux d'erreur binaire proches de 1×10^{-1} . Une synchronisation très efficace des trames peut être obtenue par l'emploi de codes de synchronisation d'un type spécial (catégorie des codes de Barker). Dans ce cas, on peut réaliser une synchronisation rapide et très stable, entrant en jeu quand le taux d'erreur binaire est de 1×10^{-1} [CCIR, 1982-86a].

4.3.2 Multiplexage par paquets

La radiodiffusion par paquets est sensible à deux types de dégradations:

- erreurs sur les bits,
- perte de paquets.

En effet, à chaque source est associé un identificateur de voie numérique contenu dans le préfixe des paquets. Dans le démultiplexeur, les paquets sont sélectionnés par analyse de cet identificateur. Des erreurs sur cette information, bien qu'elle soit protégée, risquent de provoquer une mauvaise reconnaissance de l'adresse de la source émettrice et donc une perte de paquets se traduisant, au niveau service, par une perte d'un certain nombre d'octets consécutifs (dépendant du format de la zone de données du ou des paquets perdus).

A priori, ce phénomène devrait créer une rupture dans le déroulement de la trame service et une désynchronisation dans le terminal de service. Néanmoins, puisque la longueur de la *trame service* est un sous-multiple d'une *longueur fixe* de paquets, il y a perte d'information sans perte de synchronisation.

Dans ce cas, les paquets associés à une source sonore auront toujours une longueur fixe et implicite connue du démultiplexeur. C'est pourquoi il est préférable d'utiliser dans ces applications une configuration d'en-tête sans octet de format.

Divers essais de diffusion de sons numériques avec multiplexage par paquets et modulation appropriée à la radiodiffusion par satellite (avec émission d'images de télévision) ont été effectués aussi bien en laboratoire qu'avec le satellite OTS [UER, 1981]. Quelques résultats sont également donnés en Annexe I au Rapport 632. On a constaté que les pertes de paquets ne dégradent sensiblement la qualité du son qu'à des niveaux de rapport porteuse/bruit en dessous du seuil de la modulation de fréquence où l'image de télévision est déjà fortement dégradée.

4.4 Résultats expérimentaux

Des démonstrations de multiplex continu à carte de structure et de multiplex par paquets ont été effectuées par l'UER en association avec les systèmes de modulation A et C envisagés à l'époque pour la radiodiffusion par satellite. Plus récemment, des essais ont également été effectués sur le multiplex par paquets associé aux systèmes de modulation D2 (voir le Rapport 632). Les systèmes expérimentaux de multiplexage étaient conçus pour obtenir la plus grande capacité possible compte tenu du débit binaire imposé pour le système de modulation. Les essais ont notamment porté sur diverses méthodes de protection contre les erreurs et sur les possibilités de reconfiguration du multiplex avec changement du nombre et de la nature des voies son et l'insertion de services de données. Les conclusions sont résumées aux § 4.4.1 et 4.4.2.

Il est noté que:

- la capacité est exprimée sous forme d'équivalent en nombre de voies son de haute qualité à codage avec compression quasi instantanée (voir le Rapport 953) avec un système simple de protection contre les erreurs;
- le débit binaire disponible était de 2048 kbit/s avec modulation de type A (sous-porteuse) et d'environ 3 Mbit/s (valeur moyenne) avec une modulation de type C (multiplex temporel RF à débit binaire instantané de 20,25 Mbit/s) et d'environ 1,5 Mbit/s (valeur moyenne) avec modulation de type D2 (multiplexage temporel en bande de base avec codage duobinaire et débit binaire instantané de 10,125 Mbit/s).

Un multiplex continu avec structure rigide a été employé dans un système de modulation de type B (décrit dans le Tableau III du Rapport 1073. Avec cette technique de multiplexage, la structure est essentiellement prédéfinie et dépend de la mise en œuvre du matériel. La capacité est déterminée uniquement par la technique de modulation et de codage, aucune contrainte supplémentaire n'étant nécessaire pour définir la structure du multiplex. Les caractéristiques de ce système sont résumées au § 4.4.3.

Pour une modulation de type B (multiplexage temporel en bande de base avec codage à 4 états et débit binaire instantané d'environ 14,25 Mbit/s), le débit binaire disponible est de 1,57 Mbit/s.

4.4.1 *Multiplex continu à carte de structure*

4.4.1.1 *Capacité*

Dans un système de type C avec vidéo, le système à carte de structure offre une capacité équivalente à 8 voies son comprimées de haute qualité.

Toutes les combinaisons de voies son à codage linéaire ou avec compression ou d'autres types de voies audio sont possibles, à condition de ne pas dépasser la capacité totale. La capacité restant libre peut être utilisée pour les données.

Dans un système de type A, le multiplexage permettrait la diffusion de 6 voies audio comprimées avec protection réduite contre les erreurs (un bit de parité pour deux échantillons).

4.4.1.2 *Souplesse du multiplex*

Il est facile d'adapter les fréquences d'échantillonnage et les méthodes de codage recommandées pour le son. On pourrait aussi admettre sans difficulté d'autres fréquences d'échantillonnage et d'autres méthodes de codage. N'importe quelle méthode de protection contre les erreurs est utilisable.

Les voies de données peuvent avoir une capacité augmentant par pas de 100 bit/s depuis la valeur la plus faible jusqu'à l'utilisation de la totalité du débit disponible.

Les modifications de la structure du multiplex peuvent être réalisées rapidement et avec sécurité, de manière à ce qu'à tout instant la voie de diffusion soit utilisée dans les meilleures conditions pour la diffusion combinée du son et des données. Les changements de structure sont synchrones et ne causent ni retard variable, ni interruption d'une voie quelconque.

Dans le cas d'un système C en l'absence de vidéo, il est possible de porter la capacité disponible pour le son et les données jusqu'à environ 20 Mbit/s.

4.4.1.3 *Qualité et continuité des voies audio*

La technique du multiplexage conserve toutes les informations de synchronisation et de caractère temporel. La cohérence de phase est donc assurée entre toutes les voies présentes et futures. On peut utiliser différentes méthodes de protection contre les erreurs pour chacune des voies audio ou de données.

Une erreur de décodage de la carte de structure susceptible d'entraîner une défaillance de l'ensemble des voies ne peut se produire que très en dessous du point de défaillance des voies audio.

4.4.1.4 *Simplicité du démultiplexeur*

La réalisation du démultiplexeur pourrait faire appel soit à un circuit assurant toutes les fonctions de protection et de démultiplexage, soit à un démultiplexeur/décodeur intégré autonome pour chacune des voies. La logique nécessaire sera la même pour tous les types de voies, y compris la carte de structure.

4.4.1.5 *Efficacité du système*

On a démontré que la synchronisation du système fonctionne de manière satisfaisante à des taux d'erreur binaire légèrement inférieurs à 1×10^{-1} .

4.4.2 *Multiplexage par paquets*

4.4.2.1 *Capacité*

Pour le système A, le multiplexage par paquets offre une capacité équivalente à 5 voies audio monophoniques comprimées de haute qualité.

De la même manière, dans le cas du système C, les spécifications du système à multiplexage par paquets données dans le Rapport 1073 offrent une capacité équivalente à 8 voies audio monophoniques comprimées de haute qualité. Dans le cas du système D2 spécifié dans ce même Rapport, la capacité offerte équivaut à 4 voies audio monophoniques comprimées de haute qualité.

Toutes les combinaisons de voies son à codage linéaire ou avec compression ou d'autres types de voies son sont possibles à condition de ne pas dépasser la capacité totale. La capacité restant libre peut être utilisée pour les données.

4.4.2.2 *Souplesse du multiplex*

Ce système de multiplexage répond aux exigences exprimées dans le Rapport 953 sur le codage du son. En ce qui concerne les données, il permet d'insérer des services synchrones ou asynchrones, sans limitation concernant les débits binaires (en particulier aux valeurs faibles). Les changements de configuration peuvent être assurés rapidement et avec sécurité. Dans le cas d'un système C, il est possible, en l'absence de vidéo, de porter la capacité disponible pour le son et les données jusqu'à environ 19,5 Mbit/s.

N'importe quelle méthode de protection contre les erreurs est, en principe, utilisable. Deux niveaux de protection sont prévus dans le système spécifié dans le Rapport 1073.

4.4.2.3 *Qualité et continuité du son*

Même à des taux d'erreur binaire élevés, on a démontré que la qualité et la continuité du son sont préservées, et les modifications dans la nature de celui-ci pour répondre aux besoins de l'exploitation sont réalisées sans dégradation de la qualité audio. La cohérence temporelle entre voies audio est assurée.

4.4.2.4 *Simplicité du démultiplexeur*

La sélection d'une voie déterminée ne dépend pas de sa nature (données ou son) et en conséquence, elle peut se faire de la même manière pour les décodeurs correspondant à tous les types de services.

Cette caractéristique peut être utilisée pour réaliser un démultiplexeur simple pour les services actuels et pour ceux qui ne sont pas encore définis.

4.4.2.5 *Efficacité du système*

Le système de multiplexage par paquets avec les spécifications définies dans le Rapport 1073 a été expérimenté. Sa capacité de diffusion de différentes voies audio et de données a été vérifiée en présence de différents taux d'erreur binaire. Le Tableau I ci-après donne des informations concernant l'efficacité de la protection contre les erreurs dans l'en-tête.

TABLEAU I

Taux d'erreur binaire mesuré (pendant 30 s)	Taux de perte de paquets	
	Mesuré	Calculé à partir du taux d'erreur binaire mesuré
$6,6 \times 10^{-5}$	0	0
$3,2 \times 10^{-4}$	0	10^{-10}
$1,2 \times 10^{-3}$	0	$1,6 \times 10^{-8}$
$3,6 \times 10^{-3}$	0	$1,4 \times 10^{-6}$
$9,2 \times 10^{-3}$	$7,4 \times 10^{-5}$	$5,5 \times 10^{-5}$
2×10^{-2}	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,05 \times 10^{-3}$
$3,8 \times 10^{-2}$	10^{-2}	$1,03 \times 10^{-2}$
6×10^{-2}	$5,3 \times 10^{-2}$	$4,6 \times 10^{-2}$
$8,8 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-1}$	$1,38 \times 10^{-1}$

4.4.3 *Multiplex continu avec structure rigide*

4.4.3.1 *Capacité*

Dans un système de type B, la structure rigide offre 6 voies audio indépendantes utilisant le codage MDA (voir le Rapport 953). En outre, une voie de données de 62 kbit/s est disponible.

4.4.3.2 *Souplesse du multiplex*

N'importe quelle voie audio peut être reconfigurée en une voie de données avec un débit binaire de 204 kbit/s.

4.4.3.3 *Qualité et continuité du son*

La cohérence du rythme entre les voies audio est assurée. On a démontré que la qualité du son subit une dégradation et que le niveau de qualité descend à 4,4 pour un TEB de 1×10^{-4} , et à 3,5 pour un TEB de 1×10^{-3} .

4.4.3.4 *Simplicité du démultiplexeur*

La structure rigide permet le démultiplexeur le plus simple possible.

4.4.3.5 *Efficacité du système*

On a démontré que la synchronisation du système est satisfaisante à des taux d'erreur binaire inférieurs à 1×10^{-1} . Le codage à deux états et le codage à quatre états sont tous deux mis en œuvre pour assurer la souplesse, qui est exprimée par la capacité en fonction de l'efficacité (la capacité baisse de moitié par rapport à la capacité indiquée au § 4.4.3.1 lorsque le codage à deux états est utilisé). Dans les deux cas, la synchronisation du système est codée à deux états.

5. Conclusions

Le présent Rapport décrit deux méthodes de base permettant de multiplexer des signaux audionumériques et d'autres signaux pour la radiodiffusion.

En résumé, on peut dire que le multiplexage continu est, dans le cas d'une structure rigide, un système qui est le plus efficace pour les émissions sonores et qui correspond à un récepteur simple. Dans le cas d'une structure souple, le multiplexage continu présente une souplesse adéquate au prix d'une plus grande complexité du récepteur et d'une certaine augmentation du débit binaire de servitude. Le multiplexage par paquets a, par principe, une souplesse élevée avec un récepteur de complexité moyenne au prix d'un supplément de débit binaire. Les deux systèmes ne demandent que des circuits simples pour la synchronisation au récepteur si les fréquences d'échantillonnage des signaux à combiner sont synchrones ou peuvent être synchronisées. Chaque système est, en principe, vulnérable aux effets des erreurs, mais les pertes de trames et/ou les pertes de paquets ne se produiront vraisemblablement pas en fonctionnement normal.

Pour la radiodiffusion d'un ensemble de signaux audionumériques et de données accompagnant l'image de télévision, le choix du système de multiplexage dépend principalement de la nature et de la diversité des services, même s'ils ne sont pas actuellement identifiés; les facteurs influençant le choix sont le rendement, la souplesse et la complexité du récepteur. Les deux systèmes de multiplexage étudiés en Europe permettent l'un et l'autre de satisfaire globalement aux exigences exprimées. Compte tenu de tous les facteurs en cause, le multiplexage par paquets a été complètement spécifié pour la radiodiffusion par satellite à 12 GHz avec des normes de télévision à 625 lignes. Les spécifications détaillées du multiplex par paquets retenues (en association avec une des modulations des types C et D2) sont données dans la 3^e partie du Rapport 1073.

Le multiplex continu avec structure rigide a été entièrement spécifié pour la radiodiffusion par satellite à 12 GHz et est le même pour un système à 525 lignes que pour un système à 625 lignes. Les spécifications détaillées de ce multiplex (en association avec une modulation de type B) sont données dans le Tableau III du Rapport 1073.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CAINE, C. R., ENGLISH, A. R. et O'CLAREY, J. W. H. [octobre 1980] NICAM 3: Near instantaneously companded digital transmission system for high quality sound programmes. *Radio Electron. Engr.*, Vol. 50, 10, 510-530.

UER [juin 1981] Essais de radiodiffusion directe avec OTS, synthèse des résultats. Document Tech. 3231 de l'UER.

Documents du CCIR

[1978-82]: a. 10/203 (11/260) (France); b. 11/2 (UER).

[1982-86]: a. 10-11S/44 (Allemagne (République fédérale d')); b. 10-11S/186 (Allemagne (République fédérale d')); c. 10-11S/6 (Japon).

[1986-90]: a. 10-11S/119 (Japon).