

## RAPPORT 632-4

**SERVICE DE RADIODIFFUSION PAR SATELLITE  
(RADIODIFFUSION SONORE ET TÉLÉVISION)****Types de modulation les plus appropriés du point de vue technique**

(Question 2/10 et 11, \_\_\_\_\_  
Programmes d'études 2B/10 et 11, 2C/10 et 11, 2F/10 et 11)

(1974-1978-1982-1986-1990)

**1. Introduction**

Un grand nombre de types de modulation peuvent être utilisés pour le service de radiodiffusion par satellite; pour une application donnée, le choix de l'un d'entre eux dépend d'un grand nombre de facteurs. Ce Rapport présente quelques solutions pouvant être utilisées dans toutes les bandes de fréquences attribuées à ce service.

Concernant les bandes à 12 GHz, rappelons que la CAMR-RS-77 a effectué la planification du service de radiodiffusion par satellite en supposant qu'un programme de télévision ne contiendrait qu'une seule voie son émise à l'aide d'une sous-porteuse modulée en fréquence et située à la fréquence interporteuse du système de télévision en service dans la zone considérée. La CAMR-RS-77 n'a toutefois pas exclu l'emploi de signaux modulants de caractéristiques différentes, à condition que l'utilisation de ces autres caractéristiques ne cause pas un brouillage plus important que celui qu'apporte le système considéré dans le Plan.

**2. Radiodiffusion sonore**

Ce paragraphe concerne les types de modulation appropriés à la radiodiffusion sonore lorsque celle-ci constitue le service principal diffusé par la ou les porteuses considérées.

**2.1 Modulations analogiques**

Parmi les méthodes de modulations analogiques, il semble préférable d'utiliser la modulation de fréquence (MF), les normes étant les mêmes que pour la radiodiffusion sonore de Terre (voir les Recommandations 412 et 450); dans certains cas, elles pourraient toutefois être différentes. Il peut notamment être souhaitable d'utiliser une plus grande excursion de fréquence afin de réduire la puissance d'émission du satellite, notamment dans les bandes de fréquences où il serait de toute façon nécessaire d'utiliser de nouveaux récepteurs ou d'ajouter certains équipements aux récepteurs existants.

Pour la radiodiffusion stéréophonique à multiplexage en modulation de fréquence (voir la Recommandation 450), il est nécessaire d'augmenter d'environ 20 dB les valeurs du champ, de la puissance surfacique et de la p.i.r.e. du satellite ou le facteur de mérite de la station terrienne de réception. En stéréophonie, on pourrait aussi utiliser deux voies identiques transmettant les signaux gauche et droit, mais il pourrait se poser certains problèmes de compatibilité avec la réception monophonique.

**2.2 Modulations numériques**

Pour la diffusion d'un grand nombre de voies son, il peut être avantageux d'utiliser des techniques numériques avec multiplexage par répartition dans le temps. Dans ce cas, le choix du type de la modulation ne dépend pas de la nature des signaux à diffuser, mais seulement des caractéristiques du canal radiofréquence. Le § 6 de ce Rapport traite du choix de ces techniques de modulation numérique, quel que soit le type du signal considéré (son, données, image, etc.).

Pour ce qui concerne l'organisation du multiplex numérique, plusieurs procédures peuvent être utilisées, elles sont décrites dans le Rapport 954. On trouvera dans le Rapport 953 des précisions sur les méthodes de codage numériques.



Le codage numérique du son est étudié dans le Rapport 953 dont les annexes contiennent les résultats des mesures subjectives en ce qui concerne le rapport  $C/N$  et le taux d'erreur binaire. Il faut remarquer que la qualité du son dépend du processus global de transmission (procédure de multiplexage, type de modulation, entrelacement des bits, choix en matière de protection contre les erreurs, caractéristiques du démodulateur, etc.) et également de la nature des erreurs qui se produisent. Il convient de prendre en considération tous ces éléments lorsqu'on compare les résultats.

### 3. Télévision analogique avec une voie son analogique associée

Ce paragraphe est relatif à la diffusion d'un signal analogique de télévision auquel est associée une sous-porteuse pour une voie son analogique.

Pour la radiodiffusion visuelle par satellite, les deux types de modulation analogique les mieux adaptés semblent être la modulation d'amplitude à bande latérale résiduelle et la modulation de fréquence.

Pour une qualité de service et un facteur de qualité donnés de l'installation de réception, la modulation de fréquence permet une réduction substantielle de la puissance d'émission du satellite par rapport à la modulation d'amplitude. Cependant, dans les bandes de fréquences où il existe des récepteurs de télévision de Terre, la modulation d'amplitude peut permettre d'utiliser ces récepteurs sans modification. En ce qui concerne la planification, la modulation de fréquence nécessite des canaux plus larges, mais des rapports de protection moins élevés que la modulation d'amplitude, de sorte que, selon les cas, l'avantage peut revenir à l'un ou l'autre type de modulation.

Lorsque l'on utilise la modulation de fréquence, il est souhaitable que, après démodulation, le signal composite image et son soit le même que dans le service de Terre de la région géographique considérée; cela simplifierait la conception des récepteurs compatibles. Cela implique l'emploi d'une sous-porteuse pour le signal son à une fréquence égale à l'écart entre les porteuses image et son utilisées dans le service de Terre. Une sous-porteuse de grande amplitude peut toutefois causer un battement visible avec la sous-porteuse couleur et un bourdonnement sur le son. Des expériences faites par les membres de l'UER ont montré qu'il n'est pas nécessaire que la bande passante du récepteur soit plus large que ce qu'il faut pour obtenir une bonne qualité de l'image seule, lorsque la sous-porteuse son a une amplitude assurant environ 30% de l'excursion totale crête-à-crête de la porteuse. Toutefois, dans certaines de ces expériences, le rapport signal/bruit pondéré le plus satisfaisant que l'on ait obtenu pour le son a été de 50 dB, du fait du bourdonnement causé par les variations du temps de propagation de groupe du filtre du récepteur. Si l'on veut obtenir une meilleure qualité du son (par exemple, un rapport signal/bruit pondéré de 60 dB), il peut être nécessaire de renoncer au principe de la sous-porteuse analogique et de transmettre le son par d'autres méthodes. Une méthode appropriée pourrait consister à utiliser une porteuse RF séparée ayant les mêmes caractéristiques de modulation que celles qui peuvent être utilisées pour la radiodiffusion sonore par satellite.

Pour la télévision en modulation de fréquence, la limitation de la largeur de bande due aux filtres à fréquences radioélectriques et à fréquences intermédiaires provoque une distorsion qui peut dégrader notablement la qualité de l'image. A cet égard, la partie la plus vulnérable du système est le récepteur dont les filtres doivent être simples et peu coûteux, éventuellement sans correction de phase. En l'absence de sous-porteuses pour les signaux son, les distorsions les plus critiques pour une image en couleur sont la phase et le gain différentiels de la sous-porteuse couleur. Il faut tenir compte de ces distorsions lorsqu'on détermine la relation entre l'excursion de fréquence et la largeur de bande rectangulaire équivalente du récepteur. Des études faites par les membres de l'UER ont montré qu'il est possible d'obtenir des valeurs raisonnables pour ces distorsions, comme l'indique le Tableau III du Rapport 215, pour une excursion de fréquence crête-à-crête d'environ 14 MHz/V à la fréquence de référence de la caractéristique de préaccentuation et pour une bande passante du récepteur de 27 MHz. Des études effectuées au Japon [CCIR, 1978-82a] avec le système M/NTSC à 525 lignes ont montré qu'il existe des combinaisons appropriées entre les déviations de la fréquence porteuse dues au signal d'image et à la sous-porteuse son et la déviation de fréquence de la sous-porteuse par le signal son. Ces valeurs permettent d'obtenir les rapports signal/bruit nécessaires, sans produire de battement visible ni de bruit de troncature.

### 4. Télévision analogique avec plusieurs voies son

Dans ce paragraphe, nous trouverons la description de types de modulation permettant la diffusion dans le même canal radiofréquence de plusieurs voies son et d'un signal analogique de télévision.

#### 4.1 Objectifs

Il est probable qu'à l'avenir on souhaitera disposer, dans le canal de radiodiffusion par satellite, d'une capacité permettant de diffuser, en plus de l'image, un certain nombre de voies son et utiliser si possible cette capacité de manière souple pour émettre des sons de haute qualité (y compris en stéréophonie) et des commentaires multilingues et même des données ou des sons sans relation directe avec l'image.

Les systèmes utilisés dans ce but, dans la bande des 12 GHz, en Régions 1 et 3 devront satisfaire aux prescriptions de la CAMR-RS-77, en ce qui concerne notamment la largeur de bande occupée et les brouillages créés à d'autres services; en Région 2, il faudra de même respecter les décisions de la Conférence de planification du service de radiodiffusion par satellite à 12 GHz (CARR SAT-83). En outre, il est souhaitable de réaliser à long terme une unification des normes de diffusion du son accompagnant l'image en radiodiffusion par satellite et par émetteur de Terre (voir le Programme d'études 47A/10).

La qualité du son devrait être au moins aussi bonne que celle obtenue avec le système à une seule sous-porteuse MF mentionné au § 3 ci-dessus. Pour un son monophonique de haute qualité, on peut envisager les objectifs suivants:

- largeur de bande audio: 15 kHz;
- pour les systèmes analogiques, rapport signal/bruit de 50 dB au moins et si possible de 60 dB, pendant 99% du temps et en valeur de quasi-crête avec la pondération de la Recommandation 468;
- pour les systèmes numériques utilisant une compression pour réduire le débit binaire total, dynamique équivalente par exemple à celle d'une conversion analogique/numérique de base à 14 bits par échantillon.

Il est en outre utile de pouvoir remplacer une voie son de haute qualité par deux ou trois voies de commentaires ayant le même rapport signal/bruit mais une largeur de bande réduite.

Un autre objectif important dans la conception des systèmes de radiodiffusion pour le public est le prix des installations de réception qui doit rester aussi faible que possible. Il en est de même pour les modifications qui devraient peut-être intervenir dans les réseaux de distribution par câble.

#### 4.2 Multiplexage en fréquence

##### 4.2.1 Emploi de plusieurs sous-porteuses analogiques

Le multiplexage en fréquence de plusieurs sous-porteuses modulées par les signaux son conduit à un récepteur particulièrement économique, tout en ne nécessitant qu'un accroissement tout au plus insignifiant de la largeur du canal. Toutefois, une intermodulation entre les signaux son et image et entre les différents signaux son peut se produire si les niveaux des sous-porteuses ne sont pas convenablement réglés à l'intérieur du canal commun.

Sur les bases techniques du plan à 12 GHz des Régions 1 et 3, des études effectuées en France et en République fédérale d'Allemagne [CCIR, 1978-82b et c] utilisant des signaux d'image conformes aux caractéristiques des systèmes L/SECAM et G/PAL ont montré que, si l'écart de fréquence entre les sous-porteuses fait l'objet d'une tolérance précise, les produits d'intermodulation tombent entre les raies du spectre de l'image. Des essais effectués en Allemagne ont montré que, l'excursion des sous-porteuses peut être augmentée jusqu'à  $\pm 63$  kHz, ce qui améliore le rapport signal/bruit, tout en conservant la compatibilité avec les récepteurs existants. Dans les pays où il n'existe pas de problème de compatibilité avec le système existant, on peut même augmenter l'excursion jusqu'à  $\pm 100$  kHz. Dans ce dernier cas, des mesures effectuées en France ont montré que le rapport signal sur bruit audio est de 50 dB (pondération CCIR quasi-crête) en présence de vidéo et du bruit de transmission. Pour ces systèmes, des résultats de mesures effectuées avec le satellite OTS sont donnés dans l'Annexe I.

Au Japon, on a étudié un dispositif à deux sous-porteuses son pour le système à 525 lignes M/NTSC en utilisant des récepteurs domestiques avec des fréquences de sous-porteuses de 5 et 5,5 MHz à titre d'exemple [CCIR, 1978-82d]. Lorsque les excursions des fréquences porteuses causées par le signal image et par chaque sous-porteuse son étaient fixées respectivement à 17 MHz crête-à-crête et  $\pm 1,3$  MHz et que l'excursion causée par le signal son était de  $\pm 75$  kHz, les rapports signal/bruit obtenus étaient de 38 dB pour le signal image (non pondéré), de 59 dB pour le signal son de la première sous-porteuse et 58 dB pour le signal son de la seconde sous-porteuse (valeurs efficaces, non pondérées), sans production visible de caractéristique de battement et de bruit de troncature pour un rapport porteuse/bruit de 14 dB.

Si l'on adoptait le système à deux porteuses pour la télévision de Terre, il serait souhaitable que les fréquences des sous-porteuses du système de télévision par satellite soient égales aux espacements entre les porteuses image et son du système de télévision de Terre.

Des études faites au Japon ont montré qu'on peut utiliser une deuxième sous-porteuse en modulation de fréquence et à multiplexage dans le temps d'impulsions pour transmettre jusqu'à six voies son supplémentaires sans augmenter la largeur de bande du récepteur [CCIR, 1974-78a].

#### 4.2.2 Utilisation d'une sous-porteuse à modulation numérique

Ce paragraphe traite de l'utilisation d'une seule sous-porteuse à modulation numérique. L'organisation du multiplex numérique applicable à ce cas est décrit dans le Rapport 954. Parmi les nombreuses possibilités, on s'attachera surtout au cas d'une sous-porteuse unique modulée par un multiplex numérique où le débit binaire est approximativement de 700 kbit/s, 1400 kbit/s ou 2100 kbit/s (soit l'équivalent de deux, quatre ou éventuellement six voies monophoniques de haute qualité). La faisabilité de ce type de système a été étudiée théoriquement et expérimentalement à la BBC [Gilchrist, 1976; Kalloway, 1976], avec une sous-porteuse à 6,5 ou 7 MHz, un débit binaire de 700 kbit/s et une modulation par déplacement de phase à 4 états. Une expérience analogue a été menée en Italie, avec une modulation par déplacement de phase à 4 états et une sous-porteuse à 7,5 MHz. Le débit binaire était de 2,048 Mbit/s et un multiplexage continu du train binaire a été utilisé [CCIR, 1978-82e]. Des études et des essais de nature similaire ont été effectués en France et en Suède [CCIR, 1978-82f et g] avec une sous-porteuse à 6,656 MHz, un débit binaire de 2 Mbit/s et une modulation par déplacement de fréquence d'indice 1/2 à phase continue, obtenue par filtrage à bande latérale résiduelle d'une modulation à 2 états de phase, appelée «MDM simplifiée» [Amoroso et Kivett, 1977; Pommier et Veillard, 1979]. Des études théoriques et expérimentales ont été effectuées par l'UER en vue d'optimiser les paramètres de modulation et de fournir des spécifications complètes pour ce type de système. A l'occasion des essais effectués en France, on a expérimenté une méthode de multiplexage par paquets.

Aux Etats-Unis d'Amérique, on emploie dans le service fixe par satellite, un système avec une sous-porteuse à 5,5 MHz ayant une capacité de 1,79 Mbit/s, soit quatre voies son de haute qualité à 15 kHz ou deux paires stéréophoniques ou une transmission quadraphonique. On utilise des solutions assez semblables dans les équipements de chiffrement vidéo/audio pour application dans les satellites qui utilisent la modulation de fréquence avec une largeur de bande radioélectrique de 36 MHz.

Il convient cependant de noter que la largeur de la bande (vidéo plus sous-porteuse modulée par un signal numérique) peut être, dans certains pays, plus large que la largeur du canal de télévision prévue dans les réseaux de distribution. Ceci peut conduire à quelques difficultés quand le signal doit être distribué dans de tels réseaux.

Quel que soit le type de modulation utilisé, les filtres placés à l'émission et à la réception sur la sous-porteuse numérique sont des éléments essentiels. Dans le cas d'une sous-porteuse numérique seule, le filtre placé à l'émission a pour rôle de limiter le spectre de la sous-porteuse numérique, afin d'éviter tout brouillage du signal de télévision. A la réception, le filtre du démodulateur numérique doit limiter la bande de bruit sans introduire d'interférence intersymbole. Pour obtenir des performances optimales, les filtres d'émission et de réception ne peuvent pas être conçus séparément. La mise en œuvre d'un système ayant des caractéristiques optimales nécessite donc une caractérisation relativement précise de ces filtres, tout en recherchant une solution simple et économique pour le filtre du démodulateur.

La recherche d'un compromis entre l'efficacité et la simplicité du démodulateur numérique conduit à la conclusion préliminaire que la modulation MDM simplifiée semble intéressante pour la diffusion sur sous-porteuse numérique. Les caractéristiques du système jugées optimales à la suite des études de l'UER sont données dans l'Annexe I, pour un objectif de service correspondant à un taux d'erreur binaire de  $1 \times 10^{-3}$  pour un rapport porteuse/bruit de 8 dB, ce qui autorise une marge de 2 dB pour la réalisation du récepteur [CCIR, 1982-86a].

Un système de transmission sonore numérique utilisant une modulation MDP-4 différentielle d'une sous-porteuse à 5,727272 MHz a été adopté au Japon pour son projet de satellite opérationnel de radiodiffusion télévisuelle BS-2. Un débit binaire de 2,048 Mbit/s et une déviation de fréquence de  $\pm 3,25$  MHz de la porteuse principale par la sous-porteuse ont été choisis. Les spécifications de ce système sont données dans le Rapport 1073. Les résultats expérimentaux obtenus figurent dans l'Annexe II au présent Rapport [CCIR, 1982-86b].

Le matériel commercial des Etats-Unis dont il a été question ci-dessus utilise la modulation MDP-4 pour la sous-porteuse à MIC à 14 bits, avec compression-extension instantanée, d'où résultent 11 bits plus le signe. Après avoir ajouté des bits de parité aux mots de 13 bits, on applique la sous-porteuse avec un niveau de  $-19$  dB par rapport au niveau vidéo, ce qui donne un taux d'erreur binaire inférieur à  $1 \times 10^{-6}$  pour un rapport porteuse/bruit de 13,5 dB. La qualité de transmission est excellente tant pour les faisceaux hertziens de Terre (largeur de bande radioélectrique = 20 MHz) que pour les voies par satellite (largeur de bande radioélectrique = 36 MHz et excursion de crête de la porteuse principale = 12 MHz. On trouvera des renseignements supplémentaires dans les Rapports 488 et 215.

#### 4.2.3 *Utilisation d'une sous-porteuse modulée numériquement et d'une sous-porteuse analogique modulée en fréquence*

La possibilité de diffuser simultanément une sous-porteuse analogique et une sous-porteuse modulée numériquement permet, selon la nature du récepteur utilisé, d'offrir deux possibilités:

- l'une, qui conduit à des récepteurs très économiques, correspond à la réception d'un programme de télévision ayant une voie son monophonique de bonne qualité;
- l'autre permet l'accès à des services complémentaires tels que: sons stéréophoniques ou monophoniques de haute qualité, sons de commentaires, sous-titrage, télétexte, programmes sonores supplémentaires, etc. Le débit numérique devrait être choisi pour permettre au minimum la diffusion de l'équivalent de quatre voies son de haute qualité.

Pour atteindre ces objectifs, la sous-porteuse analogique doit permettre d'obtenir un son de bonne qualité, tandis que le débit binaire de la sous-porteuse numérique doit au moins être égal à 1,4 Mbit/s avec un taux d'erreur binaire inférieur à  $1 \times 10^{-4}$  pour un rapport  $C/N$  supérieur à 10 dB.

Des études effectuées dans ce domaine en France et au Royaume-Uni, avec une largeur de bande de 27 MHz et des systèmes à 625 lignes, ont montré que toutes ces conditions peuvent être remplies si le récepteur a une qualité suffisante pour permettre d'éviter tout brouillage de l'image par les produits d'intermodulation dus à la présence des deux sous-porteuses; notons toutefois à ce sujet que l'étalement du spectre de la sous-porteuse numérique rend moins visible ces battements, lorsqu'ils existent, que ceux produits par deux sous-porteuses analogiques.

Dans le cas d'une sous-porteuse analogique et d'une sous-porteuse numérique, des contraintes supplémentaires apparaissent au niveau des filtres d'émission et de réception de la sous-porteuse numérique. En effet, le filtre d'émission doit dans ce cas assurer une bonne protection de la sous-porteuse analogique; ceci nécessite une réduction plus importante du spectre de la sous-porteuse numérique. De même, le filtre du démodulateur numérique doit être suffisamment étroit pour permettre une séparation efficace entre la sous-porteuse numérique et la sous-porteuse analogique. Pour un débit donné, ces contraintes rendent plus difficiles que dans le cas d'une sous-porteuse numérique seule la recherche d'un bon compromis entre les caractéristiques des filtres d'émission et de réception.

### 4.3 *Multiplexage par répartition dans le temps*

Les méthodes de mise en œuvre du multiplex numérique peuvent être analogues à celles prévues pour les systèmes à porteuse ou à sous-porteuse numérique (voir le Rapport 954).

#### 4.3.1 *Insertion en bande de base de signaux audionumériques dans l'intervalle de suppression de ligne en utilisant un codage à réponse entière*

L'insertion de signaux audionumériques dans l'intervalle de suppression de ligne est un procédé intéressant puisqu'il permet de transmettre des signaux son de haute qualité sans nécessiter un accroissement de la largeur de la bande de base ou du canal radioélectrique.

L'emploi de ce procédé en télévision de Terre fait l'objet du Rapport 958, certains systèmes sont également décrits dans le Rapport 488 et dans [CCIR, 1970-74a]. Le Rapport 958 fait notamment remarquer, dans le cas des systèmes de télévision B/PAL et M/NTSC (Japon), qu'il est peu probable qu'un système comportant des signaux numériques dans la suppression de ligne soit compatible avec les récepteurs actuels, même si l'on n'utilise que la moitié de la capacité totale de la suppression de ligne. De nouvelles études sont par ailleurs nécessaires pour les autres systèmes de télévision. Par suite du problème de compatibilité, le Rapport 958 conclut à la nécessité d'introduire de nouveaux types de récepteurs en télévision de Terre, si l'on veut utiliser l'intervalle de suppression de ligne pour émettre jusqu'à quatre voies son de haute qualité.

Cette technique est plus appropriée en radiodiffusion par satellite où les questions de compatibilité avec les récepteurs existants ne sont pas aussi déterminantes que dans le cas de la télévision de Terre. Ceci tient au fait que le traitement du signal, y compris la reconstruction des impulsions de synchronisation, pourrait être réalisé dans le convertisseur qu'il faudra de toute manière adjoindre au récepteur de télévision. En outre, la propagation par trajets multiples qui pourrait dégrader la qualité de l'image avec ce système en télévision de Terre, ne devrait pas intervenir en radiodiffusion par satellite.

L'insertion en bande de base d'un signal multiplex numérique audiofréquence et de données durant l'intervalle de suppression de ligne a été développé dans le cadre du système B-MAC décrit dans le Rapport 1073. Le débit binaire instantané pour le signal B-MAC à 525 lignes est de 14,3 ou 7,15 Mbit/s lorsqu'on utilise une technique de codage à 4 états, ou à 2 états respectivement. Une telle modulation MDP à 4 ou à 2 états permet la détection du signal au moyen d'un simple démodulateur MF. Les capacités correspondantes en transmission de données sont de 1,57 et 0,785 Mbit/s ce qui offre respectivement 6 ou 3 canaux audiofréquence de haute qualité et un canal de données utilitaires de 9600 bit/s ou 4800 bit/s protégé au moyen d'une logique à décision majoritaire 5:1. Ce multiplex son et données ne nécessite pas une largeur de bande supérieure à celle du signal MAC vidéo acheminé parallèlement. L'Australie a adopté le système B-MAC à 625 lignes qui offre une capacité de 1,594 ou 0,797 Mbit/s lorsqu'on utilise le codage à 4 ou à 2 états respectivement. Cela permet de disposer respectivement de 6 ou de 3 canaux audiofréquence de haute qualité.

On utilise dans les deux versions du système B-MAC, la modulation delta adaptative (MDA) avec une fréquence d'échantillonnage de 204 kHz (13 fois la fréquence de ligne), ce qui permet d'obtenir un codage du son de haute qualité compatible avec le nombre requis de canaux. Le Rapport 953 donne une description détaillée de ce codage à modulation delta adaptative et présente les résultats des mesures subjectives réalisées en Australie, au Canada et aux Etats-Unis.

Les résultats montrent qu'avec une technique appropriée de dissimulation d'erreurs comme celle qui est décrite dans le Rapport 1073, la défaillance de service ( $Q = 1,5$ ) se produit à un taux d'erreur binaire de  $1,5 \times 10^{-2}$ . Les résultats montrent également que, dans un canal de transmission non perturbé, la modulation delta adaptative donne des résultats analogues à ceux du système de compression-extension 14-10 quasi instantanée décrit dans le Rapport 953, sauf dans le cas de programmes particuliers. Il a également été constaté qu'une augmentation de la fréquence d'échantillonnage pour la modulation delta adaptative permet de se rapprocher de la qualité obtenue dans le cas du système à compression-extension quasi instantanée pour tout type de programme.

Ce multiplexage par répartition dans le temps en bande de base évite les problèmes d'intermodulation avec les signaux vidéo et la dégradation des caractéristiques de seuil due aux sous-porteuses son. Cette technique permet également une plus large excursion de la porteuse à l'intérieur du canal radiofréquence et autorise l'emploi d'un simple démodulateur de fréquence pour obtenir les signaux vidéo, son et données.

Des essais ont été effectués dans le cadre de l'UER sur un système de ce type associé à une image de télévision PAL avec un débit binaire instantané égal au double de la fréquence de la sous-porteuse couleur et une synchronisation numérique insérée dans la suppression de trame. La capacité disponible est alors de 1,625 Mbit/s, soit quatre voies son de haute qualité. Ce système pris isolément satisfait au critère de continuité du service d'un taux d'erreur binaire de  $1 \times 10^{-3}$  avec un rapport porteuse/bruit de 8 dB. Toutefois, ce critère n'est plus satisfait si on ajoute au système une sous-porteuse à modulation numérique, du même type que celle décrite à l'Annexe I, dans l'espoir d'augmenter la capacité jusqu'à une valeur voisine de 3,5 Mbit/s.

#### 4.3.2 *Insertion en bande de base de signaux audionumériques dans l'intervalle de suppression de ligne en utilisant un codage à réponse partielle (par exemple, duobinaire)*

Deux systèmes associant le codage MAC pour l'image à un multiplexage temporel en bande de base des signaux numériques ont été étudiés en Europe. Ces deux systèmes, connus sous le nom de D-MAC/paquet et D2-MAC/paquet, utilisent un multiplex en bande de base (type B) avec un codage duobinaire. Pour le système D-MAC/paquet un débit binaire brut de 3,28 Mbit/s est obtenu à partir de salves de  $10 \mu\text{s}$  et un débit instantané de 20,25 Mbit/s. Pour le système D2-MAC/paquet, un débit binaire brut de 1,64 Mbit/s est obtenu à partir de salves numériques de  $10 \mu\text{s}$  et un débit instantané de 10,125 Mbit/s. Pour les deux systèmes, les autres caractéristiques de codage et de multiplexage sont communes aux systèmes de la famille MAC/paquet.

Les systèmes D-MAC/paquet et D2-MAC/paquet présentent la propriété originale de pouvoir s'adapter aux caractéristiques physiques des supports de transmission. Cette forme de flexibilité résulte du concept de multiplex temporel en bande de base, associé à l'utilisation d'un code duobinaire pour la transmission du signal numérique. Le système D2-MAC/paquets apparaît comme l'un des meilleurs compromis entre l'utilisation optimale d'une voie de radiodiffusion par satellite et la compatibilité directe avec les canaux de 7 ou 8 MHz utilisés dans de nombreux réseaux câblés.

Pour le système D2-MAC/paquet en radiodiffusion par satellite, le signal bande de base est transmis avec une bande au moins égale à 8,4 MHz. Dans ces conditions, un signal d'image conforme au Rapport 601 ne subit pas de réduction de bande passante et le signal numérique satisfait au critère de continuité du service, correspondant à un taux d'erreur binaire de  $1 \times 10^{-3}$  pour un rapport  $C/N$  de 8 dB.

Pour le système D-MAC/paquet en radiodiffusion par satellite, le signal en bande de base est transmis avec une largeur de bande nominale de 10 MHz. Dans ces conditions, un signal d'image conforme au Rapport 601 ne subit pas de réduction de bande passante et le signal numérique satisfait au critère de continuité de service, correspondant à un taux d'erreur binaire de  $10^{-3}$  pour un rapport  $C/N$  de 8 dB, lorsque le récepteur met en oeuvre un filtrage passe-bande et les techniques de réduction d'erreur appropriés.

Les deux systèmes présentent les avantages essentiels suivants:

- possibilité d'augmenter la largeur de bande vidéo dans le cas d'un démodulateur à filtre adaptatif, pour des valeurs du rapport  $C/N$  supérieures au seuil de démodulation de fréquence (environ 11 dB);
- absence d'intermodulation entre composantes du signal en bande de base;
- démodulation de l'ensemble du signal par le même démodulateur;
- possibilité en optimisant la largeur de bande de filtrage de réduire le taux d'erreur binaire et le bruit impulsif sur l'image;
- possibilité de traitement numérique du signal codé duobinaire pour réduire les effets des erreurs binaires ;
- organisation souple, donc évolutive de l'ensemble du multiplex;

Le système D-MAC/paquet présente les avantages supplémentaires suivants:

- compatibilité directe avec tous les canaux de transmission dont la bande de base est égale ou supérieure à 9 MHz;
- le plus haut taux de transmission de données réalisables (20,25 Mbit/s);
- diffusion continue de données, avec un débit de 20,25 Mbit/s par multiplex élémentaire D-MAC/paquet.



Le système D2-MAC/paquet présente les avantages supplémentaires suivants:

- compatibilité directe avec tous les canaux de transmission dont la bande de base est égale ou supérieure à 4,5 MHz;
- diffusion continue de données, avec un débit de 10,125 Mbit/s par multiplex élémentaire D2-MAC/paquets.
- l'utilisation d'un démodulateur avec filtre adaptatif permet d'obtenir un taux d'erreur binaire de  $10^{-3}$  pour un rapport porteuse/bruit de 6,5 dB.

Compte tenu de ces avantages, la spécification complète des systèmes D-MAC/paquet et D2-MAC/paquets a été établie pour la diffusion par satellite à 12 GHz avec des normes à 625 lignes (voir le Rapport 1073). Le Rapport 634 donne les résultats des mesures sur la sensibilité aux brouillages [CCIR, 1982-86c et CCIR, 1986-90a].

L'industrie du Royaume-Uni et les laboratoires de radiodiffusion ont procédé en commun à des expériences très complètes sur le système D-MAC/paquet. Ces expériences ont porté sur toutes sortes de supports: satellite, câble, faisceaux hertziens terrestres; ils ont montré que la mise en oeuvre des récepteurs était possible et économique. Pour la radiodiffusion par satellite, les résultats se trouvent résumés à l'Annexe IV de ce Rapport.

L'industrie européenne et les laboratoires du CCETT ont réalisé en commun de nombreuses expériences sur le système D2-MAC/paquets. Ces expériences ont été faites sur de nombreux supports: satellite, câble et réseaux hertziens terrestres. Les résultats concernant la radiodiffusion par satellite sont résumés dans l'Annexe III de ce Rapport.

#### 4.3.3 Multiplex temporel radiofréquence utilisant l'intervalle de suppression de ligne

La modulation est analogique (modulation de fréquence) pendant la partie active des lignes et numérique pendant la suppression de ligne. Ce type de système offre une capacité voisine de 3 Mbit/s (soit l'équivalent de huit voies son de haute qualité), il est naturellement compatible avec le codage des composantes de l'image en compression temporelle et multiplexage par répartition dans le temps (MAC) [Lucas et Windram, 1981]. Des équipements supplémentaires sont nécessaires à la réception si l'on effectue un transcoding vers les récepteurs existants, mais dans son ensemble le récepteur n'est pas plus complexe que pour les autres systèmes utilisant la modulation numérique pour le son. Il n'est pas possible d'utiliser ce système tel quel en télévision de Terre, mais un transcoding simple est réalisable vers un système de type B (voir le § 4.3.1) à capacité moins grande, mais où l'on réutilise la plupart des équipements du récepteur de type C.

Les principales propriétés du système de multiplexage temporel en radiofréquence sont les suivantes:

- forte capacité disponible pour la diffusion de voies audionumériques et de signaux de données, avec un bon comportement vis-à-vis des erreurs; en particulier, on peut satisfaire au critère de continuité du service correspondant à un taux d'erreur binaire de  $1 \times 10^{-3}$  pour un rapport porteuse/bruit de 8 dB;
- possibilité d'augmentation de la bande passante vidéo;
- filtrage vidéo simple;
- pas de dégradation du seuil de démodulation de fréquence;
- pas de problème d'intermodulation;
- démodulation en une étape du signal numérique;
- en principe, conversion facile vers un système convenant aux besoins de la distribution par câble\*;
- peut être rendu parfaitement compatible avec la diffusion continue de données.

Compte tenu de ces avantages, on a établi la spécification complète d'un système C associé à une image MAC et faisant appel à un multiplexage par paquets pour la diffusion par satellite à 12 GHz avec des normes à 625 lignes (voir le Rapport 1073). Le Rapport 634 donne les résultats de mesures de la sensibilité aux brouillages.

L'UER a réalisé de nombreuses expériences avec un système de type C associé à une image de télévision MAC (voir l'Annexe V).

On préfère, pour ce système, la modulation de phase MDP-2-4 [Duponteil, 1981] où la variation de phase est instantanée et égale à  $90^\circ$  à chaque bit (avant filtrage) en raison des avantages suivants:

- forme adéquate du spectre et faible étalement du spectre après passage dans un organe non linéaire tel qu'un répéteur de satellite;
- équipement de réception simple avec de bonnes performances pour la démodulation différentielle\*\*;
- possibilité d'utilisation du même démodulateur MF pour l'image et le son dans les régions où le signal reçu est intense.

## 5. Porteuse radiofréquence modulée numériquement

Ce paragraphe est relatif aux systèmes de modulation pour lesquels la porteuse radiofréquence est directement modulée par le flux binaire à transmettre. Il concerne la diffusion de tous les types de signaux: sons, images, données, etc.

Le codage numérique des signaux de télévision et \_\_\_\_\_ les techniques de compression réduisant la redondance de l'information dans l'image font actuellement l'objet de nombreuses études (voir le Rapport 629). La diffusion utilisant la modulation directe de la porteuse par le signal d'image numérisé constitue une possibilité pouvant se substituer à la modulation de fréquence analogique.

La modulation numérique présente des avantages potentiels sur la modulation de fréquence analogique, notamment la possibilité de diminuer la puissance d'émission du satellite ainsi que la largeur de bande nécessaire si l'on peut utiliser un débit binaire suffisamment bas.

Si cette solution est actuellement trop onéreuse à mettre en œuvre pour la réception individuelle, le coût n'est peut-être pas excessif dans le cas de la réception communautaire [CCIR, 1974-78b]. Il est aussi vraisemblable que les dispositifs de ~~decodage~~, une fois normalisés, bénéficieront des mêmes réductions spectaculaires de coûts que d'autres matériels numériques tels que les ordinateurs et les calculateurs.

### 5.1 Techniques de modulation

La technique de modulation doit être choisie en fonction de critères tels que l'encombrement spectral et la résistance au bruit et aux brouilleurs. De plus, dans le cas de la réception individuelle, ce choix devra tenir compte de la simplicité et du coût du démodulateur. Parmi les types de modulation qui semblent être bien adaptés, citons les modulations par déplacement de phase à deux ou quatre états MDP-2 et MDP-4, la modulation par déplacement de fréquence d'indice  $1/2$  à phase continue et les modulations par déplacement de fréquence utilisant les principes du codage à réponse partielle. Ces dernières présentent l'avantage d'un spectre de puissance étroit à enveloppe constante [CCIR, 1978-82h et i]. Parmi ces types de modulation nous trouvons notamment les modulations MDF duobinaires d'indice  $1/2$  et MF asservie (MFA) [De Jager et Dekker, 1978]. Ces dernières peuvent être considérées comme dérivant d'une modulation MDM dans laquelle les transitions de phase sont rendues dépendantes les unes des autres par le principe du code utilisé. Ces modulations ont également de nombreux points communs avec celles à quatre états de phase et à trains décalés, telles que la MDP-4 décalée [Gronemeyer et McBride, 1976]. En effet, les modulations MDF duobinaires d'indice  $1/2$  et la MDP-4 décalée sont toutes deux des modulations à quatre états de phase et à trains décalés; la modulation MFA quant à elle peut être considérée comme une modulation MDF duobinaire d'indice  $1/2$  dans laquelle un niveau de corrélation plus important existe entre les transitions de la phase du signal émis. Toutes ces similitudes sont intéressantes car elles permettent de penser qu'au niveau des procédés de démodulation, il existe une large compatibilité entre tous ces types de modulation. Ceci est particulièrement intéressant en radiodiffusion où nous connaissons bien l'effet d'un parc de terminaux existant, lors de la définition de nouveaux systèmes aux contraintes radioélectriques différentes.

\* Il convient de noter, toutefois, que si la capacité totale du système est requise, la largeur de bande nécessaire peut, dans certains pays, être plus grande que la largeur de voie fournie par la répartition des porteuses dans les réseaux de câbles. Il peut en résulter certaines difficultés lorsque le signal doit être distribué dans de tels réseaux.

\*\* La dégradation théorique de la démodulation différentielle par rapport à la démodulation cohérente correspond à une augmentation du rapport porteuse/bruit de 1,1 dB pour un même taux d'erreur binaire de  $10^{-3}$ .

## 5.2 Brouillage

Une étude constructive reposant sur une technique numérique [CCIR 1978-82j: Pommier et Siohan, 1981] donne des résultats basés sur les modulations MDP-4 et MDM, lorsque la modulation numérique s'effectue sur une porteuse du Plan de fréquences de la bande des 12 GHz (Régions 1 et 3). Un des points étudiés concerne la protection des canaux adjacents, protection qui doit être effective même en présence des phénomènes d'étalement du spectre dus aux non-linéarités du tube de puissance du satellite utilisé au voisinage de la saturation. En effet, pour les modulations MDP-4 et MDM, les brouillages dans les canaux adjacents semblent être la principale cause de la limitation du débit utilisable.

Deux phénomènes bien distincts, affectant le canal analogique MF brouillé doivent être considérés séparément:

- le premier phénomène correspond à la dégradation — du signal reçu au-dessus du seuil de démodulation;
- le deuxième phénomène est le déplacement apparent du seuil de démodulation, à puissance de bruit thermique  $N$  donné, vers des valeurs plus élevées du rapport porteuse sur bruit ( $C/N$ ).

Cette étude a montré que le brouillage dans les canaux adjacents modulés en fréquence, peut conduire à une dégradation qui se manifeste principalement par un déplacement du seuil vers des valeurs plus élevées du rapport porteuse sur bruit thermique. La limitation du débit due à ce phénomène dépend de la valeur tolérée sur la remontée du seuil. Pour une remontée du seuil maintenue à une valeur inférieure à 0,15 dB environ, les débits utilisables en MDP-4 et en MDM sont respectivement de 26 Mbit/s et 20 Mbit/s. Si l'on admet une remontée plus importante du seuil, de l'ordre de 0,3 dB par exemple, des débits de 34 et 27 Mbit/s peuvent alors être utilisés, avec respectivement des modulations du type MDP-4 et MDM. Ces valeurs ont été obtenues avec un filtre de réception de 27 MHz et un démodulateur de fréquence à limiteur et discriminateur, pour la démodulation des porteuses MF brouillées. D'autres conditions telles que, par exemple, l'utilisation de démodulateurs à extension de seuil conduiraient certainement à des résultats tout à fait différents.

Pour les deux types de modulation MDP-4 et MDM, avec des démodulateurs cohérents et une marge technologique de 2 dB, un taux d'erreur binaire de  $1 \times 10^{-4}$  pour un flux au sol de  $-107$  dB(W/m<sup>2</sup>) est obtenu avec un débit binaire voisin de 21 Mbit/s, lorsque les stations de réception ont un facteur de qualité  $G/T$  de 6 dB(K<sup>-1</sup>).

Une récente étude [Newland, 1988] a établi que quand des signaux à modulation numérique se brouillent mutuellement, on peut admettre un degré de brouillage mutuel bien supérieur, par rapport au cas de signaux analogiques contenant des images ou des sons de qualité radiodiffusion. Le rapport porteuse/brouillage admissible ( $C/I$ ) dépend de la méthode de modulation et du codage avec correction d'erreur (le cas échéant). Il existe aussi des possibilités d'adaptation entre  $C/N$  et  $C/I$  dans le bilan global de la liaison. Le Rapport 634 donne des précisions.

## 5.3 Méthodes de modulation et de codage évoluées

En matière de télécommunication numérique par satellite, on utilise de plus en plus la correction d'erreur sans voie de retour (CED) par concaténation de codes de blocs et des codes à convolution ou modulation en treillis. On utilise dans le récepteur le décodage de Viterbi à décision douce. Des gains de codage importants peuvent être réalisés, ce qui permet de réduire la puissance du satellite et les temps d'interruption de service. La mise en oeuvre du matériel pour ces techniques aux débits binaires élevés (par exemple, 140 Mbit/s) a récemment fourni une solution appropriée aux applications professionnelles. Le Tableau I compare la qualité de fonctionnement de certains systèmes numériques pour la transmission par satellite. Les valeurs  $E_b/N_0$  ont été obtenues par simulation d'ordinateur et par essais en laboratoire [Cominetti et Morello, 1989], et aussi à partir de la littérature existante [Seo et Feher, 1988]. Les méthodes de codage à convolution et en treillis assurent d'importants gains de codage. Néanmoins, pour obvier à l'effet des salves d'erreurs à la sortie du décodeur de Viterbi, on peut utiliser le code BCH à entrelacement ou le code Reed Solomon.

TABLEAU I

Qualité de quelques systèmes de modulation et de codage par satellite

Sys-tème	Modulation	CED 1	CED 2	$E_b/N_0$ à un TEB de $10^{-8}$	EFFICACITE SPECTRALE RELATIVE (%)
1	MDP-4	-	-	15,7	100
2	MDP-4	BCH(255,239,2)	-	11,2	94
3	MDP-4	CONVOL. 3/4	BCH(255,239,2)	7,4	70
4	MDP-4	CONVOL. 1/2	BCH(255,239,2)	6,2	47
5	MDP-8	BCH(255,239,2)	-	16,4	141
6	MDP-8	TREILLIS 2/3	BCH(255,239,2)	8,2	94
7	MAQ à 16 états	BCH(255,239,2)	-	16,0	187
8	MAQ à 16 états	TREILLIS 3/4	BCH(255,239,2)	12,1	141

## 6. Autres considérations

### 6.1 Formules régissant la qualité de modulation pour les signaux TV et audio analogiques

#### 6.1.1 Modulation vidéo uniquement

Lorsque l'on utilise un système à modulation de fréquence:

$$S/N = C/N + F_{dB} + k_w$$

où:

$S/N$ : rapport amplitude de luminance crête-à-crête/bruit efficace pondéré (dB)

$C/N$ : rapport porteuse/bruit avant détection, dans la largeur de bande radioélectrique (dB)

$F$ :  $3 (D_{cc}/f_v)^2 \cdot (b/2f_v)$  (rapport de puissance égal à  $F_{dB}$  lorsqu'il est exprimé en dB)

$D_{cc}$ : excursion crête-à-crête due au signal vidéo (y compris les impulsions de synchronisation)

$f_v$ : fréquence vidéo la plus élevée (par exemple 4,2 MHz pour la norme M)

$b$ : largeur du canal radioélectrique (généralement  $D_{cc} + 2 f_v$ )

$k_w$ : coefficient d'amélioration combinée de la désaccentuation et de la pondération dans les systèmes à modulation de fréquence (dB) (voir le Tableau II).

#### 6.1.2 Modulation audio uniquement (sous-porteuses MF audio de faible niveau)

Le rapport signal/bruit non pondéré des canaux audio d'accompagnement, qui consistent en sous-porteuses MF situées au-dessus de la bande de base vidéo, est déterminé par l'équation suivante:

$$S/N_a = 10 \log \left[ \frac{3}{4} \left( \frac{b}{f_a} \right) \left( \frac{D_s}{f_s} \right)^2 \left( \frac{D_a}{f_a} \right)^2 \right] + \left( \frac{C}{N} \right) + k_a$$

où:

$S/N_a$ : rapport signal efficace/bruit efficace dans un canal audio (dB)

$D_s$ : excursion de crête de la porteuse principale due à la sous-porteuse (MHz)

$D_a$ : excursion de crête de la sous-porteuse due au signal audio (MHz)

$f_c$ : fréquence de la sous-porteuse (MHz)

$f_o$ : fréquence audio supérieure (MHz)

$C/N$ : rapport porteuse/bruit avant détection (dB)

$k_a$ : facteur d'amélioration combiné dû à la préaccentuation et à la désaccentuation pour le canal audio (dB) (voir le Rapport 496 de la CMTT, Tableau II, pour les facteurs d'amélioration correspondant à diverses largeurs de bande de base des canaux audio)

$b$ : largeur de bande RF avant détection (MHz) définie par l'équation (1) du § 6.1.3.

### 6.1.3 Modulation vidéo/audio combinée (sous-porteuse MF de bas niveau)

Des signaux de sous-porteuses MF audio et vidéo combinés forment un signal composite en bande de base comme le montre la Fig. 1. La largeur de bande RF requise est approchée par l'équation suivante:

$$b = D_{bc-c} + 2f_b \quad (1)$$

où  $D_{bc-c}$  est l'excursion crête-à-crête de la porteuse due au signal bande de base composite.

On ne sait pas très bien comment l'excursion d'un signal vidéo de niveau élevé devrait être combinée avec les différentes excursions d'un grand nombre de signaux audio de faible niveau. Un complément d'étude et d'autres mesures sont nécessaires, surtout sur l'effet de l'excursion supplémentaire causée par les sous-porteuses multiples sur la qualité du signal vidéo.

Toutefois, on peut supposer dans la pratique que l'excursion crête-à-crête globale peut être approchée par l'excursion crête-à-crête due au signal vidéo uniquement, à condition que les différentes excursions des quelques voies audiofréquence soient comparativement petites; ainsi:

$$D_{bc-c} \approx D_{c-c} \quad (2)$$

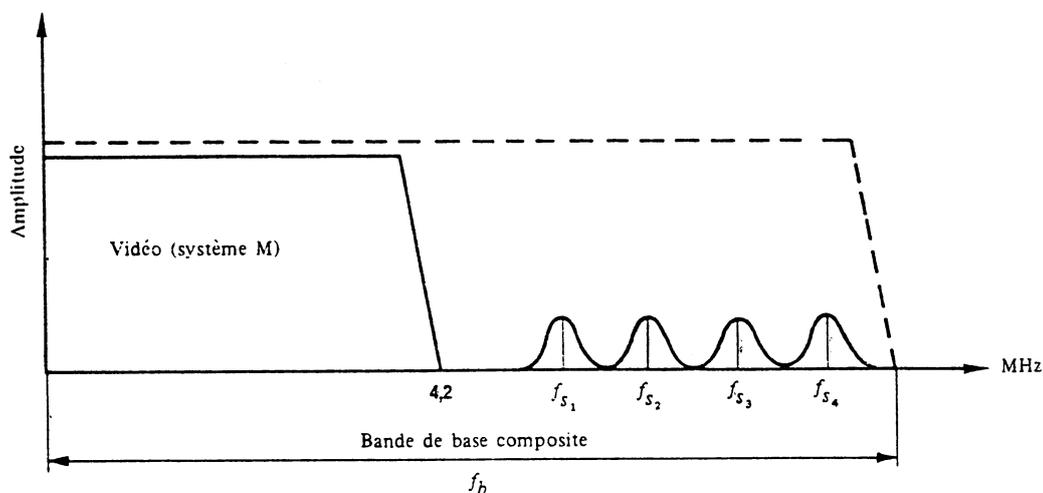


FIGURE 1 - Bande de base de sous-porteuses MF multiples et vidéo composites

En substituant la formule (1) et l'approximation (2) dans la formule du § 6.1.4 et en combinant les constantes, on obtient l'équation suivante pour le rapport signal vidéo/bruit pondéré:

$$\frac{S}{N_v} = 10 \log \left[ \left( \frac{D_{c-c}}{f_v} \right)^2 \left( \frac{D_{c-c} + 2f_b}{f_v} \right) \right] + \frac{C}{N} + k_c + 1,8$$

où:

$k_c$ : pondération de bruit combinée avec l'avantage dû à la préaccentuation (par exemple, 12,8 dB pour le système M/Canada, Etats-Unis d'Amérique).

Cette équation peut servir à estimer l'effet de sous-porteuses MF audio multiples sur le rapport signal/bruit du signal vidéo dans des systèmes de transmission MF fonctionnant au-dessus du seuil.

TABLEAU II - Facteurs de réduction des réseaux de pondération aux fréquences vidéo, pour la télévision monochrome

Système	Pondération (dB)		Pondération ( $k_w$ ) y compris la désaccentuation (dB)
	Bruit blanc	Bruit triangulaire	Bruit triangulaire
B, C, E, F, G, H et M (Japon)	8,5	16,3	16,3
D, K, L	9,3	17,8	18,1
I	6,5	12,3	12,9
M (Canada, Etats-Unis d'Amérique) (1)	6,8	10,2	13,8

(1) Les coefficients de pondération pour le système M à 525 lignes (Canada, Etats-Unis d'Amérique) sont fondés sur la Recommandation 567 (valeurs conformes au Rapport 637).

Note - Lorsqu'on applique la préaccentuation spécifiée dans la Recommandation 405, l'effet conjoint de la pondération et de la désaccentuation pour le bruit triangulaire est à peu près le même que s'il s'agissait d'une pondération seule. Pour plus de renseignements à ce sujet, voir le Rapport 637.

## 6.2 Signaux de télévision sous la forme de composantes analogiques

Les futurs récepteurs de télévision auront une prise d'entrée du signal sous forme de composantes ( $Y, U, V$  ou  $R, G, B$ ) et il peut être possible d'utiliser cette caractéristique pour transmettre le signal par ses composantes. Ceci pourrait avoir des avantages importants pour le développement futur des systèmes.

Les signaux de télévision à composantes analogiques font l'objet du Rapport 1073.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMOROSO, F. et KIVETT, J. A. [avril 1977] Simplified MSK signalling technique. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-25, 4, 433-447.
- COMINETTI, M. et MORELLO, A. [octobre, 1989] Transmission numérique des signaux de télévision par satellite. Symposium technique, ITU-COM 89, Genève.
- De JAGER, F. et DEKKER, C. B. [1978] Tamed frequency modulation, a novel method to achieve spectrum economy in digital transmission. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-26, 5, 534-542.
- DUPONTEIL, D. [mars 1981] Binary modulations for digital satellite communications link with differential demodulation. Fifth International Conference on Digital Satellite Communications, Gènes, Italie.
- GILCHRIST, N. H. C. [1976] Satellite broadcasting feasibility of adding a PSK subcarrier sound signal to a FM television signal. BBC Research Report 1976/8.

- GRONEMEYER, S. A. et McBRIDE, A. L. [août 1976] MSK and Offset QPSK modulation. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-24, 8, 809-820.
- KALLOWAY, M. J. [1976] An experimental 4-phase differential PSK system carrying two high-quality digital sound signals. BBC Research Report N° 1976/20.
- LUCAS, K. et WINDRAM, M. D. [1981] Direct television broadcasts by satellite – desirability of a new transmission standard. IBA Report 116/81.
- NEWLAND J.D. [1988] Investigation of mutual interference between digitally modulated signals. BBC Research Development Report. No. BBC RD 1988/13
- POMMIER, D. et SIOHAN, P. [décembre 1981] Comparaison des modulations MDP-4 et MSK en diffusion numérique par satellite sur porteuse radiofréquence. *Rev. de l'UER (Technique)*, 190, 264-272.
- POMMIER, D. et VEILLARD, J. [août 1979] Etude théorique et expérimentale d'une modulation simplifiée par déplacement de fréquence d'indice 1/2 à phase continue. *Ann. des Télécomm.*, Vol. 34, 7-8, 423-437.
- SEO, T et FEHER K. [1988] Performance of 16 state SQAM in a nonlinearly amplified multichannel interference environment. *IEEE Transactions on Communications*. Vol. 36, No. 11. novembre 1988.

*Documents du CCIR*

- [1970-74]: a. 11/302 (Allemagne (République fédérale d')).
- [1974-78]: a. 11/41 (Japon); b. 11/90 (Etats-Unis d'Amérique).
- [1978-82]: a. 11-81 (Japon); b. 10-11S/17 (France); c. 10-11S/7 (UER); d. 10-11S/112 + Corr.1 (Japon); e. 10-11S/161 (Italie); f. 10-11S/124 (UER); g. 10-11S/126 (Suède); h. 10-11S/18 (France); i. 10-11S/30 (Etats-Unis d'Amérique); j. 10-11S/137 (France).
- [1982-86]: a. 10-11S/42 (UER); b. 10-11S/6 (Japon); c. 10-11S/165 + Corr.1 (UER).
- [1986-90]: a. 10-11S/4 (Royaume-Uni).

ANNEXE I

ÉTUDES ET ESSAIS EFFECTUÉS EN EUROPE SUR LA DIFFUSION  
DE PLUSIEURS VOIES SON AVEC UN SIGNAL ANALOGIQUE DE TÉLÉVISION  
A 625 LIGNES EN UTILISANT UNE OU DEUX SOUS-PORTEUSES

1. Télévision avec deux sous-porteuses analogiques

Essais effectués en France et en République fédérale d'Allemagne, utilisant des signaux vidéo conformes aux caractéristiques des systèmes L/SECAM et G/PAL (625 lignes), dans les conditions suivantes:

- |  |                     |
|--|---------------------|
| – Fréquence des sous-porteuses:                            | 5,5 MHz et 5,75 MHz |
| – Déviation de fréquence de la sous-porteuse:              | ± 63 kHz            |
| – Déviation de la porteuse par le signal d'image:          | 14 MHz/V            |
| – Déviation de la porteuse par chacune des sous-porteuses: | ± 2,8 MHz.          |

TABLEAU III – Résultat type des mesures

<i>C/N</i> (dB)	<i>S/N</i> pondéré voie image (dB)	<i>S/N</i> pondéré quasi-crête 1 <sup>ère</sup> voie son (5,5 MHz) (dB)	<i>S/N</i> pondéré quasi-crête 2 <sup>ème</sup> voie son (5,75 MHz) (dB)
14	44	45,8	47,8

Des mesures similaires ont montré que pour une déviation crête-à-crête de  $\pm 100$  kHz de chacune des sous-porteuses, le rapport (*S/N*) quasi-crête pondéré peut atteindre 50 dB, dans chacune des voies son, pour un rapport *C/N* de 14 dB.

La conclusion des essais effectués en France est que la diffusion par satellite d'un signal vidéo accompagné de deux signaux analogiques audio de haute qualité dans un canal de 27 MHz est possible si les filtres FI des récepteurs respectent un certain gabarit de temps de propagation de groupe ayant une tolérance crête-à-crête de l'ordre de 16 ns. Dans ces conditions, l'image est très peu perturbée par la présence des deux sous-porteuses son et le rapport signal sur bruit audio quasi-crête, pondéré CCIR, peut atteindre la valeur de 50 dB.

## 2. Télévision avec une sous-porteuse modulée numériquement (système de type A)

Les études de l'UER sur ce type de système conduisent à considérer les caractéristiques suivantes comme optimales dans le cas des normes de télévision à 625 lignes.

### 2.1 Hypothèses de base

#### 2.1.1 Caractéristiques de modulation applicables aux systèmes de télévision à 625 lignes dans une voie de satellite à 27 MHz

- bande vidéo transmise: 6 MHz \*
- déviation de la porteuse produite par 1 V de signal vidéo \*\*: 13,5 MHz
- préaccentuation pour le PAL et le SECAM: conforme à la Recommandation 405
- dispersion d'énergie: 600 kHz (liée à la fréquence de trame)

#### 2.1.2 Taux d'erreur binaire correspondant à la limite de continuité des services sonores: $1 \times 10^{-3}$

#### 2.1.3 Rapport *C/N* correspondant à la limite de continuité des services sonores: 8 dB (27 MHz)

#### 2.1.4 Débit binaire: multiple de la fréquence d'échantillonnage du son, soit 32 kHz (conformément à la recommandation faite par l'UER et énoncée dans le Rapport 953).

### 2.2 Caractéristiques de la sous-porteuse modulée numériquement

#### 2.2.1 Type de modulation: modulation par déplacement de phase à deux états (MDP-2) à bande latérale résiduelle (BLR) avec émission de la bande latérale supérieure et démodulation cohérente.

#### 2.2.2 Débit binaire: 2,048 Mbit/s \*\*\*

La stabilité du signal binaire diffusé doit être la suivante:

- stabilité à long terme de la fréquence d'horloge  $1 \times 10^{-6}$
- gigue d'horloge maximale: 5 ns en moyenne quadratique.

\* Cette valeur permet l'emploi d'une version du système de codage des composantes de l'image avec compression temporelle et multiplexage par répartition dans le temps.

\*\* La déviation indiquée s'applique à un signal sinusoïdal crête-à-crête de 1 V à une fréquence égale à 1,52 MHz.

\*\*\* Cette valeur correspond à cinq ou six voies son de haute qualité selon le type de multiplexage utilisé pour celles-ci.

### 2.2.3 Fréquence de la sous-porteuse\*

La fréquence de repos de la sous-porteuse MDP-2 ( $f_1$ ) est de 6,5 MHz (6,5 MHz = 416 fois la fréquence ligne de télévision).

La stabilité à long terme de la fréquence porteuse  $f_1$  doit être d'au moins  $1 \times 10^{-6}$ .

La fréquence centrale du spectre de la sous-porteuse à l'émission ( $f_0$ ) est 7,012 MHz, en effet:

$$7,012 \text{ MHz} = 6,5 \text{ MHz} + \frac{2,048}{4} \text{ MHz}$$

2.2.4 *Déviaton de la porteuse principale causée par la sous-porteuse modulée numériquement*: 2,5 MHz en moyenne quadratique.

### 2.2.5 Codage entre le signal binaire et la sous-porteuse modulée numériquement

C'est un codage absolu qui est utilisé entre le signal binaire et la modulation à deux états de phase (ce codage exige un dispositif de levée de l'ambiguïté dans le démodulateur).

## 2.3 Résultats expérimentaux

On résume ci-après les résultats de nombreux essais effectués sur le système A décrit ci-dessus, utilisé avec une image SECAM et un multiplexage par paquets de 5 voies audio de haute qualité (codage avec compression quasi instantanée et protection contre les erreurs avec un bit de parité couvrant les 5 bits de plus fort poids de chaque échantillon).

2.3.1 *Taux d'erreur binaire*: voir la Fig. 2 ci-après.

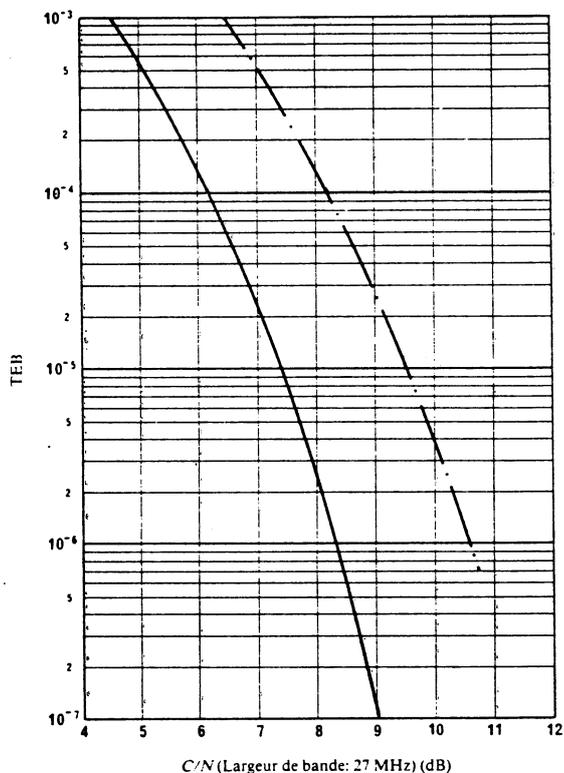


FIGURE 2 - Valeurs types du taux d'erreur binaire (TEB) avec un signal vidéo de barres de couleur à 75%

— Caractéristique théorique (bruit blanc gaussien)  
 - - - - - Caractéristique type mesurée (expérience en laboratoire et avec OTS)

\* La description de la sous-porteuse modulée exige de définir deux valeurs: la fréquence de repos  $f_1$  de la porteuse MDP-2 et la fréquence centrale  $f_0$  de la bande obtenue après le filtrage à bande latérale résiduelle.

### 2.3.2 Qualité de l'image et du son

Des essais subjectifs ont été réalisés par un groupe de 37 observateurs avec la méthode du simple stimulus pour l'image et conformément aux dispositions de la Recommandation 562 pour le son. La chaîne de mesure en laboratoire comportait un simulateur de satellite avec un organe non linéaire. L'image était formée par des diapositives d'essai de l'UER. Le son a été évalué indépendamment de l'image avec deux extraits musicaux considérés comme sensibles aux défauts et erreurs dans un système numérique (solo de trompette de Haydn et musique de théâtre japonais). Les résultats sont donnés à la Fig. 3 sur l'échelle de qualité à 5 notes. On notera que la meilleure qualité de l'image était de 0,65 note en dessous de la qualité fournie par la norme de télévision numérique 4:2:2 de la Recommandation 601.

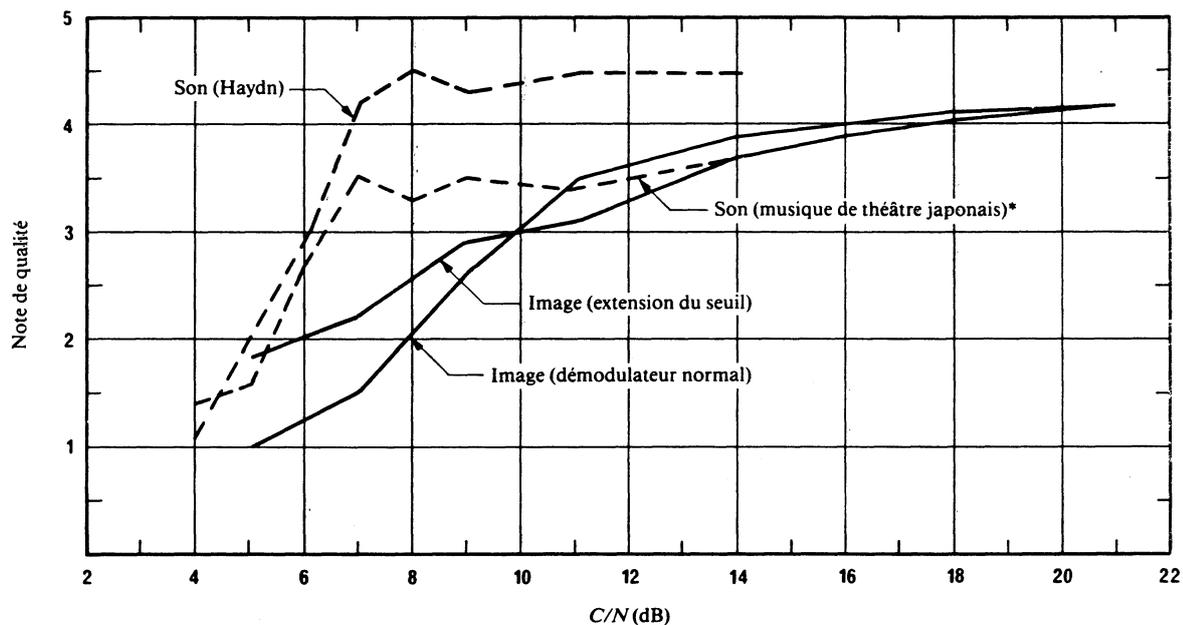


FIGURE 3 – Qualité de l'image en fonction du rapport C/N pour le système A-SECAM (37 observateurs)

\* Les experts de l'UER impliqués dans ces essais subjectifs estiment que la dégradation de la musique japonaise relativement à celle de Haydn aux rapports porteuse/bruit supérieurs à 8 dB était due à une surcharge du convertisseur analogique-numérique à l'entrée de la modulation.

### 2.3.3 Points de défaillance de l'image et du son

En considérant que le point de défaillance correspond à la note de qualité 1,5, des essais subjectifs, dans lesquels le son et l'image étaient présentés simultanément (guitaristes en studio), ont donné les résultats suivants en termes de rapport porteuse/bruit:

#### Image

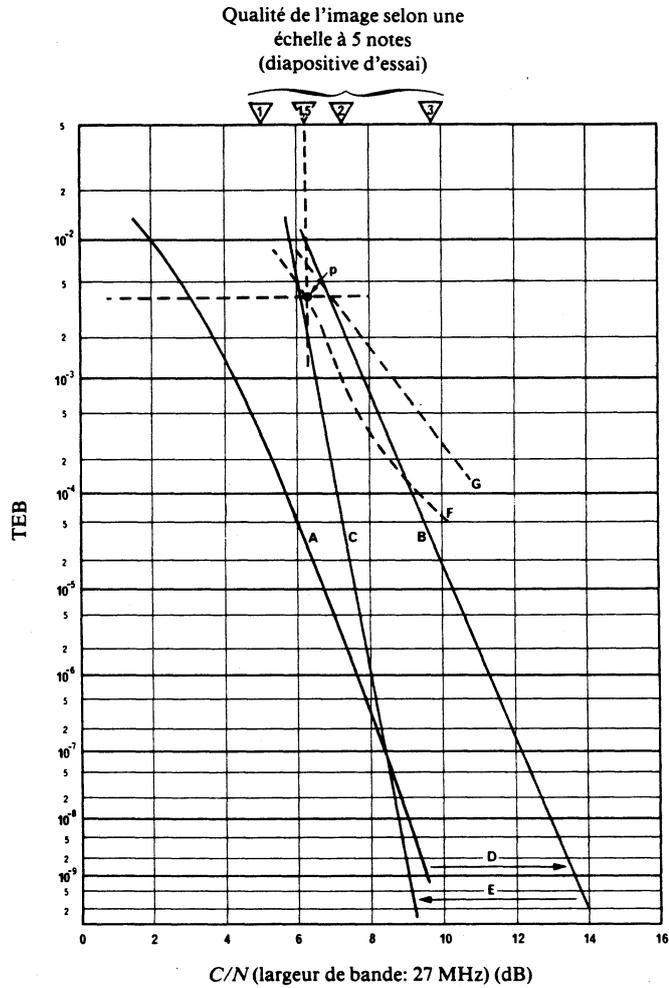
Démodulateur normal: 5 dB

Démodulateur à extension de seuil: 4 dB

Son: 4 dB

On doit noter que les différences par rapport aux résultats donnés à la Fig. 3 sont dues à la méthodologie des essais et aux critères d'évaluation.

## ANNEXE II

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX POUR LE SYSTÈME AVEC SOUS-PORTEUSE NUMÉRIQUE  
DESTINÉ A ÊTRE UTILISÉ AVEC LE SYSTÈME DE TÉLÉVISION M (JAPON)

— Relation entre le taux d'erreur binaire et le rapport C/N pour le système avec une sous-porteuse son à modulation numérique

Fréquence maximale du signal vidéo: 4,5 MHz  
 Déviation de fréquence de la porteuse principale sous l'effet du signal vidéo: 17 MHz crête-à-crête  
 Fréquence de la sous-porteuse: 5,727272 MHz  
 Déviation de fréquence de la porteuse principale sous l'effet de la sous-porteuse:  $\pm 3,25$  MHz  
 Vitesse de transmission: 2048 Mbit/s

— C/N en fonction du taux d'erreur binaire  
 A Valeur théorique (Nyquist)  
 B Valeur expérimentale, sans correction des erreurs ni interpolation  
 C Valeur expérimentale, avec correction des erreurs et interpolation  
 - - - - - taux d'erreur binaire lorsque la qualité subjective du son est égale à celle de l'image (compression-extension quasi instantanée 14-10)  
 F diapositive d'essai («image de femme»/«bord de mer»)  
 G barre de couleur

D dégradation de la valeur théorique à la valeur expérimentale  
 E amélioration du taux d'erreur binaire par la technique de correction des erreurs et d'interpolation  
 p taux d'erreur binaire de  $4 \times 10^{-3}$  correspondant à la note 1,5 sur une échelle à 5 notes, sans correction des erreurs ni interpolation

## ANNEXE III

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX CONCERNANT LE SYSTÈME A MULTIPLEXAGE TEMPOREL  
EN BANDE DE BASE «D2-MAC/PAQUETS»

(Système de type B utilisant un codage duobinaire)

Cette annexe résume les résultats de nombreuses expériences réalisées en France, en laboratoire, avec un équipement de simulation de satellite de radiodiffusion ayant les caractéristiques suivantes:

- filtre d'entrée (incluant le filtre d'émission de la station terrienne, en supposant que cette dernière fonctionne en mode linéaire):
    - bande à -3 dB 34 MHz
    - distorsion parabolique du temps de propagation de groupe dans une largeur de bande de 27 MHz 20 ns
  - conversion amplitude/phase du TOP 5°/dB
- Le filtre de sortie, dont la largeur est de 50 MHz, n'apporte aucune distorsion mesurable sur le signal;
- le démodulateur de fréquence est de type conventionnel ou à seuil amélioré.

## 1. Taux d'erreur binaire

Compte tenu du précodage effectué à l'émission (division modulo 2 du signal binaire par le polynôme générateur du code duobinaire (1 + 2)), les erreurs sur les bits sont indépendantes.

Les courbes de la Fig. 4 donnent le taux d'erreur, mesuré à travers la maquette de simulation avec:

courbe A: démodulateur de fréquence classique;

courbe B: démodulateur de fréquence à seuil amélioré utilisant un filtre adaptatif.

Le principe du démodulateur de fréquence à seuil amélioré utilisé pour ces essais est donné à la Fig. 5. Avec le dispositif décrit, le filtre FI conserve une largeur de bande de 27 MHz pour les valeurs du rapport  $C/N$  supérieures à 11 dB, valeur qui correspond au seuil de démodulation de fréquence. Au-dessous de 11 dB, la bande du filtre FI est progressivement réduite jusqu'à 14 MHz environ.

Des essais réalisés au Royaume-Uni dans des conditions analogues, c'est-à-dire avec deux largeurs de bande FI, ont fourni des résultats qui confirment ceux de la Fig. 4.

On peut encore améliorer les résultats d'environ 0,5 dB à l'aide du décodeur de Viterbi [Alard, 1986 a et b; Jankowiak, Lammabhi et Arragon, 1985].

## 2. Qualité de l'image et du son pour le système D2-MAC/paquets

Des essais subjectifs ont été réalisés en France par des observateurs dont la plupart étaient des experts. Sur la base de ces essais, et des éléments communs entre les systèmes C-MAC/paquets et D2-MAC/paquets rappelés ci-après, les courbes de qualité de l'image et du son ont été établies. Afin d'éviter la multiplicité des résultats, on a choisi de ne donner pour le D2 que les courbes de qualité correspondant à celles de l'Annexe V pour le système C-MAC/paquets.

## 2.1 Rappel des éléments communs aux systèmes C-MAC/paquets et D2-MAC/paquets

- *Image*: les deux systèmes sont identiques vis-à-vis de la transmission de l'image:
  - même codage,
  - même préaccentuation,
  - même déviation de fréquence,
  - même dispersion d'énergie.

Des différences de qualité sur le signal d'image ne peuvent donc éventuellement provenir que de différences sur le comportement du démodulateur de fréquence.

- *Son*: les deux systèmes ne diffèrent que par les caractéristiques de débit binaire, de codage du signal numérique et de modulation. Toutefois, compte tenu de l'entrelacement des bits et de la distribution des erreurs, des essais ont permis d'établir qu'un même taux d'erreur pour les deux systèmes conduit à la même qualité du son, pour une loi de codage et un niveau de protection donnés.

### 2.2 *Démodulateur conventionnel*

Avec un démodulateur de fréquence conventionnel, les courbes de qualité de l'image et du son, codage quasi instantané et protection par bit de parité, sont données à la Fig. 6.

### 2.3 *Démodulateur à seuil amélioré*

Avec un démodulateur de fréquence à seuil amélioré utilisant un filtre adaptatif, la qualité de l'image et du son est donnée à la Fig. 7. Le son est codé en quasi instantané avec un bit de parité pour la protection contre les erreurs.

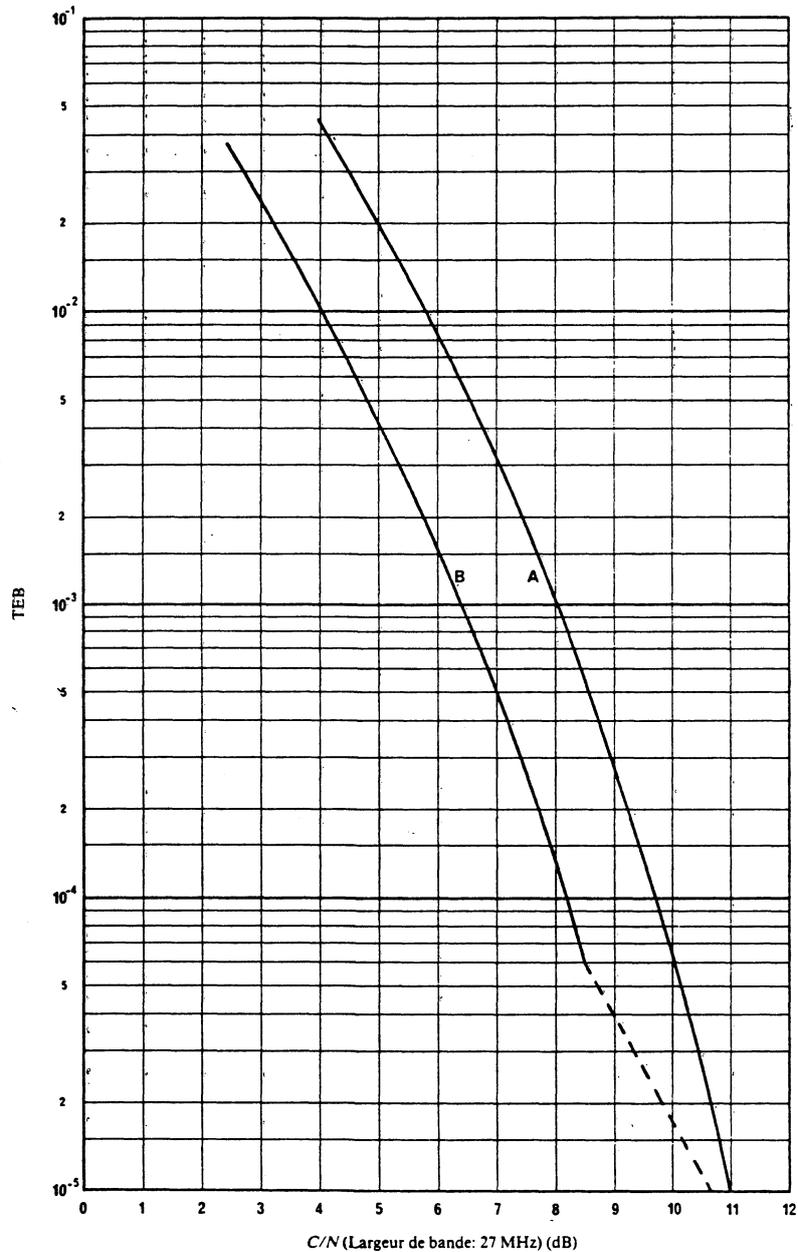


FIGURE 4 - Taux d'erreur binaire mesuré à travers un simulateur de satellite

- Débit binaire: 10,125 Mbit/s
- Modulation: duobinaire FM

Courbes A: démodulateur classique

B: démodulateur à seuil amélioré utilisant un filtre adaptatif

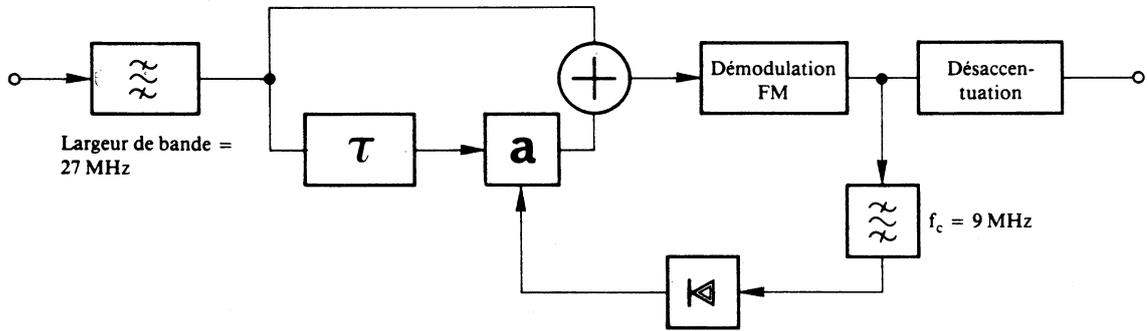


FIGURE 5 – Principe d'un démodulateur à seuil amélioré basé sur la réduction progressive de la largeur de bande du filtre FI lorsque le rapport C/N atteint le seuil de démodulation de fréquence (11 dB)

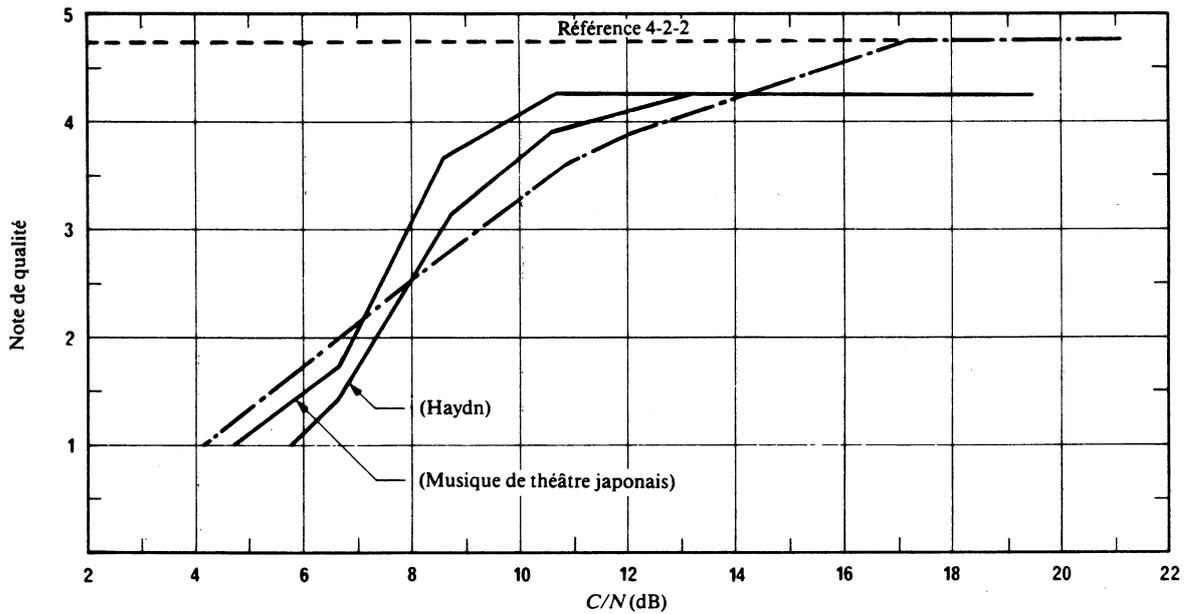


FIGURE 6 – Qualité de l'image et du son en fonction du rapport C/N pour un démodulateur conventionnel

- Son (codage quasi instantané et protection par bit de parité)
- · - Image

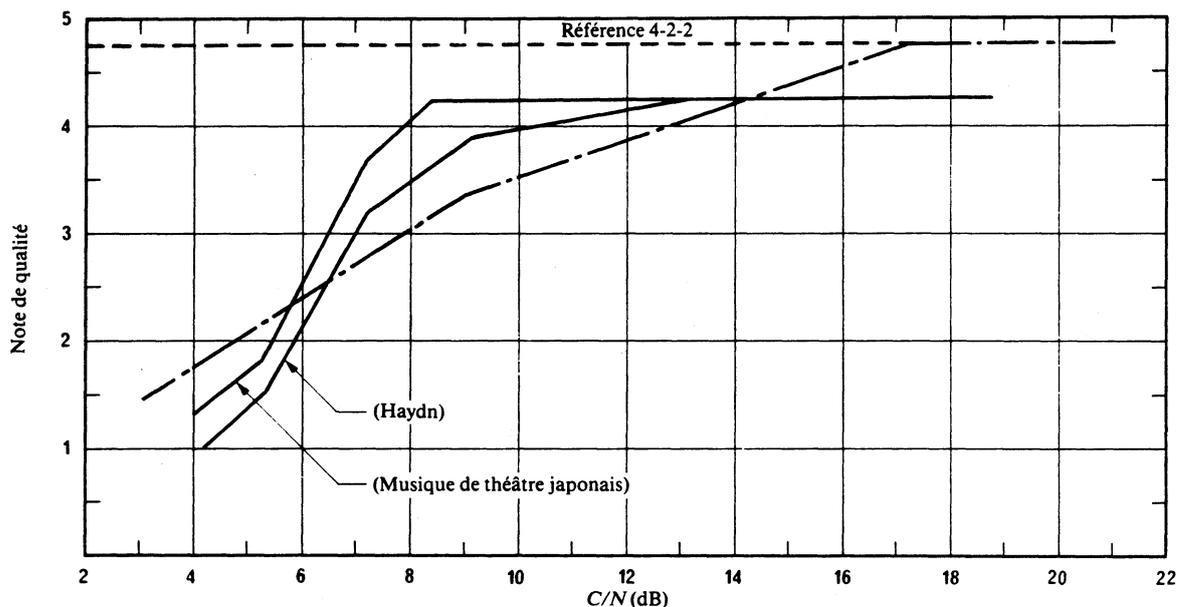


FIGURE 7 - Qualité de l'image et du son en fonction du rapport C/N pour un démodulateur à seuil amélioré utilisant un filtre adaptatif (voir la Fig. 5)

— Son (codage quasi instantané et protection par bit de parité)  
 - - - Image

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALARD M. [1986a], Démodulation d'un signal duobinaire selon l'algorithme de Viterbi (Doc. CCETT - réf. MDD/RDT/135/86/MA)

ALARD M. [1986b], Distribution et diffusion terrestre en D2-MAC/paquets (Conférence prononcée au troisième Congrès de Liège, sur les nouveaux systèmes et services de télécommunication, North Holland, 1987).

JANKOWIAK G., M. LAMNABHI, J.P. ARRAGON [1985], Transmission sur réseaux câblés des signaux numériques de la famille X-MAC/paquets (Revue ACTA ELECTRONICA, vol. 27, N° 1-2, 1985)

#### ANNEXE IV

##### Résultats expérimentaux concernant le système à multiplexage en bande de base

#### 1. Introduction

Cette annexe résume les résultats des essais de laboratoires effectués au Royaume-Uni sur un appareillage de simulation du canal par satellite (Priestman et O'Neill, 1987 et Beech 1987) et sur un canal linéaire (Clark, 1987).

Les caractéristiques de l'appareillage de simulation du canal par satellite étaient les suivantes (voir Stickland et Barber 1984):

Filtre d'entrée du satellite

largeur de bande à 3 dB: 36 MHz  
 largeur de bande à 20 dB: 44 MHz  
 temps de propagation de groupe à la fréquence centrale  
 $\pm 13,5$  MHz: 5 ns

Filtre de sortie du satellite

largeur de bande à 3 dB: 38 MHz  
 largeur de bande à 20 dB: 52 MHz  
 temps de propagation de groupe à la fréquence centrale  
 $\pm 13,5$  MHz: 8 ns

Amplificateur à TOP du satellite

Facteur MA/MP: 5,5 degré/dB. C'est la valeur qui a été mesurée. Elle est représentative des TOP utilisés à bord des satellites de radiodiffusion de grande puissance. Le TOP fonctionnait à saturation (la valeur spécifiée est 5,5 degré/dB).

Le facteur MA/MP n'a pas grande influence sur la composante données du système D-MAC/paquet. La composante données émise en modulation de fréquence a une enveloppe essentiellement constante et il n'y a que très peu d'énergie au dehors de la bande passante du filtre type du multiplexeur d'entrée d'un satellite de radiodiffusion directe. A l'entrée du TOP le signal est d'amplitude en principe constante.

L'émetteur de la liaison de connexion était un klystron de puissance nominale 1,5 kW qui délivrait 1 kW.

Aucun bruit n'était ajouté sur la liaison de connexion.

## 2. Taux d'erreur binaire

Les courbes de la Figure 8 présentent les taux d'erreur binaire pour diverses conditions de transmission.

Les courbes C et B s'appliquent à un canal linéaire et à des filtres FI de largeur de bande 27 et 21 MHz respectivement. On y voit qu'avec un taux d'erreur binaire de  $10^{-3}$  le filtre à 21 MHz améliore la qualité d'environ 1 dB. Une telle largeur de bande de filtrage est compatible avec une transmission vidéo MAC à faible distorsion et par rapport au filtre à 27 MHz améliore pour le signal d'image d'environ 1 dB le seuil de la modulation de fréquence. La courbe A correspond au canal de simulation du satellite et à un filtre FI de 27 MHz.

On peut encore améliorer le fonctionnement à l'aide des techniques de décodage à maximum de vraisemblance à postériori (algorithme de Viterbi). Les courbes D et E de la Figure 8 se rapportent à un récepteur où sont mises en oeuvre de telles techniques, l'une avec un filtre FI à 21 MHz dans un canal linéaire et l'autre via le simulateur de satellite, respectivement. Pour un taux d'erreur binaire de  $10^{-3}$  le rapport porteuse sur bruit est de 8 dB. Au moyen de telles techniques, le critère de continuité de service (taux d'erreur binaire de  $10^{-3}$  pour un rapport porteuse sur bruit de 8 dB) est satisfait. Le canal du satellite n'apporte qu'une dégradation négligeable.

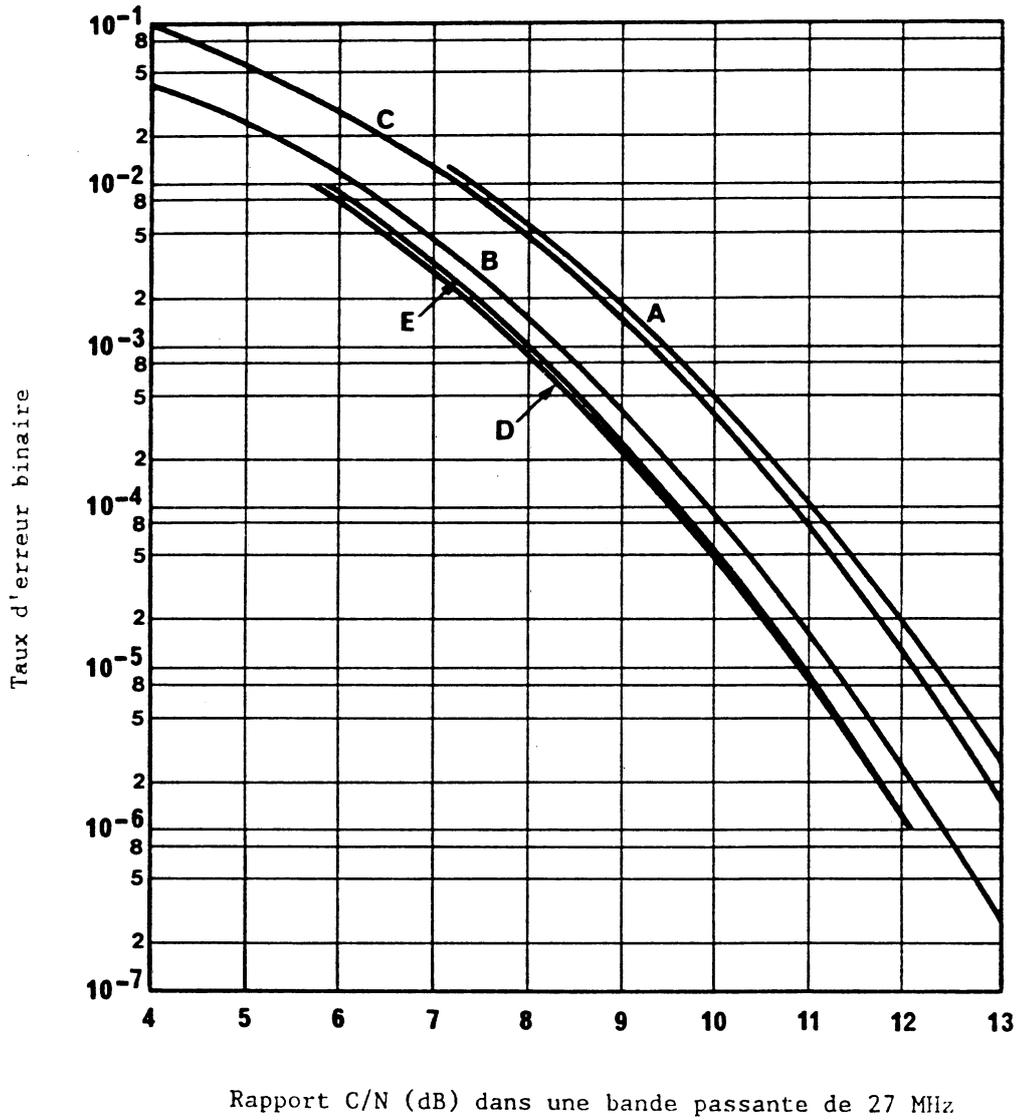


FIGURE 8

Taux d'erreur binaire obtenu avec le système D-MAC/paquet en modulation de fréquence

- A: simulation d'un canal de satellite à 27 MHz)
- B: canal de 21 MHz linéaire ) décodage normal
- C: canal de 27 MHz linéaire )
- D: canal de 21 MHz linéaire ) décodage de Viterbi
- E: simulation d'un canal de satellite à 21 MHz)

Le Tableau IV donne, dans les cas d'erreurs binaire multiples, les résultats des mesures sur le système D-MAC/paquet à décodage normal, dans un canal linéaire (Clark, 1987). Les taux d'erreur double, triple et au-delà sont faibles à côté du taux d'erreur total. Le récepteur D-MAC/paquet désentrelace ces erreurs ce qui répartit les erreurs binaire isolées dans le multiplex de données de sorte qu'à la sortie les données présentent surtout des erreurs binaires uniques isolées.

TABLEAU IV

Caractéristiques des erreurs binaires multiples pour le système D-MAC/paquet en modulation de fréquence

Largeur de bande du filtre FI du récepteur	R(1)= TEB	R(2)	R(3)	R(4)
27 MHz	$3,2 \times 10^{-3}$	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-5}$	$4,8 \times 10^{-7}$
20 MHz	$1,3 \times 10^{-3}$	$5,3 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-6}$	$4,9 \times 10^{-8}$

Rapport porteuse sur bruit de 8,5 dB dans une largeur de bande de 27 MHz. (Mesure sur canal linéaire)

taux de présence d'un groupe de n erreurs binaires consécutives (événements/s)

$$R(n) = \frac{\text{taux de présence d'un groupe de n erreurs binaires consécutives (événements/s)}}{\text{débit de données (bits/s)}}$$

### 3. Qualité du son et de l'image dans le système D-MAC/paquet

#### 3.1 Son

En raison du désentrelacement qu'effectuent les systèmes MAC/paquet la qualité du canal sonore ne dépend que de son taux d'erreur binaire. Il est donc possible de se reporter aux résultats trouvés pour la qualité sonore du système C-MAC/paquet pour apprécier les divers types de codage du son MAC/paquet en tenant compte des différents rapports porteuses sur bruit des systèmes C-MAC/paquet et D-Mac/paquet.

Si on met en oeuvre l'algorithme de Viterbi, la qualité sonore est la même avec les systèmes D-MAC/paquet et C-MAC/paquet pour des rapports porteuse sur bruit égaux ou supérieurs à 6 dB.

Les récepteurs du système D-MAC/paquet à algorithme de Viterbi répondent donc aux critères de service de la famille de systèmes MAC/paquet.

3.2 Image

Pour le système D-MAC/paquet le codage et la modulation de l'image sont les mêmes que pour les autres membres de la famille MAC/paquet. La qualité de l'image est donc identique à celle des systèmes C-MAC/paquet et D2-MAC/paquet décrits dans les Annexes au présent Rapport.

La réponse en fréquence de la bande de base du système D-MAC/paquet est présentée à la Figure 9 dans le cas d'un filtre de récepteur de 8,4 MHz dans la bande de base. On notera que, dans le cas d'un filtre de 21 MHz, il se produit une petite dégradation de la réponse en haute fréquence. Toutefois, cette dégradation se limite à une réduction inférieure à 0,5 dB dans le cas le plus défavorable rencontré avec des signaux d'image types (correspondant à -3 dB par rapport à 1 volt crête-à-crête). L'utilisation d'un filtre de 27 MHz permettra d'obtenir une plus grande largeur de bande de système.

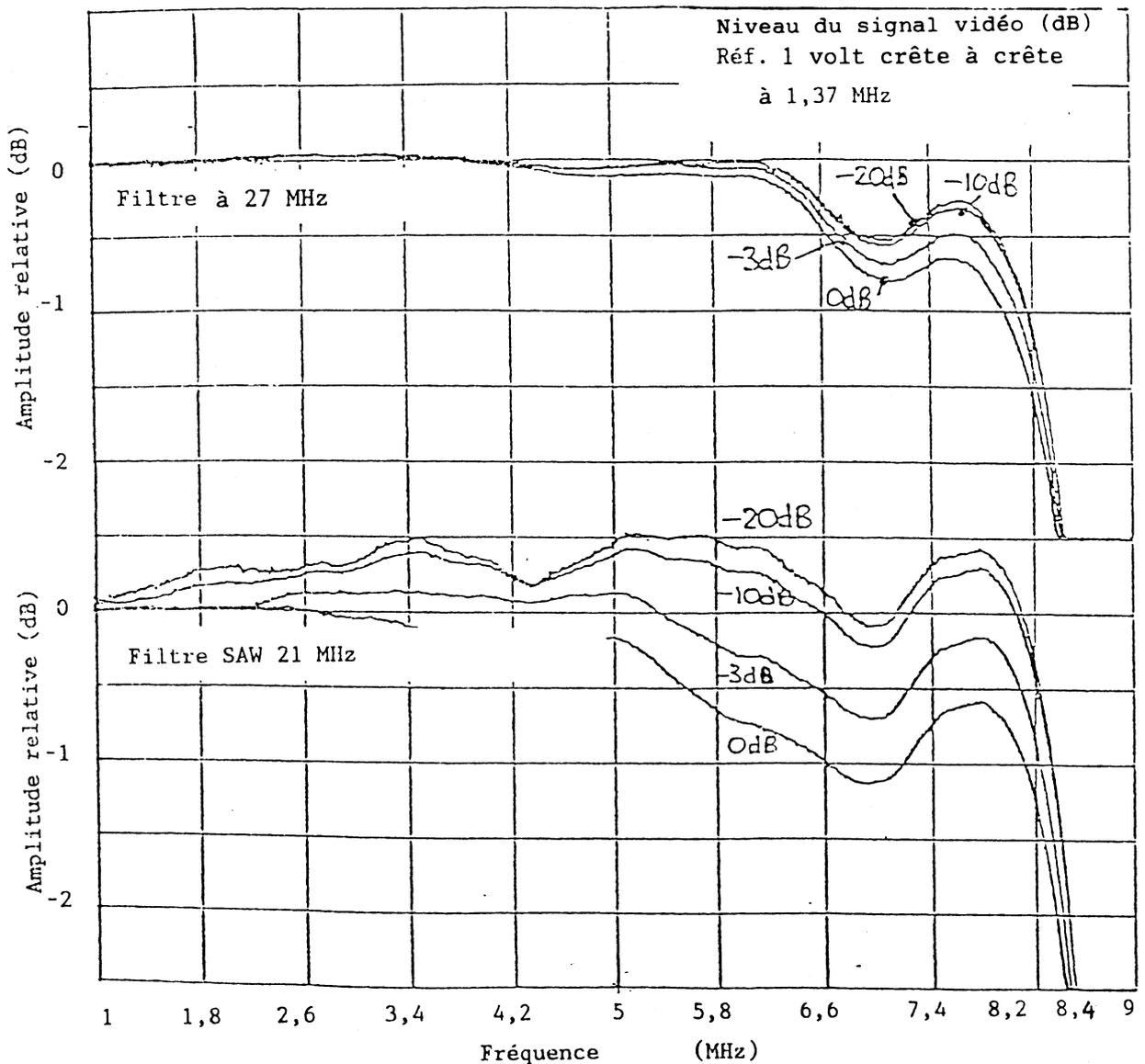


FIGURE 9

Réponse en fréquence de la bande de base de l'équipement D-MAC/paquet utilisant deux filtres de canal différents et un filtre de bande de base de 8,4 MHz dans le récepteur

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Beech, B. [1987] Utilisation dans un récepteur de l'algorithme de décodage de Viterbi pour le système D-MAC/paquet transmis sur un canal MF. IBA experimental and development department Report 138/87

Clark, D.S. [1987] Transmission du système D-MAC/paquet sur un canal MF. IBA experimental and Development department Report 133/87

Priestman, S.R. et O'Neill, H.J. [1987] Résultats des mesures des signaux D-MAC au moyen d'une maquette de transpondeur de satellite. IBA experimental and development Report N° ED 137/87

Stickland, C. et Barber, C.P. [1984] Maquette de la charge utile d'un satellite de radiodiffusion. IEE conference publication N° 240 - International Broadcasting Convention, Brighton, septembre 1984.

## ANNEXE V

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX CONCERNANT LE SYSTÈME A MULTIPLEXAGE  
TEMPOREL EN RF (SYSTÈME DE TYPE C)

On trouvera dans ce qui suit un résumé des résultats de nombreuses expériences réalisées par l'UER, en laboratoire et avec le satellite OTS, en utilisant un système de type C associé à une image MAC, soit avec multiplexage continu à carte de structure, soit avec multiplexage par paquets.

## 1. Taux d'erreur binaire

Voir les Fig. 10 et 11 ci-après et le Tableau V.

TABLEAU V - Valeurs typiques du taux d'erreur binaire, mesurées en fonction du rapport C/N en utilisant différentes méthodes de démodulation MDP-2-4

	Rapport C/N dans la bande de 27 MHz pour un taux d'erreur binaire de $1 \times 10^{-3}$ (dB)
Démodulation $T$ (démodulateur différentiel conventionnel)	7,9
Démodulation $T + 2T$ (démodulateur «Masamura») <sup>(1)</sup>	7,3
Démodulation cohérente (pour les données continues seulement)	7,1

<sup>(1)</sup> Le démodulateur «Masamura» [Masamura et autres, 1979] donne un résultat proche de celui obtenu avec un démodulateur cohérent, cette performance pouvant être obtenue en mode salves.

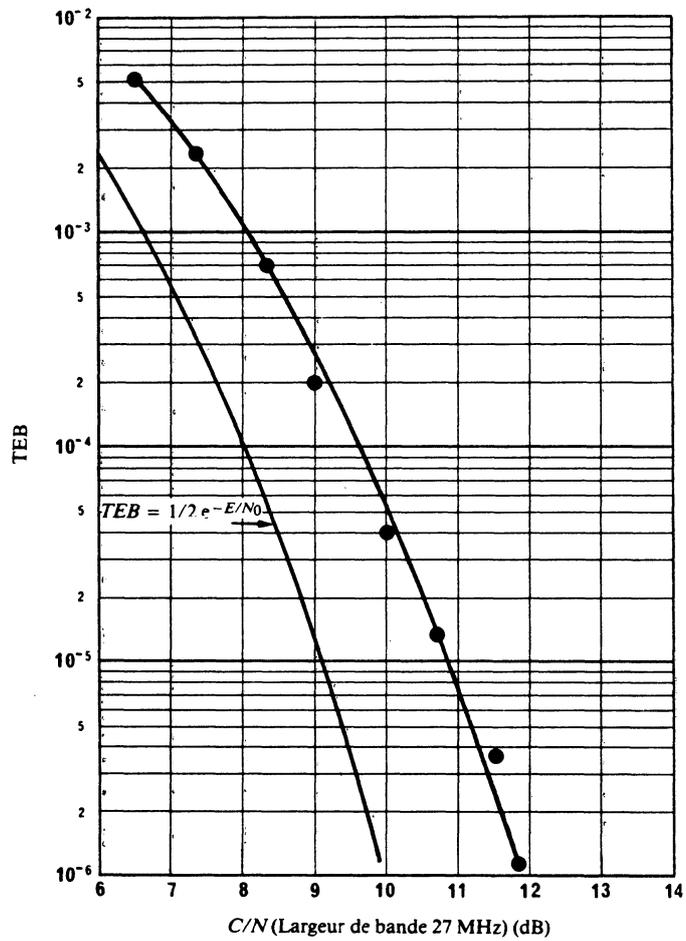


FIGURE 10: Taux d'erreur binaire typiques mesurés avec le satellite OTS et différents simulateurs de satellite

Débit binaire: 20,25 Mbit/s  
 Démodulation différentielle MDP-2-4

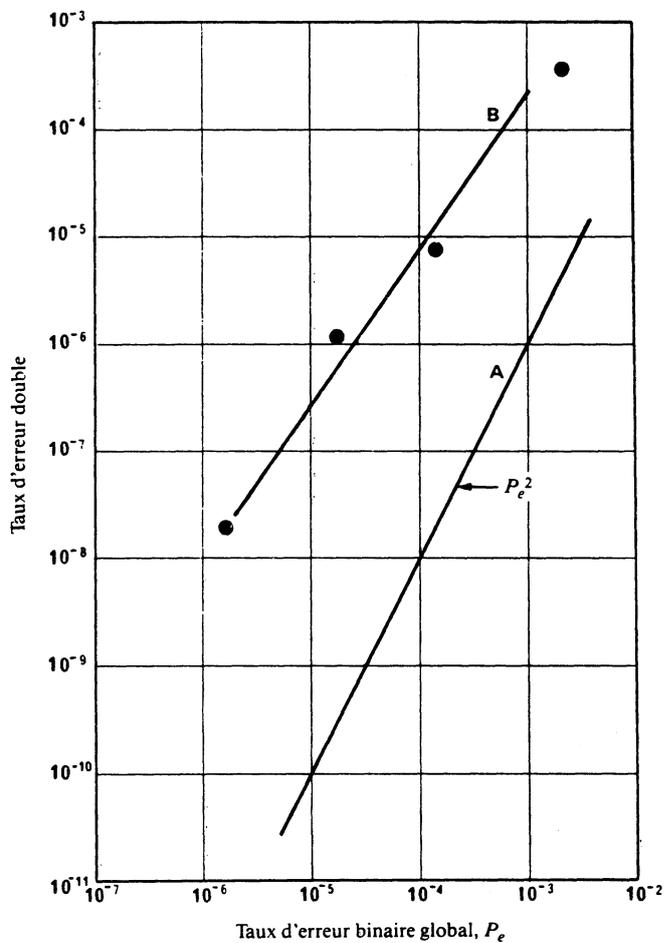


FIGURE 11. Taux d'erreur double en fonction du taux d'erreur binaire global

Courbes A: erreurs indépendantes (relation théorique:  $P_e^2$ )  
 B: mesuré pour la MDP-2-4 avec un démodulateur différentiel utilisant une ligne à retard analogique et un multiplieur

## 2. Qualité de l'image et du son pour le système C-MAC

Des essais subjectifs ont été réalisés par un groupe d'observateurs (voir le § 2.3.2 de l'Annexe I).

Les expériences audio ont été réalisées avec un démodulateur différentiel conventionnel et un signal MDP-2-4, mais avec différents systèmes de multiplexage, lois de codage et niveaux de protection. Deux combinaisons de ces divers facteurs ont cependant fait l'objet d'essais subjectifs conformément à la Recommandation 562. Ces résultats ont été obtenus à différentes occasions, 37 observateurs étant présents pour la combinaison 1 et 15 pour la combinaison 2. Afin de faciliter la comparaison entre la Fig. 12 et les Fig. 13a et 13b ci-après, on a utilisé le même taux d'erreur binaire.

*Combinaison 1:* multiplex à carte de structure avec loi de compression quasi instantanée, protection par code de Hamming et transmission du facteur d'échelle dans les bits de parité. Du fait du système de protection contre les erreurs utilisé, la capacité de cette combinaison était réduite de huit à six voies audio de 15 kHz.

*Combinaison 2:* multiplex par paquets défini dans le Rapport 1073 en utilisant une loi de compression-extension quasi instantanée avec contrôle de parité (premier niveau) et avec une protection par code Hamming (deuxième niveau). Codage linéaire utilisant un contrôle de parité (premier niveau) et avec une protection par code Hamming (deuxième niveau). La capacité en voies son de 15 kHz est de 8 voies dans le cas de la loi de compression-extension quasi instantanée avec protection du premier niveau, elle est de 4 voies dans le cas d'un codage linéaire avec une protection du second niveau. Dans le cas d'une compression-extension quasi instantanée avec deuxième niveau de protection et dans le cas du codage linéaire avec premier niveau de protection, la capacité est la même, soit 6 voies son.

Les résultats correspondants exprimés dans l'échelle de qualité à cinq notes sont donnés à la Fig. 12 pour la combinaison 1 et aux Fig. 13a et 13b pour la combinaison 2.

On notera d'après la Fig. 12 que la meilleure qualité d'image est telle que le système C-MAC/paquets peut être considéré comme «transparent» vis-à-vis de la norme 4:2:2 de la Recommandation 601. On constate à partir des Fig. 13a et 13b que les 4 options en matière de codage du son pour le système C-MAC/paquets donnent des résultats qui sont voisins de la note de référence (> 4,8) pour des rapports  $C/N$  supérieurs à 9,5 dB.

## 3. Points de défaillance du son et de l'image

Des essais subjectifs ont été réalisés avec la combinaison 1 et la combinaison 2 avec la loi de compression-extension quasi instantanée décrites au § 2. Dans ces essais, les éléments vidéo et audio du programme étaient présentés simultanément en vue de définir les points de défaillance relatifs du son et de l'image.

Le programme était constitué par la retransmission d'une composition musicale jouée à la guitare.

On a obtenu les valeurs suivantes du rapport  $C/N$  au point de défaillance (note de 1,5):

### *Combinaison 1: Image*

- avec démodulateur normal: 4 dB
- avec démodulateur à extension de seuil: 4 dB
- Son:* 4 dB

### *Combinaison 2: Image*

- avec démodulateur normal: 3 dB
- avec démodulateur à extension de seuil: 2 dB
- Son:* 4,5 dB

Les différences par rapport aux résultats présentés au § 2 (Fig. 12 et 13) sont dues au fait que les méthodes et les critères d'évaluation utilisés n'étaient pas les mêmes.

## 4. Limite d'intelligibilité de la parole

On a évalué la limite d'intelligibilité de la parole pour la combinaison 2 en présentant simultanément le son et l'image. On a obtenu une valeur de 3 dB pour cette limite.

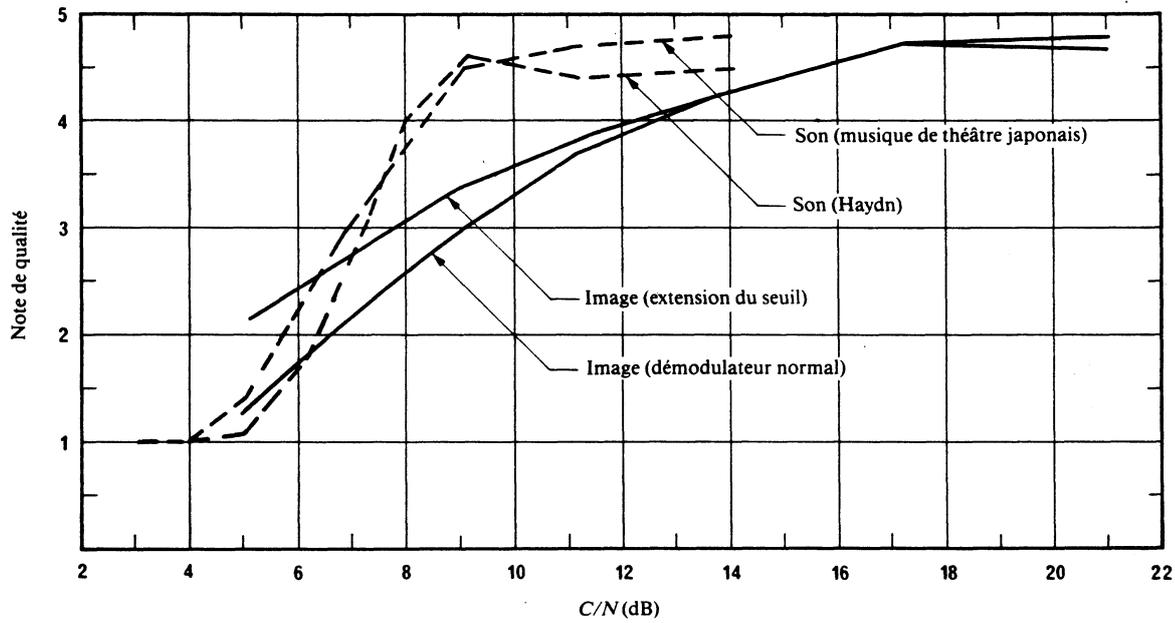


FIGURE 12 - Qualité en fonction du rapport C/N pour la combinaison 1 (37 observateurs)

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MASAMURA, T., SAMEJIMA, S., MORIHIRO, Y. et FUKETA, H. [juin 1979] Differential Detection of MSK with nonredundant error correction. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-27, 6, 912-918.

#### BIBLIOGRAPHIE

CLARK, D. S. [1985] Demodulation techniques for 20 Mbit/s 2-4 PSK signals. IBA E and D Report No. 133/85.

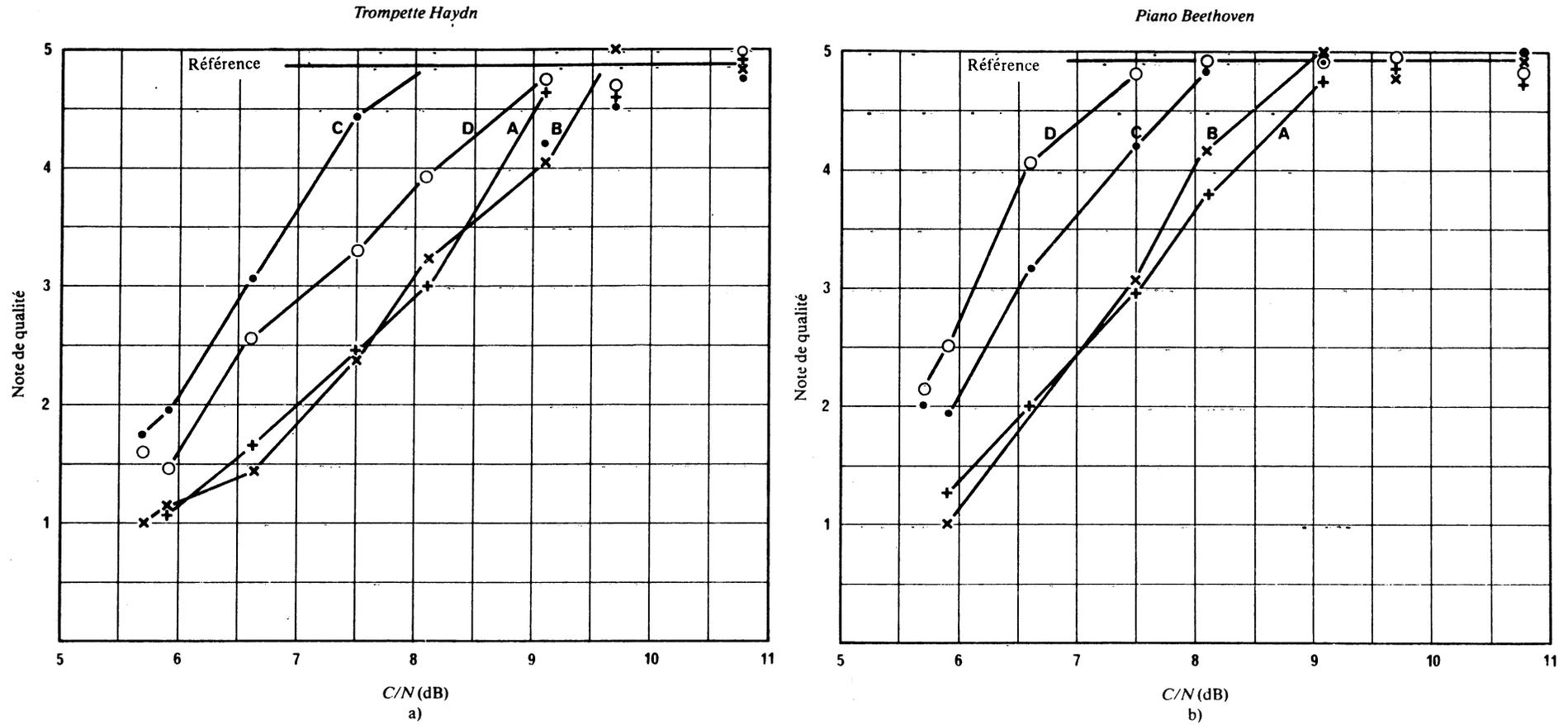


FIGURE 13 - Qualité subjective en fonction des choix en matière de codage du son pour le C-MAC/paquets\*

- Clé - A Compression-extension avec protection du 1<sup>er</sup> niveau  
 B Linéaire avec protection du 1<sup>er</sup> niveau  
 C Compression-extension avec protection du 2<sup>e</sup> niveau  
 D Linéaire avec protection du 2<sup>e</sup> niveau

\* Pour le même taux d'erreur binaire, ces résultats peuvent également être valables pour le système D2-MAC/paquets qui utilise la même loi de codage et la même protection contre les erreurs que le système C-MAC/paquets. La Fig. 8 de l'Annexe IV donne la courbe du taux d'erreur binaire en fonction du rapport C/N pour le système C-MAC/paquets et la Fig. 4 de l'Annexe III celle qui concerne le système D2-MAC/paquets.