

RAPPORT 1074-1

**EMISSION PAR SATELLITE DE SIGNAUX D'IMAGE A
COMPOSANTES ANALOGIQUES MULTIPLEXÉES (MAC) ***

(Question 2/10 et 11, Programme d'études 2F/10 et 11)

(1986-1990)

1. Introduction

La Conférence administrative mondiale des radiocommunications de 1977 a établi le Plan pour la radiodiffusion par satellite dans les Régions 1 et 3 dans la bande des 12 GHz. On a pris pour hypothèse, à ce moment là, l'utilisation en bande de base des systèmes composites classiques, tels que le PAL ou le SECAM, avec une sous-porteuse analogique pour le son. Le Plan n'interdit toutefois pas l'utilisation d'autres systèmes. De même, dans le Plan élaboré par la CARR SAT-83 pour la Région 2, on a admis l'emploi de signaux de télévision composites classiques (par exemple, des signaux NTSC avec sous-porteuses son analogiques). Cependant, cette Conférence a également pris en compte de nouveaux systèmes, qui pourront être utilisés, pour autant que les critères de brouillage soient respectés.

Depuis lors, les radiodiffuseurs ont montré un intérêt accru pour l'amélioration du service, ce qui a, par exemple, conduit à un accord sur une norme applicable aux signaux vidéo numériques pour les studios, faisant appel à des composantes séparées et non à un codage composite.

A la suite de cet accord, des études intensives faites par certaines organisations ont conduit à la mise au point d'une nouvelle méthode de codage par composantes analogiques destinée à la transmission par satellite, dite méthode des composantes analogiques multiplexées (MAC-Multiplexed Analogue Components).

L'émission de signaux codés par composantes permettrait aux téléspectateurs de mieux profiter des avantages offerts par les futurs studios entièrement numériques qu'avec l'émission de signaux composites. De plus, il existe une tendance à prévoir une interface par composantes pour les récepteurs domestiques et les magnétoscopes. Cette évolution donne l'occasion d'établir des normes communes pour le service de radiodiffusion par satellite (SRS), (Rapport 632).

L'UER a étudié un certain nombre de systèmes vidéo à 625 lignes améliorés utilisables par le SRS. Des mesures objectives et subjectives ont été réalisées sur un système par composantes, ainsi que des mesures comparatives avec les systèmes PAL et SECAM classiques.

A partir de ces études, les experts de l'UER ont mis au point une famille de systèmes dans lesquels le signal image est acheminé par la méthode des composantes comprimées dans le temps. Tous les systèmes de cette famille se prêtent à la radiodiffusion par satellite. Ces systèmes, appelés systèmes C-MAC/paquet, D-MAC/paquet et _____ D2-MAC/paquet» sont décrits dans le Rapport 1073.

Des études analogues de systèmes d'images améliorées pour le SRS faites au Canada et aux Etats-Unis d'Amérique ont conduit à la mise au point de différents systèmes MAC à 525 lignes et 625 lignes qui utilisent le multiplex son de type B. Les résultats de ces travaux ont été examinés en détail par la CARR SAT-83 [CCIR, 1982-86a]. On trouvera dans le Rapport 1073 la description de l'un de ces systèmes (B-MAC).

Le présent Rapport décrit les caractéristiques générales des systèmes MAC, donne des raisons expliquant le choix des paramètres pour le système vidéo MAC-625 lignes et 525 lignes, examine les améliorations futures de ces systèmes et considère des méthodes d'embrouillage vidéo.

* Les renseignements figurant dans le Rapport 1074 doivent être aussi utilisés pour harmoniser le contenu dans les autres Rapports et Recommandations du CCIR, ainsi que la Publication spéciale sur les systèmes de radiodiffusion par satellite.

2. Caractéristiques générales des systèmes MAC

2.1 Limitations des signaux à codage composite appliqués au SRS

Les signaux composites utilisés en télévision classique (NTSC, PAL, SECAM) ont été conçus il y a 30 ans. Ils ont été optimisés pour des transmissions en MA et aux fins de compatibilité entre récepteurs monochrome et récepteurs couleur. Cela a conduit à l'adjonction d'une sous-porteuse couleur dans la partie supérieure de la bande de luminance, si bien que l'information couleur «partage la bande» avec de l'information de luminance à haute fréquence. C'est la présence de cette sous-porteuse couleur qui est la cause des limitations les plus visibles des signaux, c'est-à-dire la diaphotie luminance-chrominance, la sensibilité au bruit MF de la diaphotie de chrominance-luminance, le gain différentiel et la phase différentielle.

Une caractéristique d'un système MF est que la densité de puissance de bruit démodulé augmente comme le carré de la fréquence de bande de base. Donc, lorsque l'on utilise un codage de télévision classique dans un canal satellite, le signal de chrominance est sujet à davantage de bruit par unité de largeur de bande que le signal de luminance. Dans le processus de démodulation de chrominance, le bruit haute fréquence est transformé en un bruit de fréquence plus basse qui est subjectivement plus gênant. Cela a pour conséquence de créer un déséquilibre entre les caractéristiques de bruit des canaux de luminance et de chrominance, si bien que le bruit de différence de couleur est la dégradation la plus importante pour de petites valeurs de C/N [Lucas et Windram, 1981].

Une autre caractéristique de l'émission par satellite de signaux de télévision MF est que les caractéristiques du bruit MF changent lorsque le système fonctionne en-dessous de seuil MF. Ces conditions peuvent être le résultat de conditions météorologiques défavorables et/ou du mauvais réglage de l'antenne. Dans les systèmes de télévision classiques, le réseau de désaccentuation transforme ce bruit en longues traînées noires et blanches qui sont subjectivement gênantes et difficiles à cacher. En outre, la présence de la sous-porteuse couleur élève le seuil MF du système et peut entraîner une distorsion d'intermodulation avec les signaux son.

Avec des récepteurs classiques, les effets de diaphotie luminance-chrominance et chrominance-luminance sont tels qu'ils limitent des largeurs de bande effectives des signaux de luminance et de différence de couleur à des largeurs relativement petites (environ 3,5 MHz et 1 MHz respectivement dans le système PAL et environ 3,2 MHz et 0,6 MHz dans le système NTSC). La diaphotie peut être réduite dans des récepteurs avec filtres en peigne et mémoires de trame. Avec des images fixes, elle peut-être largement éliminée et la largeur de bande de luminance n'est alors limitée que par la présence de la sous-porteuse son. En revanche, avec des images animées, la réduction de ces diaphoties est plus limitée et nécessite des mécanismes de mémorisation ainsi que des algorithmes de filtrage adaptés au mouvement, plus complexes.

C'est pour toutes ces raisons que le nouveau système de codage par composantes (MAC) a été mis au point, il a été conçu pour s'adapter aux caractéristiques du canal MF et pour être à la base de développements futurs.

2.2 Le signal MAC

Dans le système de codage vidéo MAC, le signal de luminance et l'un des deux signaux de différence de couleur de la ligne active sont comprimés dans le temps séparément et placés séquentiellement à l'intérieur de la ligne pour former un signal à composantes analogiques multiplexées temporellement. Les deux signaux de différence de couleur comprimés dans le temps sont transmis sur des lignes successives de manière à minimiser les rapports de compression nécessaires de tous les signaux et à améliorer les caractéristiques de bruit [Lucas et Windram, 1981].

A la réception, les signaux de luminance et de différence de couleur sont décomprimés par l'utilisation de mémoires de ligne dans le décodeur. Cette méthode permet de distribuer les dégradations dues au bruit de façon équilibrée entre la chrominance et la luminance pour améliorer la performance en présence de signaux faibles. Les diaphoties sont complètement éliminées.

La compression temporelle des signaux vidéo entraîne une augmentation proportionnelle de la largeur de bande vidéo requise pour laisser passer le signal. Toutefois, la largeur spectrale du signal MF est fonction de la fréquence et de l'amplitude des signaux en bande de base, ce qui peut servir à loger un signal comprimé dans le temps. L'absence de sous-porteuse couleur réduit l'excursion aux fréquences de modulation élevées ce qui permet d'augmenter la largeur de bande émise des signaux vidéo en bande de base.

Pour une largeur de bande vidéo constante, la compression temporelle des signaux dans le codeur, suivie d'expansion temporelle dans le décodeur, entraînent une augmentation de la puissance de bruit en sortie du récepteur. En première approximation, la puissance de bruit augmente comme le cube du rapport de compression.

Il ressort clairement de ces considérations qu'il faudrait s'attacher tout particulièrement à réduire les rapports de compression utilisés lors de la conception de systèmes MAC. En général toutefois, les systèmes MAC peuvent être conçus de manière à avoir une caractéristique de bruit supérieure à celle des systèmes de télévision classiques employant les mêmes largeurs de bande vidéo [Windram et autres, 1983a]. Dans ce contexte, les avantages du système MAC sont particulièrement importants lorsque le rapport C/N a une valeur proche ou inférieure à celle du seuil MF, car le réseau de désaccentuation MAC ne cause que de courtes traînées horizontales qui sont subjectivement moins gênantes que celles des systèmes classiques. En outre, les traînées de bruit de seuil ne s'étendent pas aux éléments d'image adjacents, aussi est-il facile d'appliquer des méthodes de masquage.

2.2.1 Aspects multiplexage

Plusieurs variantes du format MAC ont été développées et ont atteint un stade avancé: systèmes **C-MAC/paquet, D-MAC/paquet, D2-MAC/paquet, B-MAC. Les travaux de développement relatifs à un autre système, A-MAC,** _____ ont été abandonnés. La principale différence entre ces systèmes réside dans la manière dont les signaux numériques son/données sont multiplexés avec le signal image MAC.

En C-MAC/paquet, les signaux son et de données sont insérés dans l'intervalle de suppression de ligne du signal vidéo au niveau RF sous la forme d'une porteuse modulée numériquement. A l'émission, un multiplexage temporel est effectué en fréquence intermédiaire, en commutant les signaux vidéo modulés en fréquence et les signaux son et données modulés numériquement, de manière à maintenir la continuité de phase de la porteuse RF émise. L'absence de sous-porteuse haute fréquence pour la couleur ou pour le son permet d'augmenter les largeurs

Dans le cas des systèmes D-MAC/paquet et D2-MAC/paquet développés par l'UER et du B-MAC développé au Canada et aux Etats-Unis d'Amérique, _____ les signaux son et de données sont transportés dans l'intervalle de suppression de ligne en bande de base sous la forme de signaux numériques. Pour ces systèmes, **le spectre du signal son/données peut être obtenu en bande de base à la sortie du discriminateur ou du démodulateur à boucle à verrouillage en phase utilisés pour la vidéo.**

Des essais pratiques ont montré qu'un signal (C, D, D2) MAC/paquet fonctionnant avec une largeur de bande vidéo comprimée de 8,4 MHz satisfait aux spécifications de brouillage prescrites par la CAMR-RS-77 (Rapport 634). Par ailleurs, des mesures de brouillage dans le cas du système B-MAC ont indiqué que le critère de brouillage dans le même canal spécifié par la CARR SAT-83 est satisfait (Rapport 634).

2.2.2 Aspects image

Avec le système C-MAC/paquet et les multiplex son de type B, (D-MAC/paquet, D2-MAC/paquet, B-MAC), l'absence de sous-porteuse permet d'augmenter la largeur de spectre des signaux vidéo en bande de base ou l'excursion de fréquence: la possibilité d'augmenter la largeur de bande vidéo comprimée jusqu'à environ 11 MHz est démontrée par des essais de brouillage faits sur un système appelé PAL étendu [Shelswell, 1982], [Rhodes, 1985].

Un complément d'étude est nécessaire pour confirmer les limites supérieures de la largeur de bande de base que l'on peut obtenir avec des systèmes C-, D- ou D2-MAC/paquet. Néanmoins, il est probable que des largeurs de bande vidéo non comprimées supérieures à 7 MHz pour la luminance et à 3 MHz pour les signaux de différence de couleur pourront être obtenues. Ces transmissions à largeurs de bande plus grandes pourront être nécessaires dans l'avenir pour obtenir la résolution plus fine nécessaire à la visualisation sur grands écrans. Dans ce cas, on emploierait des antennes plus grandes et/ou des techniques telles que la réduction du bruit.

Une autre caractéristique du système C-, D- ou D2-MAC/paquet est la possibilité de signaler des changements dans les limites entre le signal numérique et le signal vidéo et entre le signal vidéo et l'intervalle de suppression de trame. Des propositions sont faites en vue d'utiliser cette possibilité pour permettre la transmission d'images ayant un format plus large.

Des techniques permettant d'obtenir des signaux de définition améliorée et des formats d'image plus larges avec des systèmes MAC sont discutées plus en détail aux § 3 et 4 du présent Rapport.

Le signal MAC est aussi très bien adapté à l'embrouillage vidéo pour accès conditionnel (voir § 5). Ces méthodes d'embrouillage utilisent un moyen simple de réarrangement des blocs vidéo. La séparation des composantes dans un multiplex temporel facilite cela. Le désembrouillage se fait facilement dans les mémoires de ligne du décodeur MAC sans nécessiter de circuits supplémentaires.

Le problème de la compatibilité avec les récepteurs existants est le même, que l'on utilise le codage MAC ou le codage de télévision classique. Dans les deux cas, de nouvelles installations extérieures et intérieures de complexité globale comparable sont nécessaires. Dans le cas MAC, toutefois, de nombreux récepteurs imposeront que l'installation intérieure soit dotée d'un codeur composite.

2.2.3 Résumé

Les systèmes MAC offrent de nombreux avantages par rapport aux systèmes classiques. Parmi ceux-ci, on peut citer:

- l'élimination des diaphoties luminance-chrominance et chrominance-luminance;
- amélioration de la résolution horizontale de luminance et de différence de couleur;
- une amélioration subjective globale pour ce qui est du bruit;
- distorsion et intermodulation réduites;
- utilisation plus efficace du canal de transmission;
- embrouillage vidéo facilité pour l'accès conditionnel;
- possibilité d'images à définition améliorée de format d'image plus large;
- maintien de la transmission son/données numériques de grande capacité.

3. **Raisons du choix des paramètres pour le système MAC utilisé dans les systèmes C-, D- et D2-MAC/paquet définis dans le Rapport 1073**

Cette section donne des renseignements généraux sur les paramètres pour le système vidéo MAC particulier, décrit dans le Rapport 1073.

L'étude et la définition des caractéristiques vidéo du système MAC ont imposé de prendre de nombreuses décisions concernant le multiplexage temporel et la mise en forme de la bande. On peut citer les suivantes:

- meilleur ordre de diffusion des composantes de différence de couleur et de luminance;
- système de diffusion simultanée en ligne ou séquentielle en ligne des signaux de différence de couleur;
- largeurs de bande et niveaux optimaux pour les signaux de luminance et de différence de couleur, compte tenu de la résolution horizontale et du comportement vis-à-vis du bruit;
- résolution verticale;
- compression temporelle des signaux de luminance et de différence de couleur;
- caractéristique de préaccentuation et de désaccentuation;
- qualité d'image;
- embrouillage pour l'accès conditionnel;
- conformité à la CAMR-RS-77;
- perspectives d'améliorations ultérieures.

La plupart de ces caractéristiques dépendent les unes des autres, de sorte qu'il a fallu faire des compromis.

3.1 *Largeurs de bande de luminance et de différence de couleur*

Le choix des largeurs de bande de luminance et de différence de couleur a été fait en prenant comme référence la norme numérique de studio 4:2:2 (Recommandation 601), qui prévoit pour ces signaux des fréquences d'échantillonnage respectivement égales à 13,5 et 6,75 MHz. Les largeurs de bande maximales en bande de base disponibles avec la norme 4:2:2 sont donc respectivement d'environ 6 et 3 MHz.

Le bruit est en relation étroite avec les largeurs de bande de luminance et de différence de couleur. Dans le système MAC, la compression temporelle introduit une nouvelle dégradation dans le domaine du bruit. En première approximation, la puissance de bruit pour une largeur de bande donnée du signal comprimé, est proportionnelle au cube du facteur de compression.

Il en résulte évidemment que des précautions particulières doivent être prises pour réduire le bruit des signaux de différence de couleur qui sont deux fois plus comprimés que ceux de luminance. Il a été décidé à l'origine que l'amplitude maximale des signaux de différence de couleur devait être de 1,3 V crête-à-crête pour une saturation de 100%. Toutefois, afin de permettre l'utilisation, dans l'avenir, d'une largeur de bande de différence de couleur non comprimée supérieure à 2 MHz, on a décidé de limiter à 1 V crête-à-crête l'amplitude du signal. Cette limitation est considérée comme acceptable, car elle correspond à une saturation proche des 96% sur l'écran du récepteur et est rarement dépassée par les images naturelles.

Comme l'amplitude des signaux de différence de couleur est la même que celle des signaux de luminance et que leur rapport de compression est double, leur bande passante est en principe la moitié de celle de la luminance. On peut s'approcher de cette limite à l'émission, mais afin d'éviter des suroscillations qui peuvent causer des dégradations inacceptables des signaux de différence de couleur, leur bande passante doit être encore réduite à la réception au moyen d'un filtre à coupure douce (filtre de Bessel, par exemple).

Les constructeurs sont laissés libres du choix du filtre et il est vraisemblable que lorsque le signal reçu sera intense, il sera possible d'obtenir une bande passante de différence de couleur de 2 MHz, soit environ 1/3 de celle de la luminance. Du fait des propriétés de l'œil humain, cette valeur est largement suffisante pour des images naturelles et suffit encore pour des images très critiques produites électroniquement (textes avec lettres de petite taille, par exemple). Il pourrait être souhaitable de réduire davantage la bande des signaux affectés de bruit et on a proposé d'utiliser dans ce cas des filtres de type gaussien ou de type Bessel ayant une bande passante à 3 dB d'environ 0,9 MHz.

Afin d'obtenir des données plus précises sur la relation entre le bruit et la bande passante, on a calculé la densité de puissance de bruit en fonction de la fréquence, compte tenu du facteur de compression et de la préaccentuation. Les résultats montrent que le bruit augmente de manière sensible en même temps que la fréquence. Si on applique une pondération ayant une constante de temps $\tau = 0,2 \mu\text{s}$ (Recommandation 451), la caractéristique de densité de bruit pondéré a la forme présentée à la Fig. 1 dans laquelle on tient compte des effets de la préaccentuation (voir le § 3.4). On suppose ici que la luminance et la différence de couleur subissent la même pondération. Les courbes, relativement uniformes aux fréquences élevées, indiquent que les caractéristiques du bruit MF et la perception visuelle du bruit sont bien harmonisées.

La visibilité du bruit sur l'écran peut différer de celle prévue théoriquement du fait du non respect du principe de luminance constante et d'effets physiologiques (l'œil est sensible de manière différente au bruit dans les deux voies de différence de couleur). Les effets subjectifs du bruit de chrominance peuvent être réduits en choisissant bien les axes de différence de couleur, mais on ne pense pas que cette amélioration puisse dépasser 1 dB environ. On peut encore améliorer légèrement le bruit des signaux de différence de couleur en prenant la moyenne dans la direction verticale à la réception (au lieu de répéter une ligne unique).

L'influence de la préaccentuation et de la désaccentuation sur le bruit est examinée au § 3.4.

3.2 *Choix de l'ordre des composantes analogiques et du rapport de compression*

La composante de luminance et les deux composantes de différence de couleur doivent être diffusées séquentiellement et avec compression dans le temps. On doit tout d'abord décider si les signaux de différence de couleur doivent être transmis sur chaque ligne ou séquentiellement une ligne sur deux et dans ce cas, dans quel ordre.

Le choix des rapports de compression impose un compromis entre le rapport signal/bruit, les contraintes imposées par les brouillages, la transparence vis-à-vis de la norme numérique de studio (compte tenu de la nécessité de permettre la conception des récepteurs simples) et la division la plus simple possible de la durée de la ligne active de $52 \mu\text{s}$. Il résulte des deux derniers facteurs que, quel que soit le principe retenu (diffusion séquentielle en ligne ou simultanée), les taux de compression de luminance (Y) et de différence de couleur (X) doivent être dans un rapport de 0,5 (conduisant à la même fréquence d'échantillonnage pour les deux signaux comprimés). De plus, la somme des parties du temps partagé doit être égale à 1.

Dans un système de diffusion séquentielle en ligne des composantes de différence de couleur, on parvient au système de deux équations suivant dont les deux variables sont les facteurs de compression:

$$\frac{Y}{X} = 0,5 \text{ et } \frac{1}{X} + \frac{1}{Y} = 1$$

dont la solution est $X = 3$ et $Y = \frac{3}{2}$

Dans le cas de transmission simultanée des composantes de différence de couleur, ces équations deviennent:

$$\frac{Y}{X} = 0,5 \text{ et } \frac{2}{X} + \frac{1}{Y} = 1$$

avec la solution suivante: $X = 4$ et $Y = \frac{4}{2}$

On a indiqué au § 2.2 que la puissance de bruit après décompression varie comme le cube du facteur de compression K et en conséquence, la diminution du rapport signal/bruit est égale à $30 \log K$ (dB). Il s'ensuit que les meilleures caractéristiques de bruit sont obtenues quand les rapports de protection sont maintenus à un niveau minimal. Ces valeurs montrent clairement que, dans un système où les deux signaux de différence de couleur sont sur la même ligne, la dégradation du bruit de différence de couleur et de luminance est de 3,7 dB par rapport au cas où la diffusion de la différence de couleur est séquentielle en ligne. De plus, la compression temporelle des composantes entraîne une augmentation proportionnelle de la largeur du spectre du signal à loger dans le canal MF. En conséquence, pour éviter des brouillages supplémentaires causés par l'accroissement de la fréquence modulante maximale lors de la transmission simultanée des deux composantes de différence de couleur, les déviations devraient être réduites, ce qui entraînerait une nouvelle réduction du rapport signal/bruit d'environ 2 dB pour la différence de couleur et de 4 dB pour la luminance. Des dégradations totales du rapport signal/bruit dépassant 5 dB sont apparues inacceptables, et c'est pourquoi les signaux de différence de couleur sont diffusés séquentiellement en ligne avec des rapports de compression de 3 à 2 pour la luminance et de 3 à 1 pour la différence de couleur.

En ce qui concerne l'ordre de diffusion des composantes, la différence de couleur est émise avant la luminance. Aucune raison déterminante n'indique qu'un ordre différent de celui proposé pourrait offrir des avantages du point de vue de la complexité du récepteur. On a choisi de diffuser d'abord la différence de couleur car on a estimé que les distorsions à basse fréquence seraient surtout visibles dans la différence de couleur et que, par conséquent, celle-ci doit être la plus proche de la référence de clampage du début de la ligne.

3.3 *Considérations relatives aux définitions verticale et horizontale de luminance et de différence de couleur*

Lorsqu'on étudie ce problème, il est bon de convertir la définition verticale, généralement exprimée en cycles par hauteur d'image, en une définition horizontale équivalente, exprimée en MHz.

Dans le système à 625 lignes/50 Hz avec entrelacement 2 : 1 et formats d'image de 4 : 3, la limite de Nyquist de 143,75 cycles par hauteur d'image (575 lignes actives/4), conduit à une fréquence équivalente horizontale pour un signal en damier de 3,7 MHz. Cette limitation est due au papillotement d'entrelacement.

La définition de luminance possible est toutefois équivalente à 7,4 MHz et elle peut être obtenue par un balayage progressif dans la direction verticale, faisant appel à des techniques de pré- et de postfiltrage vertical. L'amélioration possible est un facteur dont il faut tenir compte en étudiant la réponse en fréquence nécessaire pour obtenir une harmonisation des définitions verticale et horizontale.

Puisque les signaux de différence de couleur sont diffusés dans une ligne sur deux, la définition verticale possible pour la chrominance est la moitié de celle de la luminance. La limite de Nyquist, soit 71,87 cycles par hauteur d'image, correspond à une fréquence équivalente de 1,85 MHz. Les signaux de différence de couleur doivent subir un préfiltrage vertical en vue de réduire les composantes de repliement de spectre apparaissant dans le signal initial. Il peut en résulter une nouvelle limitation de la définition selon le type de filtre utilisé. Un dispositif simple prenant la moyenne des lignes (filtre 1,1) introduirait par exemple une perte de 3 dB à 1,85 MHz, tandis que si on adoptait un filtre 1,2,1, la perte serait de 6 dB. La réponse globale dépend aussi du type de postfiltrage appliqué à la réception. Après un préfiltrage 1,2,1 à l'émission, un postfiltrage 1,2,1 à la réception (valeur conseillée pour un écran de taille normale) introduirait une nouvelle limitation et, en théorie, la réponse serait réduite de 6 dB à 1,34 MHz.

Cette définition verticale est inférieure à la définition horizontale maximale possible avec des signaux à faible bruit (environ 2 MHz). Il est cependant probable qu'on pourra améliorer la définition verticale de chrominance en ayant recours à des techniques de préfiltrage plus raffinées, notamment celles faisant appel à des mémoires de trame et en utilisant éventuellement un postfiltrage correspondant à la réception. On pourrait ainsi obtenir la meilleure harmonisation possible entre les définitions dans les deux directions.

On peut conclure qu'un système de diffusion séquentielle de la couleur donne une définition assez bien harmonisée dans les directions verticale et horizontale, et de nouvelles améliorations peuvent être obtenues en utilisant un traitement plus perfectionné.

3.4 *Choix de la préaccentuation*

Dans le système MAC, il est inutile d'appliquer une forte préaccentuation pour réduire la distorsion comme dans les signaux composites. Il est toutefois utile d'appliquer une préaccentuation pour améliorer le comportement dans le domaine du bruit et des brouillages, compte tenu des conditions imposées par le Plan de la CAMR-RS-77.

L'étude de la préaccentuation doit prendre en compte les effets du bruit de seuil, car la désaccentuation transforme en traînées visibles sur l'écran les impulsions parasites. La dégradation qui en résulte dépend du nombre et de l'amplitude de ces impulsions ainsi que de la longueur de la perturbation. La décompression temporelle introduit un étalement des traînées dont la durée est multipliée par le taux de compression.

La préaccentuation a l'avantage de réduire le nombre et l'amplitude des impulsions, mais elle a aussi l'effet négatif d'accroître leur longueur. Des évaluations subjectives ont toutefois démontré que lorsque la caractéristique de préaccentuation est bien choisie, les avantages l'emportent sur les inconvénients.



En principe, la préaccentuation risque de créer des distorsions par suite du filtrage à 27 MHz et du bruit de troncature. Cet effet peut être limité en choisissant avec précaution la caractéristique de préaccentuation.

Ce choix doit résulter d'un compromis entre les facteurs contradictoires mentionnés plus haut. Certains des Membres de l'UER ont effectué des calculs et des évaluations subjectives avec deux réseaux [CCIR, 1982-86b]. Le Tableau I donne les caractéristiques du réseau spécifiées dans le Rapport 1073 pour les systèmes de la famille MAC/paquet.

On n'exclut pas la possibilité que, à la suite d'autres études, une caractéristique légèrement différente, mais compatible, soit proposée pour optimiser les performances du système.

L'affaiblissement d'insertion à basse fréquence du réseau de préaccentuation MAC est seulement de 3 dB. Il est donc hautement souhaitable que la restitution de la composante continue vidéo soit faite à l'entrée du modulateur MF.

3.4.1 Exemple de réseau de pré- et désaccentuation non linéaire compatible E7 pour la famille MAC/paquets

En plus du réseau E1 à caractéristique de préaccentuation linéaire destiné à la famille MAC/paquets (Tableau I), on peut aussi utiliser un réseau de préaccentuation non linéaire E7 (voir Annexe I). Le réseau E7 doit s'appliquer uniquement en signal d'images, non à la salve de données. Ce réseau produit une amélioration subjective de la qualité de l'image équivalente à une augmentation de 3 dB du rapport porteuse/bruit du signal reçu. E7 est une pré-désaccentuation non linéaire conçue pour diminuer le bruit et le brouillage sans détériorer le seuil. C'est un système de compression-extension instantanée en fonction de la fréquence. Il est compatible en ce qu'il n'a pas d'influence sur les fréquences vidéo basses et n'affecte donc pas l'excursion choisie pour le signal MF. E7 est utilisable sous forme tant analogique que numérique et les spécifications ci-après portent sur les deux cas, pour les réseaux de préaccentuation et de désaccentuation. Les deux exemples qui font l'objet de la spécification ci-dessous sont conformes au plan de la CAMR RS-77 lorsqu'ils sont ajoutés à la préaccentuation E1. Tous les réseaux de préaccentuation dont on se sert pour la famille MAC/paquets doivent être compatibles vers le haut avec le HD-MAC que décrit le Rapport 1075 du CCIR.

3.5 *Qualité d'image*

Des essais subjectifs effectués par l'UER pour des rapports porteuse/bruit différents ont montré que la qualité du MAC* est toujours supérieure à celle du PAL et du SECAM.

Le MAC est cependant inférieur au PAL du point de vue de la finesse des transitions colorées verticales, par suite des filtres d'interpolation utilisés à l'émission et à la réception pour réduire les composantes de repliement de spectre causées par la diffusion séquentielle en ligne de la différence de couleur. Ces composantes qui existent dans le SECAM peuvent être particulièrement gênantes sur les images mobiles synthétisées électroniquement (texte rouge sur fond noir, par exemple) si on ne les ramène pas à un niveau négligeable par un filtrage approprié [Windram et Morcom, 1983].

Quant au rapport signal/bruit, même à des valeurs élevées de C/N , un certain bruit est visible dans les zones colorées fortement saturées. Ce bruit est subjectivement plus faible en MAC qu'en PAL ou en SECAM.

Des essais subjectifs ont aussi prouvé que les prescriptions du Plan de la CAMR-RS-77 relatives au brouillage dans le même canal et dans le canal adjacent sont satisfaites, pour les signaux MAC non embrouillés comme pour les signaux MAC embrouillés (voir le Rapport 634).

D'autre part, à des valeurs de C/N faibles, la performance du système est toujours meilleure que celle des systèmes composites existants, même avec une démodulation de seuil étendue. Les images sont plus acceptables, car les traînées dues à l'effet de seuil sont beaucoup plus courtes, en raison d'une désaccentuation moindre et de constantes de temps plus courtes.

* Dans le système utilisé pour ces essais, la bande passante à 3 dB de luminance était de 5,6 MHz et celle de la différence de couleur de 1,6 MHz.

TABLEAU I – Caractéristiques des réseaux de préaccentuation pour signaux MAC

Système	A_0 (dB)	A_∞ (dB)	f_z (MHz)	f_p (MHz)	f_p/f_z	S/N lum. (dB)	S/N diff. de couleur (dB)
C-MAC D-MAC D2-MAC	-3	2,04	0,84	1,5	1,786	42,23	43,59
B-MAC	-3	+3	1,87	3,74	2		

A_0 : gain basse fréquence

A_∞ : gain haute fréquence

f_z : fréquence du zéro

f_p : fréquence du pôle

S/N lum.: rapport signal de luminance/bruit pondéré correspondant à $C/N = 14$ dB (réseau de pondération: Recommandation 451; largeur de bande 6 MHz)

S/N diff.

de couleur: rapport signal de différence de couleur/bruit pondéré correspondant à $C/N = 14$ dB (réseau de pondération: Recommandation 451; filtre récepteur gaussien avec point à 6 dB à 1,3 MHz).

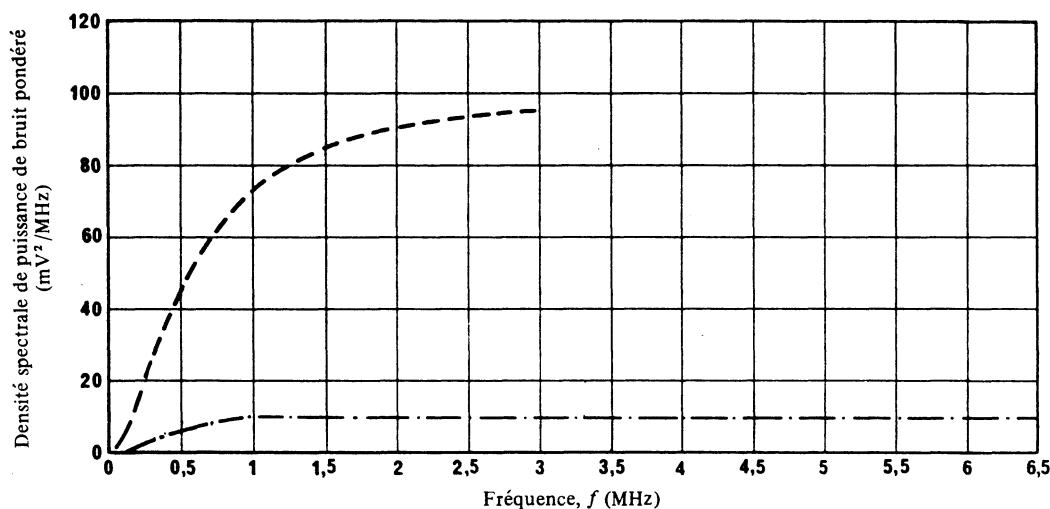


FIGURE 1 – Densité spectrale de puissance de bruit pondéré pour le signal de différence de couleur et la luminance

Filtre de pondération: Recommandation 451.

Réseau de préaccentuation utilisé pour C-, D- et D2-MAC/paquet

----- Signal de différence de couleur
 -.-.-.-.- Luminance

L'échelle des ordonnées est telle que l'aire sous les courbes, exprimée en décibels par rapport à 1 mV^2 , donne la valeur des rapports signal/bruit pondéré correspondant à un C/N de 14 dB.

Note. – Les courbes pour le bruit de différence de couleur ont été établies en supposant que les puissances de bruit pour les deux signaux de différence de couleur s'additionnent en proportions égales. On doit noter toutefois que l'effet subjectif du bruit pour chacun des signaux de différence de couleur est une fonction compliquée de la teinte, de la saturation et de la luminance.



3.6 Améliorations futures

Lorsqu'on définit un nouveau système pour la radiodiffusion par satellite, il est important de ne pas rendre impossibles les améliorations futures envisageables.

Les améliorations suivantes peuvent être possibles; certaines d'entre elles n'ont pas encore été expérimentées, mais elles devraient être réalisables avec le type de signal proposé.

3.6.1 Accroissement de la résolution des signaux de luminance et de différence de couleur

On peut y parvenir en portant de 9 MHz à 12 MHz environ la largeur de bande vidéo comprimée, ce qui entraînerait un accroissement de la résolution horizontale de 33%; mais il reste à démontrer qu'il n'en résulterait pas de brouillages inacceptables.

On pourrait aussi envisager de recourir à un pré- et postfiltrage ce qui permettrait d'acheminer des informations horizontales supplémentaires sans excéder la bande de base actuelle en ayant recours au repliement de l'énergie du spectre. Les signaux ainsi traités pour l'amélioration de l'image risquent toutefois d'exiger des compromis lors de la conception des récepteurs avec postfiltrage utilisant ces informations et des récepteurs normaux [Tonge, 1982].

Des techniques d'amélioration de la résolution verticale par préfiltrage avant émission et postfiltrage utilisant des mémoires de ligne et de trame dans le récepteur sont décrites dans [Tonge, 1983; Long, 1983; Windram et Tonge, 1983]. Il apparaît qu'un accroissement de la résolution verticale effective de 100% est possible avec des images fixes. Toutefois, cette résolution est réduite aux fréquences verticales/temporelles plus élevées.

3.6.2 Format d'image

La souplesse offerte par le schéma de codage de la famille MAC/paquet et le débit de données élevé des systèmes C et D-MAC/paquet offre la possibilité d'une image compatible à format élargi. L'utilisation du contrôle MRT pour diminuer la largeur de la salve numérique (jusqu'à une valeur suffisante pour acheminer un son stéréo seulement) permet la transmission des informations supplémentaires de luminance. Les signaux supplémentaires correspondants de chrominance sont envoyés dans l'intervalle de suppression de trame comme l'indique la Fig. 2 et conformément à la description donnée dans [Windram et autres, 1983b].

D'autres études ont permis de définir une seconde méthode pour obtenir un format d'image élargi dans les systèmes C, D et D2-MAC/paquet. Cette approche utilise les composantes MRT d'image normales pour transporter une image de format 16:9 et laisse inchangée la capacité des données. On peut alors extraire de l'image élargie 16:9 une image de format 4:3 visualisable sur les écrans traditionnels. Pour la même largeur de bande du signal vidéo, cela provoquerait une légère perte de résolution, en raison des taux de décompression différents, mais il est possible d'accroître la largeur de bande du système pour les récepteurs futurs afin de compenser cet effet. [Shelswell, 1982; CCIR, 1982-86d, e, f, g].

Les récepteurs à mémoires de trame incorporées seront capables de traiter ces informations supplémentaires pour la visualisation de formats d'image élargis.

Les images 4:3 ne sont pas perturbées par le processus et les récepteurs normaux.

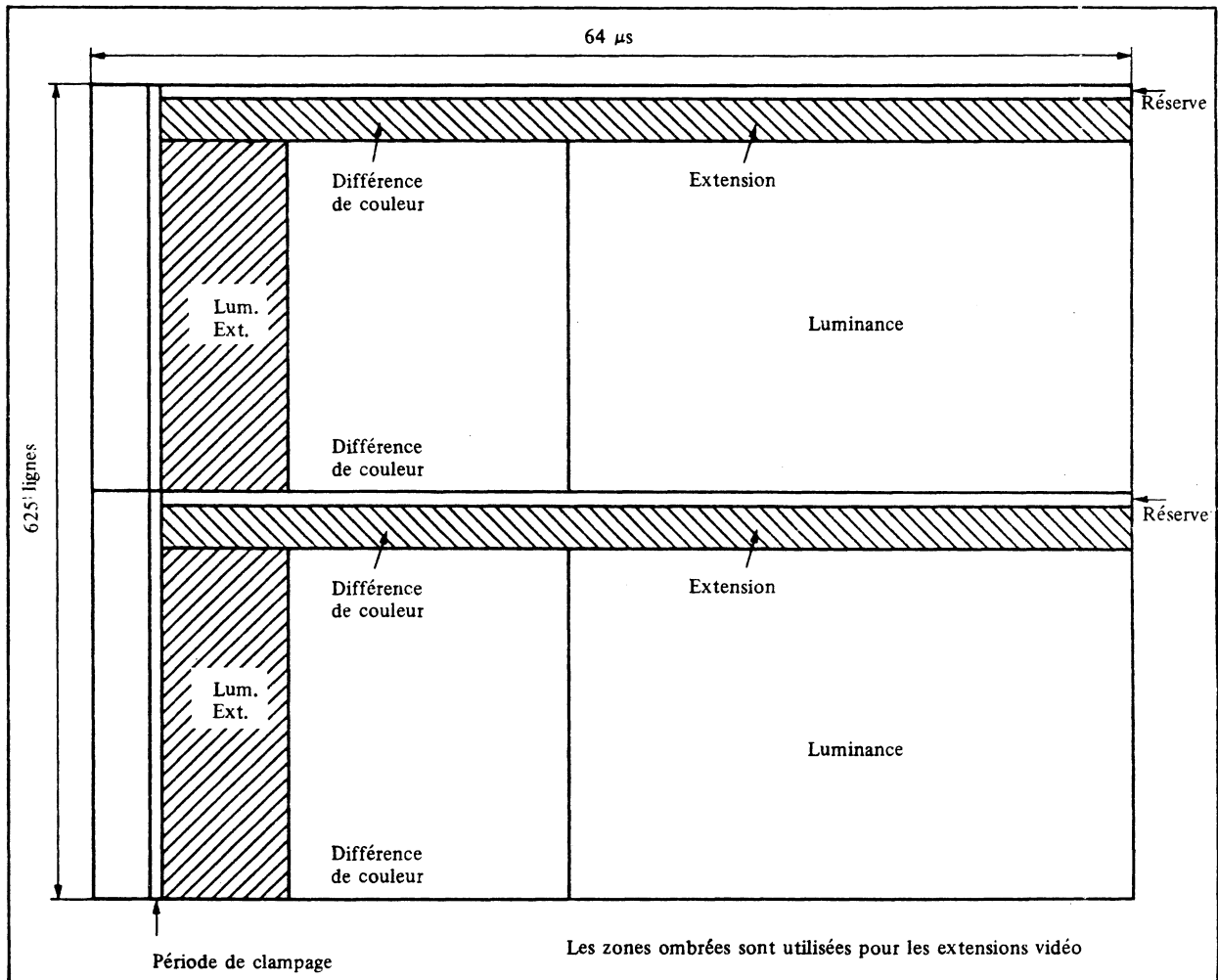


FIGURE 2 – Exemple de MAC étendu

3.6.3 Multiplexage vidéo à la fréquence de ligne et de trame

L'utilisation du contrôle MRT dans les systèmes de la famille MAC/paquet et d'une mémoire de trame dans les récepteurs permet d'offrir tout un éventail de formats de transmission. Certaines possibilités sont à l'étude [CCIR, 1982-86c].

D'autres études sont en cours également sur une deuxième série de rapports de compression et sur une autre méthode avec format d'image plus large dans les systèmes C- et D2-MAC/paquet. Cette approche laisse inchangée la capacité des données numériques et fournit une image de format 4:3 compatible par l'utilisation d'un nouveau jeu de taux de compression (pour la même largeur de bande du signal vidéo, ceci provoquerait une légère perte de résolution, mais cette largeur de bande peut être augmentée) [Shelswell, 1982] [CCIR, 1982-86d, e, f, g].

3.6.3.1 Multiplexage à la fréquence de trame

Le principe de cette méthode est illustré par la Fig. 3a. Le contenu des périodes de ligne est représenté dans le sens horizontal et la subdivision de la période de trame est représentée dans le sens vertical.

Pendant un certain nombre de lignes par trame, seule l'information de luminance (signal Y) est transmise, et pendant d'autres lignes, seuls les signaux de différence de couleur sont transmis, sous forme comprimée. L'image résultante aura la résolution horizontale maximale, déterminée par la largeur de bande du canal, et un format d'image supérieur à la normale. Des méthodes destinées à améliorer la résolution verticale sont à l'étude.

3.6.3.2 Multiplexage aux fréquences de ligne et de trame

La Fig. 3b représente une manière de combiner les méthodes de multiplexage à la fréquence de ligne et à la fréquence de trame.

L'intervalle de temps Y est réservé à la transmission de l'information de luminance. L'intervalle c_a peut contenir un ou deux signaux de différence de couleur; il en va de même pour l'intervalle c_b . Les limites entre les intervalles de temps sont indiquées par des lignes a, b, d et e.

L'avantage du contrôle MRT est qu'il est d'une grande souplesse pour déplacer les limites entre les signaux sonores et vidéo et entre les signaux de luminance et de différence de couleur. Cette souplesse offre la possibilité d'un format d'image élargi, d'une télévision améliorée, d'une télévision stéréoscopique, et d'une transmission de données plein canal. Toutefois, il convient de noter que beaucoup d'avantages cités nécessiteront l'utilisation d'un récepteur équipé d'une mémoire d'image.

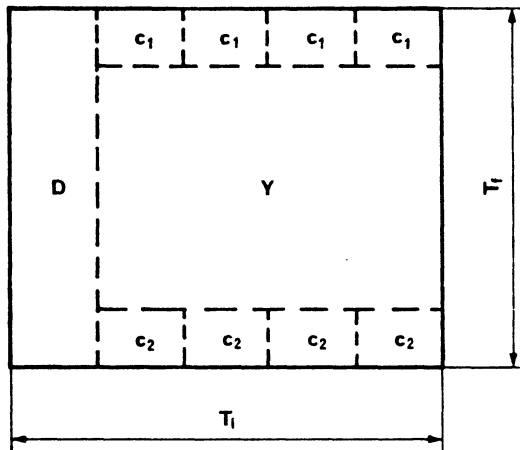


FIGURE 3a – Multiplexage à la fréquence de trame

T_f : période de trame	c_1 : 1 ^{er} signal de différence de couleur (par exemple U)
T_l : période de ligne	c_2 : 2 ^e signal de différence de couleur (par exemple V)
D : son + données + synchronisation	Y : signal de luminance

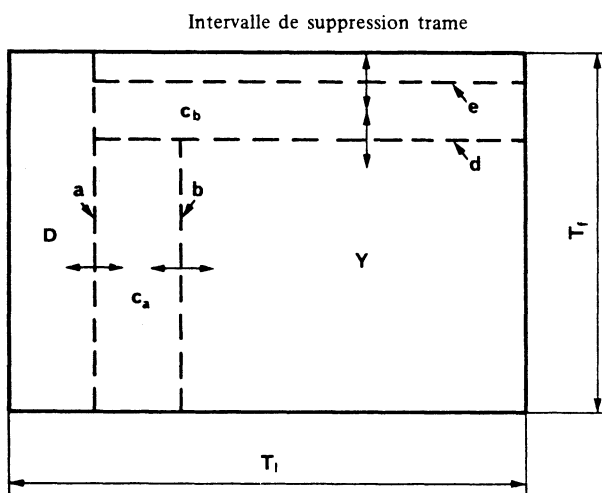


FIGURE 3b – Multiplexage aux fréquences de ligne et de trame

T_f : période de trame	c_1 : 1 ^{er} signal de différence de couleur (par exemple U)
T_l : période de ligne	c_2 : 2 ^e signal de différence de couleur (par exemple V)
D : son + données + synchronisation	Y : signal de luminance

3.6.4 TVHD (voir également le Rapport 801)

Pour éviter l'aliassage dans les processus d'extension de la résolution verticale dans un seul canal CAMR, on utilise un préfiltrage. Le processus de préfiltrage consiste à éliminer l'information temporelle/verticale haute fréquence. Ceci peut ne pas être d'une importance primordiale subjectivement, car l'œil est moins sensible dans cette région [Tonge, 1982; Fujio et autres, 1982]. On peut réaliser des filtres qui préservent l'information temporelle/verticale haute fréquence pour transmission dans un deuxième canal. L'emploi de deux canaux CAMR de cette manière devrait permettre de s'approcher de l'obtention d'une norme studio TVHD de qualité parfaite.

3.6.5 Télévision stéréoscopique

Un deuxième canal CAMR pourrait être utilisé pour véhiculer des informations supplémentaires permettant la télévision stéréoscopique [CCIR, 1982-86b]. Dans ce cas, les deux canaux pourraient transporter des signaux à définition améliorée compatibles similaires. Ces signaux sont combinés dans le récepteur pour produire l'image stéréoscopique. Un complément d'étude est nécessaire.

4. Motifs du choix des paramètres du système image MAC utilisé dans les systèmes B-MAC définis par le Rapport 1073

Les spécifications détaillées pour les systèmes B-MAC ont été fixées pour l'obtention des caractéristiques de base suivantes:

- fonctionnement dans un canal de 24 MHz avec un rapport C/N nominal de 14 dB;
- qualité d'image améliorée par rapport aux systèmes à 525 lignes existants;
- canaux son numériques multiples de haute qualité;
- capacité de radiodiffusion de données (ces données sont aussi à utiliser pour la synchronisation);
- embrouillage avec possibilité d'adressage individuel;
- possibilité d'améliorations futures;
- compatibilité possible avec la télévision à haute définition.

Des systèmes B-MAC pour 525 et 625 lignes ont été mis au point aux Etats-Unis d'Amérique et au Canada. Un système semblable, appelé B-TMC, à 525 lignes, est en cours de réalisation aux Etats-Unis d'Amérique. Ces systèmes sont décrits dans [CCIR, 1982-86h, i].

4.1 Systèmes B-MAC

Dans les systèmes B-MAC, le signal vidéo présente une similitude étroite avec le signal vidéo des **systèmes de la famille MAC/paquet. Les facteurs de compression utilisés sont les mêmes mais les fréquences d'horloge diffèrent cependant. Comme les systèmes de la famille MAC/paquet, le système B-MAC transmet l'information de** _____
 luminance et de chrominance dans le temps de ligne active. Les signaux de différence de couleur sont transmis séquentiellement sur des lignes alternées. En B-MAC, les fréquences d'horloge sont des multiples entiers de la fréquence de la sous-porteuse couleur NTSC. La fréquence d'échantillonnage de luminance de 14,32 MHz permet d'utiliser une largeur de bande de luminance qui peut atteindre 6,4 MHz lorsque l'on utilise des techniques directes. La largeur de bande de chrominance est limitée par le critère de Nyquist. Ces largeurs de bande peuvent être utilisées pour transmettre des images de format élargi sur des appareils normalisés à 525 lignes de manière compatible avec les récepteurs actuellement utilisés, dont les écrans ont un format d'image de 4:3. Le format élargi qui permet cette compatibilité est 16:9 ou 4:3 du format d'image normalisé. Pour passer du format d'image à l'émission de 16:9 à celui de 4:3, il faut modifier les fréquences d'horloge, pour la décompression temporelle, de $1365 F_h:910 F_h:455 F_h$ à $1365 F_h:682,5 F_h:341,25 F_h$. La sélection de la partie de l'image 16:9 à afficher sur un écran 4:3 est commandée par une instruction qui est transmise numériquement dans la suppression trame. Pour obtenir la largeur de bande potentielle (6,4 MHz), le système B-MAC nécessite, pour le même rapport S/N pondéré, un rapport C/N de 3 dB environ supérieur à celui qui serait nécessaire pour une largeur de bande de luminance de 4,2 MHz sans compression.

Le système B-MAC emploie l'embrouillage vidéo par translation des lignes et embrouille numériquement les signaux son et données avec possibilité d'adressage de récepteurs individuels ou de groupes de récepteurs.

Dans ce système, l'information de synchronisation verticale et horizontale est transmise sous forme numérique protégée par des systèmes de correction d'erreurs à redondance élevée, ce qui donne une reconstitution des signaux de synchronisation très sûre. On a démontré que ce système pouvait maintenir la synchronisation à des valeurs de C/N aussi faibles que 2 dB, de manière qu'une synchronisation fiable puisse être maintenue pendant des périodes où le niveau de bruit est élevé, telles que celles que l'on rencontre en transmission par satellite dans de mauvaises conditions météorologiques et/ou lorsque les antennes sont mal pointées. Une seule ligne de l'intervalle de suppression trame est utilisée pour transmettre l'information de synchronisation, les autres lignes de l'intervalle de suppression trame du signal MAC peuvent servir à d'autres services comme le télétexte, des informations vidéo supplémentaires, etc.

Un nouveau réseau de préaccentuation est proposé pour ces signaux, car le degré de préaccentuation nécessaire pour le système NTSC n'est pas optimal pour les signaux en composantes. La caractéristique de préaccentuation MAC optimale a des constantes de temps plus courtes et un affaiblissement d'insertion plus petit aux basses fréquences (voir le Tableau I). Ce réseau améliore la performance au seuil ou en dessous, tandis que, en même temps, les impulsions induites par l'effet de seuil sont moins sujettes à l'étalement. L'amélioration globale subjective de la qualité de l'image obtenue lorsque le signal MAC fonctionne dans les conditions de faible rapport C/N est considérée comme l'une des qualités les plus significatives du système MAC.

Le signal MAC devrait être conçu de manière que, dans de mauvaises conditions de réception, le signal vidéo soit perdu avant la synchronisation, conformément à la pratique suivie en radiodiffusion de Terre. Le seuil MF est atteint pour un rapport C/N de l'ordre de 10 à 11 dB. Dans les systèmes MAC, la synchronisation est maintenue jusqu'à un rapport C/N de 2 dB ou même inférieur.

4.2 *Système B-MAC à double rapport d'image*

Le format B-MAC est susceptible d'extension pour les transmissions à définition améliorée. Il transporte une image à entrelacement avec les sons, la synchronisation et l'adressage à accès conditionnel associés. Le système B-MAC peut transmettre soit des images de format 4:3 soit des images 16:9 pour grand écran [Rhodes et Lowry, 1985]. Les téléspectateurs peuvent avoir une image de format 4:3 de très haute qualité (largeur effective de bande de luminance: 4,8 MHz) sur des écrans classiques 4:3. Les téléspectateurs ayant un écran 16:9 peuvent obtenir des images grand écran. L'augmentation de la largeur de bande de luminance de 6,4 MHz assurera la même résolution horizontale sur des écrans de format 16:9 que sur des écrans de format 4:3. Dans un proche avenir, on peut prévoir que des récepteurs perfectionnés pourront désentrelacer le signal émis afin d'améliorer la qualité de l'image. Une image désentrelacée à grand écran (chaque trame étant répétée deux fois) permettra selon toute vraisemblance d'approcher de la qualité d'un système de transmission à fréquence plus élevée. Un complément d'étude est nécessaire, notamment en matière de détection du mouvement.

5. **Embrouillage pour l'accès conditionnel**

Il est impératif, dans l'accès conditionnel, que les signaux vidéo et son soient embrouillés sous le contrôle d'un système d'accès conditionnel. Les principes de l'accès conditionnel sont discutés dans le Rapport 1079. Des exemples adaptés au service de radiodiffusion par satellite sont fournis dans le Tableau I et l'Annexe II de ce Rapport ainsi que dans la publication spéciale du CCIR (Spécification des systèmes de transmission de radiodiffusion par satellite). On trouvera ci-après une description de l'embrouillage d'image.

5.1 *Algorithme d'embrouillage*

Des essais ont montré qu'un embrouillage d'image très efficace peut être obtenu par des méthodes qui redistribuent les éléments d'image dans le temps. L'existence d'une mémoire de ligne dans chaque décodeur domestique permet de penser qu'il est préférable que ce processus se déroule à chaque ligne plutôt qu'au moyen d'un réagencement complet de lignes dans une trame, processus qui nécessiterait une mémoire de trame.

Le décalage circulaire des composantes à 2 points de coupure et le décalage circulaire de ligne à 1 point de coupure sont des méthodes d'embrouillage qui peuvent être appliquées aux systèmes MAC et qui sont à même de donner une performance excellente à condition que les tolérances sur l'inclinaison de la ligne, sur le trajet du signal embrouillé, soient contrôlées de façon adéquate.

Ces méthodes sont des membres d'une famille de techniques d'embrouillage reposant sur le découpage et le réarrangement des composantes de la ligne vidéo.

Dans le système à décalage circulaire des composantes à 2 points de coupure, les composantes de différence de couleur et de luminance tournent séparément et cycliquement sur elles-mêmes d'une distance déterminée de façon pseudo-aléatoire (Fig. 4b). Cette distance de rotation sera fixée par la sortie d'un générateur de séquences pseudo-aléatoires faisant partie du système de contrôle d'accès.

Dans le système à décalage circulaire de lignes à 1 point de coupure, la composante de différence de couleur de chaque ligne est découpée en deux segments, et le premier segment est déplacé jusqu'à l'extrémité de la ligne (Fig. 4c). La position du point de coupure est déterminée par le signal de sortie d'un générateur de séquences pseudo-aléatoires.

Le décalage circulaire des composantes et des lignes apparaît comme étant très intéressant pour l'embrouillage d'image; on a montré que le système est capable de masquer totalement une image émise et que le signal peut facilement être désembrouillé [Lodge, 1983].

L'embrouillage par translation de ligne a été aussi appliqué; il présente l'avantage d'une plus faible sensibilité aux distorsions dans le trajet du signal telles que l'inclinaison de la ligne. Dans cette méthode, on fait varier de manière pseudo-aléatoire la période de suppression de la ligne émise, ce qui a pour effet, dans un récepteur non autorisé, de perturber la corrélation entre les lignes de l'image et de déplacer les parties de la ligne active en dehors de la zone de visualisation de l'image. L'effet d'embrouillage est fort [Lowry, 1984]. La Fig. 5 illustre schématiquement l'embrouillage par translation de ligne pour les systèmes B-MAC à 525 lignes.

Il existe plusieurs moyens de modifier le signal pour obtenir un effet d'embrouillage. Les deux méthodes qui ont été décrites se prêtent à un emploi avec le système MAC. Les mémoires de ligne utilisées pour la décompression temporelle peuvent aussi être utilisées pour désembrouiller l'image.

Il pourrait être nécessaire d'entreprendre au plus tôt une normalisation des méthodes d'embrouillage pour empêcher une prolifération de boîtes noires autour du récepteur de télévision domestique.

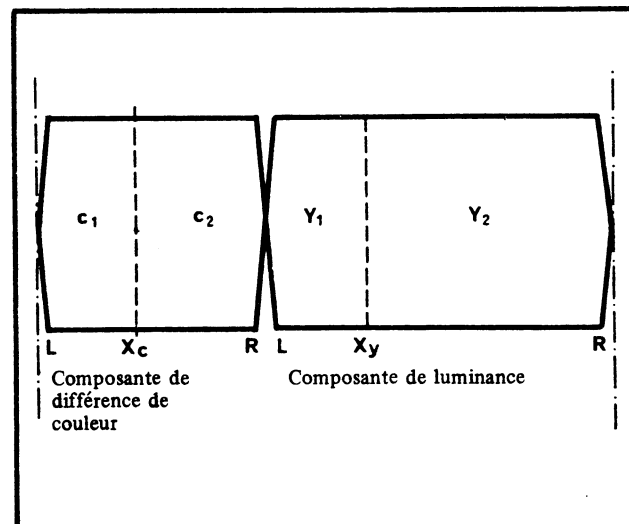


FIGURE 4a - Ligne MAC normale

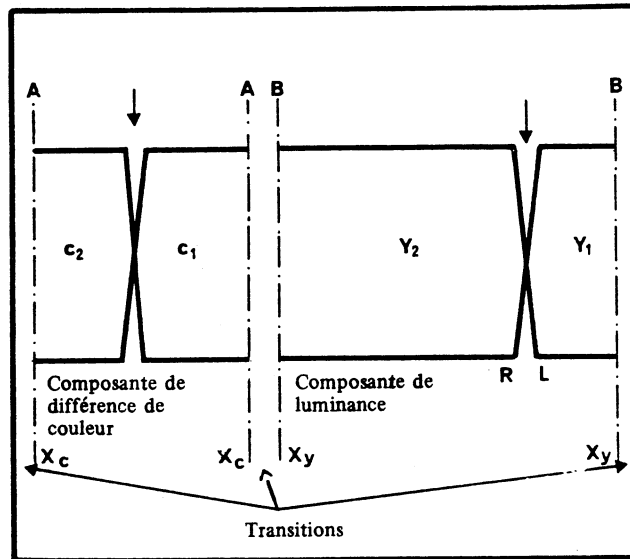


FIGURE 4b – Embrouillage par rotation des composantes à 2 points de coupure

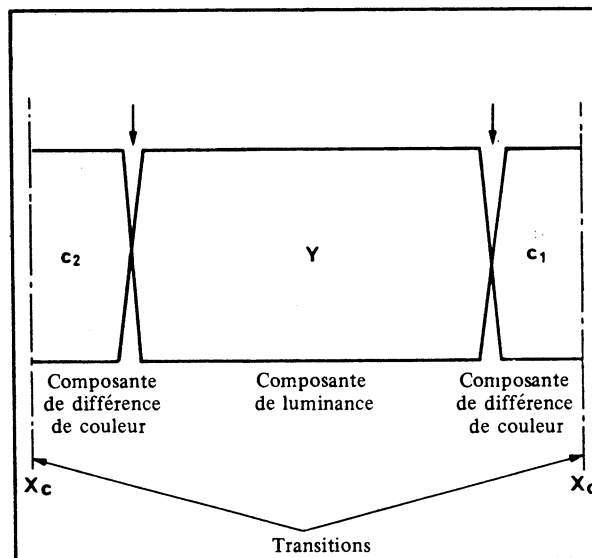


FIGURE 4c – Embrouillage par rotation des lignes à 1 point de coupure

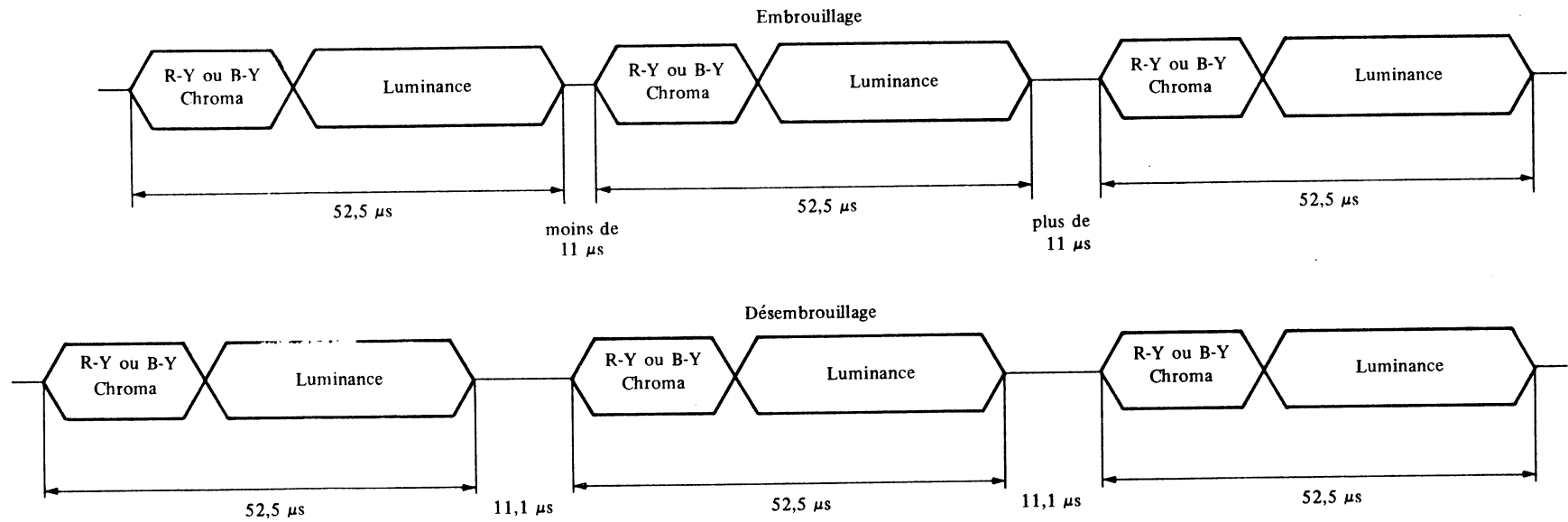


FIGURE 5 – Embrouillage par translation de lignes

Note. – Les intervalles de suppression de ligne sont répartis de façon aléatoire dans une trame mais la durée de suppression (moyenne sur une trame quelconque) est fixe.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FUJIO, T. *et autres*, [juin 1982] High-definition television. NHK Technical Monograph No. 32.
- LODGE, N. [1983] A proposal for the EBU specification. IBA Report 122/83.
- LONG, T. J. [1983] Why non-compatible HDTV? IBA Report 119/83.
- LOWRY, J. [novembre 1984] B-MAC — An Optimum Format for satellite Television Transmission, *SMPTE J.*
- LUCAS, K. et WINDRAM, M. D. [1981] Direct television broadcasts by satellite — desirability of a new transmission standard. IBA Report 116/81.
- RHODES, C. W. [mai 1985] The further Evolution of the B-MAC Signal Format for HDTV Broadcast, 2nd HDTV Colloquium, Ottawa, (Canada).
- RHODES, C. W. et LOWRY, J. [juin 1985] The B-MAC Signal Format as Applied to Enhanced 525 Line TV Systems and to HDTV, ICCE, Chicago, (Etats-Unis d'Amérique).
- SHELLOWELL, P. [1982] Satellite broadcasting protection ratio requirements for enhanced transmission using extended PAL vision and digital sound signals. BBC Research Department Report RD 1982.
- TONGE, G. [1982] Spatio-temporal bandwidth requirements for extended definition television. IBA Report 1/82.
- TONGE, G. [1983] Signal processing for extended definition television. IBA Report 121/83.
- WINDRAM, M. D. et MORCOM, R. [1983] The MAC colour-difference signal. IBA Report 124/83.
- WINDRAM, M. D. et TONGE, G. [1983] Line sequential colour transmission and vertical filtering in MAC. IBA Report 130/83.
- WINDRAM, M. D., MORCOM, R. et HURLEY, T. [1983b] Extended definition MAC. IBA Report 120/83.
- WINDRAM, M. D., TONGE, G. et MORCOM, R. [1983a] MAC — a television system for high-quality satellite broadcasting. IBA Report 118/83.

Documents du CCIR

- [1982-86]: a. 10-11S/62 (Canada); b. 10-11S/39 (UER); c. 10-11S/33 (Pays-Bas); d. 10-11S/170 (France); e. 10-11S/164 + Add.1 (UER); f. 10-11S/165 + Add.1 (UER); g. 10-11S/182 + Add.1 (France, Allemagne (République fédérale d')); h. 10-11S/178 (Etats-Unis d'Amérique); i. 10-11S/193 (Australie).

ANNEXE I

Caractéristiques de la pré- et désaccentuation E7*

1. Caractéristique de désaccentuation E71.1 E7 analogique

On se rapporte au schéma de la Figure 6:

Organe de retard T

$$T = 0$$

Filtre passe-bas F

La fonction de transfert est donnée par

$$\frac{1}{1 + j f/f_0}$$

où f = fréquence
 f_0 = 2,0 MHz

Fonction non linéaire N⁻¹

Elle est représentée sur la Figure 7.

La relation qui lie la sortie V_o de la fonction non linéaire à l'entrée V_i est la suivante:

$$V_i = \frac{V_o}{C} + \frac{1}{B} \ln \left[\frac{V_o + \sqrt{V_o^2 + (2AC)^2}}{2AC} \right]$$

A = 0,009
 B = 19,80
 C = 1,5642

On a choisi précisément cette fonction car il est facile de la réaliser avec des circuits analogiques [IBA, 1988].

Post-filtre

Le réseau E7 est suivi d'un post-filtre. Un filtre de Tchebicheff à 3 pôles, -3 dB à 12 MHz (ondulation: 0,1 dB) convient à cet effet.

* On notera que l'utilisation de E7 est facultative: il faudra donc indiquer sa présence dans les codes d'identification de service de la famille MAC/paquets. S'il est universellement adopté, cette indication ne sera pas nécessaire. Il faudra étudier cette question plus avant, notamment pour spécifier les codes de signalisation qui seront employés pour l'identification des services.

1.2 E7 numérique

On peut montrer que le schéma de la Figure 6 est du point de vue fonctionnel équivalent à celui de la Figure 8, où F_1 , est le filtre complémentaire (passe-haut) de F et où la fonction non linéaire est remplacée par une nouvelle fonction, N_1 . C'est ce qu'illustre la Figure 9.

La fonction n'est pas monotone mais on peut l'utiliser facilement en consultant une table. Il est recommandé d'adopter la forme de réalisation de la Figure 8 en raison de sa simplicité.

Fréquence d'échantillonnage

20,25 MHz

Organe de retard T

T = 3 périodes d'horloge

Filtre passe-haut F_1

Réponse en phase : linéaire
 Réponse en amplitude : gaussienne
 Largeur de bande -3 dB: 2,0 MHz

On utilise un filtre numérique à 7 prises avec les coefficients suivants:

$$C_0 = \frac{180}{256} \qquad C_2 = C_{-2} = -\frac{25}{256}$$

$$C_1 = C_{-1} = -\frac{58}{256} \qquad C_3 = C_{-3} = -\frac{7}{256}$$

Ces coefficients sont normalisés pour avoir un gain unité en alternatif.

Fonction non linéaire N_1

Si N^{-1} est défini par $V_o = f(V_i)$,

où V_i = entrée
 V_o = sortie

N_1 est déterminé par

$V_o = f(V_i) - V_e$ (voir Figure 9)

$f(V_i)$ ne peut s'exprimer explicitement mais peut se tirer de la formule.

$$V_i = \frac{V_o}{C} + \frac{1}{B} \ln \left[\frac{V_o + \sqrt{V_o^2 + (2AC)^2}}{2AC} \right]$$

où $A = 0,011$
 $B = 19,80$
 $C = 1,5225$

2. Caractéristiques de préaccentuation

2.1 Préaccentuation analogique

La Figure 10 représente le schéma. Le réseau de désaccentuation correspond aux caractéristiques du § 1.1.

Il faut que le gain G soit assez grand pour que l'erreur e soit petite à côté du signal d'entrée pour des fréquences de bande de base allant jusqu'à 8,4 MHz. Le filtre de sortie est un passe-bas de 12 MHz de largeur de bande à -3 dB.

2.2 Préaccentuation numérique

La Figure 11 représente le schéma.

Filtre passe haut F₁

Fréquence d'horloge : 20,25 MHz
Réponse en phase : linéaire
Réponse en amplitude : gaussienne
Largeur de bande à -3 dB: 2,0 MHz

On se sert d'un filtre numérique à 7 prises dont les coefficients sont les suivants:

$$C_0 = \frac{180}{256} \quad C_2 = C_{-2} = -\frac{25}{256}$$

$$C_1 = C_{-1} = -\frac{58}{256} \quad C_3 = C_{-3} = -\frac{7}{256}$$

Ces coefficients sont normalisés pour avoir un gain unité en alternatif.

Organe de retard T

T = 3 périodes d'horloge

Fonction non linéaire N₁

Comme pour la désaccentuation (§ 1.1)

Fonction non linéaire N₂

La fonction est représentée par la formule suivante:

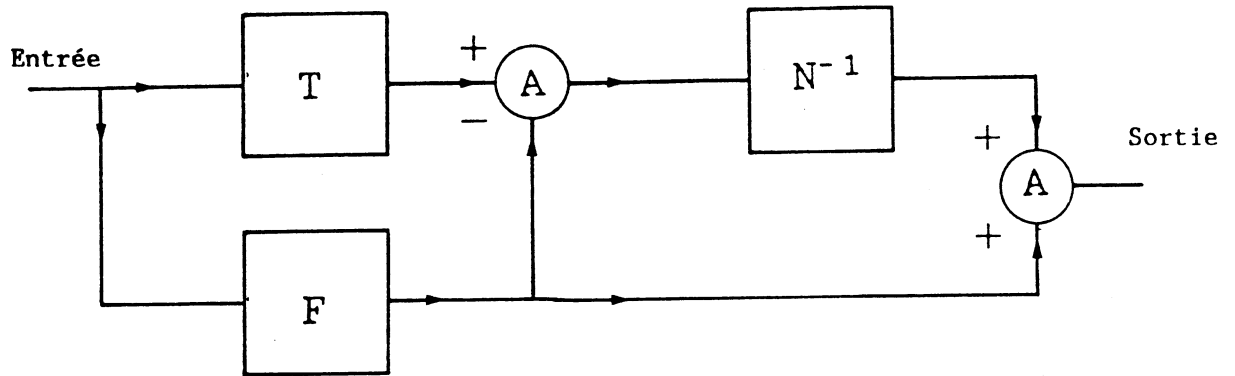
$$V_o = V_i \frac{(1 - C)}{C} + \frac{1}{B} \ln \left[\frac{V_i + \sqrt{V_i^2 + (2AC)^2}}{2AC} \right]$$

où
A = 0,011
B = 19,80
C = 1,5225

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

IBA, experimental and development report 141/88, Compatible non-linear preemphasis for MAC signals.





A: Additionneur
 T: Organe de retard
 F: Filtre passe-bas
 N^{-1} : Fonction non linéaire

FIGURE 6 - Schéma de la désaccentuation E7

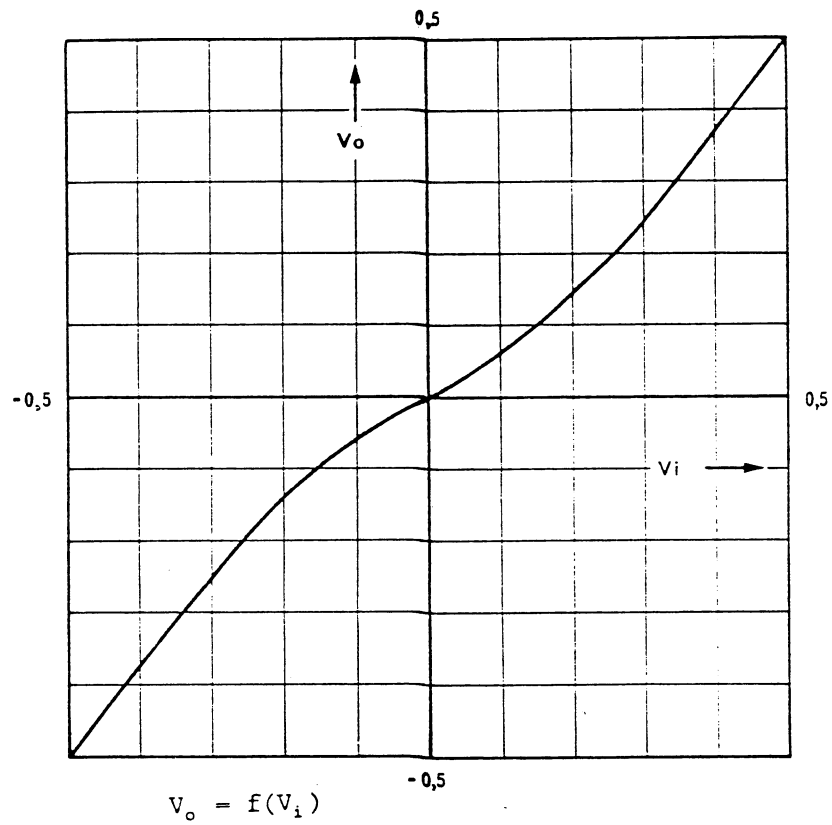
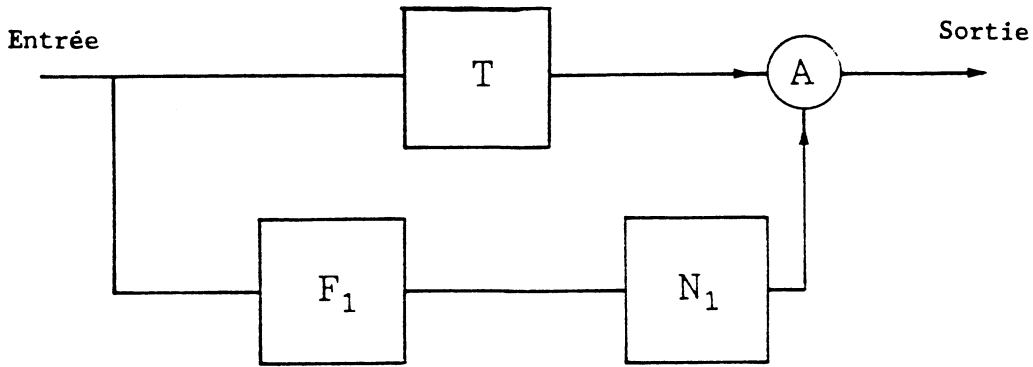
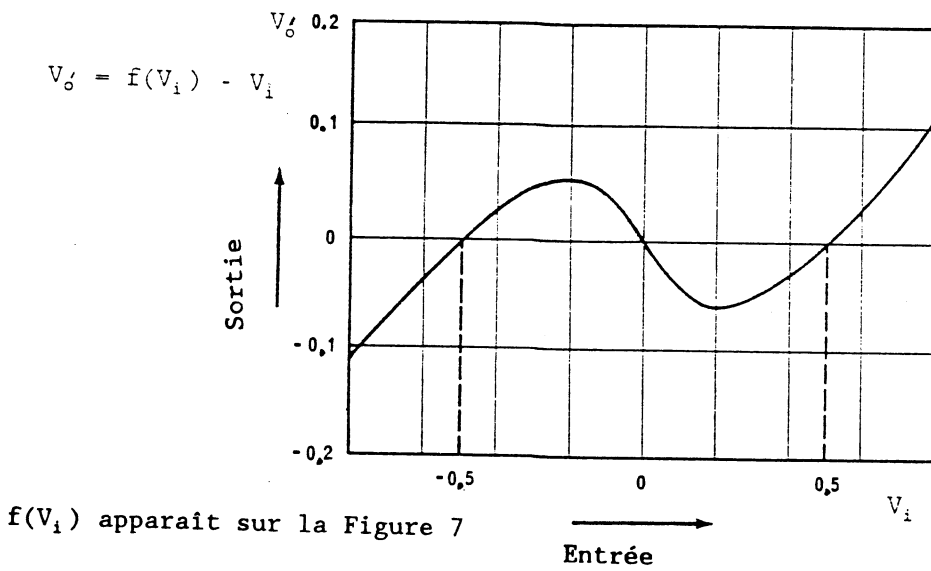


FIGURE 7 - Fonction non linéaire N^{-1}



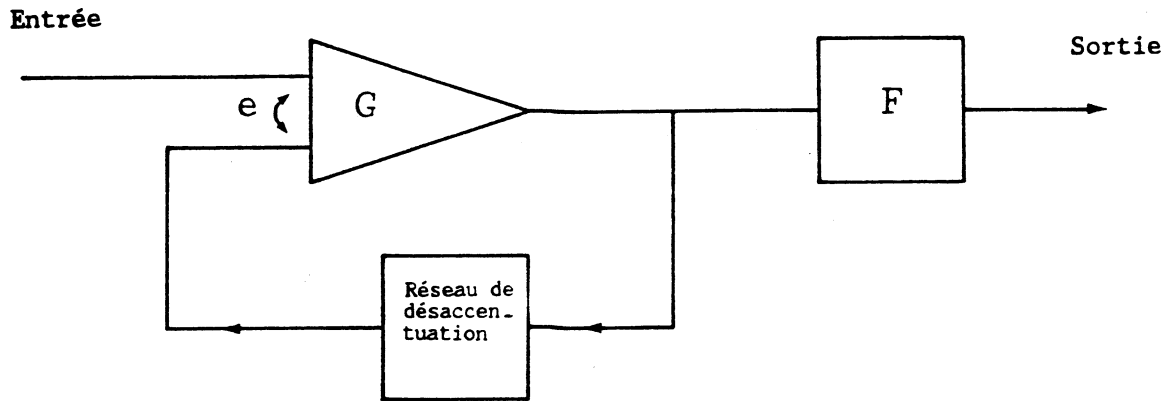
A: Additionneur
 T: Organe de retard
 F₁: Filtre passe-haut
 N⁻¹: Fonction non linéaire

FIGURE 8 - Forme de réalisation recommandée pour la désaccentuation (numérique)



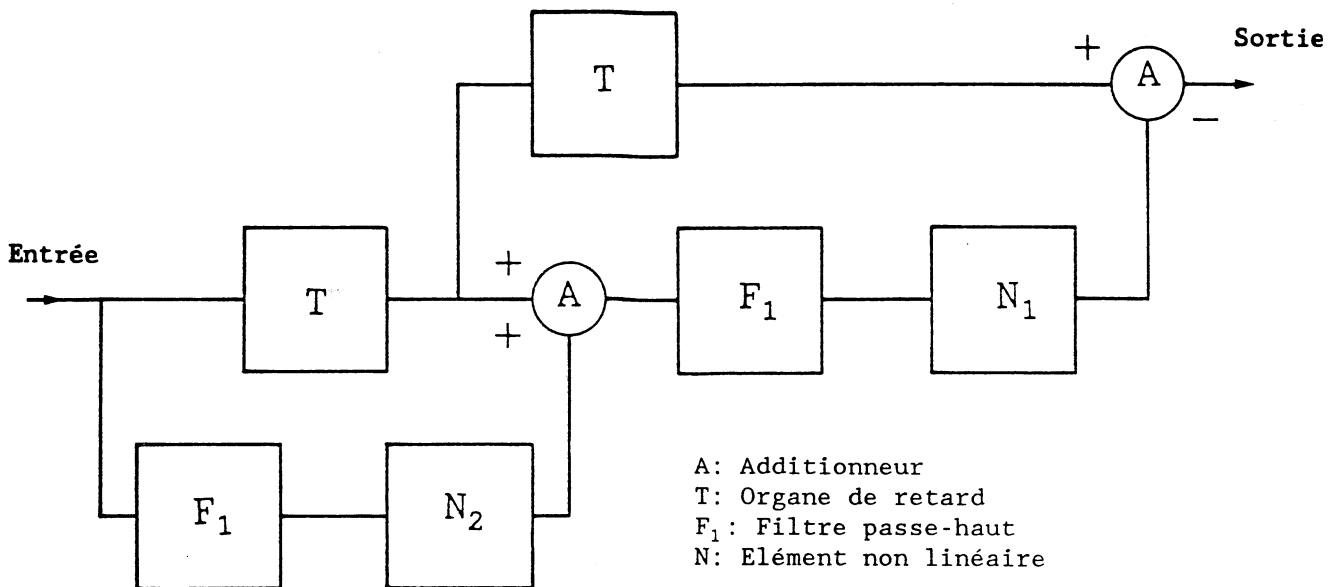
$f(V_i)$ apparaît sur la Figure 7

FIGURE 9 - Non-linéarité N₁



F: Filtre passe-bas
 G: Gain de l'amplificateur $\gg 1$
 e: Signal d'erreur

FIGURE 10 - Configuration de la préaccentuation analogique



A: Additionneur
 T: Organe de retard
 F₁: Filtre passe-haut
 N: Élément non linéaire

FIGURE 11 - Configuration de la préaccentuation numérique