

N° 3247

ASSEMBLÉE NATIONALE

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

NEUVIÈME LÉGISLATURE

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 18 janvier 1993.

N° 201

SÉNAT

Rattaché pour ordre au procès-verbal de la séance du 23 décembre 1992
Enregistré à la présidence du Sénat le 18 janvier 1993

OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

RAPPORT

sur la télévision à haute définition numérique.

PAR MM. RAYMOND FORNI ET MICHEL PELCHAT,

Députés.

TOME III

CONTRIBUTION DES EXPERTS

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. JEAN-YVES LE DÉAUT,
Vice-Président de l'Office.

Déposé sur le Bureau du Sénat
par M. JACQUES MOSSION,
Président de l'Office.

Audiovisuel.

SOMMAIRE

I - RAPPORTS D'EXPERTISE

1. Rapport de M. le Professeur Murat KUNT (École polytechnique fédérale de Lausanne) 5
2. Rapport du CCETT (Centre commun d'études de télécommunications et de télédiffusion de Rennes) par MM. Philippe BERNARD et Bernard MARTI 91

II - COMPTES RENDUS DE MISSION AUX ÉTATS-UNIS

1. Mission d'information du 15 au 19 juillet 1991 : compte rendu de M. Yves GUINET (Philips EGP) 125
2. Mission d'information du 18 février 1992 : compte rendu de M. Philippe BERNARD (CCETT) 167

RAPPORT DE M. LE PROFESSEUR Murat KUNT

École polytechnique fédérale de Lausanne

**TELEVISION A
HAUTE
DEFINITION
SYSTEMES NUMERIQUES
AMERICAINS ET JAPONAIS**

Rapport préparé pour
l'Assemblée Nationale - Sénat
Office Parlementaire
d'Evaluation des Choix
Scientifiques et Technologiques
France

par

Murat KUNT

Professeur à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse
Lausanne le 5 décembre 1991

Le contenu de ce rapport ne reflète que l'opinion de son auteur

TABLE DES MATIERES

	Page
1. Introduction	11
2. Notions fondamentales	13
2.1 Système de télévision idéal	13
2.1.1 Préambule	13
2.1.2 Cahier des charges	13
2.1.3 Mise en oeuvre	15
2.1.4 Après la TVHD?	16
2.2 Compatibilité	16
2.2.1 Formes	16
2.2.2 Prévisions	17
2.3 Efficacité - Compression	17
2.3.1 Introduction	17
2.3.2 Problème de la compression	18
2.3.3 Compression des données spatiales	19
2.3.4 Compression des données temporelles	20
2.3.5 Remarques	21
2.4 Normes	22
2.4.1 Préambule	22
2.4.2 Norme JPEG de l'ISO	23
2.4.3 Norme H.261 de CCITT	24
2.4.4 Norme MPEG1 de l'ISO	27
2.5 Transmission	29
2.5.1 Introduction	29
2.5.2 Modulation	29
2.5.3 Détection d'erreurs	32
2.5.4 Correction d'erreurs	35
3. Système Zenith-AT&T	38
3.1 Introduction	38
3.2 Signal Video	38
3.2.1 Format de l'image	38
3.2.2 Compression du signal vidéo pour le studio	39
3.2.3 Compression du signal vidéo pour la diffusion	39
3.3 Transmission	43
3.3.1 Format de transmission	43
3.3.2 Mode de transmission	43

3.3.3 Modulation	44
3.4 Récepteur	45
3.5 Remarques et conclusions	46
4. Système DigiCipher™ de General Instrument Co.	48
4.1 Introduction	48
4.2 Signal vidéo	48
4.2.1 Structure générale du codeur	48
4.2.2 Format de l'image	49
4.2.3 Compression du signal vidéo	51
4.2.4 Traitement des champs et des trames	52
4.2.5 Mémoire tampon	53
4.2.6 Signal audio	53
4.3 Transmission	54
4.3.1 Format des données multiplexées	54
4.3.2 Codage correcteur et détecteur d'erreurs	54
4.3.3 Modulation	54
4.4 Récepteur	55
4.4.1 Démodulation et démultiplexage	55
4.4.2 Décodage vidéo	55
4.5 Remarques et conclusions	56
5. Système ADTV de l'ATRC	58
5.1 Introduction	58
5.1.1 Généralités	58
5.1.2 Structure du système global	58
5.1.3 Remarques	61
5.2 Compression MPEG++	61
5.2.1 Format du signal	61
5.2.2 Codage de source	62
5.3 Priorités	64
5.3.1 Préambule	64
5.3.2 Traitement des priorités	65
5.3.3 Contrôleur de cadence	66
5.4 Formattage pour le transport	66
5.5 Modulation et transmission	67
5.6 Remarques et conclusions	67
6. Système ATVA du MIT	69
6.1 Introduction	69
6.1.1 Généralités	69
6.1.2 Structure du système global	69
6.2 Codage de source	71

6.2.1 Estimation de mouvement	71
6.2.2 Codage spatial	72
6.3 Modulation et transmission	73
6.3.1 Modulateur	73
6.3.2 Récepteur	73
6.4 Remarques et conclusions	75
7. Systèmes japonais	77
7.1 Introduction	77
7.2 Hitachi	77
7.2.1 Généralités	77
7.2.2 Télévision à définition étendue (EDTV)	78
7.2.3 Codeur H.261	78
7.2.4 Sujets porteurs	79
7.3 Sony	79
7.3.1 Technologie TVHD	79
7.3.2 Super TVHD	80
7.4 Mitsubishi	80
7.4.1 Visiophone et téléconférence	80
7.4.2 Super TVHD	81
7.5 NHK	81
7.5.1 Généralités	81
7.5.2 TV tridimensionnelle	82
7.5.3 Après MUSE ?	82
7.6 NTT	83
7.7 Conclusions	83
8. Conclusions	85
Références	88

LA TELEVISION A HAUTE DEFINITION

SYSTEMES NUMERIQUES AMERICAINS ET JAPONAIS

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Le 28 avril 1989 l'auteur a soumis un rapport à votre Office concernant la télévision à haute définition. Ce rapport visait l'évaluation des systèmes en compétition; à savoir le système japonais MUSE et le système européen HD-MAC. Un aperçu était également donné sur des systèmes à l'étude aux Etats Unis. Finalement, les questions précises posées par votre Office étaient examinées avant les conclusions personnelles de l'auteur.

Les points essentiels de ce rapport peuvent être résumés de la manière suivante:

- Les systèmes les plus avancés (MUSE et HD-MAC) ne sont pas les meilleurs systèmes qu'il est possible d'élaborer. Les méthodes de compression utilisées ne sont pas performantes. Les techniques analogiques de transmission préconisées sont totalement dépassées

- Parmi les systèmes à l'étude aux Etats Unis, seul celui du Massachusetts Institute of Technology (MIT) fait appel à une technique de compression efficace.

- Etant donné l'importance des investissements nécessaires au renouvellement d'un système de télévision qui ne permet pas un changement fréquent, il faut envisager le meilleur système incorporant les méthodes les plus avancées. Ainsi, il ne sera pas dépassé rapidement.

- Il faut abandonner les techniques analogiques au profit des systèmes numériques.

- Il faut tout mettre en oeuvre pour comprimer au mieux le signal video pour ne pas polluer les lignes de communication avec des informations superflues.

- Il ne faut pas pénaliser le nouveau système avec des contraintes de compatibilité.

- Le nouveau système doit être défini de manière à pouvoir s'accomoder de l'évolution de la technologie sans changer ses fonctions.

Les conclusions de ce premier rapport ont été critiquées par les dirigeants du projet EUREKA 95. Toutefois, l'entrée dans la course des américains avec des systèmes entièrement numériques montre l'importance de cette nouvelle approche.

Conformément à la nouvelle mission que votre Office a confié à l'auteur, ce rapport vise l'évaluation des systèmes numériques américains et japonais. Un aperçu de la nouvelle situation européenne sera également donné.

Il nous paraît utile d'insister ici, comme déjà signalé sur la couverture, que le contenu de ce rapport ne reflète que l'opinion de son auteur. Seul l'aspect scientifique et technique est traité. Les problèmes économiques et politiques d'un nouveau système de télévision échappent, d'une manière évidente, à l'auteur.

CHAPITRE 2

NOTIONS FONDAMENTALES

2.1 SYSTEME DE TELEVISION IDEAL

2.1.1 Préambule

L'évaluation d'un système nécessite obligatoirement sa comparaison avec une référence. C'est pourquoi dans cette section nous nous efforcerons à définir le système de télévision idéal avec les connaissances actuelles. Ce système idéal sera défini dans le but d'offrir aux téléspectateurs le meilleur confort de vision. Nous ne reviendrons pas sur les notions scientifiques et techniques introduites dans le premier rapport que nous supposons connu du lecteur.

Le point de vue adopté ici peut surprendre car il est à l'opposé du courant général. Depuis l'avènement de la haute définition, la plupart des systèmes sont définis depuis le studio vers l'utilisateur. Il en va de même pour les normes que les organisations internationales établissent. En fait dans une telle approche, si le système est défini d'abord au studio, on ne dispose pas d'une marge de manoeuvre suffisante au niveau du récepteur dans les maisons. Or, le but de l'opération est la satisfaction du téléspectateur. C'est pourquoi, nous pensons qu'il faut d'abord définir ce que nous pouvons lui offrir de mieux. Ensuite on peut remonter la chaîne pour la conception globale qui garantira ce qui a été convenu pour le téléspectateur.

2.1.2 Cahier des charges

Nous donnons ici une liste non exhaustive de caractéristiques que l'on peut raisonnablement souhaiter d'un nouveau système de télévision en fin de 20ème siècle.

L'image reçue à la maison doit être de qualité nettement supérieure à celle qui existe aujourd'hui. C'est cette différence de qualité qui motivera le téléspectateur à changer son récepteur. Il est évidemment souhaitable que le coût ne soit pas très élevé, mais cet aspect ne sera pas traité ici. Dans les systèmes en lice (MUSE et HD-MAC) on préconise une image de 1250 lignes contre 625 en Europe et de 1125 lignes contre 525 aux Etats Unis et au Japon. Le nombre de ligne qu'il faut est un paramètre technologique. Si l'on réussit à fabriquer des caméras et des affichages à 2000 ou 3000 lignes, il serait aberrant de limiter ce nombre à environ 1000. Le système global ne doit pas être figé par ce paramètre. Il devrait s'accomoder automatiquement du changement de sa valeur, au même titre qu'une pile normal peut être remplacée par une autre qui dure plus longtemps dans n'importe quel récepteur de radio. L'auteur n'est pas satisfait par un système à 1000 lignes.

Le rapport d'aspect (rapport de la largeur de l'écran sur son hauteur) est important. Le rapport actuel est 4/3. Malgré l'animosité planétaire sur les autres

aspects du problème, il semble exister une unanimité sur le rapport 16/9. Ce rapport est lié à un problème psychophysique de la vision (voir la référence [1], Ch. 4, p. 34). Une forme d'image plus rectangulaire remplit mieux le champ visuel de l'homme. La valeur de 16/9 peut être conservée sans que le reste du système n'en dépende très critiquement.

La cadence de répétition des images ne devrait pas être choisie indépendamment de la finesse spatiale (nombre de lignes, par exemple). Ceci pose un problème technique ardu. Toutefois, scientifiquement il est bien établi qu'une bonne résolution spatiale peut compenser une résolution temporelle médiocre. Le meilleur exemple est celui du cinéma (24 images /sec., résolution spatiale énorme). A défaut de lier cette cadence au nombre de lignes, on devrait la garder supérieure ou égale à 50. Dans le système actuel, ce compromis est traité par le balayage entrelacé. N'ayant jamais produit l'effet qu'on pensait, l'entrelaçage doit être définitivement abandonné. Par ailleurs, sur un point purement technique, il rend la conversion de format entre différents systèmes (cinéma, NTSC, PAL ou SECAM) inutilement compliqué; des simplifications n'apportant qu'une perte de qualité.

Le système global depuis la caméra jusqu'au récepteur doit être un système asynchrone. En effet la capture des détails par la caméra nécessite une cadence de balayage élevée (grand nombre de lignes). Il en est de même pour l'affichage sur l'écran. Toutefois, entre ces deux extrémités, il n'y a aucun besoin d'avoir les mêmes cadences. La nature redondante du signal généré par la caméra permet une réduction de cadence importante. Ceci est envisageable facilement grâce aux techniques numériques. Le système actuel (NTSC, PAL et SECAM) est un système synchrone: la caméra, le modulateur, le démodulateur et l'écran obéissent à la même horloge maître. Il était difficile de faire autrement dans les années quarante quand ces systèmes ont été conçus.

Les procédés de multiplexage temporel ont fait des progrès très importants. Ils doivent être préférés aux méthodes de multiplexage fréquentiel pour traiter les trois composantes du signal vidéo (soit les signaux de couleur rouge, vert et bleu - RGB- soit les signaux de luminance et de chrominance). Le système ne doit pas violer le principe de luminance constante. Ce principe veut qu'un changement sur les signaux de chrominance ne doit pas affecter le signal de luminance. La correction gamma (caractéristique d'entrée-sortie d'un système d'imagerie mesurée par la luminance de la scène filmée et la luminance de l'écran) est également lié à ce principe.

Le signal fourni par la caméra est un signal qui contient beaucoup de redondance. Aujourd'hui, il est possible de montrer qu'une fraction infime de cette information (de l'ordre de 1/60) permet de reproduire une réplique visuellement indiscernable de l'original. Pourquoi utiliser 60 fois plus de place que ce qui est nécessaire pour la transmission ou la mémorisation de ce signal ? C'est ici que les grandes économies peuvent et doivent être faites. Seules les techniques numériques

permettent une compression efficace de l'information.

Le réseau numérique à intégration de service (RNIS ou en anglais ISDN) à bande étroite ($p \times 64$ kbit/sec) a déjà réussi à intégrer les données et le son. L'image les rejoindra prochainement par le visiophone (téléphone avec image). Une version à large bande de réseau, appelé B-ISDN et s'accommodant d'un débit de l'ordre d'une centaine de Mégabits par seconde, s'installe également grâce aux fibres optiques. Au Japon, la région de Tokyo est cablée partiellement. Aux Etats Unis, une ligne de 300 miles existe sur la côte est. On prévoit la généralisation de ce réseau vers les années 2010-2020. Pour des raisons qui ne sont pas nécessairement techniques, la télévision reste pour l'instant à l'écart de ce réseau. Certes, il n'est pas envisageable d'utiliser le réseau RNIS à bande étroite pour diffuser des programmes de télévision. Mais il en est tout autrement pour le B-ISDN. Seul un système de télévision entièrement numérique, y compris la modulation pour la transmission, peut permettre une telle intégration. On doit donc concevoir un système qui puisse s'intégrer dans un tel réseau, si possible sans changement. Ceci exclu automatiquement les techniques de modulation analogique dépassée au profit de la modulation numérique.

Il faut remarquer qu'il existe une tendance pour libérer l'homme des contraintes d'espace et de temps. Le téléphone portable, les répondeurs automatiques intelligents, les enregistreurs vidéo, les "walk man" sont des exemples typiques. Pour une meilleure efficacité de cette approche, il faut réserver les faisceaux hertziens à ce qui est mobile et n'utiliser le réseau que pour ce qui est fixe, c'est-à-dire entre autre la télévision à haute définition. En ce sens, la décision du Federal Communications Commission (FCC) de restreindre la TVHD américain à la transmission terrestre est à courte vue.

2.1.3 Mise en oeuvre

Dans l'évaluation approximative des coûts de réalisation, on rencontre souvent des arguments qui cherchent à lier ces coûts directement à l'électronique nécessaire pour le traitement numérique des signaux. Il est évident que plus ces circuits sont complexes plus leur coût est élevé. Toutefois, il faut tenir compte aussi des prix du tube d'affichage, du châssis et de l'alimentation (220 V) qui constituent l'essentiel du prix final.

Avec le niveau que la technologie des circuits intégrés à grande échelle a atteint, il ne faut pas hésiter à introduire deux caractéristiques importantes dans les mises en oeuvre. La première est le **parallélisme**. Par nature, les données images sont parallèles: en traitant une région locale il n'est pas nécessaire d'attendre les résultats du traitement équivalent sur une autre région. Plusieurs processeurs peuvent fonctionner en parallèle pour respecter les contraintes temporelles sévères (laps de temps entre deux images successives, par exemple). En revanche, si tout le traitement est confié à un seul processeur, il sera obligatoirement séquentiel, donc plus lent. La deuxième

caractéristique importante est la **programmabilité**. Au lieu de figer définitivement une méthode de traitement dans des circuits électroniques spécialisés, il faudrait conserver la possibilité de programmation pour les parties évolutives du système. Pour les besoins futurs, la programmation permet de changer les fonctions sans changer l'électronique. Un système programmable (microprocesseur, ordinateur) est toujours plus lent qu'un circuit équivalent spécialisé. C'est pourquoi le parallélisme et la programmation doivent être considérés ensemble.

2.1.4 Après la TVHD ?

Il est unanimement admis qu'on ne peut pas changer de système de télévision comme on change de chemise. C'est l'une des raisons pour laquelle le système actuel a vécu aussi longtemps. Depuis l'avènement des systèmes MUSE et HD-MAC nous sommes déjà dans le virage du changement. Pour donner non seulement une qualité d'image supérieure au niveau système mais également la durée de vie la plus longue, nous devons penser à l'"après TVHD". Ceci permettra de ne pas se relancer dans un autre changement radical d'ici 10 ou 15 ans et d'offrir au téléspectateur les résultats du progrès plus économiquement. L'après TVHD est déjà là dans les laboratoires de recherche. C'est la télévision à trois dimension (3-D). Elle permet de donner la sensation de profondeur sans porter de lunettes spéciales. Une prise de vue simultanée par plusieurs caméras permet, après un traitement de signaux approprié, de reconstituer la sensation de profondeur. Il y a certes encore des mises au point à faire, mais la phase de curiosité intellectuelle est déjà dépassée depuis longtemps.

L'après TVHD est aussi les systèmes multimédia grâce auxquels on pourra avoir dans un même système et sur un même écran, les programmes de télévision, le visage de son interlocuteur au téléphone, les opérations boursières, les horaires des trains, etc.

L'utilisation conjuguée du réseau B-ISDN, d'un système numérique ouvert, à architecture parallèle et programmable permettra l'introduction de la télévision 3-D et du multimedia d'une manière quasi-compatible.

2.2 COMPATIBILITE

2.2.1 Formes

Il existe plusieurs formes de compatibilité dans l'introduction des nouveautés pour le bénéfice du public. Les voitures ont remplacé les calèches et le réseau routier a évolué progressivement. La télévision en couleur a été introduite de manière à permettre aux anciens récepteurs noir et blancs de recevoir les nouvelles émissions en couleur sans bénéficier de la couleur. Le compact disque (CD) a été introduit en permettant son intégration dans les systèmes audio existants. Un argument de

compatibilité a été avancé pour le HD-MAC. Il faisait référence au système D2-MAC qui fait sa timide apparition seulement maintenant. Une vue superficielle de ces situations peut laisser penser que chaque nouveauté a été introduite d'une manière compatible et qu'il faut continuer ainsi. Un regard plus attentif montre qu'il s'agit chaque fois d'une compatibilité différente. La réception de la partie noir et blanc d'une émission de télévision en couleur est de qualité inférieure par rapport à une émission en noir et blanc à cause de la violation du principe de luminance constant. Mais, cette perte de qualité n'est pas perceptible au non connaisseur, donc elle est acceptable. Le compact disque, quoi que l'on en dise, n'est pas compatible avec les systèmes audio existants. Pour s'en rendre compte, il suffit d'essayer d'écouter un tel disque sur les tourne-disques conventionnels. Ce qui est compatible dans ce cas c'est la sortie analogique du lecteur de compact disque. Une telle compatibilité pénalise la nouveauté. Un système composite ne peut pas être mieux que le plus faible de ses composants. Dans l'attente de meilleurs amplificateurs pour bénéficier pleinement de la qualité des CD, on peut quand même les écouter et accéder seulement à une partie de l'augmentation de qualité.

Faut-il pénaliser la nouveauté par souci de compatibilité ? C'est une question très difficile à répondre dans le cas général. Il est préférable de chercher des réponses intelligentes de cas en cas.

2.2.2 Prévisions

Le système actuel de télévision est tel que toute contrainte de compatibilité pénalisera sévèrement son successeur. Hormis des rafistolages bricolés sans apports substantiels d'améliorations, ce système n'est pas récupérable. A sa conception dans les années quarante, il était difficile d'avoir une vue à long terme pour tenir compte des évolutions éventuelles. Aujourd'hui nous n'avons plus cette excuse dans la conception du nouveau système. Il est étonnant de voir qu'aucun des systèmes candidats traite ce point. Or, ainsi qu'il a été mentionné, la télévision 3-D et les systèmes multimédia (images, sons, données) vont sonner à la porte bien avant que l'on ne croit. Si le nouveau système n'est pas conçu avec l'idée de pouvoir intégrer ces évolutions, de deux choses l'une, soit un nouveau changement coûteux et douloureux devra être entrepris avant de rentabiliser l'actuel, soit on doit retarder le progrès.

2.3 EFFICACITE - COMPRESSION

2.3.1 Introduction

La formation du signal vidéo, l'obtention des signaux numériques, les notions de largeur de bande et de compression ont été introduites dans le premier rapport [1]. Nous ne reviendrons pas sur ces points. Ce qu'il faut relever c'est l'importance de

l'efficacité de la représentation des images de télévision, c'est-à-dire de la compression. Ceci est nécessaire pour une meilleure compréhension des normes établies et des systèmes numériques de TVHD que nous examinerons dans les chapitres suivants. Rappelons que chaque image obtenue par balayage ligne par ligne d'une certaine surface est transformée, par numérisation, en un ensemble de points groupés dans un tableau ou matrice (Fig. 1). Cette opération est répétée 25, 30, 50 ou 60 fois par seconde pour donner l'illusion d'une évolution temporelle.

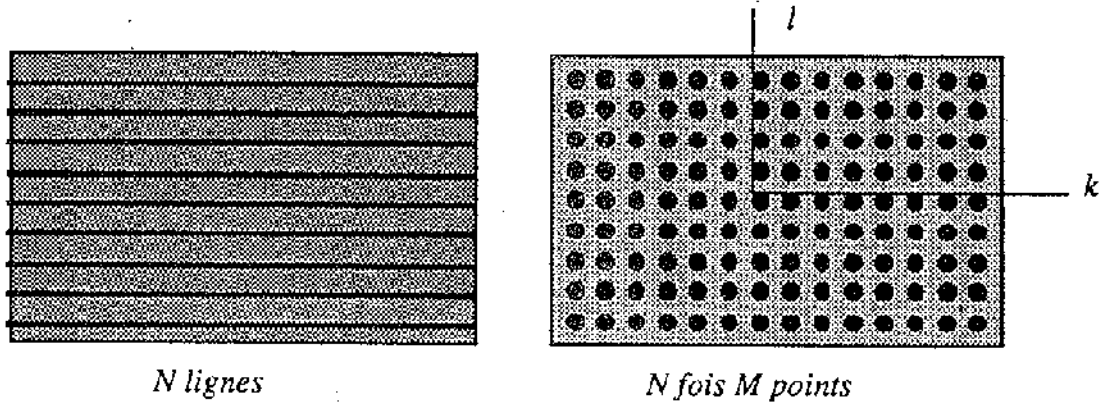


Fig. 1 Représentation schématique du passage des lignes au points: numérisation du signal vidéo.

Un minimum de mathématique est également nécessaire pour illustrer les opérations de base. Nous représenterons par $x(k,l,t)$ le point de la figure 1 à la position k,l d'une image enregistrée à l'instant t . La fonction $x(k,l,t)$ prend une seule valeur numérique pour la luminance d'une image noir et blanc et renferme trois valeurs lorsqu'elle représente une image couleur (composantes RGB ou luminance et chrominance par exemple). Comme chaque composante de couleur est traitée séparément, sans perdre de généralité, nous admettrons que l'information visuelle est représentée par cette fonction $x(k,l,t)$. Les valeurs extrêmes de cette fonction sont finies et connues par la physique du système d'acquisition (caméra). Entre ces deux valeurs extrêmes, on peut forcer cette fonction à ne prendre que des valeurs préassignées par la quantification (voir [1], Chap. 2, p.8). Le problème de la télévision se résume à la transmission efficace de ces valeurs et à leur reconstitution sous forme d'image sur le récepteur.

2.3.2 Problème de la compression

La tâche du système est de transmettre un ensemble très grands de points $x(k,l,t)$. Sans compression aucune, cet ensemble renferme $K.L$ valeurs par image et pour T images par seconde, on a KLT valeurs par seconde. Chaque valeur est quantifiée. On utilise usuellement $Q=256$ niveaux différents de quantifications. Ces niveaux, correspondant à des niveaux de gris ou de couleur, sont représentés par $B =$

$\log_2 Q = 8$ bits d'information, où \log_2 représente le logarithme binaire (logarithme de base 2). Avec cette représentation, on a besoin d'un total de $BKLT$ bits par seconde et par composante soit $3BKLT$ bits par seconde pour toute la séquence en couleur. Pour fixer les idées, considérons le cas d'une TVHD à 1000 lignes, 2000 points par ligne, 8 bits par composante et 50 images par seconde. Il faut transmettre dans ce cas $3 \times 8 \times 1000 \times 2000 \times 50 = 2'400'000'000$ bits/sec soit 2,4 Gigabits par seconde. Ce débit gigantesque ne sera même pas compatible avec le futur réseau B-ISDN!

La compression de cette information est possible pour deux raisons essentielles. La première est dans la nature des données et la seconde dans les faiblesses du système visuel humain qui observera le résultat final.

2.3.3 Compression des données spatiales

Les points voisins dans n'importe quelle image possèdent en moyenne des valeurs très similaires. Ceci est la conséquence directe de l'échantillonnage effectué avec un pas fini pour éviter que l'aspect pointilliste soit visible. Seuls les points de part et d'autre d'un contour (passage contrasté de blanc au noir par exemple) peuvent avoir de grandes différences. Ainsi, si l'on calcul la différence deux à deux des points voisins on obtient une nouvelle fonction du type:

$$y(k,l,t) = x(k,l,t) - x(k-1,l,t) \quad (1)$$

qui aura une gamme de valeurs possibles en moyenne nettement plus faible que la fonction de départ $x(k,l,t)$. Il n'est plus nécessaire d'utiliser autant de bits que $\log_2 Q$ pour chaque valeur de $y(k,l,t)$. Avec une condition initiale et le signal $y(k,l,t)$ on peut retrouver la fonction $x(k,l,t)$ avec un débit binaire plus faible. Ce principe peut être généralisé en considérant une combinaison dite linéaire des valeurs de $x(k,l,t)$. On calcul un nouveau signal $z(m,n,t)$ de la manière suivante:

$$z(m,n,t) = a(m,n,0,0) x(k,l,t) + a(m,n,0,1) x(k,l-1,t) + a(m,n,1,0) x(k-1,l,t) \\ + a(m,n,1,1) x(k-1,l-1,t) + \dots + a(m,n,K,L) x(k-K,l-L,t) \quad (2)$$

Il faut interpréter cette expression, au primabord complexe, comme une pondération des valeurs des points $x(k,l,t)$ par des coefficients $a(m,n,k,l)$. A titre d'exemple illustratif citons la formation d'une somme de Fr. 1'270.- par des billets de Fr. 200.-, 50.- et 20.-. On a Fr. 1'270 = 6 x 200.- + 1 x 50.- + 1 x 20.-. La fonction $x(k,l,t)$ est représentée par les billets de Fr. 200.-, 50.- et 20.- et les coefficients $a(m,n,k,l)$ par 6, 1 et 1.

Le choix des coefficients $a(m,n,k,l)$ dans la relation (2) doit se faire de manière à garantir le retour en arrière, c'est-à-dire l'obtention du signal initial $x(k,l,t)$

à partir du nouveau signal $z(k,l,t)$. On parle d'une transformation linéaire qui permet de passer du signal original $x(k,l,t)$ au signal transformé $z(k,l,t)$. Son inverse permet de réobtenir le signal initial. A ce niveau, on a rien gagné car il y a autant de valeur dans le signal initial $x(k,l,t)$ que dans le signal transformé $z(k,l,t)$. Toutefois, si la transformation représentée par les coefficients $a(m,n,k,l)$ est bien choisie, on peut concentrer les valeurs importantes du signal transformé dans une région bien précise, les autres valeurs pouvant être négligeables. Le gain intervient lorsqu'on laisse tomber des valeurs faibles dans le signal transformé $z(k,l,t)$ tout en garantissant un retour en arrière approximative. Par ailleurs, la requantification des valeurs restantes dans le signal transformé peut aussi contribuer au gain.

2.3.4 Compression des données temporelles

Au paragraphe précédent, nous avons considéré une seule image à un instant donné. Or, dans les images de télévision, on a une succession d'images prises T fois par seconde. Dans une même scène, d'une image à la suivante les changements ne sont pas très importants. On peut s'en rendre compte en examinant une portion d'un rouleau de film de cinéma de 35 mm par exemple. Il est alors inutile de considérer chaque image comme une nouvelle image indépendante de la précédente. Il suffit de se baser sur une première image, par exemple la première d'une scène, et de décrire les suivantes par rapport à celle-ci en indiquant uniquement ce qui a changé. Quand la scène filmée contient des objets en mouvement, il suffit de décrire ces mouvements. Or, ceci implique d'abord la reconnaissance des objets en mouvement, ensuite la mesure de leur vitesse et enfin la représentation de cette information pour la transmission. Pour simplifier ce problème ardu qui n'est toujours pas résolu d'une manière satisfaisante dans le cas général, on considère non pas des objets mais des portions d'images de formes géométriques simples (carré, rectangle, etc.). On suppose qu'une forme carrée dans une première image à une position donnée s'est déplacée dans l'image suivante à une autre position. On cherche cette nouvelle position pour mesurer le mouvement. La figure 2 illustre ceci à l'aide de blocs carrés numérotés.

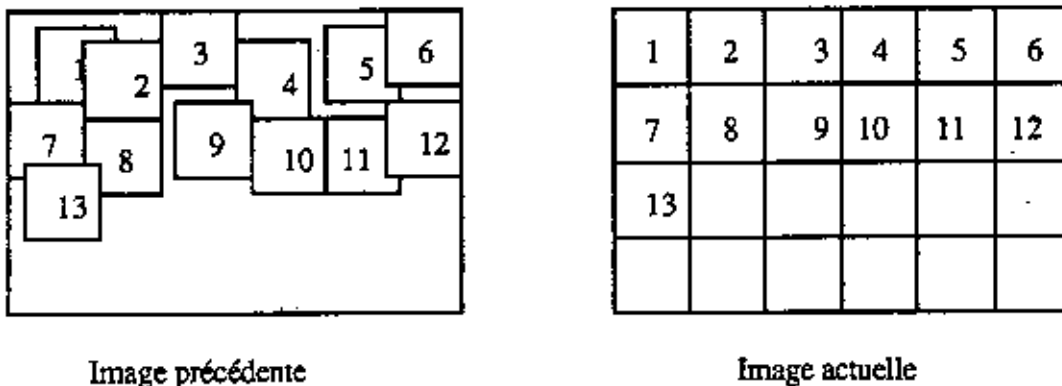


Fig. 2. Illustration des mouvement des blocs dans deux images successives.

Il est possible de faire un pas de plus. On peut prédire la position que prendra un bloc donné dans l'image suivante. Si l'on ne dispose que de l'image de départ, la prédiction la plus simple est de dire que le bloc ne bougera pas (par exemple, un fond fixe d'une scène). Même s'il bouge, en moyenne sur toute l'image, on économisera sur la description de l'ensemble des blocs.

Deux images successives suffisent pour deviner, par exemple par pure extrapolation, où se trouvera un bloc donné dans la troisième image. Si effectivement le mouvement du bloc en question est linéaire, la prédiction sera juste. Si ce n'est pas le cas, la différence entre l'image dont le mouvement a été prédit et l'image actuelle sera en moyenne faible. On peut alors décrire la séquence d'images avec les données de la prédiction et de l'erreur de prédiction. On parle dans ce cas des **différences de trames déplacées** ou encore de **compensation de mouvement**. La figure 3 illustre cette nouvelle étape. Cette méthode permet de tenir compte de la redondance temporelle que contiennent les séquences d'images. Au lieu de redécrire un bloc connu qui peut renfermer plusieurs dizaines de valeurs numériques dans une nouvelle image, on utilise sa description initiale complétée par son déplacement qui se résume à 2 valeurs (déplacement horizontal et déplacement vertical).

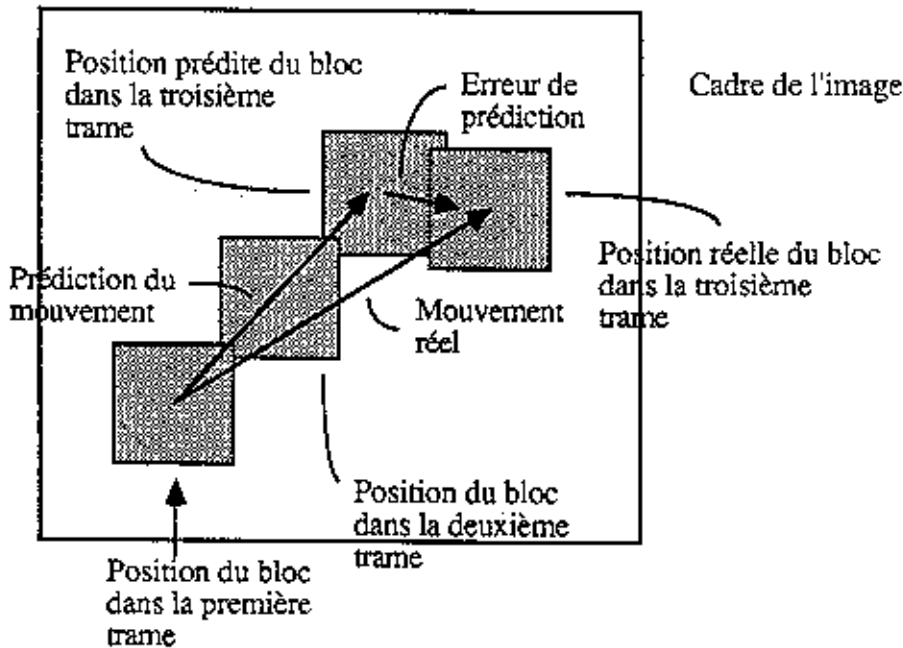


Fig. 3 Compensation de mouvement

2.3.5 Remarques

Comme la nature des deux compressions que nous venons de décrire intuitivement est différente, on peut les combiner pour une meilleure efficacité. On peut par exemple effectuer d'abord une compression temporelle et appliquer sur le résultat une compression spatiale. On augmente ainsi la compression globale. Quand

les opérations effectuées (transformation et différence d'images successives) sont linéaires, c'est-à-dire quand elles obéissent au principe de superposition, on peut interchanger l'ordre de la compression temporelle et la compression spatiale. Ces techniques sont bien connues depuis plus de deux décennies [2]-[6]. Elles ont été raffinées et améliorées au cours du temps. Parallèlement à ces travaux méthodologiques, le progrès dans le domaine des circuits intégrés ont permis petit à petit la réalisation de ces fonctions par l'électronique numérique. Aujourd'hui, on trouve sur le marché des puces qui effectuent des transformations linéaires de petits blocs 8 x 8 ou des compensations de mouvement. Etant donné l'importance économique de ces fonctions, non seulement dans la télévision à haute définition mais dans tout système traitant l'information visuelle (fax, visiophone, TV), les organismes internationaux de normalisation ont émis des recommandations qui deviennent de facto des normes. Nous présentons à la section suivante les normes qui sont sous-jacentes à plusieurs propositions de système de télévision.

2.4 NORMES

2.4.1 Préambule

La situation des organisations de normalisation n'est pas moins anarchique que celle de la TVHD. Il y a les trois grandes: ISO, CCIR et CCITT, c'est-à-dire l'organisation internationale de normalisation, le Comité consultatif international pour la radio communication et le Comité consultatif international pour le téléphone et le télégraphe. Ensuite, il y a des organismes continentaux comme l'EBU (European Broadcasters Union), l'ETSI (European Telecommunication Standardisation Institute, le SMPTE américain (Society for motion picture and television engineers et son équivalent japonais, ainsi que des organisations mixtes comme le CMTT (Comité mixte de télévision et de transmission, chapoté par le CCIR et le CCITT). Chacun possède des groupes de travail ou des groupes d'experts souvent résumés à quelques lettres (initiales) dont on oublie très vite la signification. Chaque groupe émet des documents portant des sigles et des numéros du style EBU/SG8-MK2-R.906. Chaque norme peut faire l'objet de plusieurs documents évolutifs. Par exemple, une première version d'un système s'appellera modèle de référence No. 1. Les versions améliorées ultérieures porteront des numéros croissants. Les préoccupations des différents organismes ne sont pas évidentes à établir non plus. Le CCIR établit une recommandation pour les paramètres de codage de télévision numérique pour studios. Le CCITT propose un codeur vidéo pour les services audiovisuels à des débits multiples de 64 kbit/sec! La situation est telle qu'une chatte ne reconnaîtrait pas ses petits. Le but n'étant pas de faire de l'ordre et de découvrir les structures complexes de ces comités, on se contentera de résumer trois normes essentielles. Elles sont reprises dans plusieurs systèmes américains et japonais.

Une autre remarque importante concerne l'évolution de ces normes. Les industries qui fabriquent des produits selon ces normes n'ont aucun avantage à ce qu'elles évoluent. On cherche à rentabiliser le fameux "retour de l'investissement". C'est pourquoi l'évolution est lente et se base très souvent sur la norme précédente augmentée d'une minuscule amélioration facile à incorporer. Les changements importants sont rares.

2.4.2 Norme JPEG de l'ISO

La norme JPEG (Joint Photographic Expert Group de l'ISO) concerne les images statiques, c'est-à-dire les photographies [7]. On peut interpréter une telle photographie numérisée comme l'une des images dans une séquence d'images de télévision. L'image d'entrée est numérisée et divisée en blocs de taille 8×8 . Chaque bloc subit une transformation comme celle donnée par l'équation (2). Une transformation est figée lorsque l'ensemble des coefficients $a(m,n,k,l)$ dans la relation (2) est déterminé. Le but de cette transformation est, sinon de supprimer ou du moins d'atténuer l'interdépendance entre les échantillons $z(k,l,t)$ obtenus. Il y a une seule transformation qui garantit cette interdépendance. Elle s'appelle la transformation de Karhunen-Loeve [8]. Elle a toutefois le désavantage de dépendre de l'image d'entrée et de nécessiter des calculs fastidieux. En d'autres termes, les coefficients $a(m,n,k,l)$ ne sont pas figés une fois pour toute mais doivent être calculés en fonction de chaque image que l'on souhaite transmettre. L'information concernant cette transformation doit être transmise également pour que le récepteur puisse reconstituer l'image reçue.

Plusieurs autres transformations existent qui peuvent servir d'approximation pour cette transformation idéale. Elles ne garantissent pas l'indépendance des échantillons $z(k,l,t)$ transformés mais conduisent à un ensemble de valeurs presque indépendantes. La transformation qui se rapproche le plus de celle de Karhunen-Loeve est la transformation discrète en cosinus (DCT de son nom anglais discrete cosine transform). Dans ce cas les coefficients $a(m,n,k,l)$ prennent une forme particulière figée une fois pour toute dont l'expression précise n'est pas nécessaire ici. Le signal transformé est ensuite quantifié et codé selon des spécifications préétablies pour la transmission. Le codage garantit que si la transmission se fait sans erreurs, les échantillons quantifiés peuvent être reconstitués exactement au récepteur. Le principe du codeur est illustré à la figure 4.

Le décodeur effectue les opérations inverses pour reconstituer l'image transmise bloc par bloc. Le schéma de principe est montré à la figure 5. Il est à noter qu'il existe aujourd'hui des circuits spécialisés en VLSI (puces) qui permettent la construction de ces codeurs et décodeurs.

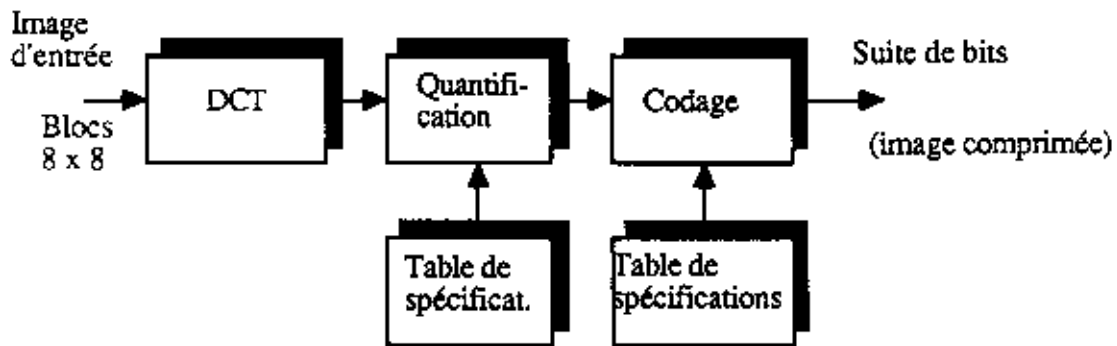


Fig. 4 Codeur de la norme JPEG

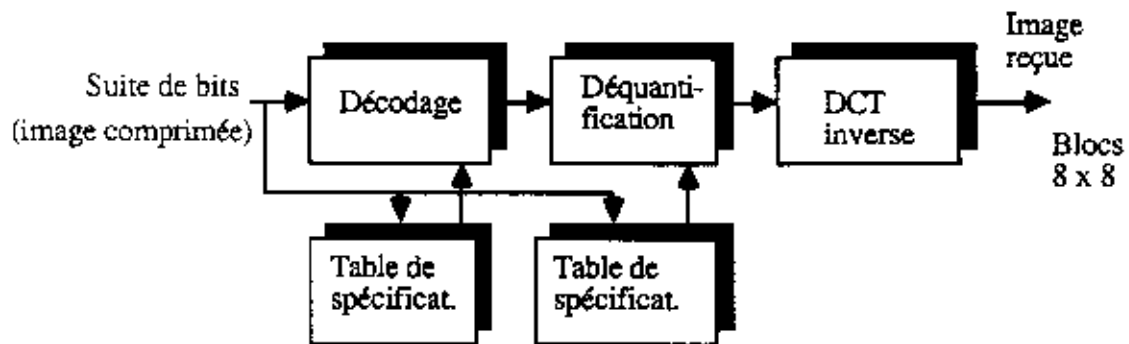


Fig. 5 Décodeur de la norme JPEG

2.4.3 Norme H.261 de CCITT

La norme H.261 de CCITT concerne les méthodes de codage et de décodage du signal vidéo pour les services audiovisuels à $p \times 64$ kbit/sec. où p est un nombre entier entre 1 et 30 [9]. Le support visé est essentiellement le réseau ISDN à bande étroite pour des débits compris entre 40kbit/sec. et 2 Mbit/sec.

Le signal d'entrée est une séquence d'images couleur représentée par la composante de luminance et les deux composantes de chrominance. La norme admet deux formats de séquence d'images: le format CIF (Common intermediate format) et le format Q-CIF (quarter common intermediate format). Les paramètres de ces formats sont pour le CIF:

- nombre de lignes de luminance: 288
- nombre de ligne de chrominance: 144
- nombre de points par ligne de luminance: 360
- nombre de points par ligne de chrominance: 180

- balayage non entrelacé
- fréquence de répétition des images (frame rate) 29,97 Hz

et pour le Q-CIF:

- nombre de lignes de luminance: 144
- nombre de ligne de chrominance: 72
- nombre de points par ligne de luminance: 180
- nombre de points par ligne de chrominance: 90
- balayage non entrelacé
- fréquence de répétition des images (frame rate) 29,97 Hz

On remarque que l'image du format Q-CIF est le quart de celle du format CIF. Ce dernier est un savant compromis pour satisfaire les systèmes à 525 lignes et les systèmes à 625 lignes. Le principe du codeur est illustré à la figure 6. Le signal d'entrée subit d'abord une compression dont le détail sera donné plus loin. Cette compression produit plusieurs types d'informations qui sont multiplexées et arrive

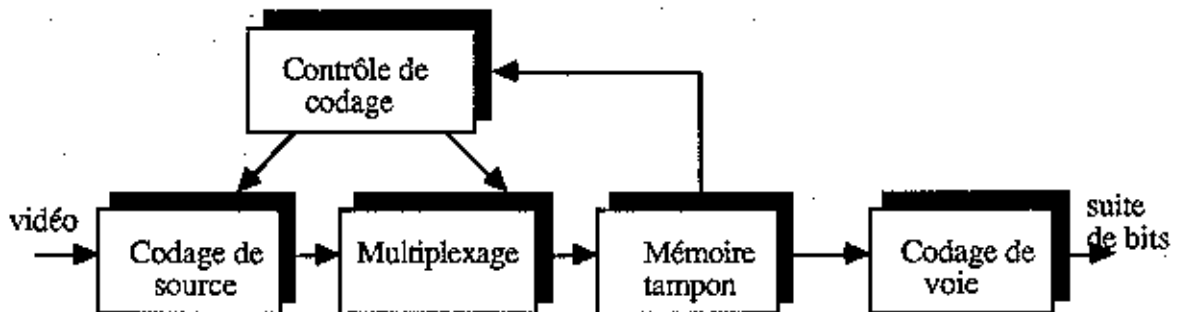


Fig. 6. Principe du codeur de la norme H.261

dans une mémoire tampon à cadence irrégulière sous contrôle pour éviter le dépassement de capacité de la mémoire. Si la mémoire se remplit, le contrôleur agit sur la compression pour baisser le débit. Le codage de voie protège les messages en introduisant un codage qui permet de détecter et de corriger des erreurs de transmission. A chaque groupe de 492 bits d'informations codées on ajoute 18 bits de parité pour la détection et la correction (voir les paragraphes 2.5.3 et 2.5.4 pour les principes de détection et de correction d'erreurs).

Le décodeur effectue les opérations inverse (Fig. 7). La suite de bit reçue est contrôlée pour corriger des erreurs éventuelles et dépouillée de ses bits de correction.

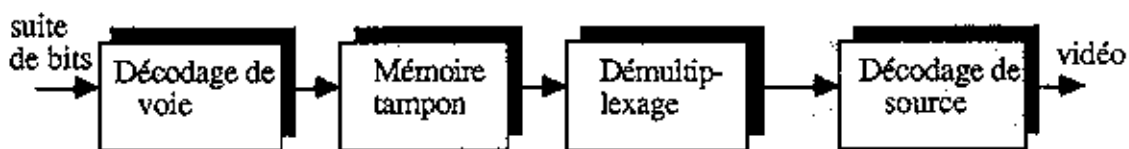


Fig. 7 Principe du décodeur de la norme H.261

Le résultat est stocké dans une mémoire qui fournit, à la demande, les informations pour que le démultiplexeur puisse les séparer selon leur type. Finalement, le décodeur de source reconstitue la séquence d'images numériques.

Le bloc appelé codage de source (Fig. 6) est détaillé à la figure 8. Ce codeur fonctionne en deux modes : mode intra (une image donnée) et mode inter (entre deux images successives). Dans le premier cas il s'agit des échantillons d'une image donnée alors que dans le deuxième cas l'information est la différence entre une image prédite et l'image actuelle. Quelque soit le mode, l'information est divisée en blocs 8 x 8 et

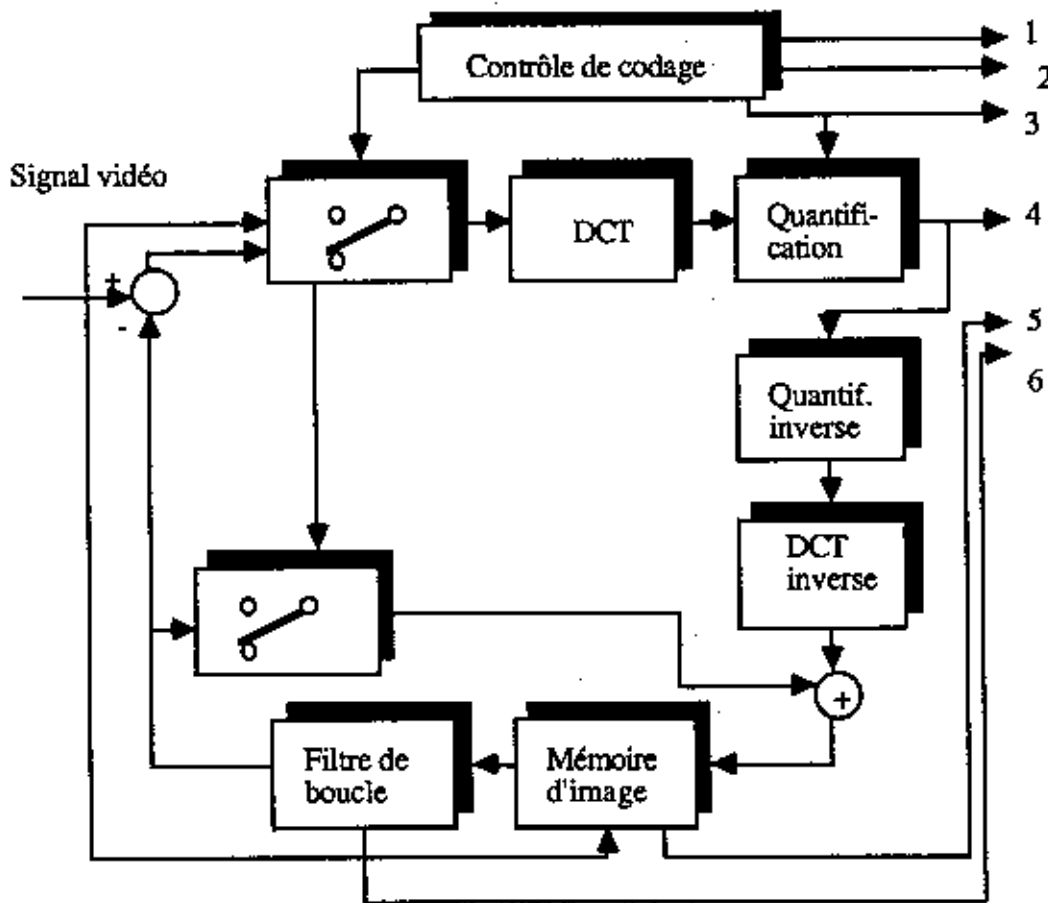


Fig. 8 Codeur de source de la norme H.261

séparée en deux catégories: à transmettre et à ne pas transmettre. Les blocs à transmettre subissent la transformation DCT. Le signal transformé est quantifié et codé. La prédiction fait l'hypothèse que le bloc en question ne se déplace pas d'une image à la suivante. Elle peut être raffinée en introduisant la compensation de mouvement (option). Le codeur fournit six types d'informations (numérotées de 1 à 6 à la figure 8). La première est l'indication de mode intra ou inter. La seconde est l'indication à transmettre ou à ne pas transmettre. La troisième donne des

renseignements sur la quantification. La quatrième est l'indice de quantification. La cinquième donne le vecteur de mouvement et la sixième indique si le filtre de boucle marche ou pas. Ce filtre permet de modifier la prédiction pour atténuer des hautes fréquences. Ces six types d'informations sont multiplexées pour le codage et la transmission.

On constate que dans le codeur H.261, on utilise le même principe que celui de la norme JPEG. Une même puce fabriquée pour JPEG peut servir aussi pour H.261. Il est à noter que la prédiction est effectuée dans le domaine de l'image et non pas dans le domaine transformé. La raison est que si dans l'image un objet change de position d'une image à la suivante (translation), ce mouvement n'apparaît pas sous la même forme au niveau du signal transformé. Le signal transformé d'un bloc déplacé est totalement différent du signal transformé du bloc à sa position initiale. C'est pourquoi, il est nécessaire d'introduire la quantification inverse et la DCT inverse (fig. 8).

Une des faiblesses de ce codeur est que si la compression est poussée trop loin, un effet dit de bloc apparaît, mettant en évidence les frontières des blocs 8 x 8. Le même effet peut se produire en cas d'erreurs de transmission. Une autre faiblesse est la qualité variable de l'image reçue selon l'état de la mémoire tampon. Si elle se remplit par une "activité" importante d'un bloc (beaucoup de détail et de non uniformité par exemple), le contrôleur baisse le débit pour les blocs suivants. Si ceux-ci ont aussi une grande activité, ils seront reconstitués avec une qualité plus faible. Même si la compensation de mouvement ne fait pas partie de cette recommandation, son ampleur est limitée à une distance de plus ou moins 15 points images. Ceci correspond à 4% de la largeur de l'image. Le système n'est pas capable de reproduire tout mouvement supérieur à cette limite.

2.4.4 Norme MPEG1 de l'ISO

La norme MPEG1 de l'ISO concerne des débits de transmission de l'ordre de 1,5 Mbits/sec. pour le vidéo [10]. Une partie de ce débit, à savoir 64, 128 et 192 Kbits/sec. est utilisé pour l'audio. Elle vise des applications du type stockage numérique (disque compact, cassette numérique audio, disques optiques), publication électronique, courrier vidéo, vidéo conférence, visiophone, films, jeux. Pour satisfaire ces diverses applications, un certain nombre de caractéristiques ont été exigées. Parmi celles-ci on peut citer:

- l'accès aléatoire aux informations à partir de leur version codée et stockée (disque ou bande magnétique). Ceci nécessite des points de repère pour que l'information puisse être décodée sans être obligé de remonter au début d'une séquence.

- "bobinage" rapide en avant et en arrière tout en étant capable de visionner l'information aux points de repère.

- "déroulement" inverse pour visionner un film en marche arrière.

- synchronisation précise du vidéo avec l'audio.
- robustesse de la compression devant les perturbations sur les parties peu ou pas protégées du message
- délais de codage et de décodage réduit (de l'ordre de 150 millisecondes) pour les applications bidirectionnelles (visiophone).
- codage temporel sur une courte durée pour garantir une décodabilité pour l'édition.
- souplesse de formats d'images.

Il faut relever que les contraintes d'accès aléatoire et court délais de codage/décodage sont opposées à la compression.

Le principe de codage préconisé est le même que celui de la norme H.261. La compression temporelle est obtenue par compensation de mouvement et la compression spatiale est obtenue par la transformation DCT. Ce qui change c'est la façon particulière de mise en oeuvre de ces deux techniques.

Pour que la compression temporelle satisfasse les contraintes ci-dessus, trois types d'images sont définies: image seule (intra), image prédite (vers le futur) et image interpolée (vers l'arrière ou vers l'avant). Les images intra fournissent les points de repère, les images prédites servent de référence pour coder les suivantes et les images interpolées sont sans repère. La compensation de mouvement pour les images prédites est réalisée de la même manière que précédemment (Fig. 3). La séquence originale est sous-échantillonnée dans la direction temporelle, en laissant tomber par exemple une image sur deux ou deux images sur trois. Au décodage, les images manquantes sont obtenues par interpolation entre deux images successives décodées. A cause du mouvement, il faut ajouter des termes correctifs tenant compte du mouvement local aux deux images successives avant l'interpolation. Des blocs 16×16 ont été choisis pour décrire l'information de mouvement. Ceci est une solution empirique du compromis entre le gain de compression par compensation de mouvement et le coût de la transmission de l'information du mouvement. A chaque bloc 16×16 on associe deux valeurs de déplacement (horizontal et vertical) pour les images prédites et quatre pour les images interpolées.

La compression spatiale, aussi bien sur les images intra que sur l'erreur de prédiction, est obtenue par la DCT sur des blocs 8×8 . Les coefficients transformés sont pondérés, lors de la quantification, par une fonction correspondant approximativement à la sensibilité du système visuel humain. Les coefficients retenus sont suivis selon un chemin en "zig-zag" pour augmenter l'efficacité de la compression (Fig. 9). Ceci provient du fait que les coefficients importants ont tendance à se grouper dans la partie gauche supérieure du bloc (Fig.9). Le premier point correspond à la composante continue de l'image dans ce bloc (valeur numérique importante). Au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ce point, le long de la ligne en zig-zag, l'importance

des coefficients diminue. Le codage des coefficients se fait selon un code à longueur de mot variable, utilisant des codes courts pour les valeurs fréquentes et des codes plus longs pour les valeurs moins fréquentes.

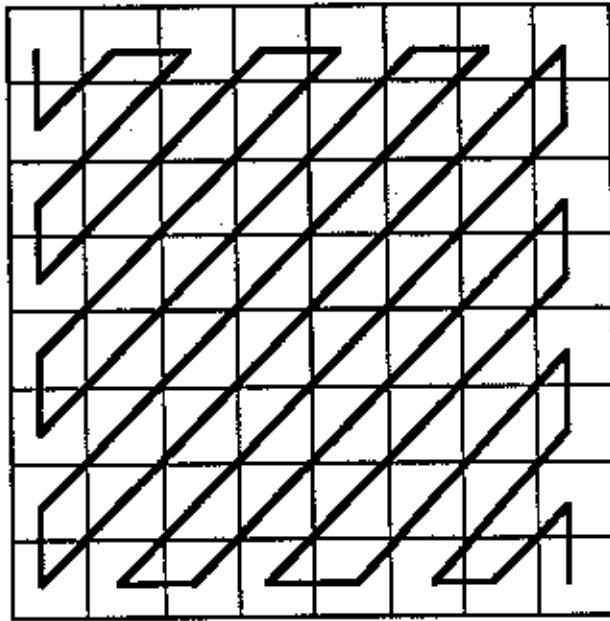


Fig. 9 Balayage en zig-zag des coefficients de la DCT. Chaque case représente un coefficient d'un bloc 8 x 8

2.5 TRANSMISSION

2.5.1 Introduction

La transmission d'une information à distance se fait grâce à un canal ou une voie de communication (ondes électromagnétiques, lignes téléphoniques, câbles coaxiaux, satellite, etc.). Le signal généré à la source, qu'il soit comprimé ou non, peut difficilement être appliqué directement au canal. Il y a trois raisons principales à ceci. La première est que le canal ne peut pas transmettre une information si la cadence de celle-ci est supérieure à sa capacité. Les embouteillages sur les autoroutes sont des exemples illustratifs. Ensuite, la forme du signal de base n'est pas forcément apte à sa transmission dans le canal choisi. Finalement, selon le type de canal, il faut protéger le signal de base contre les perturbations inévitables. Les techniques de compression qui sont résumées plus haut (paragraphes 2.3.3 et 2.3.4) visent à adapter le débit de la source à la capacité du canal. Nous résumons dans cette section les principes de base concernant les deux autres aspects pour faciliter la compréhension de la suite.

2.5.2 Modulation

Dans son sens le plus large, on peut voir la modulation comme l'ensemble des méthodes qui régissent les trois types de problèmes soulevés au paragraphe précédent.

Il est rare qu'un canal donné puisse être réservé exclusivement à une seule communication. Les lignes téléphoniques, les ondes hertziennes, le câble coaxial sont des canaux partagés par plusieurs utilisateurs. Pour permettre l'acheminement de plusieurs communications dans le même canal, il est nécessaire de le partager. Ceci peut être réalisé de deux manières. La première consiste à attribuer à chaque usager une bande de fréquence particulière, nettement inférieure à la largeur de bande totale du canal. C'est le multiplexage fréquentiel. La seconde est de donner à chaque utilisateur l'accès à la totalité de la largeur de bande du canal, mais pendant un intervalle de temps défini. C'est le multiplexage temporel. La figure 10 illustre ces deux multiplexages.

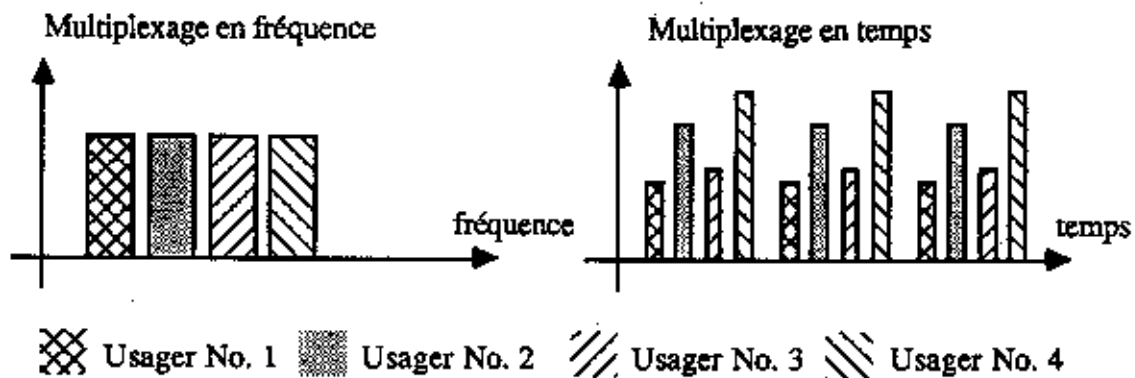


Fig. 10 Illustration des multiplexages fréquentiel et temporel.

Le multiplexage fréquentiel nécessite l'utilisation d'un signal auxiliaire appelé porteuse. Pour avoir une référence de fréquence précise, on choisit comme porteuse un signal sinusoïdal. Celui-ci est défini avec trois paramètres selon l'expression suivante:

$$p(t) = A \sin(2\pi f_p t + \varphi) \tag{3}$$

où A est l'amplitude, f_p est la fréquence et φ la phase. Ce signal est montré à la figure 11.

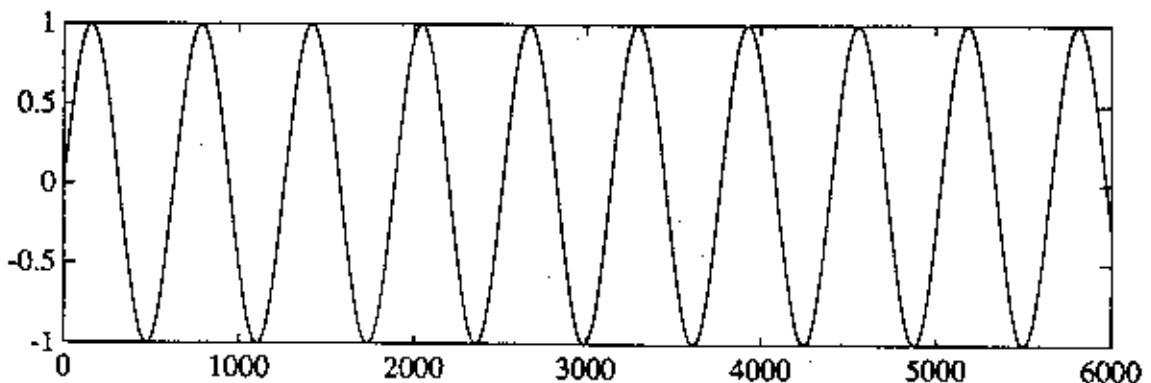


Fig. 11 Porteuse sinusoïdal

Pour décaler la bande de base du signal modulant, on choisit la fréquence f_p de la porteuse au milieu de la bande que l'on a assignée à l'utilisateur donné. On dispose de trois possibilités pour transposer le signal original dans la nouvelle bande. On peut faire varier l'amplitude A de la porteuse selon les valeurs instantanées du signal de base; c'est la **modulation d'amplitude**. On peut faire varier la fréquence f_p autour de sa valeur assignée au milieu de la bande, toujours selon les valeurs instantanées du signal original; c'est la **modulation de fréquence**. Enfin, on peut faire varier la phase φ et c'est la **modulation de phase**. Ces trois types de modulation sont des modulations analogiques utilisées pour transmettre un signal analogique. La figure 12 montre les signaux intervenant dans les modulations d'amplitude et de fréquence.

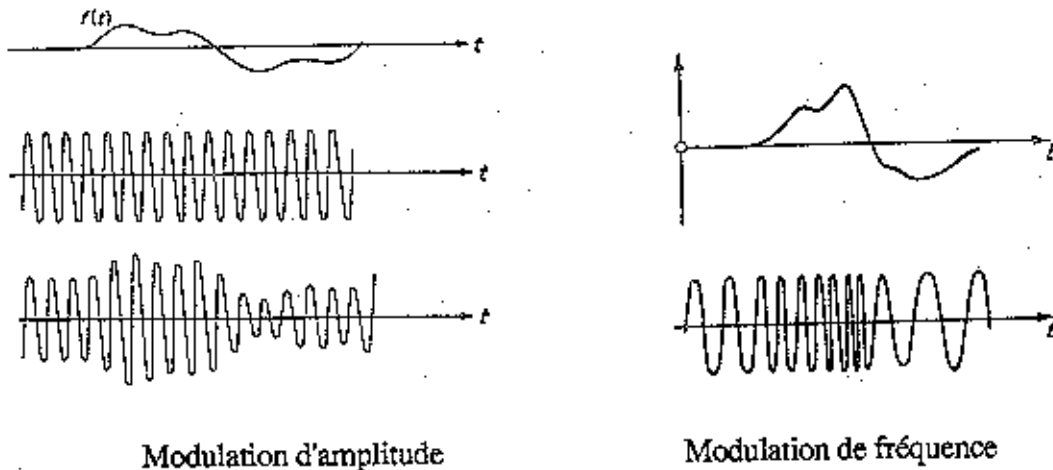


Fig. 12 Illustration des modulations d'amplitude et de fréquence.

Si le signal original que l'on souhaite transmettre n'est pas un signal analogique mais un signal numérique représenté par une suite de bits "0" et "1", les mêmes principes de modulation restent valables. On parle dans ce cas de modulation discrète. Les paramètres A , f_p et φ de la porteuse ne varient plus d'une façon continue mais prennent des valeurs discrètes (0 et 1) dans le cas d'une suite de bit. La figure 13 montre ces modulations discrètes connues par leur nom en anglais, OOK (on-off keying) pour l'amplitude, FSK (frequency shift keying) pour la fréquence et PSK (phase shift keying) pour la phase.

Dans la modulation discrète, le signal original ne doit pas être nécessairement une suite de bits "0" et "1". Il peut avoir plusieurs niveaux distincts. Dans ce cas le paramètre à varier prend autant de valeurs différentes qu'il y a de niveaux dans le signal.

A titre de complément, signalons la **modulation d'impulsions** qui est utilisée pour le multiplexage temporel. L'équivalent de la porteuse dans ce cas est une

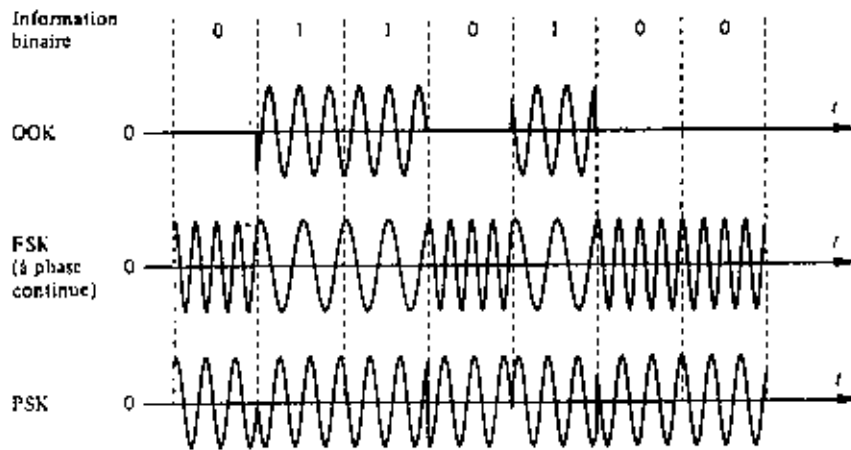


Fig. 13 Modulations discrètes: a) suite de bits, b) OOK, c) FSK et d) PSK

suite d'impulsions périodiques. On peut moduler l'amplitude, la durée ou la position de ces impulsions selon les valeurs instantanées du signal de base. Pour transmettre plusieurs signaux, avec un type de modulation spécifique, les impulsions correspondantes sont transmises à tour de rôle selon un cadencement régulier (Fig. 10).

Dans la transmission numérique, une impulsion de forme particulière bien adaptée à la voie de transmission est transmise dont l'amplitude est multipliée par la valeur du signal numérique (échantillonné et quantifié). Si le signal numérique est une suite de bits "0" ou "1", l'impulsion n'est pas transmise pendant les instants correspondant à la valeur "0". A cause de diverses imperfections et perturbations dans le canal, le signal à la sortie de celui-ci se trouve être affaibli, déformé et perturbé. Il doit être régénéré. Le régénérateur traite les signaux reçus pour éliminer le plus possible les perturbations et ensuite interprète le résultat en fonction des valeurs possibles (par exemple 0 et 1) qu'il connaît. La figure 14 montre cette situation. La régénération est rarement parfaite. La durée des impulsions est souvent augmentée par le filtrage de régénération. Pour étudier la qualité de la régénération, on replie le signal reçu sur lui-même aux multiples de la durée de base. La figure obtenue porte le nom de diagramme de l'oeil à cause de sa forme. "L'ouverture" de l'oeil indique la qualité de la régénération.

2.5.3 Détection d'erreurs

Pour une utilisation optimale du canal de transmission, le codage de source cherche à réduire le plus possible la redondance du message initial (voir paragraphes 2.3.3 et 2.3.4). Or, plus un message est compact (ou efficace au sens de la théorie de l'information), donc non redondant, plus il est vulnérable aux perturbations du canal de transmission.

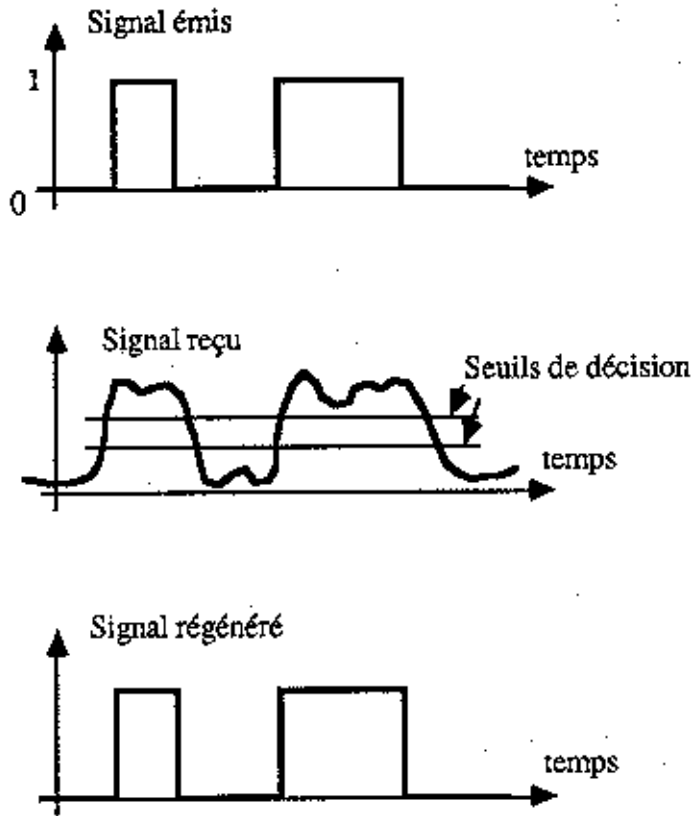


Fig. 14. Régénération d'un signal numérique

Pour illustrer ceci, considérons le télégramme suivant qui paraît compact mais qui est redondant :

J'ARRIVERAI DEMAIN LE QUATORZE JUILLET MILLE NEUF CENT QUATRE VINGT NEUF A LA GARE DE LYON A SEIZE HEURES QUARANTE CINQ.

Le message reste compréhensible après une légère compression qui peut donner ceci :

J'ARRIVERAI LE 14 JUIL A LA GARE DE LYON A 16H 45.

On peut pousser la réduction de redondance au maximum pour aboutir au message suivant :

ARRV 14.7 GR LYON 16 45

Si ce dernier message subit des perturbations qui modifient, par exemple, deux symboles on reçoit le message suivant :

9RRV 14.7 GRLPON 16 45

ce qui n'est pas facile à interpréter! Si, en revanche, deux symboles sont modifiés dans le message initial, la redondance qu'il contient permet de l'interpréter facilement.

Pour remédier à cette sensibilité accrue des messages codés à la source, on fait appel au codage de canal. Celui-ci, en contraste avec le codage de source, introduit une certaine redondance pour protéger les messages. La protection peut se faire à deux niveaux : détection d'erreur et correction d'erreur. On peut se demander pourquoi on cherche à réduire la redondance pour l'ajouter ensuite. En fait, ce n'est pas la même redondance qu'on ajoute. Celle qui est ajoutée par le codage de canal est calculée en fonction des besoins. En plus, elle garantit la détection et la correction d'un certain nombre d'erreurs fixées à l'avance, ce qui n'est pas forcément le cas de la redondance inhérente au message initial non codé.

Pour des raisons de place, il n'est pas possible de donner ici la description de tous les codes détecteurs et correcteurs d'erreur. Dans le reste de ce paragraphe on se limitera à indiquer des exemples simples pour illustrer le codage de canal dans le cas pratique du codage binaire à deux symboles 0 et 1. La méthode la plus simple d'introduction de la redondance pour permettre la détection des erreurs est l'utilisation d'un symbole de parité. La suite des symboles codés est groupés N par N. Dans chaque groupe, un compteur détermine le nombre de symbole "1". Si ce nombre est impair, on ajoute à ce groupe un N+1 ème symbole "1" pour rendre le nombre total des "1" pair. Si ce nombre est pair, le symbole ajouté est un "0". La figure 15 illustre cette procédure dans les cas de mots binaires à 8 bits.

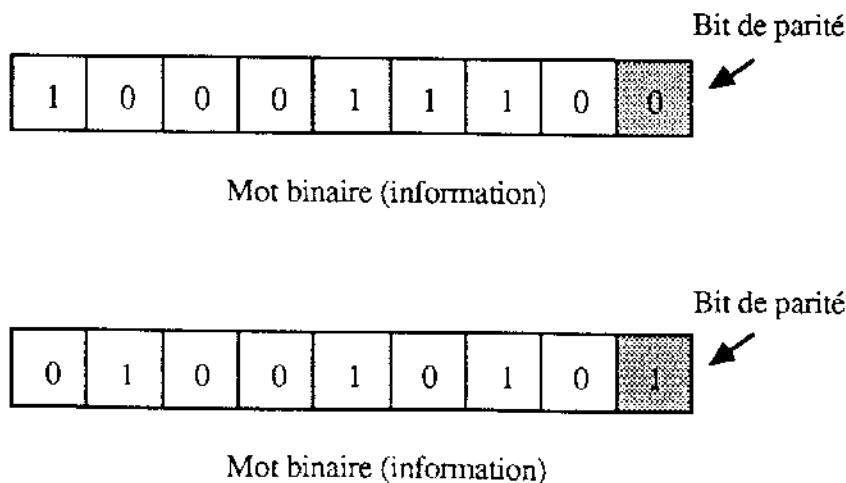


Fig. 16 Bit de parité pour des mots de 8 bits

Il est clair que le choix pair-impair est une convention et la deuxième possibilité convient tout aussi parfaitement. A la réception, le nombre de "1" dans le groupe de N+1 symboles est compté. Si la parité de ce nombre est changée, c'est qu'il y a eu un

nombre impair d'erreur dans ce groupe. Si la parité n'a pas changé, on ne peut pas conclure qu'il n'y a pas eu d'erreur: avec cette méthode un nombre pair d'erreur passe toujours inaperçu. Toutefois, pour des valeurs raisonnables de N, la probabilité d'une erreur multiple est tellement faible qu'elle peut être négligée. Des méthodes plus compliquées permettent de réduire fortement la probabilité d'une erreur non détectée. Les méthodes de détection d'erreur permettent de signaler qu'il y a une erreur mais ne peuvent pas localiser l'erreur pour la corriger. Le but ici était de montrer, d'une manière illustrative, que les méthodes numériques permettent de détecter les erreurs

2.5.4 Correction d'erreurs

L'un des codes les plus simples de correction d'erreur est le code de Hamming. Ce code est appliqué de la manière suivante. La suite des symboles à la sortie du codeur de source est de nouveau groupée N par N. A chaque groupe on ajoute M symboles de contrôle de manière à localiser toute erreur unique sur les $L=N+M$ symboles. Avec M symboles binaires de contrôle, on peut représenter tous les nombres entiers entre 0 et $2^M - 1$. Ces symboles sont choisis de manière à ce que le nombre correspondant indique, en cas d'erreur, le rang du symbole erroné. Comme il y a L symboles par groupe, il faut donc satisfaire la relation:

$$2^M - 1 \geq L = N + M \tag{4}$$

Cette inégalité permet de déterminer le nombre de symboles de contrôle M nécessaires pour une valeur donnée de N. En plus, chacun des M symboles de contrôle est attribué à un sous ensemble des L symboles. Par exemple, si $N = 5$, il faut $M = 4$ symboles de contrôle d'après la relation (4). Si le nombre de symboles de contrôle est fixé par exemple à $M = 4$, on peut grouper le message au maximum $N = 11$ par 11. Il faut maintenant déterminer les positions contrôlées par chacun des M symboles. Pour fixer les idées, prenons $M=4$. Avec ces 4 symboles on peut contrôler les positions suivantes:

Symboles de contrôle position

No. 4 3 2 1

0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6

0111	7
1100	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12
1101	13
1110	14
1111	15

Ce tableau montre que le premier symbole de contrôle (symbole contrôle No. 1), quand il vaut 1, contrôle les positions 1,3,5,7,9,11,13 et 15. Le deuxième symbole, de même, contrôle les positions 2,3,6,7,10,11,14 et 15, ainsi de suite. Dans un groupe de $L = N + M$ symboles, les symboles de contrôle sont insérés aux positions 2^i où i est le numéro du symbole. Ceci assure que chaque symbole de contrôle porte seulement sur les symboles d'information et non les autres symboles de contrôle. Leur valeur est telle que dans chaque groupe de positions contrôlées le nombre des "1" est pair.

Pour illustrer ce code, considérons le cas $N = 5$ (donc $M=4$ d'après (4)) avec le message 10011. Ces symboles occuperont les positions 3,5,6,7 et 9 dans le groupe à $L = 5+4=9$ symboles car les positions 1,2,4 et 8 sont réservées pour les symboles de contrôle (2^i , pour i allant de 0 à 3). Pour avoir un nombre pair de "1" dans le premier groupe de positions contrôlées, il faut que le premier symbole de contrôle soit un "1". De même, pour avoir un nombre pair de "1" dans le deuxième groupe de positions contrôlées, il faut un symbole de contrôle "0" et ainsi de suite. La figure 16 suivant résume la construction de ce code dans cet exemple.

Donc, le message original 10011 est codé en 101100111. Les symboles de contrôles sont soulignés. Si ce message subit une erreur entraînant sa réception comme 101100011 (l'erreur est soulignée), la parité dans les trois premiers groupes de positions contrôlées est fausse mais juste dans la quatrième (figure 16). Si on écrit le mot de contrôle de droite à gauche, avec des "1" pour les échecs et des "0" pour les réussites, on obtient 0111, ce qui indique la septième position après conversion en décimal. C'est donc le septième symbole du groupe qui est erroné. Ce code est conçu pour corriger une erreur. Il ne fonctionnera pas pour des erreurs multiples. Toutefois, en compliquant le principe de codage, on peut l'adapter, avec des symboles de parité additionnelle, pour corriger deux erreurs par exemple. Plusieurs codes correcteur d'erreur, plus performants mais également plus complexes, existent dans la littérature spécialisée. Le but ici était de montrer, d'une manière illustrative, que les méthodes numériques permettent de détecter et corriger les erreurs.

Numéro de position	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Message initial			1		0	0	1		1
Symbole de contrôle No. 1	1		1		0	0	1		1
Symbole de contrôle No. 2	1	0	1		0	0	1		1
Symbole de contrôle No. 3	1	0	1	1	0	0	1		1
Symbole de contrôle No. 3	1	0	1	1	0	0	1	1	1

Fig. 16. Formation de message protégé. Les surfaces hachurées indiquent les positions contrôlées par les symboles de contrôle. Ceux-ci sont représentés en gras et garantissent un nombre "1" pair dans les positions contrôlées

CHAPITRE 3

SYSTEME DE TVDH DE ZENITH-AT&T

3.1 INTRODUCTION

Le système proposé par le groupement Zenith-AT&T est un système TVHD tout numérique, c'est-à-dire non seulement la compression est effectuée par des techniques numériques mais également la transmission [11]-[12]. Il est conçu pour être utilisable dans les canaux terrestres américains de 6MHz de largeur de bande, appelés canaux tabous, avec une interférence minimale avec les émissions existantes de NTSC. C'est donc un système qui sera utilisé en parallèle avec le système existant (en anglais simulcasting, émission simultanée). On vise une région de réception couverte par ce système du moins égale à celle du NTSC sinon supérieure. En plus des émissions terrestres, le système est "compatible" avec les autres médias tels que le câble, le satellite, cassettes vidéo (studio et grand public), disques vidéo et réseaux à fibre optique. Toutefois, pour la compatibilité réelle, il y a malgré tout beaucoup de choses à changer. Même partielle et imparfaite, l'idée de la compatibilité est déjà un bon point en fonction de ce que nous avons vu à la section 2.1 Par ailleurs, toujours d'après [11], le système semble être ouvert aux améliorations futures possibles aussi bien pour une meilleure définition de l'image que pour les communications avec les ordinateurs.

Dans ce chapitre on présente les différentes composantes de ce système en se basant sur les notions qui ont été introduites dans le chapitre précédent. La section suivante 3.2 est consacrée au format et au codage du signal vidéo. Les problèmes de transmission sont examinés à la section 3.3. Le récepteur est présenté à la section 3.4. Enfin, la section 3.5 donne les autres caractéristiques et les conclusions.

3.2 SIGNAL VIDÉO

3.2.1 Format de l'image

Le format du signal vidéo adopté pour le système Zenith-AT&T est le suivant. L'image est formée de 787,5 lignes à balayage progressif à la cadence de 59,94 images par seconde. Le rapport d'aspect est de 16/9. La largeur de bande de base du signal vidéo est de 34Mhz. Notons toute de suite que le balayage progressif est un bon choix, mais que la définition semble être faible. Ceci est sans doute lié à la réalisation des caméras correspondantes. L'image numérique déduite du signal vidéo est de 720 lignes à 1280 points chacune. Le réglage est fait de manière à faire correspondre à chaque point image des régions en forme de carré et non de rectangle. Ceci est également un

bon choix, en vue de l'avenir. Si un tel système est interfacé avec un ordinateur, les distortions géométriques provoquées par des points non carrés peuvent être gênantes. Le choix de la taille de l'image numérique est guidé par le souci de faciliter le transcodage, c'est-à-dire le passage de cette norme au NTSC ou au format 4:2:2 du CCIR 601.

3.2.2 Compression du signal vidéo pour le studio

Dans le système AT & T-Zenith, une distinction claire est faite entre le signal vidéo pour le studio et le signal vidéo pour la diffusion. La raison essentielle est que dans les deux cas les opérations effectuées sur le signal sont différentes et se font sous des contraintes différentes. Par exemple, au studio il est nécessaire d'éditer le signal vidéo pour couper des images, pour en insérer d'autres. On peut être obligé de parcourir la séquence rapidement aussi bien en avant qu'en arrière. On retrouve ici certaines contraintes de la norme MPEG (paragraphe 2.4.4). Le signal de studio a un débit élevé de 200 Mbits/sec. A cause des contraintes précédentes, la compression est effectuée seulement à l'intérieur de chaque image de la séquence. Les redondances d'image à image ne sont donc pas exploitées. Même si ce n'est pas explicite dans les documents [11], la compression pour le studio est basée sur la transformée DCT des blocs 8 x 8. Le débit du signal convient tout juste aux enregistreurs vidéo dernier cri pour les studios (type D-2).

3.2.3 Compression du signal vidéo pour la diffusion

Le principe du codeur du système est montré à la figure 17. Le signal fourni par la caméra subit d'abord un prétraitement pour régler la colorimétrie et la correction gamma selon la norme américaine SMPTE 240M. Les signaux de couleur rouge, vert et bleu (R,G,B) sont filtrés passe-bas pour éviter des recouvrements dus à l'échantillonnage, corrigés pour le gamma et quantifiés à 8 bits. Ces trois composantes sont ensuite transformées en un signal de luminance et deux signaux de chrominance, en respectant le principe de luminance constante. Un circuit optionnel peut encore les transformer en luminance et chrominance de la norme CIE. Les signaux de chrominance sont décimés par un facteur 2 dans les directions verticale et horizontale. Le format d'image correspondant à ces signaux est donc de 360 lignes à 640 points. Donner une importance deux fois plus faible est une pratique courante (norme CCIR 601) à cause de la faible sensibilité du système visuel humain. La compression du signal vidéo s'appuie sur les principes déjà présentés: la compression temporelle est obtenue par compensation de mouvement, la compression spatiale est obtenue par la DCT. Les coefficients de la DCT sont quantifiés selon leur gamme dynamique et leur importance perceptuelle. La détection de mouvement est réalisée par adaptation de bloc hiérarchique. D'une image à la suivante, on cherche la position d'un bloc qui ressemble le plus au bloc donné. Comme cette recherche peut être fastidieuse, elle est effectuée

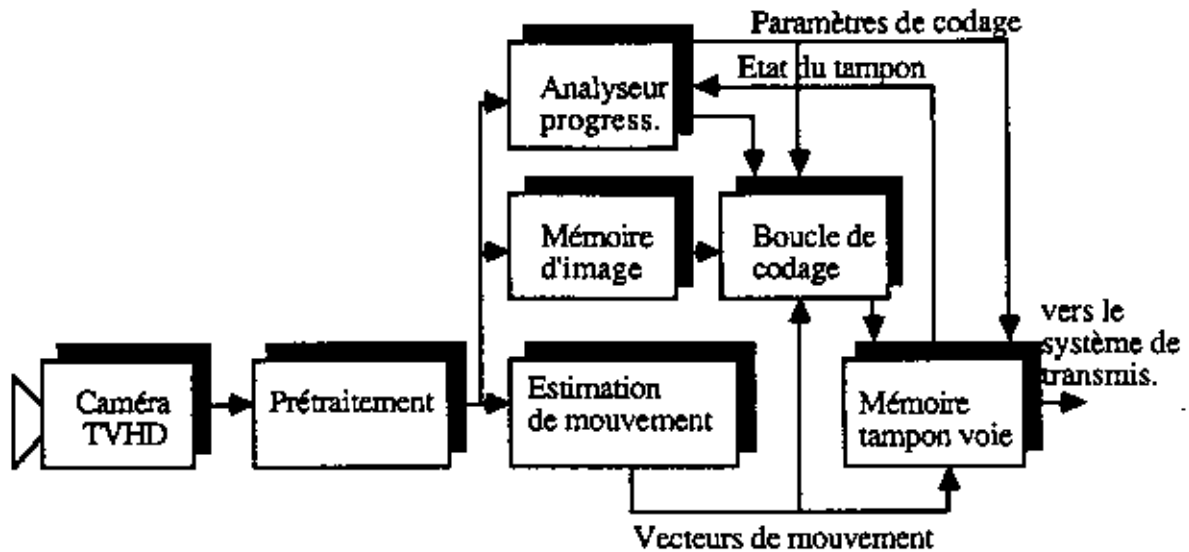


Fig. 17 Schéma-bloc du codeur Zenith-AT&T

d'abord avec une faible résolution. Ensuite, une résolution plus fine permet d'augmenter sa précision. Les vecteurs de mouvement qui sont également compressés sont expédiés à la mémoire tampon de sortie pour la transmission. Chaque image est analysée avant d'entrer dans la boucle de codage. Les vecteurs de mouvement et les paramètres de contrôle déterminés par l'analyseur progressif rentrent dans la boucle de codage qui fournit à sa sortie l'erreur de prédiction compressée. Les paramètres de contrôle de la boucle de codage sont pondérés par l'état de la mémoire tampon. Si elle est remplie, la cadence est baissée. Le codeur fournit à sa sortie d'une part des paramètres globaux de l'image codée et d'autre part les coefficients quantifiés et codés de la DCT sur la luminance et sur les chrominances.

L'estimation de mouvement est effectuée seulement sur le signal de luminance. C'est ce signal qui a la plus grande résolution. La similitude entre le bloc actuel d'une image donnée et sa nouvelle position dans l'image suivante est mesurée par la valeur absolue de la somme des différences point à point. Arithmétiquement, ceci est une mesure simple, facile à réaliser. Le schéma-bloc de l'estimateur de mouvement est montré à la figure 18. Une première estimation est effectuée avec une résolution moitié de l'originale (360 x 640) sur des blocs 16 h x 8 v (h: horizontal, v: vertical) et avec une précision d'un point. A la résolution complète (initiale), ceci est équivalent à un bloc 32h x 16v et une précision de 2 points. Dans une deuxième phase, une recherche plus fine est effectuée dans la région du maximum précédente et avec des blocs plus petits 8 x 8. Le système est capable d'analyser le mouvement dans une fenêtre de taille maximum 96h x 80 v. Ceci veut dire que le mouvement de tout objet se déplaçant, d'une image à la suivante, de 7,5% de la hauteur totale et de 11% de largeur totale de l'image peut être détecté et reproduit. Cette gamme semble être

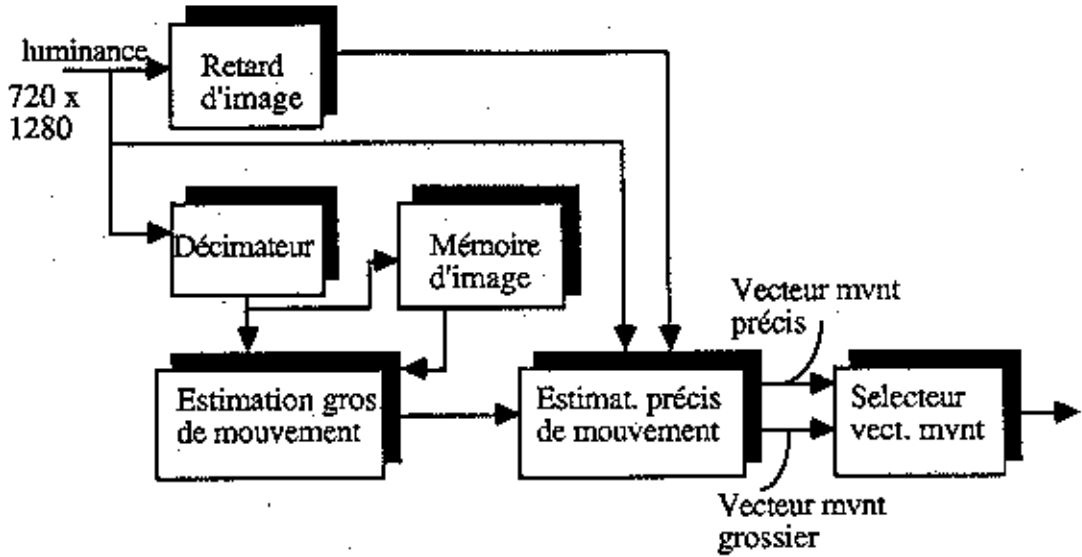


Fig. 18 Estimateur de mouvement

suffisante pour des scènes avec des mouvements rapides comme les sports. Une précision d'un demi-point est obtenue dans l'estimation du mouvement par extrapolation de l'erreur de prédiction autour de la position qui donne l'erreur minimale. Le détecteur de mouvement donne deux types de résultats. Un premier concerne les vecteurs de mouvement grossier des blocs $32h \times 16v$ qui sont transmis dans tous les cas. Ensuite, selon le bilan de bit disponible pour la transmission, les vecteurs de mouvement des blocs 8×8 sont également transmis. La taille de grands blocs $32h \times 16v$ a été choisie pour que dans tous les cas on puisse transmettre, dans le pire des cas, 1800 vecteurs de mouvement par image avec un coût en bit raisonnable. Par ailleurs cette taille de bloc est un sous multiple d'un format utilisé plus loin dans le système pour des "pages" de données à transmettre. Ces grands blocs contiennent 8 blocs de taille 8×8 . Pour affiner le rendu de mouvement, chaque fois que le bilan de bits le permet, on calcule la différence des vecteurs de mouvement de ces blocs 8×8 avec celui du grand bloc et on transmet cette différence. Cette procédure continue pour autant qu'elle améliore la prédiction de l'image suivante.

La compression spatiale est effectuée dans la boucle de codage. Son schéma est montré à la figure 19. On remarque que les principes des normes H.261 et MPEG sont suivis avec de légères adaptations. La transformation DCT est appliquée à l'erreur de prédiction d'une image donnée par la précédente compensée en mouvement. Les coefficients de la DCT sont quantifiés adaptativement. Ensuite ils sont transférés, ainsi que les vecteurs de sélection des quantifieurs, au transmetteur. Une transformation inverse est calculée pour réobtenir la différence de deux images successives dont l'une est compensée en mouvement. Ceci est ajouté à l'image compensée en mouvement pour être utilisé comme la nouvelle prédiction. La valeur moyenne est soustraite chaque fois

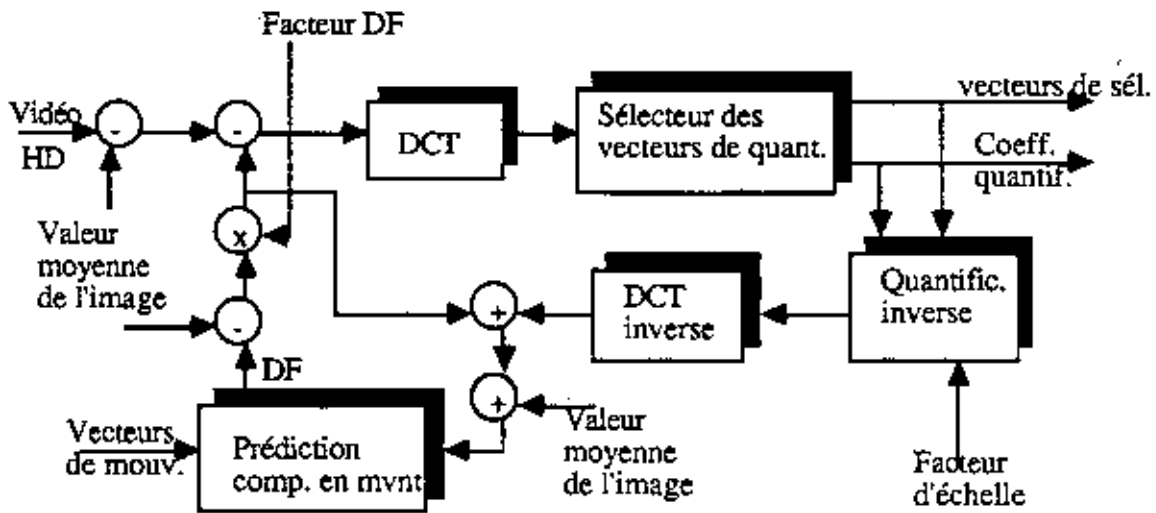


Fig. 19 Boucle de codage.

avant la DCT pour augmenter son efficacité. En effet, la valeur moyenne d'un bloc est le premier coefficient de la DCT. Si celui-ci a une grande valeur par rapport aux autres coefficients, il y aura une disproportion dans l'échelle de quantification. Par ailleurs, l'image compensée en mouvement est multipliée par un facteur, appelé facteur DF, pour augmenter la protection contre les erreurs de transmission. La quantification des coefficients de la DCT est effectuée en tenant compte de la sensibilité du système visuel à chacun d'entre eux. Parmi les propriétés du système visuel humain, on exploite la sensibilité en fonction de la fréquence spatiale, la sensibilité à un champs visuel uniforme et les propriétés de masquage spatial et temporel [1]. Toutefois, on tient compte de ces propriétés dans leur forme la plus simple pour ne pas dire simpliste. Plusieurs quantifieurs à intervalle non-uniforme sont conçus selon les types de coefficient. On peut choisir quatre cas: trois quantifieurs différents et la décision d'ignorer le coefficient en question (valeur négligeable). Les valeurs quantifiées sont codées par un code à longueur variable optimisé pour le quantifieur correspondant.

Pour diminuer l'information concernant l'étiquette des quantifieurs choisis, on fait appel à la quantification vectorielle pour représenter un ensemble d'étiquettes. Ces étiquettes représentent les combinaisons possibles de quantifieurs qui peuvent être appliqués dans un bloc 8 x 8. La transmission de l'indice d'une configuration au lieu de la configuration elle-même conduit à une efficacité de codage.

L'analyseur progressif effectue une transformation DCT sur l'image originale et analyse le résultat à l'aide du calculateur des poids perceptuels. Ces poids sont ensuite transférés à la mémoire tampon. Les seuils perceptuels sont calculés par le contrôleur de la mémoire tampon selon l'état de remplissage de celle-ci. Si cette mémoire se remplit, les valeurs des seuils sont élevées pour quantifier plus

grossièrement, donc pour baisser le débit. Par ailleurs, l'analyseur progressif imite d'une manière approchée le travail de la boucle de codage pour optimiser les paramètres de contrôle de cette boucle. Les facteurs d'échelles des quantifieurs, la valeur moyenne des images sont de tels paramètres.

Signalons pour terminer cette partie que le signal vidéo codé est multiplexé avec les signaux audio et auxiliaires (télétexte, aide aux sourds, etc.). La partie audio contient quatre canaux indépendants d'un débit de 125,874 kbits/sec, de qualité comparable à celle d'un disque compact. Ces signaux sont compressés par le procédé Dolby AC-2. Deux canaux sont prévus pour les informations auxiliaires de débit respectivement 30,21 kbit/sec. et 382,7 kbits/sec.

3.3 TRANSMISSION

3.3.1 Format de transmission

A cause de la contrainte de transmission terrestre dans des canaux tabous de 6 MHz, le format de transmission est adapté au format NTSC. Trois niveaux de données sont définis. Un segment de données, contenant 684 symboles, par exemple de données vidéo ou audio ou encore auxiliaires, a une durée de 63,5 μ s, correspondant à une ligne horizontale du système NTSC. Chaque segment contient des informations de synchronisation et des codes de détection et de correction d'erreurs. Un ensemble de 262,5 segments de données constitue un champs de données, égale à un champs de NTSC. Deux champs de données constituent une trame, égale à une trame NTSC. Dans ce format, il y a 359'100 symboles par trame et 29,97 trames par seconde; ce qui fait un débit de 21,52 Mbits/sec. Chaque champs de données est précédé par un segment contenant le signal de synchronisation de champs constitué par un bruit pseudo-aléatoire. Celui-ci est un signal que l'on peut générer facilement par des moyens déterministes mais se comporte comme un signal aléatoire (imprévisible).

3.3.2 Mode de transmission

Le reproche classique que l'on peut faire aux systèmes de transmission numérique pour la diffusion est que la cadence des erreurs en fonction du rapport "porteuse-sur-bruit" croît fortement au seuil du bruit qui fait disparaître totalement les données transmises. Usuellement, on parle du rapport signal-sur-bruit, mais ici ce qui intervient c'est la puissance de la porteuse (voir paragraphe 2.5.2). Les téléspectateurs qui sont à la limite de la région couverte par les émissions peuvent souffrir de la perte totale de l'image suite à une légère diminution du rapport porteuse-sur-bruit. Ceci n'est pas acceptable. C'est pourquoi le système Zenith-AT&T fait appel à deux cadences de transmission: une cadence binaire à 1 bit par symbole et une cadence double à 2 bits par symbole. Le mode particulier est sélectionné d'une manière

adaptative à l'émetteur. Les données transmises avec 1 bit par symbole sont appelées W1 (poids 1) et les données transmises avec 2 bits par symbole sont appelées W2. Les données W1 peuvent être reçues avec un rapport porteuse-sur-bruit inférieur de 7 dB que les données W2. Le seuil de porteuse-sur-interférence peut être 6dB plus faible pour W1 que pour W2. Ainsi les données W1 sont plus robustes que les données W2. Les signaux importants, comme par exemple les signaux de synchronisation, les signaux de correction d'erreur, sont toujours transmis comme W1. L'audio et la vidéo sont transmis, soit comme W1, soit comme W2 selon leur importance. Le débit variable en bits par seconde produit par le codeur est transformé ici en un débit constant en symbole par seconde.

Dans un segment de données, il y a 684 symboles dont 16 utilisés pour la synchronisation. Il en reste donc 668 pour les données. A deux bits par symbole, 668 symboles sont équivalents à 167×8 bits de données W2 soit 167 bytes W2 (1 byte = 8 bits). Le même nombre de byte W1 occupe 2 segments de données. Chaque bloc de 167 bytes de deux types est protégé par le code détecteur et correcteur d'erreur appelé code de Reed-Solomon du nom des inventeurs. Sur les 167 bytes, 20 sont utilisés comme byte de parité. Ils peuvent corriger 10 erreurs de byte. Le code Reed-Solomon est particulièrement efficace contre les erreurs par paquets. Il peut corriger des erreurs provenant de l'interférence d'un canal NTSC voisin.

Pour se prémunir contre de fortes interférences d'un canal voisin NTSC, il est prévu d'utiliser un filtre dit "en peigne" à cause de la forme de sa réponse fréquentielle. Le paramètre du filtre est choisi de manière à faire coïncider les fréquences bloquées avec celles des porteuses du NTSC. Ce filtre atténue fortement les porteuses de luminance, de chrominance et d'audio d'un signal NTSC.

3.3.3 Modulation

La manière la plus commode de placer un débit de 21,52 Mbits/sec. dans un canal de 6Mhz est d'utiliser la modulation discrète d'amplitude (paragraphe 2.5.2). On peut la rendre encore plus efficace en utilisant deux porteuses en quadrature, c'est à dire une porteuse sinusoïdale et une porteuse cosinusoïdale. Les fonctions sinus et cosinus sont connues pour être orthogonales. L'intégrale de leur produit est nulle. On divise la séquence initiale en deux séquences de 10,76 Mbits/sec. ou de 5,38 Msymbol/sec. et deux bits par symbole. L'une des séquences module une porteuse sinusoïdale et l'autre une porteuse cosinusoïdale. Chaque groupe de deux bits pouvant différencier 4 symboles, cette modulation est appelée 16-QAM, modulation d'amplitude en quadrature à 16 niveaux.

Le groupe Zenith-AT&T a été obligé de renoncer à cette méthode à cause des contraintes de FCC de transmission terrestre. Il faut régénérer les porteuses en présence d'interférences NTSC. Si l'on ajoute les porteuses à l'émission, il faut introduire une puissance supplémentaire dans le spectre qui risque cette fois d'être vue

dans les récepteurs normaux de NTSC. En effet, la modulation d'amplitude place la fréquence de la porteuse au milieu de l'intervalle utile. C'est à cause de ces contraintes et difficultés que le groupe Zenith-AT&T a choisi la modulation à bande latérale résiduelle, avec porteuse supprimée (VSB de son nom anglais vestigial side band modulation, voir [1], page 28). La porteuse dans cette modulation peut se placer vers la limite inférieure de l'intervalle de fréquence. Ainsi, elle ne gêne pas les récepteurs normaux NTSC. A la même fréquence, on introduit un signal pilote qui n'est rien d'autre qu'une porteuse non modulée. Il permet au récepteur de retrouver plus facilement la porteuse. Avec cette modulation, la suite de 21,52 Mbits/sec. est donc traduite en une suite partielle de 10,76 Mbits/sec. à quatre niveaux VSB ou 4-VSB et une autre suite de 10,76 Mbits/sec à 2-VSB. La correspondance avec les données W1 et W2 est triviale. Même si 16-QAM et 4-VSB sont comparables en performance, 4-VSB semble être préférable à cause du contexte américain.

3.4 RECEPTEUR

La fonction du récepteur est, d'une manière évidente, la reconstitution de l'image du son et des données auxiliaires (Fig. 20). Le signal reçu rentre dans le démodulateur. Après la première démodulation, on retrouve la fréquence intermédiaire IF. Ces deux blocs sont des systèmes analogiques. Ensuite, le signal est convertit en numérique. A ce point on récupère les signaux de synchronisation pour régler les horloges. Le filtre en peigne élimine les interférences NTSC et le régénérateur (égaliseur) récupère le signal de synchronisation des champs. A ce niveau, on peut éliminer également un certain nombre de signaux fantômes résultant des échos d'un même signal suivant plusieurs chemins différents. Ces signaux fantômes produisent des images identiques mais décalées spatialement les unes par rapport aux autres. Le découpeur établit les niveaux de décision et le démultiplexeur divise la suite de bits en quatre à un débit de $10,76/4 = 2,69$ Mbits/seconde. Basé sur les taux d'erreurs mesurés sur les données de synchronisation de champs, le post-codeur compense les précautions prises pour éviter les interférences NTSC. Le séparateur a pour tâche de reconnaître les différents types de données (audio, vidéo, champs, trame, etc.). Les données séparées sont corrigées pour les éventuelles erreurs et décodées pour affichage et écoute.

On remarque que le récepteur est assez complexe (les détails de fonctionnement sont omis). Une grande partie de cette complexité vient du contexte américain: transmission terrestre dans les canaux tabous. Il faut éviter à tout prix, d'une part de créer des perturbations dans les récepteurs normaux NTSC avec le signal TVHD et, d'autre part, d'avoir un récepteur TVHD perturbé par les signaux NTSC.

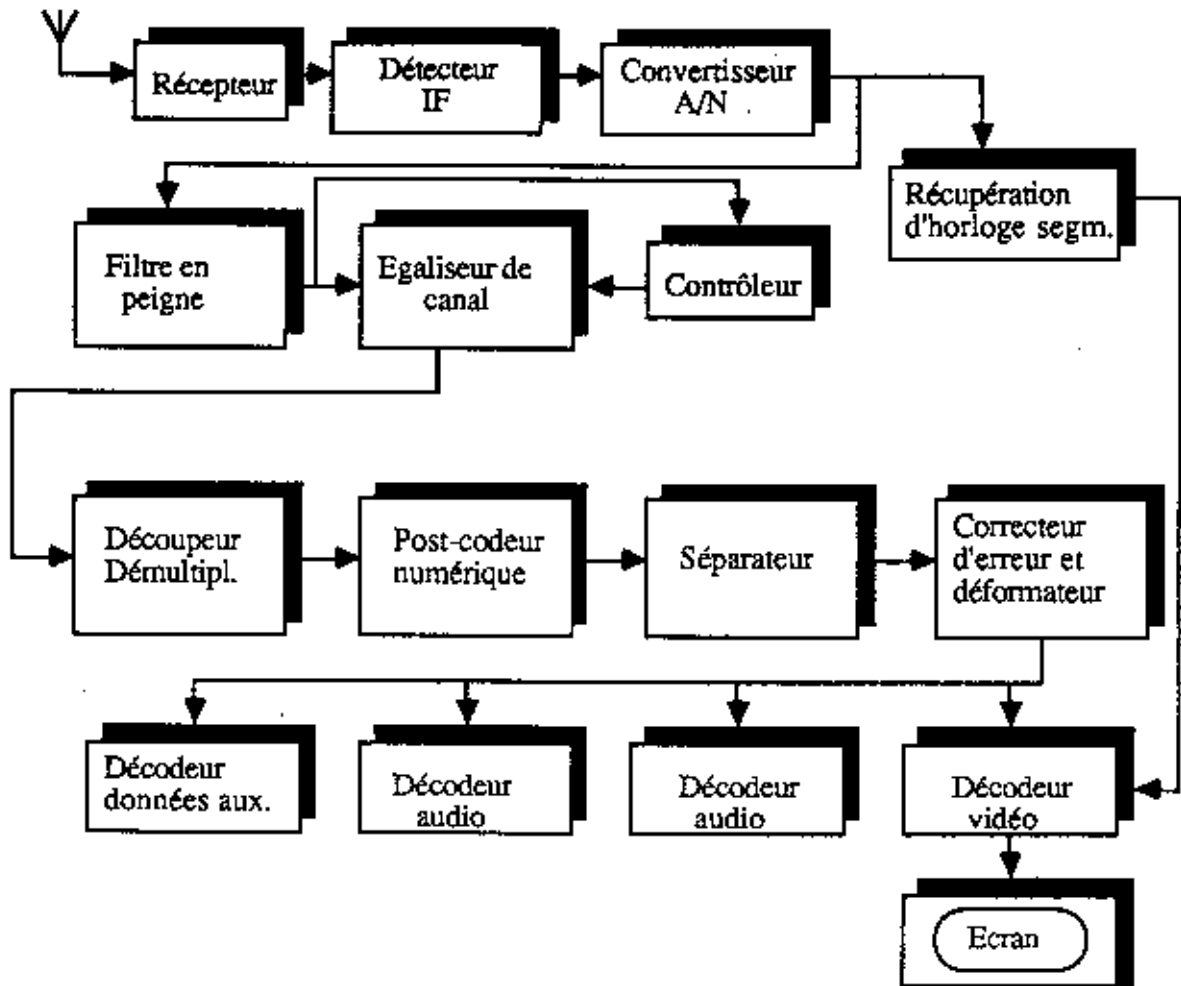


Fig. 20 Récepteur du système Zenith-AT&T.

3.5 REMARQUES ET CONCLUSIONS

Les choix effectués dans le système Zenith-AT&T sont des choix intelligents. Un effort louable est fourni pour que le système puisse évoluer le plus possible sans grands changements. Toutefois, pour satisfaire les exigences du contexte actuel américain, plusieurs parties ont dû être spécialement développées et figées. Dans une telle situation, on ne peut pas gagner sur les deux tableaux. Le compromis trouvé semble être bon. Le tout numérique (compression et transmission) est mis en oeuvre sur papier avec expertise. La partie compression est bien étudiée, hormis une réserve sur la transformation DCT. Les chercheurs de AT&T (spécialement l'équipe du Dr. A. N. Netravali) sont mondialement connus pour leurs travaux sur la compensation de mouvement. Ils ont une grande expérience du domaine, s'étalant sur environ 15 ans. L'estimation du mouvement à deux niveaux est très satisfaisante. La réserve que l'auteur a sur la DCT est son âge (20 ans!). Ils auraient pu utiliser une technique plus moderne. On peut présumer que s'ils ne l'ont pas fait, c'est à cause des délais courts

pour la compétition du F.C.C. La DCT, ainsi qu'on l'a vu, fait l'objet de trois normes. Les puces sont construites. On ne prend pas trop de risques en l'adoptant dans une telle compétition. L'utilisation de la modulation à bande résiduelle est discutable. L'auteur ignore le comportement de la partie transmission de ce système dans une situation réelle. Par ailleurs, l'adaptation de ce système à des résolutions supérieures ne semble pas être la plus triviale. Par rapport aux idéaux (section 2.1), compte tenu du contexte américain, dans l'ensemble, le système Zenith-AT&T est bien placé. Il est nettement supérieur au MUSE japonais et au HD-MAC européen. La partie compression est plus performante et la partie transmission, malgré les conditions difficiles de transmission terrestre, permet de corriger des erreurs de transmission grâce aux techniques numériques.

CHAPITRE 4

SYSTEME DIGICIPHER™ DE GENERAL INSTRUMENT CO.

4.1 INTRODUCTION

Le système Digicipher™ de General Instrument Co. est le premier système de TVHD entièrement numérique qui a été proposé à la compétition de la F.C.C.. Du coup, les autres concurrents ont modifié leur politique en abandonnant les systèmes hybrides et ont également proposé des systèmes numériques. Nous devons reconnaître ici le courage et l'audace des ingénieurs de General Instrument Co. qui ont joué un rôle de pionnier. Il faut également noter qu' il n'y a rien de nouveau dans ce système par rapport à ce qui est connu sur le plan scientifique. Des composantes connues sont reprises et adaptées au cas de la TVHD. Le système est prévu essentiellement pour la transmission dans les canaux terrestres à 6MHz. L'aspect numérique permet d'envisager une "compatibilité" avec les autres canaux de diffusion. Les concepts exploités sont identiques à ceux du système Zenith-AT&T du chapitre précédent et, bien sûr, à ceux des normes JPEG et MPEG. Le codeur accepte quatre types de données: vidéo, 4 canaux audio, données numériques et texte (télétexte) et le choix de canal. Les données sont comprimées, codées et transmises numériquement.

Nous décrivons dans ce chapitre la structure de ce système. Le format du signal vidéo et le codage font l'objet de la section 4.2. La transmission est présentée à la section 4.3. La section 4.4 décrit le récepteur. Le chapitre est conclu avec des remarques.

4.2 SIGNAL VIDÉO

4.2.1 Structure générale du codeur

Quatre types de données rentrent dans le système. Le signal vidéo sortant d'une caméra arrive sous forme de trois composantes de couleur rouge (R) vert (G) et bleu (B). Ces signaux sont traités et codés avant d'être transmis au multiplexeur. Quatre canaux audio (deux paires stéréo) recueillis par des microphones sont numérisés, traités et codés. Un processeur spécialisé accepte des données numériques et du texte (télétexte, aide aux sourds, informations sur les programmes, etc.). Finalement, un canal spécial est prévu pour l'identification et le service des téléspectateurs par abonnement. Ces quatre types de données sont multiplexés. Le rôle du multiplexeur est de produire une information sérielle à partir de quatre types d'information parallèles. Le résultat ainsi obtenu subit un codage de détection et de correction d'erreurs. Les données codées sont modulées numériquement pour la transmission. La figure 21

montre la structure générale du codeur. Dans les paragraphes suivants, les différents blocs de ce codeur sont étudiés en détail.

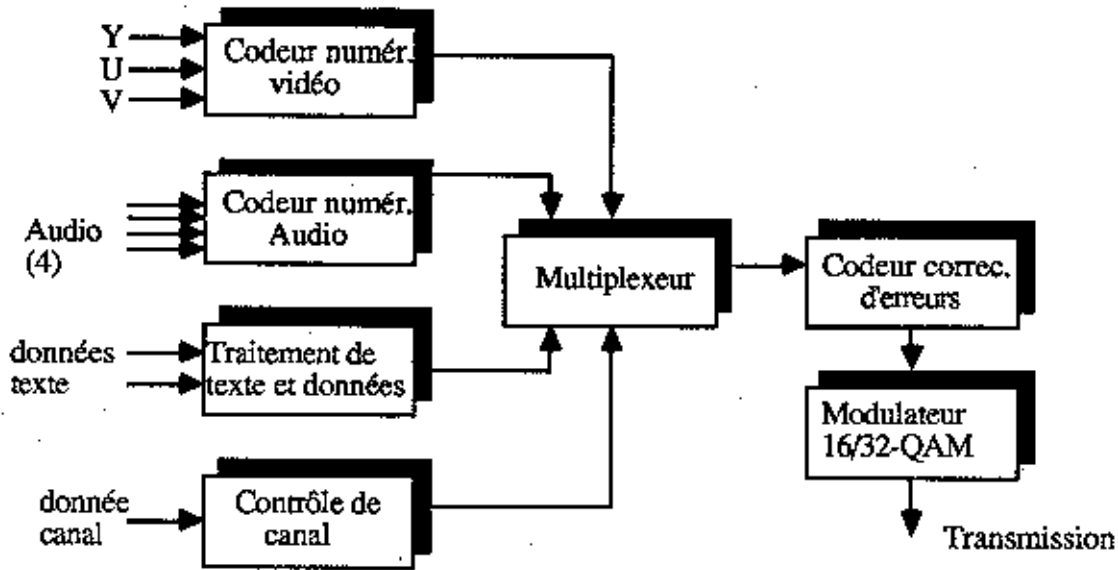


Fig. 21 Structure générale du codeur du système Digicipher™

4.2.2 Format de l'image

A l'opposé de système Zenith-AT&T, le système Digicipher™ utilise un format d'entrée entrelacé. Le nombre de lignes du système actuel NTSC (525) est doublé pour arriver à 1050. L'image (trame) de 1050 lignes est divisée en deux champs de 525 lignes chacun répétés à une cadence de 59,94 Hz. Nous considérons ceci comme un mauvais choix pour des raisons que nous avons évoquées au paragraphe 2.1.2. Le rapport d'aspect est de 16/9.

Les signaux analogiques R,G, et B venant de la caméra subissent un filtrage passe-bas avant la conversion analogique-numérique. Ceci est nécessaire pour satisfaire les conditions du théorème d'échantillonnage [1]. Ensuite chaque composante est échantillonnée. Les trois composantes numériques subissent un changement d'espace couleur pour passer des signaux R,G, et B aux composantes luminance et chrominance. Cette partie est classique et on le retrouvera dans la majorité des systèmes. Comme dans le cas du système Zenith-AT&T, cette transformation se fait selon les règles de colorimétrie de la norme américaine SMPTE 240M. En se basant sur la relative insensibilité de l'oeil à la résolution des composantes de chrominance, ces deux signaux sont sous-échantillonnés. En contraste avec le système Zenith-AT&T, les facteurs de sous-échantillonnage ne sont pas les mêmes dans les deux directions. Un facteur 2 est utilisé dans la direction verticale alors que, dans la direction horizontale, on décime par un facteur 4. Ceci nous paraît un peu trop. Les variations de couleur dans le sens horizontal se trouveront être réduites. Pour obtenir une réduction d'un facteur 2 dans le sens vertical des signaux de chrominance, on élimine un champs sur

deux. Dans le sens horizontal, un filtre numérique passe-bas est utilisé pour respecter le théorème d'échantillonnage. La luminance ne subit aucun sous-échantillonnage. La taille de l'image numérique est de 1408 x 960 points pour la luminance et de 352 x 480 pour la chrominance. Le premier nombre est pour la direction horizontale. Les signaux numériques de luminance et de chrominance réduits sont groupés dans des structures en bloc. Trois types de blocs sont définis: bloc simple renfermant 8 x 8 points images, super-bloc de taille 32 h x 16 v pour la luminance (équivalent à un bloc simple pour la chrominance, compte tenu de la décimation) et macro-bloc formé de 11 super-blocs juxtaposés horizontalement. Les signaux de luminance et de chrominance sont multiplexés bloc par bloc pour subir un même traitement. Ces opérations sont représentées dans la première partie de la figure 22.

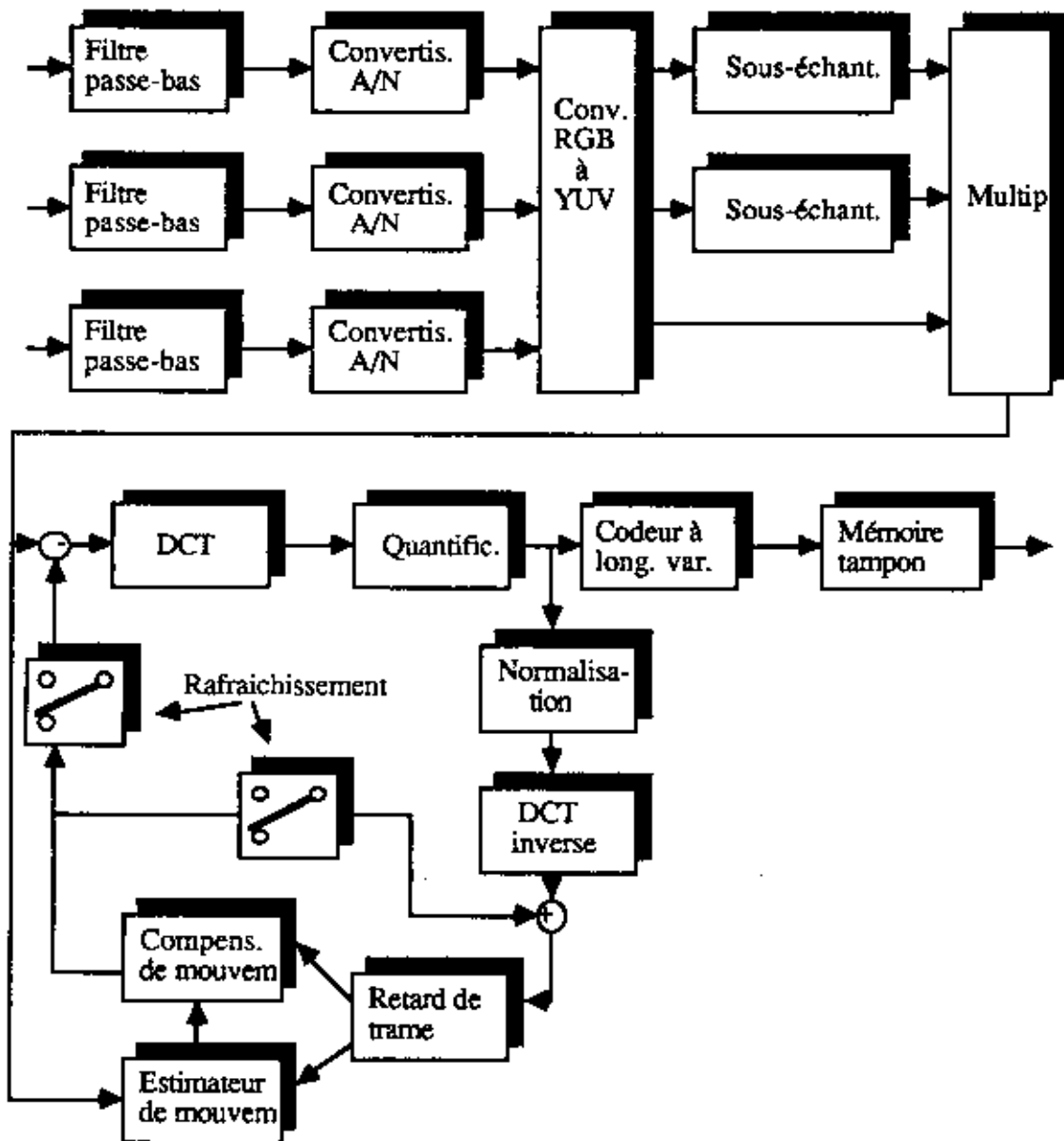


Fig. 22 Codeur vidéo du système Digicipher™

4.2.3 Compression du signal vidéo

Le principe utilisé est le même que celui de la norme MPEG et celui du système Zenith-AT&T. La redondance temporelle est réduite par compensation de mouvement. La redondance spatiale est réduite par la transformation DCT.

L'exploitation de la redondance temporelle est basée sur la prédiction de l'image suivante. Le signal comprimé sera la différence entre l'image actuelle et sa prédiction. L'image est divisée en bloc. Le mouvement de chaque bloc est estimé. La taille de bloc adoptée est celle d'un super-bloc de luminance ou, d'une manière équivalente, celle d'un bloc simple de chrominance. Pour chaque bloc, on cherche dans l'image suivante la nouvelle position de ce bloc (Fig. 3). Pour limiter le temps de calcul la recherche est restreinte à une région plus petite que l'image complète. Dans le système DigicipherTM cette région est relativement petite: déplacement de 32 points horizontalement et de 8 points verticalement (dans les deux sens). Ceci permet de détecter et de reproduire le mouvement d'un objet se déplaçant d'une image à la suivante de 2,3% de la largeur totale et de 0,83% de la hauteur totale. Par comparaison avec le système Zenith-AT&T (11% largeur, 7,5% hauteur), on remarque que le choix n'est pas très performant. Le vecteur de mouvement de chaque bloc est représenté par 10 bits, 6 bits pour la direction horizontale et 4 pour la direction verticale.

Le système DigicipherTM utilise deux stratégies pour le codage de mouvement. Les deux stratégies sont appliquées simultanément mais on retient celle qui nécessite le nombre de bits le plus faible pour sa description. La première stratégie consiste tout simplement à effectuer la compensation de mouvement et le codage de l'erreur de prédiction. La seconde consiste à ignorer totalement le mouvement et à décrire le bloc comme si c'était un bloc d'une première image d'une séquence. Ce choix est indiqué au décodeur par un bit par bloc. Dans la plupart des scènes, la compensation de mouvement est utilisée entre 85 et 100% du temps. Toutefois, lors du passage d'une scène à une autre, ceci tombe plus bas que 10%.

Si le téléspectateur change de canal, on ne dispose pas forcément de l'information sur l'image précédente. Pour résoudre ce problème, le système est forcé de coder tous les blocs au moins une fois sans compensation de mouvement dans un intervalle de 0,37 seconde. Ceci revient à "remettre à zéro" les compteurs de mouvement une fois chaque 11 images. Le prix payé pour cette opération absolument nécessaire est une réduction de l'efficacité évaluée à environ 9%.

Sur la base des principes utilisés, on peut dire que le traitement du mouvement dans le système DigicipherTM n'est pas aussi performant que celui du système Zenith-AT&T.

La redondance spatiale est réduite par la transformée DCT appliquée à des blocs 8 x 8. Les coefficients transformés sont ensuite quantifiés et codés. Après la transformation, on utilise 12 bits pour représenter chaque coefficient. Afin

d'améliorer l'efficacité du codage, les coefficients subissent d'abord une pondération. Chacun d'entre eux est multiplié par un nombre préétabli, qui ne change pas quelle que soit la situation. On peut interpréter ceci comme une adaptation locale de la quantification, mais sous sa forme la plus simple. Ces poids sont établis il y a déjà un certain temps par des chercheurs, soit disant sur la base de tests psychovisuels pour ne pas dire de touillage [13]. Les coefficients pondérés sont ensuite divisés par le facteur de quantification qui est ajusté périodiquement selon la complexité de la scène et selon les caractéristiques visuelles. Celles-ci sont dans leur plus simple forme. Toutefois, cela fait bien de parler du système visuel humain! Après cette division, on retient les 8 bits les moins significatifs sur les 12 de chaque coefficient, car les autres sont systématiquement nuls (d'après les expériences des ingénieurs de General Instrument Co.). La méthode de quantification décrite ci-dessus n'est pas appliquée à la composante continue (premier coefficient de la DCT) car celui-ci se comporte très différemment des autres. Rappelons que le système Zenith-AT&T évite ceci en soustrayant la valeur moyenne de chaque bloc avant la transformation.

Après la DCT et la quantification (Fig. 22), il faut effectuer le codage proprement dit. Celui-ci est basé sur un principe évident qui consiste à utiliser des mots courts pour des messages arrivant très fréquemment et des mots plus longs pour les autres messages pour gagner en moyenne. Il y a un code optimum, appelé code de Huffman, qui est préconisé ici. Ce code nécessite la connaissance de la statistique des messages à coder. Le codeur génère ces statistiques et les transmet au récepteur avant chaque trame. Pour appliquer ce codage, on balaye les 64 coefficients d'un bloc transformé 8 x 8. On code l'amplitude et la position de ceux qui ne sont pas nuls. Un mot code spécial est réservé pour indiquer la fin d'un bloc. Le balayage est type zig-zag (Fig. 9)

4.2.4 Traitement des champs et des trames

L'utilisation regrettable d'un format entrelacé nécessite un traitement spécial. On dispose de deux options. Soit on traite les champs séparément en divisant chaque trame (image) en deux champs obtenus par groupement des lignes d'indice impair et pair respectivement, soit on traite l'image complète formée en alternant les lignes de deux champs. Ces deux possibilités sont montrées à la figure 23. Le traitement de la trame complète est meilleur dans les cas où il n'y a pas de mouvement ou s'il y a peu de mouvement. La corrélation entre les lignes successives est dans ce cas plus grande. Le traitement séparé des champs est meilleur dans les cas où il y a des mouvements d'objets détaillés. Dans ce cas, l'alternance des lignes prises en deux instants différents peut conduire à des fréquences spatiales (verticales) erronées, réduisant la corrélation interligne.

Le système DigicipherTM utilise un système mixte pour tirer parti des avantages des deux types de traitement. Un critère local permet de décider du type de

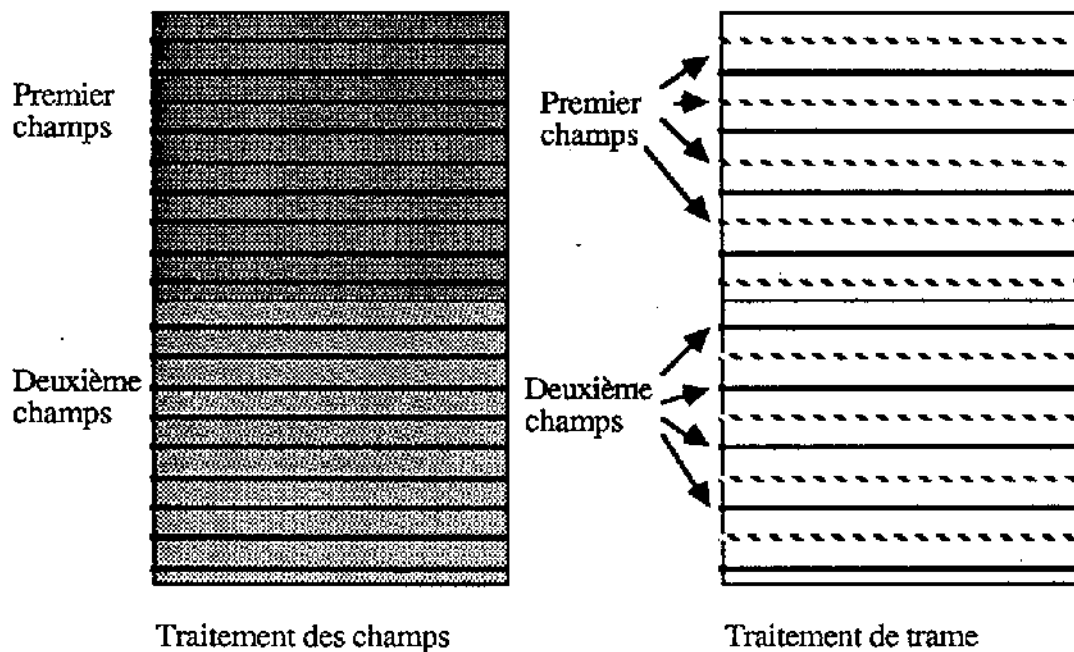


Fig. 23 Traitement des champs et des trames.

traitement qu'il faut adopter. La localité du critère permet de s'ajuster à des scènes contenant des parties avec et sans mouvement. Même si les détails de ce critère ne sont pas donnés, on devine qu'il est basé sur une mesure de l'erreur commise en utilisant l'un ou l'autre des traitements. Il est clair que cette complexité n'est nécessaire que pour des formats entrelacés.

4.2.5 Mémoire tampon

Le codeur, ainsi qu'il a été décrit, produit une suite de bits à cadence variable. Une mémoire tampon est nécessaire pour les reproduire à cadence régulière. La taille de cette mémoire est choisie suffisamment grande pour contenir des variations de l'ordre de plus ou moins un champs. L'état de remplissage de cette mémoire est surveillé en permanence à l'aide de deux seuils. Dès que le seuil supérieur est atteint, on diminue la valeur du facteur de quantification. Ceci augmente la précision de la quantification des blocs et ralentit la production des résultats codés. Ainsi le niveau d'occupation de la mémoire tampon baisse. Si le seuil inférieur est atteint, on augmente la valeur du facteur de quantification. La quantification se fait plus grossièrement. On peut donc produire l'information codée plus rapidement. Tant que l'occupation de la mémoire reste entre ces deux seuils, on ne change pas la valeur du facteur de quantification.

4.2.6 Signal audio

Le système utilise le codeur AC-2 des Laboratoires Dolby. Deux canaux audio

quantifiés à 16 bits sont codés et transmis avec le flux des données numériques (1200 bits/seconde) dans une suite sérielle de 252kbits/seconde. Notons que cette partie est très comparable à la partie correspondante du système Zenith-AT&T

4.3 TRANSMISSION

4.3.1 Format des données multiplexées

Plusieurs types de données sont traités dans le système Digicipher™, tels que vidéo, audio, effets spéciaux, aide aux sourds, guide des programmes, télétexte, etc. Avant l'introduction du codage détecteur et correcteur d'erreurs et la modulation, ces données sont multiplexées. Chaque paire de lignes vidéo, correspondant à une ligne NTSC peut contenir, soit 848 bits, soit 1160 bits d'information, selon le mode de modulation choisi. Le format des deux premières lignes est spécial. Dans ce format, 24 bits sont réservés pour la synchronisation, 56 bits pour le contrôle du système, 8 bits pour les données numériques et 8 bits pour le contrôle de canaux. Le reste est réparti entre 32 bits pour l'audio et 720 ou 1032 pour la vidéo selon la modulation. Les paires de lignes suivantes (3 et 4 jusqu'à 1049 et 1050) ne contiennent plus de bits de synchronisation ni de contrôle de système. Ces bits récupérés sont affectés à la vidéo.

4.3.2 Codage détecteur et correcteur d'erreurs

Le codage pour la détection et la correction des erreurs est effectué avec deux types de code: code en treilli concaténé et code de bloc. Il n'est pas nécessaire de rentrer ici dans le détail de ces codes spécifiques. Le code Reed-Solomon est utilisé pour ses performances connues contre les erreurs par paquets. La sortie de ce codeur est mise en série pour être codé en treilli. Le résultat est deux séries de bits qui peuvent être modulées en quadrature. Les paramètres de ces deux codes sont choisis de manière à pouvoir faire fonctionner le système avec un rapport porteuse-sur bruit de 12,5 dB ou de 16,5 dB selon le type de modulation. A ces niveaux de bruit, il ne peut y avoir qu'une erreur (un seul bit erroné) non corrigée par minute.

4.3.3 Modulation

Le principe de modulation adopté est la modulation d'amplitude en quadrature (QAM). Deux porteuses, l'une sinusoïdale, l'autre cosinusoïdale, sont modulées par des niveaux discrets. Le nombre de niveaux discrets détermine la qualité du signal transmis et la région couverte par la transmission. Deux types de QAM sont prévues: l'une à 16 niveaux (16-QAM) et l'autre à 32 niveaux (32-QAM). La première peut couvrir une région plus vaste alors que la seconde donne une qualité supérieure. Les récepteurs sont tels qu'ils peuvent détecter automatiquement le mode transmission. Le choix entre ces deux modes est laissé aux diffuseurs locaux américains. Une précaution simple est prise pour éviter l'interférence des canaux voisins. Le spectre du signal

modulé rentre dans une bande de 6MHz. Notons qu'ici, en contraste avec le système Zenith-AT&T, une hiérarchie de modulation n'est pas adoptée. Comme conséquence, à partir d'une certaine distance depuis l'émetteur fixée par le rapport porteuse-sur-bruit, il n'y aura plus de signal.

4.4 RECEPTEUR

4.4.1 Démodulation et démultiplexage

Le signal reçu est démodulé par un récepteur classique. Une première fréquence intermédiaire est placée à 1200 MHz, valeur assez élevée pour une bonne réception des signaux dans les bandes VHF et UHF. Une seconde fréquence intermédiaire est à 43,5 MHz à cause de la disponibilité commerciale de filtres bon marché de 44 MHz. Les signaux démodulés sont traités dans un égaliseur ou régénérateur pour éliminer les distortions provoquées par l'acheminement du signal par plusieurs chemins possibles (échos). L'égaliseur est un filtre adaptatif à 256 coefficients. Ce filtre peut corriger des retards entre $-2\mu\text{s}$ et $+24\mu\text{s}$. Il peut égaliser plusieurs réflexions. Il compense également les caractéristiques non idéales des amplificateurs de transmission, des antennes et du récepteur. En cas d'interférences par un canal voisin NTSC, l'égaliseur produit des atténuations ciblées sur les fréquences des porteuses de luminance, chrominance et audio du signal NTSC. Les performances de ce filtre sont telles qu'il peut fonctionner à un rapport porteuse-sur-interférence de 0 dB pour le 16-QAM et de 5dB pour le 32-QAM. A ce niveau, les deux suites des bits obtenus sont décodées par le décodeur de canal pour la détection et la correction des erreurs. Les suites corrigées sont ensuite séparées selon le type de données (vidéo, audio, auxiliaire, etc.) par le sélecteur qui récupère aussi les signaux de synchronisation.

4.4.2 Décodage vidéo

Le décodeur vidéo effectue les opérations dans l'ordre inverse du codeur. Son fonctionnement est représenté schématiquement à la figure 24. Le décodeur de source récupère la version quantifiée des coefficients de la DCT à partir du code de Huffman. On multiplie les coefficients par le facteur de quantification pour annuler la vision correspondante effectuée à l'émetteur. La transformation CDT inverse permet de reproduire l'erreur de prédiction de mouvement. En utilisant le circuit de retard de trame, on peut obtenir l'information de chaque trame. A ce niveau, la luminance et la chrominance sont encore multiplexées. Après démultiplexage, les signaux de chrominance subissent des interpolations pour retrouver leur échelle initiale. Le long de la direction horizontale, on intercale des valeurs nulles entre les échantillons de chrominance. La nouvelle suite ainsi obtenue est filtrée par le même filtre de décimation de l'émetteur pour interpoler. Cette technique d'interpolation est bien

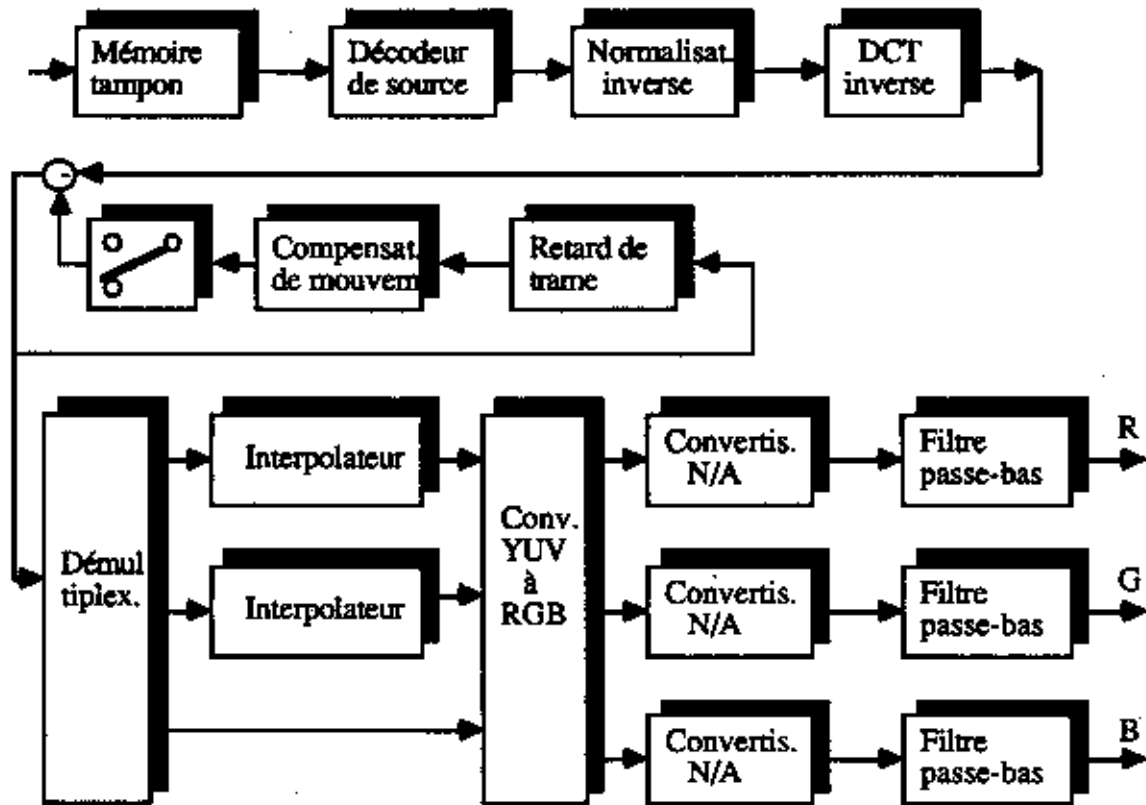


Fig. 24 Décodeur vidéo du système Digicipher™

connue et en général fonctionne d'une manière satisfaisante. Comme la décimation verticale de la chrominance est obtenue en ignorant un champs sur deux, la reconstitution se fait en répétant le même champs deux fois. Ceci est discutable car dans certains cas les artefacts peuvent être visibles. La couleur d'un objet en mouvement sera plus saccadée que sa luminance. Une interpolation plus élaborée aurait été préférable. Finalement, les signaux de luminance et de chrominance sont convertis en R,G, et B, traversent des convertisseurs numérique-analogique et sont affichés après filtrage passe-bas. Cette dernière partie est classique et bien connue.

4.5 REMARQUES ET CONCLUSIONS

Dans l'ensemble, le système Digicipher™ est un bon système comparé au MUSE ou au HD-MAC. Toutefois, certains choix sont très discutables. Parmi les points forts on peut citer d'abord l'aspect pionnier du système. C'est le premier système TVHD entièrement numérique. La partie compression vidéo utilise des concepts qui ont fait leur preuve. Comparé au système Zenith-AT&T et aux critères de la section 2.1.2, il y a aussi des points faibles. Le format entrelacé est condamnable. Il complique le système sans apporter des avantages. Le seul justificatif que l'on peut éventuellement accepter est le coût, pour l'instant élevé, des caméras progressives à

plus de 1000 lignes. Le sous-échantillonnage un peu fort des signaux de chrominance dans la direction horizontale et leur reconstitution par répétition de champs est à la portée de n'importe quel étudiant de dernière année d'une école d'ingénieur. La partie de compression temporelle est faible. La détection et la compensation de mouvement ne sont pas aussi élaborées et précises que dans le cas du système Zenith-AT&T. L'utilisation de la bonne vieille DCT est tout aussi criticable que pour le système Zenith-AT&T. En plus, la quantification des coefficients transformés n'est pas très raffinée.

Objectivement ce système n'a pas autant de chances dans la compétition FCC que le système Zenith-AT&T.

CHAPITRE 5

SYSTEME ADTV DU GROUPE ATRC

5.1 INTRODUCTION

5.1.1 Généralités

Les sociétés européennes Philips et Thomson, la société de diffusion américaine NBC et le subsidiaire du Stanford Research International (SRI), David Sarnoff Research Center ont formé un consortium appelé Advanced Television Research Consortium ou ATRC. Ils ont conçu un système de télévision à haute définition appelé Advanced Digital Television ou ADTV. Comme les deux systèmes précédents, celui-ci est également soumis à l'arbitrage de la FCC pour la transmission des émissions de TVHD dans les canaux terrestres de 6MHz. Malgré la présence de deux sociétés européennes dans le consortium, le but annoncé est de fournir au public américain un service de TVHD. Le système ADTV est 'tout numérique' aussi. Il est légitime de se demander pourquoi ces deux mêmes sociétés ont été à l'origine d'un système peu performant à transmission analogique en Europe (HD-MAC), alors que les conditions non terrestres y sont nettement plus favorables aux transmissions numériques et proposent aux Etats Unis un système 'tout numérique'.

Le système ADTV s'articule autour de trois points que les concepteurs aiment souligner. La compression est basée sur une méthode appelée MPEG++ qui reprend la norme MPEG, en incorporant un niveau de priorité dans les données pour leur protection ultérieure. Un système cellulaire est utilisé pour le transport prioritaire de données. Enfin, la modulation d'amplitude en quadrature (QAM) est utilisée avec un formatage spectral spécial pour éviter les interférences avec les canaux voisins NTSC.

Dans ce chapitre on présente d'abord les particularités du système de compression MPEG++. Ensuite, la section 5.3 traite le système d'établissement des priorités. Le formatage des données pour la transmission est décrit à la section 5.4. La façon particulière d'utiliser la modulation d'amplitude en quadrature est décrite à la section 5.5. Finalement, les conclusions et les remarques sont données à la section 5.6.

5.1.2 Structure du système global

Le système est conçu comme une structure à quatre niveaux. Un nom spécial est donné à chacun des niveaux. Toutefois, on retrouve dans l'ensemble les éléments conventionnels de tout système de transmission d'information. La figure 25 montre l'émetteur. Les quatre niveaux sont identifiés par des rectangles de fond. Le codeur de source constitue le premier niveau. A partir des signaux d'entrée (vidéo, audio, données), il produit une représentation comprimée, après prétraitement et réduction

de redondance. Selon l'importance de chaque type d'information dans la représentation codée, le codeur de priorité attribue des priorités, au deuxième niveau. Ici, on identifie les protections nécessaires à chaque élément d'information

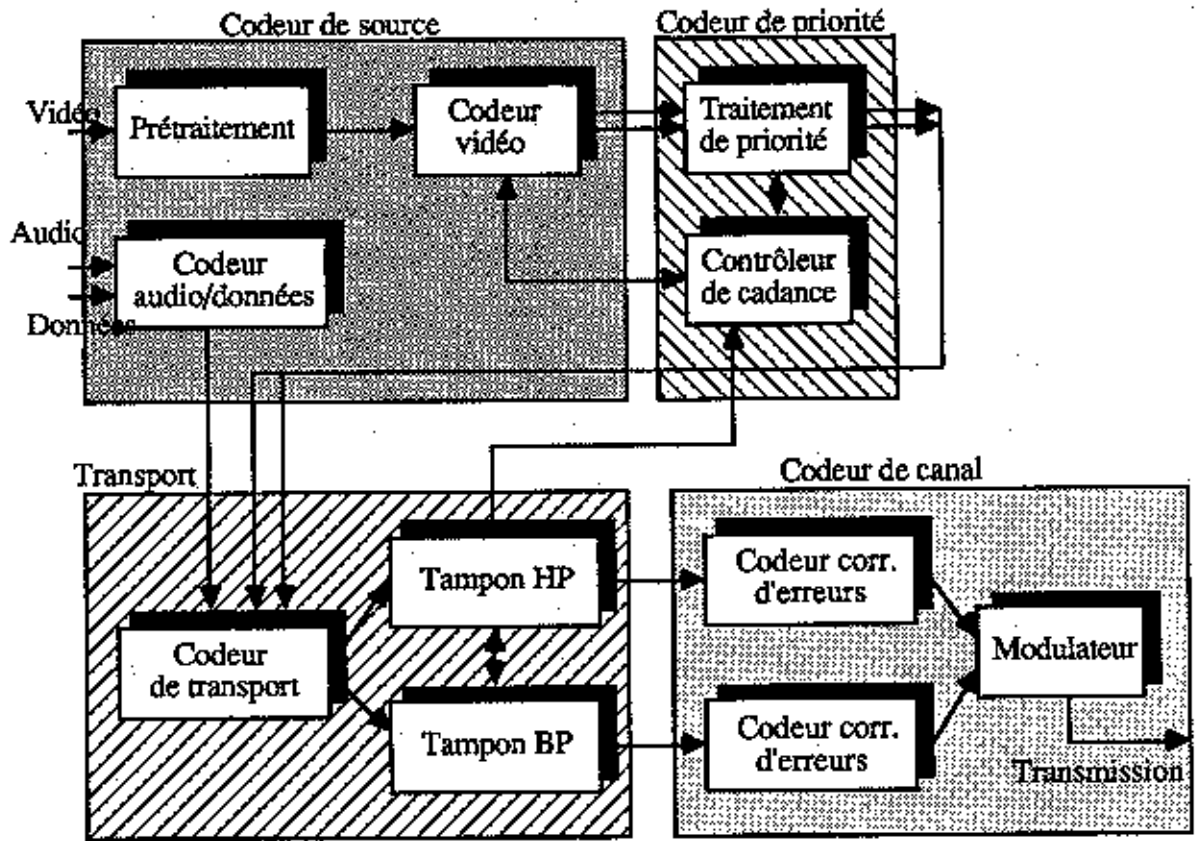


Fig. 25 Emetteur du système ADTV

(typiquement un groupe de bits) et à chaque type d'information (mouvement, vidéo, audio, etc.). Les priorités sont assignées selon les règles préétablies et d'une manière dynamique. En effet, si les mémoires tampons se remplissent, le contrôleur de cadence détecte ce remplissage et agit sur les priorités pour baisser la cadence. Au troisième niveau, le codeur de transport multiplexe d'une façon asynchrone les données arrivant avec des priorités différentes pour créer des unités de transport appelées cellules (un peu comme les containers du fret aérien!). Les cellules sont de taille fixe (256 bytes ou 256 x 8 bits). Chaque cellule est protégée selon sa priorité. C'est également ici (Fig. 25) que la cadence asynchrone de l'entrée est régulée par les mémoires tampons pour être synchrone à la sortie. Enfin, au dernier niveau, les codes détecteurs et correcteurs d'erreurs sont introduits avant de moduler les porteuses du QAM.

Le récepteur effectue les opérations inverses comme on peut le voir à la figure 26. Le signal reçu est d'abord traité dans le décodeur de canal. On l'y égalise pour

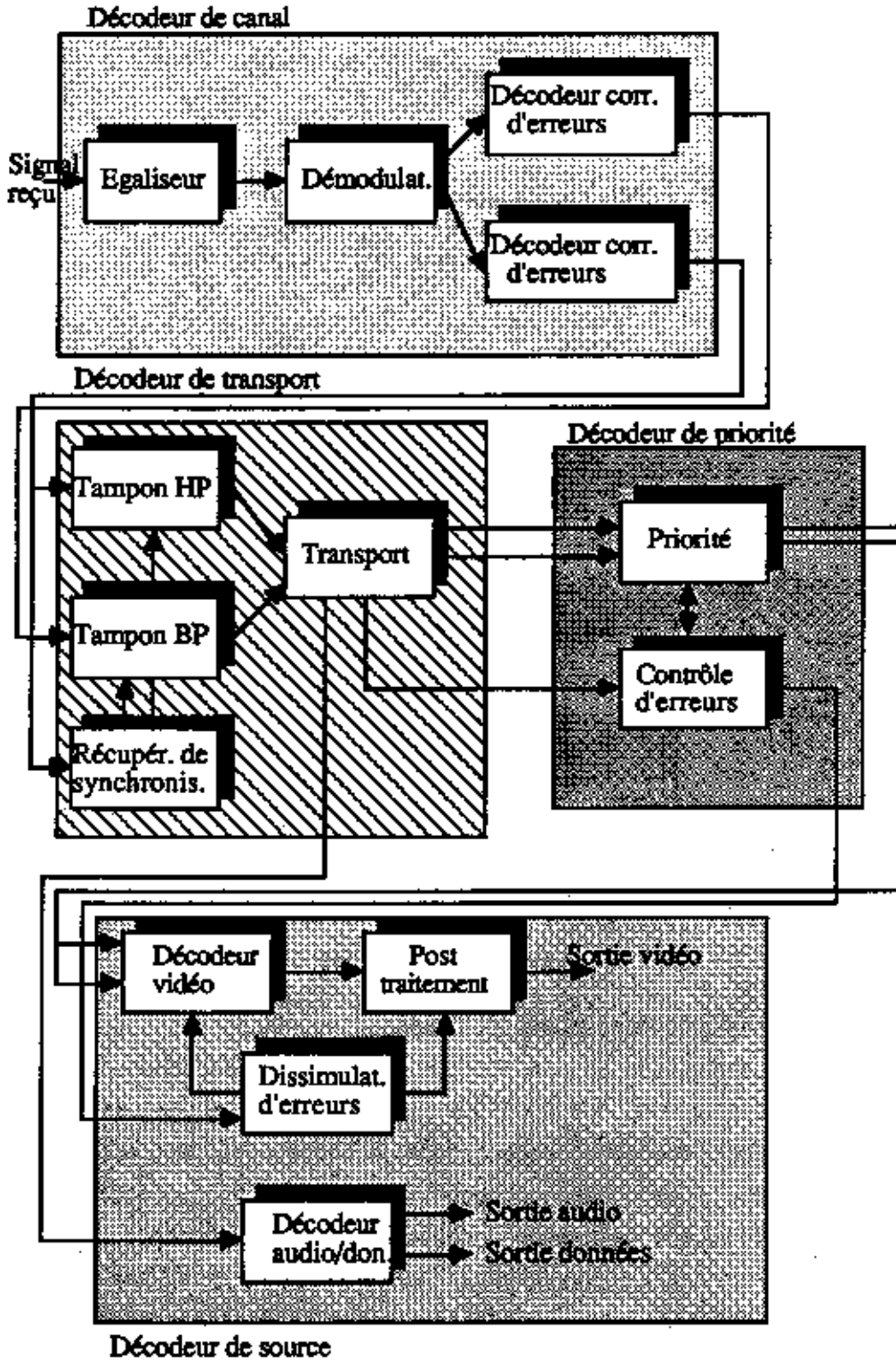


Fig. 26 Récepteur du système ADTV

atténuer les effets des interférences éventuelles. Ensuite, après la démodulation, la suite de bits obtenus est vérifiée pour détecter et corriger les erreurs. Le décodeur de transport a pour but de récupérer les cellules d'information par segmentation des suites de bits et de les fournir au décodeur de priorité à sa demande. Ceci nécessite l'utilisation des mémoires tampon. Par ailleurs, il récupère également le signal de

synchronisation nécessaire à la mise au rythme du reste du système. Le décodeur de priorité n'est rien d'autre qu'un démultiplexeur asynchrone. Après avoir reconstitué la liste des priorités reçues par les informations de contrôle, le tri s'effectue selon cette liste. S'il y a des éléments de données qui manquent ou qui ont été signalés comme erronés, ces informations sont expédiées plus loin aux décodeurs correspondants. Finalement, le décodeur de source décomprime les données pour obtenir les signaux vidéo et audio ainsi que les données de service (télétexte, etc.).

5.1.3 Remarques

Même si la description précédente utilise une terminologie un peu différente (niveaux de traitement, priorité, transport, ect.) l'essentiel des fonctions est commun à tous les autres systèmes. En reprenant la même terminologie que les instigateurs du système, nous avons voulu simplifier les recherches éventuelles de renseignements ultérieures. Par exemple, l'idée des priorités se retrouve dans le système Zenith-AT&T au niveau de la modulation 2-VSB et 4-VSB. La nouveauté ici est l'introduction d'une couche intermédiaire (transport) qui s'inspire fortement du système normalisé ATM (Asynchronous transfert mode - mode de transfert asynchrone) prévu pour le réseau RNIS (Réseau numérique à intégration de service) à large bande utilisant les fibres optiques. D'une manière imagée, on peut voir ceci comme le transport de marchandises. Les paquets emballés sont chargés sur un camion qui part en des instants fixes. S'il y a assez de paquets en stock, on peut remplir le camion, donc l'utiliser efficacement. Mais s'il y a plus de paquets qu'il n'y a de la place dans le camion, les derniers paquets attendront le camion suivant. En fait, dans le système réel ATM, ces paquets sont perdus.

5.2 COMPRESSION MPEG++

5.2.1 Format du signal

Le format du signal prévu pour une phase initiale non précisée est de 1050 lignes, entrelacées avec un rapport d'aspect de 16/9 et une fréquence de répétition de trame de 29.97 Hz. Ce format est le même que celui du système DigicipherTM de General Instrument Co. Les images numériques de luminance ont 960 lignes et 1440 points par ligne. La chrominance est sous-échantillonnée par un facteur deux dans les deux dimensions. Ainsi, l'image de chrominance est de 480 lignes et 720 points par ligne. A quelques points de l'axe horizontal près, les formats des images numériques sont également les mêmes. La colorimétrie du système est toujours selon la norme américaine SMPTE 240M. Pour se démarquer quand même des autres systèmes, ici chaque échantillon de chrominance est prélevé au centre géométrique de ses quatre voisins de luminance.

5.2.2 Codage de source

Comme la compression utilisée dans le système ADTV est basée sur la norme MPEG présentée au paragraphe 2.4.4, nous ne reviendrons pas ici sur les principes de base. Nous présenterons la manière particulière choisie pour mettre en oeuvre cette norme dans le contexte TVHD, ce qui le transforme en MPEG++. Le système contient les mêmes types d'images: intra (I), prédite (P) et interpolée (B). Les images de type I et P servent de repère dans la séquence. La figure 27 montre le codeur de source du système ADTV. Comme on a besoin des images repères I et/ou P pour traiter une image B, le séquenceur d'entrée transforme l'ordre chronologique des images en un ordre traitable par le processeur. Par ailleurs, la transformée DCT et l'estimation de mouvement fonctionnent sur des structures de données en bloc. Un convertisseur à l'entrée transforme les images en ligne en images en bloc. Le bloc de base contient 8 x 8 points comme dans les autres systèmes. Un macro bloc est défini par 4 blocs adjacents de luminance et deux blocs de chrominance (U et V).

Les trois types d'images (I, P et B) sont traitées et codées différemment. Une image de type I subit une transformation DCT 8 x 8, macrobloc par macrobloc. La composante continue est quantifiée avec un quantifieur fixe. Les autres coefficients sont pondérés avant la quantification. Un quantifieur à pas uniforme est utilisé pour tous ces coefficients. Toutefois, le contrôleur de cadence dans le codeur de priorité (Fig. 25) agit sur le niveau de quantification pour réguler la cadence. C'est donc une

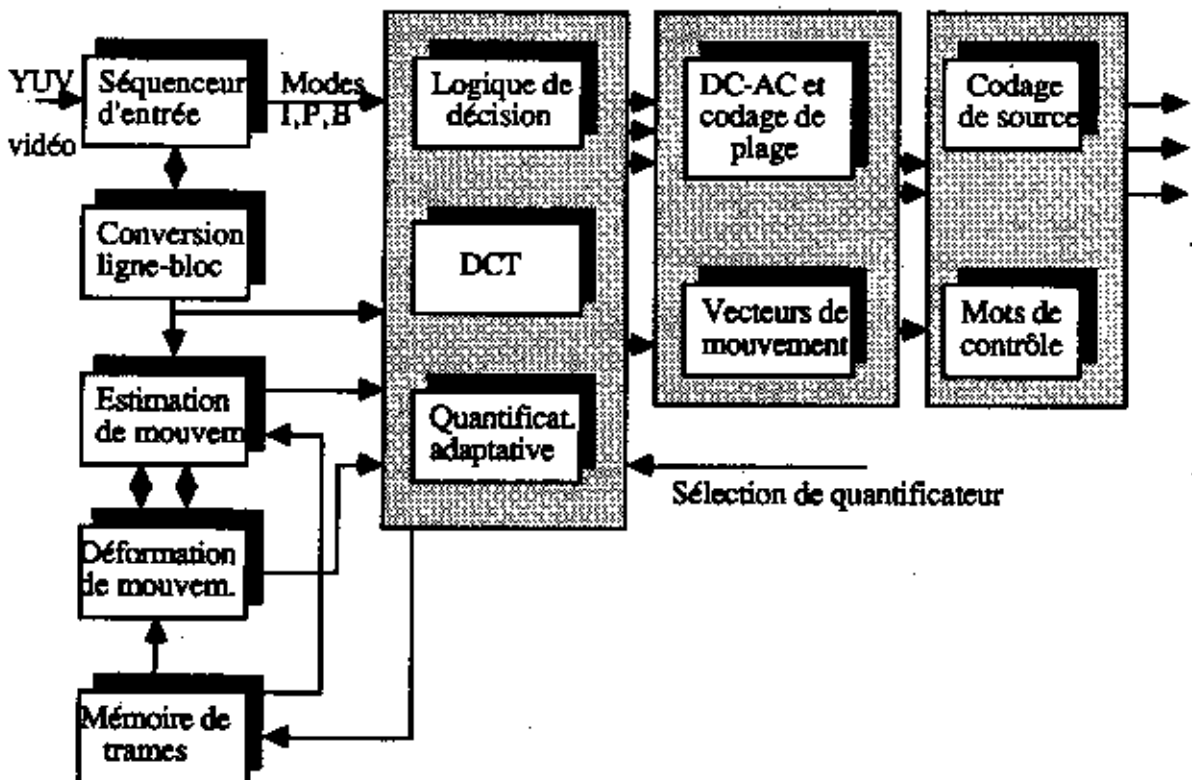


Fig. 27 Codeur de source global du système ADTV

quantification uniforme (à pas constant), mais adaptative (le pas varie en fonction d'une information de consigne). Les images de type I sont décodées aussi bien au récepteur qu'à l'émetteur pour que l'on utilise une copie exacte de ce qui est reçu pour traiter les images de type P et B. Une image de type I décodée à l'émetteur est mémorisée comme référence dans la mémoire de trames.

Les images du type P sont codées en estimant le mouvement des blocs pour les prédire et en calculant la DCT sur l'erreur de prédiction. Un macrobloc d'une image de type P peut subir trois types de traitement: codage comme une image I, prédiction sans compensation de mouvement et prédiction avec compensation de mouvement. Les critères utilisés pour choisir le traitement particulier sont une faible variance et faible différence temporelle. Dans les deux derniers cas, on utilise à nouveau la DCT dont les coefficients sont quantifiés uniformément.

Les images du type B ont les mêmes modes que les images P. Mais elles peuvent être en plus compensées en mouvement bidirectionnellement, ou monodirectionnellement progressif ou retrograde. Dans tous les cas, la DCT est appliquée, suivie d'une quantification uniforme. Le codage de source est effectué d'une manière très conventionnelle. Les informations comprimées sont alors transférées au codeur de priorité (extrême droite de la figure 27).

La figure 28 montre le détail du codage de source. L'espace des coefficients est

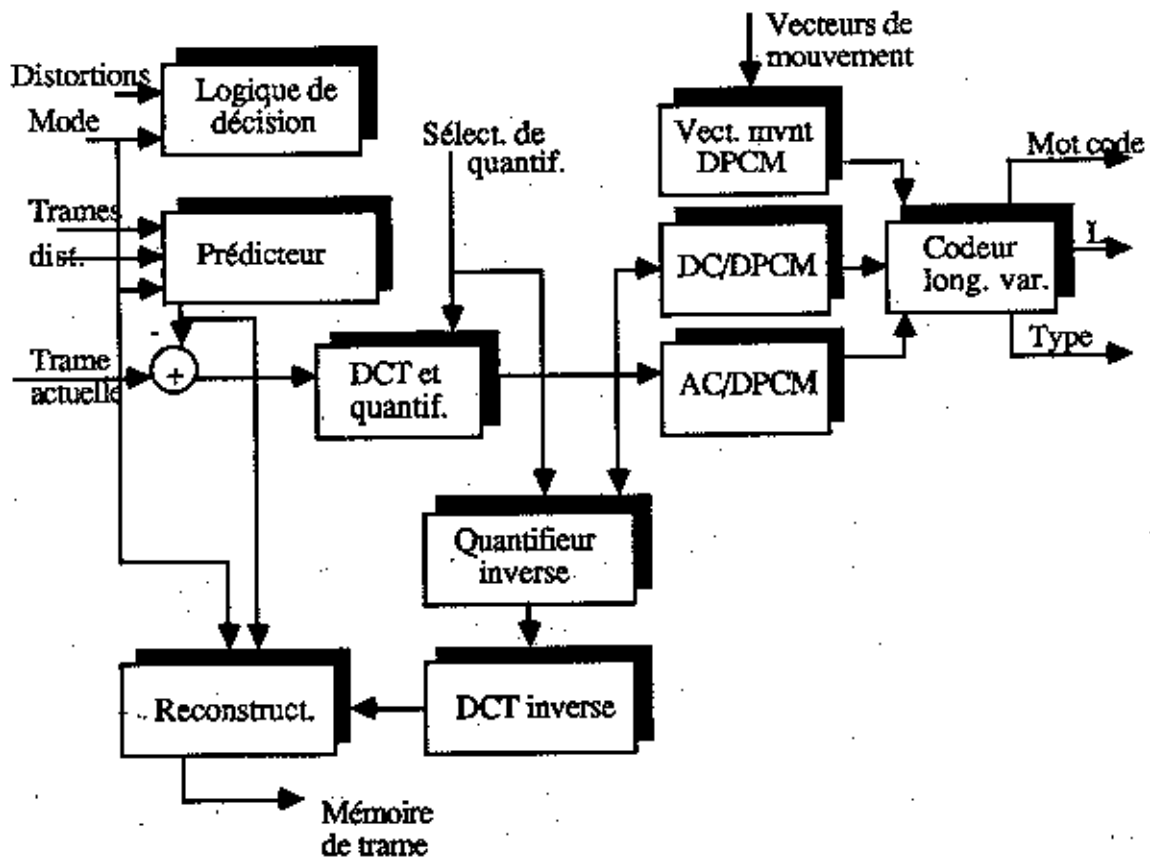


Fig. 28 Codage de source dans le système ADTV

balayé en zig-zag. La composante continue (DC) d'un bloc est le premier coefficient de la DCT. Ces coefficients sont codés différemment dans toute une image. Tous les autres coefficients quantifiés (AC) sont codés différemment avec un code à longueur variable (mot court pour les événements très fréquents). Le dernier codeur fournit alors le mot code, sa longueur L et son type. La fin d'un bloc est indiquée avec un mot code spécial. Les vecteurs de mouvement sont également codés d'une façon différentielle. Les mots codes ainsi obtenus passent ensuite au codeur de priorité. Il faut voir ce codeur comme une réalisation particulière des principes de la norme MPEG. Les mêmes fonctions peuvent être réalisées de plusieurs manières différentes.

Comme d'habitude, le décodeur effectue les opérations inverses. Le schéma-bloc du décodeur est montré à la figure 29. L'information reçue est séparée selon les types des données. Le décodeur à longueur variable reconstitue les coefficients des blocs transformés, ainsi que les informations de contrôle (type I,P,B, etc.). Une fois que toutes les informations ont été décodées, la transformation DCT inverse et les vecteurs de mouvement permettent la reconstitution des images les unes après les autres.

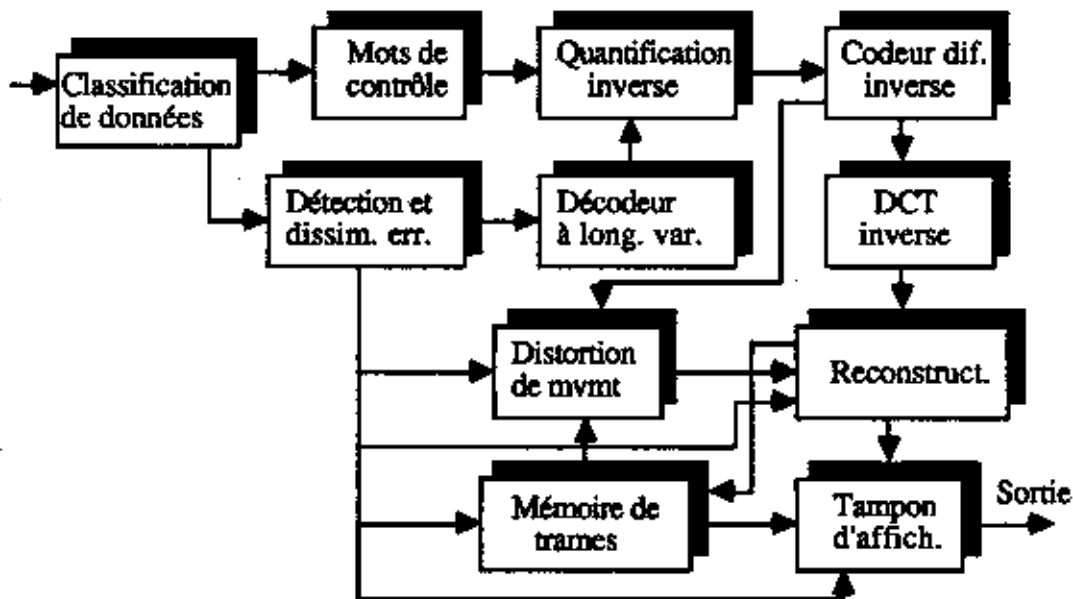


Fig. 29 Décodeur de source du système ADTV

5.3 PRIORITÉS

5.3.1 Préambule

Le codeur de priorités est formé de deux blocs. Le premier est le traitement des priorités et le second le contrôleur de cadence (Fig. 25). Une représentation plus détaillée est donnée à la figure 30. Les deux blocs sont décrits séparément ci-dessous.

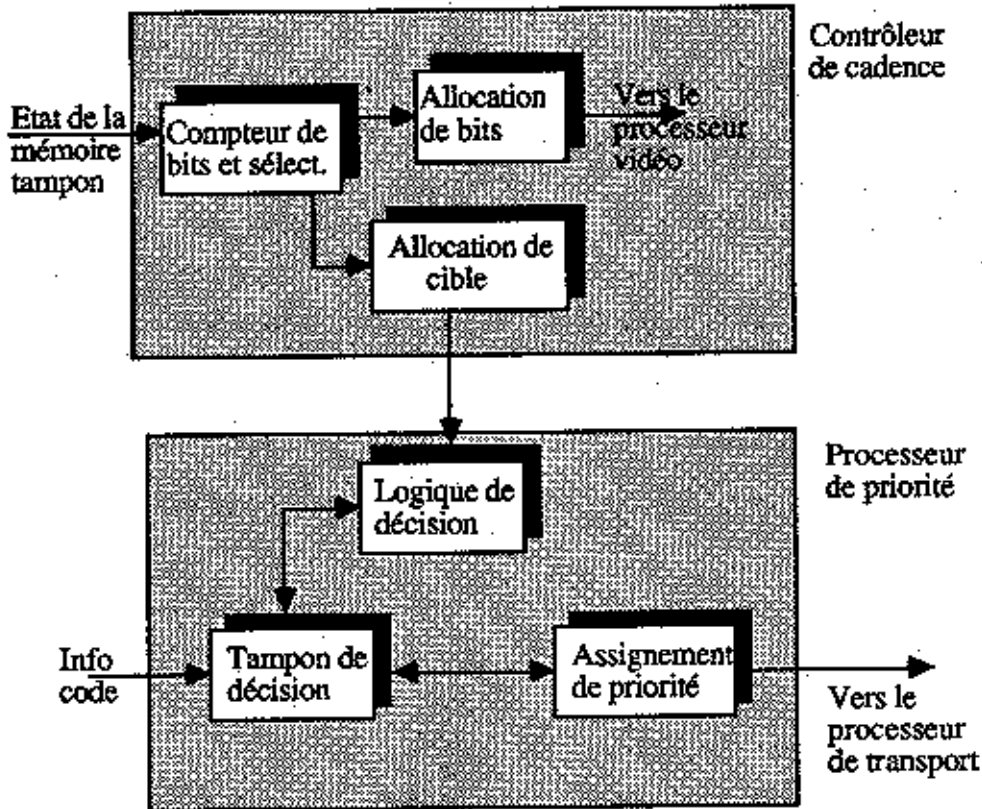


Fig. 30 Codeur de priorité du système ADTV

5.3.2 Traitement des priorités

Le bloc de traitement des priorités assigne une priorité à chaque élément de données. Ceci peut être interprété comme une opération de classement, chaque classe étant caractérisée par une valeur de priorité. Deux classes sont définies: information à haute priorité (HP) et information à bas priorité (LP).

Le traitement de priorité effectue les fonctions suivantes. Sur la base des informations fournies par le contrôleur de cadence sur un groupe particulier d'images, il pré-attribue les bits HP et BP pour toutes les images du groupe. Le rapport des bits HP aux bits BP peut varier d'image à image. Par ailleurs, il attribue les priorités HP/BP aux suites de bits codés générés par le codeur stocké dans les mémoires correspondantes. Finalement, il effectue une mise à jour des deux tâches précédentes selon un certain nombre d'informations de contrôles.

Un ordonnancement des mots codes est également effectué selon l'importance relative de chaque type d'information. C'est dans cet ordre qu'ils sont stockés dans les mémoires tampons correspondantes. Par exemple, pour une image de type I, l'ordre est le suivant: 1) étiquette d'identification, 2) composante continue DC, 3) coefficients de basses fréquences et 4) coefficients de hautes fréquences. Pour les images de type P ou B, on intercale en deuxième position les vecteurs de mouvement. La priorité HP ou LP est attribuée selon la position dans la liste. Toutes les autres informations (audio, auxiliaire) sont transmises avec la priorité haute.

5.3.3 Contrôleur de cadence

Le contrôleur de cadence surveille l'état des mémoires tampons dans le codeur de transport. Selon l'état de remplissage de ces mémoires, il détermine la compression nécessaire et renvoie cette information au codeur vidéo pour modifier les paramètres de quantifications. Par ailleurs, connaissant l'état de remplissage des mémoires tampons, le contrôleur de cadence détermine le rapport des bits HP et de bits LP qui sera utilisé comme préattribution.

5.4 FORMATTAGE POUR LE TRANSPORT

Le codeur de priorité et le codeur de transport échangent toutes les informations à transmettre. Les données, leur type, leur taille, l'information bloc-macro-bloc sont de telles informations. Le codeur de transport groupe les éléments de données qui doivent être transmises ensemble, et affecte ce groupe d'une étiquette. L'unité de base pour le transport est une cellule, similaire à celle des communications modernes par paquets. Chaque cellule est de taille fixe. Elle contient une région d'étiquette et une région de charge où l'on déposera les informations à transmettre. La frontière entre ces deux régions n'est pas fixe et varie en fonction de l'information transportée. La partie charge contient des bits de contrôle d'erreurs. La partie d'étiquette contient des informations de chaînage ou de segmentation qui permettent aux données de se suivre dans des cellules différentes. Cette procédure permet d'éviter la propagation des erreurs de transmission parmi les données. Si une cellule contient une erreur, son contenu informationnel est perdu mais n'affecte pas les éléments de données qui sont juste avant ou juste après dans les cellules voisines.

Au récepteur, une fois la synchronisation est établie, chaque cellule est facilement reconnaissable à cause de sa taille fixe. Elles passent une par une au contrôle d'erreurs. En cas d'erreur, l'indicateur d'erreur est "allumé" pour prévenir les unités de traitement subséquentes.

A l'émetteur aussi bien qu'au récepteur il est nécessaire de disposer de mémoires tampons pour emballer les données dans des cellules de transport de taille fixe remplies d'une manière asynchrone, alors que le codeur de canal et le codeur de transport communiquent avec une horloge fixe. La conséquence de ces mémoires est l'introduction d'un retard sur le signal vidéo. Le retard maximum dépend, d'une manière évidente, de la taille des mémoires.

Il faut remarquer que parmi les systèmes que nous avons examiné jusqu'ici, le système ADTV est le premier qui se rapproche d'un protocole informatique pour la transmission. Le fameux jour où les sons, les données et les images seront tous groupés dans le réseau RNIS à large bande, ceci peut être un avantage.

5.5 MODULATION ET TRANSMISSION

L'une des tâches essentielles du codeur de canal est de réduire le taux d'erreur à un niveau acceptable. Les deux unités de détection et de correction d'erreurs servent de liaison entre le codeur de transport et le modulateur. Chaque unité opère sur une priorité donnée (Fig. 25). Elles divisent les données en blocs et appliquent le code Reed-Solomon. Rappelons que les deux systèmes que nous avons déjà vus (Zenith-AT&T et Digicipher™) utilisent le même code.

Le modulateur est conçu pour l'environnement américain de transmission terrestre. On prétend une grande robustesse vis-à-vis des interférences du système NTSC existant. Par ailleurs, le spectre du signal transmis est modélisé de manière à limiter les interférences du système ADTV sur les récepteurs NTSC. On prétend que ces protections sont optimisées, sans donner les détails d'exécution. La modulation utilisée est la modulation d'amplitude en quadrature. Le récepteur correspondant est muni d'un égaliseur comme les autres systèmes déjà présentés. L'auteur constate une certaine avarice (pour ne pas dire une avarice certaine) dans les informations concernant le codeur de canal. Les mauvaises langues disent que c'est la partie du système qui n'est pas encore complètement développée.

5.6 REMARQUES ET CONCLUSIONS

Suivant le General Instrument Co. dans l'aventure des systèmes de TVHD tout numérique, ce consortium n'a pas pris beaucoup de risque en se basant sur la norme MPEG pour leur système ADTV. Les deux signes ++ ajoutés au nom MPEG sont, de l'avis de l'auteur, de trop. En gros, dans un système de TV il y a deux parties critiques: la compression et la transmission. Tous les systèmes en lice aux Etats-Unis utilisent les mêmes principes de compression avec quelques variations au niveau de la mise en oeuvre. Il y a des variations plus importantes quant aux techniques de transmission. Par exemple, le système Zenith-AT&T utilise la modulation à bande latérale résiduelle alors dans le Digicipher™ deux types de QAM sont prévus. Dans le système ADTV la compression MPEG est reprise telle quelle; on parle très discrètement d'une modulation QAM sans trop de précision quant à sa réalisation, mais on a mis le poids sur un aspect intéressant. En s'inspirant de ce qui est prévu pour le réseau RNIS à large bande (système ATM), ce consortium a conçu le premier système qui pourra facilement se diriger vers le monde informatique. C'est un aspect important, même si ce n'est pas vital à court terme.

Comparé aux deux systèmes précédents, Zenith-AT&T et Digicipher™, on peut placer le système ADTV entre les deux et très près du système Digicipher™. L'estimation de mouvement n'égale pas celui de Zenith-AT&T, ni la quantification des

coefficients DCT. Même si les niveaux de priorité et de transport sont intéressants, il y a presque l'équivalent dans le système Zenith-AT&T. Ce qu'il faut retenir de ce système est le concept des niveaux, fort utile dans des systèmes complexes comme celui de la télévision.

CHAPITRE 6

SYSTEME ATVA DU M.I.T.

6.1 INTRODUCTION

6.1.1 Généralités

Dans le rapport précédent [1], nous avons présenté deux variantes d'un système que nous avons appelé le système du M.I.T. Il s'agissait d'un système conçu par le Professeur W.F. Schreiber. Depuis lors, le Professeur Schreiber a pris sa retraite et son projet de télévision avancée a été repris par le Professeur J. Lim qui n'a aucune expérience dans le domaine. Le système de Schreiber a été abandonné et un autre système a été mis en place, toujours appelé "le système du M.I.T.". Celui-ci n'a rien à voir avec le système décrit dans notre premier rapport. A cause du nom qui est commun, les mérites du premier système sont aveuglément attribués au second. L'exemple typique est l'article publié dans l'hebdomadaire "Le Point" du 24-30 décembre 1990, p. 80. Le Professeur Schreiber continue de son côté à développer son système, mais sans l'infrastructure du MIT et avec des moyens restreints. Il ne pourra pas se présenter devant la F.C.C. dans les délais impartis.

Pour combler ses lacunes, le Professeur J. Lim s'est associé avec la Société General Instrument Co. (système Digicipher™ déjà présenté - Chap 4) dans un groupement appelé "American Television Alliance - ATVA". L'opération semble être montée uniquement pour profiter de l'image de marque de General Instrument Co.

Le nouveau système du M.I.T. est très similaire aux trois systèmes que nous avons décrits précédemment. La redondance temporelle est réduite par compensation de mouvement. L'erreur de prédiction est analysée par un système de transformée spéciale. Les échantillons retenus sont transmis par modulation numérique en quadrature.

Après la description du système global, nous décrivons dans ce chapitre les différents éléments de ce système. Le codage de source fait l'objet de la section 6.2. La modulation et la transmission sont présentées à la section 6.3. Le chapitre est conclu avec des remarques à la section 6.4.

6.1.2 Structure du système global

Le format du signal d'entrée est identique à celui du système Zenith-AT&T. Il s'agit d'un signal vidéo à balayage progressif de 787,5 lignes, répété 59,94 fois par seconde. Les lignes actives sont au nombre de 720. Donc, chaque image numérique est formée de 720 lignes à 1280 points chacune. Les points images représentent des surfaces carrées de la scène projetée. Le rapport d'aspect est de 16/9. Ainsi qu'il a été

mentionné au chapitre 3, le balayage progressif est un bon choix. Le réglage des paramètres d'échantillonnage pour avoir des surfaces carrées est également un bon choix. Le rôle des laboratoires AT&T n'est pas à négliger dans ces choix, vu les relations privilégiées que ces deux instituts maintiennent. D'une façon très surprenante, les signaux de chrominances ne sont pas sous-échantillonnés par un facteur 2 comme dans les autres systèmes. Compte tenu de la faible sensibilité du système visuel humain à ces signaux, un tel sous-échantillonnage aurait permis une compression importante. La raison n'est pas donnée. La figure 31 montre l'émetteur de ce système. Les signaux rouge, vert et bleu (R,G,B) fournis par la

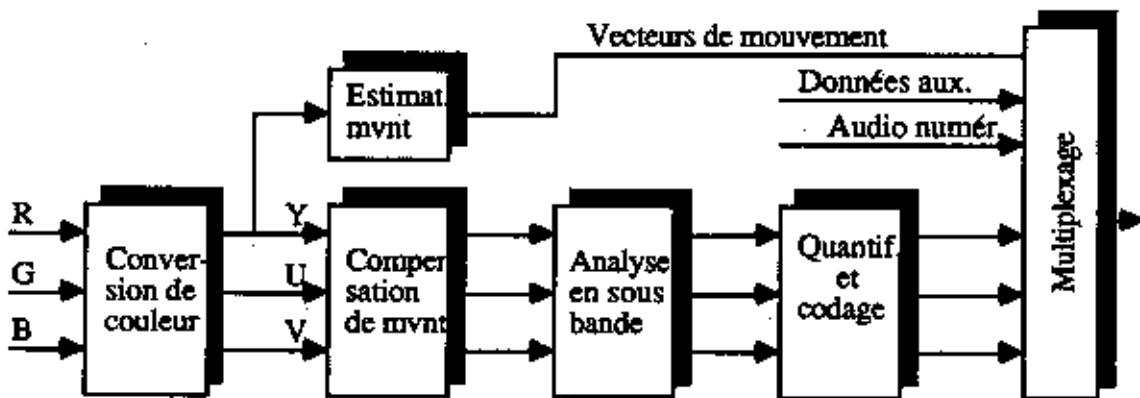


Fig. 31 Emetteur du système MIT

caméra sont convertis en luminance Y et chrominances U et V. La colorimétrie utilisée n'est pas spécifiée. Les vecteurs de mouvement sont estimés dans une image et sont utilisés pour prédire l'image suivante. La différence entre l'image actuelle et l'image prédite (erreur de prédiction ou signal résiduel) est codée par une transformation spéciale. Les signaux de sortie sont analysés et les échantillons possédant une forte énergie sont quantifiés et codés selon les principes connus déjà mentionnés. Le système admet quatre canaux audio numériques. Un débit de 0,5 Mbits/sec est réservé à ces canaux. Par ailleurs, deux canaux pour des données auxiliaires sont également disponibles avec des débits de 0,126 Mbits/sec chacun. Les données vidéo et audio codées, ainsi que les données auxiliaires et les vecteurs de mouvement, sont multiplexés pour la transmission.

Le récepteur effectue les opérations inverses (Fig. 32). Le signal démodulé est démultiplexé pour séparer les différents types de données. Le signal vidéo est décodé. L'erreur de prédiction entre deux images est reconstituée par la transformation inverse. Enfin, l'image est reconstituée en utilisant les vecteurs de mouvement reçus. Avant l'affichage, la luminance et les chrominances sont transformées en rouge, vert et bleu. La partie concernant la modulation et la transmission sera présentée plus loin.

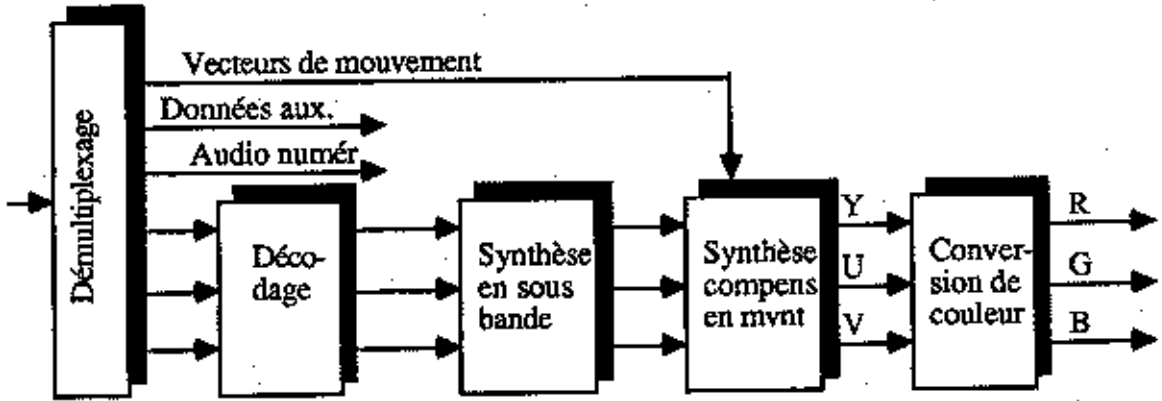


Fig. 32 Récepteur du système du M.I.T.

6.2 CODAGE DE SOURCE

6.2.1 Estimation de mouvement

La méthode d'estimation de mouvement la plus répandue est l'adaptation des blocs (paragraphe 2.3.4, Fig. 3). Elle n'est pas la seule. Si elle est tellement répandue c'est à cause de sa simplicité. Une autre méthode résulte d'une hypothèse intéressante mais presque jamais vérifiée: la nouvelle image de la séquence est la version translattée de la précédente. Sur des dimensions illimitées d'image, cette hypothèse conduit à la constance de la luminance ou de la fonction image (luminance + chrominance). Si une telle fonction est constante, son différentielle (dérivée totale) devrait être nul. C'est ainsi que l'on obtient une équation différentiel qui permet de calculer les composantes horizontale et verticale du vecteur de mouvement. Si cette méthode est appliquée sur l'image totale, le résultat est catastrophique. En effet, il n'y a pratiquement aucune séquence d'images pour laquelle une hypothèse aussi restrictive (translation à vitesse constante) est valable. Appliquée localement, elle peut donner des résultats utilisables. Il paraît que les résultats obtenus au M.I.T. par cette méthode sont d'un ordre de grandeur fois meilleurs que ceux obtenus par adaptation de blocs!

Dans le système du M.I.T., c'est cette méthode qui est utilisée. Le mouvement est estimé dans des blocs de luminance de taille 32×32 , mais utilisé également pour les deux chrominances correspondantes. La taille 32×32 semble être trop grande. Certains mouvements de petits objets ne pourront pas être bien rendus. C'est vraisemblablement pour diminuer le coût de la transmission de ces vecteurs qu'un tel mauvais choix est fait. Chaque composante du vecteur de mouvement est représentée par 6 bits. Il faut donc 12 bits par vecteur. Dans une image 720×1280 , il y a $23 \times 40 = 920$ blocs de taille 32×32 . Les vecteurs de mouvement de chaque image utilisent $920 \times 12 = 11'040$ bits. Pour 60 images par seconde, le débit est de 0,662 Mbits/sec.

L'énergie du signal d'erreur de prédiction est surveillée. Lorsque celle-ci devient trop grande par rapport à l'image, la compensation de mouvement n'est plus effectuée. Ceci arrive par exemple dans les changements de scènes ou de canaux. La norme MPEG1 et les autres systèmes prévoient de faire "une mise à zéro" chaque x images, alors que le système du MIT se laisse modifier par le contenu informationnel de la scène.

6.2.2 Codage spatial

Le codage spatial, contrairement aux systèmes précédents, n'est pas fait par la transformation DCT. C'est dans cette partie qu'un progrès est observé par rapport à cette transformation vieille de 20 ans. Dès 1984, l'utilisation d'un nouveau concept de représentation avait été introduite [14]-[15]. Il a été repris par Schreiber dans son premier système du MIT. Lim l'a récupéré au passage des pouvoirs. Il s'agit essentiellement de décomposer la séquence d'images en un ensemble de signaux, chacun occupant une bande de fréquence bien précise. Ces signaux ne se comportant pas de la même manière, il est possible d'effectuer d'importantes réductions de redondance (voir [1], paragraphe 5.5.2). On parle de **décomposition en sous-bandes** ou de **codage en sous-bandes**. Aujourd'hui la littérature est très riche sur ce sujet. Plusieurs dizaines de chercheurs y ont contribué. Malgré ceci, M. Lim aime entretenir, à la façon d'un gamin, un mystère sur cette partie en livrant très peu d'information. Les filtres utilisés pour obtenir cette représentation sont séparables. Ceci veut dire qu'un filtre unidimensionnel est utilisé dans la direction horizontale, un autre filtre (ou le même, pas précisé) est utilisé dans la direction verticale. Ce choix bien connu est pour faciliter la mise en oeuvre. Chaque filtre possède 16 coefficients. Ils sont choisis de manière à produire 64 signaux différents dans 64 bandes, 8 horizontales et 8 verticales. Chaque échantillon de l'un de ces 64 signaux est le résultat de 256 multiplications et additions (filtrage). Sans astuces, ceci peut créer d'importants problèmes dans la réalisation des circuits spécialisés. Signalons que l'auteur et son équipe disposent d'une solution brevetée à Lausanne. Les signaux de luminance et de chrominance sont traités par les mêmes filtres.

Hélas, sur cette partie du système du MIT, il y a très peu d'information. Le fait d'être très silencieux sur un domaine très bien connu des chercheurs peut signifier deux choses. Soit, ils ont trouvé une astuce et ils ne la divulgueront que lorsqu'elle sera protégée; soit ils ne sont qu'au niveau des généralités obtenues de la littérature scientifique et ne sont pas très sûrs de ce qu'ils font.

Après cette décomposition en sous-bandes, les signaux obtenus sont pondérés pour tenir compte de la sensibilité du système visuel humain. L'opération est effectuée séparément pour la luminance et les deux chrominances. Après pondération, sont retenus seulement les coefficients qui ont une certaine énergie. A partir du coefficient le plus énergétique, on retient dans l'ordre décroissant tous les coefficients jusqu'à ce

que les bits disponibles pour leur codage soient épuisés. A chaque image, 0,249 Mbit sont alloués pour ce codage. Le débit du vidéo codé est donc $0,249 \times 60 = 14,99$ Mbits/sec.

La position et l'amplitude des coefficients retenus sont codées par le code de Huffman. Celui-ci assigne d'une manière optimale des mots code les plus courts aux symboles qui apparaissent les plus fréquemment et des mots code plus longs à ceux qui apparaissent moins fréquemment. Ce code nécessite la connaissance de la statistique des symboles à coder. Celle-ci est évaluée sur un ensemble d'images typiques à coder. Le pas de quantification et la sélection des coefficients est fait d'une manière adaptative, sans dépasser le nombre total de bit disponible (0,249 Mbits). Comme la cadence à la sortie doit être constante, une mémoire tampon est nécessaire pour réguler le débit. Pour éviter la complexité d'une mémoire tampon bien calculée, on utilise une grande mémoire qui peut stocker une image entière.

6.3 MODULATION ET TRANSMISSION

6.3.1 Modulateur

Les données vidéo codées sont multiplexées avec celles de l'audio et des données auxiliaires. La suite de bit composite ainsi obtenue est à une cadence de 19,43 Mbits/sec. Des bits de synchronisation sont insérés dans cette suite pour marquer la fin d'une image. Ces bits ont une configuration unique que les données ne peuvent pas avoir. C'est pourquoi le récepteur peut les récupérer pour synchroniser les images décodées. La figure 33 montre le modulateur. Après le multiplexage, la suite de bits subit un brassage pour introduire un aspect aléatoire. Le mécanisme du brassage est appelé pseudo-aléatoire car, à partir des mêmes conditions initiales, on peut retrouver la même séquence au récepteur. Le brassage facilite la convergence de l'égaliseur du récepteur. Le brassage est suivi d'un codeur pour la détection et la correction des erreurs. Le code Reed-Solomon (utilisé par les autres systèmes aussi) est préconisé. Pour un rapport porteuse-sur-bruit de 19 dB comprenant une marge de sécurité de réalisation, il n'y aura qu'une seule erreur non détectée par jour. C'est le seuil du système. Après brassage et codage pour la détection et la correction des erreurs, les bits obtenus sont groupés 4 par 4. Ils modulent en quadrature deux porteuses. Les symboles sont produits en parallèle sur deux canaux à une cadence 4,86 MHz. Les filtres de base sont utilisés pour formater le spectre du signal dans la bande de base avant la modulation finale à la fréquence intermédiaire (IF) de 44 MHz. Le signal obtenu est transmis sans porteuse et possède l'apparence d'un signal aléatoire.

6.3.2 Récepteur

Le récepteur effectue les opérations inverses. Son schéma-bloc est montré à la

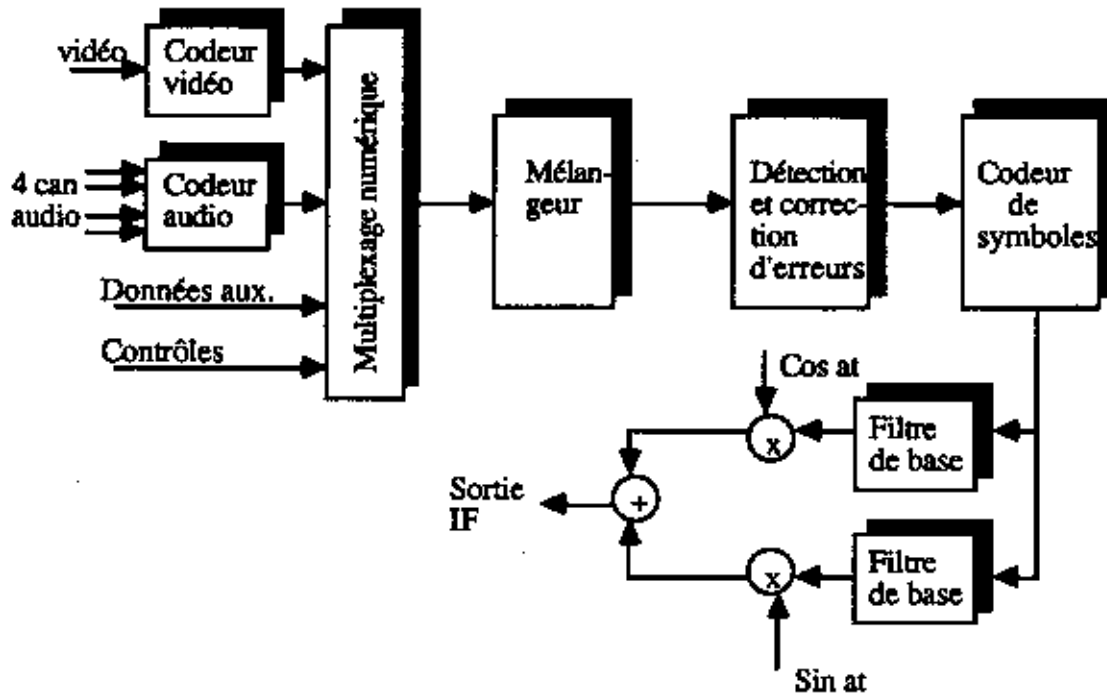


Fig. 33 Modulateur du système ATVA du MIT

figure 34. La fréquence transmise est d'abord réduite à la fréquence intermédiaire IF. Ensuite, une démodulation récupère la suite des symboles. Le synchroniseur de symbole génère une horloge au double de la fréquence des symboles. Celui-ci est utilisé pour échantillonner les symboles en raison de deux échantillons par symbole. Comme il y a deux canaux parallèles, on retrouve les 4 bits par symbole. L'égaliseur adaptatif cherche à éliminer les interférences des canaux voisins et des transmissions par chemins multiples. On peut compenser des transmissions multiples complexes jusqu'à 2 microsecondes. On dit qu'il y aura aussi un égaliseur d'un seul écho pour des durées jusqu'à 32 microsecondes. Ensuite, le suiveur de porteuse détermine un terme correctif de phase qui doit être appliqué à chaque symbole complexe sortant de l'égaliseur. Le terme correctif, c'est-à-dire l'information sur le signal d'erreur de phase lui est transmis par le dispositif de décision sur les symboles. Celui-ci a pour tâche de déterminer, parmi l'ensemble des possibilités, la constellation la plus proche de la sortie de l'égaliseur. Une fois celle-ci trouvée, le dispositif décode les symboles en bits. La suite de bits ainsi obtenue subit l'action du détecteur et correcteur d'erreurs. Les bits corrigés sont ensuite remis en ordre par la fonction inverse du mélangeur (mélange pseudo-aléatoire). Dans cette suite ordonnée de bits se trouvent en fait quatre types de données multiplexées: le signal vidéo, les canaux audio, les données auxiliaires et les signaux de contrôle. Le démultiplexeur effectue la séparation. Finalement les décodeurs individualisés permettent d'obtenir les signaux que l'on peut afficher sur l'écran ou passer dans les haut-parleurs.

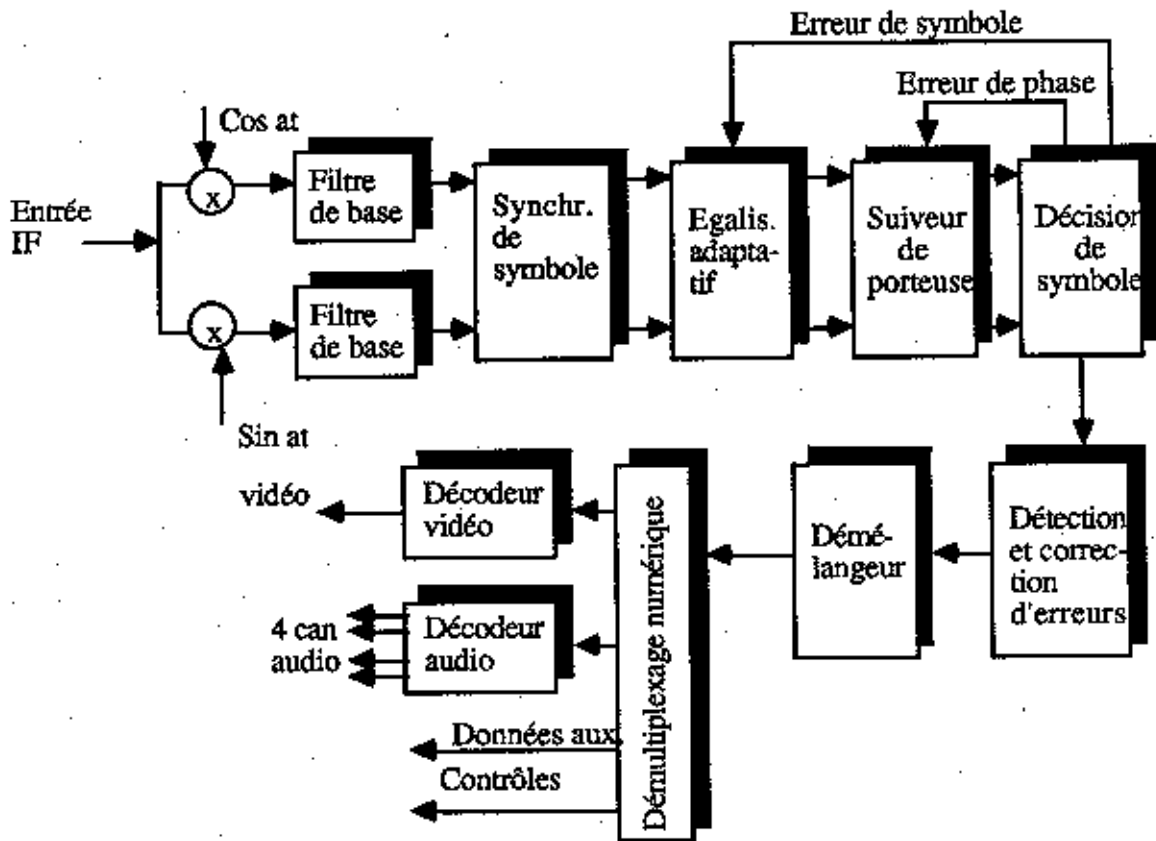


Fig. 34 Démodulateur du système ATVA du MIT

6.4 REMARQUES ET CONCLUSIONS

Le système ATVA du M.I.T. est un système tout numérique dont les paramètres sont identiques, sinon semblables, aux autres systèmes déjà discutés. Par exemple, le format du signal vidéo est le même que celui du système Zenith-AT&T. Les principes utilisés sont également les mêmes. En revanche, la mise en oeuvre de certaines parties est fortement non conventionnelle. Par exemple, l'estimation de mouvement n'est pas faite par adaptation de bloc, technique très répandue qui a fait ses preuves. La méthode préconisée par le M.I.T., basée sur la contrainte spatio-temporelle, en principe peut être utilisée aussi. Toutefois, son efficacité et ses performances sont nettement moins bien connues. L'auteur ne croit pas au facteur 10 d'amélioration prétendue, résultant de l'utilisation de cette méthode.

Comme nous l'avons vu à plusieurs reprises, il est assez classique de réduire la redondance temporelle par compensation de mouvement et la redondance spatiale par transformation DCT. Pour ce dernier point, le système du M.I.T. sort aussi des sentiers battus. Ils ont fait appel à une méthode plus récente, appelée décomposition en

sous-bande, dont un cas particulier est la transformation DCT. C'est également ce que le Professeur Schreiber avait prévu, d'une manière plus élégante, dans le premier système du M.I.T. [1]. Toutefois ce qui est très surprenant c'est le mystère que la nouvelle équipe cherche à créer autour de la décomposition en sous-bande, dont presque tout a été dit dans la littérature.

La partie concernant la transmission numérique est tout à fait classique. En plus, ils n'ont même pas pris la précaution d'hierarchiser les données à transmettre pour que l'aspect tout-ou-rien de la transmission numérique ne soit pas très gênant.

Dans l'ensemble le système ATVA n'est pas convainquant. Il souffre du syndrome du M.I.T. ("ce n'est pas bon si ce n'est pas fait au M.I.T.") et du manque d'expérience de la nouvelle équipe.

CHAPITRE 7

SYSTEMES NUMERIQUES JAPONAIS

7.1 INTRODUCTION

Les japonais ont été à l'origine d'une activité mondiale très importante pour le renouvellement du système de télévision actuel. Le premier système de TVHD qu'ils ont proposé au début des années 80 est un système banal [1] dont le seul mérite est d'exister grâce à une technologie qu'ils maîtrisent très bien. Dans ce système appelé MUSE, la partie compression est pratiquement inexistante. Elle se base sur un jeu enfantin d'échanger la précision spatiale avec la précision temporelle pour les images sans mouvement et de faire une estimation de mouvement très discutable dans les autres cas. La partie transmission, alors même qu'elle est prévue pour la diffusion par satellite, est analogique et peu performante. Aujourd'hui ce système fonctionne avec des émissions quotidiennes d'une heure. Il y a environ 300 récepteurs TVHD déjà installés.

Pendant que les européens et les américains cherchaient à en faire autant, les japonais ne se sont pas arrêtés. Ils ont tiré les leçons de la première étape et travaillent pour la suite. Dans les laboratoires des sociétés telles que Sony, Hitachi, Mitsubishi, Fujitsu, NTT et NHK on dispose de nouveaux systèmes numériques plus performants. D'une façon quasi-systématique ces systèmes sont basés sur les normes H.261 et MPEG. De légères variations existent dans l'implantation finale.

Le but de ce chapitre est de donner un aperçu sur la situation actuelle (octobre 1991) sur la base des informations obtenues lors des visites effectuées et par correspondance. Il est à noter que, juste ou faux, on a toujours le sentiment qu'on ne nous dit pas tout.

7.2 HITACHI

7.2.1 Généralités

Au laboratoire central de recherche d'Hitachi, on distingue deux types d'activité: à court terme et à long terme. Les travaux à court terme concernent la télévision à définition étendue (EDTV), le codage numérique de la télévision classique et de la télévision à haute définition avec la norme H.261 et les applications de ces codeurs dans les systèmes multimédia (stations de travail ou ordinateur personnel). La quasi-totalité des 1000 ingénieurs de ce laboratoire est concerné par le court terme.

Une seule personne, complètement dépassée, essaye de suivre et d'examiner les sujets porteurs à long terme tels que la "réalité virtuelle", la télévision à

tridimensionnelle (profondeur) et le codage basé sur des modèles.

On décrit dans cette section les activités importantes sur ces points.

7.2.2 Télévision à définition étendue (EDTV)

Précédant de peu les travaux sur la TVHD, les chercheurs d'Hitachi ont voulu améliorer la qualité des images fournies par les systèmes de télévision actuels tels que le NTSC, le PAL et le SECAM.

Un premier effort, consistant à introduire des traitements de signaux plus sophistiqués dans ces normes, a permis d'améliorer la qualité des images sans changer l'information initiale. Ces systèmes sont appelés IDTV (improved definition TV). Lors de ces travaux, l'un des ingénieurs d'Hitachi, M. Fukinuki, a trouvé un espace non utilisé dans le spectre du signal NTSC. L'idée était alors d'utiliser ce "trou" pour transmettre des informations complémentaires pour améliorer d'avantage la qualité des images.

De son nom en anglais "extended definition TV" ou "enhanced TV", EDTV est le nom que l'on donne aux systèmes de télévision qui utilisent les normes actuelles (NTSC, PAL ou SECAM) avec une meilleure exploitation de la largeur de bande. Ces systèmes sont compatibles avec les systèmes existants. Un récepteur NTSC reçoit sans aucune adjonction les émissions d'un émetteur EDTV. De même, un récepteur EDTV reçoit une émission conventionnelle NTSC. Le trou de Fukinuki permet d'améliorer la définition horizontale. Ainsi, on peut ajouter de part et d'autre de l'image actuelle (rapport d'aspect 4/3) des bandes latérales pour augmenter la définition et faire passer le rapport d'aspect à 16/9. Un tel système a déjà été présenté dans le premier rapport ([1], paragraphe 5.5.5).

Les ingénieurs d'Hitachi ont construit le système EDTV compatible avec le système NTSC. La démonstration est convainquante.

7.2.3 Codeur H.261

Des circuits spécialisés sont conçus et fabriqués pour mettre en oeuvre la norme H.261 (voir paragraphe 2.4.3) aussi bien dans le contexte de la télévision actuelle que dans celui de TVHD. Dans les deux cas, la compression obtenue est nettement supérieure à celle du système MUSE. Une expérimentation abondante permet de déterminer le rôle des paramètres dans la qualité des images reçues. Un codeur s'inspirant de la norme H.261 et utilisant la transformation DCT est construit pour la transmission de la TVHD dans les canaux du réseau RNIS à un débit de 130 Mbits/sec. Un tel débit n'est pas difficile à obtenir.

Les mêmes principes sont utilisés pour construire des visiophones fonctionnant à des débits de 128 Kbit/sec. Malgré la taille et la définition réduite de l'image et le débit relativement élevé pour la visiophonie, la qualité des images reçues est médiocre pour ne pas dire mauvaise.

7.2.4 Sujets porteurs

Les sujets porteurs sont bien choisis. A moyen terme, l'intégration de la télévision dans les stations de travail ou des ordinateurs personnels est inévitable. La télévision donnant l'impression visuelle de la profondeur sera certainement l'étape qui suivra la TVHD.

Le codage par modèle reçoit de plus en plus d'intérêt. Il s'agit d'une méthode efficace prévue uniquement pour la visiophonie où l'on ne transmet que l'image des personnes qui parlent (tête et épaules). Un modèle géométrique complété par des surfaces lisses permet de reproduire une approximation de la face d'une personne. Les mouvements des différentes parties (bouche, menton, yeux, etc.) sont imités par de simples manipulations du modèle. L'avantage réside dans la très faible quantité d'information nécessaire à reproduire l'image. Le prix payé est la très mauvaise qualité de l'image transmise qui donne une impression désagréable de visage artificiel. D'importants travaux sont nécessaires pour mettre au point un tel système. Visiblement, ils n'en ont pas les compétences.

Un thème un peu plus farfelu est la réalité virtuelle. C'est le nom donné à un ensemble clos créé artificiellement par ordinateur. Cet ensemble est présenté au monde normal par infographie. On peut agir sur les éléments de l'ensemble par des signes conventionnels. L'exemple répandu est un aquarium dans lequel les grands poissons mettent en danger la vie des petits. Ceux-ci cherchent à s'évader. En somme, on reproduit le comportement naturel d'une façon artificielle.

7.3 SONY

7.3.1 Technologie TVHD

Sans nul doute, Sony est le champion de la technologie de la TVHD. Les premières caméras, les enregistreurs numériques et les écrans de TVHD ont été conçus et mis en fabrication chez eux. Des activités très variées sont maintenues dans la technologie des dispositifs (disque optique, enregistrement magnétique à haute densité, nouveaux affichages). Tous les aspects de l'audio-visuel sont traités (microphones, haut-parleurs, casques, traitement des signaux, compression, reconnaissance, calcul parallèle, graphique par ordinateur, etc.). Les récepteurs MUSE sont produits en série ainsi que des écrans d'affichage TVHD. Un système codeur-décodeur, basé sur la norme MPEG est réalisé. Un autre codeur prévu pour le réseau RNIS à large bande est également construit (codeur ATM, voir paragraphe 5.1.3). Parmi ce qui est visible, il n'y a pas d'innovation méthodologique. Toutefois, la maîtrise et la virtuosité technologique sont démoralisantes.

Des efforts importants sont mis sur le codage par modèle. Le dispositif

expérimental permet de faire chanter à l'image d'Einstein affiché sur un écran tous ce que l'on peut jouer à l'orgue électronique qui fait parti du système. Le résultat est amusant, mais l'image est loin d'être réaliste.

7.3.2 Super TVHD

En collaboration avec le NTT et Mitsubishi, Sony introduit la télévision à très haute résolution. Il s'agit d'un système de télévision comportant de plus de 2000 lignes par image, donc deux fois plus que la TVHD actuelle. Exploitant leur expérience gagnée lors de la construction des équipements de surveillance d'aéroports, les ingénieurs de Sony construisent et vendent des écrans couleurs à 2000 lignes. Pour l'instant il n'y a pas encore les caméras correspondantes. La qualité d'une image à 2000 lignes est tout simplement extraordinaire. Une page de journal peut y être affichée et être lue sans aucune difficulté.

Notons au passage que sur les 20 produits différents, définitivement et très proprement mis au point dans les laboratoires de recherche, seulement un seul entre en production et ensuite sur le marché.

7.4 MITSUBISHI

7.4.1 Visiophone et téléconférence

Les activités du laboratoire d'Ofuna de Mitsubishi touchant à la vidéo concernent la visiophonie avec, entre autre, le codage basé sur un modèle, la téléconférence, la TVHD et la TVHD à très haute résolution.

L'un des systèmes de visiophonie est basé tout simplement sur le sous-échantillonnage temporel et la transformation DCT. La qualité des images est supérieure par rapport au système d'Hitachi. Le visiophone basé sur le modèle est en cours de développement. Les résultats actuels ne sont pas impressionnants. Le secteur où un nombre impressionnant de produits est disponible est celui de la téléconférence, permettant à plusieurs groupes de personnes de communiquer entre elles tout en étant dans des endroits différents. Les ingénieurs de Mitsubishi ont construit des systèmes utilisant différentes technologies mais toujours selon la norme H.261. Le codeur-décodeur de téléconférence fonctionnant à un débit de 1,5 Mbits/sec fournit des images de relativement bonne qualité. Le mouvement n'est pas bien reproduit, surtout s'il est rapide. L'unité coûte 300'000.- dollars! Quelques systèmes ne s'y conforment pas complètement mais utilisent néanmoins la transformation DCT. Chaque nouvelle technologie est utilisée pour reconstruire les mêmes systèmes. Sur une période de quelques années, on voit la diminution considérable de la taille des dispositifs pour effectuer la même fonction.

En plus de ces codeurs classiques, ils construisent les codeurs ATM

(paragraphe 5.1.3) pour le réseau RNIS à large bande. Pour diminuer la taille des systèmes, de nouveaux circuits intégrés à large échelle (VLSI) sont constamment développés. Le dernier né est une puce contenant plus 500 000 transistors utilisant une technologie sous-micronique. Elle permet de traiter les signaux et les images.

7.4.2 Super TVHD

En ce qui concerne la TVHD proprement dit, un projet tri-partite entre Sony, Mitsubishi et NTT est mis en place. Les écrans d'affichage sont fournis par Sony. L'électronique pour mémoriser les images et les afficher 30 fois par seconde est construite par Mitsubishi en deux exemplaires. Le deuxième système est au NTT. La place que ces mémoires occupent est, pour l'instant, considérables: plusieurs armoires. Dans ce projet qui est au stade embryonnaire, il n'y a pas de compression, ni de transmission. Pour le moment, on peut seulement afficher des images mémorisées. Comme il n'y a pas non plus de caméras pouvant fournir des images à 2000 lignes, les premiers essais sont faits avec des images numérisées sur des microdensitomètres à haute précision, point par point. Vu la lenteur du procédé, seule une petite palette de quelques images statiques est disponible. Les séquences d'images sont obtenues par animation par ordinateur de dessins graphiques ou de logos. Notons que la quantité d'information dans un tel système est 15 à 20 fois plus que celle de la télévision normale.

7.5 NHK

7.5.1 Généralités

Le Nippon Hoso Kyokai (NHK) est l'une des sociétés de diffusion de services (radio, TV) du Japon. Il a été le principal instigateur du projet MUSE. Rappelons ici qu'une version modifiée et rafistolée du MUSE est candidate à la compétition de la F.C.C. américaine. Ces modifications étaient nécessaires pour rentrer dans la bande de 6 MHz imposée par la F.C.C. Ce système n'est pas présenté dans ce rapport pour deux raisons. D'abord le système original a fait l'objet d'une description détaillée dans le premier rapport [1]. Ensuite, le but est d'évaluer les systèmes entièrement numériques; le MUSE est analogique en ce qui concerne la transmission.

Un mutisme frappant existe pour tout ce qui concerne la période "après MUSE". Le discours officiel est de dire qu'ils visent le développement rapide des émissions du système MUSE. Dès janvier 1992, il y aura plusieurs heures de programmes par jour, sous la norme MUSE. Ils se montrent inquiets concernant une décision protectionniste de la F.C.C. En fait, étant donné la situation actuelle américaine, le système MUSE n'a pas beaucoup de chance de s'imposer aux Etats-Unis.

7.5.2 TV tridimensionnelle

Parmi les projets en cours, le plus impressionnant est sans doute la télévision tridimensionnelle. On l'observe sans mettre de lunettes spéciales. La scène est filmée avec 4 caméras conventionnelles. Les signaux provenant de ces caméras sont combinés pour calculer numériquement l'information de profondeur. Celle-ci est ensuite affichée sur un écran de dimensions 1 x 2 m. Le résultat est tout simplement spectaculaire. La position des caméras les unes par rapport aux autres semble être très critique. Cette information non encore brevetée est soigneusement cachée. Ensuite, la position du téléspectateur par rapport à l'écran n'est pas entièrement libre. Il faut se placer à une certaine distance et ne pas trop bouger la tête à gauche ou à droite. La combinaison des 4 signaux vidéo doit être revue et corrigée pour libérer ces contraintes. L'affichage de l'information profondeur est réalisé grâce à un panneau à cristaux liquides de 1400 lignes à 1800 points. L'information affichée sur ce panneau est projetée sur l'écran final, spécialement conçu. Il est formé d'une multitude de demi-sphères juxtaposés pour diffuser la lumière dans toutes les directions. La sensation de profondeur est très bien rendue. Il est peut être difficile de prédire le moment précis, mais la télévision tridimensionnelle risque d'arriver plutôt qu'on ne le pense!

7.5.3 Après MUSE ?

C'est dans ce laboratoire que la nouvelle caméra HARP (de son nom en anglais *High gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor*) pour la TVHD. Cette caméra est environ 30 fois plus sensible que les caméras conventionnelles. Cette sensibilité permet d'obtenir une profondeur de champs importante sous un faible éclairage. Elle est déjà miniaturisée (6kg, 30 x 30 x 10 cm).

Contrairement aux déclarations officielles, un projet de TVHD entièrement numérique est en cours basé sur les principes des normes H.261 et MPEG (réduction de la redondance temporelle par compensation de mouvement et réduction de la redondance spatiale par transformation DCT). Le débit visé est de 135 MBits/sec. Il est à la portée de tout le monde d'atteindre ce genre de débit.

Enfin, mentionnons le projet qui consiste à introduire de nouveaux canaux audio-graphique à haute définition. La partie audio est numérique (stéréo, qualité disque compact). Elle sert à fournir des commentaires sur une image statique en couleur (graphique de haute qualité). Après quelques dizaines de secondes, lorsque les explications sont épuisées, on passe à l'image suivante. C'est en quelque sorte un diaporama électronique télédiffusé. Les applications visées concernent essentiellement les réclames et les informations culturelles. Plusieurs possibilités existent pour combiner différentes images (travail par fenêtre).

7.6 NTT

Privatisé il y a cinq ans, le Nippon Telephone and Telegraph (NTT) est l'un des trois exploitants majeurs de réseaux de communication au Japon. Les travaux de recherche touchant le signal vidéo sont essentiellement entrepris au laboratoire de médias visuels. Toutes les applications allant de la visiophonie à 64 kBits/sec à la TVHD numérique sont couvertes. Les principes utilisés sont toujours les mêmes: compensation de mouvement et transformation DCT. La qualité du système de visiophonie n'est pas très élevée. Le système de téléconférence est tout à fait comparable à celui de Mitsubishi. Eux aussi ont construit leur codeur ATM pour la TVHD prévu pour le réseau RNIS à large bande. Le système de TVHD entièrement numérique est basé sur la compensation de mouvement et la DCT pour des débits de l'ordre 130 Mbits/sec.

Les ingénieurs de NTT qui font partie du projet Super TVHD construisent un ordinateur parallèle pour pouvoir traiter l'énorme quantité d'information produite dans un système à plus de 2000 lignes par image. Cet ordinateur contient 128 processeurs. Il est au stade de développement et expérimentation.

7.7 CONCLUSIONS

On dit facilement que les japonais ont été à l'origine de la TVHD. Les japonais eux-même se considèrent comme les pionniers de la TVHD. On oublie qu'en 1965, la télévision française avait 819 lignes (180 lignes de moins que la TVHD japonaise!). Elle a été échangée contre la télévision en couleur à 625 lignes. Quoi qu'il en soit, une énorme activité est déployée. Le système MUSE est un peu leur fierté. Il existe. Il fonctionne une heure par jour et fournit des images de meilleure qualité que celles du système NTSC. Il leur a permis de se libérer de la tutelle du système américain NTSC. Les japonais réalisent très bien qu'ils ont été court-circuité par le système européen HD-MAC, devant la C.C.I.R. pour faire passer MUSE comme norme mondiale. Il ne faut pas croire qu'ayant mis MUSE au point et en service, les japonais se reposent. En observant avec un léger sourire les développements américains (qui mettent le HD-MAC dans l'embarras pour ne pas dire à la poubelle) ils construisent sans cesse et cherchent à lancer de nouveaux défis. Ils se sont penchés sur les normes telles que H.261 et MPEG. Tout ce qui est visible dans les laboratoires japonais est centré sur ces normes pour le court terme.

Les défis lancés sont essentiellement au nombre de deux: la TV à super haute définition (2000 lignes) et la télévision tridimensionnelle. Le premier défi est un défi technologique. Ceci ne supprime pas le besoin d'une bonne compression et d'une

transmission efficace qui ne peuvent se faire que par voie numérique. Ils ne sont pas seuls à travailler sur la télévision tridimensionnelle. Toutefois, dès que les problèmes s'arrêtent devant un mur technologique, ils sont et seront les premiers à percer de tels murs.

Force est de constater qu'ils ont une maîtrise technologique enviable et enviée. Avec leur attitude de construire sans cesse, ils renforcent toujours plus cette maîtrise. A peine une réalisation terminée, mettant en oeuvre une fonction donnée, ils commencent la suivante qui conduit à un nouveau résultat, un peu plus performant, plus réduit, légèrement amélioré. Ce cycle infernal continue comme si c'était un devoir éternel. Est-ce une façon de compenser le manque d'imagination ?

Signalons finalement qu'ils sont conscients de leurs faiblesses et travaillent d'arrache pied pour y remédier. Leur vie en vase clos s'ouvre de plus en plus. Les sociétés recrutent toujours plus d'étrangers avec des salaires assez élevés. Les relations université-industrie s'intensifient. Il ne faut certainement pas se contenter seulement d'observer leur évolution.

CHAPITRE 8

CONCLUSIONS

Pour remplacer le système de télévision actuel, une série de propositions se succèdent depuis 1986. Il faut réaliser qu'un système aussi complexe et aussi répandu que celui de la télévision ne peut pas être remplacé très souvent. C'est l'une des raisons principales pour lesquelles le système actuel a vécu aussi longtemps. Il ne faut donc pas se précipiter sur la première proposition. Il faut choisir un système qui puisse évoluer en incorporant les nouveautés, sans nécessairement tout remettre en cause. Les techniques numériques offrent cette possibilité. Les deux premières propositions, le MUSE et le HD-MAC, ont été évaluées dans un premier rapport [1] et ont été jugées inaptes par l'auteur pour plusieurs raisons. Parmi les raisons essentielles, on peut citer la partie de compression insuffisante et la partie de transmission analogique.

Dans la première partie de ce rapport, on introduit les notions fondamentales nécessaires à la bonne compréhension de la suite. On définit, certes d'une manière subjective qui est celle de l'auteur, ce que doit être le système de télévision idéal que l'on peut concevoir aujourd'hui. Les problèmes essentiels concernant la compression et la transmission sont examinés en détail. Les normes existantes sont décrites une fois pour toutes car elles sont communes à beaucoup de nouveaux systèmes.

Les américains qui sont entrés dans la course avec beaucoup de retard ont quand même apporté deux nouveautés: l'une concerne la manière et l'autre la conception du système. La manière est tout simplement compétitive. Que le meilleur gagne. C'est le 'Federal Communications Committee' ou F.C.C. qui va trancher en 1993. La conception du système est nettement plus moderne que celle du MUSE ou du HD-MAC; c'est du tout numérique. Signalons que dans les systèmes tout numérique américains, méthodologiquement les nouveautés ne sont pas très fraîches. Toutefois, il y a l'audace, le courage et la volonté de pousser la technologie vers ses limites.

Les principes utilisés sont les mêmes pour les nouveaux systèmes. La redondance temporelle d'une image à la suivante est réduite par prédiction et par l'utilisation de l'erreur de prédiction (compensation de mouvement). La redondance spatiale est réduite par une transformation linéaire réversible pour concentrer les échantillons à forte énergie dans une même région (DCT). La recherche actuelle a produit de meilleurs résultats que la DCT. Celle-ci a été introduite il y a deux décennies. La transmission numérique permet de protéger l'information avant de la transmettre. Cette protection qui ajoute une certaine redondance permet de détecter et de corriger des erreurs. La grande difficulté de la transmission numérique dans le contexte américain réside dans le canal de transmission. La F.C.C. a exigé que les canaux terrestres de 6 MHz soient utilisés pour la TVHD. Dans ces canaux où le

rapport signal-sur-bruit varie fortement en fonction de la distance, un système de transmission numérique fournira un résultat impeccable jusqu'à une certaine distance depuis l'émetteur. Un peu plus loin, on risque de ne pas avoir de signal du tout. Deux systèmes incorporent des astuces hiérarchiques pour atténuer ce problème. Il s'agit du système de Zenith-AT&T et du système ADTV de l'ATRC. L'auteur trouve que la contrainte de la F.C.C. manque de vision. Les canaux terrestres devraient être réservés, à moyen et à long terme, aux communications mobiles.

Parmi les quatre systèmes américains entièrement numériques, celui qui nous semble être le meilleur est celui de Zenith-AT&T. Le format à balayage progressif, l'estimation de mouvement hiérarchique, la quantification adaptative des coefficients transformés et la hiérarchisation de l'information codées sont de bons choix. On peut formuler deux réserves. La première n'est pas trop critique et concerne la bonne vieille transformation DCT. Une décomposition en banc de filtres aurait apporté plus de souplesse. La seconde, plus critique, concerne le type de modulation. La modulation à bande latérale résiduelle nous semble aujourd'hui dépassée. La modulation d'amplitude en quadrature est plus indiquée.

Le système DigicipherTM de General Instrument Co. est le premier système de TVHD entièrement numérique. C'est grâce à ce système que les trois autres compétiteurs ont aussi choisi des systèmes entièrement numériques. Le format entrelacé est critiquable. Il introduit, plus loin dans le système, des complications inutiles pour le traitement des champs et des trames. Le sous-échantillonnage des signaux de chrominance est un peu fort, surtout dans la direction horizontale. La restitution de ces signaux par pure répétition est un peu trop simpliste. Beaucoup d'aspects de ce système sont parmi les plus simples. Même si la simplicité est appréciable au niveau de la réalisation en série des récepteurs et de leur coût, elle se ressentira au niveau des performances.

Le système ADTV fait appel à la norme MPEG pour ce qui concerne la compression. Cette partie ne peut donc pas être plus mauvaise que la norme elle-même. La partie transmission introduit une hiérarchie intéressante qui peut être une porte ouverte vers l'avenir. Des concepts du réseau RNIS à large bande (réseau à fibre optique) sont repris pour pallier les difficultés de la transmission numérique dans un canal terrestre. On dispose hélas de peu de précision sur la modulation utilisée QAM.

Le nouveau système du M.I.T. est le moins convaincant même si l'audace est poussée un peu plus loin en introduisant une compression par banc de filtre. L'estimation de mouvement paraît douteux, en tout cas en ce qui concerne les performances annoncées. La modulation est basée sur la technique QAM, mais sans aucune précaution pour tenir compte du rapport signal-sur-bruit variable.

Les nouveaux systèmes japonais ressemblent de plus en plus les uns aux autres et aux systèmes américains. Les différences ne sont plus sur des points fondamentaux, mais sur des détails de réalisation ou de mise en oeuvre. Cette situation est réjouissante.

Elle montre que, pour le moment, on converge vers un système qu'il est possible de construire, avec la technologie d'aujourd'hui. L'inquiétude que l'on peut formuler concerne la fermeture de ces systèmes aux évolutions. Par exemple, si la transformation DCT est remplacée par une décomposition en sous-bande, ultérieurement, il sera possible d'intercaler entre le banc de filtre et la quantification une représentation plus efficace pour augmenter la compression. Les coefficients de la DCT ne permettent pas une telle souplesse.

On peut se demander quelle est la situation actuelle en Europe. A notre connaissance il y a au moins quatre projets européens s'occupant ouvertement ou discrètement de la TVHD, sans compter le projet initial EUREKA 95: RACE-HIVITS, EUREKA 256, COST et EUREKA 625 (Vadis). Le style européen est, en opposition avec celui des Etats-Unis, celui du consensus. Il a fallu plus de 8 ans pour arriver au D2-MAC; système qui a encore des versions différentes selon les pays. La collaboration des partenaires dans ces projets ne semble pas être un exemple d'efficacité. On se met ensemble pour faire passer le projet. Après, c'est beaucoup plus 'chacun pour soi' que 'tout le monde pour le projet'. Il arrive même qu'une solution développée par un groupe pour un projet donné soit soumise comme solution d'un autre projet par le même groupe. Nous pensons que cette attitude possède ses vertus démocratiques mais ne sera pas très utile à l'Europe pour renforcer sa position dans la compétition internationale toujours plus forte. Les moyens dispersés par ces projets ont peu de retour et de bonnes idées européennes n'atteignent pas le stade des réalisations, surtout au bon moment. Si nous ne souhaitons pas que ces idées soient oubliées dans des tiroires ou réalisées par d'autres, nous devons changer notre attitude sur-démocratique et s'unir vraiment autour d'un même but. Après tout, une tradition vénérable n'est pas un principe inviolable! C'est pourquoi, la Direction de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne propose la création d'un centre européen de recherche de télévision avancée et encourage ses pôles d'excellences en traitement des signaux et circuits intégrés à large échelle (VLSI) à y prendre un rôle actif.

REFERENCES

- [1] M. Kunt, "Télévision à haute définition" Rapport préparé pour l'Assemblée Nationale-Sénat, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologique, 28 avril 1989
- [2] G.B. Anderson et T.S. Huang, "Piecewise Fourier Transformation for Picture Bandwidth Compression", IEEE Trans. Communication, Vol. COM-20, No. 3, June 1972, pp. 488-491
- [3] A. Habibi et P. A. Wintz, "Image Coding by Linear Transformation and Block Quantization", IEEE Trans. Communication, Vo. COM-19, No. 1, February 1971, pp. 50-63
- [4] A.N. Netravali et J.D. Robbins, "Motion-compensated television coding, Part I", Bell System Techn. Journal, Vol. 58, No. 33, March 1979, pp. 631-669.
- [5] A.K. Jain, "Image Data Compression: A review", Proc. IEEE, Vol. 69, No. 3, March 1981, pp. 349-389.
- [6] A.N. Netravali et J.O. Limb, "Picture coding: a review", Proc. IEEE, Vol. 63, March 1980, pp. 366-406.
- [7] G.K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard", Communication of the ACM, Vol.34, No. 4, april 1991, pp. 30-44.
- [8] M. Kunt, "Traitement numérique des signaux", Dunod, Paris, 1981.
- [9] Recommendation H.261, Video Codec for audiovisual services at p x 64 kbit/s, Docum. CCITT/COMXV/RAPP/RO37E4.TXS
- [10] MPEG Video Simulation Model Three (SM3), Docum. ISO/IEC JTC1/SC2/WG11
- [11] "Digital Spectrum Compatible" Doc. Zenith-AT&T.

[12] A.N. Netravali, communication personnelle

[13] W.K. Pratt, "Digital Picture Processing", Wiley, New York 1978.

[14] A. Ikonomopoulos et M. Kunt, "High compression image coding via direction filtering", Signal Processing, Vol. 8, No. 2, April 1985, pp. 179-203.

[15] M. Kunt, A. Ikonomopoulos et M. Kocher, "Second generation image coding techniques", Proc. IEEE, Vol. 73, No. 4, April 1985, pp. 549-574.

RAPPORT DU CCETT

par MM. Philippe BERNARD et Bernard MARTI

**CONTRIBUTION DU CCETT
AU RAPPORT DE MM. FORNI ET PELCHAT**

Rédacteurs: Philippe Bernard
Bernard Marti

Cesson Sévigné, le 25 novembre 1992

TABLE DES MATIÈRES

1. ANALYSE DES QUATRE PROPOSITIONS NUMÉRIQUES AMÉRICAINES DE TÉLÉVISION À HAUTE DÉFINITION	97
1.1. Contexte	97
1.2. Les alliances	98
1.3. L'ATTC	99
1.4. - DESCRIPTION TECHNIQUE	100
1.4.1. - CODAGE DE SOURCE	100
1.4.2. - Canal.....	102
1.4.3. - Service	103
1.5. - Conclusion	105
1.6. Bilan des débits	105
2. LA SITUATION EN EUROPE	109
2.1. Introduction	109
2.1.1. Les premières étapes	109
2.1.2. Les activités de l'UER.....	110
2.1.3. Les projets satellites.....	110
2.1.4. Projets concernant des systèmes de transmission et de studio	110
2.1.5. Calendrier et recouvrements	111
2.2. Contraintes générales sur la radiodiffusion terrestre résultant des services existants.	112
2.2.1. Philosophie de la couverture.....	112
2.2.2. Protection du service.....	114
2.2.3. La recherche des fréquences.....	115
2.3. La radiodiffusion numérique de terre des programmes de télévision	115
2.3.1. Des projets en Europe.....	115
2.3.2. Le choix des techniques OFDM ou COFDM.....	116
2.3.3. Des risques de divergence	117
2.3.4. ... Quelques projets européens (communautaires ou coopératifs).....	117
2.3.5. ...dont un projet clé insuffisamment soutenu et financé.....	118
2.3.6. Essai de coordination.....	118
2.3.7. Un modèle de service	119
2.3.8. Les études de codage sont insuffisantes	121
2.4. Quelques constatations pour aider à une conclusion	121

1. ANALYSE DES QUATRE PROPOSITIONS NUMÉRIQUES AMÉRICAINES DE TÉLÉVISION À HAUTE DÉFINITION

Cette première partie donne une présentation synthétique des quatre propositions numériques soumises à la FCC dans le cadre de son appel à propositions pour le choix d'un système de Télévision à Haute Définition.

1.1. Contexte

La FCC -Federal Communications Commission-, instance gouvernementale en charge de la réglementation des ondes américaines, a lancé un vaste programme de consultations et de tests destiné à choisir d'ici 1993 le meilleur système de radiodiffusion terrestre de signaux de Télévision à Haute Définition.

Les conditions drastiques imposées par la FCC, -la principale étant la nécessité de faire cohabiter le nouveau système HD avec le standard existant NTSC sans modifier le plan de radiofréquence actuel- ont limité le nombre des concurrents et laissent présager que le futur système américain de diffusion de TVHD sera numérique ou ne sera pas.

La volonté de la FCC de dédier des ressources spectrales terrestres à des services de diffusion de télévision, même à haute définition, vers des récepteurs fixes peut paraître surprenante tant elle se situe à contre courant de l'évolution actuelle du développement des services terrestres vers les mobiles. A cela, plusieurs raisons :

- Elle n'intervient que très faiblement dans la réglementation des services diffusés par satellite ou distribués sur câble; son contrôle étant par contre très fort sur le support terrestre qui prend une connotation politique forte dans sa dimension locale.

- Elle ne peut tenir longtemps une politique de gel des fréquences hertziennes terrestres face à la concurrence de services nouveaux (comme les radiocommunications avec les mobiles) ou stratégiques (comme les télécommunications militaires).

- Enfin le produit "TVHD" est présenté aux USA comme une opportunité unique de faire du business et surtout de redonner un second souffle à une industrie américaine de l'électronique Grand Public actuellement en plein désarroi.

L'ambition première de la FCC est d'allouer à chaque station de télévision (soit plus d'une centaine) un canal dédié à la diffusion d'images de télévision à Haute Définition. L'approche technique de la FCC est de dupliquer les programmes existants NTSC en TVHD numérique selon le principe de "Simulcast". Le problème principal est donc bien dans un premier temps celui de l'introduction de ces nouveaux signaux dans le plan de fréquence actuel, en se jouant des interférences des canaux adjacents ou des cocanaux.

Le calendrier officiel de la FCC est le suivant :

- le choix d'un système en mars 93,
- des essais sur site d'avril à juin 93,
- une décision définitive de la FCC en milieu d'année 93,
- l'attribution de licences aux radiodiffuseurs avec une date butoir arrêtée à 1995,
- la diffusion dès 1998 de programme de télévision à haute définition numérique imposée à tous les radiodiffuseurs licenciés,
- le simulcast généralisé en 2002 (tous les programmes émis en NTSC et en TVHD numérique)
- la fin de la diffusion en NTSC en 2008.

Il va sans dire que ce calendrier, outre techniquement et économiquement ambitieux, fait grincer les dents à nombre de radiodiffuseurs qui acceptent difficilement de devoir

payer un surcoût de diffusion numérique pour un même programme ne leur apportant que bien peu de revenus supplémentaires. Pendant que les cablo-opérateurs américains offriront à moindre coût une programmation démultipliée par les avancées du tout numérique appliqué à la télévision 525 lignes.

La FCC sera peut-être amenée en novembre 92 à prendre en considération des améliorations apportées par les candidats à leurs propres systèmes. Le Comité américain pour les systèmes de télévision avancée de la FCC - l'ACATS : Advisory Committee for Advanced Television Systems - tranchera in fine sur la recevabilité de ces demandes de modifications et sur l'opportunité de relancer une deuxième phase de tests. Les candidats supporteraient les frais de ces nouveaux tests et seraient dans l'obligation de porter à la connaissance de l'ACATS les brevets protégeant ces nouvelles améliorations.

1.2. Les alliances

Les alliances entre les acteurs du marché de la télévision aux États Unis se font si rapidement que toutes prospectives sur les chances des différents protagonistes se trouvent quelques mois plus tard être déjà du passé.

Il est toutefois possible d'identifier à ce jour les quatre propositions numériques en lice, toutes quatre américaines, la solution mixte analogique-numérique nipponne "Narrow Musc" apparaissant d'ores et déjà hors course car mal adaptée et non américaine.

La première proposition, avancée par General Instruments dès juin 1990, repose sur le système "Digicipher", une technologie de compression d'image qui peut aussi bien s'appliquer à la diffusion terrestre qu'à la diffusion par satellite ou la distribution sur câble. Digicipher a depuis présenté des démonstrations réelles de compression et de transmission numérique par satellite de signaux de télévision conventionnelle. GI fut le premier candidat à effectuer la première diffusion de TVHD numérique, à Washington en mars 1992, puis la première émission en direct au NAB'92 en avril 1992.

Depuis Janvier 1991, General Instruments et le Massachusetts Institute of Technology se sont réunis au sein d'un consortium: l' "American Television Alliance" ou encore l'ATVA. Le but de cette manoeuvre plus stratégique que technique est de démontrer aux yeux de la communauté américaine le bon vouloir de ces deux sociétés à proposer un seul et unique système numérique américain. Tout en bénéficiant d'un calendrier de tests plus avantageux. En sus de Digicipher désigné désormais sous l'appellation "ATVA-Interlace", l'Alliance propose ainsi un deuxième système, l'ATVA-Progressive (désigné dans ce document par ATVA), qui reprend une version modifiée du premier système proposé par le MIT: le Channel Compatible.

La troisième proposition en lice, le "Digital Spectrum Compatible" - DSC-HDTV-, résulte d'une association entre Zenith et ATT qui fondent leur stratégie commune sur un savoir-faire en compression et en restitution d'image. Depuis peu cette association a reçu le soutien de Scientific Atlanta pour les applications sur satellite.

Enfin la dernière proposition émane d'un consortium regroupant THOMSON, PHILIPS, NBC et le David Sarnoff Research Center : l'ATRC, Advanced Television Research Consortium. Le système défendu, l'"Advanced Digital Television" -ADTV-, a le mérite de reprendre les développements récents et en voie de normalisation en matière de compression des signaux - au sein du groupe ISO/MPEG-. CLI a rejoint dernièrement le consortium ATRC, ce qui apporte à ce dernier une ouverture sur le marché du multiplexage et une alliance possible avec un japonais.

Cette alliance autour de la TVHD ne peut toutefois occulter les stratégies en Télévision 525 lignes, comme l'alliance fragile entre Magnavox (Philips) et CLI pour répondre à l'appel d'offres de CableLabs ou encore le cavalier seul de Thomson qui a remporté le contrat Hughes Communications pour la fourniture d'un million de décodeurs.

De nouvelles "Alliances" entre concurrents ou entre un concurrent et un acteur extérieur sont envisageables aujourd'hui. Celles-ci devront cependant arriver avant la fin de l'année 92 pour être prises en compte.

D'ores et déjà un accord de principe est intervenu entre ATT/Zénith et GI pour partager les dividendes d'une victoire d'un des trois systèmes proposés par ces deux candidats, selon une règle de partage restée secrète.

À l'évidence, quelle que soit l'issue de la bataille technique pour choisir le meilleur système, une action en justice sera très probablement engagée par le ou les perdants. En effet aucun candidat n'est à l'abri d'une quelconque plainte de ses concurrents, soit pour bénéfice de délai de grâce dans la procédure de tests, soit pour accord illicite entre candidats concurrents. De plus, une décision de la FCC de prendre en compte des modifications d'un système alors que des résultats partiels de tests sont déjà parus et avant même que tous les résultats ne soient publiés, peut entraîner des complications juridiques risquant d'entamer le sérieux et l'intégrité de son image de marque.

1.3. L'ATTC

L' Advanced Television Test Center est en charge de mener pour le FCC les tests des systèmes à Télévision améliorée et à Haute Définition. Il peut caractériser tout système grâce à des équipements de métrologie, de simulation RadioFréquence et d'enregistrement des signaux Haute Définition.

Les tests s'étalent du 10 septembre 1991 au 2 octobre 1992, conformément au tableau donné ci-dessous. La fin des tests initialement prévue pour fin avril 1992 a été repoussée à la mi-juin.

CANDIDATS	SYSTÈMES PROPOSÉS	FIN DES TESTS
NHK	Narrow Music (1125/60/2:1)	18 nov. 91
General Instrument/ ATVA	DigiCipher (1050/59,94/2:1)	28 fév 92
Zenith Electronics/ AT&T	DSC-HDTV (787,5/59,94/1:1)	21 mai 92
N.A. Philips Consumer/ ATRC	Advanced Digital Television (1050/59,94/2:1)	29 juillet 92
Massachusetts Institute of Technology/ATVA	ATVA Progressive System (787,5/59,94/1:1)	02 octobre 1992

Quatre prototypes "hardware" des quatre candidats sont testés sur un "banc de test" performant incluant des perturbations de type industriel ou domestique, des interférences en co-canal ou en canal adjacent, du bruit de toute sorte, des échos etc.

Les séquences tests sont au nombre de 23 , 9 séquences fixes et 14 séquences animées. Les images délivrées par les matériels prototypes en bout de chaîne de codage et de décodage sont ensuite notées par des personnes cobayes en même temps que des images de référence.

Des test avec des cobayes "experts" sont menés à Alexandria, Virginia, alors que des tests auprès de "non experts" sont menés au Canada.

Un premier rapport sur l'ACTV, très volumineux, sera remis au Comité Technique de la FCC dès le mois de mars 92. Le calendrier de publication des résultats des tests des différents systèmes des candidats GI, ATT/Zénith, ATRC et MIT respectivement est le suivant : septembre, octobre, novembre 92 et janvier 93.

Des "Field testings" ("on the air experiments") seront menés en avril-juin 93 sur le candidat retenu par la FCC à l'issue des tests de l'ATTC. Un deuxième système pourrait être retenu, à condition que des problèmes de mise en oeuvre s'opposent au bon déroulement des essais sur site du système candidat officiellement retenu.

1.4. - DESCRIPTION TECHNIQUE

Le présent chapitre donne une description comparative des quatre propositions numériques américaines en distinguant les trois domaines suivants :

1. codage de source, 2. techniques de diffusion, 3. facilités de service.

Il est intéressant de noter que les quatre systèmes numériques proposés reposent sur la même découpe fonctionnelle - codage de source, emballage et correction d'erreurs, codage de canal et modulation - et retiennent les mêmes options fondamentales suivantes :

- Le codage de source met en oeuvre une réduction de débit permettant de passer de 1 Gbit/s à moins de 18 Mbit/s. Tous les systèmes utilisent des techniques DCT hybride, les variantes venant des techniques de mise en oeuvre et des choix des paramètres d'optimisation.

- L'organisation des données vidéo, audio et data (Télétext et données de contrôle d'accès) dans un flux de transport s'accompagnent d'une mise en oeuvre de techniques de correction d'erreurs, de synchronisation et de définition d'ordre de priorité.

- Les techniques de modulations numériques retenues sont couplées à des techniques de codage de canal

Les opérations duales sont effectuées dans le récepteur :

- Démodulation, égalisation, synchronisation, décodage de Viterbi, démultiplexage, correction d'erreurs, décodage audio et vidéo.

1.4.1. - CODAGE DE SOURCE

Représentation en Bande de Base - Annexe 1.

On peut distinguer deux grandes classes de systèmes:

- Les systèmes proposant un balayage entrelacé de l'image sur 1050 lignes (960 lignes utiles): l'ADTV et Digicipher, qui franchissent le seuil psychologique des 1000 lignes.

- les systèmes optant pour un balayage progressif de l'image sur 787,5 lignes (720 lignes utiles) avec des pixels carrés, conformément à leur background informatique: le DSC-HDTV, de Zénith-ATT, et l'ATVA.

Le format est 16/9.

Les débits bruts en entrée de compression sont donc divers et variés: entre 405 Mbits pour le système Digicipher et 662 Mbits pour les systèmes à balayage progressif. (Pour mémoire le débit utile du système 4.2.2 est de 160 Mbits, et celui de la recommandation "Eureka 95" pour la production TVHD est de 1,2 Gbits).

Compte tenu des caractéristiques affichées et des débits bruts qui en découlent, on peut constater que les deux premiers systèmes sont loin d'offrir une norme Haute Définition quatre à cinq fois plus riche en informations que le système numérique 422.

1.4.1.1. Codage Vidéo - Annexe 2.

Les quatre systèmes reposent sur des techniques relativement bien connus de nos jours puisque reprenant les grands principes suivants:

- Codage dans un espace transformé: DCT sur des blocs 8*8.
- Prédiction temporelle par estimation et compensation de mouvement.
- Quantification adaptative.
- Codage à longueur variable: VLC.

Le contrôle du débit en sortie du codeur vidéo s'effectue en "feedback" par une modification adaptative de la quantification en fonction du statut d'occupation du buffer de sortie et des fonctions de pré-analyse.

Seuls diffèrent la mise en oeuvre de ces grands principes ou encore les astuces de réalisation comme la stratégie de prédiction pour la compensation de mouvement, les fonctions de pré-analyse, le contrôle de flux et la quantification.

Le système du consortium ATRC présente le grand avantage d'être très proche des travaux de normalisation menés aujourd'hui au sein du groupe ISO/MPEG. Le système proposé, le MPEG ++, est en effet une adaptation de la norme MPEG1 aux grands débits, l'effort s'étant principalement porté sur les techniques de compensation de mouvement en mode bi-directionnel.

Le consortium Zénith/ATT a développé des modèles de quantification vectorielle dits adaptés au modèle psychovisuel de perception de l'oeil.

L'Alliance ATVA retenait initialement un codage en sous bande certainement prometteur pour assurer ultérieurement un codage compatible hiérarchique - ou "gigogne" - des images Haute Définition, même si cet objectif n'est pas à l'ordre du jour aux États Unis.

Digicipher a retenu un système bien connu car très proche dans les grands principes de la norme de codage de contribution ETSI à 34 Mbits: codage DCT hybride.

Finalement l'ATVA a retenu comme GI puis ATT/Zénith une technique en DCT hybride mais sans prédiction bi directionnelle.

Il est intéressant à ce niveau de l'analyse de rapprocher les performances des quatre propositions américaines de compression d'images Haute Définition, exprimées en Bit par pixel, de celles visées par le projet coopératif européen VADIS, qui se fixe pour objectif le codage d'images conventionnelles aux débits de 4 et respectivement 9 Mbits pour des qualités proches du Pal et respectivement du 422-usager (soit du D2MAC).

Candi- dats:	ATRC	Zénith /ATT	Digi- cipher	ATVA	VADIS	VADIS
Débits Qualité	17,73 Mbits	16,92 Mbits	17,47 Mbits	18,88 Mbits	4Mbits Q= PAL	9Mbits Q=D2Mac
Bit/pixel	0,40	0,31	0,43	0,34	0,39	0,89

On peut ainsi, au vu de ce dernier tableau, légitimement penser que les techniques de compression d'image retenues par les candidats américains sont viables, si et seulement si la qualité visée est une extrapolation au standard Haute Définition d'une qualité légèrement supérieure à la qualité NTSC (c'est à dire l'équivalent de quatre images de qualité légèrement supérieure au NTSC juxtaposées sur un écran quatre fois plus grands)

... extrapolation pouvant se traduire par une certaine dégradation de la qualité des images (visibilité des blocs de codage) sur certaines séquences critiques et sur un écran de grande taille. Car il va sans dire que sur un écran CRT dit "TVHD" de taille moyenne (moins de 72cm), les défauts de codage sont moins visibles que sur un écran de grande taille (autour de 1 mètre).

1.4.1.2. Codage audio - Annexe 3

Les quatre systèmes offrent une ressource de quatre canaux indépendants pour 2 paires stéréo.

Deux grandes techniques sont retenues par les différents candidats :

- Musicam retenu par l'ATRC, afin de coller au plus près du standard ISO/MPEG.
- Dolby AC-2 par Zenith-ATT et GI.

Le débit brut tourne autour de 128 Kbits/s par canal audio soit près de 0,5 Mbit/s au total

1.4.2. - CANAL

Les techniques de modulation numériques proposées sont similaires (du type monoporteuse) et assimilables à une modulation à 16 ou 32 états de type MAQ16 ou MAQ32 codée. Annexe 4.

...les différentes appellations ne traduisant que des différences d'implémentation ou des astuces de réalisation.

De ce fait, les efficacités spectrales utiles des quatre propositions sont équivalentes : de 3 à 4 bits par Hertz utile selon l'option retenue, et, compte tenu de la largeur utile du canal, 5 sur 6MHz, le débit utile en transmission se situe entre 19 et 24 Mbits par seconde.

Afin d'augmenter la robustesse du signal aux aléas de la diffusion terrestre (échos, bruits etc.), des techniques de codage en bloc et d'égalisation sont retenues par tous les candidats:

- Des égaliseurs d'échos courts multiples - jusqu'à 2 ou 4 micro secondes selon la complexité et l'ouverture des filtres transverses retenus-, et des égaliseurs susceptibles de corriger un seul écho long pouvant durer 32 ou 40 micro secondes. Il est bon de noter que la complexité d'implémentation matérielle d'un égaliseur est exponentielle en fonction de la longueur de l'écho corrigé

- des codes correcteurs d'erreur en bloc du type Reed-Solomon (RS) dont la redondance est fonction du format des données à transmettre. L'efficacité des codes correcteurs d'erreur est augmentée par la mise en oeuvre de techniques d'entrelacement des données.

GI et respectivement ATRC mettent en oeuvre une modulation MAQ 32 codée en treillis de rendement 4/5 et respectivement 9/10 afin d'augmenter la robustesse du système.

- Le système de GI utilise soit une 16QAM soit une 32 QAM sans indication précise du choix à effectuer entre ces deux modulations. Aucun système de modulation n'est avancé pour tenir compte des interférences en co-canal avec le NTSC.

- Le système DSC-HDTV retient deux types de modulation (2VSB et 4VSB) afin de protéger plus fortement certaines informations jugées sensibles, au détriment de la capacité utile du canal. Dans les meilleures conditions, la modulation 4VSB est retenue, alors que dans des conditions opérationnelles difficiles c'est la modulation 2VSB qui est mise en oeuvre. Il est difficile de définir a priori quel type de conditions opérationnelles doit être considérée et ce système comme celui de GI ne semble pas optimal dans un contexte de diffusion monoporteuse.

- Enfin l'ATRC divise la capacité du canal de transmission en deux zones distinctes associées à deux niveaux de priorité de service HP et SP - pour High Priority et Standard Priority - . L' "étage" High Priority situé en début de bande est modulé avec une puissance d'émission deux fois plus importante afin d'assurer un service plus robuste aux aléas de la diffusion. Une bande "de garde" est introduite entre ces deux spectres. voir figure 1.

Cette technique permet d'augmenter la résistance du système numérique aux perturbations des co-canaux NTSC et inversement elle permet de limiter les interférences du numérique sur l'analogique.

Enfin dans la mesure où les informations les plus pertinentes sont mieux protégées, cette solution offre l'avantage de couvrir les zones de desserte désavantagées (zones d'ombre, zones en limite de couverture) selon un schéma qualifié de "graceful degradation" en anglais.

Chaque proposition considère que son système est absolument protégé vis à vis du bruit de transmission avec un rapport C/N compris entre 10 et 16 db selon le niveau de protection retenue, valeur effectivement inférieure aux rapports de protection requis en transmission analogique. Cependant seul GI donne des performances de son système.

1.4.3. - SERVICE

Multiplex :

Alors que la proposition ADTV repose sur une découpe en couches et sur un formattage en paquets, susceptibles d'être compatibles avec un réseau ATM, les autres propositions définissent des segments de données de longueur égale à une ligne NTSC (63,5 microsecondes) ou à une ligne HD.

La solution ADTV est donc la plus souple pour des évolutions ultérieures de service.

Facilités de service :

Des données sont transmises afin d'assurer certaines facilités de service:

- Contrôle, Identification, Alerte d'urgence, programmes et Teletext... sans autre précision.
- Contrôle d'accès: Videocipher II Plus pour Digicipher.

Zones de couverture :

L'objectif affiché par la FCC est d'allouer une fréquence à chaque station émettrice existante,

- Soit en utilisant les canaux adjacents aux canaux déjà utilisés en NTSC - l'allocation de ces canaux "tabous" étant d'ores et déjà bouclées par la FCC
- Soit en exploitant des canaux NTSC en dehors des zones de couverture des stations NTSC existantes, l'objectif étant alors d'installer une nouvelle station émettrice à 100 miles d'une station NTSC existante (la distance actuelle est de 150 miles).

Les prévisions de zones de service peuvent être faites de plusieurs façons:

- la plus classique consiste à rechercher la puissance d'émission nécessaire pour obtenir une zone de couverture offrant une qualité de signal donnée, pendant un temps donné, pour un nombre de points de réception donné. (puissance moyenne et puissance crête).
- l'approche la plus probable sera sans doute celle qui se définira en tenant compte de la gêne produite, en cocanal, sur le canal analogique et évaluée à partir d'essais subjectifs.

La structure du signal pourra ne pas être indifférente et chaque db gagné sur le rapport de protection sera capital. Quoiqu'il en soit, l'importance de la zone de service utilisable devra rester attractive par rapport aux zones de couvertures des émetteurs de télévision analogique.

L'ATTC demande aux candidats de fournir des résultats sur les zones de couverture et des résultats de calcul d'interférence. Des informations concernant : la puissance émise, les hauteurs des antennes, la distance de diffusion, et les contours de service du NTSC en note A ou B sont données sur la figure 2, pour le système ADTV. Il semblerait que les quatre systèmes donnent à peu près les mêmes résultats en termes de zones de couverture et de zones d'interférence. Toutefois le système "Spectrally Shaped QAM" donnerait une plus grande zone de service sans interférence en provenance du NTSC.

Cependant il convient d'attendre les résultats officiels de la FCC avant de se prononcer sur les propositions américaines.

Autres supports :

Le portage à d'autres supports d'un système dédié initialement à la diffusion terrestre fait encore l'objet, selon les protagonistes, de travaux complémentaires. Il est cependant indiqué que le portage sur câble ne nécessiterait aucune modification fondamentale du système et que la transmission sur satellite s'effectuerait uniquement par un changement de modulation (QPSK, MSK).

Enfin l'enregistrement sur magnétoscope Grand Public d'un signal limité à 6 MHz est jugé faisable et réaliste par les quatre candidats.

Aspects financiers :

Des estimations avancées lors du dernier NAB'92 conduisent à un coût approximatif de \$7 millions pour une station de télévision locale voulant émettre en TVHD. Un tel investissement est problématique pour les petites stations américaines, soit près d'un tiers des 1500 stations américaines, car il ne peut correspondre à un surplus de recettes publicitaires induit par une émission en TVHD d'un programme par ailleurs diffusé en NTSC.

Selon certains analystes, le taux de pénétration de la TVHD serait de 1% au bout de deux ans, 3% au bout de trois ans et 6% au bout de quatre ans. Enfin pour les industriels de l'électronique Grand Public, l'objectif est d'offrir aux téléspectateurs un récepteur TVHD pour un surcoût de l'ordre de \$1000.

1.5. - Conclusion

Les propositions américaines mettent aujourd'hui l'accent non pas sur la qualité des images Haute Définition mais bien sur l'étendue des zones de couverture du service numérique terrestre HD qu'elles aimeraient voir aussi larges que celles des services actuels NTSC. Or les choix techniques retenus par les quatre candidats semblent "très limités" pour obtenir un bon compromis Qualité/Couverture et ceux-ci risquent de se retourner rapidement contre eux au moment des premiers essais sur site.

La FCC devra alors prendre des mesures "politiques", soit pour reconsidérer les règles du jeu de l'introduction du service HD dans le plan de radiofréquence actuel, soit en forçant les candidats présents à reformuler une proposition commune plus optimale, quitte à rallonger les délais d'introduction d'un premier service de diffusion terrestre de Télévision à Haute Définition.

De toute évidence, et avant de conclure sur les chances de réussite de la FCC, il s'agit de ne point succomber aux excès d'une critique sceptique ou d'un optimisme béat.

1.6. Bilan des débits

Candidats	ATRC	Zénith/ATT	Digicipher	ATVA
Balayage	1050/2:1/29,97 Entrelacé	787,5/1:1/59,94 Progressif	1050/2:1/29,97 Entrelacé	787,5/1:1/59,94 Progressif
Points * Lignes utiles	1440 * 960	1280 * 720 pixels carrés	1408 * 960	1280 * 720 pixels carrés
Débit brut transmis	24 Mbits	de 10,76 à 21,52 Mbits	de 19,51 à 24,39 Mbits	26,43 Mbits
Débit utile (sans data de synchro ni FEC)	18,5 Mbits	de 9,3 à 17,8 Mbits	de 13,34 à 18,22 Mbits	19,89 Mbits
Débit vidéo	17,73 Mbits	de 8,46 à 16,92 Mbits	de 12,59 à 17,47 Mbits	18,88 Mbits
Débit audio	0,512 Mbits	0,504 Mbits	0,504 Mbits	0,755 Mbits
Data	0,256 Mbits	0,412 Mbits	0,252 Mbits	0,252 Mbits

ANNEXE 1 - Représentation des signaux

Candidats	ATRC	Zénith/ATT	Digicipher	ATVA
Balayage	1050/2:1 Entrelacé	787,5/1:1 Progressif	1050/2:1 entrelacé	787,5/1:1 progressif
Fce image	29,97 Hz	59,94 Hz	29,97 Hz	59,94 Hz
Points * Lignes pixels	1440 * 960 27:32	1280 * 720 1:1	1408 * 960 33:40	1280 * 720 1:1
Chroma	720 * 480	640 * 360	350 * 480	640 * 320
Bande passante Y Chroma	23,6 MHz	34 MHz ? 17 MHz ?	21,5 MHz 5,4 MHz	34 MHz ? 34 MHz ?
Fréquence d'échantillonnage	54 MHz	75,3 MHz	53,65 MHz	75,3 MHz
Débit brut *estimé	497 Mbits	662 Mbits	405 Mbits	662 Mbits*

ANNEXE 2 - Codage vidéo

Candidats	ATRC	Zénith/ATT	Digicipher	ATVA
Transformée	DCT bloc 8*8	DCT bloc 8*8	DCT bloc 8*8	DCT bloc 8*8
Codage	DPCM ou VLC	Quantification vect Modèle humain de perception	VLC Huffman	VLC Huffman
Estimation de Mouvement	Block Matching 2 degrés de précision, 2 passes 1/2 pixels	Block Matching en 2 passes "coarse ou fine" 1/2 pixels	Block Matching full search 1 pixel	Méthode par contrainte spatio- temporelle 1/2 pixel
Type d'image	I, P, B	P	P + I blocs	I, P
Compensation de Mouvement	Bidirectionnelle Forward ou Forward- backward	1 V par bloc 32*16 ou 8*8	1 V par macrobloc 32*16	1 V par bloc 32*32
Traitement Couleur	sous échantillonnage :2 en H, :2 en V	ss-éch. :2 en H, :2 en V Y Constante	ss-éch. : :4 en H, :2 en V	ss-éch. non défini
Traitement spécifique	MPEG ++ 2 Flux séparés selon 2 priorités.	Post processing lissage des effets de bloc.	traitement Film spécifique: travail à 24I/s.	traitement Film spécifique: travail à 24I/s.
Nb de bit par pixel	0,40	de 0,15 à 0,31	0,31 ou 0,43	0,34
Débit vidéo	17,73 Mbits	de 8,46 à 16,92 Mbits	12,59 ou 17,47 Mbits	18,88 Mbits

ANNEXE 3 - Codage Audio :

Candidats	ATRC	Zénith/ATT	Digicipher	ATVA
Technique	MUSICAM (ISO/MPEG) Fcc= 48 KHz	Dolby AC-2 Fcc = 47,2 KHz	Dolby AC-2 Fcc = 47,2 KHz	Transform/ Subband, MIT-AC Fcc= 48 KHz
Nb de canaux	4	4	4	4
Débit total audio	0,512 Mbits	0,504 Mbits	0,504 Mbits	0,755 Mbits

ANNEXE 4 - Modulations et protections

Candidats	ATRC	Zénith/ATT	Digicipher	ATVA
Modulation	2 SS-QAM spectrally Shaped 32 QAM codée 9/10 2 niveaux de puissance : HP, SP (option : 16 QAM)	2-VSB ou 4-VSB <i>Vestigial SideBand</i>	32 QAM codée 4/5 ou 16 QAM codée 3/4	32 QAM (16 QAM)
Bande utile (3db)	0,96 + 3,84 MHz	5,38 MHz	4,88 MHz	5,2867 MHz
Débit brut transmis	24	de 10,76 à 21,52	19,51 à 24,39	26,43
Débit utile	18,5	de 9,9 à 17,9	13,34 ou 18,22	19,89
Code Correcteur	RS (127,148)+ Cell overhead	RS (167,147)	RS (106,116) ou RS (145,155)	RS (126,116) ou RS (168,158)
Egalisation	16 µs (voire 40 µs) échos multiples	-2 µs à 20 µs	-2 µs à 24 µs échos multiples	2 µs -2 µs à 24 µs écho simple
Rapport de protection C/N TVHD/NTSC CAI	11,1 DB / 16,1 db	10 db / 16 db 0 db / 6 db	12,5 db / 16,5 db 0 db / 5 db	11,7 db / 15,7 db
Puissance de Transmission Zone de couverture	26,3 54,5 / 55,5	22,5 53(4VSB) / 59 (2VSB)	19,5 61	23,9 / 20,4 (32QAM/16QAM) 53,1 / 53,5

Figure 1 : "Spectrally Shaped QAM" du Système ADTV.

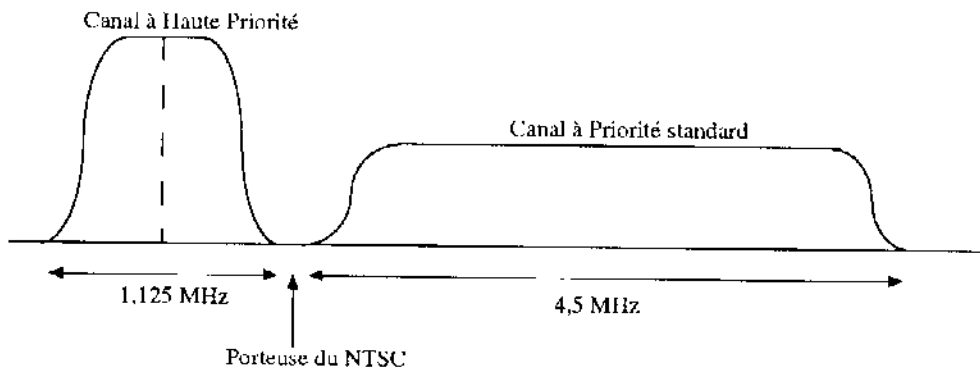
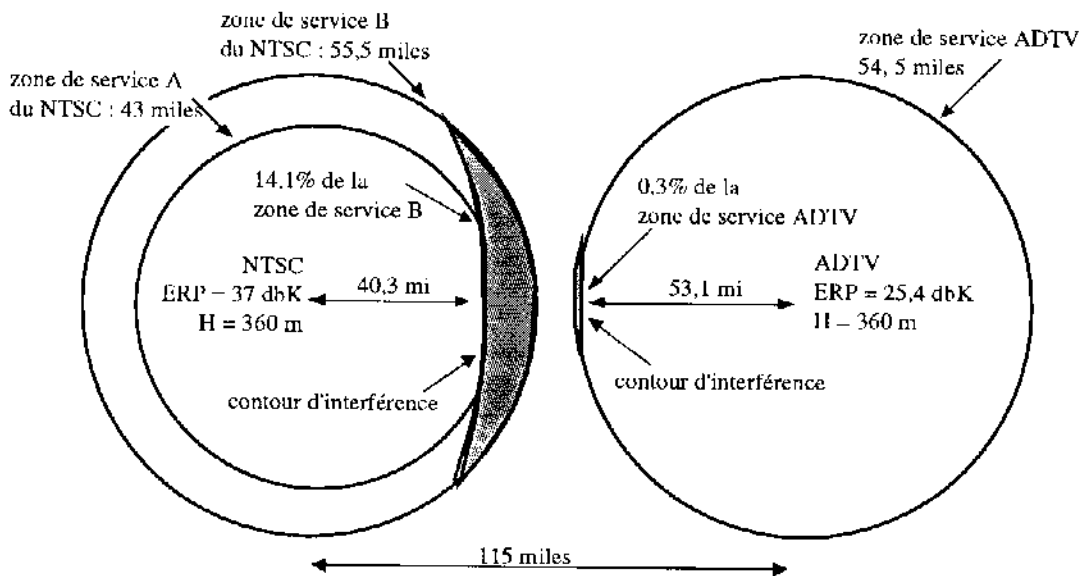


Figure 2 : Zones de couverture et d'interférence du service NTSC et du service ADTV situé en cocanal.



2. LA SITUATION EN EUROPE

2.1. Introduction

L'environnement technique et administratif sur les études et la normalisation de la télévision numérique de terre en Europe est complexe et à multiple dimensions. C'est d'ailleurs à cause de cette complexité que les initiatives prises à ce jour sont désordonnées et parfois contradictoires et qu'une tentative de coordination est entreprise au niveau européen par un groupe de lancement dont nous parlerons plus bas. Ce qui suit est un court résumé de la situation. Certains éléments seront inévitablement omis.

2.1.1. Les premières étapes

Il est évident qu'à long terme la télévision haute définition sera numérique. Les premières discussions importantes sur ce sujet en Europe ont commencé lorsque les radiodiffuseurs nordiques ont demandé à l'automne 1990 à l'Union Européenne de Radiodiffusion (UER) de mettre en place un groupe spécialisé (Task Force) chargé de définir un système européen de télévision numérique terrestre. L'UER n'a pas mis en place immédiatement ce groupe mais a préféré lancer une revue du problème. En 1991, un consortium scandinave a été formé sous le nom de HD-DIVINE pour réaliser un système de télévision numérique de terre afin de prouver la fiabilité de tels systèmes. L'objectif de ce consortium était de développer sous forme de matériel pour la fin 1992 un système complet de diffusions terrestres de télévision haute définition. De même, en 1991 ITTC en Grande-Bretagne a commencé le développement d'un système basé initialement sur des signaux aux normes studio 4.2.2. et le CCETT a de même entrepris le développement d'un système de diffusion numérique de terre pour la qualité visio-conventionnelle sous le nom de STERNE. En fin 1991, un consortium de radiodiffuseurs et de fabricants a mis en place un projet à relativement large échelle pour démarrer en 1992 un projet dans le cadre de RACE phase 2. Ce projet appelé dTTb est sous la direction du CCETT. La proposition initiale n'a pas été acceptée en état par la Direction de RACE. Cependant, les partenaires se sont mis d'accord pour commencer le projet anticipant les financements éventuels. La première phase de 9 mois a été signée en novembre 1992 mais est censée être commencée en avril 1992. La deuxième phase de ce plan de 4 ans a un statut actuellement non défini au sein de la communauté économique européenne. En 1991, un projet coopératif intra-allemand destiné à fournir un système de distribution numérique de la télévision haute définition sur terre a été formé. Il est dirigé par l'Institut Heinrich Hertz (HHI) de Berlin et est connu sous le nom de HDTV-T. Ce projet est actuellement uniquement ouvert aux organisations allemandes et les partenaires attendent un financement du ministère de l'industrie allemand. Toujours en 1991, l'administration allemande a mis en place un processus qui a conduit à la création d'un groupe de lancement de la télévision numérique en Europe connu sous le nom de Launching Group (Groupe de lancement) dont un groupe de travail de la télévision numérique de terre a défini des spécifications générales de service. D'autres projets ont également été lancés, également le projet Eureka VADIS destiné à fournir un codage de source et travaillant dans le cadre de la normalisation nationale, et qui au sein de l'ISO et de la CEI prépare des normes pour le codage de l'information destiné aux techniques de traitement de l'information c'est-à-dire à l'information. Ce projet VADIS a pour objectif de fournir des signaux numériques à partir d'un signal analogique aux normes de studio 4.2.2. dans deux gammes de qualité. La qualité voisine de la qualité standard composite avec un débit d'environ 5 MBit/s et une qualité indiscernable de la qualité originale d'un studio (et donc comparable avec celle des systèmes MAC 625 lignes) avec un débit voisin de 10 Mbit/s. Le projet VADIS est financé par Eureka et porte le numéro Eureka 625.

2.1.2. Les activités de l'UER

L'UER a environ 50 groupes techniques étudiant les différents aspects de la radiodiffusion et qui sont regroupés en quatre domaines, la recherche et le développement, les pratiques opérationnelles, la formation, la planification de fréquences, l'Eurovision et l'Euroradio. L'UER a créé un groupe spécialisé R2/DTV pour analyser la situation européenne en ce qui concerne la planification pour la diffusion numérique de terre de la télévision. Le rôle que pourra jouer utilement l'UER dans le domaine du système n'est pas encore décidé. Actuellement les groupes D4 et V1 analysent en détail le réalisme des propositions suggérées par le groupe de travail WG-DTB et imaginent de faire un rapport sur leurs conclusions au printemps 93. En outre, le président de VADIS qui est également président du groupe ISO-CEI/SC39/WG11 dit MPEG a suggéré que l'UER pourrait être responsable de l'évaluation des algorithmes MPEG2 en tant qu'organisme indépendant extérieur.

2.1.3. Les projets satellites

Il y a deux projets RACE concernant la diffusion numérique par satellite sur la télévision à haute définition. Le projet flash TV développe un système de transmission point à point de télévision à haute définition à des débits de 70 et 34 Mbit/s pour le reportage électronique par satellite. Le projet HDSAT développe un système de diffusion numérique par satellite dans la bande des 20 GigaHertz et éventuellement dans la bande des 12 Mhz. Actuellement on s'attend à ce qu'il travaille au débit de 45,70, 140 Mbit/s par seconde. Le groupe ASTRA et le consortium CANAL+/News International semble étudier un système numérique par satellites de leur propre cru mais qui pourraient être construit selon les techniques du système DirectTV Skypix de diffusions multiples décalées dans le temps du même programme.

Studio	Transmission	Diffusion et distribution
EU 95 UER V1	Flash TV ¹ (HD) (VADIS) COST 203 HIVITS	Terrestre : dTTb HD-DIVINE HDTV-T UER V4, V1 et R2
		Câble HD-SAT
		RNIS Large Bande (VADIS ¹)
		Satellite 12 GHz HD-SAT
		Satellite 20 GHz HD-SAT
		Magnétoscopes (VADIS ¹)

Activités européennes en matière de télévision numérique

2.1.4. Projets concernant des systèmes de transmission et de studio

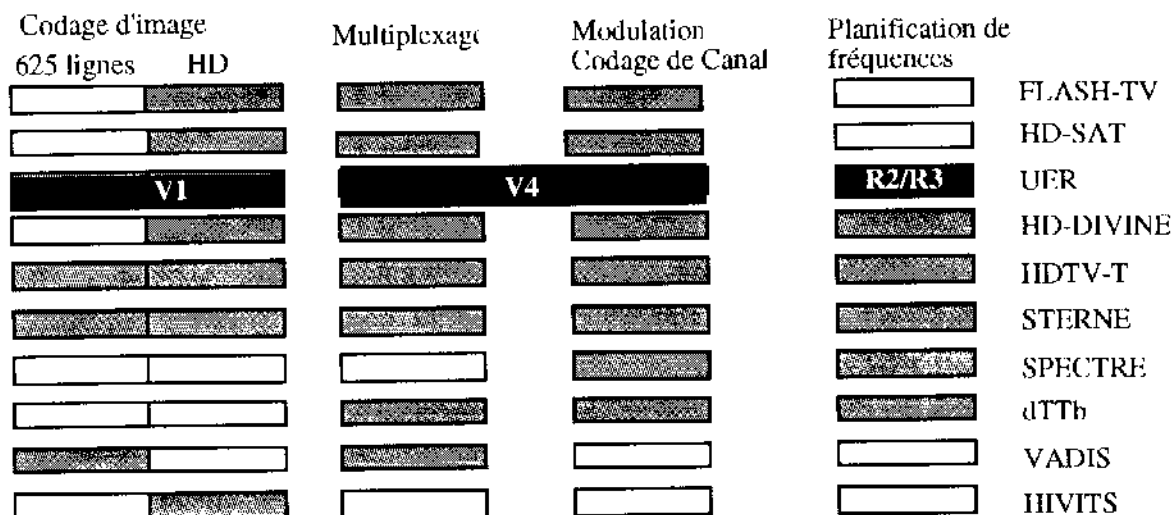
Il y a également un projet COST sur le système de contribution numérique haute définition et un projet RACE (HIVITS R1018) qui vient juste de terminer le développement d'un système de transmission haute définition numérique à 140 Mbit/s. Le projet Eureka 95 a développé un système de production de télévision haute définition à 1250 lignes, 50 trames, 2:1. (c'est-à-dire entrelacés) dont l'UER est en train de publier sous forme d'une recommandation technique les spécifications pour ses membres. L'ensemble

¹VADIS étudie un système de codage de l'image pour les applications interactives et les supports d'enregistrement numérique.

des projets européens de distribution de la haute définition considère que les spécifications Eureka 95 constitueront la norme pour la source haute définition.

2.1.5. Calendrier et recouvrements

La figure ci-dessus (activités européennes en matière de télévision numérique) constitue une représentation résumée des projets et de leurs domaines d'intérêts. Aucune information n'est disponible pour les études ASTRA News International et Canal Plus. Il est important de distinguer deux types de recouvrements dans le travail ou les études, des recouvrements techniques et des recouvrements en application. En première approximation, la figure ci dessus montre seulement les recouvrements en matière d'applications et la figure ci après montre les phénomènes de recouplement sur le plan technique.



Recouvrements thématiques des activités européennes

Les calendriers affichés de ces divers projets conduisent à une phase de définition de système en 92/93, un développement de prototypes en 93 et 94, des essais sur le terrain et une optimisation de système en 94 et les réalisations de récepteurs pour le public vers 97 ou 98.

En considérant l'importance des recouvrements, il faut avoir à l'esprit qu'il y a des avantages et des inconvénients dans la compétition et les recouvrements. Il y a en outre différentes sortes de compétitions qui peuvent être avantageuses et désavantageuses à différents degrés. Pour le public européen, l'environnement compétitif européen idéal de la phase post-recherche et développement sera probablement celui où différents constructeurs seront en compétition sur le même marché. Ceci tend à diminuer les prix et à fournir à l'utilisateur un choix plus large. **Cet environnement est obtenu par la normalisation du système de base.** Un environnement compétitif dans lequel il n'y a pas de normalisation de base (comme cela existe par exemple dans le domaine de l'enregistrement) tend à augmenter les prix parce que des marchés captifs sont créés et que l'état des marchés sont plus petits et ceci peut être vu comme compétition disfonctionnelle.

Pour le public européen, l'environnement compétitif idéal dans la phase de recherche et développement peut être celui où des équipes de développement sont en compétition pour les mêmes objectifs de développement ou les mêmes objectifs de système de manière à apporter le meilleur d'elle-même. C'est dans ce contexte qu'il faut juger les recouvrements des techniques ou d'applications qui sont mentionnés dans ce chapitre.

2.2. Contraintes générales sur la radiodiffusion terrestre résultant des services existants.

2.2.1. Philosophie de la couverture

En Europe, la plupart des radiodiffuseurs publics ont adopté une philosophie consistant à fournir le service de télévision à une proportion très large de leur population plutôt que d'essayer uniquement de couvrir les centres. Le résultat en est que dans la plupart des pays, plus de 98 % de la population peut recevoir au moins un programme avec une force du champ électrique suffisamment élevée pour permettre une réception qui ne nécessite pas l'utilisation d'antennes spéciales à haut gain ou de préamplificateurs à faible bruit. Le nombre de programmes que l'on peut recevoir est généralement de trois ou quatre encore qu'il y ait des pays où seulement il y a un ou deux programmes qui sont disponibles. Mais ceci est davantage un problème de ressources nationales que de résultats de contraintes de planification. Il n'y a rien de spécial concernant le chiffre de 98 % et dans certains pays l'objectif est supérieur à 99 % mais on considère généralement que les problèmes soulevés et le nombre de répéteurs augmentent rapidement lorsque le pourcentage de couvertures devient plus élevé.

Ce type de couverture est souvent appelée couverture nationale. Mais il y a une variante appelée régionale. Ce fait reconnaît que différentes parties d'un pays peuvent nécessiter des programmes différents.

Pays	Ménages (Millions)	Système VHF	Canaux VHF	Système UHF	Canaux UHF (Nominiaux)	Canal UHF supérieur utilisé	Utilisation des canaux 35, 36, 37, 38
Allemagne	45	PAL B	2 à 12	PAL G	21 à 68	60	35, 36, 37,
Belgique	4	PAL B	2 à 12	PAL H	21 à 68	63	35, 37 prévu
Danemark	3	PAL B	2 à 12	PAL B	21 à 68	60	35, 36, 37
Espagne	17	PAL B	2 à 12	PAL G	21 à 68	60	35, 36, 37, 38
France	29	SECAM L	2 à 10	SECAM L	21 à 68	68	35, 36, 37,
Grèce	2	SECAM B	2 à 12	SECAM G	21 à 68	60	35, 36, 37,
Irlande	1	PAL I	1A à 1K	PAL I	21 à 68	67	35, 37 prévu
Italie	17	PAL B	A à HI	PAL G	21 à 68	68	35, 37
Luxembourg	0.1	PAL B	2 à 12	SECAM L	21 à 68	49	-----
Pays-Bas	5	PAL B	2 à 12	PAL G	21 à 68	60	35
Portugal	0.7	PAL B	2 à 12	PAL G	21 à 68	60	35
Royaume Uni	20	---	---	PAL I	21 à 68 •	68	35, 37 prévu

Table d'occupation du spectre dans les pays de la CEE

Pays	Nombre de services nationaux	nombre total de services	Nombre de services nationaux en VHFVHF	nombre approximatif d'émetteurs	Commentaires
Allemagne	3	7	1 (essentiel.)	70	
Belgique	2	5	2 (partiel.iel.)	20	
Danemark	2	2	1 (partiel.iel.)	36	
Espagne	3	7	1 (partiel.)	60	
France	3	7	1 (essentiel.)	over 100	
Grèce	2	3	1 (essentiel.)	30	
Irlande	2	2	2 (partiel.iel.)	9	
Italie	3	4	1	80	Plus de 700 stations locales privées utilisent les canaux tabous
Luxembourg	4	4			
Pays-Bas	3	3	1 (partiel.)	7	
Portugal	2	2	1 (essentiel.)	11	
Royaume Uni	4	4	-----	51	La 5 devrait utiliser les canaux 35 et 37

Table des programmes dans les pays de la CEE

Dans les deux cas cependant, l'objectif est de couvrir les zones habitées jusqu'aux frontières d'un pays ou aux frontières d'une région à l'intérieur d'un pays. Ceci signifie inévitablement qu'il y a des recouvrements de couvertures dans les zones frontalières et qu'il devient nécessaire de continuer à protéger les services additionnels contre les interférences de la même façon que le service « normal » est protégé. Ceci conduit à des contraintes de planification particulières dans les zones frontalières ou à proximité de ses zones.

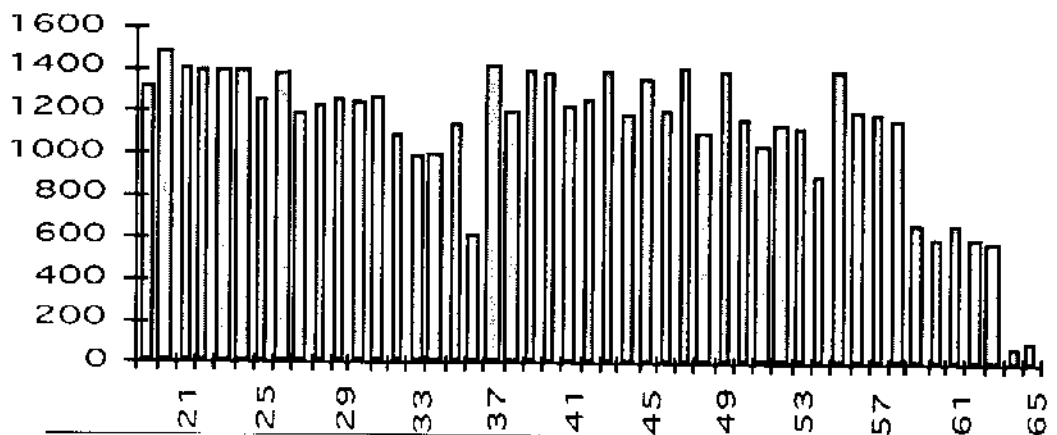
Une autre conception de planification est celle des services locaux appelée également RACE. Leur intention première est de ne couvrir les zones de population les plus denses sans tenir compte des interférences dont ils peuvent souffrir dans les régions situées entre les zones de population dense qui sont celles commercialement intéressantes. Bien entendu, la planification de ces services locaux doit également assurer une protection complète des services nationaux ou régionaux dans toutes les parties de leur zone de couverture. Il n'est pas rare que la couverture maximale d'un ensemble de stations locales bien développées dans un pays donné soit au environ de 70 à 80 % de la population. Cependant il y a des grandes différences entre les pays et entre les différentes chaînes de programmes locaux dans un même pays.

Un résultat important de ces philosophies de planifications est qu'un grand nombre d'émetteurs est nécessaire pour fournir une couverture.

La figure suivante (source UER) montre le nombre d'émetteurs utilisant chacun des canaux UHF en Europe. Dans de nombreux pays il y a des restrictions des canaux 61 - 69 (qui sont utilisés par notre service) et ceci conduit à des discontinuités que l'on peut voir. Il y a également des restrictions sur les canaux 34 à 37 et le canal 38 est utilisé par les radios astronomes. Les deux tables données plus haut résument la situation résultant de ces contraintes

L'une des différences entre les philosophies de couverture européenne et nord américaine est que les services principaux en Europe ont des objectifs de couverture nationale ou régionale alors qu'aux États-Unis le terme local est plus approprié indépendamment de la taille que la zone de couverture de population contenue.

Nombre d'émetteurs dans chaque canal UHF



2.2.2. Protection du service

La principale source d'interférence dans tous pays européens est l'interférence co canal. L'un des premiers objectifs de planification est de conserver les défauts causés par l'interférence canal à un niveau non inférieur à la note 4 pour toute interférence continue, non inférieur à la note 3 pour toute interférence présente seulement 1 % du temps. La règle étant étendue à 5 % dans quelques pays. Cette dernière exigence est généralement plus difficile à respecter.

Il y a généralement peu de problèmes avec les autres mécanismes d'interférences et actuellement il présente peu de contraintes en matière de planification que ce soit pour le choix des canaux à un émetteur donné ou de façon plus importante pour le choix des canaux dans les zones de recouvrement de couverture entre stations adjacentes. Ce dernier point est particulièrement important. En Europe, il y a des recouvrements importants de couvertures entre stations adjacentes dans la plupart des pays. Et l'on doit pouvoir donner tous types de relations entre canaux dans les zones de recouvrement de configuration co-canal.

Bien que les propriétés directives des antennes de réception donnée aident à réduire le niveau de signaux non désirés il est extrêmement important de noter que là où les programmes des stations adjacentes ont des programmes différents, les spectateurs utiliseront les deux généralement avec des antennes séparées. Mais (pas toujours !). Au cas où les services se recoupant utilisent des canaux adjacents le champ du signal désiré peut être plus de 20 dB en dessous de celui du signal non désiré. Ceci a des indications importantes au cas où les services additionnels (par exemple : numériques) par des transmissions à canal adjacent sont proposés pour une station d'émission donnée.

Il y a traditionnellement des contraintes de planification concernant les canaux pouvant être utilisés sur un site donné. Par exemple, les canaux adjacents, les canaux sujets à une interférence avec l'oscillateur local ou les canaux images ont eu tendance à être évités dans le passé. (Cependant pas dans tous les pays à mesure de l'amélioration des récepteurs de télévision, ces contraintes ont été levées.

Ces dernières contraintes à solliciter ont été celles concernant l'utilisation des canaux adjacents sur un site donné (actuellement), en particulier à cause des difficultés à obtenir :

- une suppression suffisante des composantes indésirables du canal adjacent inférieur (un problème important avec les émetteurs klystron de grande efficacité),
- une isolation suffisante pour éviter les problèmes d'inter-modulation.

Cependant, l'utilisation de sites séparés quoique voisins pour les transmissions en canaux adjacents ont fait la preuve de leur efficacité. L'effet pour l'utilisateur est qu'il peut utiliser une antenne de réception unique à condition que les signaux d'émission soient suffisamment proches et autres conséquences, ils souffrent de peu de défauts voire pas de défauts du tout sur l'image à condition que les champs des signaux aient une différence de quelques dB seulement.

2.2.3. La recherche des fréquences

Les nouvelles techniques de codage de canal comme le COFDM permettent la mise en oeuvre de réseaux mono-fréquences et permettent ainsi une efficacité bien meilleure d'utilisation des bandes de fréquences que les systèmes analogues actuels. Cependant de tels réseaux ne peuvent être placés dans une bande uniquement pour ce service, il n'y a actuellement aucune bande de radiodiffusion (ou d'autre bandes) libres de toutes occupations.

Dans ces conditions, est-il possible d'utiliser l'allocation de nouvelles bandes de fréquences pour la diffusion numérique ?

Si nous regardons la situation sous trois axes, ce qui est une limite raisonnable pour une bonne transmission terrestre, les bandes de fréquence sont utilisées pour de nombreux services et notamment par les services terrestres mobiles qui ont une importance croissante. En outre, de nouveaux systèmes de radiodiffusion cherchent également de nouvelles allocations de fréquence et la conférence administrative mondiale des radiocommunications 92 CAMR 92 vient juste de décider d'allouer une bande pour la radiodiffusion numérique DAB entre 1452 et 1492 Mhertz.

Dans ce contexte, il est très improbable qu'il soit possible d'obtenir une nouvelle bande pour la radiodiffusion terrestre de la télévision numérique. Il est ainsi nécessaire d'effectuer le nouveau mode de diffusion dans les bandes de fréquences actuellement allouées pour la diffusion de la télévision. Ce qui semble logique dans la mesure où l'objectif des nouveaux services est de remplacer les systèmes PAL et SECAM analogiques au moins à long terme.

Une possibilité est d'utiliser des canaux "corrélés" ce qui était auparavant impossible dans un site de transmission donné.

2.3. La diffusion numérique de terre des programmes de télévision

2.3.1. Des projets en Europe....

C'est donc l'objet en Europe d'une série de projets locaux. Rappelons rapidement leurs caractéristiques. Le projet SPECTRE au Royaume Uni est mené par l'ITC (Commission indépendante de la télévision) avec comme sous-traitant NTL, les deux organismes formant l'ancienne IBA. Le prototype utilise un modulateur OFDM à seize états et est actuellement utilisé pour faire des essais de diffusion simultanée des programmes numériques avec les programmes analogiques pour mesurer les interférences et les gênes apportées par les services nouveaux sur les services existants et réciproquement, et pour qualifier les zones de couverture ainsi obtenues. Le prototype HD-DIVINE n'est pas encore tout à fait terminé. Nous avons eu l'occasion d'assister à sa première démonstration en grandeur réelle, lors de la réunion du groupe de travail de coordination européenne qui se tenait à Stockholm au début du mois de novembre. Le système d'émission est également un système OFDM à seize états. Le prototype montre d'indiscutables défauts dû semble-t-il, à une erreur sur l'un des circuits intégrés réalisant la fonction de transformée rapide utilisé pour la génération des porteuses OFDM.

Les développements matériels du système HDTV-T ont à peine commencé. On sait cependant qu'en raison de la nature des partenaires impliqués dans ce projet que son objectif est de fournir un service hiérarchique et ceci dans un double but. Le premier but

est de permettre la diversification du service lui-même entre la télévision à résolution normale et la télévision à haute définition qui constitue l'objectif principal des radiodiffuseurs allemands. L'autre raison du choix d'un système hiérarchique réside dans le désir de fournir ce qu'on appelle la *graceful degradation*, terme difficile à traduire et qui désigne le fait d'obtenir, lorsque le champ de réception diminue, une dégradation progressive de la qualité du signal afin de pallier la caractéristique générale des modulations numériques qui fonctionnent parfaitement ou ne fonctionnent plus du tout. Le système de modulation utilisé sera lui aussi basé sur les techniques OFDM ou COFDM, les détails n'en sont pas connus.

Le système DIAMOND développé par THOMSON LER et actuellement expérimenté à la BBC est également un modulateur OFDM destiné à la diffusion numérique haute définition. Elle utilise deux signaux OFDM modulant chacun une porteuse, les deux porteuses étant émises en quadrature. Le débit total obtenu est donc de l'ordre de 60 Mbit/s.

Enfin au CCETT, le projet STERNE est conduit dans le cadre d'une approche progressive commençant par la diffusion de signaux en résolution 625 lignes vers les mobiles et vers les portables pour aboutir fin 1993 à un système complet, prototype bien entendu, de diffusion numérique de télévision à haute définition vers des récepteurs fixes.

2.3.2. Le choix des techniques OFDM ou COFDM

Tous ces projets locaux ou nationaux ont un certain nombre de points communs. Tout d'abord contrairement à la technique utilisée aux États Unis, il font tous appel à la technique OFDM ou COFDM.

Il n'est sans doute pas inutile de rappeler quels en sont les principes et les caractéristiques principales.

Le signal numérique est divisé en un certain nombre de signaux séparés qui vont chacun moduler une porteuse à faible débit. L'ensemble de ces porteuses étant réparti dans le spectre de la bande utilisée. Ces porteuses sont orthogonales entre elles d'où le nom OFDM qui signifie Orthogonal Frequency Division Multiplex. L'orthogonalité de ces porteuses les rend totalement indépendantes entre elles et on pourrait théoriquement utiliser pour chacune de ces porteuses un type de modulation différent. La durée d'un symbole modulant ces porteuses est de quelques microsecondes et l'on sépare chaque symbole de l'intervalle de temps appelé intervalle de garde destiné à se protéger contre les signaux parasites provenant de trajets multiples. La valeur de cet intervalle de garde dépend de la durée de l'écho dont on souhaite se protéger. On se rend compte facilement que même si l'ensemble de ces projets locaux utilise une technique de base commune OFDM, les choix de paramètres tels que le type de modulation appliqué à chaque porteuse, le nombre de porteuses utilisé dans la bande passante nécessaire et la valeur de l'intervalle de garde constituent autant de possibilités de divergences selon les objectifs de service ou les objectifs techniques de chacun de ses projets. Un premier choix de paramètres a été fait dans le cadre du projet Eureka 147 pour la radiodiffusion sonore destinée à des récepteurs mobiles. Il s'agit du projet DAB (Digital Audio Broadcasting). Les paramètres choisis pour le projet DAB permettent une diffusion idéale vers des récepteurs mobiles lesquels sont soumis à des conditions de propagation extrêmement variables dans le temps et dans l'espace du fait des échos dus à des trajets multiples. Les choix faits conduisent à une efficacité spectrale en bit/s par hertz relativement faible de manière à assurer une protection maximale du signal. Cette protection est encore augmentée par l'utilisation d'un codage. Ce qui transforme le système OFDM en système COFDM, le C ajouté indiquant l'emploi d'un codage de canal. L'objectif de ce codage est d'obtenir une meilleure répartition de l'information parmi les fréquences ou parmi les symboles dans le temps. Au lieu qu'une valeur d'information soit portée par un seul bit lequel est affecté à une fréquence donnée pour un élément de temps donné, on effectue une sorte d'entrelacement de l'information qui conduit à étaler un élément d'information sur plusieurs bits. Lorsque,

du fait de la présence d'un écho à un moment donné, une porteuse parmi les 500 que comportent le canal est momentanément effacée ou mal reçue, l'information qu'elle porte n'est pas entièrement perdue et peut être reconstituée à partir de l'ensemble des informations effectivement reçues. Dans le cas du DAB, l'ensemble de ces procédures conduit à une efficacité réelle d'environ 1 bit/s par Hertz. Ce qui autorise pour un canal de télévision un débit total d'environ 6Mbit/s. Les conditions de réception pour les récepteurs portables c'est-à-dire les récepteurs munis d'une petite antenne intégrée et que l'on déplace au travers de l'appartement ou à l'extérieur mais pour lesquels la réception elle-même est fixe, sont moins sévères que pour un récepteur mobile placé dans un véhicule. On peut s'attendre donc à trouver des valeurs de paramètres mieux adaptées à ce type de réception et permettant une efficacité spectrale double environ de celle qui est obtenue pour un récepteur mobile. Enfin pour un récepteur fixe muni d'une antenne directionnelle placée sur le toit d'un immeuble, les conditions de réception sont encore plus favorables et un choix de paramètres doit permettre d'atteindre une efficacité spectrale de 4 ou 5 bit/s par Hertz soit un débit utile compris entre 25 et 30 Mbit/s dans un canal de télévision.

2.3.3. Des risques de divergence

La figure ci-après résume ces résultats en donnant aussi le débit approximatif nécessaire pour chacun des 4 niveaux de qualité actuellement retenus (définis plus loin) et les configurations de service possibles.

	Qualité d'image	HDTV	EDTV	SDTV	LDTV
Conditions de réception	Débit attendu → Efficacité spectrale espérée ↓	20 à 30 Mbit/s	10 Mbit/s (= Studio ou MAC)	5 Mbit/s (= PAL ou SECAM)	1.5 Mbit/s par ex. MPEG1 = VHS
Fixe	4 à 5 bit/Hz	1pg/canal.	2 ou 3	4 à 6	15 à 20
Portable	1.5 à 2 bit/Hz	NO	1	2	5 à 8
Mobile	1 bit/Hz	NO	NO	1	4

Il est aisé de comprendre que l'extrême variété des valeurs possibles de paramètres peut conduire à des choix incompatibles des divers projets nationaux si aucune coordination européenne n'est exercée. Or, si ces projets présentent des points communs, ils ont également des différences importantes notamment en ce qui concerne les objectifs de service visés. Ainsi HDTV-T et HD-DIVINE visent tout deux à l'introduction immédiate d'un service de télévision numérique à haute définition. Au contraire, SPECTRE et STERNE envisagent une introduction progressive commençant par un service numérique de résolution conventionnelle à 625 lignes, STERNE concentrant en outre son effort vers la réception portable ou mobile. Plusieurs moyens sont envisageables afin d'exercer ce type de coordination. Les moyens les plus traditionnels consistent en l'ouverture d'un projet de type coopératif soit dans le cadre des projets Eureka soit dans le cadre des projets de la communauté économique européenne RACE, ESPRIT ou autres.

Il se trouve que les débats concernant l'introduction de nouveaux services de télévision ont été tellement politisés, que la pression des médias a été tellement forte notamment sur le projet Eureka 95 visant à la définition du service de radiodiffusion à haute définition par satellite ou sur réseau de câble, que les autorités politiques de plusieurs pays européens se sont montrés réticentes à l'ouverture de nouveaux projets d'envergure touchant à la radiodiffusion numérique tant que le statut du service HDMAC et D2MAC n'était pas totalement éclairci.

2.3.4. ... Quelques projets européens (communautaires ou coopératifs)

Cependant, à la fin de 1990, un projet Eureka a pu voir le jour visant à la définition d'un système de codage numérique destiné en particulier à la diffusion de télévision à résolution 625 lignes. Il s'agit du projet Eureka 625 VADIS. (VADIS signifiant Video and Audio Digital Interactive system), dont l'objectif principal est cependant le codage du

signal d'image pour des services de communication ou pour des applications informatiques fournissant une qualité voisine de celle des systèmes conventionnels SECAM ou PAL. Il faut noter aussi l'existence d'études menées par l'Espagne et l'Italie dans le cadre du projet Eureka 256 pour la transmission par satellite de programmes en haute définition.

Du côté des projets communautaires, l'appel d'offre RACE2 a permis de lancer trois projets orientés vers la télévision numérique. Il est à noter qu'il en existait déjà un : le projet RACE 1018 HIVITS qui devait arriver à échéance en 1992 et qui était destiné à fournir un codage de l'image à haute définition mais plutôt pour les applications professionnelles de contribution que pour des applications de diffusion. Les trois projets ouverts dans le cadre de RACE2 sont respectivement le projet Flash TV qui lui aussi est destiné à des applications professionnelles de reportage utilisant les satellites comme moyen de communication. Le projet HDSAT comme son nom l'indique vise à définir un système de diffusion numérique de programmes haute définition par satellite. Ces deux projets ont été entièrement acceptés par la communauté économique européenne pour leur durée de trois ans.

2.3.5. ...dont un projet clé insuffisamment soutenu et financé

Au contraire, dTTb, le seul projet qui soit entièrement destiné à définir un système de radiodiffusion numérique de terre a connu un certain nombre de difficultés et à l'heure actuelle n'est accepté que pour une période dite de faisabilité de neuf mois entre avril 1992 et décembre 1992. Sa signature n'étant effective qu'au mois de novembre 1992, ce projet a en outre connu quelques difficultés de départ conduisant à un certain retard. C'est dans le cadre du projet VADIS qu'un certain nombre d'industriels et de radiodiffuseurs se sont rencontrés et ont décidé de créer un consortium dont l'objectif serait de définir la partie réseau d'un système de radiodiffusion numérique de télévision. C'est ainsi qu'est né le projet dTTb pour Digital Terrestrial Television Broadcasting. Il est à noter que les résultats attendus de ce projet constituent la clé d'un futur service numérique européen et qu'il est illusoire de songer disposer d'un service terrestre (offrant donc la possibilité de la portabilité et de la mobilité) en numérique tant que le consortium n'aura pas la réelle possibilité de faire son travail. Disons pour simplifier que ce projet joue en Europe, le même rôle que l'appel d'offre FCC aux USA, dans un contexte très différent évidemment. Cette comparaison fait apparaître son caractère stratégique.

2.3.6. Essai de coordination

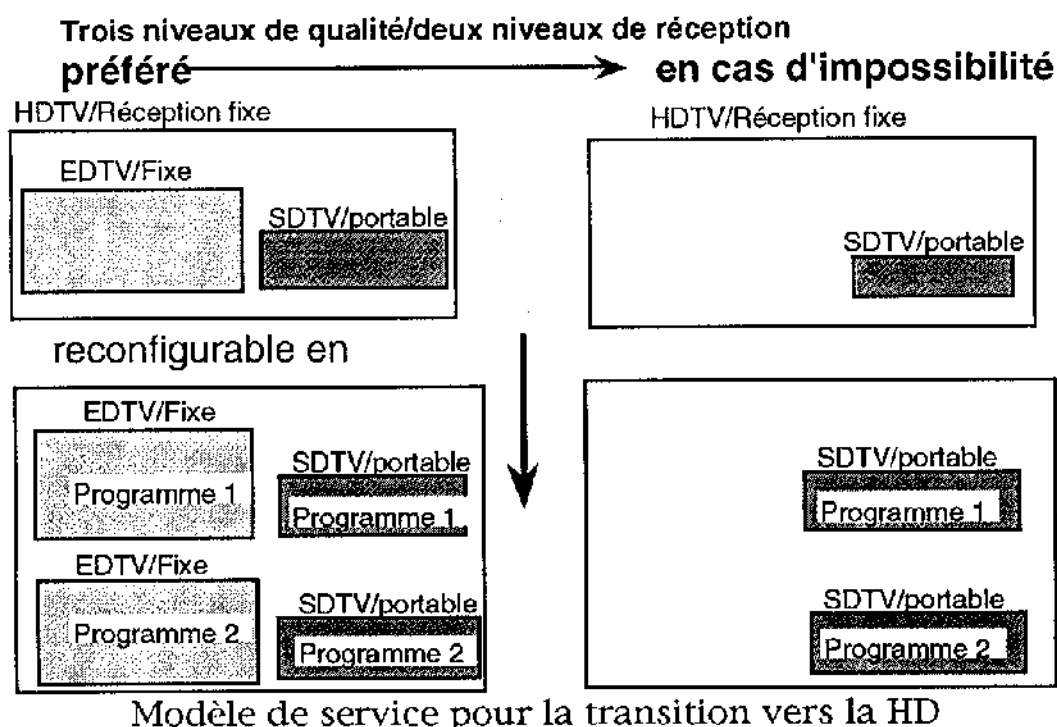
La situation actuelle des projets montre qu'ils n'ont pas constitué à présent l'outil idéal pour la coordination européenne soit à cause des difficultés internes d'Eureka, soit à cause de l'actuelle incapacité de la communauté économique européenne de se définir une politique en matière de nouveaux services de radiodiffusion. C'est pourquoi en 1991, les industriels européens et les radiodiffuseurs réunis au sein de l'UER ont tenté de mettre en place une coordination de type stratégique pour la définition de ce que serait la radiodiffusion numérique de télévision. Après un premier échec de cette tentative, c'est l'administration des PTT allemandes qui a repris cette initiative et qui a réussi à la faire aboutir sous forme d'un groupe de lancement européen de la télévision numérique connu sous le nom European Launching Group for Digital Television Broadcasting. Ce groupe réunit une majorité de radiodiffuseurs publics européens ainsi que l'ensemble des industriels du grand public, les ministères de l'industrie de trois pays : France, Grande-Bretagne, Allemagne, les ministères des PTT de France et d'Allemagne et les opérateurs de communication de ses deux pays. L'objectif du groupe de lancement est essentiellement politique et non pas technique. Il cherche à identifier les partenaires intéressés et les tâches à effectuer pour parvenir à la mise en place d'un service numérique dès que la technologie le permettra. Sa première action a été de mettre en place un groupe de travail dont la mission principale était d'obtenir un consensus sur un modèle de service. Ce modèle de service doit permettre aux projets techniques de faire le choix optimum de paramètres et de faire surtout un choix ordonné correspondant aux nécessités de modèles de services.

2.3.7. Un modèle de service

Ce groupe de travail a terminé son rapport à la fin de novembre 1992. Et ce rapport outre l'analyse qu'il fait de la situation des différents pays européens en matière de radiodiffusion de la télévision et notamment en matière d'occupation du spectre fait le choix de deux modèles de service relativement cohérents. Le premier modèle est un modèle visant à une transition vers la télévision numérique à haute définition sur réseau de terre. Le second modèle est destiné à présenter une transition vers un service de télévision pour les portables et les mobiles. Ces deux modèles de service font l'hypothèse que les projets techniques seront capables de définir des systèmes hiérarchiques.

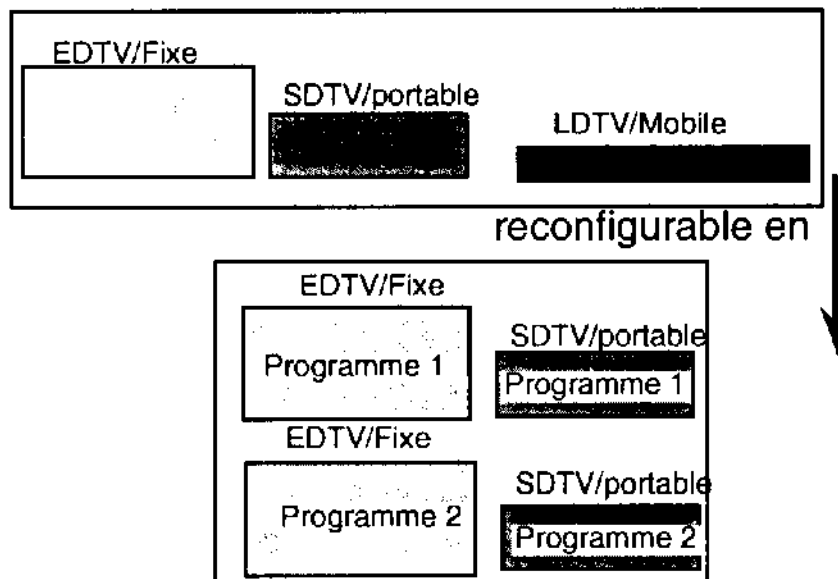
En fait, deux types de hiérarchie ont été définis. La première hiérarchie est relative à la qualité du signal de l'image lui-même. Quatre niveaux de qualité ont été déterminés : - la qualité haute définition dont il est dit qu'elle doit présenter une qualité au moins égale et de préférence supérieure à celle du HDMAC, - La qualité du type étendu que l'on devrait pouvoir comparer au D2MAC ou à la qualité de l'image de studio, - La qualité dite standard et qui est comparable à celle des services analogiques PAL ou SECAM et enfin, - la qualité dite limitée dont la définition tient l'existence de la norme MPEG1 qui fournit un signal dont la qualité se rapproche de celle du VHS. La seconde hiérarchie est relative au type de récepteur considéré : récepteur fixe avec antenne extérieure sur le toit, récepteur portable muni d'une antenne incorporée ou d'une petite antenne en oreille de lapins, récepteur mobile par exemple dans un véhicule qui représente donc un cas identique à celui des DAB.

On dit d'un système de codage d'image qu'il est hiérarchique lorsque le flux numérique peut être décomposé en plusieurs parties, une partie représentant l'image de qualité la plus basse, une seconde partie représentant ce qu'il faut ajouter d'informations à la première pour obtenir l'image de qualité suivante, et éventuellement d'autres parties comportant de même les additions qu'il faut pour rendre l'image de plus en plus fine. On dit d'un réseau qu'il est hiérarchique lorsque le flux numérique qu'il transporte peut être décomposé en plusieurs flux, chacun affecté d'un degré de protection différent. Une partie du flux étant protégée de manière à être reçue par un récepteur mobile, une autre partie de manière à être reçue par un récepteur portable et une troisième partie étant la moins protégée ce qui convient à la réception par un système fixe.



Le premier modèle de service proposé par le groupe de travail du groupe de lancement européen est composé de trois hiérarchies de qualité pour deux hiérarchies de réception. Le signal destiné à fournir une image de qualité standard doit pouvoir être reçu par un récepteur portable. Le signal destiné à représenter l'image de qualité étendue et le signal destiné à représenter l'image de qualité haute définition sont destinés tous deux à un récepteur fixe. La double hiérarchie de qualité affectée à un seul niveau de hiérarchie de réception est destinée à simplifier les récepteurs qui ne sont pas des récepteurs de haute définition mais qui sont destinés à une réception fixe. En effet, plus la quantité d'informations à traiter est élevée, plus le récepteur nécessite une puissance de calcul importante et donc plus son coût risque de se trouver élevé. La distinction dans la hiérarchie entre le cas de la haute définition et le cas de la qualité étendue correspondant donc à une qualité de type D2MAC, permet de développer des téléviseurs 625 lignes numériques dont le prix n'est pas affecté par l'existence dans le service d'un niveau de hiérarchie correspondant à la haute définition. Ce service doit pouvoir être reconfiguré en un service comportant deux programmes diffusés simultanément dans le même canal, chaque programme étant composé d'une hiérarchie à deux niveaux, une qualité standard pour récepteur portable, une qualité étendue pour récepteur fixe. Cette redéfinition a deux objectifs. Le premier objectif est de simplifier la transition entre les services analogiques et les services numériques en permettant pendant cette période de transition de transporter deux programmes différents sur une seule fréquence. Mais cette reconfiguration peut également se produire en temps réel de façon dynamique pendant la journée car rien n'indique actuellement qu'un radiodiffuseur, ou un prestataire de programmes souhaitera diffuser de la haute définition 24 h sur 24 h. Cette configuration lui laisse donc la possibilité de choisir en cours de journée entre la possibilité de diffuser un programme de haute définition et celle de diffuser deux programmes 625 lignes dont la qualité est identique à celle des programmes D2MAC actuels.

Trois niveaux de qualité/trois niveaux de réception



Modèle de service pour la transition vers les services mobiles

Le second modèle est composé d'une triple hiérarchie de qualité associée à une triple hiérarchie de condition de réception : qualité limitée pour la réception mobile, qualité normale pour des récepteurs portables et qualité étendue pour des récepteurs fixes. De la même façon, ce service doit pouvoir être reconfiguré et le niveau de reconfiguration souhaité est identique à celui du service permettant l'évolution vers la haute définition c'est-à-dire la possibilité de transmettre deux programmes avec deux niveaux hiérarchiques.

2.3.8. Les études de codage sont insuffisantes

Le problème qui se pose actuellement après ce choix résultant d'un compromis fait entre l'ensemble des opérateurs européens concernés est qu'il n'existe actuellement aucune activité européenne coordonnée traitant du codage hiérarchique de l'image. Notons au passage qu'un résultat supplémentaire lié à l'adoption d'un système hiérarchique est ce qui est convenu d'appeler la dégradation progressive (Graceful degradation). En effet, le service numérique se distingue du service analogique par le fait qu'à l'intérieur de la zone de couverture, il est reçu de façon parfaitement uniforme et qu'à l'extérieur de la zone de couverture, il n'est pas reçu du tout, alors qu'un service analogique se dégrade progressivement entre le centre de la zone et l'extérieur de la zone. Pour éviter ce qui pourrait être perçu comme une dégradation du service actuel, le concept de Graceful degradation a été introduit. Il est très voisin du concept de télévision hiérarchique, même si les paramètres que l'on peut choisir pour obtenir l'effet souhaité peuvent être différents de ceux à choisir pour une télévision hiérarchique. La dégradation progressive est obtenue par un codage hiérarchique appliqué à un réseau hiérarchique dans lequel un récepteur fixe recevant au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'émetteur un signal de plus en plus faible sera capable au centre de la zone d'interpréter l'ensemble des données numériques reçues et donc de fournir un signal à haute définition et au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ce centre, s'avérera à un moment incapable d'interpréter les données nécessaires à la reconstitution d'un signal à haute définition et devra se contenter de reproduire un signal à résolution étendue puis normale. On voit donc l'importance qu'il y a à entreprendre des études sur le codage hiérarchique de l'image. Des démarches sont en cours pour tenter d'obtenir que de telles études soient entreprises sous une forme coopérative et coordonnée soit dans le cadre de projets existants soit sous forme d'un projet nouveau. Les projets existants pour lequel on envisage d'introduire une étude complémentaire d'un service hiérarchique sont les projets HIVITS et VADIS. Par ailleurs dans le cadre de RACE, un certain nombre d'actions ont été entreprises pour pousser à la création d'un nouveau projet le cas échéant. Cependant à ce jour, aucun résultat concret n'a été obtenu, aucune décision réelle n'a été prise.

Dans le domaine du réseau hiérarchique au contraire le projet DTTb a immédiatement entrepris d'explorer cette voie dès que la décision du Launching Group a été prévue.

2.4. Quelques constatations pour aider à une conclusion

Tout d'abord, le projet HD-DIVINE sur laquelle une publicité importante a été faite récemment apparaît comme étant en avant sur les autres projets. En réalité, lorsqu'on regarde les résultats concrets obtenus, on se rend compte que leur niveau n'est pas supérieur à ceux des projets SPECTRE ou STERNE. Il apparaît seulement que les promoteurs du projet HD-DIVINE affichent l'ambition d'ouvrir un service haute définition numérique relativement tôt. À part ceci, il semble qu'il y ait une convergence générale en ce qui concerne la fenêtre de lancement de l'évaluation et des essais qui devraient mener à un système européen final. Cette date objective commune semble être autour de 1995. Ceci n'est environ que 2 ans à partir du début de 1993 pour se mettre d'accord sur les objectifs et pour développer des systèmes complets en simulation d'abord et sous forme matérielle ensuite et elle suppose que les moyens suffisants soient mis pour la recherche et la coordination européenne, ce qui est loin d'être actuellement le cas (voir le statut de DTTb et l'absence de travaux sur le codage hiérarchique)

S'il y avait un système unique à la fois pour les satellites et pour la diffusion de terre de la télévision à haute définition il y aurait un avantage considérable pour le public en général. Les projets destinés aux satellites et aux câbles tels que HDSAT et Flash TV et les études de l'UER sur le sujet nécessite de prendre en considération le calendrier des études de diffusion terrestre. Les diffusions terrestres constituent le défi technique le plus difficile et ses contraintes requièrent d'être étudiées avant qu'une décision sur satellite et sur câble soit prise. Les études concernant le satellite et le terrestre ne devraient pas être autorisées à

suivre des voies séparées avant que tout ait été fait pour atteindre un système commun ou une communauté maximale.

La situation du monde de la normalisation est complexe, du fait de l'implication de plusieurs entités, telles que l'ISO-CEI, le groupe d'études 11 du CCIR et la CMTT. Au niveau européen, la situation peut être plus simple et l'ETSI pourrait être le seul organisme impliqué bien que, si le système est basé sur la normalisation d'algorithmes du codeur et du récepteur comme ceux élaborés dans le groupe MPEG, il se puisse qu'également le CENELEC soit impliqué. Il peut être plus simple de concentrer les travaux de normalisation à l'intérieur de l'ETSI et du CENELEC sauf s'il y a des perspectives réelles d'accord avec le monde du 60 Hz (USA et Japon)

**COMPTE RENDU DE LA MISSION D'INFORMATION
DU 15 AU 19 JUILLET 1991**

**par M. Yves GUINET
(Philips EGP)**

Rapport de Mission

par Yves GUINET

**Objet : Mission aux Etats Unis, sur la TVHD numérique par émetteur de terre
15 au 19 Juillet 1991**

Introduction

L'Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a sollicité ma mise à disposition de la Mission d'Etudes conduite par Messieurs Raymond FORNI et Michel PELCHAT, Députés à l'Assemblée Nationale, du 15 au 19 Juillet 1991, aux Etats Unis d'Amérique, sur la Télévision à Haute Définition (Annexe).

Ce document constitue mon rapport personnel d'Expert à l'attention de l'Office Parlementaire.

Il comporte trois chapitres :

- * une liste de faits et d'arguments ayant plus particulièrement attiré mon attention,
- * quelques commentaires et propositions que les informations recueillies m'inspirent, quant aux actions américaines en cours et quant à leurs conséquences sur les actions européennes.
- * quelques considérations générales sur les propriétés des algorithmes de codage numérique de l'image à réduction de débit.

La mission était constituée comme suit :

- * Monsieur R. FORNI - Vice Président de l'Assemblée Nationale,
- * Monsieur M. PELCHAT - Député à l'Assemblée Nationale
- * Monsieur CLARET de FLEURIEU - Office Parlementaire
- * Monsieur Th. MILEO - Office Parlementaire
- * Monsieur Y. GUINET - Expert.

L'étude de faisabilité présentée par les Parlementaires à l'Office est intitulée : **Les perspectives de mise au point de systèmes de TVHD, entièrement numériques, et leurs conséquences sur la stratégie européenne.**

Elle vise à actualiser leur premier rapport, publié par l'Office en 1989.

Plan du rapport

Introduction

1er Chapitre : Faits et arguments notés	
"la technologie et le développement des affaires"	131
1ère partie : Le Programme de Développement Technologique	133
2ème partie : Les perspectives de Développement des Affaires	141
2ème Chapitre : Stratégies américaine et européenne	149
3ème Chapitre : Sur l'universalité des algorithmes de codage numérique de l'image à réduction de débit	155
Conclusion	159

Premier Chapitre : Faits et Arguments relevés

La Mission a comporté des visites et contacts, à caractère technico-industriel, et d'autres à caractère politico-économique.

L'énoncé des faits techniques permet de décrire le programme de Recherche et Développement Technologique engagé, sa définition, son exécution, son évaluation.

Ce sera l'objet de la première partie.

L'énoncé des arguments permet de décrire l'état du milieu économique où devront se développer ultérieurement les activités d'affaires que le programme technologique sous-tend.

Ce sera l'objet de la seconde partie

La technologie est indissociable du milieu où elle se développe et l'évaluation du programme n'a de signification qu'au regard des objectifs d'affaires poursuivis.

A . Première partie :

Le programme de Recherche et Développement Technologique américain, en Juillet 1991, pour la Télévision à Haute Définition

1 . Les orientations prises par la FCC et la nature des objectifs de Recherche et Développement du Programme de Télévision avancée

La FCC a compétence juridique pour établir les normes d'application obligatoire pour le service de la Télévision par émetteur de terre aux États Unis.

Elle a confié la préparation de sa décision à un Comité Consultatif (ACATS), constitué en 1987. Après divers travaux exploratoires menés par ce Comité, elle a fait un choix de principe.

On trouvera, en annexe, la traduction du discours du Président de la FCC, en date du 21 Mars 1990.

C'est le discours programme fixant les orientations générales, le calendrier (Annexe) et l'organisation du processus décisionnel arrêtés par la Commission.

Il se résume comme suit :

- * Choix de principe d'un système "Simulcast" numérique de HDTV, compatible avec le plan à 6 Mhz, utilisant les canaux "tabou" inutilisés par le service de télévision par émetteur de terre, selon la norme M-NTSC ;
- * Mise en place d'une procédure d'essais sous les auspices du Comité consultatif de la FCC pour la Télévision avancée, en vue de la remise, par celui-ci, d'un rapport final et de recommandations à la FCC, en Septembre 1992 ;
- * Choix d'un système par la FCC durant le second trimestre 1993 ;
- * Possibilité d'une adaptation éventuelle du programme (objectifs, calendrier) au début 1992, à la lumière d'évidences nouvelles concrètes et importantes ;
- * Report du choix de toute norme EDTV, si un tel choix s'avère nécessaire, au delà de la conclusion des travaux en cours sur le programme de HDTV numérique terrestre.

La FCC est tenue à un formalisme juridique strict, compte tenu des recours dont ses décisions sont susceptibles de faire l'objet.

Le choix d'un système Simulcast numérique de radiodiffusion-télévision par émetteurs de terre induit des activités de Recherche & Développement de deux natures, stimulées par deux objectifs d'optimisation différents :

- * Les premières recherches visent à optimiser la transmission numérique (c'est à dire l'émission-réception du message), dans un environnement hertzien terrestre déjà occupé par les émissions de télévision actuelles (Simulcast), et ce, quelle que soit, ou presque, la nature du message transmis.
C'est ce que l'on nomme globalement "le codage du canal de transmission".
On cherche à maximiser la capacité numérique utilisable du nouveau canal, tout en minimisant les perturbations apportées aux anciennes émissions.
- * Les secondes recherches visent à optimiser l'usage du nouveau canal, en vue de reproduire la meilleure image domestique possible. Il faut pour cela rechercher une représentation numérique du message qui soit compatible avec la capacité utilisable du canal.
- * Le programme de Recherche a pour objet d'identifier les techniques à utiliser pour le codage de canal et pour le codage de source, et d'associer des fonctions de coût (au sens large) aux principaux paramètres.
- * Le programme de Développement a pour objet de concevoir un système mettant ces techniques en oeuvre, et faisant le meilleur compromis du point de vue des contraintes extérieures globales, telles que :
 - perturbations du service installé,
 - performance du nouveau service,
 - complexité du nouveau système,
 - compatibilité des nouveaux messages télévisuels avec les messages existants ou futurs.

Diverses considérations, qui me semblent fondamentales, doivent être énoncées dès ce stade :

- * La première est que certains choix techniques fondamentaux ont une nature que l'on peut qualifier de "quantique" :
 - choix d'un balayage entrelacé ou progressif (1 ou 2),
 - choix d'un harmonique de la fréquence de ligne actuelle pour le nouveau balayage de l'image (2 ou 3),
 - choix du nombre d'échantillons de luminance par ligne (en multiple de 720 - Avis 601 du CCIR)
 - choix d'un nombre d'images à utiliser pour les corrélations et interpolations temporelles,
 - choix d'une hiérarchie de tailles de vignettes pour les corrélations spatiales,
 - nombre d'états par symbole, pour la modulation numérique,
 - etc ...

Les répercussions de ces choix "quantiques" sont globales, en ce sens qu'elles affectent la conception du système dans son entier.

.../...

- * La seconde considération est que l'expression des contraintes d'optimisation résulte de facteurs que l'on peut qualifier d'anthropiques, et de socio-économiques, en ce sens qu'ils s'inscrivent dans une réalité objective du milieu et, qu'en conséquence, il n'est pas possible des les modifier.
 - Parmi les facteurs anthropiques, citons les propriétés de la perception visuelle de l'Homme ;
Le niveau de qualité du spectacle audiovisuel, reproduit grâce aux messages transmis, est un élément essentiel. Il est évalué par l'homme. Le spectacle reproduit est un simulacre. Les règles de représentation numérique du message audiovisuel, telles qu'elles résultent notamment du choix des algorithmes de codage et de décodage, constituent la grammaire de cette nouvelle langue. Elles trouvent leurs fondements scientifiques, c'est à dire leur universalité, dans l'anthropomorphisme.
Les contraintes sont anthropiques. Leur satisfaction sera à la mesure de la qualité des isomorphismes établis sur une base empirique entre le traitement du signal et les traitements neuronaux.
 - Parmi les facteurs socio-économiques, citons l'état actuel des réseaux de radiodiffusion, y compris les installations d'usagers ou les perturbations du milieu radioélectrique
Les réseaux de radiodiffusion-télévision se sont développés au cours des quarante dernières années pour servir, en tant qu'infrastructures de communication, les besoins de populations relevant de géographies socio-économiques très différentes.
L'activité humaine et sociale, particulièrement dense en milieu urbain, génère des perturbations radioélectriques multiples, de nature à affecter la transmission numérique du message. (Il ne s'agit pas d'en surestimer l'importance, mais seulement d'en souligner ici la méconnaissance statistique et l'incidence possible sur la faisabilité).

La réponse à l'objectif assigné par la FCC ne semble pouvoir être donnée que par étapes :

- * Identification et appréciation des critères pertinents en matière de codage de source et de codage canal.
Cela suppose la réalisation concrète de systèmes expérimentaux, et leur essais dans le milieu, pour recueillir des données.
- * Conception du système normalisable sur la base d'une optimisation résultant des données recueillies lors de l'expérimentation.

A ce titre, le programme fixé par la FCC semble particulièrement ambitieux, du point de vue des délais assignés aux Compétiteurs.

2 . L'évaluation des nouveaux systèmes

Le Centre d'essais de Télévision Avancée (ATTC)

Pour évaluer les performances des diverses propositions industrielles de systèmes de télévision avancée selon des conditions identiques de l'un à l'autre, et qui ne puissent être contestées, un Laboratoire d'Essais spécialisé a été réalisé à Alexandria (Virginie).

Il est financé par les Radiodiffuseurs et les Industriels qui en font usage (Note 1). Il a été inauguré par Chairman SIKES, en Juillet 1991.

Il met en oeuvre les protocoles expérimentaux déterminés par les Groupes de Travail du Comité consultatif, tout en apportant à chaque compétiteur les garanties de secret et de protection de ses choix techniques.

C'est le Comité Consultatif (ACATS) qui détermine le calendrier des travaux du Laboratoire d'Essais. Tout système, pour accéder aux tests, doit avoir préalablement été certifié par le Groupe de Travail compétent du Comité consultatif. Le Compétiteur doit déposer une documentation descriptive technique complète du système à tester quatre vingt dix jours à l'avance, et s'engager à ne pas apporter de modification significative jusqu'à la fin des essais.

L'A.T.T.C. mène les essais relatifs à la Télévision par émetteur de terre. Cependant, un accord est intervenu pour compléter ces essais de radiodiffusion par d'autres essais relatifs à la transmission par câble. Ces derniers essais sont menés, sur le même site, par les Laboratoires de Télévision par câble (Cable Television Laboratories).

Les essais objectifs, menés par l'ATTC, produisent des fichiers de données qui décrivent le comportement physique de chaque système testé, dans chacune des configurations d'essais.

Ces fichiers servent à la mise en oeuvre ultérieure d'essais subjectifs d'évaluation psychovisuelle. Ils sont archivés.

Ces essais subjectifs sont de deux catégories, relevant de moyens et de méthodes différentes :

- * ceux qui concernent l'évaluation du niveau de la dégradation apportée au service de télévision existant, par une émission numérique "Simulcast", ou par une transmission sur réseau de câble.
Ils sont menés au Centre d'Essais ATTC, qui dispose d'une salle d'essais équipée d'un échantillon représentatif de la constitution du parc de téléviseurs et de magnétoscopes américain tel qu'il sera statistiquement en 1993 aux Etats Unis (24 téléviseurs).
- * Ceux qui concernent l'évaluation de la qualité du nouveau service.

.../...

Pour l'évaluation de la qualité des images, les essais subjectifs seront conduits par le Laboratoire d'Évaluation de Télévision Avancée (ATEC) du Centre de Recherche des Communications du Canada (Ottawa).

Pour l'évaluation de la qualité des sons, ils seront conduits par le Westinghouse Science and Technology Center (Pittsburg - Pensylvanie).

On trouvera, en annexe, le descriptif technique du Centre d'essais qui comporte :

- * des sources de référence (images et sons HDTV et NTSC) ;
- * les ensembles de simulation de l'environnement radioélectrique, permettant de reconstituer, pour chaque système à l'essai :
 - les conditions de perturbation du service actuel,
 - les conditions de réception du nouveau service, y compris les diverses perturbations que les émissions nouvelles peuvent subir du fait de l'environnement actuel ;
- * un ensemble de simulation des réseaux de cable (fibre et coaxial) ;
- * des moyens d'enregistrement des données produites ;
- * des systèmes de contrôle et de tests par ordinateur, permettant une automatisation poussée des essais, garante de leur identité.

La Mission Parlementaire a pu visiter le Centre d'Essais et constater l'importance des moyens mis en oeuvre.

- (1) Organismes participant financièrement au Centre d'Essais
Capital cities / ABS Inc ; CBS Inc ; NBC Inc ; PBS ;
The Association of Independant Television Stations (INTV)
The Association for maximum Service Television (MSTV)
Electronic Industries Association (EIA)
The National Association of Broadcasters (NAB)

3 . Les systèmes en cours de Recherche et Développement (Juillet 91)

La décision de la FCC de Mars 90, en donnant sa préférence de principe à un système Simulcast numérique, et en fixant de sévères conditions de calendrier, a sérieusement réduit le nombre des Compétiteurs qui restent aujourd'hui au nombre de six (Ils étaient une vingtaine en Aout 1990) :

- * Deux systèmes de Télévision Améliorée (EDTV), dont on comprend qu'ils demeurent en compétition pour le cas où la mise en oeuvre d'un système Simulcast numérique s'avèrerait plus difficile que prévu, et que la FCC n'a pas formellement exclu de normaliser à défaut à un stade ultérieur :
 - ACTV proposé par David SARNOFF / ATRC
 - Narrow Muse, proposé par NHK ;
- * Quatre systèmes Simulcast numériques, proposés par trois Consortiums différents, et explorant deux options techniques de base concernant l'analyse de l'image :

Consortium	Nom du Système	Entrelacé 1050/59,94	Progressif 787.5/59,94
1. NA PHILIPS CE / ATRC (1)	A.D.T.V.	*	
2. General Inst. / ATVA (2)	DIGICIPHER	*	
3. MIT / ATVA	ATVA Prog. System		*
4. Zenith / ATT	DCS-HDTV		*

(1) ATRC : Advanced Television Research (NBC, PHILIPS, SARNOFF, THOMSON)

(2) ATVA : American Television Alliance (GENERAL INSTRUMENTS, MIT)

Des descriptions techniques générales, avec quelques valeurs relatives aux principaux paramètres, ont été fournies à la Mission pour deux des quatre systèmes numériques :

- * le système DCS-HDTV de ZENITH / ATT,
- * le système ADTV, du Consortium ATRC.

4 . Les présentations et démonstrations techniques effectuées au cours de la Mission

Les présentations et démonstrations techniques qui ont été effectuées par les différents Organismes en compétition, au cours de la Mission, ne permettent en aucune façon de porter une appréciation objective sur l'état effectif d'avancement des divers programmes de Recherche et Développement en cours. Aucune présentation n'a porté sur le codage de canal.

4.1 Démonstrations ATT / BELL :

Les démonstrations les plus complètes ont été faites dans les Laboratoires ATT / BELL (Murray Hill), sous la conduite de Monsieur NETRAVALI. Il s'agissait de simulations informatiques.

En réponse à une question posée sur le caractère symétrique ou dissymétrique de l'algorithme utilisé, Monsieur NETRAVALI a répondu "qu'il était dissymétrique, mais qu'il était symétrisable au prix d'une légère diminution de qualité". Il a également déclaré que cet algorithme jouissait de propriétés d'"échelle" (compatibilité de divers formats d'image) (voir chapitre 3).

Les démonstrations étaient faites à l'aide d'images de synthèse animées :

- * les robots tournant sur un plateau,
- * le meuble à vaisselle aux battants vitrés.

Elles étaient présentées en "écran partagé", les Visiteurs devant identifier la demi-image ayant subi le traitement de compression.

Des séquences d'images naturelles étaient également utilisées (pantins et jouets, football américain).

Toutes les séquences étaient présentées à la fois sur écran de grande taille (environ 1m20 de diagonale) et sur écran de taille standard.

Monsieur NETRAVALI a déclaré que ces images présentées étaient comprimées conformément aux exigences de débit du système DSC-HDTV. Il a présenté, également, des images entachées d'un taux d'erreur de $2 \cdot 10^{-2}$.

Il a montré, image par image, les premières images consécutives à un changement de plan, les fortes altérations masquées dont elles se trouvent entachées, et la rapidité de restauration d'une image de bonne qualité.

4.2 Autres démonstrations faites à l'attention de la Mission :
(MIT - SARNOFF - Birarcliff)

Elles ont été très limitées, y compris au MIT (images fixes, petits écrans).

Deuxième partie : Les perspectives de Développement des Affaires

5 . Visites et discussions à caractère politico-économique - Arguments notés

5.1 Contacts avec la FCC (Chairman SYKES), le FCC Advisory Committee (Chairman WILEY) et l'Administration américaine (Mr BRADLEY P. HOLMES)

Les deux chairmen tiennent des propos prudents : "Nous recevons des informations qui justifient un raisonnable optimisme mais il faut attendre de disposer des résultats d'essais pour émettre un avis".

- a. Le chairman SYKES est un sphinx. Salué par Monsieur FORNI comme "le véritable père de la TVHD numérique au Etats-Unis", le sourire qu'il esquisse en réponse est aussi imperceptible qu'énigmatique.

Il remarque que l'industrie "américaine" de Consumer Electronics est très faible ("We don't have a C.E industry") et que l'innovation majeure qu'il lui faut mettre en oeuvre n'est pas issue de son sein, mais de celui d'autres Industries. On comprend qu'il ne sous estime pas les risques inhérents à ce transfert.

Pour lui, le mérite principal de la technologie de TVHD numérique est "d'ouvrir des perspectives nouvelles" aux Industries Electroniques américaines dans leur ensemble (Informatique, Télécommunication, Composants).

Il ne vas pas cependant jusqu'à évoquer la question centrale de la réglementation du futur périmètre d'affaires respectif des RBOC et des cablo-opérateurs.

L'irruption de compétiteurs nouveaux (informatique) risque-t-elle de perturber l'échéancier décisionnel qu'il a lui même fixé ? Seul le geste de sa main exprime la volonté de s'en tenir fermement aux décisions prises : les choix seront faits sur la base des seules réalités matérielles, dans le respect d'un protocole opératoire déterminé par les groupes de travail du FCC Advisory Committee (Les Fonctionnaires de la FCC perçoivent et expriment ce risque de surenchère algorithmique en termes imagés : "l'Industrie informatique est un panier de chats").

Chairman SYKES a une conscience aigüe des intérêts éminents dont il a la charge. Il observe qu'il existe d'ores et déjà une coopération privée Europe/Etats-Unis dans le programme américain par l'intermédiaire de Thomson et de Philips. Il observe que cette coopération a une justification politique. Elle repose sur le niveau de recherches de ces Compagnies effectuées sur le territoire des Etats-Unis.

Il ne dissimule pas le crédit de sympathie dont disposent aujourd'hui les deux Consortiums à capitaux américains (ATT/ZENITH et GENERAL INSTRUMENTS/MIT).

La recherche pragmatique des meilleurs compromis techniques n'est cependant pas exclue dans une phase ultérieure à la phase actuelle.

La pensée de Chairman SYKES est stratégique. Il cite pour conclure, Napoléon et son art d'exploiter stratégiquement les situations tactiques qui se présentent.

- b. Le discours du Chairman WILEY, homme très civil, ne diffère pas sensiblement de celui du Chairman SYKES dont il vante les hautes qualités. Il semble très sceptique sur la viabilité d'un service DBS aux Etats-Unis compte tenu de la structure économique de distribution des programmes, c'est à dire de l'organisation des marchés. Comme d'autres, le projet Sky Cable a été un échec.
- c. Monsieur BRADLEY P. HOLMES, un ancien de la FCC, considère que la FCC pourrait limiter son choix à celui de quelques grands principes généraux, s'abstenir de normaliser une spécification technique complète, et laisser "le marché" spécifier la réponse précise à ses besoins concrets.

Il pense également que le programme de R&D en cours peut ouvrir à l'avenir des occasions nouvelles de coopération avec l'Europe.

Il cite comme exemple la concertation établie avec Monsieur LASSERE, Directeur de la Réglementation Générale au Ministère des PTT, dans le cadre de la préparation de la Conférence Mondiale de 1992 (WARC 92).

5.2 Contacts avec l'ATSC (MM Mac KINNEY, HOPKINS)

L'ATSC est le lobby officiel auprès des pouvoirs Publics.

Mr Mac KINNEY tient le discours du prosélyte (l'ATSC fut longtemps favorable à la norme japonaise), discours entier, voire brutal, mais qui a le mérite de révéler les pensées profondes des professions que celui-ci représente. La FCC a donné leur chance aux Radiodiffuseurs terrestres, parce qu'ils sont les plus exposés aux risques qui résultent du progrès technologique, mais aussi et surtout parce qu'ils bénéficient du soutien de la classe politique, laquelle a besoin d'eux pour ses réélections.

C'est une planche de salut qu'il serait mortel pour les Radiodiffuseurs terrestres de ne pas saisir s'il advient que la faisabilité technique (Simulcast HDTV numérique terrestre) est effectivement démontrée et que la FCC fait le choix normatif annoncé.

Que leurs intérêts d'affaires immédiats soient autres, il en convient aisément : l'accroissement du revenu publicitaire sera marginal, les charges d'investissement seront lourdes.

Mais le câble, le satellite et les autres supports sont des compétiteurs qui gagnent d'ores et déjà, et gagneront plus encore demain, des parts du marché de la diffusion terrestre.

Mr Mac KINNEY pense que les Radiodiffuseurs terrestres n'ont en fait pas d'alternative, et qu'ils investiront parce que le marché américain est trop compétitif pour que le choix technique ayant été fait et les fréquences hertziennes utilisables ayant été distribuées par la FCC, ils s'endorment sur ce pactole. Il reconnaît cependant l'existence d'un risque et l'utilité du maintien d'un Compétiteur.

Selon Monsieur Mac KINNEY "de nombreux américains sont horrifiés par ce que les Européens sont en train de faire : Ce serait leur propre intérêt d'attendre jusqu'à la fin de 1993 pour prendre leur propre décision, à la lumière des résultats et des choix américains".

Monsieur Mac KINNEY a oublié que ce sont les Européens qui ont stoppé l'offensive japonaise, et rendu de ce fait possible l'action américaine. Il néantise la spécificité européenne (densité surfacique d'émetteurs terrestres, diversité des normes, absence d'autorité de réglementation technique) et lorsqu'on lui demande si les Américains seraient prêts à s'écarter de l'optimum technique défini par leurs contraintes locales, afin de trouver un compromis avec l'Europe, il répond par la négative.

5.3 Contacts avec ATT - BELL Labs et ATT - Microelectronics :

Les ATT BELL Laboratories produisent les prestations de "Recherche Corporate" offertes aux Divers Business Groups d'ATT, dont la branche composants "ATT Microelectronics".

C'est cette branche qui s'est associée à ZENITH pour concevoir et réaliser le système de diffusion HDTV numérique "DCS HDTV", qui sera soumis à la procédure d'évaluation de la FCC.

Sol BUCHSBAUM est Senior Vice President des ATT BELL Labs.

Il a présidé, en 1988, le Conseil Scientifique de la Maison Blanche.

Il laisse entendre l'importance de son propre rôle dans l'alliance d'ATT avec ZENITH, choix qui a été fait en toute connaissance de la faiblesse financière du Partenaire, mais compte tenu de sa compétence dans les techniques de Consumer Electronics. (ATT serait-il un ange blanc ?)

Je crois comprendre que le marché de Consumer Electronics ne constitue pas, en fait, le seul, voire le véritable objectif d'affaires d'ATT. Ce sont plutôt les marchés professionnels de Videocommunications, et les marchés de composants. L'intervention de la FCC, considérée comme une sorte de "deus ex-machina" disposant du pouvoir d'effectuer le choix d'une norme d'application obligatoire sur le marché, apporte une garantie face aux risques financiers inhérents à un choix effectué par le marché lui-même. "Le gagnant disposera d'un avantage financier" (R. PENNELLA).

ATT souhaite entrer sur les marchés européens, ce qui constitue un objectif majeur de son repositionnement mondial.

5.4 Contacts avec CBS (J. FLAHERTY) :

Pour J. FLAHERTY, lire dans la boule de cristal est difficile, et, de fait, il s'abstient de tout commentaire vis à vis de la stratégie européenne (MAC - HD-MAC). Tout au plus indique-t-il que l'on souhaiterait, aux Etats Unis, à la différence de l'Europe, faire l'économie de l'étape intermédiaire de EDTV.

Selon lui, l'Europe a la vocation et la capacité de produire des programmes pour le marché américain au cours des années à venir. Les grands réseaux sont contraints d'acheter à l'extérieur, et donc à Hollywood, un quota imposé de leur diffusion. Les prix se sont envolés au cours des années récentes. Une offre concurrentielle de l'Europe ferait baisser ces prix, et les réseaux en seraient ravis. Mais l'outil de production européen est vétuste. Il doit être rénové. Si les Européens investissent en capacité production dans une norme difficilement transcodable, ils se fermeront eux-mêmes leurs propres débouchés.

Selon lui, le problème du transcodage est mal résolu.

Il considère que, pour les Producteurs et Distributeurs américains, les coûts du passage à la HDTV seront raisonnables, voire réduits, car, à la différence de l'Europe, il y a aux Etats Unis une tradition de production sur support film 35 mm, et parce que les Distributeurs disposent de leur propre réseau de distribution par satellite.

La rentabilité du plan d'affaires des Radiodiffuseurs terrestres dépendra du sens que la FCC donnera au mot "simulcast".

il y a, aujourd'hui, une définition technique, mais la FCC n'a pas encore donné une définition juridique et programmatique.

Les programmes devront-ils être identiques, la publicité sera-t-elle la même ?

5.5 Contacts avec GENERAL INSTRUMENTS :

C'est le principal Industriel des équipements de réseaux de télévision à péage, sur les supports câble et satellite, à l'échelle des Etats Unis.

Il a réussi son intégration verticale, depuis les bases de données informatiques centrales, pour la gestion des abonnements, jusqu'aux terminaux d'utilisateurs, en passant par les différents équipements d'interface dans les réseaux (codeurs, têtes de réseaux, etc ...).

La technique de codage numérique à réduction de débit sera indifféremment appliquée à deux demandes distinctes du marché : plus de programmes à qualité constante, ou des programmes de qualité plus élevée. C'est le marché qui décidera.

La politique de marketing conduit à intégrer l'offre technologique ancienne à l'offre technologique nouvelle dans les produits, pour conserver le contrôle des réseaux.

GENERAL INSTRUMENTS souhaite entrer sur le marché européen et est anxieux du peu de résultats obtenus à ce jour, malgré les efforts consentis. (Confert BSB/Eurocypher au Royaume Uni).

5.6 Contacts avec le MIT :

Depuis 1983, le MIT a mené un programme de recherche sur la TVHD, financé par un Consortium de dix Compagnies américaines.

Au début, MIT a formé ses propres compétences, mais, depuis quelques années, il est devenu plus productif (quatorze brevets).

Le MIT n'a pas de coopération avec les Centres de Recherche européens, et s'il a mené des travaux sur la conversion de standard HDTV, les travaux homologues de EUREKA 95 (en France : LEP/PHILIPS et LER/THOMSON) lui sont inconnus.

Il est associé à GENERAL INSTRUMENTS dans le Consortium ATVA (American Television Alliance) pour la conception et la réalisation d'un système de HDTV Numérique : "Nous avons fait la synthèse de nos concepts et de l'expérience acquise par GENERAL INSTRUMENTS".

Le Professeur LIM commente le processus en cours. Les conditions fixées par la FCC sont financièrement très lourdes pour les Concurrents, ce qui a sérieusement filtré les propositions initiales. Il n'y a pas de financement public.

Il note que le Calendrier des essais à effectuer au Laboratoire d'Essais de Télévision Avancée alloue aux divers Concurrents des temps de développement très différents, une distorsion qui nécessite de justes contre-parties.

Le Professeur LIM pense que tous les moyens des Concurrents sont aujourd'hui mobilisés par le défi du délai de réalisation très court fixé par le FCC. Ils n'ont ni le temps, ni le désir, de coopérer entre eux car chacun pense détenir la meilleure solution.

Selon lui, tout cela changera bientôt, et viendra le moment où il faudra coopérer pour identifier et choisir le meilleur de chacun, et parce que la FCC trouvera son propre intérêt, pour asseoir sa décision sur un consensus, de ne pas tout donner à un seul.

Il y aura également la question de gestion du portefeuille de brevets, qui est toujours délicate pour une norme d'application obligatoire.

Le Professeur LIM met en garde les non-Experts vis à vis des démonstrations faites par les concurrents, qui sont autant de plaidoyers pro-domo, masquant soigneusement les difficultés propres à leur solution.

Il considère que la faisabilité de l'objectif technique, assigné par le FCC, ne pourra être démontrée que par des essais sur le terrain, car la nature des bruits (erratiques), et leur puissance dans l'environnement domestique de l'Usager, sont statistiquement méconnus, et donc difficiles à modéliser.

5.7 Contrats avec divers Représentants du Consortium ATRC :

L'ATRC (Advanced Television Research Consortium) est composé de NBC, PHILIPS, SARNOFF et THOMSON. Nous avons visité BRIARCLIFF, Centre de Recherches de PHILIPS et SARNOFF, Centre de Recherche Filiale de SRI International (35 % de financement public) sous contrat de THOMSON Consumer Electronics, également représenté (Vice Président DONAHUE). (Il a été annoncé durant la Mission que des liens d'affaires venaient d'être établis avec "Compression Labs").

Le consortium ATRC a réalisé et présenté, pour essais, un système analogique, dénommé Advanced Compatible Television (ACTV).

Il a, en cours de développement, un système numérique, dénommé Advanced Digital Television. Dans ce second programme, selon le partage des tâches, SARNOFF développe le codage de Canal (émission et réception), tandis que PHILIPS développe le codage de Source (compression) et le multiplexage.

Les Industriels de Consumer Electronics rencontrés ne sous-estiment pas les difficultés considérables du scénario FCC "HDTV Simulcast numérique", du point de vue du développement des affaires sur le marché Grand Public. Ils craignent que le coût de la technologie induit par l'objectif technique ne soit trop élevé, que les Industries et Composants ne sur-estiment leur capacité, et ne sous-estiment les difficultés de ce marché.

Sur un marché où l'offre programmatique pour les services de "classe-standard" est déjà considérable, comment peut apparaître, sur ce même marché, une offre programmatique supplémentaire de "classe HDTV" suffisamment riche pour susciter l'achat des nouveaux récepteurs au prix où ils devront être commercialisés ?

Quels Radiodiffuseurs prendront le risque d'investir au niveau adéquat en l'absence d'audience ?

Le Docteur James E. CARNES, Président Directeur Général du SARNOFF Center, considère que le marché européen et le marché américain de Consumer Electronics "imposeront deux systèmes distincts de télévision améliorée conformes à leurs besoins propres". La recherche de compromis techniques lui apparaît très difficile.

Monsieur Mac FARLANE, de PHILIPS BRIARCLIFF, signale, dans sa présentation, la participation du LEP comme sous-traitant de la partie "Estimation de mouvement".

Il indique, par ailleurs, qu'un attribut de conception du système est de disposer de deux niveaux de qualité d'image, le niveau bas étant plus fortement protégé contre les erreurs de transmission, ceci afin de garantir la disponibilité d'un service dans des environnements très perturbés.

Note

Le SARNOFF Center est un lieu historique en ce qui concerne la mise au point des technologies de télévision : au début des années 50, lorsqu'il était le Centre de Recherche de RCA, le tube à shadow mask y fut mis au point.

Quarante ans plus tard, cette technologie règne toujours sur le marché mondial.

Cette innovation contraignit la FCC à annuler son premier choix de norme de télévision en couleur après un recours des Industries devant la Cour Suprême des Etats Unis.

Second Chapitre :

La Stratégie américaine et la Stratégie européenne Analyse et Commentaires

L'Amérique du Nord (Etats Unis, Canada) et l'Europe de l'Ouest constituent aujourd'hui les deux principaux marchés potentiels pour le développement de la technologie de télévision avancée (en nombre de foyers solvables).

Dès 1982, l'Europe s'est engagée dans un programme de Développement Technologique basé sur l'introduction d'un système EDTV, selon la norme D2 Mac, sur support satellite et cable, puis, en 1986, dans la mise au point d'un système HDTV compatible avec le précédent, dans le cadre de EUREKA 95 (HD-Mac).

Les Etats Unis ont hésité plusieurs années avant de lancer, en 1990, leur propre programme technologique de télévision avancée (numérique terrestre et cable).

1. L'Organisation économique et les infrastructures de distribution de programmes de communication audiovisuelle Grand Public sont très différentes en Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest.

L'offre de produits et services doit nécessairement tenir le plus grand compte de ces différences structurelles, comme en amont, la nature de la technologie que ces produits et services utilisent.

- 1.1 En Europe, les marchés de Programme (produits finis) sont nationaux, marqués par leur identité linguistique et culturelle. Le financement publicitaire reste une réalité économique récente.

Sur ces marchés nationaux, l'offre programmatique demeure quantitativement réduite (par comparaison aux Etats Unis).

Les réseaux hertziens ont été développés dans un contexte de service public, avec des objectifs de couverture atteignant souvent 99 % de population desservie. Ils sont très denses (en nombre d'émetteurs par Km²). Par ailleurs, leurs normes techniques varient d'un Etat à l'autre (Pal B, G, I, Secam L, K). Les émetteurs sont fréquemment situés sur des points hauts, interdisant la réutilisation de leur fréquence à l'intérieur de zones de vastes superficies.

La pénétration des grands réseaux de câble, empruntant la voie publique pour desservir des Communautés importantes, varie beaucoup d'un Etat à l'autre.

Le magnétoscope est plus utilisé comme un moyen de déport programmatique des services hertziens, que comme un support de distribution Video. A ce titre, il tend à s'intégrer dans le système audiovisuel domestique.

Les nouveaux réseaux hertziens satellitaires, utilisés pour la distribution directe de programmes au public, qu'il s'agisse des réseaux déjà existants ou en cours de développement, ont été l'objet d'une vive concurrence entre structures publiques et para-privées d'une part, nationales et européennes d'autre part.

L'absence de toute Autorité européenne de réglementation a conduit à une situation de fait, où les bandes de fréquences allouées internationalement au service fixe par satellite (FSS) sont utilisées localement et principalement pour des usages de radiodiffusion-télévision.

Cette situation juridique de fait (au sens du droit international des radiocommunications) accroît considérablement les réserves foncières (hertziennes, satellitaires) utilisables dans la zone européenne pour la distribution audiovisuelle domestique.

Cette évolution a rendu l'industrie européenne des satellites très dépendante de cette application.

- 1.2 Aux Etats-Unis, les marchés nationaux sont des marchés de produits semi-finis, à l'attention de distributeurs par stations terrestres et réseaux de câble, qui offrent les produits finis sur le marché local.**

Une seule norme (NTSC-M) est utilisée pour la distribution finale (émetteurs et câbles).

La densité surfacique d'émetteurs est considérablement moindre qu'en Europe.

La pénétration du câble est passée de 37 % à 57 % des foyers américains, de 1984 à fin 1989, et devrait atteindre 78 % en l'an 2.000.

Simultanément, la capacité des réseaux s'accroissait considérablement.

- 1.3 Pour ces raisons socio-économiques, et pour des raisons juridiques et institutionnelles (absence d'Autorité Européenne pour l'aménagement du foncier hertzien terrestre et satellite), un programme européen d'aménagement, comparable dans ses objectifs généraux à celui de la FCC (Simulcast numérique terrestre), apparaît aujourd'hui très difficile à mettre en oeuvre au sein de la CEE.**

A seul titre d'exemple, et pour ne s'en tenir qu'à un Pays comme la France, il est très difficile, pour ne pas écrire impossible, de disposer de données quantitatives fiables sur les ressources hertziennes terrestres résiduelles disponibles, sur celles qui pourraient être dégagées et sur les conséquences socio-économiques qui en résulteraient. Aucun cahier des charges n'a été établi par les pouvoirs publics pour fixer les objectifs généraux encadrant les activités de développement technologique du Concessionnaire de service public exploitant le service de télévision à péage par émetteur de terre. Quant au système Secam L, avec sa sous-porteuse de chrominance en modulation de fréquence et sa porteuse son en modulation d'amplitude, il nous distingue profondément de tous nos voisins du point de vue des contraintes de cohabitation radio-électriques qu'il imposerait à un système européen de Simulcast terrestre numérique.

En République Fédérale, le développement de la radiodiffusion-télévision par émetteur de terre est encadré par un Traité Inter Landers, chaque Land disposant de pouvoirs d'aménagement qu'il défend jalousement. Les situations du Royaume Uni, de l'Italie ou de l'Espagne ont chacune leur spécificité.

Du point de vue du Développement de ses propres affaires, qui constitue son objectif principal, l'Europe aurait donc, sans doute, les plus grandes difficultés à mettre en oeuvre un scénario comparable à celui retenu par les Etats Unis.

Le transfert préalable d'une partie significative des services de télévision nationaux existants, du support hertzien terrestre au support hertzien satellitaire, apparait comme une condition nécessaire à tout réaménagement ultérieur du frontier hertzien terrestre.

La question se posera alors de définir les objectifs généraux de ce réaménagement sur une base européenne. Des travaux de Recherche sont engagés.

2. Les objectifs du programme américain de télévision avancée sont très ambitieux, du point de vue technique, technologique et économique, si le marché réel visé est effectivement le marché Grand Public

Le programme américain est actuellement dans une phase de faisabilité technique.

Dans l'hypothèse où cette faisabilité est démontrée, il faut, sans doute, prévoir une phase ultérieure de finalisation des spécifications techniques, appuyée par une expérimentation en grandeur réelle.

Il faut, ensuite, prévoir une phase de développement des technologies de base par les Industries de Composants, dans un contexte où ces Industries seront particulièrement attentives à la rentabilité de leur plan d'affaires, lorsqu'elles auront à décider de leur investissements (perspectives de retour sur investissement).

Il faut ensuite prévoir une phase de développement de produits finis par les Industries de Consumer Electronics, produits adaptés à la demande effective des marchés, dans la situation où ceux-ci se trouveront à la date d'introduction des services, compte tenu de l'offre correspondante de programmes par les divers supports.

Les Industries Américaines bénéficieront, sans nul doute, de l'expérience déjà acquise par les Industries japonaise et européenne dans ce domaine, mais les Industries européennes ont appris sur le terrain la difficulté de l'exercice, en termes économiques, lorsque la force déterminante est la réaction d'un marché final où trois prestations différentes doivent être produites et offertes simultanément pour entraîner la demande du public :

- * offre de programmes,
- * offre de transport-distribution,
- * offre de biens d'équipement domestiques.

Un vecteur privilégié pourrait être, aux Etats Unis comme en Europe, celui de la télévision à conditions d'accès, le seul qui établisse un lien économique direct entre le niveau de satisfaction de l'utilisateur et le niveau du financement que celui-ci accepte d'injecter en contre-partie dans le système économique audio-visuel.

Néanmoins, de nombreux éléments concordants conduisent à remarquer que les objectifs d'affaires des Industries américaines sont différents de ceux des Industries européennes, et que l'action de la FCC vise principalement à promouvoir les intérêts à long terme des Industries de Télécommunication sur ses marchés professionnels, y compris du point de vue de leurs relations avec les Industries de l'Informatique.

Qui établira la norme de transport de l'image numérique, et qui produira sa technologie ?

3 . Le Concept Technique Européen n'est pas fermé. Son architecture et ses fonctions peuvent évoluer

L'Europe a engagé le programme MAC dès 1982, en application d'un accord international intervenu au niveau du CCIR en 1981, sur la norme numérique de production (Recommandation 601) au format 4/3

Le champ du programme initial a été étendu, en 1986, par le programme EUREKA 95 HD-mac.

Le concept technique est actuellement un concept mixte, analogique et numérique, adapté au transport par satellite et câble des messages vers le système audiovisuel domestique.

Dans le concept Mac - HD-Mac, l'information d'image de base est transportée sous forme analogique échantillonnée.

La densité de l'échantillonnage est adaptée au contenu du message visuel.

Les informations numériques qui décrivent l'état variable du message visuel (vecteurs de mouvement), sont transmises en même temps que les informations analogiques.

La technologie du récepteur domestique D2 Mac ou HD-Mac est entièrement numérique.

3.1 Dans l'architecture du système audiovisuel domestique (y compris le magnétoscope), dont la numérisation est ainsi largement engagée, l'Europe devra définir des interfaces numériques internes (garantissant l'interopérabilité des produits domestiques en système) et externe (garantissant l'interfonctionnement du système domestique lorsque raccordé par des réseaux aux Centres de distribution audiovisuelle extérieurs.

3.2 Il sera également nécessaire de mener les études algorithmiques de traitement numérique, et notamment de réduction numérique de débit, faisant le meilleur usage des fonctions déjà implantées dans le concept Mac - HD-Mac.

Le concept technique Mac - HD-Mac actuel ne devrait pas être considéré comme un but final, mais plutôt comme une étape intermédiaire nécessaire, compte tenu de l'état du marché européen, de la technologie et des connaissances scientifiques actuelles.

Il est possible et souhaitable de l'enrichir pour satisfaire de nouveaux besoins. (Transmission et enregistrement numériques des programmes).

.../...

4 . Le principal problème auquel l'Europe se trouve aujourd'hui confrontée n'est pas celui du choix de tel ou tel concept technique. C'est celui de la mise en place d'Institutions Européennes.

A la différence des Etats Unis, où la FCC exerce des pouvoirs réglementaires incontestés, l'Europe ne dispose pas d'institutions adaptées à son identité et capables d'orienter, par des arbitrages respectés au niveau européen, l'évolution à long terme des systèmes de communication audiovisuelle dans le sens de l'intérêt collectif, qu'il s'agisse, d'abord, de celui des usagers et de la satisfaction de leurs besoins de communication, mais également de celui des diverses grandes catégories d'Agents économiques qui concourent à la production des services.

De telles institutions doivent être pluri-disciplinaires car leur action suppose, à la fois, la connaissance des divers milieux socio-économiques et celles des diverses technologies et de leurs potentialités respectives.

L'anarchie qui prévaut dans le domaine satellitaire constitue la meilleure preuve de cette grave carence, de nature à faire échouer la stratégie européenne engagée. Le concept Mac - Hd-Mac a été conçu pour un usage optimal des capacités de transmission offertes par les satellites DBS. Nulle autorité n'apparaît aujourd'hui en mesure, dans les bandes de fréquence FSS, de définir et d'imposer la norme unique de transmission compatible avec la mise en oeuvre opérationnelle du concept retenu.

Pour utiliser une métaphore, l'Europe normalise les dimensions d'un container de distribution de programmes audiovisuels (la norme Mac - Hd-Mac) et construit, dans le même temps, des réseaux de porte-containers (les satellites) selon des gabarits multiples et inadaptés ...

5 . Dans la situation où se trouvent actuellement l'Amérique du Nord et l'Europe, diverses formes de coopération apparaissent nécessaires

5.1 Une première est de rechercher les moyens de faire mieux comprendre à chacun les réalités profondes de l'autre, car ce sont ces réalités socio-économiques qui déterminent l'évolution de la technologie dans chaque région.

5.2 Une seconde est de renforcer la coopération dans le domaine scientifique et dans celui de la propriété industrielle (Chapitre 3).

5.3 Une troisième est de rechercher et de formuler des objectifs techniques généraux d'intérêt commun à satisfaire lors de l'évolution de la technique de communication audiovisuelle, afin de garantir, à long terme, la qualité des échanges de produits et services (Chapitre 3).

.../...

Chapitre 3

Quelques considérations relatives à l'universalité des algorithmes pour la représentation numérique de l'image télévisuelle à réduction de débit

1 . Quelques rappels

La numérisation des supports physiques de transport de l'information est très avancée au niveau mondial pour deux raisons principales :

- * les informations traitées par les ordinateurs sont, par nature, numériques,
- * le message vocal téléphonique a été numérisé, et la signalisation téléphonique est, par nature, numérique.

Deux Industries majeures (Informatique et Télécommunications) de l'Electronique utilisent donc la technologie numérique, avec des effets amont induits sur l'Industrie des Composants qui sont considérables (microprocesseurs, mémoires).

Néanmoins, des réseaux spécialisés analogiques ont été jusqu'ici maintenus dans tous les Pays, pour le transport des messages audiovisuels vers le Public (satellite, cable, émetteurs), car les avantages économiques d'une intégration de ces réseaux spécialisés dans le réseau général n'ont pas été, jusqu'ici, clairement démontrés, en dépit d'efforts de R&D importants consentis à cet effet au cours des vingt cinq dernières années , notamment en Europe (Programme RACE).

Cela ne signifie pas que la technologie numérique n'ait pas trouvé des applications très importantes dans le domaine audiovisuel. Tel est le cas en production et post-production audiovisuelle. Tel est également, depuis peu, le cas dans les biens d'équipements domestiques audiovisuels.

La raison de cette situation tient aux difficultés économiques associées, jusqu'ici, au transport numérique de l'image (transmission - enregistrement) : les capacités nécessaires au transport numérique de l'image sont très élevées en comparaison de celles qui sont nécessaires au transport des données et de la voix. En outre, les flux sont dissymétriques et ne répondent pas aux mêmes lois statistiques que les flux de voix-données, ce qui impose des contraintes supplémentaires aux réseaux.

La réduction des capacités nécessaires par le traitement numérique de l'image :

- * coûte cher au niveau d'équipements d'extrémité qui ne sont pas nécessairement la propriété des transporteurs du message,
- * peut altérer significativement la qualité du message reproduit,
- * est d'autant plus complexe qu'elle est plus importante,
- * fait des progrès incessants.

En conséquence, la répartition des avantages et pénalités ajoutées entre les Agents Economiques n'a pas été économiquement favorable à l'usage de cette technologie.

Enfin, l'accroissement de la définition des images (TVHD) a accru, dans la même proportion, la capacité numérique de transport requise.

Néanmoins, depuis le milieu des années 70, la numérisation du transport du message audiovisuel a été, le plus souvent, considérée comme prochaine, voire comme imminente, comme conséquence inexorable des effets induits par le développement de l'Informatique et des Télécommunications.

(Voir, par exemple, le Rapport NORA-MINC au Président de la République - 1978 page 24 :

"La télévision, aujourd'hui analogique, peut déjà être transmise sur le mode numérique, de même que la radio : les procédés sont encore expérimentaux, mais leur généralisation à terme de dix ans est probable. Quelle sera alors la différence entre les données informatiques, une image de télévision, un son radiophonique ou des bribes de conversations téléphoniques ? Une intensité, une fréquence, un débit : rien n'est plus tenu ni plus indiscernable.")

2 . Sur l'universalité des algorithmes de codage numérique des images à réduction de débit

Le message audiovisuel subit, de la rétine qui le produit jusqu'à l'écran qui le reproduit, un nombre considérable de métamorphoses.

Ces métamorphoses correspondent aux diverses conversions de normes de représentation physique de ce message.

Les normes de représentation physique sont des sortes de grammaires, au sens linguistique du terme : Ensemble des structures et des règles qui permettent de reproduire tous les énoncés appartenant à une langue".

Les convertisseurs (codeurs et décodeurs) constituent les moyens technologiques qui permettent au message d'entrer dans, ou de sortir de, ces divers espaces de représentation, d'être traduits d'une langue dans une autre.

Le codage à réduction de débit n'est certes qu'une métamorphose supplémentaire, mais une métamorphose qui présente cette particularité de devoir être très adaptée à des propriétés plus profondes de la perception humaine : c'est une transformation irréversible qui introduit une dégradation physique du message visuel, cette dégradation demeurant masquée, du point de vue de sa perception, par la perception du message lui-même.

On peut interpréter le progrès considérable des techniques de codage à réduction de débit comme une démonstration des capacités considérables de masquage des bruits corrélés à l'image par le système humain de perception visuelle.

La généralisation future de l'usage des techniques de codage à forte compression de débit devra s'accompagner de précautions suffisantes pour s'assurer, notamment, que le bruit masqué, introduit sur un message par un algorithme A donné, ne sera pas "révélé", du moins en partie, lors du traitement de ce même message par un autre algorithme B, voire par l'algorithme A lui-même appliqué une seconde fois, ou une n-ième fois ou par d'autres traitements (réduction du bruit erratique, identification et utilisation des formes visuelles, par exemple).

Diverses considérations conduisent à s'interroger sur les modalités à retenir en vue d'identifier et d'adopter des algorithmes "universels". Citons en quelques unes :

a. **La question économique de la symétrie et de la dissymétrie :**

Les relations de communication par l'image ne sont pas toutes de même nature. Dans les relations de correspondance (exemple : visio-conférence), chaque entité émet et reçoit des messages. Il apparaît ainsi naturel que le coût du codage (puissance de traitement) soit d'un ordre comparable à celui du décodage; et donc qu'il y ait une certaine symétrie de coût, c'est à dire de complexité des traitements effectués à l'émetteur et au récepteur.

Dans les relations de communication sociale (exemple : télévision), un seul "émetteur" alimente un grand nombre de "récepteurs", et il peut apparaître un intérêt économique à dissymétriser les fonctions de traitement pour diminuer le coût du décodage. L'édition-publication de supports physiques imprimés est de cette nature.

b. **La question économique du facteur d'échelle :**

Les relations de communication par l'image demandent des messages visuels de format (cadre) et de résolution divers.

Il en résulte des conséquences économiques au niveau du transport (capacité requise) et au niveau des équipements d'extrémité.

Combien faut-il prévoir d'échelons ?

Les algorithmes de codage/décodage associés à chaque échelon doivent ils être compatibles entre eux ?

Quelle doit être la hiérarchie des complexités et des débits ?

.../...

c. La question économique de la diversité des fréquences image (59.94 et 50 Hz)

Pour la télévision, la dualité de fréquence ligne a été résolue par l'avis 601 du CCIR ($13.5 \text{ Mhz} = 858 \text{ fh } 525 = 864 \text{ fh } 625$), grâce au choix d'une fréquence d'échantillonnage commune et d'un nombre horizontal commun de points (720 points) pour l'image au format 4/3 des normes à 625 Lignes et à 525 Lignes.

Mais la dualité de fréquence image (59,94 Hz et 50 Hz) entre l'Amérique du Nord et l'Europe reste un problème à résoudre ($1001 \text{ fl } 525 = 1200 \text{ fl } 625$).

L'adoption d'un algorithme à réduction de débit devrait fournir une occasion de réduire cet écart afin de minimiser les coûts du traitement lors du passage d'un espace de représentation à l'autre. Diverses considérations jouent en faveur de la recherche de cette forme de compatibilité.

La réduction de débit, comme la conversion de normes, utilisent la corrélation spatio-temporelle des formes visuelles et leur interpolation par le moyen de vecteurs de mouvements.

A contrario, des choix d'algorithmes non concertés comporteraient des risques dont il est nécessaire d'évaluer l'importance réelle.

3 . La nécessité d'une coopération internationale

Les quelques sujets abordés ci-dessus démontrent l'utilité d'une coopération.

Un consensus international sur les fondements scientifiques du codage à réduction de débit, c'est à dire sur une modélisation des traitements associés à la perception des formes visuelles, constituerait sans doute le moyen le plus efficace pour garantir l'universalité des algorithmes qui seront retenus.

L'informatique donne des outils puissants pour étudier ces questions : Images virtuelles, simulations logicielles, etc ...

Mais l'importance des intérêts en jeu, la complexité du sujet scientifique et des comportements économiques, interdisent toute prévision.

Conclusion

Quelques aphorismes exprimeront ma pensée en conclusion de ce Rapport :

La Science est un pouvoir révolutionnaire que personne ne contrôle ...

Qui trop embrasse, mal étreint ...

L'union fait la force.

Au Lecteur de conclure lui-même.

ASSEMBLEE NATIONALE - SENAT
Office parlementaire
d'Evaluation
des Choix Scientifiques et Technologiques

Le Président

REPUBLIQUE FRANCAISE
LIBERTE EGALITE FRATERNITE
PARIS, le 12 Juillet 1991

91.134.net

Monsieur le Président,

Je vous remercie d'avoir bien voulu accepter de mettre M. Yves GUINET à disposition de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques.

Ses compétences en matière de télévision haute-définition seront très utiles à la mission conduite par MM. Raymond FORNI et Michel PELCHAT.

Je vous prie de bien vouloir accepter, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments les meilleurs.



Jean-Yves LE DÉAUT

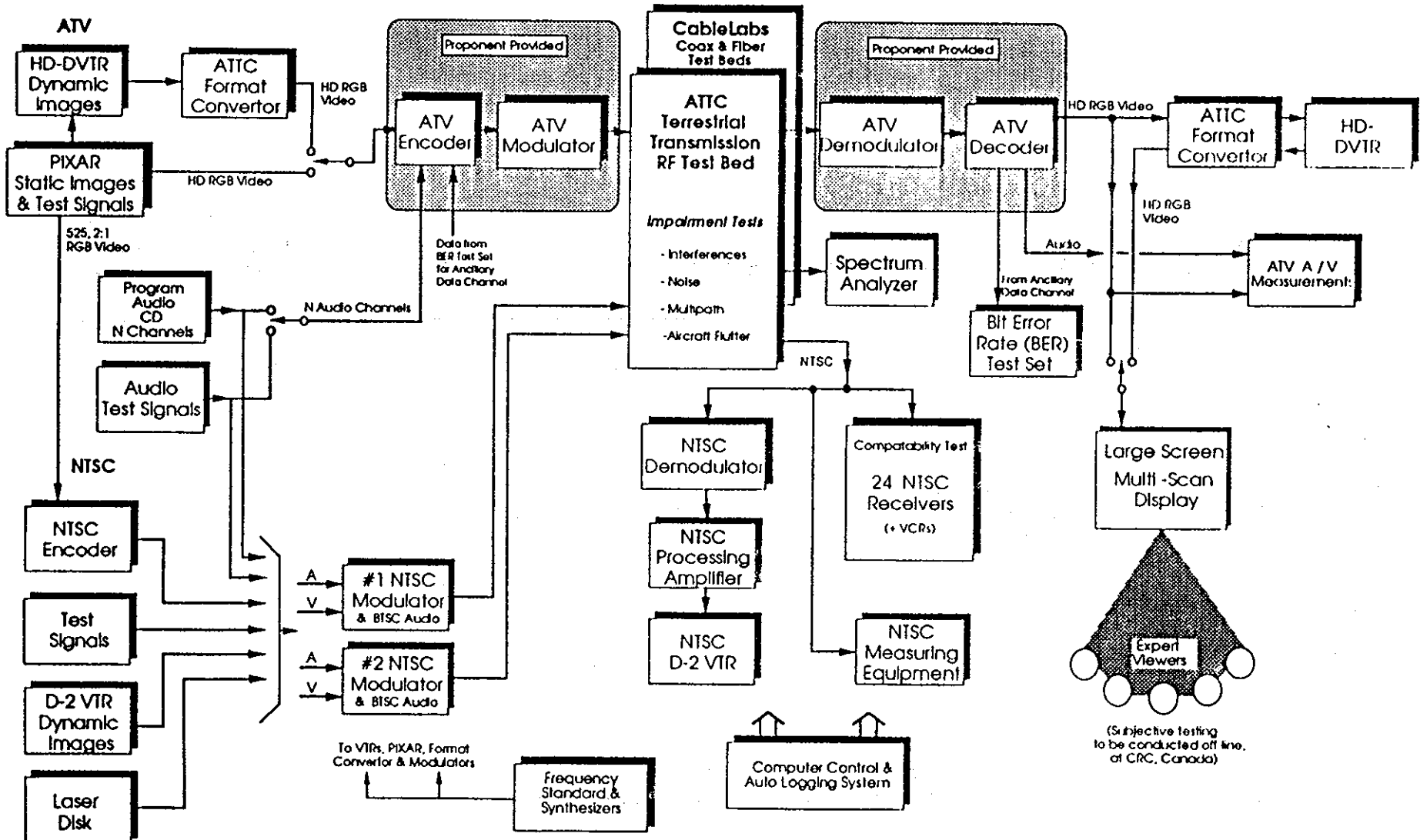
Monsieur MAUDUIT
Président Directeur Général
Philips Electronique Grand Public
51, rue Carnot
BP 301
92156 SURESNES CEDEX

CALENDRIER DU PROGRAMME DE HDTV NUMERIQUE PAR EMETTEURS DE TERRE
(A LA DATE DU 25 JUILLET 1991)

Acteurs	1990				1991				1992				1993			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
FCC	x 21.03.90								---				---			
	Discours Programme Chairman C. SIKES								Période d'actuali- sation éventuelle				Période prévue pour le choix normatif			
FCC Advisory Committe	x Troisième rapport intermédiaire												x Rapport final			
Advanced Television Test Center & Cable Labs Advanced Broadcast System Test Center	E.V.				8.7.91 x				15				Période d'essai au Laboratoire ATTC			
	Canada (calendrier inconnu)				---				---				---			
SARNOFF / ATRC / PHILIPS																
NHK									ACTV				ADTV			
									Muse							
G.I. / ATVA / / M.I.T.													DIGICIPHER ATVA			
ZENITH / AT&T													DSC HDTV			

Advanced Television Test Center

Signal Sources



ATV Test Procedures

Figure 6-1 - Functional Block Diagram

Annexe

**Déclaration du Chairman Alfred P. SIKES (FCC)
au Comité consultatif pour la Télévision avancée**

21 Mars 1990

A réception des conclusions du Troisième Rapport Intérimaire du Comité Consultatif pour la Télévision Avancée, je voudrais saisir l'occasion pour remercier le Président du Comité, Richard WILEY, ainsi que ses Membres, pour leurs efforts jusqu'à ce jour. En outre, je veux partager avec le Comité Consultatif les pensées de la Commission Fédérale des Communications (FCC) sur l'orientation et le calendrier de la sélection des systèmes de Télévision avancée.

D'abord, et avant tout, laissez moi féliciter le Comité Consultatif pour ce qu'il a déjà fait. Au cours des trois années écoulées, depuis que le NTIA et la Commission ont introduit le sujet de la TVHD dans l'arène de la chose publique, les efforts du Comité ont abouti à un substantiel progrès vers la sélection de systèmes de télévision avancée. Nous sommes arrivés, aujourd'hui, à la croisée des chemins.

Le Comité Consultatif, en travaillant avec l'Industrie, a significativement amélioré notre aptitude à mesurer la qualité des systèmes de télévision avancée en compétition.

En même temps, un véritable progrès a été fait, tant dans l'amélioration de l'actuelle norme NTSC, que dans la distribution d'un signal HDTV utilisant les infrastructures terrestres actuelles.

Il est opportun pour la Commission de saisir cet heureux concours de circonstances pour énoncer ses buts pour le choix des systèmes de télévision avancée. Du fait des avantages que la télévision avancée peut apporter au public, l'objectif initial de la Commission est d'être en mesure de faire le choix d'une norme pour les systèmes de télévision avancée aussi rapidement que possible. Nous croyons qu'il devrait être possible de faire ce choix durant le second trimestre de 1993. A cette fin, la Commission demande au Comité Consultatif de préparer son rapport final, contenant ses données, analyses, conclusions et recommandations, afin qu'il soit soumis à la Commission le 30 Septembre 1992.

Dans ses activités, le premier but de la Commission est d'assurer le développement d'un service de télévision avancée techniquement excellent, qui satisfera de la façon la plus efficace les besoins et les souhaits des stations d'émission, des Cablo-opérateurs et des Consommateurs. En ligne avec ce but, l'intention de la Commission est de choisir une norme de HDTV Simulcast, c'est à dire, compatible avec la planification actuelle à 6 Mhz; mais utilisant de nouveaux principes de conception indépendants de la Technologie du NTSC.

En faisant ce choix, nous sommes conscients du fait que les systèmes du type "à augmentation" pourraient également fournir un service de HDTV de haute qualité. Cependant, nous avons conclu, du fait des problèmes significatifs de disponibilité et d'utilisation du spectre induits par le choix d'un système de ce type, l'essai futur de tels systèmes n'est pas garanti.

Du fait que les systèmes Simulcast et à augmentation offrent, l'un comme l'autre, un service de HDTV techniquement excellent, nous jugeons que les intérêts du public seront mieux servis par le choix d'un système Simulcast.

Quoique nous aspirions à l'établissement d'un système de HDTV Simulcast, la Commission considère souhaitable d'être complètement informée de tous les aspects d'un système de télévision améliorée (EDTV), y compris ses attributs techniques, son acceptabilité par le Consommateur et son efficacité en termes de coûts.

Nous n'envisageons pas, cependant, que la Commission puisse adopter une norme EDTV, du moins avant d'avoir atteint une décision finale sur un standard HDTV qui, comme déjà indiqué, sera fait durant le second trimestre de 1993.

La Commission comprend que la mise en oeuvre de ces objectifs, selon le calendrier que nous avons établi, constitue une entreprise ambitieuse et nécessitera que le programme d'essai de la télévision avancée soit conduit avec diligence.

Pour assister cet effort, j'ai ordonné aux Services de la Commission de travailler étroitement avec les Laboratoires d'essais du Comité Consultatif, y compris par une participation directe au processus d'essais. Les Services de la Commission ont également reçu instruction d'évaluer la possibilité de mener certains essais au Laboratoire de la Commission. Pour faciliter cet effort collaboratif au niveau des essais, la Commission demande au Comité Consultatif de tenir toutes les données d'essais produites à disposition des Services de la Commission, aussitôt que produites.

La Commission suppose que les efforts collectifs du Comité Consultatif et des Services de la Commission faciliteront la production d'un Rapport Final complet pour l'Automne 1992.

En dernier point, nous voudrions indiquer qu'il est important que le Comité Consultatif ait la flexibilité d'inclure dans le programme d'essais tous nouveaux développements de télévision avancée, qui offriraient des bénéfices nouveaux importants au public américain, et qui auraient atteint un niveau suffisamment concret de développement pour être considérés avec les systèmes existants.

.../...

Dans cet esprit, et avec l'assistance du Comité Consultatif, la Commission désire faire le point de tels nouveaux développements, avec soin mais rapidement, au début 1992. S'il advient que lors de cet examen, la Commission juge qu'une nouvelle technologie de télévision avancée est suffisamment matérialisée et développée, au point qu'elle puisse faire l'objet d'essais, la Commission apportera aux procédures d'essais et au calendrier l'additif requis à cet effet.

Grâce, pour une part qui n'est pas petite, aux efforts du Comité Consultatif, les contours d'une nouvelle génération de service de télévision avancée ont commencé à se dessiner. La Commission croit que les orientations que nous avons définies ci-dessus aideront à la naissance d'une nouvelle génération de Télévision, et, de ce fait, placeront les Etats Unis dans la situation d'exercer un leadership international dans cet important secteur des Affaires.

Je travaillerais avec le Comité Consultatif pour obtenir ce résultat.

**COMPTE RENDU DE LA MISSION D'INFORMATION
DU 18 FÉVRIER 1992**

**par M. Philippe BERNARD
(CCETT)**

GROUPEMENT D'INTERÊT ÉCONOMIQUE
RÉGI PAR L'ORDONNANCE DU 23 SEPTEMBRE 1967

CCETT

Affaire suivie par : **P. BERNARD**
Téléphone : **99 12 42 08**
Référence : **CCETT/ESP/DNT/511/PB**

Cesson Sévigné, le 18 septembre 91.

Analyse des quatre propositions numériques américaines de Télévision Haute Définition

PRÉAMBULE

Ce document donne une présentation synthétique des quatre propositions numériques soumises à la FCC dans le cadre de son appel à propositions pour le choix d'un système de Télévision Haute Définition.

Le présent document s'articule autour de trois grandes parties :

- une présentation du contexte de l'appel à propositions de la FCC ainsi qu'une présentation des différents candidats.
- une description technique comparative des quatre systèmes numériques en lice.
- une analyse critique et synthétique des quatre propositions sur la base de l'expérience acquise au CCETT en diffusion numérique de télévision.

I - CONTEXTE

La FCC -Federal Communications Commission-, instance gouvernementale en charge de la réglementation des ondes américaines, a lancé un vaste programme de consultations et de tests destiné à choisir d'ici 1993 le meilleur système de radiodiffusion terrestre de signaux de Télévision Haute Définition.

Les conditions drastiques imposées par la FCC, -la principale étant la nécessité de faire cohabiter le nouveau système HD avec le standard existant NTSC sans modifier le plan de radiofréquence actuel- ont limité le nombre des concurrents et laissent présager que le futur système américain de diffusion de TVHD sera numérique ou ne sera pas.

Quatre propositions numériques, toutes quatre américaines, sont aujourd'hui en lice, la solution mixte analogique-numérique nipponne "Narrow Muse" apparaissant d'ores et déjà hors course car mal adaptée et non américaine.

La première proposition, avancée par General Instruments dès juin 1990, repose sur le système "Digicipher", une technologie de compression d'image qui peut aussi bien s'appliquer à la diffusion terrestre qu'à la diffusion par satellite ou la distribution sur câble. Digicipher a depuis présenté des démonstrations réelles de compression et de transmission numérique par satellite de signaux de télévision conventionnelle.

Depuis Janvier 1991, General Instruments et le Massachusetts Institute of Technology se sont réunis au sein d'un consortium: l' "American Television Alliance" ou encore l'ATVA. Le but de cette manoeuvre plus stratégique que technique est de démontrer aux yeux de la communauté américaine le bon vouloir de ces deux sociétés à proposer un seul et unique système numérique américain. Tout en bénéficiant d'un calendrier de tests plus avantageux. En sus de Digicipher désigné désormais sous l'appellation "ATVA-Interlace", l'Alliance propose ainsi un deuxième système, l'ATVA-Progressive (désigné dans ce document par ATVA), qui reprend une version modifiée du premier système proposé par le MIT: le Channel Compatible.

La troisième proposition en lice, le "Digital Spectrum Compatible" - DSC-HDTV-, résulte d'une association entre Zenith et ATT qui fondent leur stratégie commune sur un savoir-faire en compression et en restitution d'image.

Enfin la dernière proposition émane d'un consortium regroupant THOMSON, PHILIPS, NBC et le David Sarnoff Research Center : l'ATRC, Advanced Television Research Consortium. Le système défendu, l'"Advanced Digital Television" -ADTV -, a le mérite de reprendre les développements récents et en voie de normalisation en matière de compression des signaux - au sein du groupe ISO/MPEG-.

Les tests s'étalent du 10 septembre 1991 au 15 juin 1992, conformément au tableau donné ci-dessous. Même si la fin des tests initialement prévue pour fin avril 1992 a été repoussée à la mi-juin, le choix entre les quatre systèmes numériques se fera difficilement dans les temps impartis.

CANDIDATS	SYSTEMES PROPOSÉS	DEBUT FIN TESTS	
NHK	Narrow Muse (1125/60/2:1)	10 sept. 91	24 oct. 91
General Instrument/ ATVA	DigiCipher (1050/59,94/2:1)	14 nov. 91	7 janv.91
Zenith Electronics/ AT&T	DSC-HDTV (787,5/59,94/1:1)	14 janv. 92	2 mars 92
N.A. Philips Consumer/ ATRC	Advanced Digital Television (1050/59,94/2:1)	9 mars 92	22 avril 92
Massachusetts Institute of Technology/ATVA	ATVA Progressive System (787,5/59,94/1:1)	29 avril 91	15 juin 92

2 - DESCRIPTION TECHNIQUE

Le présent chapitre donne une description comparative des quatre propositions numériques américaines sur la base des documents de présentation soumis à la FCC - documents transmis par la Direction du CNET au CCETT et comprenant plus de 400 pages -. Ces derniers traitant davantage de la philosophie des approches techniques retenues plutôt que d'une description fine des techniques mises en oeuvre, le présent rapport n'a pas la prétention de couvrir exhaustivement le sujet.

Les trois maillons suivants de la chaîne image font l'objet de paragraphes distincts:

1. Techniques de diffusion, 2. codage de source, 3. facilités de service.

2 1- CANAL

Une remarque générale essentielle s'impose à la lecture des quatre propositions numériques:

→ **Les techniques de modulation numériques proposées sont similaires et assimilables à une modulation à 16 états de type MAQ16,**

...les différentes appellations ne traduisant que des différences d'implémentation ou des astuces de réalisation.

De ce fait, les efficacités spectrales des quatre propositions sont équivalentes : 4 bits par Hertz utile, et, compte tenu de la largeur du canal, 6MHz,

→ **le débit brut en transmission se situe aux environs de 20 Mbits par seconde.**

Afin d'augmenter la robustesse du signal aux aléas de la diffusion terrestre (échos, bruits etc.), des techniques de codage en bloc et d'égalisation sont retenues par les quatre candidats:

- Des égaliseurs d'échos courts multiples - jusqu'à 2 ou 4 micro secondes selon la complexité et l'ouverture des filtres transverses retenus-, et des égaliseurs susceptibles de corriger un seul écho long pouvant durer 32 ou 40 micro secondes.

- des codes correcteurs d'erreur en bloc du type Reed-Solomon (RS) dont la redondance est fonction du format des données à transmettre. L'efficacité des codes correcteurs d'erreur est augmentée par la mise en oeuvre de techniques d'entrelacement des données.

Considérant une modulation MAQ16 couplée à un codage en bloc du type Reed-Solomon, le taux d'erreur est jugé nul avec un rapport signal à bruit égal à 19 db. (Le taux résiduel étant alors d'une erreur par jour).

C'est pourquoi chaque proposition considère que son système est absolument protégé vis à vis du bruit de transmission avec un rapport C/N ou C/I de 19 db, valeur effectivement inférieure aux rapports de protection requis en transmission analogique.

cf Annexe 1 pour plus de détails.

2 2- CODAGE DE SOURCE

Représentation en Bande de Base - Annexe 2.

On peut distinguer deux grandes classes de systèmes:

- Les systèmes proposant un balayage entrelacé de l'image sur 1050 lignes (960 lignes utiles): l'ADTV et Digicipher, qui franchissent le seuil psychologique des 1000 lignes.

- les systèmes optant pour un balayage progressif de l'image sur 787,5 lignes (720 lignes utiles) avec des pixels carrés, conformément à leur background informatique: le DSC-HDTV, de Zénith-ATT, et l'ATVA.

Les débits bruts en entrée de compression sont donc divers et variés: entre 405 Mbits pour le système Digicipher et 662 Mbits pour les systèmes à balayage progressif. (Pour mémoire le débit utile du système 4.2.2 est de 160 Mbits, et celui de la recommandation "Eurêka 95" pour la production TVHD est de 1,2 Gbits).

Compte tenu des caractéristiques affichées et des débits bruts qui en découlent, on peut constater que les deux premiers systèmes sont loin d'offrir une norme Haute Définition quatre à cinq fois plus riche en informations que le système numérique 422.

Codage Vidéo - Annexe 3.

Les quatre systèmes reposent sur des techniques relativement bien connues de nos jours puisque reprenant les grands principes suivants:

- Codage dans un espace transformé: DCT ou sous bande
- Utilisation de la prédiction temporelle par estimation et compensation de mouvement
- Quantification adaptative
- Codage à longueur variable: VLC

Seuls diffèrent la mise en oeuvre de ces grands principes, le choix judicieux de la transformée ou encore les astuces de réalisation.

Le système du consortium ATRC présente le grand avantage d'être très proche des travaux de normalisation menés aujourd'hui au sein du groupe ISO/MPEG. Le système proposé, le MPEG ++, est en effet une adaptation de la norme MPEG1 aux grands débits, l'effort s'étant principalement porté sur les techniques de compensation de mouvement.

De ce fait, et compte tenu des informations que l'on peut recueillir par ailleurs, on peut supputer que le consortium ATRC espère utiliser le futur circuit MPEG1 "Ccube" - susceptible de fonctionner jusqu'à 17 Mbits - pour une application HD.

Le système Zénith/ATT semble le plus novateur en codage, en développant des modèles de quantification vectorielle dits adaptés au modèle psychovisuel de perception de l'oeil.

L'Alliance ATVA retient un codage en sous bande certainement prometteur pour assurer ultérieurement un codage compatible hiérarchique - ou "gigogne" - des images Haute Définition, même si cet objectif n'est pas à l'ordre du jour aux Etats Unis.

Enfin Digicipher a retenu un système bien connu car très proche dans les grands principes de la norme de codage de contribution ETSI à 34 Mbits: codage DCT hybride.

Il est intéressant à ce niveau de l'analyse de rapprocher les performances des quatre propositions américaines de compression d'images Haute Définition, exprimées en Bit par pixel, de celles visées par le projet coopératif européen VADIS, qui se fixe pour objectif le codage d'images conventionnelles aux débits de 4 et respectivement 9 Mbits pour des qualités proches du Pal et respectivement du 422-usager (soit du D2MAC).

Candidats:	ATRC	ZÉNITH/ATT	DIGICIPHER	ATVA	VADIS	VADIS
Débits	14,98Mbits	17,2Mbits	14,38Mbits	15,68Mbits	4Mbits	9Mbits
Qualité					Q= PAL	Q=D2MAC
Bit/pixel	0,36	0,31	0,35	0,28	0,39	0,89

On peut ainsi, au vu de ce dernier tableau, légitimement penser que

→ les techniques de compression d'image retenues par les candidats américains sont viables, si et seulement si la qualité visée est une extrapolation de la qualité NTSC au standard Haute Définition

(c'est à dire l'équivalent de quatre images NTSC juxtaposées sur un écran quatre fois plus grands)

... extrapolation pouvant se traduire par une certaine dégradation de la qualité des images (visibilité des blocs de codage) sur certaines séquences critiques.

Codage audio - Annexe 4

Les propositions diffèrent très nettement les unes des autres puisque certaines solutions mettent en oeuvre des techniques élaborées du type Musicam permettant de gagner en débit de façon significative, alors que d'autres se contentent d'un codage rudimentaire basé sur une loi de quantification μ . Le débit brut varie alors pour quatre canaux son - soit deux programmes stéréo- entre 0,5 et 1,76 Mbits.

On peut considérer que la technique retenue par Digicipher est sous optimale en termes de débit et de qualité. Musicam est retenu par l'ATRC, afin de coller au plus près du standard ISO/MPEG.

2.3- SERVICE

Multiplex

Alors que la proposition ADTV repose sur une découpe en couches et sur un formatage en paquets, susceptibles d'être compatibles avec un réseau ATM, les autres propositions définissent des segments de données de longueur égale à une ligne NTSC (63,5 microsecondes) ou à une ligne HD.

La solution ADTV est donc la plus souple pour des évolutions ultérieures de service.

Facilités de service

Des données sont transmises afin d'assurer certaines facilités de service:

- Contrôle, Identification, Alerte d'urgence, programmes et Teletext... sans autre précision.
- Contrôle d'accès: Videocipher II Plus pour Digicipher.

La proposition de l'ATRC semble un peu succincte en ce qui concerne les données d'assistance puisque seuls 40 Kbits leur sont réservés, tous services confondus.

2.4- BILAN DES DÉBITS

CANDIDATS	ATRC	ZÉNITH/ATT	DIGICIPHER	ATVA
Balayage	1050/2:1/29,97 Entrelacé	787,5/1:1/59,94 Progressif	1050/2:1/29,97 Entrelacé	787,5/1:1/59,94 Progressif
Points * Lignes utiles	1440 * 960	1280 * 720 pixels carrés	1408 * 960	1280 * 720 pixels carrés
Débit brut transmis	21 Mbits	21,52 Mbits	19,43 Mbits	19,43 Mbits
Débit utile	16,04 Mbits	18,4 Mbits	16,4 Mbits	16,38 Mbits
Débit vidéo	14,98 Mbits	17,2 Mbits	14,38 Mbits	15,63 Mbits
Débit audio	1,02 Mbits	0,6 Mbits	1,76 Mbits	0,5 Mbits
Data	0,04 Mbits	0,6 Mbits	0,126 Mbits	0,126 Mbits
Contrôle Accès	?	inclus dans Data.	0,126 Mbits	0,126 Mbits

3- COMMENTAIRES

Stratégie:

Les propositions américaines et les propositions officielles européennes reposent sur des stratégies radicalement différentes:

- Les Etats Unis se sont délibérément prononcés en faveur d'un système "Simulcast" de Télévision Haute Définition destiné à des récepteurs fixes (c-à-d connectés à des antennes collectives ou individuelles situées sur le toit des habitations).

- Les européens optent actuellement dans le cadre du projet RACE T813 et l' "European Strategic Group" pour une diffusion numérique de télévision conventionnelle vers des récepteurs portables, en complément d'une diffusion par satellite de signaux Haute Définition selon la norme HDMAC.

- Le Japon semble de son côté en position d'attente sur ce sujet.

Enfin les américains sont certainement moins exigeants que les européens en matière de qualité d'image et de taux de couverture.

Modulation:

Le maillon "transmission" constitue sans aucun doute le point faible des propositions américaines.

En effet, la question qui se pose n'est pas tant de savoir si le choix d'une modulation 16 QAM couplée à un égaliseur et un codage en bloc est techniquement judicieux, mais bien de savoir comment et dans quelles conditions cela pourrait marcher dans un contexte de diffusion terrestre particulièrement difficile.

En effet on peut raisonnablement penser que la solution avancée par les quatre candidats - par ailleurs bien maîtrisée dans d'autres contextes de transmission - est quelquefois inopérante dès lors que le milieu de réception devient hostile: montagne, forte densité urbaine etc. Plus précisément on peut estimer que les égaliseurs proposés ne pourront pas traiter les conditions de réception les plus rebelles, caractérisées par des échos longs et de forts évanouissements.

Il convient à ce titre de signaler que les seuils de protection avancés par les candidats (19 db de C/N) ne concernent que des canaux gaussiens et non des canaux de Rayleigh plus représentatifs de la diffusion terrestre.

Cependant, seuls des tests menés sur site nous permettront de nous faire une opinion plus précise sur la viabilité des techniques avancées et sur les taux de couverture envisageables.

Afin de positionner ce discours par rapport aux études en cours au CCETT, il est bon de rappeler que le système retenu au CCETT pour le projet de recherche interne de Diffusion Numérique de Télévision est une adaptation à l'Image du système COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex), promu dans le cadre du projet DAB de radiodiffusion sonore numérique pour sa grande robustesse aux trajets multiples, brouillages ou parasites impulsifs.

Or aucun des systèmes proposés aux Etats Unis n'exploite les propriétés du COFDM, choisi non seulement par le CCETT mais également par Thomson et

d'autres européens pour la diffusion de terre de signaux de télévision conventionnelle ou à Haute Définition.

Aussi le principe fondamental de "codage de canal" sur multi-porteuses sera-t-il défendu dans le cadre du futur projet coopératif européen RACE T813, tout en apparaissant comme une alternative potentielle solide aux propositions américaines.

Remarques sur les zones de service:

L'objectif affiché par la FCC est d'allouer une fréquence à chaque station émettrice existante,

- Soit en utilisant les canaux adjacents aux canaux déjà utilisés en NTSC - l'allocation de ces canaux "taboo" étant d'ores et déjà bouclées par la FCC
- Soit en exploitant des canaux NTSC en dehors des zones de couverture des stations NTSC existantes, l'objectif étant alors d'installer une nouvelle station émettrice à 100 miles d'une station NTSC existante (la distance actuelle est de 150 miles).

Les prévisions de zones de service peuvent être faites de plusieurs façons:

- la plus classique consiste à rechercher la puissance d'émission nécessaire pour obtenir une zone de couverture offrant une qualité de signal donnée, pendant un temps donné, pour un nombre de points de réception donné. (puissance moyenne et puissance crête).
- l'approche la plus probable sera sans doute celle qui se définira en tenant compte de la gêne produite, en cocanal, sur le canal analogique et évaluée à partir d'essais subjectifs.

La structure du signal pourra ne pas être indifférente et chaque db gagné sur le rapport de protection sera capital. Quoi qu'il en soit, l'importance de la zone de service utilisable devra rester attractive par rapport aux zones de couvertures des émetteurs de télévision analogique.

Il est aujourd'hui trop tôt pour se prononcer sur les propositions américaines compte tenu du peu d'informations disponibles sur le sujet.

Codage de source:

Comme indiqué précédemment, les efficacités des quatre techniques de compression exprimées en Bit/pixel sont légèrement inférieures à celle fixée par le projet coopératif européen VADIS pour un codage d'image de télévision conventionnelle de qualité équivalente au Pal.

Par conséquent on peut en conclure que les systèmes candidats ne sauront restituer une qualité d'image digne de l'appellation - contrôlée par le CCIR ?- "Haute Définition". Il faut cependant moduler cet argument par le peu d'intérêt que présente pour le marché américain une qualité d'image supérieure à quatre fois celle du NTSC.

Pour mémoire on estime en Europe que 40 Mbits sont nécessaires à l'obtention d'une très bonne qualité d'image Haute Définition et qu'une qualité "HDMAC" se situerait entre 20 et 30 Mbits. (le codage de contribution s'effectuant à 140 voire 70 Mbits).

On peut toutefois relever que l'approche de l'ATRC n'est pas dénué de fondement dans le contexte américain. En effet les circuits Ccube, originellement dédiés au multimédia sous leur forme MPEG1, sont aujourd'hui convoités pour la diffusion directe numérique de télévision conventionnelle. De même la possibilité (à confirmer) de faire fonctionner ces mêmes circuits jusqu'à 17 Mbits rend imaginable leur utilisation pour de la télévision Haute Définition.

Enfin il convient de noter qu'une première étape de normalisation du codage d'image de télévision conventionnelle est attendue fin 92 au sein du groupe ISO/MPEG. Si l'on fait abstraction d'une quelconque compatibilité du codage HD avec les techniques de compression d'images conventionnelles, l'application de MPEG à la Haute Définition se fera rapidement.

Autres supports:

Le portage à d'autres supports d'un système dédié initialement à la diffusion terrestre fait encore l'objet, selon les protagonistes, de travaux complémentaires. Il est cependant indiqué que le portage sur câble ne nécessiterait aucune modification fondamentale du système et que la transmission sur satellite s'effectuerait uniquement par un changement de modulation (QPSK, MSK).

Enfin l'enregistrement sur magnétoscope Grand Public d'un signal limité à 6 MHz est jugé faisable et réaliste par les quatre candidats.

Viabilité financière:

Le coût pour l'utilisateur en l'an 2000 d'un récepteur Haute Définition est aujourd'hui difficilement appréciable. Tout au plus peut-on citer pour mémoire le coût des équipements aujourd'hui disponibles.

On peut cependant estimer que le coût "silicium" d'un récepteur complet sera principalement imputable au circuit de décodage vidéo, compte tenu du faible coût d'implémentation des briques de démodulation telle que proposée par les américains (l'égaliseur se réduisant à un simple filtre numérique).

ATT annonce - et il est le seul de la bande des quatre à s'adonner à ce petit exercice délicat - un surcoût de \$700 par rapport à un téléviseur conventionnel. (alors que, à plus court terme, le consortium TI-Fujitsu-Hitachi-Sony compte commercialiser, début 93, un chip-set MUSE pour \$7000).

Rappelons par ailleurs qu'un moniteur Spacesystem Thomson vaut aujourd'hui 17 KF et que le dernier moniteur HD 90 cm de Sony - le SU-3600HD - vaut aujourd'hui au Japon près de 85 KF.

Pour conclure sur ce sujet, rappelons que d'aucuns estiment, par analogie avec l'introduction dans les années 60 des récepteurs couleur, qu'un équipement nouveau de réception Haute Définition n'aura sa place sur le marché Grand Public de l'audiovisuel que si son prix ne dépasse pas celui d'une voiture bas de gamme.

Ce sera certainement le cas au début du prochain millénaire et ce, quel que soit le système retenu.

4- CONCLUSION

Le maillon "transmission" constitue le point faible des propositions américaines.

La qualité finale des images ne sera qu'une extrapolation de la qualité NTSC au format HD.

La commercialisation de produits grand public ne s'effectuera pas avant l'an 2000. D'ici là, la FCC pourra demander confirmation sur site des résultats obtenus en laboratoire, et le candidat victorieux pourra toujours revoir sa copie, avec ou sans ses actuels concurrents.