

COMPARAISON DE METHODES DE PREDICTION ET DE  
QUANTIFICATION ADAPTATIVES DANS LE CODAGE EN SOUS-  
BANDES D'IMAGES DE TELEVISION COULEUR

Fabrice LALLAURET Dominique BARBA

LATI/IRESTE, La Chantrerie, CP 3003, 44087 NANTES CEDEX 03, FRANCE

## RÉSUMÉ

Ce papier concerne le codage en sous-bandes par filtrage Pseudo-QMF des signaux d'images de télévision couleur en se basant sur des méthodes de codage prédictives et avec quantification scalaire. D'abord nous proposons et comparons quatre ensembles de fonctions de prédiction adaptatives. Ensuite nous développons trois stratégies de quantification adaptatives. Toutes ces méthodes ont été comparées entre elles en terme de gain entropique par rapport à un codage MIC pour la prédiction et par mesure et appréciation de la qualité visuelle globale et locale.

1 - INTRODUCTION

Les techniques numériques de codage d'images avec compression d'information ont montré déjà tout leur intérêt dans la réduction des débits nécessaires à la transmission des informations visuelles et de multiples méthodes de codage d'images TV ont été proposées [1]. La diversité des services de transmission d'images qui seront proposées implique l'utilisation de multiples résolutions spatiales et temporelles. En particulier il se dégage trois résolutions spatiales qui se déduisent les unes des autres par une perte de résolution d'un facteur deux dans chacune des deux directions spatiales à partir de la norme de Télévision Haute Définition à  $1920 \times 1152 \times 50$  : 1 points actifs d'image correspondant au standard  $1250/50$  avec un format d'image de  $16/9$ . Dans ce cadre, il est intéressant de concevoir des méthodes de codage compatibles permettant d'avoir explicitement une représentation propre de chacune des résolutions souhaitées en décodage. Le codage en sous-bandes [2] est l'une des méthodes possibles permettant de satisfaire à cette contrainte. Son principe est basé sur la décomposition du signal d'image à coder en bandes étroites (bandes de fréquences spatiales). Les signaux dans chacune des bandes après sous-échantillonnage sont codés séparément (quantification scalaire ou quantification vectorielle) ou simultanément (quantification vectorielle). C'est ce principe que nous avons utilisé pour le codage des images de télévision couleur. Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une étude plus large du codage à des débits de 15, 10 et 5 Mbit/s des séquences d'images de télévision couleur à partir d'un débit initial brut de 216 Mbit/s (norme CCIR 4 : 2 : 2).

Le travail présenté ici concerne la comparaison de différentes méthodes de prédiction et de quantification des signaux d'images décomposés en sous-bandes. Ces méthodes sont toutes adaptatives et reposent sur l'utilisation de propriétés statistiques que nous avons déterminées.

## ABSTRACT

This paper deals with Pseudo-QMF sub-band coding of color TV signals based on DPCM schemes with scalar quantization. First, we proposed four sets of adaptive prediction functions and compared them. Then we developed three adaptive quantization schemes. All these methods have been tested and compared in terms of entropic gain over PCM coding scheme and also in terms of locally and globally visual quality.

Dans la section 2, nous présentons le principe du codage et de la décomposition en sous-bandes de signaux par filtres P-QMF. La section 3 décrit d'abord les propriétés statistiques des signaux d'image décomposée en sous-bandes et le principe des quatre schémas de prédiction adaptative qui ont été testés. Trois stratégies de quantification adaptatives ont été conçues et sont comparées dans la section 4 et le codage des informations et des résultats obtenus en terme de qualité/débit y sont présentés .

2 - PRINCIPE DE LA DECOMPOSITION EN SOUS-  
BANDES ET DU CODAGE

Le principe général de la méthode utilisée est celui de la décomposition en sous-bandes de la composante de luminance Y et des deux composantes de chrominance DR et DB du signal d'image couleur. En fait, la décomposition est faite trame par trame dans la séquence et elle est effectuée par filtrage Pseudo-QMF. Nous avons préféré utiliser ce type de décomposition plutôt qu'une décomposition par filtrage QMF en raison d'une meilleure qualité de la reconstruction à longueur de filtre donnée et une charge de calcul plus réduite [3]. De plus nous souhaitons avoir une représentation à largeur de bande constante.

De façon succincte, on définit dans le cas monodimensionnel un banc de filtres Pseudo-QMF (en nombre N) à partir d'un filtre prototype unique H de type passe-bas dont la réponse impulsionnelle  $h(n)$  est modulée ensuite et déphasée convenablement. La contrainte de reconstruction sans erreur permet de définir les relations existantes entre filtres de décomposition et filtres de reconstruction à partir du filtre prototype [4]. Nous avons utilisé pour les signaux d'image une décomposition-reconstruction séparable : la décomposition est d'abord effectuée par ligne et ensuite par colonne. La composante de luminance Y est décomposée en  $8 \times 4$  sous-bandes et les composantes de chrominance DR et DB sont décomposées en  $4 \times 4$  sous-bandes .



La réduction d'un facteur 2 du nombre des sous-bandes suivant les fréquences spatiales horizontales est due au sous-échantillonnage initial des signaux de chrominance par rapport au signal de luminance. De même la réduction d'un facteur 2 du nombre de sous-bandes suivant les fréquences spatiales verticales par rapport à celles horizontales est due à la décomposition en trame et non en image. Cela conduit à l'obtention de sous-bandes de fréquences spatiales à support sensiblement carré. Les filtres utilisés sont de longueur 8 x N (N étant le nombre de sous-bandes suivant la direction considérée).

Pour le codage des signaux dans les sous-bandes, deux modes de codage existent : un mode de codage purement spatial et un mode de codage inter-image par compensation de mouvement. Le codage dans cet article est basé sur un codage par quantification scalaire des signaux associés à chacune des sous-bandes. Nous avons par ailleurs étudié des méthodes de codage par quantification vectorielle. Elles sont en dehors de l'objet de ce papier. De même, l'aspect prédiction temporelle par compensation de mouvement n'est pas décrit ici. Le principe commun aux méthodes de codage comparées est celui de systèmes MIC Différentiels adaptatifs propres à chaque sous-bande mais pouvant être couplés dans certains cas.

**3 - PREDICTION DES SIGNAUX**

**1) Introduction**

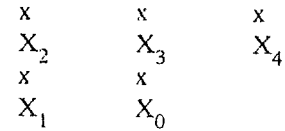
La décomposition en sous-bandes des signaux de luminance et de chrominance conduit à l'obtention d'un ensemble de signaux  $x_{ij}(m,n)$  où  $(i,j)$  est le numéro de la sous-bande considérée. Le codage est basé sur l'utilisation de propriétés statistiques de  $x_{ij}$ . Celles-ci sont utilisables pour définir un schéma de codage prédictif. A ce niveau, plusieurs possibilités existent dans le cadre d'un codage purement scalaire de chaque signal dans les sous-bandes. On peut définir des schémas de codage adaptatifs mais indépendants entre les sous-bandes. On peut aussi coupler des sous-bandes. Pour analyser ces diverses possibilités, nous avons d'abord déterminé les propriétés statistiques existantes dans chaque sous-bande ainsi que certaines intercorrélations entre sous-bandes. Cela nous a conduit à proposer et à comparer plusieurs formes de fonction de prédiction possibles.

**2) Analyse statistique des signaux d'image décomposés en sous-bandes**

Nous avons d'abord déterminé sur un ensemble large d'images tests de télévision (9 images) la loi de probabilité de  $x_{ij}(m,n)$  et la loi conjointe du couple  $(x_{ij}(m,n), x_{ij}(m',n'))$  où  $(m,n)$  et  $(m',n')$  sont les coordonnées de deux pixels 8-connexes. Les corrélations dans les sous-bandes moyennes et hautes fréquences sont faibles tant pour la composante de luminance que pour les composantes de chrominance. Inversement, les fortes corrélations observées dans la sous-bande (0,0) et les corrélations moyennes sur les sous-bandes basses-fréquences montrent qu'un codage prédictif peut permettre de réduire le nombre de bits alloués au codage de celles-ci. Il faut noter que les statistiques varient dans des proportions importantes d'une image à l'autre ce qui doit conduire à l'utilisation de méthodes de prédiction adaptatives.

Nous avons ensuite déterminé les diverses intercorrélations existantes entre la sous-bande (0,0) et les autres sous-bandes en considérant les quatre

intercorrélations suivantes où les positions des pixels sont notées ainsi ( $X_0$  est le pixel courant) :



- type 1 :  $Cor((X_0 - X_k)_{00}, (X_0 - X_k)_{ij})$  pour  $k = 1, \dots, 4$
- type 2 :  $Cor(|X_0 - X_k|_{00}, |X_0|_{ij})$  pour  $k = 1, \dots, 4$
- type 3 :  $Cor(|Z_{op}|_{00}, |X_0|_{ij})$
- avec  $|Z_{op}|_{00} = \text{Sup}_k |X_0 - X_k|_{00}$
- type 4 :  $Cor(|Z_{op}|_{00}, |X_0 - X_p|_{ij})$
- avec  $|Z_{op}|_{00} = \text{Sup}_k |X_0 - X_k|_{00}$

Des résultats obtenus qui se corroborent sur le jeu d'images tests, on peut en déduire les conclusions suivantes :

- \* Il y a très peu de corrélation entre les signaux de différences orientées entre la sous-bande (0,0) et les autres sous-bandes.
- \* Il existe une intercorrélacion entre les signaux de différences orientées dans la sous-bande (0,0) et les signaux dans les sous-bandes  $(i,j)$  de même orientation fréquentielle. Elle est au maximum de l'ordre de 0.5.
- \* Les intercorrélations de type 3 sont toujours plus faibles que celles de type 2.
- \* Il en est de même dans le cas 4. Ceci s'explique par le fait que l'on mélange des orientations différentes dans le choix de la différence orientée maximale.

**3) Prédiction des signaux à coder**

Les résultats obtenus sur les corrélations spatiales existantes dans chacune des sous-bandes ainsi que les intercorrélations entre la sous-bande très basses fréquences (0,0) et les autres sous-bandes au niveau des variations d'amplitude peuvent être exploités dans une fonction de prédiction. Nous avons défini quatre méthodes de prédiction différentes et testé leurs aptitudes à minimiser l'erreur de prédiction dans chaque sous-bande de façon à obtenir une compression maximale lors de la quantification. Ces quatre méthodes sont de complexité inégale, facteur supplémentaire de choix lors de la comparaison des résultats.

\* **Méthode P1**. On définit une série de prédicteurs fixes adaptés à chaque sous-bande. Les coefficients des fonctions de prédiction ont été déterminés d'après les diverses corrélations spatiales existantes dans les sous-bandes (signe et amplitude).

Les fonctions de prédiction pour chacune des sous-bandes sont représentées sur la figure 1 : A est le pixel précédent sur la même ligne, C est le pixel précédent sur la même colonne. Du fait de la très faible dynamique observée pour certaines sous-bandes hautes fréquences, celles-ci ne sont pas traitées.

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	$\frac{A+C}{2}$	$\frac{C-A}{2}$	$\frac{A+C}{4}$	$\frac{C-A}{4}$	$\frac{A+C}{4}$	$\frac{C-A}{2}$	$\frac{A+C}{2}$	$\frac{C-A}{2}$
1	$\frac{A-C}{3}$	$-\frac{A-C}{4}$	$\frac{A-C}{4}$	$-\frac{A-C}{4}$	$\frac{A-C}{2}$	$-\frac{A-C}{2}$	$\frac{A-C}{2}$	
2	$\frac{A+C}{4}$	$-\frac{A+C}{8}$	$\frac{A+C}{4}$	$-\frac{A+C}{2}$	$\frac{A+C}{2}$	$-\frac{A+C}{2}$		
3	$\frac{A-C}{8}$	$-\frac{A-C}{4}$	$\frac{A-C}{2}$	$-\frac{A-C}{2}$	$\frac{A-C}{2}$			

Figure 1 - Fonctions de prédiction propres à chaque sous-bande (Méthode P1)



\* **Méthode P2** . On estime l'orientation dans la sous-bande (0,0) des contours s'ils existent. L'orientation des contours détectés est ensuite reportée dans toutes les autres sous-bandes pour prédire les signaux dans celles-ci. La détection de contour et l'orientation associée s'effectue par l'utilisation de quatre masques de convolution de taille 7 x 3, causaux vis à vis du balayage télévision, et la comparaison à un seuil. Ils conduisent à la détection de contours orientés à 0°, 45°, 90° et 135°. Pour chaque orientation, un prédicteur directionnel est fixé. Celui pour l'orientation 0° est également utilisé dans le cas d'absence de contours détecté.

\* **Méthode P3** . C'est une méthode de principe comparable à la méthode P2 mais qui détecte et estime l'orientation d'un contour sur le pixel précédent et reporte cette estimation et le prédicteur associé sur le pixel courant à coder [5]. La détection et l'estimation sont de plus effectuées plus localement par comparaison des différences orientées de type  $|A - X_i|$  ou bien de type  $|A - (X_i + X_{i+1})/2|$  et choix du minimum (les pixels  $X_i$  sont des pixels 8-connexes au pixel A et situés sur la ligne précédente). La prédiction du pixel X est alors de la forme  $PX = X_{i+1}$  ou bien  $PX = (X_{i+1} + X_{i+2})/2$  s'il n'existe pas de contour d'orientation proche de l'horizontale. Sinon elle est de la forme  $PX = A$ .

\* **Méthode P4** . C'est une méthode de prédiction par filtrage adaptatif autorégressif. Elle est basée sur l'adaptation des coefficients de prédiction au fur et à mesure du codage [6]. Soit  $PX(m,n)$  la prédiction du signal aléatoire  $X(m,n)$  effectuée par filtrage linéaire (causal vis à vis du balayage télévision) :

$$PX(m,n) = \sum h_{ij} X(m-i, n-j) = H^T(m,n) Y(m,n)$$

où nous avons utilisé en fait :

$$Y(m,n) = [X(m,n-1), X(m-1,n), X(m-1, n-1)]^T$$

Soit l'erreur de prédiction :  $e(m,n) = X(m,n) - PX(m,n)$

L'adaptation de  $H(m,n)$  est réalisée à partir de la minimisation de  $E[e(m,n)]$  par un algorithme de gradient stochastique [7]. Cela conduit au résultat suivant concernant la mise à jour du filtre de prédiction :

$$H(m,n) = H'(m,n) + \mu e(m,n) Y(m,n)$$

où  $H'(m,n)$  est le filtre de prédiction utilisé au point précédent :

$$\begin{aligned} H'(m,n) &= H(m,n-1) && \text{si } n \neq 0 \\ &= H(m-1,0) && \text{si } n = 0 \\ &= H_0 && \text{si } m = n = 0 \end{aligned}$$

Le vecteur initial  $H_0$  se déduit des corrélations verticale  $q_v$  et horizontale  $q_H$  existantes dans la sous-bande considérée. Le paramètre  $\mu$  est à choisir. Il résulte d'un compromis entre vitesse de convergence et fluctuation résiduelle de l'erreur d'estimation et doit appartenir au domaine  $[0,2 \text{ LVar}(X)]$  pour assurer la convergence (L est le nombre de coefficients du filtre, ici 3).

#### 4) Résultats et choix du prédicteur

Ces quatre méthodes ont été comparées en terme de gain sur l'entropie du codage des erreurs de prédiction par rapport à l'entropie directe des signaux dans les sous-bandes (codage MIC). A titre d'illustration le tableau 2-a donne pour 3 images le gain entropique en % des quatre méthodes de prédiction pour la sous-bande (0,0) par rapport au codage MIC. Le tableau 2-b présente ce résultat pour toutes les sous-bandes de la composante de luminance de l'image 'Port'.

image	méthode P1	méthode P2	méthode P3	méthode P4
port	14.69	13.30	14.91	15.34
enfant	17.81	16.52	13.60	16.65
couple	20.05	16.68	15.74	19.76

Tableau 2-a : Gain entropique (en %) des méthodes de prédiction pour la sous-bande (0,0) sur le codage MIC

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	15.34	1.89	1.6	1.49	0.61	1.65	2.3	2.56
1	3.67	1.02	0.93	0.23	-0.02	1.32	0.38	XXXX
2	2.60	1.41	0.29	0.13	0.05	-0.15	1.83	XXXX
3	1.38	-0.1	-0.114	0.03	1.54	0.74	-2.6	XXXX

Tableau 2-b : Gain entropique (en %) de la méthode P4 dans chaque sous-bande sur le codage MIC

De manière générale, on peut faire les remarques suivantes :

- Dans le cas le plus favorable (sous-bande (0,0)), la valeur des gains obtenus est plus faible que ceux réalisés sur une image pleine résolution en raison de la réduction importante des zones dépourvues de contours et faiblement texturées à cause du sous-échantillonnage dans les sous-bandes.
- Le report de l'estimation de l'orientation des contours détectés par masques adaptés dans la sous-bande (0,0) sur les autres sous-bandes donne les résultats les plus mauvais, voire parfois plus mauvais qu'un simple codage MIC.
- L'utilisation de prédicteurs fixes adaptés à chacune des sous-bandes ne donnent des résultats satisfaisants que dans les sous-bandes basses-fréquences. Pour les autres sous-bandes, à très faible corrélation, l'intérêt est très réduit.
- La prédiction par filtre adaptatif autorégressif donne les meilleurs résultats parmi les méthodes testées. Cependant pour les sous-bandes hautes fréquences les gains sont faibles.

En conclusion, on peut classer les sous-bandes en deux catégories : celles où une prédiction du signal est efficace (sous-bandes basses et moyennes fréquences) et celles pour lesquelles le signal est trop décorrélé pour permettre une prédiction intéressante d'où le choix d'un codage MIC pour celles-ci.

#### 4 - QUANTIFICATION ET CODAGE

Trois stratégies de quantification ont été étudiées. Deux n'utilisent que les propriétés statistiques du signal à quantifier, la troisième utilise explicitement une modélisation du système visuel humain.

\* **Quantificateur Q1** . On associe à chaque sous-bande un nombre de niveaux fixé dans la loi de quantification, le nombre dépendant de la dynamique maximale. La quantification s'effectue par normalisation du signal avec son écart-type dans la sous-bande, calculé au préalable, quantifié et codé explicitement trame par trame. Le signal ainsi normalisé est quantifié par une loi de quantification de type Max utilisant une loi de probabilité Laplacienne.

\* **Quantificateur Q2** . Le schéma de quantification est comparable à la méthode Q1 précédente mais s'en différencie par le facteur de normalisation. Celui-ci est l'écart-type du signal à coder, calculé en ligne et mis à jour récursivement [6]. Le mode de balayage et les paramètres de



récursivité du filtre sont adaptés à chacune des sous-bandes. De façon plus précise, si  $\sigma_e^2$  (adaptation arrière) est définie par

$$\sigma_e^2(m,n) = k_1 \sigma_e^2(m,n-1) + k_1 \sigma_e^2(m-1,n) - k_1 k_2 \sigma_e^2(m-1,n-1)$$

$$+ (1-k_1)(1-k_2) e_q^2(m,n) \text{ où } e_q \text{ est la quantification de } e.$$

Pour normaliser  $e$  avant quantification, on utilise une prédiction  $\sigma_{pe}^2$  de  $\sigma_e^2(m,n)$  :

$$\sigma_{pe}^2(m,n) = k_1 \sigma_{pe}^2(m,n-1) + k_2 \sigma_{pe}^2(m-1,n) - k_1 k_2 \sigma_{pe}^2(m-1,n-1)$$

$$d'où : e_q(m,n) = \sigma_{pe}(m,n) Q[e(m,n)/\sigma_{pe}(m,n)]$$

Q étant la fonction de quantification utilisée (quantification de Max avec une loi de Laplace normalisée). Le nombre de niveaux de quantification dans chaque sous-bande est impair et dépend de l'écart-type moyen observé dans la sous-bande considérée. Les paramètres  $k_1$  et  $k_2$  dépendent également des sous-bandes considérées.

\* **Quantification Q3** . Cette troisième stratégie de quantification est basée sur une modélisation psychovisuelle de perception des dégradations. Deux éléments ont été pris en compte.

Le premier concerne l'ensemble des transformations qui font passer de la représentation des signaux couleur de télévision Y, DR et DB en une représentation perceptuelle A, C1, C2 pour laquelle les seuils différentiels de visibilité sont sensiblement constants (moyennant une modification de la modélisation). Le second prend en compte l'effet du filtrage spatial dans le système visuel.

Ceci conduit à définir pour chacune des sous-bandes (i,j) des seuils différentiels de visibilité de la composante à quantifier  $\Delta_{ij}$  (propre à la composante Y d'une part et à chaque composante DR et DB d'autre part). La prise en compte de cumul d'erreur inter sous-bandes (difficile à modéliser) conduit à modifier les seuils  $\Delta$  en seuils  $\Delta'$  de la forme  $\Delta'_{ij} = \Delta_{ij}/P_{ij}$ . La quantification du signal d'erreur de prédiction dans la sous-bande considérée est alors donné par :

$$e_q(m,n) = \Delta' Q' [e(m,n)/\Delta']$$

où  $Q'(x)$  est l'entier le plus proche de  $x$ .

#### \* Stratégies de codage

Les signaux quantifiés dans chaque sous-bande sont codés individuellement (codage d'Huffman) pour les sous-bandes de type basses et basses-moyennes fréquences. Dans les sous-bandes moyennes et hautes fréquences, les signaux ont un caractère non stationnaire plus affirmé que dans les sous-bandes basses-fréquences. On observe la présence de bouffées de grandes amplitudes (relativement à l'écart-type moyen) dues à la présence de structures spatiales ayant des caractéristiques locales particulières (textures structurées fines par exemple). Aussi avons-nous utilisé pour les sous-bandes (i,j) telles que  $i+j \geq 4$  un mode de codage des sous-bandes par bloc. Ceux-ci sont codés ou non suivant l'évaluation d'une fonction d'activité calculée bloc par bloc qui utilise le seuil différentiel de visibilité dans la sous-bande considérée. Pour les blocs codés, une valeur quantifiée de l'écart-type (initialisation pour le quantificateur Q2 ; ou a posteriori pour le quantificateur Q1) est fournie en supplément.

### 5) RESULTATS ET CONCLUSION

Ces trois méthodes de quantification ont été comparées en utilisant la méthode de prédiction adaptative P4 (la plus performante) pour les sous-bandes (i,j) avec  $i+j < 4$  et pas de prédiction pour les autres. Les débits atteints sont très

voisins pour ces trois quantificateurs. Ils sont représentés pour le quantificateur Q3 sur le tableau 3 pour un jeu de 9 images couleur fixes et 3 séquences d'images TV couleur.

images	Y	DR	dB	Total
ARBR	1.66	0.52	0.38	2.11
CHEM	1.23	0.57	0.36	1.69
CLOW	1.23	0.73	0.38	1.78
COUP	1.48	0.53	0.37	1.93
ENFA	1.46	0.74	0.39	2.02
FRUI	1.34	0.46	0.37	1.755
TBA	1.51	0.52	0.38	1.96
JOUE	1.21	0.83	0.38	1.81
PORT	1.49	0.56	0.39	1.965
GIRL	1.71	1.13	0.4	2.47
VOIT	1.81	0.62	0.4	2.32
MOBI	2.02	0.98	0.49	2.75

En moyenne environ 2 bits par pixel sont nécessaires pour le codage spatial des images TV couleur. D'un point de vue qualité visuelle, le quantificateur Q3 procure la meilleure qualité. Les deux premiers quantificateurs engendrent quelques défauts en bordure de zones à texture structurée fortement contrastée ou dans certaines configurations spatiotemporelles de telles textures ou de contours en mouvement. Il faut noter que ces différences sont très peu visibles avec des critères de type rapport signal à bruit. En conclusion, les résultats obtenus sur un ensemble très large d'images TV tests normalisées et avec des conditions rigoureuses de visualisation montrent :

- que la prédiction des signaux par filtrage adaptatif autorégressif pour les sous-bandes basses fréquences donne les meilleures performances avec un mode de balayage spécifique à chaque sous-bande.

- que la quantification avec modélisation psychovisuelle est toujours meilleure, et cela de manière très significative dans les zones critiques. Les débits moyens atteints en mode spatial (2 bits/pixel sans erreur visible) sont tout à fait intéressants pour un codage interimage en sous-bandes à 15 Mbit/s sans défaut visible.

**Remerciements** : le travail a été effectué dans le cadre d'un contrat de recherche avec le CCETT (Contrat 88 ME 25).

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.N. NETRAVALI, B.G. HASKELL : "Digital Pictures - Representation and Compression", 1<sup>Ed</sup>. Plenum Press 1990.
- [2] J.W. WOODS, S.D. O'NEIL : "Sub-band coding of images", IEEE Trans on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol ASSP-34, n°5, Oct.1986, pp 1278-1288.
- [3] J. MAU : "Computationally efficient Pseudo QMF filter bank for a multi-compatible HDTV code c", Proc of ICASSP'91, Toronto, May 1991.
- [4] M.VETTERLI : "Multi-dimensional sub-band coding : some theory and algorithms", Signal Processing, Vol 6, 1984, pp 97-112.
- [5] F. KRETZ : "Codage MICD à prédiction adaptative en télévision. Qualité visuelle. Réductions du débit et susceptibilité aux erreurs de transmission", Ann. des Telecom., n°7-8, 1982, pp 234-299.
- [6] J.C. PESQUET, G. TZIRITAS : "Méthodes adaptatives appliquées au codage prédictif intra et inter-images", Traitement du Signal, 1988, Vol, n°, pp
- [7] O.MACCHI, M. BELLANGER : "Le point sur le filtrage adaptatif transverse", 11<sup>ème</sup> Colloque GRETSI, Juin 1987, pp 61-614