

SYSTEME DE CODAGE NUMERIQUE EN SOUS-BANDES MULTISTANDARD ET COMPATIBLE

Joël MAU

C.C.E.T.T

Département de Codage d'image et Etudes Psychovisuelles
BP 59, 35512 Cesson-Sévigne cedex - FRANCE
Tél:+(33)99024527 FAX:+(33)99024098

RÉSUMÉ

Cet article présente un système de codage numérique basé sur un banc de filtres modulés PQMF (Pseudo Quadrature Mirror Filters) et travaillant aussi bien sur des séquences entrelacées que progressives.

En outre une compatibilité HDTV/TV est garantie entre les formats progressifs grâce à l'utilisation d'une technique particulière de compensation de mouvement.

L'article porte principalement sur l'explication du banc de filtre utilisé et sur le moyen d'assurer la compatibilité tout en gardant une efficacité de codage comparable à celle d'un système non compatible.

Mots clé: Codage en sous-bandes
Banc de filtres PQMF
Compatibilité HDTV/TV
Standards progressifs et entrelacés

ABSTRACT

In this paper a coding system based on a PQMF modulated filter bank (Pseudo Quadrature Mirror Filters) is detailed. This coding scheme is able to work with progressive sequences as well as interlaced sequences.

Furthermore an HDTV/TV compatibility is guaranteed between progressive formats thanks to a new and efficient motion compensation technique.

This paper mainly focuses on the modulated filter bank used and on the way to achieve compatibility with a coding efficiency comparable with a non compatible scheme.

Key words: Subband coding
PQMF modulated filter banks
HDTV/TV Compatibility
Interlaced and progressive standards

Introduction

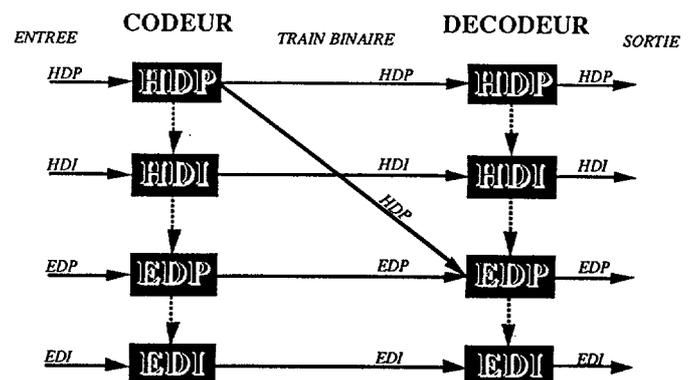
Le nombre de standards pour les séquences d'images télévisuelles est relativement important. Citons par exemple pour les pays à 50Hz et pour un format d'image au rapport 16/9 (les chiffres donnés sont le nombre de pixels utiles): HDP (High Definition Progressive: 1920*1152*50/1), HDI (High Definition Interlaced: 1920*1152*50/2), EDP (Enhanced Definition Progressive, 960*576*50/1) et EDI (Enhanced Definition Interlaced, 960*576*50/2). Le but de cet article est de présenter un système de codage numérique à réduction de débit utilisant une décomposition en sous-bandes avec un banc de filtres PQMF (Pseudo Quadrature Mirror Filters) et pouvant travailler, avec des modifications mineures, aussi bien avec les standards entrelacés que progressifs. En outre, pour favoriser l'introduction de la télévision progressive, ce système assure une compatibilité entre le codeur HDP et les décodeurs EDP dans le sens où les décodeurs EDP peuvent extraire une partie de l'information du train binaire HDP pour générer de très bonnes images EDP.

L'article détaillera les bancs de filtres PQMF et réalisera une comparaison entre les techniques PQMF, QMF (Quadrature Mirror Filters) et CQF (Conjugate Quadrature Filters).

Dans une deuxième partie, seront plus particulièrement abordées des solutions possibles pour assurer une compatibilité HDP/EDP. L'objectif est d'éviter, dans le décodeur compatible, une dérive due au fait que si aucune précaution particulière n'est prise dans le codeur HDP, le décodeur EDP est incapable de régénérer l'image de prédiction utilisée dans le codeur HDP. Par conséquent une technique de compensation de mouvement adaptée à la compatibilité sera détaillée.

Ensuite l'architecture complète du codeur sera caractérisée explicitant les différentes fonctions que sont la transformation, l'estimation de mouvement, la compensation de mouvement, puis la quantification, le codage à longueur variable, la régulation, le mode progressif ou entrelacé...

Finalement sera démontré la possibilité d'introduire progressivement divers standards de télévision en conservant une continuité syntaxique et fonctionnelle entre les codeurs et décodeurs de divers standards pour permettre à tout codeur ou décodeur de pouvoir traiter son standard mais aussi, sans sur-coût ou minime, tous les standards qui lui sont inférieurs. En outre une compatibilité entre HDP et EDP est garantie. Ceci est explicité par le schéma ci-dessous. Les flèches en pointillé signifient que tout codeur ou décodeur sait aussi traiter tous les formats inférieurs sans sur-coût (ou minime) (Ex un décodeur EDP sait traiter un train binaire d'un codeur EDI). Les flèches continues indiquent les compatibilités.





I. Bancs de filtres PQMF

Généralités

Un banc de filtres décomposant un signal mono-dimensionnel en SB sous-bandes en parallèle est explicité fig 1.

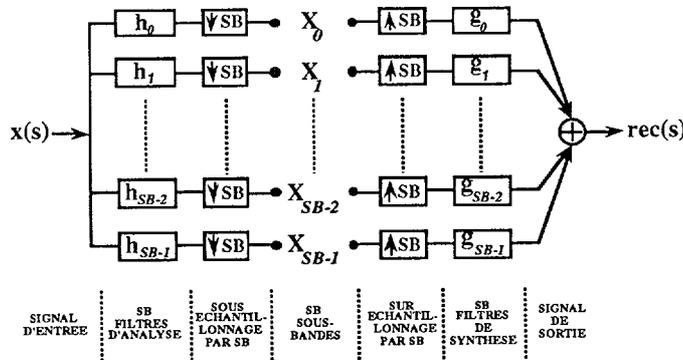


Fig 1: Banc d'analyse-synthèse en SB sous-bandes

Dans le cas d'un banc de filtres PQMF [1,2,3] tous les filtres d'analyse h_k et de synthèse g_k sont obtenus par modulation en cosinus d'un filtre FIR à NF coefficients h à phase linéaire appelé filtre prototype.

Dans la théorie des filtres PQMF, h est supposé être un passe-bas de bande $[0, \pi/2SB]$ et approcher les conditions fréquentielles suivantes: (1)

$$\begin{aligned} H^2(\pi/2SB - \omega) + H^2(\pi/2SB + \omega) &= 1 & \omega \in [0, \pi/2SB] \\ H(\omega) &= 0 & \omega \in [\pi/2SB, \pi] \end{aligned}$$

Les filtres d'analyse et de synthèse s'écrivent:

$$\begin{aligned} h_k(n) &= h(n) \cdot C_k(n) \\ g_k(n) &= h(n) \cdot D_k(n) \end{aligned}$$

Avec,

$$\begin{aligned} C_k(n) &= 2 \cdot \cos[\pi(2k+1)(2n-NF+1-SB)/4SB] \\ D_k(n) &= 2 \cdot \cos[\pi(2k+1)(2n-NF+1+SB)/4SB] \end{aligned}$$

Tous les filtres sont donc de longueur NF et en outre les filtres de synthèse sont égaux aux filtres d'analyse après inversion temporelle:

$$g_k(NF-1-n) = h_k(n)$$

Une propriété utile des filtres PQMF est que l'allure fréquentielle de tous les filtres utilisés est contrôlée par le filtre passe-bas h. La figure 2 montre dans le plan fréquentiel l'obtention du banc de filtres d'analyse ou de synthèse par modulation du filtre prototype h par les fonctions cosinus C_k ou D_k .

La théorie des PQMF, vu les approximations fréquentielles faites en (1), ne permet pas de trouver des filtres prototypes h de longueur NF faible par rapport à SB ($NF > 6 \cdot SB$ en pratique) et conduisant à une bonne reconstruction du signal. Néanmoins, en ne faisant aucune approximation, et en travaillant dans le domaine temporel, il est possible de générer des filtres prototypes de longueur NF quasiment quelconque, paire ou impaire, et conduisant à une reconstruction strictement parfaite du signal d'entrée après analyse-synthèse. Ces PRMF (Perfect Reconstruction Modulated Filters) feront très prochainement l'objet d'un article.

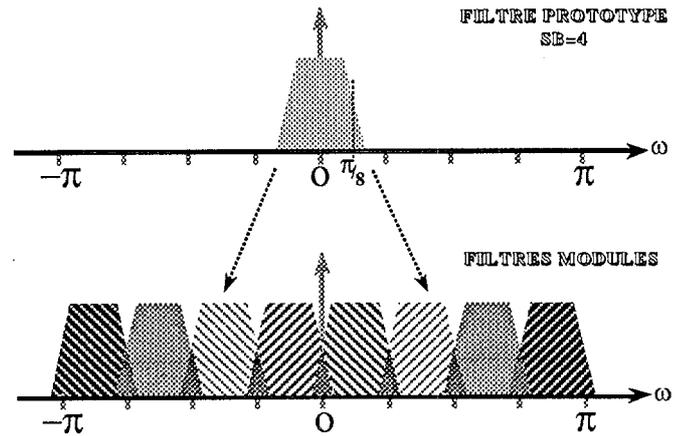


Fig 2: Obtention des filtres d'analyse et de synthèse par modulation réelle d'un filtre prototype

Implémentation du banc de filtres

Il a été démontré en [3] que la décomposition en SB sous-bandes (SB supposé pair) pouvait se faire par l'intermédiaire d'un algorithme rapide faisant intervenir des filtres polyphases modifiés de h et une transformation rapide, soit une DCT classique dans le cas NF impair, soit une DCT de type IV [4] dans le cas NF pair. Les parties analyse et synthèse sont détaillées figures 3 et 4 pour le cas SB=8, NF impair, en mono-dimensionnel. Pour obtenir une décomposition en 8*8 sous-bandes, ce qui est la décomposition utilisée dans la deuxième partie de cet article, une approche séparable est choisie. Ceci peut être réalisé par des polyphases (modifiés) bi-dimensionnels, suivi par une transformation en DCT bi-dimensionnelle.

Avantages des PQMF et PRMF

Dans les cas où une décomposition en un grand nombre de sous-bandes est souhaitée, les filtres PQMF et les filtres PRMF conduisent à une implémentation matérielle beaucoup moins coûteuse qu'une décomposition itérative par des QMF ou des CQF par exemple. En outre l'allure fréquentielle des filtres utilisés, tant analyse que synthèse, est bien contrôlée, ce qui est moins évident quand plusieurs filtrages et sous-échantillonnages sont cascades.

Ci dessous sont comparés le nombre d'additions (#A) et de multiplications (#M) nécessaires, par pixel, pour obtenir une décomposition régulière en 8*8 sous-bandes, en utilisant un filtre prototype PQMF, NF=61 SB=8 ou un filtre prototype PRMF, NF=31 SB=8, utilisés de manière séparable en X et Y, ou une décomposition pyramidale et séparable avec un QMF de 16 ou 8 coefficients.

	PQMF ₆₁	PRMF ₃₁	QMF ₁₆	QMF ₈
#A	19.5	11.75	48	24
#M	16.5	9.5	48	24
#A+#M	36.0	21.25	96	48

Autres propriétés

Si NF est impair, les coefficients pairs de h, cas $NF=4n+1$, ou les coefficients impairs de h, cas $NF=4n-1$, forment un filtre prototype impair, h_{comp_odd} , pour un banc de filtres en SB/2 sous-bandes. L'autre filtre polyphase, h_{comp_even} est un filtre prototype pair pour un banc de filtres en SB/2 sous-bandes.

Par suite, en regardant plus précisément les algorithmes rapides présentés [3], il est facile de constater que si par exemple un "circuit" réalise une analyse ou une synthèse en 8*8 sous-bandes, il contient aussi comme sous-parties des décompositions 8*4, 4*8, 4*4, 4*2... Ceci est très utile pour le codage compatible.

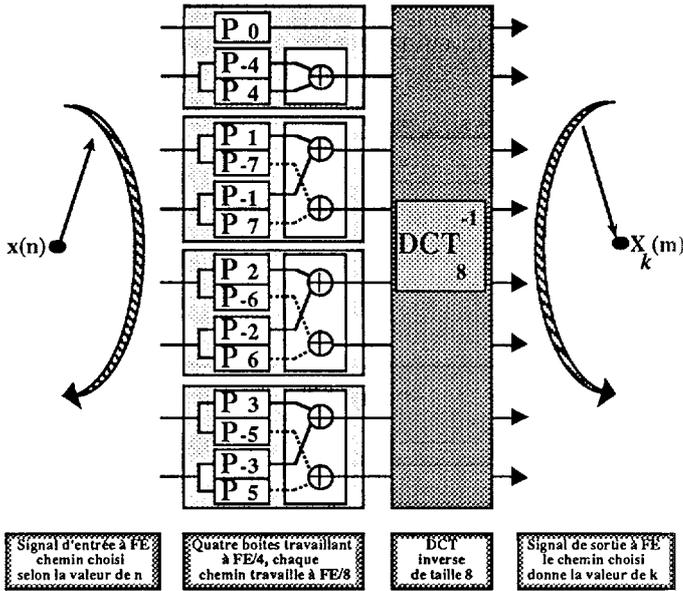


Fig 3: Banc d'analyse en 8 sous-bandes, NF impair

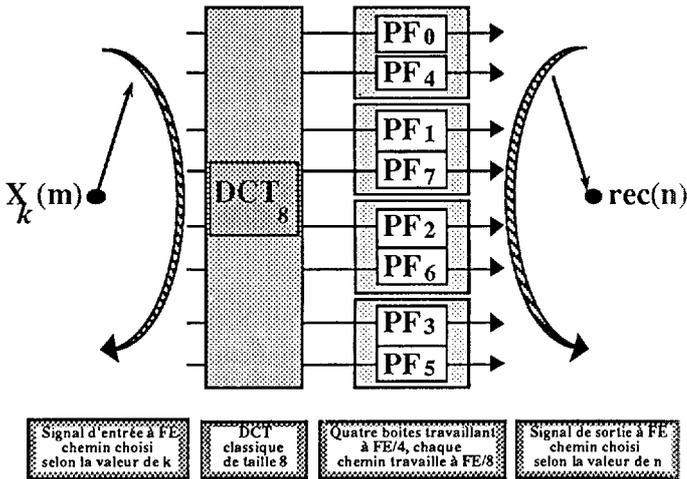


Fig 4: Banc de synthèse, cas SB=8, NF impair

II Codage compatible

Généralités

Dans cet article la compatibilité entre un codeur HDP et un décodeur EDP est la seule traitée.

Dans un schéma classique de codage à réduction de débit de séquences d'images avec compensation de mouvement, une image de prédiction est générée, en compensant en mouvement (par *block matching* par exemple) l'image précédente décodée. Cette image de prédiction est soustraite de l'image actuelle (donc dans le domaine image) avant l'application d'une transformation une DCT_{8*8} par exemple. Ici la DCT est remplacée par un banc $PQMF_{8*8}$ avec un filtre prototype de longueur impaire ($NF=61$).

Compatibilité

Dans le mode intra-image, donc sans prédiction, les décodeurs compatibles peuvent ne prendre dans le train binaire que les sous-bandes qui leurs sont utiles et après quantification inverse de ces sous-bandes, appliquer une transformation inverse $PQMF$ de taille réduite, par exemple un $PQMF_{4*4}^{-1}$ (utilisant h_comp_odd) sur les $4*4$ sous-bandes BF (Basses-Fréquences) pour obtenir une image EDP [3].

Cependant pour réduire le débit binaire, à qualité constante, la compensation de mouvement est nécessaire. La compatibilité n'est plus alors aussi triviale. Si le codeur HDP ne tient pas compte de

la compatibilité et utilise, pour générer l'image de prédiction, l'image précédente décodée pleine définition (solution "standalone", fig 5), le décodeur EDP, ne recevant que les sous-bandes BF, ne peut régénérer l'image de prédiction utilisée dans le codeur. Par conséquent une dérive apparaît entre le codeur HDP et le décodeur EDP, cette dérive augmentant jusqu'à l'apparition d'un rafraichissement en mode intra par exemple.

Pour éviter cela, une technique générant une prédiction non plus de l'image actuelle, mais de ses sous-bandes, est proposée ici. Cette technique fait intervenir deux boucles de compensation de mouvement. Voir fig 6.

La première boucle, ou boucle EDP, qui travaille à la fréquence d'échantillonnage EDP, prend les $4*4$ sous-bandes BF de l'image précédente et applique une transformation $PQMF_{4*4}^{-1}$ pour générer une image EDP décodée. Cette image EDP est ensuite compensée en mouvement et décomposée par un banc $PQMF_{4*4}$ pour obtenir une prédiction pour les $4*4$ sous-bandes BF de l'image courante.

La deuxième boucle, ou boucle HDP, fournit une prédiction pour les 48 sous-bandes HF (Hautes-Fréquences) en appliquant une compensation de mouvement sur l'image HDP précédente décodée et en repassant dans le domaine sous-bandes en appliquant la transformation directe $PQMF_{8*8}$. Seules les 48 sous-bandes HF sont conservées, la prédiction pour les $4*4$ sous-bandes BF étant fournie par la boucle EDP.

Avec cette technique le décodeur EDP en mode compatible a une complexité normale (fig 7). Le coût de la compatibilité est reporté sur le codeur (fig 6) et le décodeur HDP qui sont plus complexes que dans le cas "standalone" (fig 5). Cependant des simplifications matérielles sont possibles grâce aux propriétés particulières des filtres $PQMF$ de longueur impaire, et la différence entre le schéma standalone et la solution en double boucle se résume à la boucle EDP qui ne travaille qu'au quart de la fréquence d'échantillonnage du signal HDP.

Ce système de compensation de mouvement, adapté à la compatibilité, garantit qu'aucune dérive n'intervient entre le codeur HDP et le décodeur EDP compatible, et ceci avec une perte en rapport signal-bruit de l'image HDP décodée, sur toutes les séquences testées, inférieure à 0.5Db par rapport au schéma standalone. En outre visuellement la différence est difficilement perceptible entre les deux schémas. Le débit testé est de 120 Mbit/s pour du HDP, soit un taux de compression proche de 15.

Explications des figures

Le bloc "Estimation de mouvement" est un *full-search block matching* au pixel entier suivi par une recherche locale au demi-pixel. La taille des blocs est $16*16$ et la fenêtre de recherche au pixel entier est $[-16/15; -8/7]$

Le bloc "CM" est une compensation de mouvement par bloc $16*16$ au demi-pixel, et "CM-BF" une compensation par bloc $8*8$ au quart de pixel sur des images décodées EDP.

Chaque sous-bande (arrondie sur 12 bits après $PQMF_{8*8}$) est multipliée par un facteur de pondération, qui dépend de sa position fréquentielle et de l'état de la mémoire tampon, et est ensuite quantifiée linéairement par morceau. La loi de quantification est la même pour toutes les sous-bandes. Dans chaque sous-bande quantifiée, des CLV (Codes à Longueurs Variables) sont utilisés pour coder les coefficients non nuls et les suites de zéros.

Pour les codeurs, pour travailler en mode standalone il suffit de garder les 64 sous-bandes prédites par la boucle HDP, la boucle EDP étant désactivée. Il en est de même pour encoder des séquences EDP, avec en plus une reconfiguration pour travailler sur des lignes deux fois plus courtes et deux fois moins de lignes.

Pour encoder des séquences HDI ou EDI, le codeur est mis en mode standalone et travaille à 25Hz au lieu de 50Hz sur les images (entrelacement des deux trames), cependant l'estimation de mouvement et la compensation de mouvement se font entre trames de même parité.

En mode non compatible, les décodeurs travaillent en mode standalone et peuvent se reconfigurer pour traiter tout train binaire provenant d'une séquence de même format ou de tout format inférieur au standard du décodeur.

En plus, les décodeurs HDI et EDP peuvent se configurer en décodeur EDP compatible, si une séquence HDP est codée par un codeur HDP mis en mode compatible. Dans ce cas la



reconfiguration est plus complexe, le décodeur recevant 16 sous-bandes en lieu et place de 64 sous-bandes 4 fois plus petites. Un multiplexage temporel est alors utilisé de manière à obtenir 4 fois 16 sous-bandes de tailles normales et de les traiter comme 64 sous-bandes incidentes. De même la transformation $PQMF_{8*8}^{-1}$ peut facilement se simplifier (en supprimant des papillons dans la DCT entre autres) pour exécuter une $PQMF_{4*4}^{-1}$ travaillant à la même cadence d'entrée-sortie.

Toutes ces possibilités ne sont possibles que si les divers standards sont abordés de front et donc en normalisant de façon conjointe les divers standards, et en incluant dans le train binaire les informations nécessaires telles que standard traité, mode compatible ou non, séparation par des mots inimitables par exemple des sous-bandes BF et des sous-bandes HF dans le train binaire...

Conclusion

Dans cet article, les bancs de filtres PQMF ont été expliqués et un rapide survol d'un système de codage permettant une compatibilité entre HDP et EDP et utilisant un banc de filtres PQMF a été fait. Le système proposé assure une compatibilité totale tout en gardant une efficacité de codage visuellement identique à celle d'un système non compatible pour les images HDP décodées.

Ce travail a été fait en partie dans le cadre du projet européen RACE 1018 (HIVITS).

Références

- [1] H.J. Nussbaumer et M. Vetterli, "COMPUTATIONALLY EFFICIENT QMF FILTER BANKS", IEEE Conf On ASSP 1984
- [2] J. Masson et Z. Picel, "FLEXIBLE DESIGN OF COMPUTATIONALLY EFFICIENT NEARLY PERFECT QMF FILTER BANKS", IEEE Conf On ASSP 1985
- [3] J. Mau, "COMPUTATIONALLY EFFICIENT PSEUDO QMF FILTER BANK FOR A MULTI-COMPATIBLE HDTV CODEC", IEEE Conf On ASSP 1991
- [4] P. Yip and K.R. Rao, "FAST DECIMATION IN TIME ALGORITHMS FOR A FAMILY OF DISCRETE SINE AND COSINE TRANSFORMS", Circuits Systems Signal Process. Vol 3, No 4, 1984

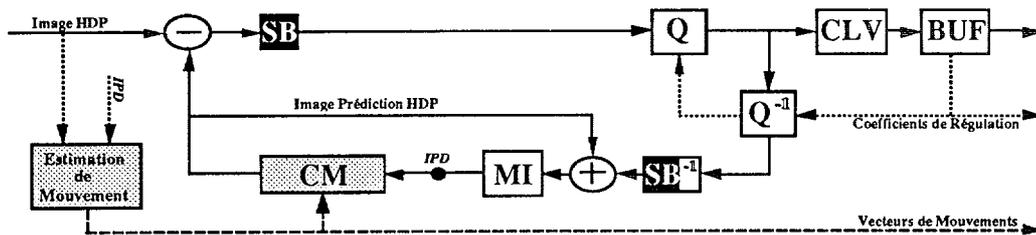
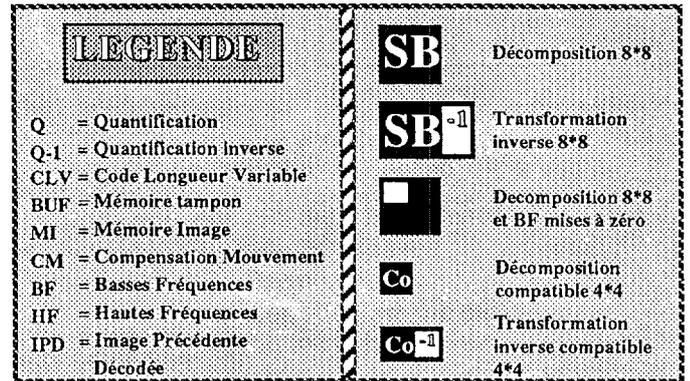


Fig 5: Codeur HDP standalone

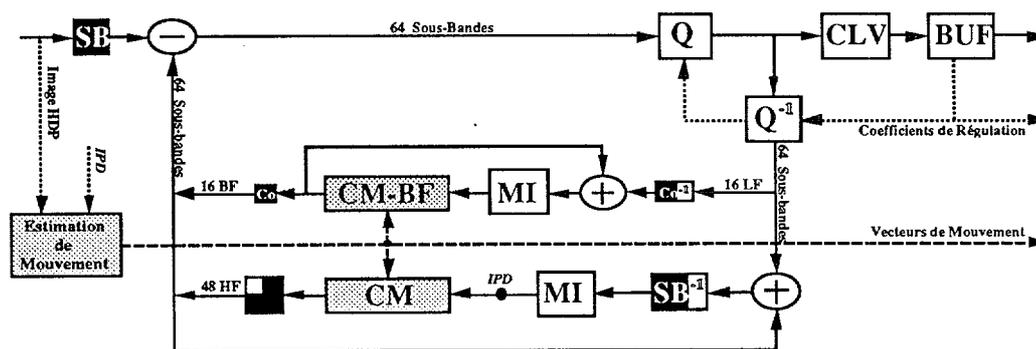


Fig 6: Codeur HDP-EDP compatible Double boucle de prédiction

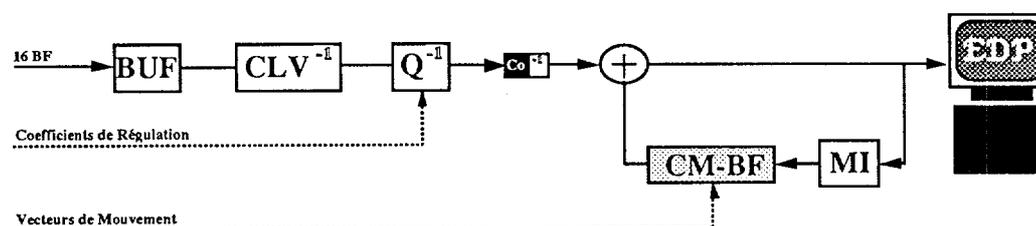


Fig 7: Décodeur EDP en mode compatible