

COMPRESSION VIDEO AVEC MARQUAGE D'INDEX DE MODE INTRA DANS LA CHROMA

J.-M. Thiesse¹

J. Jung¹

M. Antonini²

¹ Orange Labs

38 rue du G. Leclerc, 92794 Issy les Moulineaux,
France

{jeanmarc.thiesse,
joelb.jung}@orange-ftgroup.com

² I3S Lab. Université de Nice-Sophia

Antipolis/CNRS
2000 route des Lucioles, 06903 Sophia Antipolis,
France

am@i3s.unice.fr

Résumé

Des nouvelles activités ont été récemment lancées dans le but de succéder au standard de compression vidéo H.264/AVC. Plusieurs améliorations de ce standard ont déjà été proposées, mais l'objectif de 50% de gains sur le débit pour une qualité équivalente n'est pas encore atteint. Dans ce contexte, un précédent travail propose d'utiliser des techniques de marquage afin de réduire le coût de codage d'informations de signalisation résultantes d'une amélioration du codage Inter. L'idée principale est de cacher des index de signalisation de codage dans les coefficients transformés et quantifiés de chrominance et de luminance judicieusement sélectionnés. Afin de minimiser l'erreur de prédiction, la modification est réalisée à l'aide d'une optimisation débit-distorsion.

Dans cet article, la méthode est étendue au codage Intra et au format de couleur 4 :4 :4 dans le but d'explorer les limites mises en évidence par l'étude précédente et de répondre aux questions subsistantes. Une nouvelle méthode d'optimisation construite à partir de la théorie de Pareto est aussi proposée. Les améliorations résultantes (1.5% de gain moyen sur le débit) sont rapportées et analysées objectivement et subjectivement pour plusieurs séquences.

Mots clefs

Compression vidéo, H.264/AVC, marquage, indice de compétition, chroma.

1 Introduction

Des gains significatifs par rapports aux précédents standards de codage vidéo ont été obtenus par H.264/AVC [1] issu des travaux conjoints du Video Coding Experts Group (VCEG/ITU-T SG16-Q6) et du Moving Pictures Experts Group (MPEG / ISO/IEC). Ces gains proviennent de l'amélioration des outils existants et de l'inclusion de nouveaux outils. Ces améliorations concernent notamment l'estimation de mouvement, le codage des informations avec le Context Adaptive Binary Arithmetic Coding (CABAC) et l'ajout de nombreux modes de codage Intra et In-

ter mis en compétition, qui nécessitent la transmission d'indices pour leur signalisation.

Aujourd'hui, de nouvelles activités de standardisation en codage vidéo sont lancées. VCEG et MPEG travaillent au sein du regroupement JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding) et viennent de clore un appel à soumission dont les premiers résultats ont été délivrés en avril 2010. L'objectif est de proposer un standard qui atteigne 50% de réduction du débit pour une même qualité subjective avec une augmentation de la complexité par un facteur 2 ou 3. Plusieurs améliorations sont déjà connues et rassemblées au sein du codeur JM KTA [2] (Key Technical Area). Certaines de ces améliorations et d'autres contributions reconnues ajoutent de nouveaux indices de signalisation de compétition qui sont de plus en plus coûteux. Nous avons proposé dans un précédent travail [3] de réduire le coût de signalisation de l'un de ces outils [4] à l'aide d'une méthode permettant de cacher les indices dans les résiduels de pixels de chroma et de luma. A présent, nous proposons d'explorer les limites mises en évidence par la précédente étude qui a été réalisée sur le codage Inter. Le schéma est tout d'abord étendu pour le codage Intra combiné à une sélection optimale de l'index à cacher et une nouvelle optimisation débit-distorsion bâtit sur la théorie de Pareto. Le schéma est aussi testé pour des séquences au format de couleur 4 :4 :4 qui, comme les blocs Intra, permet de cacher davantage d'indices dans la composante de chroma.

Dans la suite de cet article nous présentons dans la partie 2 un état de l'art sur H.264/AVC et le marquage en rappelant les principales conclusions de la précédente étude. Nous détaillons ensuite le schéma proposé dans la partie 3 après une étude préliminaire. Les résultats obtenus sont finalement présentés et analysés de façon objective dans la partie 4 et subjective dans la partie 5.

2 Etat de l'art

2.1 H.264/AVC

H.264/AVC est un codeur vidéo hybride : les prédictions Intra et Inter sont utilisées conjointement afin d'exploiter

les redondances spatiales et temporelles. Pour chaque macrobloc, de nombreux modes sont mis en compétition et nécessitent d'être signalés au décodeur comme d'autres informations de résiduels ou de codage (sous-mode, taille de la DCT, ...).

Toutes ces informations sont séquentiellement rangées dans le bitstream, indépendamment les unes des autres. Dans le but de réduire le coût de codage un Most Probable Mode (MPM) est utilisé : le mode qui est le plus probable est codé avec un seul bit. Bien qu'un codage adaptatif suivant le contexte soit réalisé, le coût de codage demeure élevé. A moyen débit, les informations de compétition du codeur de référence H.264/AVC JM représentent 20% du débit total et atteignent 40% pour les plus bas débits.

Dans cet article, nous proposons d'utiliser le marquage afin de diminuer le coût des indices de compétition, en l'appliquant au cas particulier du MPM Intra.

2.2 Marquage de vidéo

Le marquage et la compression vidéo ont traditionnellement deux buts contradictoires. Le premier ajoute des informations non perceptibles afin de cacher des données tandis que la seconde supprime des informations redondantes afin de réduire la taille de la vidéo. Cette partie introduit le marquage de vidéo.

Théorie. Le marquage ou tatouage traite de la capacité à masquer des données dans un média avec un minimum de dégradation visible. Il y a de nombreuses applications du marquage : signature de vidéos, authentification basée sur le contenu, empreinte digitale ou correction d'erreurs. Pour chaque application, un complexe compromis entre trois paramètres est nécessaire : quantité de données à cacher (aussi appelé le message), fidélité (la distorsion induite par la marque) et robustesse (la résistance aux attaques). Des critères de complexité, de sécurité et de réversibilité sont aussi pris en compte selon le type d'application.

Trois classes d'approches du marquage de vidéos sont répertoriées : la première étend le marquage d'image fixe tandis que la seconde exploite la dimension temporelle de la vidéo dans le but d'augmenter la fidélité et la robustesse. Ces contributions [5] utilisent principalement la théorie de l'étalement de spectre : le message est réparti parmi un large domaine de fréquences du signal hôte.

La dernière classe est basée sur les caractéristiques du standard de compression vidéo. Ainsi, le sujet le plus étudié concerne le masquage d'informations dans les coefficients transformés non-nuls du signal vidéo compressé. Parmi ces approches, le Force Even Watermarking (FEW) a été proposé dans [6] : les informations sont cachées dans la parité des coefficients AC, ceci entraîne une augmentation du débit. Après une étude poussée du fonctionnement de CABAC, les auteurs de [7] ont proposé de cacher le bit de la marque dans le signe des Trailing Ones. Cela n'implique pas de modification du débit mais il y a une dégradation de la qualité visuelle accentuée par la propagation de l'erreur engendrée par la marque. Une solution est proposée dans

[8] en cachant chaque bit dans la parité de la somme des coefficients transformés. Cette approche permet de choisir la modification qui induit la plus faible dégradation du signal.

Compression via marquage. Seulement quelques méthodes proposent d'utiliser le marquage dans un but de compression vidéo comme dans cet article. La notion de marquage pour la compression a été formalisée dans [9]. Les auteurs y proposent d'exploiter le marquage pour améliorer l'efficacité de codage en masquant les informations de chrominance dans le domaine transformé en ondelettes de la composante de luminance avant compression de l'image. Un schéma proche est proposé dans [10] en utilisant la DCT à la place de la transformée en ondelette dans le but de marquer les informations de couleurs dans une image JPEG en niveau de gris. Dans [11], le signal à compresser est séparé entre une partie d'image hôte et une partie résiduel. Seulement la portion d'image hôte nécessite d'être compresser après une étape de masquage de la partie résiduelle.

Ces approches confirment que l'utilisation de méthodes de marquage dans un but de compression peut être une piste de recherche prometteuse.

2.3 Marquage pour la compression en codage Inter

Dans notre précédent travail [3], nous avons proposé de cacher des informations de compétition sur le mouvement générées par l'outil Motion Vector Competition (MVComp) [4] dans les coefficients transformés et quantifiés des résiduels de luma et de chroma. Plus précisément, un marquage dans la parité de la somme des coefficients transformés est utilisé car il permet de facilement équilibrer entre la modification du débit et de la distorsion. Bien que l'article résolvait les difficultés initiales dû à cette approche originale de compression vidéo, les gains moyens sur le débit demeurent faibles. Différentes limites de la méthode ont été rapportées et nécessitent d'être approfondies, notamment :

1. Le nombre de coefficients disponible pour le marquage.
2. La sélection de l'information à cacher.
3. La sélection des coefficients à modifier.

Dans cette nouvelle étude, nous explorons ces limites dans le but d'étendre le premier travail et de proposer des gains plus élevés.

3 Approche proposée et extensions

3.1 Etude préliminaire

Comme expliqué dans la partie précédente, nous avons favorisé un schéma qui place la marque directement dans le signal vidéo compressé, plus particulièrement dans les résiduels de pixels. Dans le but de résoudre les problèmes mis en évidence dans [3], nous proposons dans une première

extension de considérer le codage Intra dans la mesure où les blocs Intra contiennent davantage de coefficients transformés non-nuls, particulièrement dans la composante de chroma. Parmi tous les indices de compétition Intra, l'index Most Probable Mode (MPM) a été sélectionné car c 'est le plus coûteux (6% du débit Intra total à moyen débit). Il s'agit d'un index binaire qui indique si le prédicteur Intra à coder est égal ou non au mode le plus probable déterminé à partir des blocs voisins.

La seconde extension proposée est une méthode de choix de la modification basée sur la théorie de Pareto afin d'avoir une alternative à la détermination de multiplicateurs de Lagrange adaptés nécessaires pour l'optimisation RD utilisée dans la précédente étude.

Le schéma est enfin appliqué au format de couleur 4 : 4 : 4 qui est un format important pour l'amélioration future de la qualité des services vidéos. Il permet de masquer plus d'indices dans la chroma. Chaque index étant caché dans plus de coefficients, il y a aussi un impact réduit sur les pixels reconstruits car la marque est mieux répartie.

3.2 Description du schéma

Nous proposons d'utiliser les coefficients transformés et quantifiés de chroma afin de masquer l'index MPM noté i du $k^{\text{ème}}$ bloc. Ce masquage est complexe du fait des spécificités du codeur entropique CABAC (utilisation de contextes) et des dégradations possible de la prédiction qui peuvent résulter d'un mauvais choix de marquage. Afin de résoudre ces problèmes, le schéma proposé doit satisfaire les conditions suivantes :

1. Contrôle de la modification du débit : elle doit être inférieure au coût de l'index, $R_k^w - R_k < \zeta(i)$, avec R_k et R_k^w les débits original et modifié du $k^{\text{ème}}$ bloc, et $i \in \{0, 1\}$ l'index MPM avec $\zeta(i)$ son coût.
2. Minimisation de la dégradation de la prédiction : la modification des coefficients transformés doit être invisible et l'impact sur la prédiction des blocs suivants et des images suivantes doit être minimal.

Dans le but de respecter ces conditions, nous utilisons la parité de la somme des coefficients pour marquer l'index MPM. La première condition est respectée en rejetant toutes les modifications qui induisent une augmentation du débit original supérieur au coût de l'index. Pour la seconde condition, une optimisation débit-distorsion est appliquée. Notons a_n , $n \in \{1, \dots, N\}$ les coefficients transformés et quantifiés avant transmission. La somme des coefficients pour le $k^{\text{ème}}$ bloc est notée S_k :

$$S_k = \sum_{n=1}^N a_n. \quad (1)$$

La somme après application de la marque, noté S_k^w est obtenue ainsi :

$$S_k^w = \begin{cases} S_k & ; |S_k| \bmod 2 = i \\ S_k + m_k & ; |S_k| \bmod 2 \neq i, \end{cases} \quad (2)$$

où $i \in \{0, 1\}$ est l'index MPM et m_k la modification des coefficients. Les blocs qui ne contiennent que des coefficients DC ne sont pas utilisés afin de limiter la dégradation.

Nous proposons d'utiliser une optimisation de Pareto pour sélectionner la meilleure modification lorsque les coefficients nécessitent d'être modifiés, c 'est à dire lorsque :

$$i \neq |S_k| \bmod 2. \quad (3)$$

Nous considérons N coefficients transformés a_n , $a_n \neq 0$. Pour chaque coefficient, six couples débit distorsion $(R_n^{w_j}, D_n^{w_j})$ sont calculés après addition d'une valeur impaire m_j :

$$a_n^{w_j} = a_n + m_j. \quad (4)$$

Nous avons choisis de limiter les valeurs de m_j à $\{-5, -3, -1, 1, 3, 5\}$ car des valeurs plus élevées induisent une modification trop importante du signal. $R_n^{w_j}$ est le débit généré par le codage des coefficients modifiés et $D_n^{w_j}$ est la distorsion associée. Les coefficients transformés et quantifiés égaux à zéro ne sont pas considérés afin de ne pas casser les séries de zéro dont le codage est optimisé. Chaque index peut être caché dans l'une des composante U ou V de la chroma.

En alternative à l'optimisation débit-distorsion classique utilisée dans l'étude précédente [3], nous appliquons dans cet article une méthode basée sur la théorie de l'optimisation multicritère afin de choisir la meilleure modification. Cette méthode est construite sur la théorie de Pareto et elle est divisée en trois étapes :

1. Calcul des couples débit-distorsion $(\bar{R}_n^{w_j}, \bar{D}_n^{w_j})$ correspondant à un couple Pareto optimal (\bar{a}_n, \bar{m}_j) . Un couple donné de variables, (\bar{a}_n, \bar{m}_j) , est optimal au sens de Pareto si et seulement si il n'est pas dominé par un autre couple (a_n, m_j) , où (a_n, m_j) domine (\bar{a}_n, \bar{m}_j) signifie :

$$\text{soit } \left\{ (R_n^{w_j} \leq \bar{R}_n^{w_j}) \text{ et } (D_n^{w_j} < \bar{D}_n^{w_j}) \right\},$$

$$\text{soit } \left\{ (R_n^{w_j} < \bar{R}_n^{w_j}) \text{ et } (D_n^{w_j} \leq \bar{D}_n^{w_j}) \right\}.$$

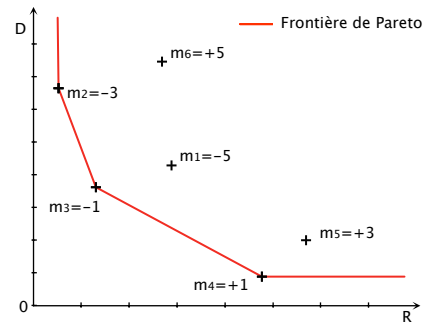


Figure 1 – Frontière de Pareto obtenue pour un ensemble donné de couples RD.

La figure 1 représente un exemple de frontière de Pareto. Les points représentent les six modifications possibles pour un coefficient a_n donné, la courbe rouge est la frontière de Pareto sur laquelle la modification va être sélectionnée.

2. Normalisation de ces couples :

$$\hat{R}_n^{w_j} = \frac{(\overline{R}_n^{w_j} - \overline{R}_{min})}{(\overline{R}_{max} - \overline{R}_{min})}, \hat{D}_n^{w_j} = \frac{(\overline{D}_n^{w_j} - \overline{D}_{min})}{(\overline{D}_{max} - \overline{D}_{min})}$$

où $(\hat{R}_n^{w_j}, \hat{D}_n^{w_j})$ est le couple normalisé, $(\overline{R}_{min}, \overline{R}_{max})$ et $(\overline{D}_{min}, \overline{D}_{max})$ sont les valeurs minimales et maximales du débit et de la distorsion parmi les couples Pareto optimaux.

3. Sélection du meilleur couple parmi les couples $(\hat{R}_n^{w_j}, \hat{D}_n^{w_j})$ par minimisation de la norme euclidienne :

$$(R_{opt}, D_{opt}) = \min \left\{ \left\| (\hat{R}_n^{w_j}, \hat{D}_n^{w_j}) \right\|_2 \right\}_{n \in [1, N], j \in [1, 6]}$$

où la norme euclidienne du couple (R, D) est définie par :

$$\|(R, D)\|_2 = \sqrt{R^2 + D^2}$$

Finalement, la modification sélectionnée (a_n, m_j) est celle associée au couple optimal (R_{opt}, D_{opt}) . Notons que les couples ayant une distorsion trop élevée sont rejetés par la méthode afin de ne pas choisir une modification donnant un bloc reconstruit trop différent du bloc original, cela permet de préserver l'efficacité de la prédiction dans la mesure où cette modification a un impact sur la prédiction des blocs suivants. Le principal avantage de ce schéma comparé à l'optimisation RD classique est qu'il est indépendant du calcul de multiplicateurs de Lagrange et ainsi adapté pour chaque bloc. Cette approche permet de comparer tout les meilleurs couples avec un ordre de grandeur correct lors de l'étape 3. Cependant, ce schéma ne tient pas compte des paramètres de quantification (QP), contrairement aux multiplicateurs de Lagrange qui sont fonctions du QP.

Enfin, l'extraction de l'index au niveau du décodeur est exprimée par $i = |S_k| \bmod 2$, avec i qui représente l'index extrait du $k^{\text{ème}}$ bloc et S_k la somme des coefficients a_n décodés. L'index MPM est fixé à i seulement si il y a au moins un coefficient AC non nul. Autrement, l'index est décodé de façon classique.

4 Résultats expérimentaux

4.1 Protocole de test

Le schéma proposé a été implémenté dans le codeur JM KTA [2] version 2.1. Les résultats de référence ont été générés sur un profil Intra avec les modes Intra 16×16 et Intra 8×8 activés. La DCT 8×8 est activée et le codage entropique CABAC est sélectionné. La méthode est implémentée pour la transmission des index MPM de l'Intra 8×8 .

Le premier test a été réalisé sur huit séquences YUV 4 : 2 : 0 ayant des résolutions de QWVGA à 1080p. Deux

ensembles de QPs ont été sélectionnés pour étudier les résultats à haut et moyen débit : QP set 1 : 12-17-22-27 et QP set 2 : 22-27-32-37. Les résultats représentent le gain sur le débit calculé avec la métrique de Bjontegaard [12] comme cela est recommandé par VCEG. Un test sur plusieurs séquences au format de couleur 4 : 4 : 4 est aussi présenté dans une seconde partie.

4.2 Etude objective

Ensembles de QP	Set 1	Set 2
Mobisode2 qwvga	2.3	1.3
RaceHorses qwvga	0.9	1.1
RaceHorses wvga	1.0	1.0
DucksTakeOff 720p	1.4	1.7
BlueSky 1080p	1.3	2.1
DucksTakeOff 1080p	1.6	1.8
SunFlower 1080p	2.8	1.1
Tractor 1080p	1.9	1.5
Moyenne	1.6	1.5

Tableau 1 – Pourcentage de gains sur le débit pour les deux ensembles de QPs.

Résultats en YUV 4 : 2 : 0. Le tableau 1 donne le pourcentage de gains sur le débit pour chaque séquence et pour les deux ensembles de QPs. La méthode proposée donne systématiquement un gain sur le débit pour toutes les séquences étudiées et atteint 2.8% et 2.1% pour les séquences *SunFlower 1080p* et *BlueSky 1080p*. Contrairement au précédent schéma proposé en codage Inter, l'efficacité de la méthode est préservé à moyen débit où le nombre de coefficients transformés est pourtant moins élevé qu'à haut débit avec respectivement 1.5% et 1.6% de gains sur le débit en moyenne. Ce gain est significatif compte tenu du fait que la méthode traite seulement un index de signalisation dont la proportion dans le bitstream reste limitée bien qu'étant l'index le plus coûteux. En considérant de plus que la méthode demeure bornée en Intra par le nombre de blocs ayant des coefficients non nuls, ces gains confirment l'intérêt d'une telle approche pour réduire le coût de transmission d'indices de signalisation.

QP	12	22	32
Chroma DC	19	27	31
Chroma AC	38	33	29
Non-modifié	43	40	40

Tableau 2 – Position de la marque (en pourcentage) pour trois QPs.

Lorsqu'il y a des coefficients non-nuls disponibles, c'est à dire lorsque l'index MPM n'est pas transmis, le tableau 2 donne la position de la marque. Les coefficients sont modifiés dans 60% des cas et les indices sont majoritairement masqués dans la composante AC à haut débit tandis que la composante DC joue un rôle plus important à moyen débit.

Résultats en YUV 4 :4 :4. Nous avons testé la méthode sur un ensemble de douze séquences disponibles à la fois au format de couleur YUV 4 :2 :0 et YUV 4 :4 :4. La figure 2 donne le pourcentage moyen d'indices cachés pour le schéma appliqué pour les deux formats pour des QPs de 12 à 37. Le marquage en YUV 4 :4 :4 permet systématiquement de réduire le nombre d'index transmis comparé au marquage pour les séquences en YUV 4 :2 :0. Cette réduction varie entre 10% et 20% et est plus élevée pour les QPs 17 et 22 où le nombre de coefficients transformés commence à décroître pour les séquences YUV 4 :2 :0. Pour la méthode étendue au format de couleur YUV 4 :4 :4, le pourcentage d'index masqué atteint 93% à haut débit. Comme attendu, moins d'indices sont transmis pour ce format. Cela est confirmé par une augmentation du gain sur le débit qui atteint 2.60% pour la séquence *DucksTakeOff 720p* pour le second ensemble de QPs en YUV 4 :4 :4 (contre 1.70% en YUV 4 :2 :0). En moyenne, le gain sur le débit est augmenté de 36% et 47% en YUV 4 :4 :4 comparé au format YUV 4 :2 :0, pour le premier et le second ensemble de QP respectivement.

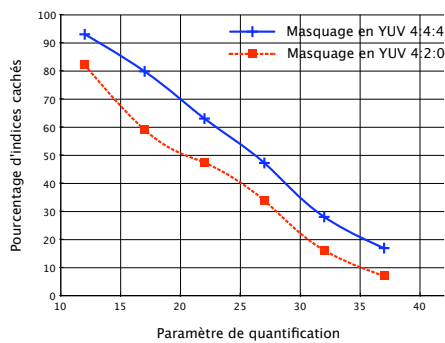


Figure 2 – Pourcentage d'indices cachés par le schéma proposé en YUV 4 :2 :0 et YUV 4 :4 :4 pour chaque QP.

5 Etude subjective

5.1 Observation

Ensembles de QP	Chroma U		Chroma V	
	Set 1	Set 2	Set 1	Set 2
Mobisode2 qwvga	-0.49	-0.25	-0.26	-0.11
RaceHorses qwvga	-0.51	-0.58	-0.45	-0.52
RaceHorses wvga	-0.52	-0.39	-0.40	-0.45
DucksTakeOff 720p	-0.65	-0.76	-0.20	-0.17
BlueSky 1080p	-0.54	-0.60	-0.35	-0.29
DucksTakeOff 1080p	-0.64	-0.60	-0.24	-0.14
SunFlower 1080p	-0.82	-0.43	-0.58	-0.33
Tractor 1080p	-0.68	-0.45	-0.54	-0.43
Moyenne	-0.61	-0.51	-0.38	-0.31

Tableau 3 – Différences de PSNR pour les composantes U et V pour la méthode proposée par rapport à la référence.

Le tableau 3 donne la différence moyenne de PSNR pour les composantes de chroma U et V pour la méthode propo-

sée par rapport à la référence pour deux ensembles de QPs. Comme attendu, le schéma proposé induit une perte objective systématique pour toutes les séquences. On observe une différence de 0.2 entre les pertes des composantes U et V, indiquant que les coefficients de Chroma U ont été plus détériorés par la marque. Les pertes augmentent de 0.1 en moyenne à haut débit (set 1) comparé au moyen débit (set 2). Ceci s'explique par le nombre plus élevé de coefficients modifiés à haut débit. Finalement, on peut noter que la séquence ayant la perte la plus élevée (*SunFlower 1080p*) correspond à la séquence ayant le meilleur gain dans le tableau 1.

Cette dégradation objective de la chroma est une conséquence naturelle de la méthode proposée. La principale question est de savoir si elle est perceptible par l'oeil humain. Dans ce but, une évaluation subjective a été réalisée.

5.2 Protocole expérimental

Une évaluation subjective est une méthode expérimentale visant à déterminer des modifications dans la qualité perçue. Chaque test consiste en un couple de stimuli, comprenant la référence et la séquence encodée avec la méthode proposée, affichés dans un ordre aléatoire. Cinq des séquences avec la plus grande perte de chroma calculée objectivement (tableau 3) ont été affichées deux fois : le premier test est pour une évaluation globale et le second pour une évaluation spécifique de la qualité de la couleur. Dans ce second test, on demande explicitement aux évaluateurs de se concentrer sur la distorsion de la chroma. La figure 3 détaille l'échelle utilisée pour l'évaluation de la qualité.

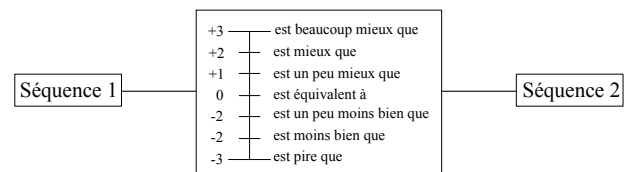


Figure 3 – Echelle d'évaluation de la qualité.

5.3 Interprétation

La figure 4 donne les résultats obtenus pour chaque séquences pour les deux phases de tests, les résultats sont donnés à haut (a) et moyen (b) débit. La conclusion majeure est que la qualité des séquences (globale et couleur) n'est pas visuellement affectée par la méthode proposée. En effet, en dehors de la séquence *RaceHorses* dont les couleurs sont très vives, aucun score supérieur à un ("un peu meilleur") n'a été utilisé par les évaluateurs. La dégradation visuelle peut ainsi être considérée comme invisible. On peut cependant noter que l'impact de la méthode est davantage perçue à haut débit qu'à moyen débit, ce qui confirme les résultats observés dans la partie 5.1. Enfin, la modification de la qualité est davantage perçue dans le test axé sur la couleur mais reste faible.

La figure 5 illustre cette analyse avec la séquence *RaceHorses WVGA* qui correspond à la perte la plus élevée sub-

jectivement. La figure présente une capture de la séquence compressée avec le codeur de référence (a), avec la méthode proposée (b) et la différence des deux séquences (c).

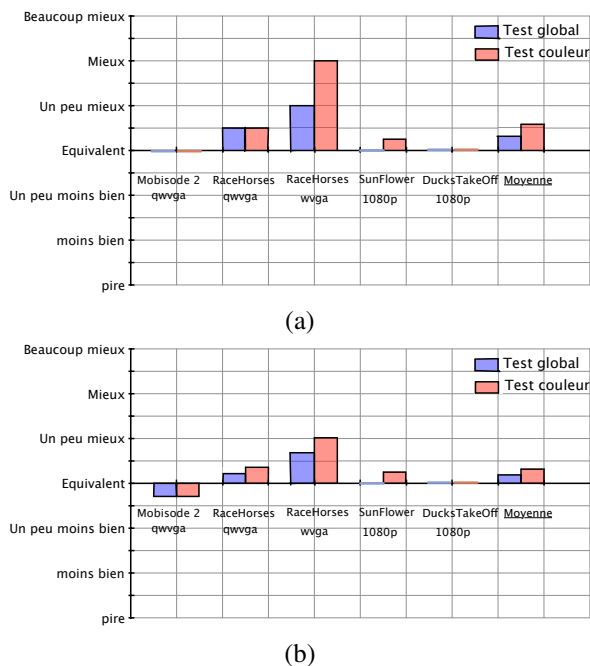


Figure 4 – Evaluation de séquences testées à haut (a) et moyen (b) débit. Comparaison de la référence avec la méthode proposée.

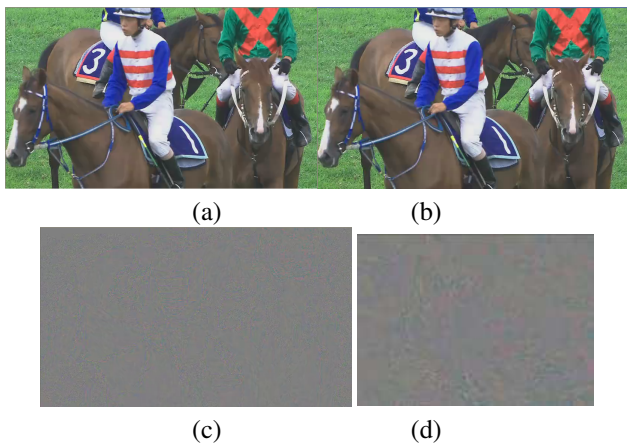


Figure 5 – Séquence RaceHorses WVGA : (a) Compressée avec le codeur de référence, (b) Avec le masquage dans la chroma, (c) Différence entre (a) et (b), (d) Zoom de (c).

6 Conclusion

Une application non conventionnelle du marquage a été proposée dans un précédent article dans le but de faire de la compression vidéo. Les indices MVComp étaient cachés dans les composantes de chroma et de luma.

Cet article prolonge ce sujet et résout les principales questions précédemment soulevées. Le schéma est ainsi appli-

qué à l'index Intra Most Probable Mode. L'application de la méthode au codage Intra permet d'avoir un nombre plus élevé de coefficients transformés non-nuls disponibles pour le marquage. Une seconde extension est proposée avec une optimisation basée sur la théorie de Pareto qui permet de sélectionner la position de la marque sans nécessité de fixer des multiplicateurs de Lagrange. Un gain moyen sur le débit de 1.5% (jusqu'à 2.8%) est rapporté, ce qui est un gain significatif en considérant que seulement un index de signalisation a été considéré. La méthode a aussi été testée pour des séquences au format de couleur 4 : 4 : 4. Comme attendu, une augmentation de 47% des gains sur le débit précédents est observée.

L'application de techniques de marquage dans un but de compression vidéo soulève plusieurs difficultés techniques. Cet article en résout la plupart, et montre qu'une telle technique est intéressante pour améliorer le standard actuel. Notamment, cette méthode est particulièrement adaptée pour réduire le coût d'indices de signalisation qui tendent à prendre de plus en plus de place dans les codeurs vidéos actuels basés compétition.

Références

- [1] "Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services, ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC)," Standard Version 7 : Apr. 2007, ITU-T and ISO/IEC JTC 1.
- [2] K. Suehring, "H.264/AVC and KTA software coordination." Available : <http://iphome.hhi.de/suehring/>.
- [3] J.-M. Thiesse, J. Jung and M. Antonini, "Data hiding of Motion Information in Chroma and Luma Samples for Video Compression," MMSP'10, France, Oct. 2010.
- [4] G. Laroche, J. Jung, and B. Pesquet-Popescu, "RD optimized coding for motion vector predictor selection," IEEE Trans. on CSVT, 18(9) :1247-1257, Sep. 2008.
- [5] F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video", in Sig. Proc., 66(3) :283-301,1998.
- [6] O. Nemethova, G. Calvar Forte, and M.Rupp, "Robust Error Detection for H.264/AVC Using Relation Based Fragile Watermarking," IWSSIP, Budapest, Hungary, Sep. 2006.
- [7] S. M. Kim, S. B. Kim, Y. Hong, and C. S. Won, "Data Hiding on H.264/AVC Compressed Video," ICIAR, Berlin, 2007.
- [8] L. M. Marvel, G. W. Hartwig, C. Boncelet, "Compression Compatible Fragile and Semi-Fragile Tamper Detection," SPIE Int. Conf. on Security and Watermarking of Multimedia Contents II, vol. 3971, USA, 2000.
- [9] P. Campisi, D. Kundur, D. Hatzinakos, and A. Neri, "Compressive Data Hiding : An Unconventional Approach for Improved Color Image Coding," EU. JASP, 152-163, 2002.
- [10] M. Chaumont, and W. Puech, "A DCT-Based Data-Hiding Method to Embed the Color Information in a JPEG Grey Level Image," EUSIPCO, Italy, Sep. 2006.
- [11] B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Media Compression via Data Hiding," 31st Asilomar Conf. on SSC, pp. 647-650, 1997.
- [12] J. Jung and S. Pateux, "An Excel add-in for computing Bjontegaard metric and its evolution," ITU-T VCEG contribution VCEG-AE07, Marrakech, Jan. 2007.