

# Compression Vidéo Distribuée utilisant la TCQ et un Turbo Code

Khaled Lajnef<sup>1</sup>

Christine Guillemot<sup>1</sup>

Pierre Siohan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IRISA/INRIA, Campus de Beaulieu, 35042 RENNES

<sup>2</sup> France Télécom R&D, 4 rue du Clos Courtel, B.P 59, 35512 RENNES

<sup>1</sup> {prenom.nom}@irisa.fr<sup>2</sup> {pierre.siohan}@orange-ft.com

## Résumé

*L'idée principale de cette étude est d'utiliser la quantification codée par treillis (TCQ : Trellis Coded Quantizer) dans les systèmes de codage de deux sources distribuées basés sur la technique de Turbo Code. L'objectif est de diminuer la distorsion du système et de se rapprocher des bornes théoriques de Wyner-Ziv. Une application aux systèmes de compression vidéo utilisant la DCT (Discrete Cosine Transform) suivie d'un quantificateur TCQ est proposée. Les résultats de simulation indiquent des gains de performances par rapport aux techniques basées sur des quantifications scalaires.*

## Mots clefs

Compression, Codage de source distribuée, Codage vidéo, Turbo Code, TCQ.

## 1 Introduction

En codage vidéo, afin de réduire le débit, les systèmes actuels utilisent la corrélation temporelle en mettant en œuvre un codage prédictif compensé en mouvement. Ce choix se traduit par des encodeurs dont la complexité est en général grandement plus élevée (5 à 10 fois) que celle du décodeur. Cette différence est donc liée au fait que l'estimation et la compensation de mouvement sont calculées et effectuées au codeur, tandis que le décodeur va simplement utiliser les vecteurs de mouvement pour reconstruire l'image décodée. Ce schéma de conception asymétrique est tout à fait adapté pour les applications actuelles du codage vidéo, que ce soit la télévision numérique ou encore le téléchargement sur des mobiles à partir de serveurs. Le développement considérable des mobiles va inéluctablement accentuer le besoin inverse, c'est-à-dire celui de transmettre un flux vidéo vers une station de base. Pour faciliter cette possibilité dans le cas de la vidéo il est plus judicieux de rechercher un schéma de codage dual du précédent avec un codeur de complexité relativement limitée et un décodeur disposant d'une puissance de traitement nettement plus importante. Dans ce contexte le codage de sources distribuées (DSC : Distributed Source Coding) peut être vu comme une façon différente d'exploiter cette corrélation temporelle en

considérant, par exemple, que dans 2 images successives, la deuxième constitue une version bruitée de la première et en exploitant cette corrélation au décodeur.

Le codage de sources distribuées concerne le cas de signaux fortement corrélés que l'on code séparément et décode conjointement. Ce genre de techniques peut s'appliquer à des réseaux de capteurs mais également au codage vidéo. En particulier, le DSC a été récemment étudié comme solution potentielle pour la compression de l'information dans des applications exigeant des encodeurs simples. En pratique, les systèmes de compression vidéo appliquant le principe du DSC dans le domaine Pixel [1] ou transformé [2], [3] ont été décrits. Un aperçu complet sur la compression de vidéo distribuée peut être trouvé dans [4].

Le codage de sources distribuées est introduit par Slepian-Wolf [5] en 1973. Dans ce cas, il est possible de réaliser, sans perte en efficacité de compression, un codage séparé et un décodage conjoint de 2 sources corrélées  $X$  et  $Y$  à valeurs discrètes. Plus tard ce principe a été étendu par Wyner et Ziv [6] au cas de sources Gaussiennes à valeurs continues. Plusieurs techniques basées sur les codes de canal (codes convolutifs [7], turbo codes [8] ou encore des codes Low Density Parity Check (LDPC) [9]) ont été proposées pour approcher les limites théoriques. Dans ce cas, la compression de  $X$  est réalisée par la transmission de seulement des bits de parité. Au décodeur, la connaissance de  $Y$  (désigné par information de bord) et des bits de parité permettent de reconstruire  $X$ .

Dans le cas de codage Wyner-Ziv de deux sources Gaussiennes, le modèle de corrélation entre  $X$  et  $Y$  s'exprime par  $X = Y + N$ .  $N$  est une variable aléatoire Gaussienne indépendante de  $Y$ , de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$  qui représente le degré de corrélation entre les deux sources. Le codeur Wyner-Ziv peut être vu comme un quantificateur concaténé en série avec un codeur Slepian-Wolf. Par conséquent, beaucoup de travaux ont été réalisés pour trouver le meilleur quantificateur adapté au codage des sources distribuées. La TCQ a été utilisée dans un codeur Wyner-Ziv dans [10], [11] et [12]. Introduites dans [13] en 1990, la TCQ a apporté une amélioration considérable à haut débit par rapport à la quantification scalaire. Nous proposons

dans notre étude l'utilisation de la TCQ combinée avec un codeur turbo poinçonné dans un schéma de codage Wyner-Ziv.

Cet article est organisé comme suit. Dans une première partie (section 2), nous présentons le principe de la TCQ. Dans la section 3, nous considérons le cas du codeur de sources distribuées utilisant la TCQ et le Turbo Code. La section 4 propose une solution au codage vidéo basé sur la DCT et utilisant le principe de DSC et la quantification TCQ. La section 5 présente les résultats de simulation obtenus avec la quantification TCQ. Enfin, dans la section 6 nous concluons.

## 2 Principe de la TCQ

L'approche de la TCQ consiste à partitionner un dictionnaire de quantification initial en sous-dictionnaires complémentaires associés aux transitions entre les états d'un code convolutif.

Soit une source  $X$  *i.i.d* à quantifier en utilisant la TCQ. Le taux de compression désiré est de  $R$  bits/symbole (le quantificateur TCQ est appelé dans ce cas  $R$ -bits TCQ). Considérons un quantificateur scalaire uniforme dont le dictionnaire de quantification  $D$  est de cardinal  $2^{R+1}$  et un code convolutif de rendement  $1/2$ .

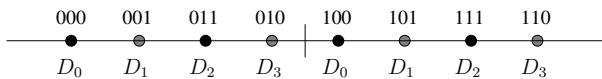


Figure 1 – Exemple de partition pour une TCQ à 2 bits/symbole.

Le dictionnaire du quantificateur scalaire  $D$  est partitionné en 4 sous-dictionnaires  $D_0, D_1, D_2$  et  $D_3$  comprenant chacun  $2^{R-1}$  mots de code. Chaque sous-dictionnaire représente une transition dans le treillis du code convolutif. Comme exemple, considérons la partition de la figure 1 correspondant au débit  $R = 2$  bits/symbole (2-bits TCQ) et le treillis d'un codeur convolutif de rendement  $1/2$  à la figure 2 (les branches en traits discontinus signifient que le bit inséré est 0 alors que les branches en traits continus correspondent à 1). Etant donné la source  $X$ , le décodeur Viterbi est utilisé pour chercher la version quantifiée  $X_Q$  la plus proche de la source  $X$  avec une distance euclidienne minimale, c'est-à-dire une erreur quadratique la plus faible. A la sortie du quantificateur TCQ, la séquence de  $X_Q$  est représentée par deux séquences. La première séquence, désignée par  $Ct_X$ , est constituée des bits spécifiés par le chemin du treillis à la fin du décodage Viterbi. La deuxième séquence  $Mc_X$  est composée des mots de code de longueur  $R - 1$  bits appartenant aux sous-dictionnaires indexés par le bit de transition.

La reconstruction de la source  $X$  s'effectue comme l'indique la figure 3 en deux étapes. D'abord, la séquence  $Ct_X$  est codée en utilisant le codeur convolutif de rendement  $1/2$  pour récupérer la séquence de sous-dictionnaires  $Cc_X$ . Ensuite, les mots de code de la séquence  $Mc_X$  indexent dans

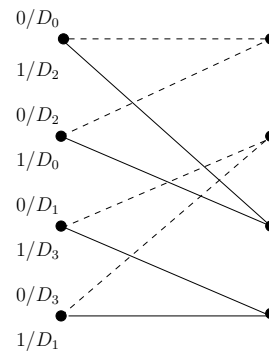


Figure 2 – Treillis d'un code convolutif de rendement  $1/2$  associé à la partition de la figure 1.

le sous-dictionnaire la valeur de reconstruction  $\hat{X} = X_Q$  (figure 3).

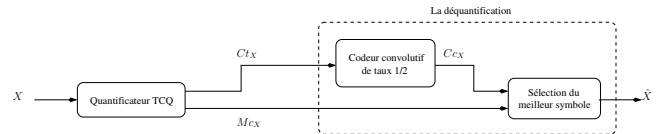


Figure 3 – Quantification et déquantification d'une source  $X$  en utilisant la TCQ.

## 3 Codeur Wyner-Ziv basé sur la TCQ et le Turbo Code

Soient  $X$  et  $Y$  deux sources *i.i.d* Gaussiennes corrélées. Le modèle de corrélation entre  $Y$  et  $X$  est défini par :  $X = Y + N$  avec  $N$  un bruit Gaussien *i.i.d* de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ .  $N$  est indépendant de  $Y \sim \mathcal{N}(0, \sigma_Y^2 = 1)$ .

On définit par Corrélation-SNR ( $CSNR = \frac{\sigma_Y^2}{\sigma_N^2}$ ) le terme qui représente le rapport des variances de  $Y$  et  $N$ . On suppose que les valeurs de la source  $Y$  sont connues au décodeur [6]. Pour diminuer la distorsion de la source  $X$ , nous proposons d'utiliser un quantificateur TCQ ( $R$ -bits TCQ) comme l'indique la figure 4.

Les symboles de la séquence de mots de code  $Mc_X$  sont codés avec un codeur turbo constitué de deux codeurs convolutionnels récurrents systématiques (RSC : Recursive Systematic Code) de taux  $n/n + 1$  concaténés en parallèle et séparés par un entrelaceur. Les sorties de chaque codeur sont poinçonnées. Pour obtenir un taux de compression élevé, les bits systématiques des deux codeurs élémentaires sont éliminés et seulement quelques bits de parité sont transmis au décodeur.

L'entropie conditionnelle  $H(Ct_X|Y)$  des bits de la séquence  $Ct_X$  s'approche de un quand le débit  $R$  augmente. Par conséquent et à l'inverse des méthodes proposées dans [10], [11] et [12], les bits de la séquence  $Ct_X$  sont transmis sans compression au décodeur.

La région des taux de compression admissible dans ce cas est définie par :

$$R_X \geq R_{X|Y}^*(D_X) = I(X; X_Q|Y) \quad (1)$$

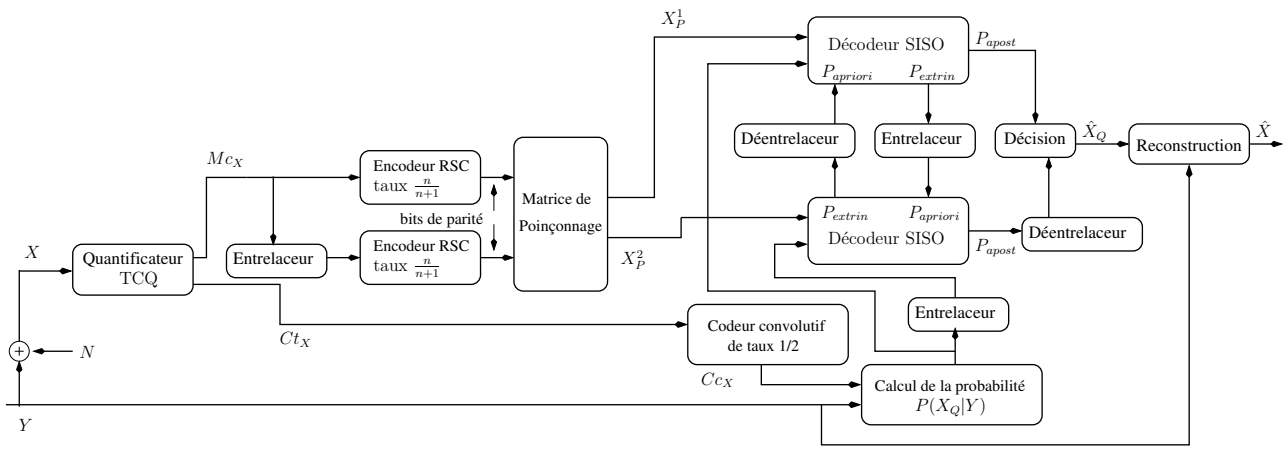


Figure 4 – Schéma d'un codeur Wyner-Ziv utilisant la TCQ et le Turbo Code.

$$D_X \geq E[d(X, \hat{X})] \quad (2)$$

avec  $X_Q$  la version quantifiée de  $X$  et  $D_X$  la valeur moyenne de la distorsion théorique entre  $X$  et  $\hat{X}$  (la valeur reconstruite de  $X$ ) qui s'exprime par :

$$D_X = \sigma^2 / 2^{2R_{X|Y}^*(D_X)} \quad (3)$$

Au décodage, les bits de la séquence  $Ct_X$  sont codés en utilisant le codeur convolutif de rendement 1/2 pour récupérer la séquence de sous-dictionnaire ( $Cc_X$ ). Pour estimer  $\hat{X}_Q$ , un décodeur turbo composé de deux décodeurs (SISO : Soft-Input Soft-Output) concaténés en série via un entrelaceur/désentrelaceur est utilisé. Chaque décodeur prend en entrée les bits de parité générés par l'encodeur correspondant et la probabilité  $P(X_Q|Y)$  qui dépend de l'information de bord  $Y$  et de la séquence  $Cc_X$ . Pour déterminer la probabilité  $P(X_Q|Y)$  et à la différence de [12], les régions d'intégration dans notre cas ne sont que celles qui correspondent aux sous-dictionnaires  $Cc_X$ . En effet, pour améliorer les performances du décodage turbo, on profite de la disponibilité de la séquence  $Cc_X$  qui a été compressée sans perte.

La reconstruction optimale de  $X$  peut être déterminée à partir de  $\hat{X}_Q \in [a, b]$  et  $Y$  comme suit :

$$\begin{aligned} \hat{X} &= E(X = x | \hat{X}_Q, Y = y) \\ &= \int_a^b x P(X = x \in [a, b] | \hat{X}_Q, Y = y) dx \\ &= \int_a^b x \frac{P(\hat{X}_Q|x)P(x|y)}{P(\hat{X}_Q|y)} dx \end{aligned} \quad (4)$$

#### 4 Codeur vidéo distribuée dans le domaine transformé utilisant la TCQ et le Turbo Code

Un codeur vidéo distribuée (DVC : Distributed Video Coding) est un système basé sur un codeur Wyner-Ziv, où les images d'une séquence sont codées indépendamment (Intra codées) mais décodées conjointement (Inter décodées).

Les images d'une séquence vidéo sont divisées en deux sous-ensembles comme l'indique la figure 5. Un premier sous-ensemble d'images, régulièrement espacées dans la séquence, va être codé en mode Intra et constitué des images clés ("Keyframe") désignées par  $I$ . Ces images sont codées avec un codeur H.264. Le deuxième sous-ensemble d'images est codé en utilisant le codeur Wyner-Ziv. Ces images sont désignées par  $WZ$  (images Wyner-Ziv).

Une séquence vidéo est divisée en GOP (Group Of Pictures) contenant un certain nombre d'images. La première image de chaque GOP est codée en mode Intra et les restantes sont codées avec un codeur Wyner-Ziv.

Pour les images Wyner-Ziv  $WZ$ , chaque bloc de  $4 \times 4$  pixels est transformé en un bloc de  $4 \times 4$  coefficients grâce à la transformée DCT. Les coefficients de la transformée de chaque bloc sont groupés en 16 sous-bandes. La bande 0 contient les coefficients les plus significatifs alors que la bande 15 est composée en général de coefficients à valeur très faible.

Après la DCT, un quantificateur TCQ est utilisé seulement pour les coefficients de bandes 0 pour préserver une complexité faible à l'encodage. La séquence  $Ct_{b0}$  est envoyée directement au décodeur. Alors que la séquence de mots de code  $Mc_{b0}$  est codée par plans de bits. Quant aux coefficients des autres sous-bandes (autres que zéro), le quantificateur scalaire uniforme (UQ) est utilisé. Les coefficients quantifiés sont codés par plans de bits. Chaque plan de bits est ensuite compressé en utilisant un codeur turbo poinçonné et seulement les bits de parité retenus sont transmis au décodeur.

Les images  $I$  sont décodées avec un décodeur H.264. Ainsi, pour chaque image Wyner-Ziv, une information de bord  $SI$  est générée par interpolation, compensée en mouvement à partir des images  $I$ . Comme pour les images  $WZ$  au codage, une transformée DCT est appliquée aux images  $SI$  et des bandes de coefficients sont formées. Le modèle de corrélation considéré entre les coefficients de DCT des images  $WZ$  et leurs correspondants des images  $SI$  (l'information de bord) est une distribution Laplacienne.

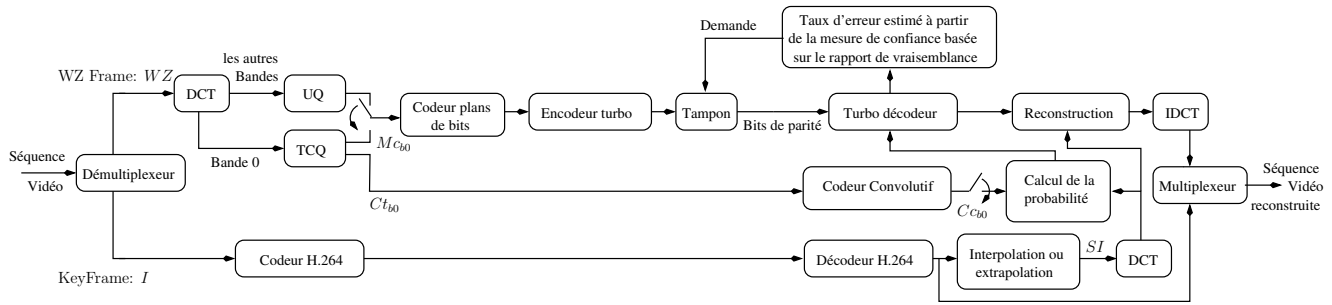


Figure 5 – Schéma d'un codeur vidéo distribuée utilisant la TCQ et le Turbo Code.

Pour chaque bande non nulle des images  $WZ$ , le décodeur turbo utilise les coefficients de DCT de l'information de bord  $SI$  et les bits de parité reçus pour estimer les plans de bits à l'entrée du codeur turbo. Si le nombre d'erreurs estimé est supérieur à  $10^{-3}$ , alors une demande de bits de parité additionnels est envoyée vers le tampon du codeur turbo par "feed-back". Le taux d'erreur est estimé à partir de la mesure de confiance basée sur le rapport de vraisemblance obtenue à la sortie du décodeur turbo. Le processus est répété jusqu'à ce qu'une probabilité d'erreur acceptable ( $10^{-3}$ ) soit atteinte.

Pour les bandes 0, le même processus sera répété pour les plans de bits sauf qu'avant le décodage turbo, la séquence  $C_{cb0}$  doit être récupérée par codage convolutif de la séquence  $C_{tb0}$ . Puis, les probabilités se basant sur des distributions Laplaciennes à l'entrée du turbo décodeur sont calculées seulement dans les régions de quantification où leurs indices contiennent les symboles de  $C_{cb0}$ .

Après le décodage turbo, les indices des coefficients DCT quantifiés sont estimés. Chaque bande de l'image  $WZ$  est reconstruite. Si le coefficient DCT de l'information de bord et l'indice décodé sont dans la même région de quantification (fixée par l'indice décodé) alors le coefficient DCT reconstruit prendra une valeur égale à celle de l'information de bord. Cependant, si le coefficient DCT de l'information de bord est inférieur à l'extrémité inférieure de la région de quantification, alors le coefficient DCT reconstruit prendra la valeur de cette extrémité. Par contre, si le coefficient DCT de l'information de bord est supérieur à l'extrémité supérieure de la région de quantification, alors la valeur reconstruite prendra la valeur de cette extrémité supérieure. Enfin, une transformée inverse de la DCT (IDCT) sera appliquée sur les coefficients reconstruits.

## 5 Résultats de simulation

Tous les résultats de simulation présentés sont réalisés avec un algorithme de décodage MAP (Maximum A Posteriori). L'entrelaceur utilisé est aléatoire et la longueur de contrainte du codeur convolutif de la quantification TCQ est  $K_{TCQ} = 9$ .

### 5.1 Cas de deux sources Gaussiennes

Le codeur RSC utilisé est de taux de codage  $2/3$ , de longueur de contrainte  $K = 5$ . Le vecteur générateur du code

élémentaire est  $G = (1, 23, 35/27)$ , la taille de chaque bloc est  $10^5$ , et enfin le nombre de bits simulés est  $10^7$ . Le quantificateur TCQ utilisé est 3-bits TCQ.

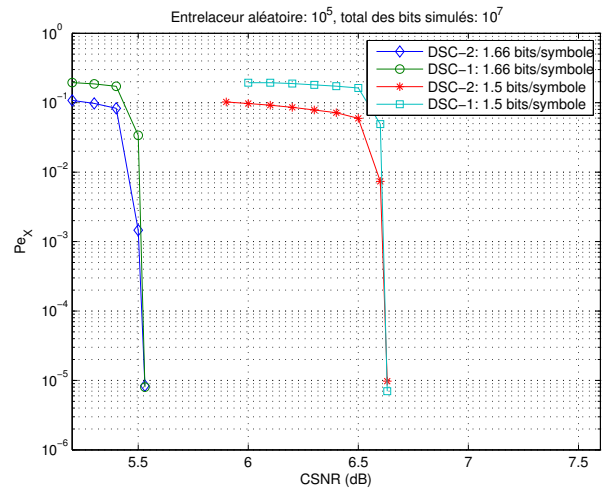


Figure 6 – Résultats de simulation pour DSC avec deux sources Gaussiennes : Probabilités des symboles erronés.

Dans la figure 6, la probabilité des symboles erronés  $Pe_X = P(X_Q \neq \hat{X}_Q)$  est tracée en fonction de la Corrélation-SNR (CSNR) pour deux codeurs DSC utilisant un quantificateur scalaire uniforme (UQ) (le codeur est désigné par DSC-1) et un 3-bits TCQ (désigné par DSC-2), respectivement. Les performances obtenues avec des débits de 1.5 et 1.6 bits/symbole peuvent être observées dans la figure 6.

Pour des débits de 1.5 et 1.66 bits/symbole, la figure 7 montre les valeurs des distorsions moyennes mesurées de la source  $X$  obtenues avec les deux codeurs DSC-1 et DSC-2. Pour un débit de 1.66 bits/symbole, la distorsion moyenne de  $X$  dans un DSC-2 basé sur la TCQ se situe à une distance de 0.916 dB de la borne théorique de Wyner-Ziv. Cependant, pour le DSC-1 la distance entre les distorsions théorique et mesurée est de l'ordre de 3.46 dB. Pour des débits plus faibles (1.5 bits/symbole), la différence entre la distorsion mesurée et la borne théorique diminue avec le DSC-2. Alors que pour le DSC-1, une petite amélioration de la distorsion peut être ob-

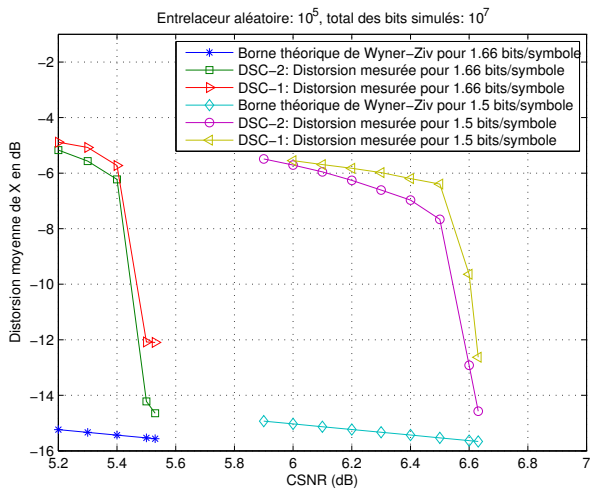


Figure 7 – Résultats de simulation pour DSC avec deux sources Gaussiennes : Distorsion moyenne mesurée

servée. Néanmoins, le DSC-2 s’approche mieux de la borne théorique que le DSC-1 (pour 1.5 bits/symbole, la différence avec la limite de Wyner-Ziv est de l’ordre de 1.092 dB pour DSC-2 alors qu’elle est égale à 3.04 db avec le DSC-1).

## 5.2 Application aux séquences vidéos

Le codeur RSC utilisé ici est de taux de codage 1/2, de longueur de contrainte  $K = 5$  et de vecteur générateur  $G = (1, 33/23)$ . La séquence vidéo à coder est Foreman en format QCIF et de fréquence égale à 15 Hz. Ici, nous ne nous intéressons qu’aux blocs de luminance ( $Y$ ) des images  $WZ$ .

Nous comparons deux codeurs vidéos distribués en terme de performance débit-distorsion. Le premier codeur (désigné par DVC-1) utilise différents quantificateurs scalaires uniformes pour chaque bande de la DCT. Quant au deuxième codeur (désigné par DVC-2), les bandes 0 sont quantifiées avec la TCQ et pour les autres bandes on utilise différents quantificateurs scalaires uniformes. Les résultats de simulation obtenus avec la TCQ sont réalisés avec différents débits : 3-bits TCQ, 4-bits TCQ, 5-bits TCQ et 6-bits TCQ.

Pour un  $GOP=2$  (c’est-à-dire entre deux images intra, il y a une seule image  $WZ$ ), la figure 8 illustre le gain de performance obtenu avec la quantification TCQ au niveau de la bande 0 par rapport à la quantification uniforme. A un débit (débit global des images  $WZ$  et  $I$ ) de 500 kbps, on peut voir que le  $PSNR$  de  $Y$  (des images  $WZ$  et  $I$ ) obtenu avec le DVC-2 utilisant la TCQ est meilleur de 0.29 dB que celui obtenu avec un DVC-1 à base d’un quantificateur scalaire uniforme. Ce gain de performance augmente en fonction de la taille du  $GOP$  et du débit. Dans la figure 9 pour un  $GOP=4$ , la différence de  $PSNR$  entre les deux approches passe de 0.39 dB à 0.435 dB pour des débits de 500 à 600 kbps, respectivement. La figure 10 illustre un gain obtenu avec le DVC-2 de l’ordre de 0.568 dB par

rapport à DVC-1 pour un  $GOP=8$  et un débit de 700 kbps. Le DVC-2 est pénalisé par les performances de la TCQ à faible débit. On observe que plus le débit est petit, moins le gain de performances du DVC-2 par rapport à DVC-1 est important.

Pour mieux illustrer l’effet de la TCQ sur les bandes 0, la figure 11 montre les résultats de simulation des deux codeurs DVC codant et décodant seulement les bandes 0 (les autres bandes ne sont pas ni codées ni décodées). Pour un  $GOP=4$ , le gain de performance du DVC-2 par rapport à DVC-1 est de 0.717 dB pour un débit égal à 100 kbps.

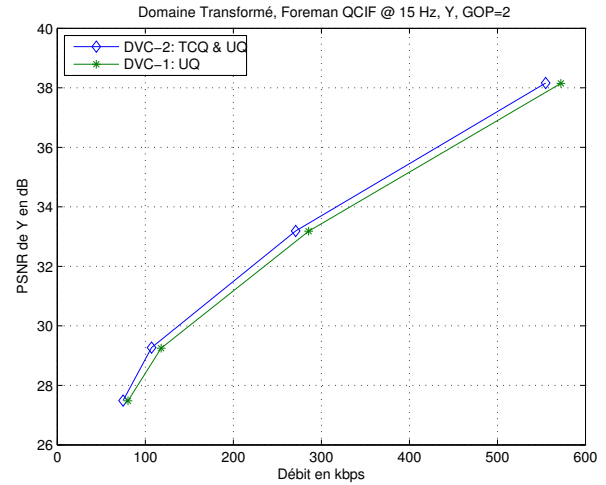


Figure 8 – Résultats de simulation pour DVC d’une séquence Foreman QCIF, 15 Hz avec un  $GOP = 2$ .

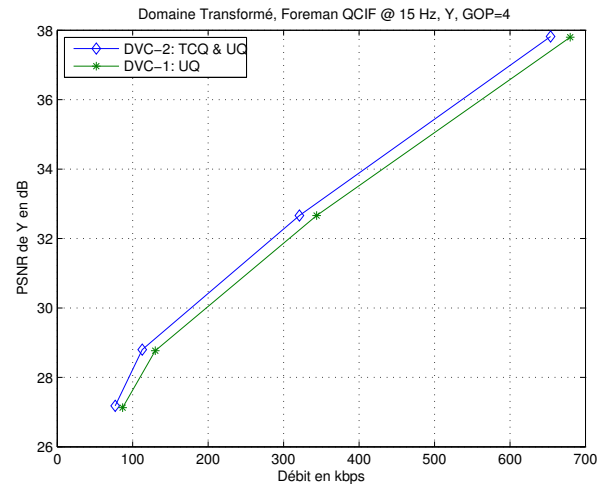


Figure 9 – Résultats de simulation pour DVC d’une séquence Foreman QCIF, 15 Hz avec un  $GOP = 4$ .

## 6 Conclusion

Ce papier décrit un codeur de sources distribués combinant une quantification TCQ et un Turbo Code. Du point de vue théorique, nous observons que la distorsion mesurée du système peut s’approcher de 0.916 dB de la borne de

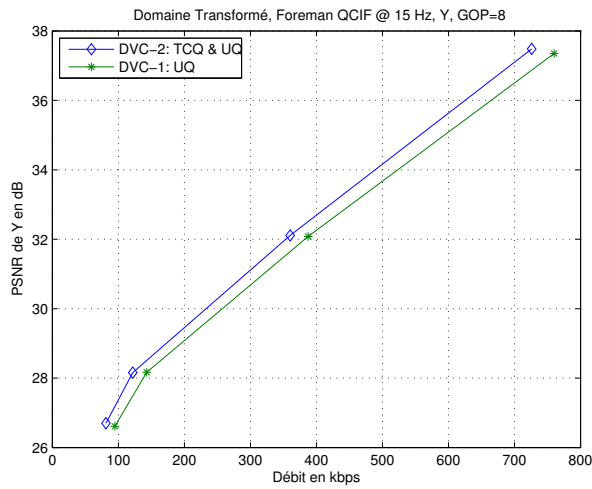


Figure 10 – Résultats de simulation pour DVC d’une séquence Foreman QCIF, 15 Hz avec un GOP = 8.

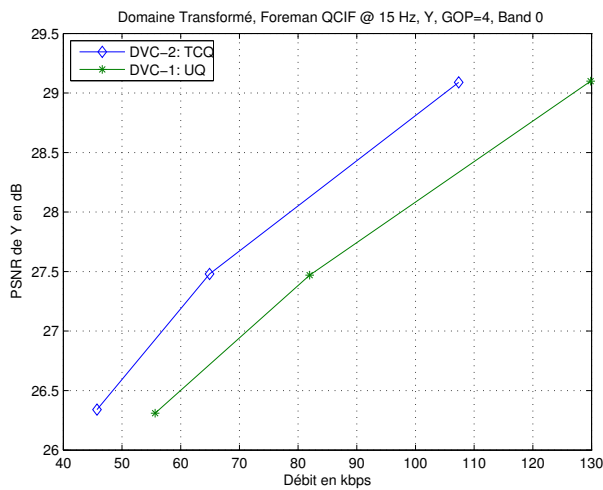


Figure 11 – Résultats de simulation pour DVC d’une séquence Foreman QCIF, 15 Hz avec un GOP = 4 : seule la bande 0 est codée et décodée.

Wyner-Ziv. Pour une application au codage vidéo, l’utilisation de la TCQ dans un système DVC permet d’améliorer les performances en terme de débit-distorsion. Nous orientons actuellement nos travaux vers une utilisation complète de la TCQ pour toutes les bandes de la DCT.

## Références

[1] A. Aaron, R. Zhang and B. Girod, “Wyner-Ziv Coding of Motion Video” , in *Proc. 36th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computer, Pacific Grove, USA*, Nov. 2002.

[2] R. Puri and K. Ramchandran, “PRISM : A new robust video coding architecture based on distributed compression principles” in *Proc. Allerton Conference on Communication, Control and Computing*, Oct. 2002.

[3] A. Aaron, S. Rane, E. Setton and B. Girod, “Transform-domain Wyner-Ziv Codec for Video“, in *Proc. SPIE Conference on Visual Communication and Image Processing*, Jan. 2004.

[4] B. Girod, A. Aaron, S. Rane, D. Rebollo-Monedero, “Distributed Video Coding”, in *Proc. IEEE, Special issue on advances in video coding and delivery*, vol.93, No. 1, pp. 71-83, Invited paper, Jan. 2005.

[5] D. Slepian and J. K. Wolf, “Noiseless Coding of Correlated Information Sources”, *IEEE Trans. Inform. Theory*, IT-19, pp. 471-480, Mar. 1973.

[6] A. D. Wyner and J. Ziv, “The Rate-Distortion Function for Source Coding with Side Information at the Decoder”, *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol-22, pp. 1-10, Jan. 1976.

[7] S.S. Pradhan and K. Ramchandran, “Distributed Source Coding Using Syndromes (DISCUS) : Design and Construction”, *Proc. IEEE DCC*, pp. 158-167, Mar. 1999.

[8] A. Aaron and B. Girod, “Compression with Side Information using Turbo Codes”, *Proc. IEEE DCC*, pp. 252-261, Apr. 2002.

[9] A. D. Liveris, Z. Xiong and C. N. Georghiades, “Compression of Binary Sources with Side Information at the Decoder using LDPC Codes”, *IEEE Comm. Letters*, Vol-6, pp. 440-442, Oct. 2002.

[10] S. S. Pradhan and K. Ramchandran, “Distributed Source Coding Using Syndromes (DISCUS) : Design and construction,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, VOL. 49, NO. 3, pp. 626–643, Mar. 2003.

[11] J. Chou, S. Pradhan, and K. Ramchandran, “Turbo and trellis-based constructions for source coding with side information,” *Proc. IEEE DCC*, Snowbird, UT, March 2003.

[12] Y. Yang, S. Cheng, Z. Xiong and W. Zhao, “Wyner-Ziv coding based on TCQ and LDPC codes,” *Proc. Asilomar Conference on Signals, Systems and Computer*, Pacific Grove, CA, Nov. 2003.

[13] M. W. Marcellin and T. R. Fischer, “Trellis Coded Quantization of Memoryless and Gauss-Markov Sources”, *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 38, No. 1, pp. 82-93, Jan. 1990.