

# Un Schéma Conjoint de Dissimulation de Données (Data Hiding) dans JPEG2000 basé sur la Quantification Codée par Treillis (TCQ)

Dalila GOUDIA<sup>1,2</sup>, Marc CHAUMONT<sup>1</sup>, William PUECH<sup>1</sup>, Naima HADJ SAID<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LIRMM, UMR CNRS 5506, Université Montpellier II  
161 rue Ada, 34095, MONTPELLIER cedex 5, France

<sup>2</sup>SIMPA, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO)  
BP 115, El M'ouaouel, Oran, Algérie

`dalila.goudia@lirmm.fr, marc.chaumont@lirmm.fr`  
`william.puech@lirmm.fr, min_hadj@yahoo.fr`

**Résumé** – Dans cet article, nous présentons une méthode conjointe de quantification et de dissimulation de données basée sur la Quantification Codée par Treillis (TCQ) dans JPEG2000. La contribution principale de ce travail est que le schéma proposé permet de réaliser conjointement les opérations de quantification et d'insertion des données cachées. Les propriétés de la TCQ sont exploitées afin de quantifier certains coefficients d'ondelettes à l'aide de quantificateurs spécifiques. Ces quantificateurs sont associés aux données à cacher. Les coefficients inclus dans le processus de dissimulation de données sont sélectionnés de manière à ce qu'ils puissent survivre à la phase de contrôle de taux de JPEG2000. Des résultats expérimentaux sont présentés et permettent de conclure que l'insertion des données cachées aboutit à une dégradation minimale des performances de JPEG2000. La charge utile ou *payload* est importante et dépend du taux de compression cible.

**Abstract** – A new Treillis Coded Quantization (TCQ)-based data hiding method for JPEG2000 part 2 is presented. The main feature of the proposed scheme is that it jointly achieves quantization and information embedding. The characteristics of the TCQ quantization are exploited to quantize selected wavelet coefficients with specific codebooks. These codebooks are associated with the values of the data to be inserted. The wavelet coefficients included in the data hiding process are selected carefully in order to survive the entropy coding stage and the rate-distortion optimization stage of JPEG2000 compression. Experimental results are given to demonstrate the performance of the proposed algorithm.

## 1 Introduction

Les techniques de dissimulation de données (*data hiding*) permettent de transmettre des informations supplémentaires au travers de données hôtes telles que les images numériques. L'insertion de données cachées est l'une des branches de la dissimulation de données. Sa principale application est l'augmentation ou l'enrichissement des contenus. Son objectif est de dissimuler une quantité très importante de données dans l'image hôte avec le minimum de distorsion possible. Les données cachées doivent pouvoir être correctement récupérées durant l'étape d'extraction. Contrairement au tatouage, les éventuelles attaques que peut subir l'image augmentée ne sont pas prises en compte.

L'enrichissement des images JPEG2000 [1] a fait l'objet de plusieurs travaux. Dans ce cadre, il est préférable de recourir à des applications de compression et d'insertion de données cachées conjointe [2, 3, 4]. L'approche conjointe consiste à intégrer une technique d'insertion de données cachées directement dans le schéma de codage de JPEG2000. Chen *et al.* [2] ont proposé de réaliser l'opération de dissimulation de données directement au niveau du *bitstream* (flux de codage binaire) JPEG2000 en simulant une nouvelle phase de contrôle de taux.

Les couches de qualité sont réorganisées de manière à libérer un espace suffisamment grand pour cacher des données. Su *et al.* [3] insèrent l'information cachée dans le *bitstream* après la phase de contrôle de taux en exploitant l'option *lazy mode* de JPEG2000. Thomos *et al.* [4] ont présenté un algorithme de décodage de codes correcteurs pour la dissimulation de données dans des images JPEG2000.

Dans cet article, nous proposons un schéma conjoint de quantification et d'insertion de données cachées basée sur la Quantification Codée par Treillis (TCQ) dans JPEG2000 partie 2 [1]. La principale originalité de notre travail est que, contrairement à l'état de l'art, les données sont cachées pendant la quantification des coefficients d'ondelettes. Nous n'avons pas à intégrer une étape supplémentaire d'insertion des données cachées, comme c'est le cas pour les travaux cités précédemment. Notons que cette approche où la dissimulation de données est considérée sous l'angle de la compression a également été étudiée pour la quantification vectorielle dans [5].

Ce papier est organisé de la façon suivante : la section 2 présente la quantification TCQ dans JPEG2000. Le schéma conjoint proposé est décrit en section 3. La section 4 est consacrée à la présentation et à la discussion des résultats obtenus. Enfin, la dernière section conclut le présent article.

## 2 La Quantification Codée par Treillis (TCQ) dans JPEG2000

La partie 2 de la norme JPEG2000 propose plusieurs techniques de quantification dont la Quantification Codée par Treillis (TCQ) [1]. La TCQ consiste à partitionner un dictionnaire de quantification de pas de quantification  $\Delta$  en 4 sous-dictionnaires complémentaires ( $D_0, D_1, D_2$  et  $D_3$ ) associés aux transitions entre les états d'un treillis convolutif. Les sous-dictionnaires ou quantificateurs sont combinés pour former les quantificateurs d'union :  $A_0 = D_0 \cup D_2$  et  $A_1 = D_1 \cup D_3$ . Le treillis convolutif est constitué de 8 états par transition et de deux branches par état. Chaque état dans le treillis est associé à l'un des deux quantificateurs d'union  $A_0$  et  $A_1$ . En d'autres termes, chacune des branches du treillis est étiquetée par un quantificateur  $D_i, i = 0, 2$  si  $D_i \in A_0$  ou  $i = 1, 3$  si  $D_i \in A_1$ . Afin de quantifier la séquence source  $\mathbf{x}$ , l'algorithme de Viterbi [6] est utilisé pour trouver le chemin optimal à travers le treillis pour lequel la distorsion totale est minimisée. Une séquence d'indices de quantification TCQ est produite. A la réception, le décodeur reconstruit la source quantifiée à l'aide des indices TCQ. Notons que par la construction du treillis, le bit de poids le plus faible (LSB) de chaque indice de quantification correspond au bit de chemin puisqu'il n'y a que deux mots de codes possibles pour chaque état ( $D_0$  ou  $D_2$  et  $D_1$  ou  $D_3$ ). Le chemin optimal dans le treillis correspond donc aux bits LSB de la séquence d'indices TCQ.

## 3 Le schéma conjoint proposé

### 3.1 La méthode d'insertion de données cachées proposée

Notre stratégie de dissimulation de données s'appuie sur les principes de la QIM (Quantization Index Modulation) [7] et sur l'utilisation d'un treillis. Il s'agit d'une technique basée quantification utilisant la quantification TCQ pour insérer des données cachées. Comme mentionné en section 2, la TCQ met à disposition deux quantificateurs d'union  $A_0$  et  $A_1$  qui sont utilisés pour étiqueter les deux branches de chaque état du treillis. Ces deux quantificateurs d'union sont illustrés sur la Figure 1 où les indices  $\mathbf{q}(A_j), j = 0, 1$  et les valeurs de reconstruction  $\hat{\mathbf{x}}$  sont donnés. Nous proposons la méthode d'insertion suivante (illustré en Figure 1) :

- Quantificateur d'union  $A_0$  : Si le bit à insérer est égal au bit 0 alors le quantificateur  $D_0$  est utilisé pour quantifier les coefficients d'ondelettes. Sinon, c'est le quantificateur  $D_2$  qui est utilisé.
- Quantificateur d'union  $A_1$  : Si le bit à insérer est égal au bit 0 alors  $D_1$  est utilisé pour quantifier les coefficients d'ondelettes. Sinon, c'est  $D_3$  qui est utilisé.

La sélection de la branche à emprunter est déterminée par la valeur du bit à insérer. Cela revient à supprimer les branches étiquetées par  $D_2$  ou  $D_3$  lorsque l'on insère un bit 0 et à élimi-

ner les branches étiquetées par  $D_0$  ou  $D_1$  lorsque l'on insère un bit 1. A l'issue du processus de quantification, le chemin optimal dans le treillis élagué sera équivalent aux données cachées insérées. Il subsiste cependant un problème lorsque l'on intègre cette méthode dans le schéma de codage de JPEG2000. Les étapes de codage entropique et de contrôle de taux doivent être prises en compte lors de la conception d'un schéma conjoint de dissimulation de données dans JPEG2000. En effet, un certain nombre de bits des indices de quantification TCQ seront supprimés après la phase de contrôle de taux, induisant une perte partielle de l'information cachée. Les coefficients les plus significatifs ont le plus de chance de voir leurs indices TCQ épargnés par une troncature de leurs plans de bits après une compression JPEG2000. Nous proposons donc d'insérer l'information cachée seulement au niveau des coefficients qui ont le plus de chance de survivre à la phase de contrôle de taux. Nous appelons ces coefficients les *coefficients sélectionnés*. En pratique, seuls les *coefficients sélectionnés* seront utilisés pour faire l'insertion, les autres coefficients seront quantifiés avec la TCQ classique. En outre, pour être sûr que le bit LSB de l'indice TCQ de chaque *coefficient sélectionné* restera inchangé après le contrôle de taux, celui-ci est déplacé vers un plan de bit supérieur.

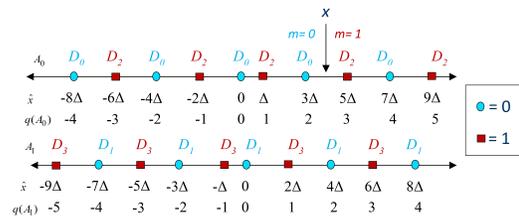


FIGURE 1 – Les principes de la QIM appliqués aux quantificateur d'union de JPEG2000.

Le message binaire à cacher est noté  $m \in \{0, 1\}^N$ . Dans le but de sécuriser les données cachées à insérer, nous entrelaçons de manière pseudo-aléatoire les bits du message à l'aide d'une clé secrète. Nous obtenons un autre message noté  $b \in \{0, 1\}^N$ . L'insertion des données cachées se fait indépendamment au niveau de chaque *code-block* (blocs rectangulaires de coefficients d'ondelettes utilisés dans JPEG2000 pour faire le codage). Pour chaque *code-block*, le treillis est élagué au niveau des transitions correspondant aux *coefficients d'ondelettes sélectionnés*. Cela consistera à conserver les branches qui sont étiquetées par les quantificateurs qui ont été sélectionnés par le bit à insérer  $b_k, k \in [0, N]$  et à supprimer toutes les autres branches, et ce, au niveau de la transition considérée. L'étape de quantification produit la séquence d'indices de quantification  $\mathbf{q}$ . Le message caché est extrait durant l'étape de quantification inverse lors de la décompression JPEG2000. L'extraction est accomplie en procédant à la récupération des bits de chemin dans le treillis au niveau des positions des *coefficients sélectionnés*.

Cette méthode d'insertion ressemble à celle proposée dans [8]. Il existe cependant des différences importantes qui sont

les suivantes : la structure du treillis utilisée et les quantificateurs employés ne sont pas les mêmes. De plus, les données ne sont pas insérées de la même façon : dans cet article, les données cachées font partie du chemin dans le treillis, alors que dans [8], la marque est équivalente aux indices des groupes de quantificateurs sélectionnés. Enfin, l'élagage du treillis se fait seulement sur les transitions correspondant aux coefficients sélectionnés dans cet article, alors que l'élagage se fait sur tout le treillis dans [8].

### 3.2 Le schéma conjoint JPEG2000 et insertion de données cachées

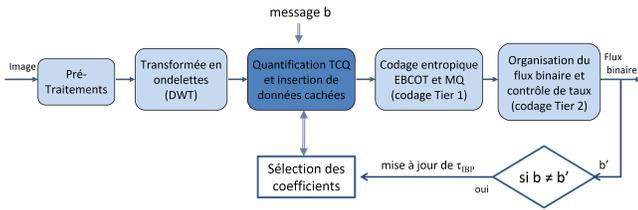


FIGURE 2 – Schéma de fonctionnement du système conjoint JPEG2000/dissimulation de données.

Notre système conjoint est basé sur le schéma de codage JPEG2000 et comprend les étapes suivantes : Premièrement, l'image originale est décomposée en plusieurs sous-bandes à l'aide de la transformée en ondelettes discrète (DWT). Les coefficients inclus dans le processus de dissimulation de données sont sélectionnés au niveau des sous-bandes de détails HL, LH et HH de tous les niveaux de résolution excepté le premier niveau. Le critère de sélection utilisé dans la sélection des coefficients est détaillé en section 3.3. Les données sont cachées durant le processus de quantification. L'étape de codage entropique est ensuite lancée, suivie tout de suite après par la phase de contrôle de taux. Le *bitstream* correspondant à chaque *code-block* est tronqué après la phase de contrôle de taux, suivant le débit binaire cible et le contenu de l'image originale. Cette troncature va causer une perte dans les données cachées de l'ordre de quelques bits au niveau de chaque *code-block*. Afin d'assurer une extraction correcte des données cachées, une opération de vérification est lancée après l'étape de contrôle de taux afin de tester s'il y a eu une perte d'information. Ce processus consiste à effectuer les opérations de décodage entropique et d'extraction des données cachées. Si l'information cachée n'a pas été complètement récupérée, un processus itératif permet de revenir à l'étape de sélection des coefficients d'ondelettes. Le critère de sélection est modifié au niveau des *code-blocks* où l'on a récupéré des bits cachés erronés, et ce, de manière à exclure les coefficients sélectionnés qui ont été touchés par la phase de contrôle de taux. Nous obtiendrons moins de *coefficients sélectionnés* que lors de la précédente insertion, ce qui veut dire que la *payload* sera moins important. Les étapes de quantification TCQ, EBCOT, contrôle de taux et vérifica-

tion seront répétées à chaque fois que le critère de sélection sera modifié, et ce, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de troncature des données cachées pendant la compression JPEG2000.

### 3.3 La sélection des coefficients inclus dans le processus d'insertion de données cachées

La représentation binaire de l'indice TCQ  $q$  est :

$$q = s, q_0 q_1 q_2 \dots q_{L-1} \quad (1)$$

où  $s$  est le signe,  $q_0$  le bit de poids le plus fort (MSB) et  $q_{L-1}$  est le bit de poids le plus faible (LSB) de  $q$ .  $L$  est le nombre de bits nécessaire pour représenter tous les indices de quantification dans le *code-block*. Le calcul du critère ou seuil de sélection  $\tau_{IBP}$  pour chaque *code-block* nous permet de sélectionner une séquence de coefficients significatifs  $S$ . En supposant qu'il y a  $L$  plans de bits dans le *code-block* courant  $C$ ,  $\tau_{IBP}$  est calculée par :  $\tau_{IBP} = \lfloor \alpha * L \rfloor$ , où  $\alpha$  est un paramètre réel compris entre 0 et 1, initialisé avec une valeur prédéfinie pour chaque sous-bande. La sélection des coefficients inclus dans le processus de dissimulation de données est effectuée de la manière suivante :

$$\text{si } \lceil \log_2(|q[i]| + 1) \rceil > \tau_{IBP}, \text{ alors inclure } x[i] \text{ dans } S_C \quad (2)$$

où  $\lceil \log_2(|q[i]| + 1) \rceil$  est le nombre de bits utilisé pour représenter l'indice  $q$  du  $i^{i\text{me}}$  coefficient d'ondelette du *code-block*  $C$ . Dans le cas où la phase de contrôle de taux provoque une perte des données cachées, la valeur de  $\tau_{IBP}$  sera incrémentée durant le processus récursif : une nouvelle sélection des coefficients est effectuée ainsi qu'une autre insertion des données jusqu'à ce que le message caché puisse être correctement extrait. Afin d'être totalement sûr que le chemin ne sera pas partiellement perdu après la phase de contrôle de taux, surtout à bas débit, nous proposons de déplacer le plan de bit LSB des indices TCQ des *coefficients sélectionnés* vers le 2<sup>e</sup> plan de bit  $q_1$  (équation 1).

## 4 Résultats expérimentaux

Nous avons procédé à l'implémentation de notre schéma conjoint compression JPEG2000/dissimulation de données en utilisant la librairie OpenJPEG [9]. Plusieurs tests ont été effectués sur 4 images tests de taille 512 x 512 : Lena, Gold, Girl et Barbara. Le Tableau 1 présente les PSNR obtenus par notre schéma conjoint. Ces résultats nous permettent d'affirmer que le schéma possède de bonnes performances en termes de qualité d'image reconstruite. En effet, les PSNR obtenus sont supérieurs à 30 dB pour tous les débits à l'exception de l'image Barbara à 0.5 bpp et 0.2 bpp. Nous avons également remarqué que la dégradation de la qualité visuelle induite par l'insertion des données cachées est relativement petite lorsqu'on compare le PSNR de l'image compressée avec le schéma conjoint et celui obtenu en compressant l'image avec le codeur JPEG2000 (voir Tableau 1). On constate une différence de 1.29 dB entre les deux PSNR pour l'image Gold à 2 bpp, et 0.95 dB pour

l'image Barbara à 0.2 bpp. Nous pouvons insérer un message caché avec un *payload* supérieur à 11.000 bits et un PSNR supérieur à 40 dB à 2 bpp et 2.5 bpp. Comme illustré sur la Figure 3, un nombre plus important de bits peuvent être cachés à haut débit. Environ 13.040 bits sont dissimulés dans l'image Lena avec un PSNR de 45.17 dB à 2.5 bpp. A 0.2 bpp, seulement 2735 bits peuvent être cachés. Le *payload* est également dépendant des caractéristiques de l'image originale. Concernant l'image Gold, le *payload* est égal à 18.980 bits pour un débit binaire de 1.6 bpp, comparé à 11.089 bits dissimulés dans l'image Girl à même débit. Le *payload* descend à 1848 bits à 0.2 bpp, alors qu'il atteint 1659 bits pour l'image Barbara.

Image test	Débit binaire (bpp)	PSNR (dB) JPEG2000	PSNR (dB) schéma conjoint	Différence entre les PSNRs (dB)
Lena	2.5	47.47	45.17	2.3
	2	45.33	43.83	1.5
	1.6	43.38	42.63	0.75
	1	41.55	40.93	0.62
	0.5	40.03	38.10	1.93
	0.2	36.56	36.00	0.56
Gold	2.5	43.63	42.32	1.31
	2	43.33	42.04	1.29
	1.6	43.30	42.09	1.21
	1	41.63	41.79	-0.16
	0.5	39.87	40.18	-0.31
	0.2	38.74	38.56	0.18
Girl	2.5	42.58	40.57	2.01
	2	40.10	37.79	2.31
	1.6	38.68	36.61	2.07
	1	34.72	34.68	0.04
	0.5	33.13	32.23	0.9
	0.2	31.63	30.82	0.81
Barbara	2.5	42.78	40.30	2.48
	2	41.15	38.72	2.43
	1.6	39.41	37.59	1.82
	1	35.93	34.21	1.72
	0.5	30.73	28.95	1.78
	0.2	26.23	25.28	0.95

TABLE 1 – PSNR(dB) des images décompressées obtenus à l'aide de notre schéma conjoint.

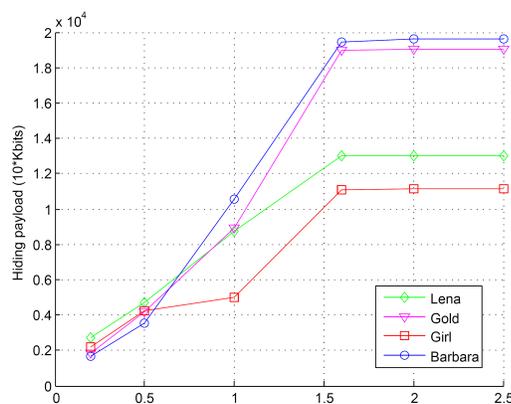


FIGURE 3 – Charge utile (*payload*) en fonction du débit binaire.

Nous avons comparé nos résultats avec ceux de Chen *et al.* [2]. Nous faisons remarquer que les deux approches sont très différentes l'une de l'autre. Les *payloads* obtenus ne sont pas les mêmes. Cependant, les résultats en termes de qualité d'image, évaluée à l'aide du PSNR, prouve que notre schéma conjoint fournit des performances comparables et quelquefois supérieures à ceux de [2]. A titre d'exemple, nous obtenons pour l'image Lena compressée à 0.10 bpp, un PSNR égal à 33.26 dB pour 1270 bits cachés alors que [2] obtiennent PSNR égal à 30.74 dB pour 600 bits cachés. En considérant l'image Gold à 0.17 bpp, nous constatons que le PSNR obtenu par notre schéma conjoint est supérieur d'environ 8 dB par rapport à celui obtenu par [2] avec des *payloads* similaires.

## 5 Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté un schéma conjoint de compression JPEG2000 et de dissimulation de données basé sur la TCQ pour une application d'enrichissement de contenu. Les données sont cachées dans les indices de quantification TCQ. La troncature des bits du message caché provoqué par la phase de contrôle de taux est évité grâce à une sélection rigoureuse des coefficients inclus dans processus d'insertion de données cachées et au déplacement des plans de bits LSB vers une autre position. Le schéma conjoint proposé présente de bonnes performances en terme de qualité visuelle et de charge utile (*payload*). Les travaux futurs porteront sur la possible extension de ce présent schéma conjoint à du tatouage robuste.

## Références

- [1] D. Taubman and M. Marcellin. *JPEG2000 : Image Compression Fundamentals, Standards, and Practice*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.
- [2] J. Chen, T. S. Chen, C. N. Lin, and C. Y. Cheng. A bitrate controlled data hiding scheme for JPEG2000. *International Journal of Computers and Applications*, 32(2) :238–241, 2010.
- [3] P. C. Su and C. J. Kuo. Steganography in JPEG2000 compressed images. *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, 49(4) :824–832, 2003.
- [4] N. Thomos, N. V. Boulgouris, E. Kokkinou, and M. G. Strintzis. Efficient data hiding in JPEG2000 images using sequential decoding of convolutional codes. In *International Conference in Digital Signal Processing 2002*, volume 2, pages 710–720, 2002.
- [5] L. Guillemot and J.-M. Moureaux. Quantification vectorielle algébrique modulée : codage de source / tatouage conjoints à débit variable. In *Colloque GRETSI sur le traitement du signal et des images*, Louvain-La-Neuve, Belgique, 5-9 Septembre 2005.
- [6] G. D. Forney-Jr. The viterbi algorithm. *IEEE Transaction on Information Theory*, 61 :268–278, 1973.
- [7] B. Chen and G. Wornell. Quantization index modulation : A class of provably good methods for digital watermarking and information embedding. *IEEE Transaction on Information Theory*, 47 :1423–1443, 2001.
- [8] D. Goudia, M. Chaumont, W. Puech, and N. Hadj Said. Tatouage et compression conjoint dans JPEG2000 avec un algorithme de quantification codée par treillis (tcq). In *COmpression et REprésentation des Signaux Audiovisuels (CORESA)*, Lyon, France, 26-27 Octobre 2010.
- [9] The openjpeg library is available for download at <http://www.openjpeg.org>.