Codage progressif de post-transformées par le codeur du CCSDS

X. Delaunay[1] C. Thiebaut[2] M. Chabert[3] G. Morin[3]

[1] NOVELTIS*, 2 Avenue de l'Europe, 31520 Ramonville Saint Agne
[2] CNES, 18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9
[3] IRIT/ENSEEIHT, 2 rue Camichel, 31071 Toulouse cedex 7

xavier.delaunay@noveltis.fr

Résumé

Les post-transformées permettent d'exploiter des dépendances linéaires entre coefficients d'ondelettes voisins. Dans ce papier, le schéma de compression par post-transformée est modifié afin d'être adapté à une compression progressive. De plus, prenant en considération les contraintes d'un algorithme de compression à bord d'un satellite, la complexité calculatoire de cette méthode est réduite au minimum. Le codeur par plans de bits du CCSDS est ensuite modifié afin de pouvoir coder la post-transformée. Ainsi, les avantages de la post-transformée et du codeur du CCSDS sont combinés. Cela permet d'améliorer les résultats en compression.

Mots clefs

Compression d'image, transformée en ondelettes, application satellite, codage par plans de bits, post-transformées.

1 Introduction

Le principe de codage par transformée est d'exploiter les dépendances dans les données par un changement de base afin que la quantification et le codage soient simplifiés [1]. Cette théorie s'applique avec succès à la compression des images. La transformée en ondelettes est efficace pour représenter les images naturelles avec peu de coefficients. Les dépendances dans ces images sont bien exploitées. Cette propriété est l'une des raisons de son succès en compression.

Pourtant, bien qu'il soit possible d'obtenir de bon résultats en compression par quantification scalaire suivie d'un codage entropique d'ordre 0 des coefficients d'ondelettes, les meilleurs compresseurs en ondelettes utilisent des codeur entropiques plus évolués. La raison principale est qu'il reste des dépendances dans les coefficients d'ondelettes [2, 3, 4]. Par exemple, le codeur EBCOT (Embedded Block Coding by Optimal Truncation points) [5] du standard JPEG2000 exploite les différentes probabilités d'apparition conjointes entre coefficients d'ondelettes voisins au moyen de différents contextes de codage. Les codeurs par arbres de zéros comme SPIHT (Set Partitioning In Hierarchical Trees) [6], exploitent les dépendances inter- et intra-échelles entre coefficients d'ondelettes de faible amplitude. Le codeur du CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems) [7] exploite des dépendances par la recherche de plages de zéros multi-échelles, inter-bandes et intra-bandes.

Plutôt que d'exploiter ces dépendances entre coefficients d'ondelettes au moment du codage, Peyré propose de les exploiter par un étage supplémentaire de transformée [8]. Il crée les bandelettes par groupements. Après la transformée en ondelettes, de petits blocs de coefficients sont encore transformés en bandelettes. Un dictionnaire constitué de différentes bases de bandelettes est connu par le codeur et le décodeur. Sur chaque bloc, la représentation transformée en bandelettes de ce bloc qui minimise un critère débit-distorsion est sélectionnée. Les coefficients de bandelettes sont ensuite quantifiés, codés par un codeur arithmétique d'ordre 0 et transmis au décodeur. La transformée sélectionnée sur chaque bloc est aussi transmise au décodeur.

Dans ce papier, nous reprenons cette approche consistant à *post-transformer* des blocs de coefficients d'ondelettes. Comme les post-transformées exploitent principalement des dépendances entre coefficients d'ondelettes d'amplitude élevée, nous les utilisons conjointement avec le codeur du CCSDS qui exploite des dépendances dans des plages de zéros. Nous commençons par détailler le schéma de compression par post-transformées et nous apportons les modifications nécessaires afin de l'adapter à un codage progressif comme celui de la recommandation du CCSDS. Ensuite, nous expliquons le fonctionnement de l'algorithme du CCSDS et comment il est possible de l'adapter afin de coder la post-transformée. Enfin nous proposons une modification du codeur du CCSDS permettant d'exploiter les dépendances artificiellement créées par les post-transformées.

*Ce travail a été effectué avec le support du CNES (www.cnes.fr) et de NOVELTIS (www.noveltis.fr).

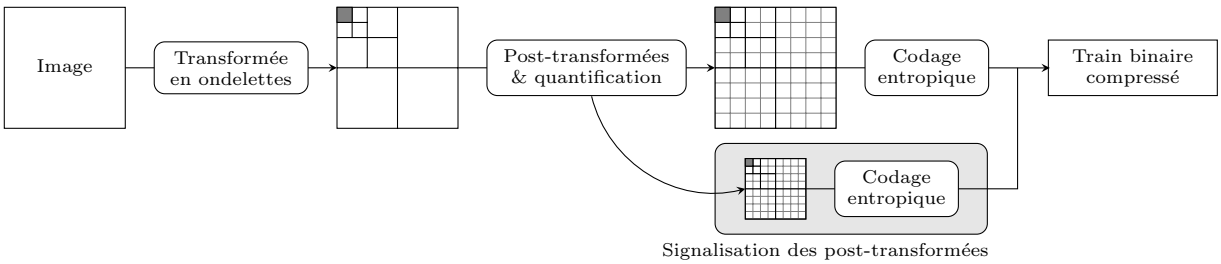


Figure 1 – *Schéma de compression par post-transformée. L'étape « Post-transformées & quantification » est représentée par le schéma de la figure 2.*

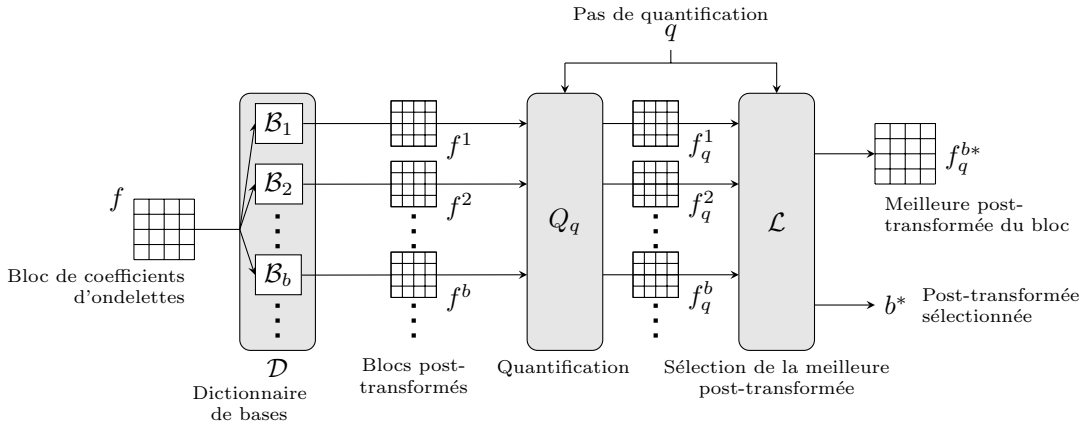


Figure 2 – *Post-transformée d'un bloc de coefficients d'ondelettes.*

2 Les post-transformées

2.1 Schéma de compression

Le schéma de compression par post-transformées décrit dans cette section est le même que celui proposé par Peyré dans sa thèse [8]. Ce schéma est représenté sur la figure 1. La première étape est une transformée en ondelettes 2D séparable. Dans ce papier, la transformée en ondelettes est effectuée sur trois niveaux de décompositions avec les filtres 9/7 comme dans la recommandation du CCSDS [7]. Ensuite, des blocs de 4×4 coefficients d'ondelettes sont post-transformés à partir des bases définies dans un dictionnaire. Il est nécessaire d'indiquer quelles sont les post-transformées qui ont été effectuées. C'est pour cette raison que la signalisation des post-transformées est aussi transmise. Cette signalisation peut être vue comme une carte d'index identifiant la post-transformée utilisée sur chaque bloc. Enfin, les coefficients post-transformés et la signalisation sont codés pour former le train binaire compressé.

2.2 Post-transformée d'un bloc

La figure 2 illustre le processus de post-transformée d'un bloc de coefficients d'ondelettes f. Ce bloc est d'abord représenté dans toutes les bases $\mathcal{B}_b$ du dictionnaire $\mathcal{D}$. Les représentations f^b du bloc f sont ensuite quantifiées par un quantificateur scalaire uniforme à zone morte et de pas q. Enfin, la meilleure représentation f_q^{b*} en termes de débit et de distorsion est sélectionnée parmi toutes les représentations quantifiées f_q^b pour être transmise au décodeur. L'indice b^* de la base correspondante est aussi transmise afin que le décodeur puisse correctement inverser la post-transformée. Cette information supplémentaire est appelée information de *signalisation*.

Un bloc de $M = 4 \times 4$ coefficients d'ondelettes f constitue un vecteur de l'espace $\mathbb{R}^M$. Le dictionnaire $\mathcal{D}$ est constitué de $N_{\mathcal{B}}$ bases de $\mathbb{R}^M$. Les M vecteurs de la base $\mathcal{B}_b$ sont notés ϕ_m^b avec $m \in [1, M]$. On note f^b la représentation du vecteur f dans la base $\mathcal{B}_b$. La post-transformée du bloc de coefficients d'ondelettes f est effectuée par le changement de base :

$$f^b = \sum_{m=1}^{M} < f, \phi_m^b > \phi_m^b.$$

Les coefficients post-transformés notés $a_b[m]$ correspondent aux produits scalaires entre le vecteur f et les vecteurs ϕ_m^b de la base $\mathcal{B}_b$:

$$a_b[m] =< f, \phi_m^b > .$$

Dans [9], nous avons montré que les bandelettes directionnelles n'exploitent pas certaines dépendances. Dans la suite, nous n'utilisons donc pas de bases directionnelles. De plus, afin de limiter au maximum la complexité calculatoire, nous limitons le dictionnaire $\mathcal{D}$ à une seule post-transformée : la post-transformée de Hadamard. Deux représentations d'un bloc f sont donc mises en concurrence : le bloc non post-transformée $f^0 = f$ et la représentation de

ce bloc dans la base de Hadamard f^1. C'est le critère de sélection qui permet de choisir la meilleure des deux pour la compression. La post-transformée de Hadamard présente plusieurs avantages. Elle possède la même propriété de compaction d'énergie que nous avons identifié dans [10] et qu'il est possible d'exploiter au moment du codage. De plus, elle est très peu complexe du point de vue calculatoire puisqu'elle ne nécessite aucune multiplication. Enfin, elle permet d'obtenir de bons résultats en compression.

2.3 Critère de sélection de la meilleure post-transformée

En vue de l'optimisation de la compression, le choix de la meilleure base $\mathcal{B}_b$ pour la représentation du bloc de coefficients d'ondelettes f est effectué par minimisation d'un critère de débit-distorsion. Une diminution du débit R ayant très souvent comme corollaire une augmentation de la distorsion D, un lagrangien est utilisé :

$$b^* = \underset{b\in[0,N_{\mathcal{B}}]}{\arg\min}\, D(f_q^b) + \lambda\, R(f_q^b). \qquad (1)$$

$D(f_q^b)$ est l'erreur quadratique due à la quantification de la post-transformée f^b, $R(f_q^b)$ est une estimation du débit nécessaire au codage des coefficients quantifiés de f_q^b et λ est le multiplicateur de Lagrange optimisé pour la compression. Dans [11], nous avons montré que le multiplicateur de Lagrange optimal peut être approché par :

$$\lambda = 0,15\, q^2.$$

2.4 Modification du critère

Cependant, dans un algorithme de compression produisant un train binaire emboîté, comme le codage est effectué par plan de bits par plan de bits, le pas de quantification q n'est pas défini. Ceci pose problème dans le processus de sélection de la post-transformée. En effet, la post-transformée sélectionnée dépend fortement de q : le critère débit-distorsion (1), le calcul de la distorsion $D(f_q^b)$, l'estimation du débit $R(f_q^b)$ et le multiplicateur de Lagrange $\lambda = \alpha\, q^2$ dépendent de ce pas de quantification.
Dans [12], nous remplaçons ce critère (1) par le critère de minimisation de la norme l_1 des représentations post-transformée f^b :

$$b^* = \underset{b\in[0,N_{\mathcal{B}}]}{\arg\min}\, \|f^b\|_1 \quad \text{avec} \quad \|f^b\|_1 = \sum_{m=1}^{M} |a_b[m]|. \qquad (2)$$

Notons que ce critère ne dépend pas du pas de quantification q. Comme les post-transformées sont orthonormales, l'énergie des représentations post-transformées f^b est la même que l'énergie du bloc de coefficients d'ondelettes f. En minimisant la somme de l'amplitude des coefficients, ce critère de parcimonie favorise les représentations post-transformées qui ont un grand nombre de coefficients d'amplitude faible et un petit nombre de coefficients d'amplitude élevée. Le débit nécessaire au codage de la représentation sélectionnée f^{b*} est donc minimisé. La distorsion est elle aussi minimisée puisqu'une grande partie de l'énergie est restaurée dans les premiers plans de bits décodés sur les coefficients d'amplitude élevée. Enfin, ce critère est moins complexe du point de vue calculatoire que le critère débit-distorsion (1) ce qui est souhaitable pour envisager une compression à bord des satellites.
Ce nouveau critère de sélection des post-transformées ne donne pas de bons résultats en compression à bas débit avec le schéma présenté précédemment. Cela est principalement dû au coût de la signalisation. En effet, avec le critère (1), ce coût était pris en compte dans l'estimation du débit $R(f_q^b)$. Il était naturellement plus faible à bas débit qu'à haut-débit. Avec le nouveau critère (2), la sélection des post-transformées ne dépend pas du débit. Le coût de signalisation est donc fixe pour une image donné. En conséquence, il est plus significatif dans une compression à bas débit que dans une compression à haut débit.
Heureusement, dans le cas d'une compression progressive, il n'est pas nécessaire de transmettre l'information de signalisation en en-tête du train binaire. Il est possible de l'insérer dans le train binaire emboîté. En effet, au décodage il suffit de disposer de l'information sur la post-transformée des blocs qui ont au moins un coefficient non nul. Si tous les coefficients du blocs sont nul, $f = 0$ dans n'importe quelle base. Il n'est pas nécessaire de connaître la base de post-transformée. Comme le décodage est progressif, au début du décodage, la plupart des blocs sont nuls. Très peu de signalisation est donc nécessaire. A bas débit, le coût de la signalisation est donc fortement réduit.

3 Codage progressif dans le CCSDS

3.1 Description du codeur du CCSDS

Le codeur par plans de bits du CCSDS [7] a été spécialement conçu pour la compression à bord des satellites. Après une transformée en ondelettes sur trois niveaux, le codeur traite des *blocs* de 64 coefficients d'ondelettes correspondant à une région de taille 8×8 pixels dans l'image originale. Chaque bloc comporte :
- 1 coefficient de la sous-bande LL_3 ;
- 3×1 coefficients des sous-bandes HL_3, LH_3 et HH_3 : les parents ;
- 3×4 coefficients des sous-bandes HL_2, LH_2 et HH_2 : les enfants ;
- 3×16 coefficients des sous-bandes HL_1, LH_1 et HH_1 : les petit-enfants.

La figure 3 illustre cette répartition. Les blocs sont codés plan de bits par plan de bits. Le codeur du CCSDS exploite des plages de zéros dans les plans de bits par l'utilisation de *mots de transition*. Aussi, afin de localiser ces plages de zéros, plusieurs ensembles de coefficients sont définis sur la figure 3.
- les coefficients parents sont notés p_i avec $i \in [0, 2]$;
- les ensembles de 4 coefficients enfants de la même sous-bande c_{ij} avec $j \in [0, 3]$ sont notés C_i ;
- les ensembles de 16 coefficients petits-enfants de la même sous-bande sont notés G_i ;

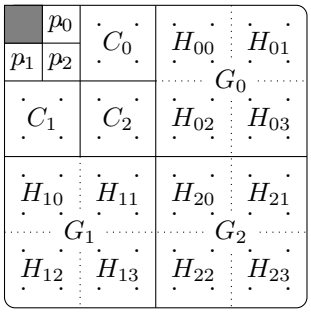


Figure 3 – *Bloc de 64 coefficients d'ondelettes tel que défini dans le standard du CCSDS.*

- chaque ensemble G_i est partitionné en 4 sous-ensembles de 4 coefficients notés H_{ij} ;
- la concaténation des ensembles C_i et G_i forme l'ensemble des descendants noté D_i ;
- la concaténation de tous les ensembles de descendants D_0, D_1 et D_2 forme l'ensemble B.

A un plan de bits b, après le codage des coefficients parents, des mots de transition sont utilisés pour signaler les plages de zéros, c'est-à-dire les ensembles dans lesquels tous les coefficients sont non signifiants au plan de bits b. Ainsi, le premier mot de transition $tran_B$ est un mot de 1 bit indiquant si tous les coefficients de l'ensemble B sont encore non signifiants au plan de bits b. Sinon, le mot de transition $tran_D$ permet d'indiquer les ensembles D_i dans lesquels tous les coefficients sont encore non signifiants. Dans les ensembles D_i contenant des coefficients signifiants, les coefficients enfants des ensembles C_i sont codés. Le mot de transition $tran_G$ indique les ensembles G_i dans lesquels tous les coefficients petits-enfants sont encore non signifiants. Enfin, dans les ensembles G_i contenant des coefficients signifiants, le mot de transition $tran_{Hi}$ indique les groupes H_{ij} dans lesquels tous les coefficients sont encore non signifiants. Les coefficients petits-enfants des groupes H_{ij} signifiants sont ensuite codés. L'algorithme 1 est un extrait de la recommandation [7] et détaille le codage des coefficients enfants et petits-enfants.

Algorithme 1 : Extrait du codeur du CCSDS

- Étape 2 (enfants)
  1. $tran_B$;
  2. $tran_D$, si $tran_B \neq 0$;
  3. $types_b[C_i]$ et $signs_b[C_i]$ pour tout i tel que $t_{max}(D_i) \neq 0$.
- Étape 3 (petits-enfants) si $tran_B \neq 0$
  1. $tran_G$;
  2. $tran_{Hi}$, pour tout i tel que $t_{max}(G_i) \neq 0$;
  3. $types_b[H_{ij}]$ et $signs_b[H_{ij}]$ pour tout i tel que $t_{max}(G_i) \neq 0$ et tout j tel que $t_{max}(H_{ij}) \neq 0$.

3.2 Codage de la post-transformée

Les petits-enfants forment des ensembles de 4×4 coefficients G_i. C'est aussi la taille des blocs post-transformés. La post-transformée n'est donc appliquée que sur le premier niveau de la décomposition en ondelettes qui correspond aux coefficients petit-enfants. De plus, nous avons vu que les petits-enfants sont codés par groupes de 4 coefficients H_{ij}. Afin de favoriser des plages de zéros dans les groupes H_{ij}, les vecteurs de la base de Hadamard sont organisés par contribution d'énergie. On exploite ainsi la propriété de compaction d'énergie. La figure 4 illustre cette organisation des vecteurs pour la post-transformée dans la sous-bande HL_1. Des organisations différentes conviennent aux sous-bandes LH_1 et HH_1.

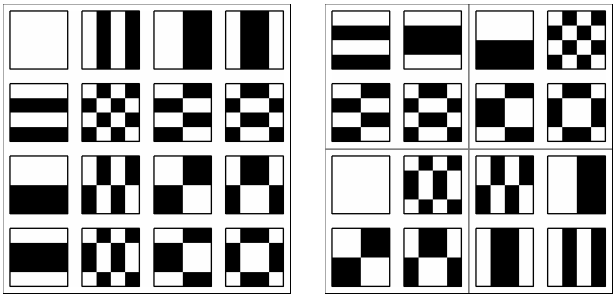


Figure 4 – *(a) Base de Hadamard. (b) Base de Hadamard dont les vecteurs ont été organisés par contribution d'énergie pour la sous-bande HL_1.*

Nous avons aussi vu dans la section 2.4 que la signalisation de la post-transformée doit être intégrée progressivement dans le train binaire. Pour cela l'étape de codage des petits enfants est modifiée selon l'algorithme 2.

Algorithme 2 : Signalisation de la post-transformée dans l'algorithme du CCSDS

- Étape 3 (petits-enfants) si $tran_B \neq 0$
  1. $tran_G$;
  2. b_i, pour tout i tel que $t_{max}(G_i) \neq 0$ (signalisation de la post-transformée) ;
  3. $tran_{Hi}$, pour tout i tel que $t_{max}(G_i) \neq 0$;
  4. $types_b[H_{ij}]$ et $signs_b[H_{ij}]$ pour tout i tel que $t_{max}(G_i) \neq 0$ et tout j tel que $t_{max}(H_{ij}) \neq 0$.

b_i est un bit identifiant si le bloc i a été post-transformé dans la base de Hadamard ($b_i = 1$) ou non post-transformé ($b_i = 0$).

3.3 Résultats

Les résultats en compression reportés sur la figure 5 sont des moyennes issues de la compression de onze images d'observation de la Terre à très haute résolution. Ces images ont une dynamique de 12 bits. Ce sont des images

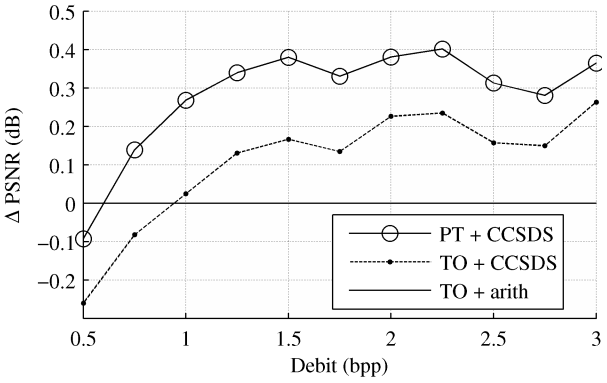


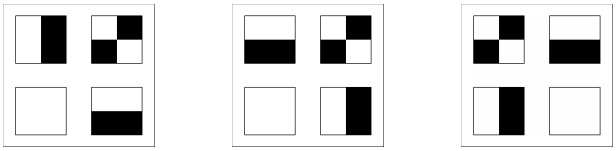
Figure 5 – *Comparaisons des résultats de trois schémas de compression.*

simulées PLEIADES à 70 cm de résolution au sol et des images issues du capteur aéroporté PELICAN à 25 cm de résolution.
Sur cette figure, les résultats de trois schémas de compression sont comparés. La référence, ligne 0 dB notée « TO + arith », correspond aux résultats obtenus par une transformée en ondelettes suivi d'une quantification scalaire uniforme à zone morte et d'un codage arithmétique adaptatif des coefficients d'ondelettes quantifiés. Aucune dépendance entre coefficients d'ondelettes n'est donc exploitée dans ce schéma de compression. Les résultats notés « TO + CCSDS » ont été obtenus avec la recommandation du CCSDS. Bien que le codage soit effectué à base de codes de Golomb-Rice moins complexes que le codage arithmétique adaptatif, l'exploitation des plages de zéros et le codage par plans de bits permettent à la recommandation du CCSDS d'être plus performante que la référence pour des débit supérieurs à 1 bpp. Les résultats notés « PT + CCSDS » ont été obtenus avec la post-transformée suivi du codeur du CCSDS dans lequel la signalisation de la post-transformée a été incluse (cf. Algorithme 2). Bien qu'elle ait été extrêmement simplifiée pour réduire la complexité au minimum, cette post-transformée permet d'accroître les résultats en compression d'environ 0,2 dB par rapport à la recommandation du CCSDS.

4 Post-transformée et codage des coefficients enfants

4.1 Post-transformée des enfants

On note c_{ij} avec $j \in [0,3]$ les quatre coefficients enfants de l'ensemble C_i. Les ensembles de coefficients enfants C_i peuvent aussi être post-transformés. L'idée est de renforcer les dépendances entre les coefficients post-transformés enfants c_{ij} et les coefficients post-transformés dans les groupes de petits-enfants H_{ij}. Pour cela, la base de Hadamard dans $\mathbb{R}^4$ est utilisée et, de même que précédemment, les vecteurs de cette base sont ordonnés par contribution d'énergie dans les différentes sous-bandes comme cela est représenté sur la figure 6. Pour renforcer les dépendances



(a) HL_2 (b) LH_2 (c) HH_2

Figure 6 – *Bases de Hadamard dans $\mathbb{R}^4$ dont les vecteurs ont été ordonnés par contribution d'énergie dans les sous-bandes HL_2, LH_2 et HH_2.*

entre enfants et petits-enfants, il faut post-transformer simultanément les coefficients C_i et G_i. La concaténation d'un coefficient enfant noté c_{ij} et des quatre coefficients petits-enfants du groupe H_{ij} est notée $K_{ij} = \{c_{ij}, H_{ij}\}$. Cet ensemble K_{ij} est post-transformé si la somme des valeurs absolues des coefficients post-transformés est inférieure à la somme des valeurs absolues des coefficients d'ondelettes de cet ensemble. C'est le critère de minimisation de la norme l_1. Comme les coefficients des ensembles C_i et G_i ont été post-transformés simultanément et triés par ordre d'énergie, la dépendance statistique entre un coefficient c_{ij} et les coefficients du groupe H_{ij} est renforcée. Cependant, le codeur de l'algorithme standard du CCSDS n'exploite pas les dépendances entre les coefficients enfants et les coefficients petits-enfants. Pour tirer profit de ces nouvelles dépendances entre les coefficients enfants c_{ij} et les coefficients petits-enfants H_{ij}, il est nécessaire de le modifier.

4.2 Modification de l'algorithme du CCSDS

De nouveaux mots de transition nommés $tran_{Ki}$ avec $i \in [0,2]$ sont définis. Ils permettent de signaler les ensembles K_{ij} avec $j \in [0,3]$ dans lesquels aucun coefficient n'est signifiant :

$$tran_{Ki} = \begin{array}{l} tword[\{t_{max}(K_{ij}) \ : \ j = 0,1,2,3\}] \\ \text{pour } i = 0,1,2. \end{array}$$

De plus, les mots de transition $tran_{Hi}$ sont modifiés :

$$tran_{Hi} = \begin{array}{l} tword[\{t_{max}(H_{ij}) \ : \ j = 0,1,2,3, \text{ tel que} \\ t_{max}(K_{ij}) > 0 \text{ et } t_b(c_{ij}) > 0 \text{ dans le plan de} \\ \text{bits courant ou tout autre plan de bits plus} \\ \text{significatif}\}] \text{ pour } i = 0,1,2. \end{array}$$

Désormais, les mots de transition $tran_{Hi}$ servent à indiquer quels sont les groupes de petits-enfants H_{ij} de la famille i qui deviennent signifiants au plan de bits codé. Il suffit d'indiquer les groupes H_{ij} pour lesquels $t_{max}(K_{ij}) > 0$. En effet, si $t_{max}(K_{ij}) \leq 0$, le mot $tran_{Ki}$ aura déjà indiqué qu'aucun coefficient du groupe $K_{ij} = \{c_{ij}, H_{ij}\}$ n'est signifiant. De plus, si $t_{max}(K_{ij}) > 0$ et c_{ij} n'est pas signifiant, il existe forcément un petit-enfant du groupe H_{ij} qui est signifiant. Dans ce cas là, il n'est pas nécessaire de signaler que le groupe H_{ij} est signifiant. Notons qu'avec cette modification, les mots de transition

$tran_{Hi}$ peuvent désormais prendre la valeur $\{0, 0, 0, 0\}$ dans le cas où tous les enfants sont signifiants et aucun petit-enfant n'est signifiant.

Les étapes de codage 2 et 3 correspondant au codage des enfants et des petits-enfants sont modifiées comme indiqué dans l'algorithme 3.

Algorithme 3 : Modification du codeur du CCSDS

– Étape 2 (enfants)
  1. $tran_B$;
  2. $tran_D$, si $tran_B \neq 0$;
  3. b_i, pour tout i tel que $t_{max}(D_i) = 1$ (signalisation de la post-transformée) ;
  4. $tran_{Ki}$ pour tout i tel que $t_{max}(D_i) \neq 0$;
  5. $types_b[\{c_{ij}\}]$ et $signs_b[\{c_{ij}\}]$ pour tout i tel que $t_{max}(D_i) \neq 0$ et tout j tel que $t_{max}(K_{ij}) \neq 0$.

– Étape 3 (petits-enfants) si $tran_B \neq 0$
  1. $tran_{Hi}$, pour tout i tel que $t_{max}(D_i) \neq 0$;
  2. $types_b[H_{ij}]$ et $signs_b[H_{ij}]$ pour tout i tel que $t_{max}(D_i) \neq 0$ et tout j tel que $t_{max}(H_{ij}) \neq 0$.

Cette modification permet de prendre en compte les dépendances entre enfants et petits-enfants dans les ensembles K_{ij} avec les mots de transition $tran_{Ki}$. Nous avons choisi de ne pas conserver le mot de transition $tran_G$ car après cette modification il ne permet d'économiser des bits que dans les cas où beaucoup d'enfants sont signifiants et très peu de petits-enfants sont signifiants. Ces cas là sont peu probables. L'implantation de cette modification est en cours.

5 Conclusions

Nous avons montré que les dépendances résiduelles entre coefficients d'ondelettes peuvent être exploitées de deux façons différentes. La première méthode est de les exploiter dans un codeur évolué tel que le codeur du CCSDS. La seconde est de les exploiter par des post-transformées. Or ces deux méthodes n'exploitent pas les même dépendances. Le codeur du CCSDS exploite des dépendances d'information dans des plages de zéros inter- et intra-échelles dans les plans de bits. Les post-transformées exploitent des dépendances linéaires entre coefficients voisins. Nous avons montré que ces deux méthodes peuvent être combinées avantageusement dans un schéma de compression de faible complexité calculatoire et qui pourrait être embarqué sur satellite. Enfin, nous avons proposé une modification du codeur du CCSDS afin d'exploiter des dépendances inter-échelles volontairement renforcées par les post-transformées. On envisage aussi l'utilisation des post-transformées avec d'autres codeurs par plans de bits tels que EBCOT ou SPIHT.

Références

[1] V.K. Goyal. Theoretical foundations of transform coding. *IEEE Signal Processing Magazine*, pages 9–21, Septembre 2001.

[2] X. Delaunay, C. Thiebaut, et V. Charvillat. Compression embarquée d'images satellites : vers l'exploitation de la géométrie. Dans *CORESA'06*, pages 12–17, Caen, France, Novembre 2006. France Telecom R&D.

[3] J. Liu et P. Moulin. Information-theoretic analysis of interscale and intrascale dependencies between image wavelet coefficients. *IEEE Transactions on Image Processing*, 10(11) :1647–1658, Novembre 2001.

[4] R.W. Buccigrossi et E.P. Simoncelli. Image compression via joint statistical characterization in the wavelet domain. *IEEE Transactions on Image Processing*, 8(12) :1688–1701, Décembre 1999.

[5] D.S. Taubman et M.W. Marcellin. *JPEG2000 : Image compression fundamentals, standards and practice*. Kluwer Academic Publishers, 2001.

[6] A. Said et W.A. Pearlman. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 6 :243–250, 1996.

[7] CCSDS. *Image Data Compression Recommended Standard - CCSDS 122.0-B-1 Blue Book*, Novembre 2005.

[8] G. Peyré. *Géométrie multi-échelle pour les images et les textures*. Thèse de doctorat, École Polytechnique, 2005.

[9] X. Delaunay, M. Chabert, V. Charvillat, G. Morin, et R. Ruiloba. Satellite image compression by directional decorrelation of wavelet coefficients. Dans *ICASSP'08*, pages 1193–1196, Las Vegas, NV, Avril 2008. IEEE.

[10] X. Delaunay, M. Chabert, G. Morin, et C. Thiebaut. Post-transformée dans le domaine ondelettes appliquée à la compression d'images satellite. Dans *GRETSI'07*, pages 1185–1188, Troyes, France, Septembre 2007. CNRS.

[11] X. Delaunay, E. Christophe, C. Thiebaut, et V. Charvillat. Best post-transforms selection in a rate distorsion sense. Dans *ICIP'08*, San Diego, CA, Octobre 2008. IEEE. A paraître.

[12] X. Delaunay, C. Thiebaut, E. Christophe, R. Ruiloba, M. Chabert, V. Charvillat, et G. Moin. Lossy compression by post-transforms in the wavelet domain. Dans *OBPDC'08*, Noordwijk, The Netherlands, Juin 2008. ESA/ESTEC.