

# Régulation de débit et adaptation locale de qualité pour des systèmes de compression embarqués sur satellites

Delphine LE GUEN<sup>1</sup>, Claude LABIT<sup>1</sup>, Gilles MOURY<sup>2</sup>, Dimitri LEBEDEF<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IRISA/INRIA

Campus universitaire de Beaulieu, 35042 Rennes, France

<sup>2</sup>CNES

18 avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse, France

<sup>3</sup>ALCATEL SPACE INDUSTRIES

100 boulevard du Midi, 06156 Cannes La Bocca, France

{dleguen,labit}@irisa.fr,Gilles.Moury@cnes.fr

**Résumé** – Nous présentons dans cet article une méthode de régulation de débit intégrant une double contrainte, à savoir une contrainte en débit et une contrainte en qualité locale, qualité évaluée par le calcul du SNR local. Cette régulation s’intègre dans un schéma de compression bord de données optiques, compression visant des taux de l’ordre de 6 à 10. Dans un premier temps, nous établissons une carte d’étiquettes des coefficients dans le domaine transformé afin de discriminer les régions dites à problèmes du reste de l’image. Grâce à cette classification, nous pouvons réaliser une régulation de débit locale intervenant à l’intérieur d’une fauchée ( $N$  lignes image), le débit pour l’ensemble de la fauchée étant fixé par une boucle plus globale. Pour ce faire, une version modifiée d’un algorithme de transmission progressive de type EZW (Embedded Zerotree of Wavelets) est utilisée. Cette dernière alloue le débit de façon adaptée entre les différentes classes.

**Abstract** – We present in this paper a bit-rate control method with both a rate and a quality constrain ; this last one is evaluated by the local SNR. This regulation is applied for an on-board image compression which must reach a compression ratio of 6 to 10. First we set a label map on the transformed coefficients to separate the areas which present problems from the rest of the image. Thanks to that classification, we can achieve a local bit-rate control by using a progressive transmission of the information. Thus we apply a modified EZW (Embedded Zerotree of Wavelets) algorithm in order to realize an adaptative allocation of the global target rate between the different classes.

## 1 Introduction

Les images satellitaires représentent une somme de données extrêmement importante et la contrainte de place est un souci constant pour les éléments embarqués. Que ce soit pour la transmission ou le stockage des informations, il nous faut donc comprimer ces données à bord même du satellite. Or, après diverses études menées sur le sujet [3], il s’est avéré que les techniques de compression à débit variable présentaient des performances supérieures à celles d’algorithmes de codage à débit fixe. Nous nous heurtons alors à un problème lié aux caractéristiques du réseau de transmission des données satellitaires. En effet, le canal de transmission entre la terre et les satellites de type SPOT est à débit constant (50Mbit/s) et nous nous trouvons donc dans l’obligation d’interfacer la sortie de l’unité de compression et le canal de transmission par l’intermédiaire d’une régulation de débit.

Pour l’application SPOT5, un algorithme de régulation a été mis en place par le CNES [6, 4] : il intervient sur des coefficients DCT (une version multirésolution a aussi été étudiée) et est activé toutes les 8 lignes image. Une telle méthode permet d’atteindre des taux de compression de l’ordre de 3 mais la recherche de taux supérieurs (typique-

ment 6 à 10) nous pousse à modifier les techniques utilisées afin de garantir une meilleure qualité d’image et notamment éviter l’apparition locale d’effets de blocs. Pour ce faire, nous nous proposons d’utiliser une transformation en ondelettes de l’image [5, 1] et de mettre en place une régulation à double contrainte débit-qualité. Une telle méthode passe par l’imbriquant d’une boucle de régulation locale au sein de la boucle de régulation globale existant sur SPOT5, le support de celle-ci, appelé « fauchée », étant préalablement augmenté ( $\geq 8$  lignes image). La notion de qualité locale est quant à elle intégrée par l’intermédiaire d’une classification de l’image.

## 2 Classification

Un problème inhérent à l’algorithme de régulation SPOT5 est l’attribution d’un même pas de quantification pour tout le support de régulation, à savoir 8 lignes image. En effet, une telle quantification génère des artefacts locaux pour un support présentant des caractéristiques hétérogènes : le pas de quantification n’est pas adapté pour certaines régions de la fauchée considérée. Bien qu’un traitement d’exception soit mis en place pour certains blocs de

coefficients, des artéfacts restent visibles sur les contours quand ces derniers sont « noyés » dans une zone uniforme (oscillations dues à des pertes de hautes fréquences) et, symétriquement, sur les zones uniformes proches de contours. De plus, au delà d'un certain taux de compression (typiquement 4), le nombre de blocs en exception augmentant de manière importante, le traitement d'exception tend à déstabiliser la boucle de régulation globale. Cette première phase de l'étude a donc pour but la mise en évidence de ces différents types de zones dans l'image. Afin de décrire notre méthode, nous nous restreindrons au cas de deux classes, discriminant les régions dites à problèmes du reste de l'image.

Malgré le travail de décorrélation opéré par la transformation en ondelettes appliquée à l'image (filtres 9-7 bi-orthogonaux), il subsiste tout de même des dépendances entre les coefficients des différentes sous-bandes fréquentielles. Il nous semble donc intéressant de réaliser notre classification non pas sur l'image originale mais dans le domaine transformé et d'exploiter au mieux ces dépendances. C'est pourquoi, nous avons réorganisé les coefficients d'ondelettes en les regroupant sous la forme « d'arbres inter sous-bandes ». Ces vecteurs de coefficients (FIG. 1a) sont définis par analogie avec le protocole de dépendance inter-coefficients mis en place par Shapiro dans l'algorithme EZW (Embedded Zerotree of Wavelet) [7].

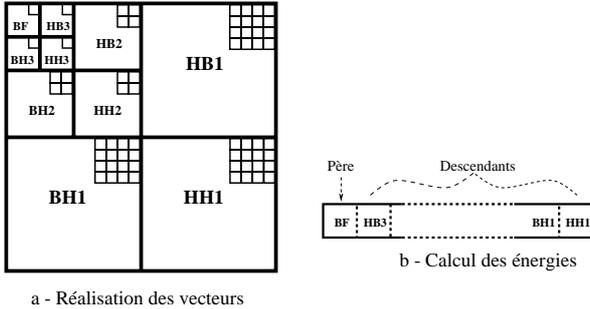


FIG. 1: Regroupement des coefficients sous forme d'arbres inter sous-bandes

Dès lors, il nous faut attribuer un label de classification à chaque vecteur de coefficients, ces derniers représentant une même extension spatiale sur l'image de départ (dans l'exemple : 64 coefficients pour une analyse multirésolution à 3 niveaux comme illustré en FIG. 1a). Afin de rester dans une certaine limite de complexité algorithmique, la classification est réalisée sur la base d'un simple critère énergétique ; nous devons donc déterminer les caractéristiques des zones à problèmes. Les vecteurs susceptibles d'appartenir à de telles zones présentent soit une énergie haute fréquence élevée (contours « noyés »), soit, inversement, une énergie haute fréquence faible, ces comparaisons étant effectuées par rapport à l'énergie haute fréquence présente sur le contexte local. L'énergie est évaluée uniquement sur les hautes fréquences, c'est à dire sur les descendants d'un vecteur (FIG.1b), car les basses fréquences représentent l'information moyenne. Afin de valider notre approche de régulation avec classification préalable, nous utilisons une

carte d'étiquettes mise en place par un expert ; cette carte met en évidence les zones posant problèmes lors d'une régulation de type SPOT5. Le développement d'un schéma de classification énergétique automatique est en cours.

### 3 Régulation locale

Une fois la classification des vecteurs de coefficients établie, il convient de coder ces coefficients et de réguler le débit en sortie du codeur. Si la boucle de régulation globale nous indique le débit  $\mathcal{D}_{total}$  dont nous disposons pour la fauchée traitée, nous désirons maintenant distribuer ce débit de façon optimale sur les classes mises en évidence. Pour ce faire nous allons mettre en place une boucle de régulation locale basée sur une transmission progressive de l'information [2].

Un codage de type EZW (Embedded Zerotree of Wavelet) répond à notre problématique [7] en nous permettant de réaliser codage et régulation en même temps. En effet, une telle technique de codage peut être considérée comme une régulation implicite du débit car elle génère un flux binaire emboîté pouvant être tronqué dès que le débit cible est atteint. Étant donné la classification préalable des coefficients en deux groupes, nous devons mettre en place deux codeurs EZW distincts s'appliquant chacun sur une des classes. Le but de cette régulation locale étant d'améliorer la qualité image sur les zones à problème, il nous faut octroyer un débit plus important aux vecteurs de la classe à problèmes, notée  $c_p$ , et coder moins finement ceux appartenant à la seconde classe, notée  $c_s$ . La notion de qualité locale apparaît alors elle aussi de façon implicite car, bien qu'elle n'intervienne pas dans le calcul du débit, la classe privilégiée présentera une qualité de reconstruction supérieure au reste de l'image. Deux paramètres sont alors à considérer par codeur : le seuil initial, à partir duquel un coefficient est jugé significatif et peut être codé, et le débit final que l'on veut allouer à la classe, à savoir  $\mathcal{D}_{c_p}$  ou  $\mathcal{D}_{c_s}$ . L'optimisation conjointe de ces deux paramètres pour chaque classe permet un codage adapté des coefficients d'ondelettes, tel que :

$$\begin{cases} \mathcal{D}_{c_p} = \mathcal{N}_p \times d_p \\ \mathcal{D}_{c_s} = \mathcal{N}_s \times d_s \end{cases} \text{ avec } \begin{cases} d_p = \mathcal{K} \times d_s \\ \mathcal{D}_{c_p} + \mathcal{D}_{c_s} = \mathcal{D}_{total} \end{cases} \quad (1)$$

où  $d_p$  et  $d_s$  représentent les débits en bits par point pour chacune des classes et  $\mathcal{N}_p$  et  $\mathcal{N}_s$  le nombre de vecteurs présents dans chaque classe.

En ce qui concerne la valeur de  $\mathcal{K}$ , qui caractérise la proportionnalité entre les débits de chaque classe, elle est réglée, dans notre exemple, de façon expérimentale. Une étude sur l'image globale nous montre l'intérêt d'un calcul automatique de cette valeur. Ainsi, nous pourrions non plus déterminer une seule valeur de  $\mathcal{K}$  sur l'image mais la faire évoluer par fauchée. Quant au seuil de départ, paramètre qui détermine la valeur initiale du pas de quantification, il est calculé pour chaque fauchée et chaque classe sur la fauchée. Dès lors, la quantification des coefficients de la classe  $c_l$  de la fauchée  $f_k$  débute avec la valeur de pas  $Q_{0_{k,l}}$  suivante :

$$Q_{0_{k,l}} = \frac{(\max_{(i,j) \in (f_k \cap c_l)} |coeff(i,j)|)}{2} \text{ avec } l = p \text{ ou } s \quad (2)$$

## 4 Résultats

Les résultats que nous proposons ont été établis pour l'image « Gènes miroir » (FIG.2) qui présente des zones intéressantes pour notre étude, à savoir les zones portuaires au centre de l'image. En effet, de telles régions présentent de forts artefacts lors d'une régulation globale de type SPOT5, cette dernière n'étant plus appropriée pour la gamme de taux visée (6 et plus). La régulation locale que nous avons mise en place nous permet donc de coder de façon plus adaptée ces zones à caractéristiques fréquentielles très hétérogènes.



FIG. 2: Gènes: image originale (2000x1600)

Dans un premier temps, nous allons mettre en évidence les avantages d'une régulation implicite de type EZW par rapport à l'algorithme de régulation SPOT5, ce dernier s'intégrant dans un schéma de codage soit par DCT, soit par analyse multirésolution de l'image. Pour ce faire nous comparons les résultats obtenus par ces différentes techniques sur des supports de régulation de 8 lignes image pour un taux de compression  $T = 6$ .

Aucune classification n'étant réalisée pour l'approche de transmission progressive, la notion de qualité n'est pas encore intégrée au problème et nous générons donc simplement un flux emboîté que nous tronquons de façon à atteindre la valeur de débit désirée sur la fauchée (sur « Gènes miroir »,  $D_{total} = 21kbits$  ce qui correspond à un taux de compression de 6 pour la fauchée). Les artefacts n'étant pas visibles à l'œil nu, nous appliquons des post-traitements radiométriques sur chaque image reconstruite, à savoir une égalisation d'histogramme suivie d'un zoom (FIG.3). Si nous focalisons notre comparaison en extrayant une des zones dite à problèmes, nous pouvons remarquer qu'un codage de type EZW permet une reconstruction de meilleure qualité. En effet, les problèmes rencontrés sur les contours des digues ainsi que les effets de blocs apparents sur les zones de mer sont nettement atténués.

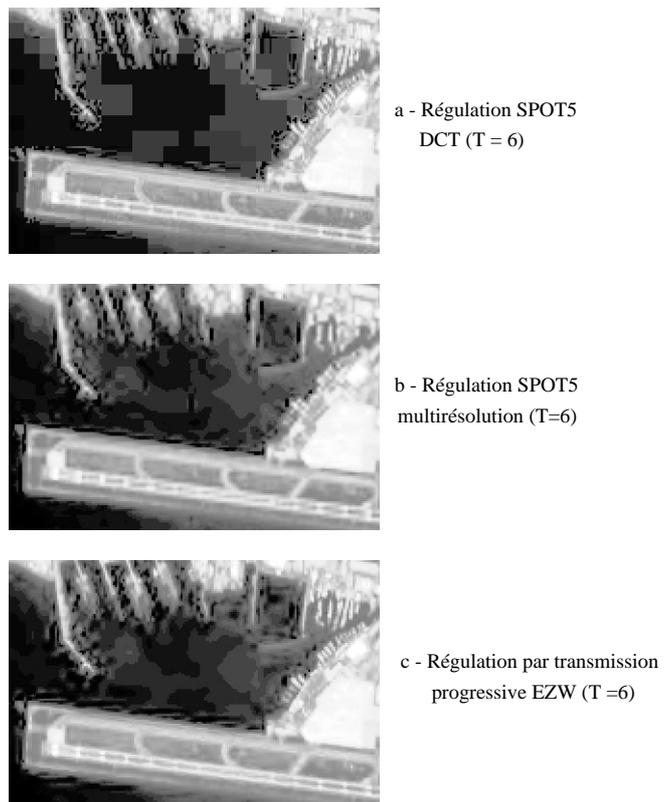


FIG. 3: Comparaison entre les méthodes de régulation SPOT5 DCT (a), régulation SPOT5 et compression multirésolution (b) et transmission progressive par EZW (c)

Malgré tout, ces artefacts restent quand même visibles et seule l'intégration de la notion de qualité locale permet une amélioration sensible sur de telles zones. C'est pourquoi, nous avons mis en place une régulation plus locale intervenant au sein d'une fauchée de 64 lignes image et découlant d'une classification des coefficients d'ondelettes. La carte d'étiquettes est générée d'après une connaissance a priori des zones à problèmes (FIG.4) et nous évaluons la qualité de reconstruction par le calcul du SNR local, de la façon suivante :

$$SNR = \frac{\sigma_{b_{original}}}{\sigma_{b_{différence}}}$$

où  $\sigma_b$  représente la variance sur un voisinage de taille 8x8.

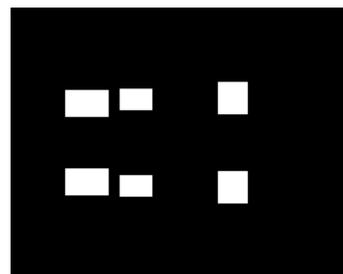


FIG. 4: Classification des vecteurs de coefficients d'ondelettes obtenue par connaissance a priori des zones à problèmes

Une analyse visuelle des images reconstruites (FIG.5) montre que la régulation mise en place entraîne une diminution des artéfacts, notamment sur les zones de mer au contact des contours. En terme de SNR, une étude de l'évolution du critère le long d'une tranche de 8 lignes image (FIG.6), confirme la nette amélioration obtenue après classification. En ce qui concerne la dégradation engendrée sur le reste de l'image, elle intervient essentiellement sur des zones à fort contraste et est donc peu visible. Il est cependant difficile de conclure avec ce critère, quant à la qualité sur les zones de mer, ces dernières présentant un niveau de signal faible. En effet, la variance du signal original étant faible, le SNR reste peu élevé quelque soit la technique de régulation employée. Seule l'analyse visuelle nous informe donc de l'amélioration de qualité sur de telles zones.

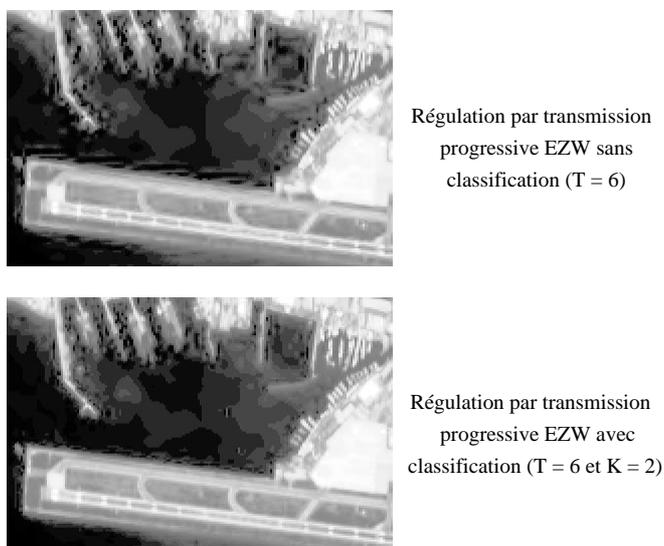


FIG. 5: Comparaison entre les méthodes de régulation EZW avec et sans classification sur un extrait de l'image reconstruite

## 5 Conclusion et perspectives

La technique de régulation de débit présentée s'inscrit dans le cadre d'une compression embarquée visant des taux de compression supérieurs à 6. Les résultats obtenus montrent bien l'intérêt d'une régulation implicite locale faisant intervenir une classification des coefficients. Il s'avère en effet qu'une classification préalable des coefficients transformés entraîne un gain en qualité sur les zones délicates à compresser sans pour autant dégrader de manière significative le reste de l'image. Cependant, l'implantation à bord d'un tel schéma de codage nécessite une évolution des performances des éléments embarqués.

Quelques perspectives intéressantes s'offrent à nous, avec, tout d'abord une évolution possible du débit global par fauchée grâce à la mise en place de la boucle de régulation globale [4]. De plus, nous pourrions considérer une classification arborescente tenant compte d'une part des caractéristiques des différents problèmes rencontrés et discriminant d'autre part les zones uniformes des zones faiblement texturées. Enfin, une prise en compte plus explicite de la notion de qualité pourra être envisagée au travers d'une loi reliant débit et qualité locale. Afin de privilégier la qualité de reconstruction, la condition de troncature du flux binaire pourra alors intégrer en plus du débit cible cette contrainte explicite de qualité.

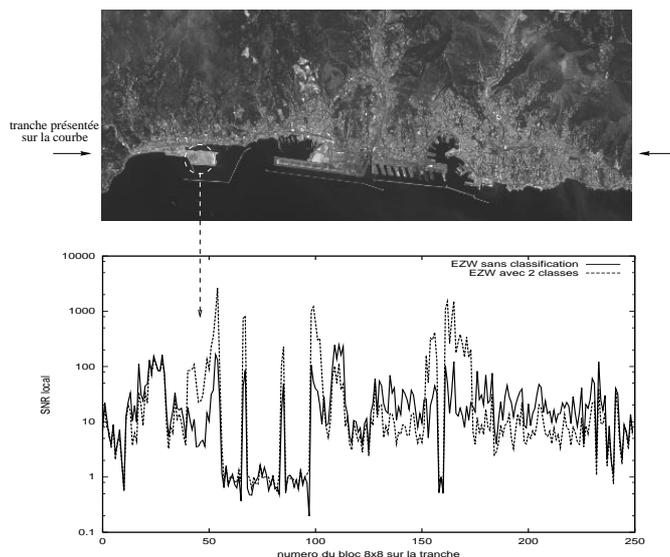


FIG. 6: Courbes de l'évolution des SNR locaux sur une tranche de 8 lignes image ( $T = 6$  et  $K = 2$ )

téristiques des différents problèmes rencontrés et discriminant d'autre part les zones uniformes des zones faiblement texturées. Enfin, une prise en compte plus explicite de la notion de qualité pourra être envisagée au travers d'une loi reliant débit et qualité locale. Afin de privilégier la qualité de reconstruction, la condition de troncature du flux binaire pourra alors intégrer en plus du débit cible cette contrainte explicite de qualité.

## Références

- [1] Antonini (Marc). – *Transformée en ondelettes et compression numérique des images*. – Thèse de doctorat, Université de Nice-Sophia Antipolis, Septembre 1991.
- [2] De Maistre (Nicolas). – *Progressivité et scalabilité pour la représentation d'images numériques*. – Thèse de doctorat, Université de Rennes I, 1998.
- [3] GDR-PRC'ISIS. – *Atelier CNES: Compression de données, état de l'art et perspectives*. – Novembre 1996.
- [4] Lier (Ph.), Moury (G.), Latory (C.) et Cabot (F.). – Selection of the SPOT5 image compression algorithm. In: *Earth Observing Systems III*. SPIE. – San Diego, Juillet 1998.
- [5] Mallat (Stéphane G.). – A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 11, n° 7, Juillet 1989, pp. pages 674–693.
- [6] Moury (Gilles). – Dispositif pour la transmission d'images relevées par satellite. – Brevet européen EP 0 631 443 A1, Juin 1994. Centre National d'Etudes Spatiales.
- [7] Shapiro (Jerome M.). – Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 41, n° 12, Décembre 1993, pp. 3445–3462.