

# Dématriçage et compression JPEG2000 en microscopie optique

B. Parrein, M. Tarin, P. Horain

GET/INT, Dép. EPH  
9, rue Charles Fourier – 91011 Evry – France

{benoit.parrein, marc.tarin, patrick.horain}@int-evry.fr

## Résumé

Cet article présente une comparaison entre plusieurs solutions mettant en jeu des méthodes interpolation d'image couleur acquise par un capteur mono-CCD (dématriçage) et un codage par ondelette JPEG2000. L'étude est particulièrement décisive dans un contexte d'applications télédiagnostiques en microscopie optique qui utilisent ce type de capteur et manipulent des images de très grandes dimensions i.e. 64Kx64K pixels. Alors que le codage est habituellement effectué après le dématriçage, nous considérons et proposons également des solutions qui commutent ces deux traitements afin d'améliorer à la fois le rendement de la chaîne globale et la qualité des images visualisées de manière interactive.

## Mots clefs

Microscopie optique, dématriçage, codage JPEG2000, visualisation interactive, JPIP.

## 1 Introduction

Pour acquérir une image couleur, de nombreux capteurs utilisent encore la technologie mono-CCD (*Charged Couple Device*) en faisant appel généralement à un réseau de filtres couleurs introduit par Bayer en 1976 [1]. Dans le plan image, la disposition chromatique résulte d'un sous-échantillonnage par deux et d'un déphasage des composantes rouge et bleue dans les deux directions verticale et horizontale. L'échantillonnage en quinconce obtenu se complète à un échantillonnage en quinconce du vert pour constituer entièrement la grille de pixels. Une image de Bayer est représentée à la figure 1. Pour obtenir les 3 plans RVB à partir d'un échantillonnage de Bayer, il est nécessaire d'effectuer une opération d'interpolation appelée communément opération de dématriçage (*demosaiçking*). Ce problème fait l'objet de nombreuses publications récentes [2][3]. Par un échange inter sous-bande ou à l'aide d'un post-traitement adapté, les artefacts typiques tels que la perte de contraste ou l'effet de fermeture à glissière peuvent être très fortement atténués. Lorsque ces images interpolées sont injectées dans un système de communication, il est utile de considérer que leur poids a été multiplié par 3 : une importante quantité d'information couleur est en effet calculée. À notre

connaissance, seuls les travaux de [4] abordent globalement le problème de la transmission et du rendu d'un signal Bayer. Deux stratégies sont alors possibles : effectuer le dématriçage avant le codage i.e. côté émetteur ou effectuer le dématriçage après le décodage i.e. côté récepteur. C'est précisément sur ces couplages dématriçage – codage que se porte notre étude.

Contrairement au JPEG classique induisant les effets de bloc, le codage par ondelette JPEG2000 n'interdit pas l'utilisation de méthodes de dématriçage avec détection de contour. Dans ce contexte, nous utilisons le dématriçage proposé dans [5] pour réaliser la comparaison entre 3 couplages à savoir entre :

- le couplage conventionnel dématriçage puis codage ;
- le couplage de [4] avec une adaptation au codage par ondelette ;
- un couplage original codage (de l'image Bayer d'origine) puis dématriçage.

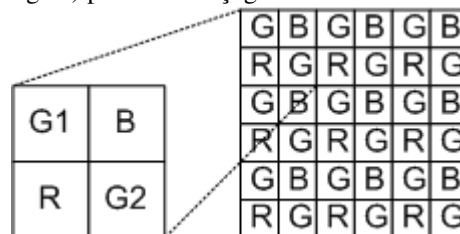


Fig. 1 : Motif de Bayer [1]. R, G et B indiquent respectivement les composantes rouge, verte et bleue. G peut être séparée en 2 autres composantes G1 et G2.

Initialement, les travaux de [4] sont proposés dans le cadre d'un codage JPEG DCT d'images tests classiques. Dans ce papier, nous proposons d'adapter la méthode à un codage par ondelette JPEG2000 d'images de très grandes dimensions à la limite permise par la norme soit 64Kx64K pixels. Ces dernières images sont le fruit d'une série d'acquisitions en microscopie optique suivie d'un mosaïquage par corrélation de phase. Leur consultation à distance exploite le protocole interactif JPIP (*Jpeg2000 Interactive Protocol*) qui est inclus dans la norme JPEG2000. De manière originale, [4] effectue avant le codage une transformation couleur permettant le passage du domaine RVB au domaine YCrCb suivie d'une rotation à 45° de la seule composante Y. En procédant ainsi, les relations spatiales des échantillons de la

composante la plus importante pour le système visuel humain, à l'origine en quinconce, sont préservées. Aucune haute fréquence n'est ici générée artificiellement ce qui permet de réduire le débit du codeur entropique (une transformation inverse et une étape de dématricage sont ensuite nécessaires pour afficher l'image RVB). Cependant, du point de vue de la consultation interactive, les différences géométriques entre la version stockée et celle visualisée obligent une conversion des requêtes de l'utilisateur. Outre les approches précédentes, nous proposons également dans ce papier une méthode qui évite cette conversion en codant directement le signal Bayer et en effectuant l'opération de dématricage au niveau du poste terminal.

## 2 Codage de source pour des applications interactives

### 2.1 Cœur du système de codage

JPEG2000 est le nouveau standard de compression d'images fixes par transformation ondelette associant un même système de codage pour la compression avec et sans perte. Pour le codage des coefficients ondelettes, l'algorithme EBCOT (*Embedded Block Coding with an Optimized Truncation*) construit un flux codé scalable qui permet différents modes de progression avec une possibilité de décompression multiple. Les couches de qualité (*L mode*), la résolution (*R mode*), les composantes (*C mode*) ou encore la position spatiale des pixels (*P mode*) sont autant d'ordonnements possibles pour les données images. Des données auxiliaires, tel qu'un rapport médical peuvent être facilement introduites au format XML [6]. Aussi, le principal avantage du standard JPEG2000 est la structure de son flux binaire. Il est complètement décrit dans [7]. Dans un contexte télédiagnostique, l'accès aléatoire propre à la navigation interactive détermine le mode de transmission progressive. La résolution et une progressivité spatiale (*RPCL mode*) est dans ce cas le plus efficace pour supporter l'interactivité.

### 2.2 JPEG2000 Interactive Protocol (JPIP)

Cette partie du standard se concentre sur les interactions à distance exercées sur des contenus JPEG2000 dans l'Internet. Avec JPIP, un simple terminal ne reçoit pas systématiquement la totalité d'un fichier compressé. Des requêtes idoines permettent de récupérer l'information utile qui correspond à la fenêtre de navigation. Ce protocole repose sur le protocole HTTP :

```
GET <ressource> ?<attribut> HTTP 1/1.
```

Par exemple :

```
GET images/widefield.jp2?
```

```
R=512,640&O=0,0&S=512,478&C=0,1,2
```

correspond à la requête des 3 composantes 0, 1, 2 *i.e.* rouge, verte et bleue (C=0,1,2) de la région dans le

coin haut gauche (O=0,0) à la résolution 512x640 dans la fenêtre utilisateur de dimension 512x648. Bien que l'image entière soit ici `widefield.jp2` comportant 25498x34192 pixels, seulement quelques kilo octets sont transmis pour satisfaire la requête. De plus, une gestion du cache évite la retransmission d'information quand une zone est consultée deux fois dans la même session. Le protocole JPIP est donc particulièrement efficace pour des applications télédiagnostiques qui mettent en jeu de très grandes images *e.g.* images de lames en microscopie optique avec une transmission à bas débit.

## 3 Interpolation et compression

L'objet de cette section est la présentation des trois méthodes retenues pour la comparaison des couplages dématricage - codage par ondelettes. Le dématricage avant le codage est la solution classique. Elle suppose à la fois une interpolation de la composante verte en quinconce et des deux autres composantes. Après dématricage, les composantes sont transformées d'un espace RVB vers un espace YCrCb plus approprié pour la compression couleur (une composante chromatique Y pour deux composantes achromatique Cr et Cb). Par défaut, le codage JPEG2000 inclut ce qui est appelé un sous-échantillonnage « mou » des composantes chromatiques dans la mesure où il est pondéré par la fonction de sensibilité au contraste. Le sous-échantillonnage brutal des composantes Cr et Cb de type 4:2:0 n'est pas employé. En pratique, les composantes sont sous-échantillonnées selon la résolution et la distance à laquelle l'image est visualisée. Ainsi, avec la solution classique les composantes sont respectivement sur et sous échantillonnées respectivement par le dématricage et le codage.

Afin d'éviter ce double travail et la transmission d'information interpolée, l'étape de dématricage peut être effectuée après le décodage juste à temps pour la visualisation. Une proposition simple est de décaler chaque ligne de pixels vert dans la direction horizontale et d'ôter les colonnes vides de manière à obtenir un échantillonnage 8-connexe. Cependant, des hautes fréquences artificielles sont créées dans ce cas qui peuvent être irréversiblement filtrées par un codage bas débit. Une autre méthode consiste à coder la source de Bayer comme une image monochrome pour effectuer ensuite l'interpolation. Nous proposons cette méthode pour des débits relativement élevés soit sans perte ou presque sans perte. Dans ces modes, le filtrage ondelette ne provoque pas de dégradation sur la modulation des canaux R, V et B.

Dans le même but d'invertir interpolation et codage, la proposition de [4] consiste à faire une rotation à 45° de la grille échantillonnée en quinconce et d'ôter les lignes et les colonnes vides comme il est représenté à la figure 2. Cette transformation non linéaire préserve les corrélations spatiales entre les pixels vert sans augmenter l'information par pixel (8 bpp). Cet algorithme inclut une

transformation couleur irréversible YCrCb où les pixels Y remplacent les pixels verts *i.e.* Y1 and Y2 à la place de G1 et G2 de la figure 1. Les composantes Cb et Cr sont elles recalés au centre du motif de Bayer à une distance égale à  $\sqrt{2}$  des pixels Y. L'opération, appliquée seulement sur la composante Y, fait apparaître des coins noirs. Notre adaptation au codage par ondelette consiste à ajouter une valeur moyenne aux pixels correspondants. Pour les débits binaires cibles de l'application, les méthodes d'extrapolation de type miroir n'apportent pas un gain significatif en qualité.

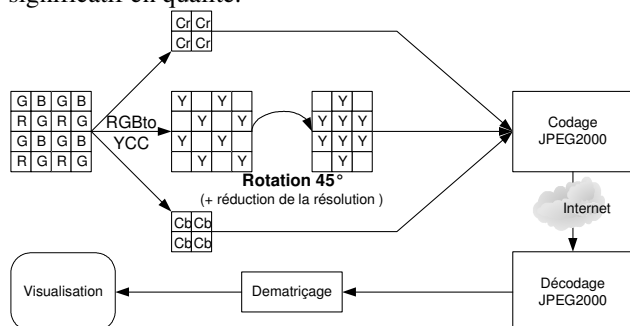


Fig. 2 : Diagramme des traitements avec une rotation à 45° de la composante Y et codage JPEG2000.

## 4 Résultat de la comparaison

### 4.1 Résultats

On rappelle que la comparaison s'effectue entre le schéma classique (dématriçage et codage JPEG2000 irréversible) avec deux autres schémas *i)* la rotation de la composante Y à 45° et codage JPEG2000 irréversible *ii)* codage JPEG2000 irréversible du signal RVB de Bayer et dématriçage. Les algorithmes sont testés sur des images d'anatomopathologie et d'hématologie respectivement représentées aux figures 3 et 4. Les résultats en termes de débit/qualité sont donnés figures 5 et 6. En considérant les contenus des deux spécialités, l'image originale de 1310 Ko a été soumise à un codeur JPEG2000 [8] dans deux gammes de tailles finales : 0 à 1000 Ko pour l'anatomopathologie et 0 à 400 Ko pour l'hématologie. Une mesure classique de qualité de type PSNR a été effectuée dans le domaine YCbCr (PSNR-Y et moyenne du PSNR-Cb et PSNR-Cr) confirmée par une observation visuelle attentive.

### 4.2 Discussion

Les PSNR-Y sont donnés à la gauche des figure 5 et 6. Pour une large de gamme de taille finale, la rotation à 45° de la composante Y donne une mesure de qualité supérieure par rapport au schéma classique. Pour l'anatomopathologie (respectivement pour l'hématologie), le schéma classique, cependant, donne un PSNR plus élevé en dessous de 160 Ko (resp. 100 Ko) qui correspond

à un taux de compression de 8:1 (resp. 6:1). La transformation non linéaire incluant une rotation de 45° et la suppression des lignes et colonnes blanches induisent une réduction des distances entre pixels Y de  $\sqrt{2}$  à 1. Ce rapprochement inter pixels implique de plus hautes fréquences et un meilleur contraste mais aussi une plus grande sensibilité à la compression bas débit. Heureusement, l'usage classique dans cette spécialité d'imagerie médicale est de ne pas atteindre ces taux de compression. L'apport de la méthode proposée dans le cadre du codage JPEG2000 est aussi significatif au niveau des composantes Cb et Cr. Toutefois, pour ces composantes, la méthode simple qui consiste à coder directement le signal Bayer fournit des PSNR plus élevés pour des taux de compression faibles. Ces résultats satisfaisants sont obtenus alors que la méthode d'évaluation elle-même introduit une dégradation supplémentaire (arrondis) par une transformation couleur irréversible de l'espace RVB à YCbCr nécessaire pour la mesure. Le comportement de l'algorithme est néanmoins hautement non linéaire puisque, à très bas débit, les dégradations sont inacceptables tant visuellement qu'en terme de PSNR. Si on regarde à nouveau l'évaluation faite sur la composante Y, coder directement le signal Bayer donne un meilleur PSNR que la solution conventionnelle si la taille finale est plus grande de 200-300 Ko dans les deux spécialités ce qui correspond grossièrement à un taux de 5:1. À ces taux, les améliorations apportées par la solution de la rotation de la composante Y qui consomme un temps de calcul double ne sont pas perceptibles. D'un point de vue JPIP, les requêtes HTTP doivent nécessairement être modifiées si la composante Y est tournée puisque qu'il existe une différence entre la version visualisée et celle stockée sur le serveur d'images. Ces deux dernières remarques nous amènent à recommander le codage direct du signal de Bayer lorsque les taux de compression sont relativement faibles ou encore dans le cadre d'un codage sans perte.

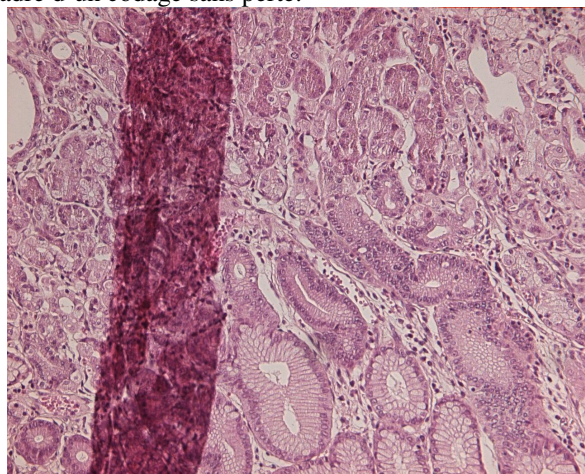


Fig. 3 : Image de lame en anatomopathologie.

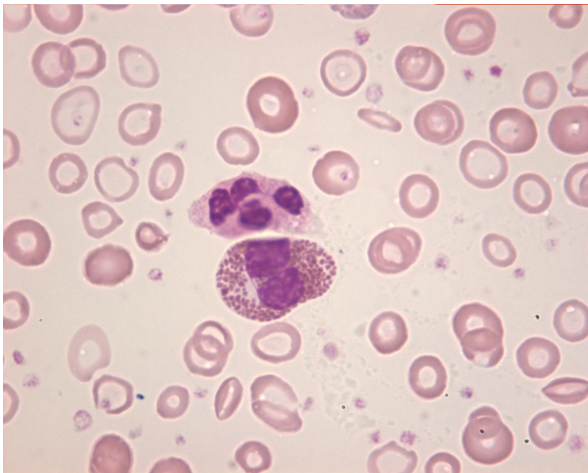


Fig. 4 : Image de lame en hématologie.

## 5 Conclusion

Dans cet article, nous avons discuté des couplages possibles interpolation – codage ondelette d’images de lames en microscopie optique. La solution qui effectue la rotation de la composante échantillonnée en quinconce initialement proposée dans [4] fournit un gain significatif aux taux de compression élevés (>5 :1) pour une application en imagerie médicale. Cependant, pour un taux de compression plus faible, coder en JPEG2000 directement l’image de Bayer est très compétitif en terme de qualité d’image. En outre, cette méthode ne suppose pas de modification au sein du protocole interactif JPIP qui permet un accès aléatoire efficace dans le cadre d’applications en télédiagnostic.

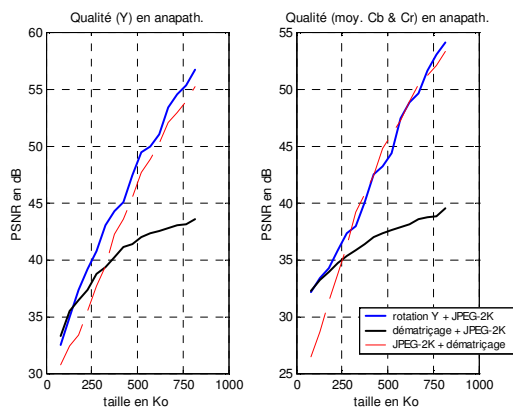


Fig. 5 : Analyse débit/qualité pour la spécialité anatomopathologie

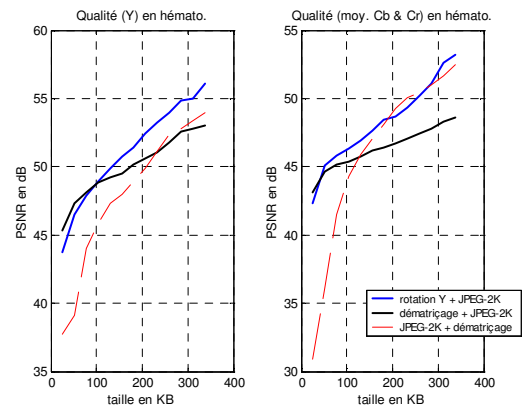


Fig. 6: Analyse débit/qualité pour la spécialité hématologie

## Références

- [1] B. E. Bayer, "Color imaging array", U.S. Patent 3,971,065 (1976).
- [2] B. K. Gunturk, Y. Altunbasak, R. M. Mersereau, "Color plane interpolation using alternating projections", IEEE Trans. on Image Proc., vol. 11, no. 9, Sept. 02.
- [3] W. Lu, Y. Tan, "Color filter array demosaicking: new method and performance measures", IEEE Trans. on Image Proc., vol. 11, no. 9, Oct. 03.
- [4] S. Y. Lee, A. Ortega, "A Novel Approach of Image Compression in Digital Cameras with Bayer Color Filter Array", in IEEE Proc. Int. Conf. on Image Proc., 2001, pp. 482-485.
- [5] J.F. Hamilton Jr., J.E. Adams, "Adaptive color plan interpolation in single sensor color electronic camera", U.S. Patent 5,629,734 (1997).
- [6] L. Montesinos, J. Puentes, "Specialized telepathology electronic patient record based on JPEG 2000", Proc. 4<sup>th</sup> IEEE Conf. On Inf. Tech. Appli. In Biomed., p. 110-113, April 03.
- [7] D. S. Taubman, M. W. Marcellin, "JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice" (Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, 642).
- [8] Kakadu Project (JPEG-2000 API) disponible à <http://www.kakadusoftware.com/>