

# Décomposition parcimonieuse des cartes de profondeur dans un dictionnaire redondant mixte adapté à la compression

Dorsaf SEBAI, Faten CHAIEB, Faouzi GHORBEL

Laboratoire Cristal, Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique, Université de La Manouba

sebaidorsaf@yahoo.fr

**Résumé** – Dans ce papier, nous nous intéressons à la compression des images de profondeur en utilisant les représentations parcimonieuses, largement exploitées pour les images de texture. Une décomposition parcimonieuse des cartes de profondeur dans un dictionnaire redondant mixte Cosinus Discret/Ondelettes B-Splines Discrètes Linéaires (CD/OBSDL) est proposée. Ce dictionnaire a été comparé à d'autres dictionnaires redondants proposés dans la littérature. Les résultats obtenus montrent les performances de ce dictionnaire en termes de taux de sparsité. Enfin, le dictionnaire est utilisé dans un schéma de compression des cartes de profondeur et les résultats face aux derniers efforts de l'état de l'art prouvent la pertinence du dictionnaire dans ce contexte.

**Abstract** – In this paper, we are interested in depth images compression using sparse representations, widely exploited for texture images. Typically, depth maps sparse decomposition on redundant mixed Discrete Cosine/Linear Discrete B-Spline Wavelets (DC/LDBSW) dictionary is proposed. This dictionary is compared to other redundant dictionaries proposed in the literature. Obtained results prove performances of DC/LDBSW dictionary in terms of sparsity. Then, the dictionary is used in depth maps compression scheme and results, against latest state-of-the-art efforts, prove the relevance of the dictionary in this context.

## 1 Introduction

La vidéo multi-vues plus profondeur (Multiview Video plus Depth, MVD) est la représentation la plus adéquate pouvant répondre aux besoins de la télévision 3D et plus particulièrement de la télévision à point de vue libre. La MVD inclut des séquences d'images de texture et leurs correspondantes cartes de profondeur. Ces dernières sont des images en 256 niveaux de gris et de même dimension que les images de texture. Chaque pixel de la carte de profondeur indique la distance à la caméra de son correspondant pixel de texture. Les valeurs de profondeur sont comprises dans un intervalle  $[z_{\text{near}} - z_{\text{far}}]$  où  $z_{\text{near}}$  et  $z_{\text{far}}$  représentent la plus proche et la plus loin valeurs de profondeur, correspondant respectivement aux niveaux de gris 255 et 0. Les efforts de ces dernières années visent une compression efficace préservant les particularités des cartes de profondeur, à savoir leur conception planaire par morceaux et l'impact perceptuel critique des pixels au voisinage des contours sur les vues de synthèse. En fait, une carte de profondeur peut être approchée à un signal planaire par morceaux où les plans adjacents sont séparés par des contours de formes arbitraires. Chaque plan correspond à un objet de la scène alors que chaque contour, placé aux frontières des objets, reproduit une discontinuité nette entre un objet en avant plan et un autre en arrière plan. Par ailleurs, la compression des discontinuités de profondeur occasionnent une dégradation fortement visible des vues synthétisées, car impliquant des couleurs d'avant-plan sur l'arrière-plan et inversement.

Dans ce cadre, plusieurs méthodes cherchent à reconstruire le plus fidèlement possible les cartes de profondeur. Morvan et al. [1] exploitent la nature linéaire par morceaux des fonctions wedgelets et platelets pour approcher les surfaces planaires séparées par les discontinuités de profondeur. La représentation en wedgelets a été retenue dans le standard 3D-HEVC (3D High Efficiency Video Coding) [2] qui intègre, outre les modes conventionnels de HEVC, différentes modélisations des cartes de profondeur. Étant donné que les images de profondeur sont principalement utilisées pour la reconstruction de nouvelles vues et non pas elles-mêmes affichées, les efforts récents visent plutôt à exploiter explicitement l'impact de la compression de profondeur sur la qualité des vues

de synthèse. Cheung et al. [4] définissent, pour chaque pixel, un intervalle de valeurs de profondeur, baptisé Don't Care Regions (DCRs), où une valeur en dehors de cet intervalle entraîne une distorsion de synthèse plus grande qu'une valeur seuil. Ensuite, ils cherchent la parcimonisation du signal de profondeur dans une base de cosinus, et ce en assurant que chaque pixel appartiendra à sa correspondante DCR. Plus récemment, cette idée est reprise par Cheung et al. [3] en remplaçant les DCRs par une fonction de pénalité. Cette dernière définit la sensibilité des vues interpolées aux éventuelles déviations des valeurs de profondeur après compression. Les domaines de transformation utilisés dans [4] et [3] sont des bases orthogonales classiques de taille minimale concentrant l'énergie d'un signal à un petit ensemble de vecteurs. Cela implique un grand nombre de coefficients de larges valeurs particulièrement pour les contours complexes. Le recours à un ensemble de vecteurs plus large que les bases orthogonales, notamment les dictionnaires redondants, s'avère plus judicieux voire indispensable. Ainsi, nous proposons un schéma de compression des cartes de profondeur basé sur la représentation parcimonieuse de ces dernières dans un dictionnaire redondant mixte [5]. Ce dernier combine des atomes cosinus discret et des fonctions B-splines linéaires. Bien qu'il est originellement conçu pour les images de texture [6], ce dictionnaire permet des performances suffisamment pertinentes pour la compression des cartes de profondeur.

Dans ce papier, nous nous sommes intéressés à l'étude du domaine de transformation le plus adapté à la représentation parcimonieuse des cartes de profondeur. Nous évoquons, au fur et à mesure, l'importance et les difficultés que soulève le choix des atomes du dictionnaire en fonction de leur corrélation avec le signal de profondeur à représenter. Le dictionnaire proposé sera ensuite exploité dans un schéma de compression des cartes de profondeur afin de montrer ses performances en termes de débit-distorsion.

La section 2 introduit les représentations parcimonieuses et leur habilité à extraire, à partir d'un domaine de transformation, les structures significatives d'un signal. La section 3 vise l'étude d'un dictionnaire adapté à la représentation parcimonieuse des cartes de profondeur. Dans la section 4, nous proposons l'exploitation de ce dernier dans notre schéma de compression proposé dans [5].

## 2 Représentations parcimonieuses

Les techniques classiques de compression avec transformation utilisent en général des bases sur lesquelles la représentation du signal est unique, telles que les bases de Fourier et de cosinus. Parallèlement à ce domaine, la thématique des représentations parcimonieuses s'est développée et son exploitation en traitement d'images progresse de plus en plus. Les représentations parcimonieuses sont attachées à la description d'un signal, exactement ou de façon approchée, comme la combinaison d'un petit nombre de signaux élémentaires choisis à partir d'un très grand domaine de transformation appelé dictionnaire redondant.

Soit  $y \in \mathbb{R}^M$  un vecteur représentatif d'un signal original de dimension  $M$ .  $\mathcal{D} \in \mathbb{R}^{M \times n}$  est un dictionnaire de  $n$  atomes avec  $n \gg M$ . L'objectif est de trouver une représentation  $y$  du signal original sous forme d'une combinaison compacte et linéaire d'un petit nombre d'atomes pondérés par des coefficients de transformation :  $y = D x$ , où  $x \in \mathbb{R}^n$  est un vecteur parcimonieux de coefficients de transformation. A cause de la redondance du dictionnaire, la représentation du signal n'est pas unique et différentes combinaisons de  $x$  existent. Parmi ces dernières, la plus adéquate correspond à celle la plus parcimonieuse, i.e. celle pour laquelle le vecteur  $x$  a seulement un faible nombre de coefficients non nuls. La poursuite adaptative orthogonale (Orthogonal Matching Pursuit, OMP) présente une des principales approches développées pour la recherche d'une telle solution. OMP commence par chercher dans le domaine de transformation l'atome le plus corrélé au signal. Ensuite, il soustrait la contribution de cet atome au signal pour mettre à jour le signal résiduel. A chaque entrée d'un nouvel atome dans la décomposition, OMP recalcule tous les coefficients en projetant le signal sur l'ensemble formé des atomes jusqu'alors sélectionnés. Ces étapes sont répétées sur le signal résiduel jusqu'à atteindre une contrainte de qualité de reconstruction. L'estimation finale du signal original se voit alors progressivement construite par l'ajout de nouveaux atomes sélectionnés aux différentes itérations de OMP.

## 3 Représentation parcimonieuse des cartes de profondeur

Le choix du domaine de transformation est d'une difficulté particulière et d'une importance cruciale pour aboutir à une décomposition efficace, aussi bien en termes de sparsité qu'en termes de fidélité aux données originales. Pour une représentation efficace des cartes de profondeur, il faut penser à combiner dans un même dictionnaire des atomes propices à chacune de ses composantes, à savoir les régions lisses des objets et les discontinuités nettes de leurs frontières.

### 3.1 Dictionnaire CD/BSDL

Dans nos travaux précédents [5], nous nous sommes intéressés au dictionnaire mixte Cosinus Discret/B-Splines Discrètes Linéaires (CD/BSDL) originellement conçu pour les images de texture [6]. Le dictionnaire CD/BSDL présente la combinaison de deux types d'atomes. Les atomes CD, définis par l'équation 1, sont issus de la transformée en cosinus discrète incontestablement adaptée à la représentation des zones homogènes. Ceci est encore plus vrai pour les cartes de profondeur. En fait, les zones homogènes ne présentent pas des textures, comme dans le cas des images naturelles, mais des plans indiquant la distance d'un objet de la scène à la caméra de capture :

$$CD = \left\{ \cos \left( \frac{\Pi(2i-1)(k-1)}{2n} \right), i \in \{1, \dots, M\}, k \in \{1, \dots, n\} \right\} \quad (1)$$

où  $M$  est la dimension du signal.  $n$ , la taille du dictionnaire CD, est égale à  $rM$  avec  $r \in \mathbb{N}^*$ . Si  $r = 1$ , il s'agit d'une base orthogonale. Sinon, les atomes forment un dictionnaire de redondance  $r$ .

Les atomes BSDL [6], définis par l'équation 2, sont des versions discrétisées et translattées de fonctions prototypes B-splines linéaires (i.e. d'ordre 2) de différents supports :

$$BSDL = \{BS_s^2(i-k), (i,k) \in \{1, \dots, M\}^2\}_{s \in [1, \log_2(M)] \cap \mathbb{Z}} \quad (2)$$

avec  $BS_s^2$  une fonction B-spline linéaire définie par (3) :

$$BS_s^2(x) = \begin{cases} \frac{x}{s} & \text{si } 0 \leq x < s \\ 2 - \frac{x}{s} & \text{si } s \leq x < 2s \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}, s \in \mathbb{N}^* \quad (3)$$

où  $M$  est la dimension du signal et  $k$  le paramètre de translation de la fonction B-spline. Par analogie avec les niveaux de résolution des ondelettes, nous considérons  $\log_2(M)$  supports différents dans le dictionnaire BSDL. Ceci permet un bon compromis entre efficacité de représentation et taille du dictionnaire.

Les atomes B-splines d'ordre 2 sont linéaires par morceaux et s'adaptent à la représentation des cartes de profondeur. De plus, ils limitent fortement le lissage des contours en comparaison aux B-splines d'ordre plus élevé. Ceci permet la préservation des discontinuités et par conséquent une bonne qualité de synthèse de vue.

### 3.2 Dictionnaire CD/OBSDL

Nous considérons l'exemple de deux blocs ( $8 \times 8$ ) de la carte de profondeur *Breakdancers* [9] correspondant respectivement à une zone homogène et une zone avec discontinuités. Dans la figure 1, le signal original de chacun des blocs n'est autre que les profondeurs des pixels du bloc ayant ses colonnes concaténées dans un vecteur unidimensionnel. Le signal résiduel est celui résultant d'une seule itération de l'algorithme OMP sachant que l'atome sélectionné lors de cette itération correspond à un atome CD. Nous constatons immédiatement que le signal résiduel issu du bloc homogène est déjà uniforme et se situe aux alentours de zéro dès la première itération de OMP. En revanche, plus d'itérations sont nécessaires pour le résidu, encore non uniforme, du bloc avec discontinuités.

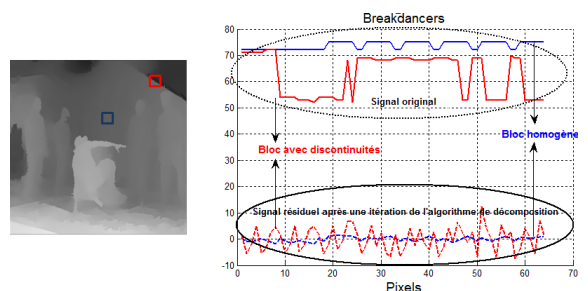


FIGURE 1 – Signal original et signal résiduel après une itération de l'algorithme de décomposition OMP pour des blocs sans et avec contours de la carte de profondeur *Breakdancers*.

En examinant l'allure du signal résiduel du bloc à discontinuités, nous retrouvons le caractère linéaire par morceaux des atomes B-splines linéaires du dictionnaire CD/BSDL. Cependant, ces atomes contreviennent au caractère oscillatoire du signal résiduel. Afin de contourner cet écueil, nous proposons l'utilisation du dictionnaire Cosinus Discret/Ondelettes B-Splines Discrètes Linéaires (CD/OBSDL). Ce dernier combine les atomes CD, pour la partie régulière

de la carte de profondeur, et les atomes OBSDL [7], définis par (4), pour la représentation des discontinuités de profondeur :

$$OBSDL = \left\{ \varphi_2(i - k), i \in [1, M] \cap \mathbb{Z} \right\} \cup \left\{ 2^{\frac{j}{2}} \psi_2(2^j i - h), i \in [1, M] \cap \frac{\mathbb{Z}}{2^{j+1}} \right\}_{j \in [0, \log_2(M)-1] \cap \mathbb{Z}} \quad (4)$$

où  $k \in [0, M] \cap \mathbb{Z}$ ,  $h \in [0, 2^j M] \cap \mathbb{Z}$  et

$$\varphi_2(x) = \delta_{x,1} \quad (5)$$

$$\psi_2(x) = \frac{1}{12} \varphi_2(2x) - \frac{1}{2} \varphi_2(2x-1) + \frac{5}{6} \varphi_2(2x-2) - \frac{1}{2} \varphi_2(2x-3) + \frac{1}{12} \varphi_2(2x-4) \quad (6)$$

$\varphi_2$  est la fonction d'échelle,  $\psi_2$  la fonction d'ondelette,  $M$  la dimension du signal et  $j$  le niveau de résolution allant de 0 à  $\log_2(M) - 1$ .  $k$  et  $h$  sont les paramètres de translation de  $\varphi_2$  et  $\psi_2$ , respectivement. Pour la translation des fonctions  $\varphi_2$  et  $\psi_2$  aux bords de l'intervalle du signal, nous notons que l'approche cut-off [7] est appliquée. Elle introduit une redondance au dictionnaire en considérant les atomes ayant au moins une intersection avec l'intervalle occupé par le signal.

Outre leur nature linéaire par morceaux, les atomes OBSDL possèdent un caractère oscillatoire qui les rend plus utiles à réduire le résidu dans les prochaines itérations de OMP. Leur exploitation s'avère alors plus pertinente pour la représentation parcimonieuse des cartes de profondeur.

### 3.3 Comparaison et discussion

L'objectif de cette section est de juger l'efficacité du dictionnaire CD/OBSDL à la représentation parcimonieuse des cartes de profondeur. Comme déjà indiqué, les atomes CD issus de la transformée en cosinus discrète sont incontestablement adaptés à l'approximation des zones homogènes. Reste alors à jauger l'efficacité des atomes OBSDL à la représentation des discontinuités de profondeur. Nous comparons le dictionnaire CD/OBSDL au dictionnaire CD/BSL utilisé dans nos travaux précédents [5]. La comparaison considère également les dictionnaires Cosinus Discret/Ondelettes B-Splines Discrètes Cubiques (CD/OBSDC) et Cosinus Discret/Atomes Directionnels et Anisotropes (CD/ADA). Tout comme le dictionnaire OBSDL, les atomes du dictionnaire OBSDC [7] sont issus des ondelettes B-splines discrètes. La différence réside dans la nature de l'ondelette mère qui n'est plus de type B-spline linéaire. Il s'agit d'ondelette B-spline d'ordre plus élevé baptisée cubique (i.e. d'ordre 4). Différents dictionnaires présentés jusqu'à présent, les atomes du dictionnaire ADA [8] sont des fonctions 2D non-séparables. Elles dérivent d'une fonction génératrice ayant subi des transformations géométriques, à savoir dilatation anisotrope, rotation et translation. La fonction génératrice est une fonction 2D similaire à la géométrie des contours. Elle est lisse le long de la direction des contours et se comporte comme une ondelette dans la direction orthogonale. Le choix des dictionnaires BSDL, OBSDC et ADA pour la comparaison n'est pas insignifiant. Ces derniers se sont révélés parmi les plus performants et utiles à la représentation éparse des signaux. En plus, la comparaison à ces dictionnaires nous permettra de mettre en avant les propriétés intéressantes et exploitables des atomes OBSDL pour la représentation parcimonieuse des cartes de profondeur.

Nous utilisons pour la comparaison la métrique taux de sparsité (Sparsity Ratio, SR). Elle est égale au nombre de pixels de l'image divisé par le nombre de coefficients non nuls issus de sa décomposition parcimonieuse. Une grande valeur de SR traduit la capacité du dictionnaire à la représentation du signal avec le moindre nombre

d'atomes. La figure 2 présente les SRs obtenus par la décomposition parcimonieuse des séquences *Breakdancers* et *Ballet* [9] sur les dictionnaires candidats en utilisant l'algorithme OMP à différentes valeurs de PSNR.

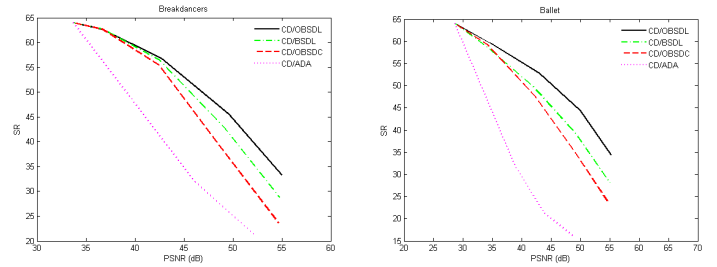


FIGURE 2 – SRs obtenus par la décomposition OMP, à différents PSNR, des séquences *Breakdancers* (gauche) et *Ballet* (droite) dans les dictionnaires CD/OBSDL, CD/BSL, CD/OBSDC et CD/ADA.

La figure 2 montre que le dictionnaire CD/OBSDL permet d'atteindre de plus grandes valeurs de SRs que le dictionnaire CD/BSL. Ceci est grâce au caractère oscillatoire des atomes OBSDL qui les rend visuellement plus proches aux signaux résiduels de OMP que les atomes BSDL. Comparé à CD/OBSDC, CD/OBSDL permet de meilleures performances sparsité-distorsion. En fait, les atomes OBSDL sont des ondelettes B-splines d'ordre inférieur à celui des atomes OBSDC. Ceci leur permet de limiter fortement le lissage des discontinuités de profondeur, ce qui présente un acquis crucial pour la synthèse de vue.

Les ondelettes sont reconnues efficaces pour la représentation des signaux 1D lisses par morceaux. En 2D, le problème devient beaucoup plus complexe à cause de l'isotropie spatiale des ondelettes d'une part et les singularités curvilignes se déplaçant le long de contours réguliers d'autre part. Pour remédier à la non-optimalité des ondelettes 2D, il a été proposé d'utiliser les atomes géométriques tels que les curvelettes et les contourlettes. Plus récemment, se sont développés des dictionnaires redondants issus, comme CD/ADA, d'une fonction génératrice ayant subi des transformations géométriques. Toutefois, l'atout de ces atomes géométriques pour les contours lisses et réguliers des images naturelles se voit alors diminué pour les discontinuités nettes et irrégulières des cartes de profondeur. En fait, le dictionnaire CD/OBSDL permet, comme le montre la figure 2, des représentations plus éparse que le dictionnaire CD/ADA. Ceci est particulièrement clair pour les cartes de profondeur de fortes discontinuités comme *Ballet*.

## 4 Application à la compression

À l'issue de la section précédente, nous pouvons conclure que la combinaison CD/OBSDL permet les meilleures performances parcimonie-distorsion par rapport aux autres combinaisons candidates. Ceci peut laisser présager des résultats intéressants pour la compression des images de profondeur. De ce fait, nous intégrons le dictionnaire CD/OBSDL dans le schéma proposé dans [5]. La première partie de cette section est consacrée au rappel des principales étapes du schéma. Les performances en compression du dictionnaire CD/OBSDL sont ensuite mises en comparaison aux derniers efforts munis dans le contexte de la compression 3D.

### 4.1 Schéma de compression

Le schéma de compression [5] commence par la décimation de la carte de profondeur qui, une fois réduite, passe par une détection



des discontinuités. L'image ainsi générée est découpée en blocs réguliers à libeller à 0 s'ils présentent des zones sans contours et à 1 sinon. Nous recourons ensuite à une décomposition OMP de chaque bloc dans le dictionnaire CD/OBSDL. La décomposition est particulièrement adaptée aux discontinuités de profondeur en utilisant une fonction Lagrangienne de coût. La valeur de son multiplicateur  $\lambda$  est paramétrée selon la nature de la région de profondeur. Pour les régions lisses, une très grande valeur de  $\lambda$  est utilisée pour privilégier la parcimonie aux dépens de la qualité de reconstruction. Inversement, une valeur nulle de  $\lambda$  est utilisée pour les régions à discontinuités. La métrique de distorsion utilisée dans la fonction Lagrangienne de coût permet de comptabiliser l'effet de la compression des cartes de profondeur sur la qualité des vues de synthèse. Le schéma de compression produit trois séquences de données, à savoir les coefficients quantifiés, les indices des atomes choisis et le nombre d'atomes par bloc, pour lesquelles nous appliquons un codage arithmétique adaptatif (voir figure 3).

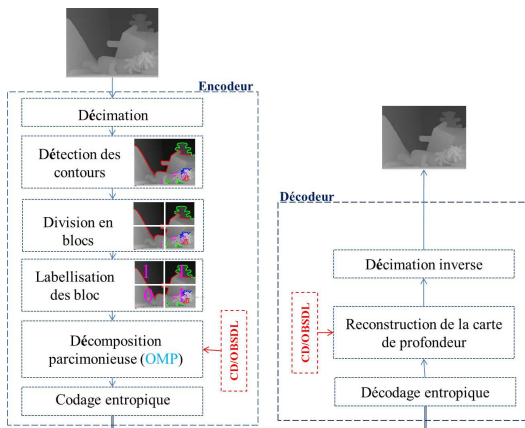


FIGURE 3 – Schéma de compression des cartes de profondeur.

## 4.2 Résultats expérimentaux

Comme déjà indiqué, les cartes de profondeur ne sont pas elles-mêmes affichées. Ainsi, les expérimentations concernent l'évaluation de la qualité des vues synthétisées. Il s'agit d'encoder les cartes de profondeur de deux vues gauche et droite des séquences *Breakdancers* et *Ballet*. Les cartes décodées sont ensuite utilisées pour synthétiser des vues intermédiaires.

Nous comparons les résultats obtenus par notre schéma, avec le dictionnaire CD/BSL, aux résultats obtenus par le même schéma avec le dictionnaire CD/OBSDL. Ces derniers sont aussi mis en comparaison au codeur 3D-HEVC, le standard en cours dédié à la compression 3D. Les courbes débit-distorsion (Rate/Distortion, R/D) de la figure 4 confirment l'intérêt du dictionnaire CD/OBSDL par rapport au dictionnaire CD/BSL pour la compression des cartes de profondeur. Les résultats de la section précédente ont prouvé la pertinence du dictionnaire CD/OBSDL en termes de parcimonie-distorsion. Les résultats de cette présente section viennent prouver que CD/OBSDL permet aussi de meilleures performances débit-distorsion. Comparé à 3D-HEVC, le dictionnaire CD/OBSDL, intégré au schéma proposé, fournit de meilleurs rapports R/D pour les hauts débits. Il permet un gain de 0.1 dB à 0.1 bpp pour *Breakdancers* et 0.4 dB à 0.08 bpp pour *Ballet*. En revanche, 3D-HEVC permet de meilleurs compromis R/D aux très bas débits. Ceci s'explique par le fait que les valeurs des coefficients quantifiés des fonctions wedgelets sont restreintes par rapport aux indices des atomes qui, dans le cas du schéma proposé, ne peuvent pas être quantifiés.

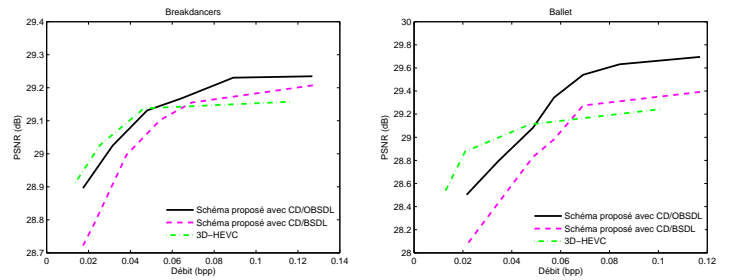


FIGURE 4 – Courbes débit/distorsion des vues synthétisées à partir des cartes de profondeur encodées par 3D-HEVC et le schéma proposé avec respectivement le dictionnaire CD/BSL et le dictionnaire CD/OBSDL.

## 5 Conclusion

Dans ce papier, nous nous sommes intéressés à la compression des images de profondeur en utilisant les représentations parcimonieuses, révélées être une technique particulièrement performante pour les besoins de compression. Nous avons proposé un dictionnaire redondant mixte adapté à la représentation parcimonieuse des cartes de profondeur. Le dictionnaire proposé combine les atomes Cosinus Discret et les Ondelettes B-Splines Discrètes Linéaires (CD/OBSDL). Comparé à d'autres dictionnaires proposés dans la littérature, le dictionnaire CD/OBSDL permet une approximation efficace de la carte de profondeur, aussi bien en termes de sparsité qu'en termes de préservation des discontinuités. Enfin, le dictionnaire a été intégré dans un schéma de compression des cartes de profondeur et les résultats obtenus montrent un bon compromis entre débit et distorsion des vues synthétisées.

## Références

- [1] P. Merkle, Y. Morvan, A. Smolic, D. Farin, K. Muller, P. H. N. de With et T. Wiegand. *The effects of multiview depth video compression on multiview rendering*. Signal Processing : Image Communication Journal, 2008.
- [2] K. Muller, H. Schwarz, D. Marpe, C. Bartnik, S. Bosse, H. Brust, T. Hinz, H. Lakshman, P. Merkle, H. F. Rhee, G. Tech, M. Winken, T. Wiegand. *3D High Efficiency Video Coding for Multi-View Video and Depth Data*. IEEE Transactions on Image Processing, 2013.
- [3] G. Cheung, J. Ishida, A. Kubota et A. Ortega. *Transform domain sparsification of depth maps using iterative quadratic programming*. ICIP, 2011.
- [4] G. Cheung, A. Kubota et A. Ortega. *Sparse representation of depth maps for efficient transform coding*. PCS, 2010.
- [5] F. Chaieb, D. Sebai et F. Ghorbel. *Tuned depth signal analysis on merged transform domain for view synthesis in free viewpoint systems*. IET Image Processing, 2014.
- [6] J. Bowley et L. Rebollo-Neira. *Sparse image representation by discrete cosine/B-spline based dictionaries*. arXiv :0909.1310, 2009.
- [7] M. Andrieu et L. Rebollo-Neira. *From cardinal spline wavelet bases to highly coherent dictionaries*. Journal of physics. A, Mathematical and theoretical, 2008.
- [8] R. M. Figueras i Ventura, P. Vanderghyest et P. Frossard. *Low rate and flexible image coding with redundant representations*. IEEE Transactions on Image Processing, 2006.
- [9] <http://research.microsoft.com/en-us/downloads>