

# Compression des signaux EMG par la Transformée dite « impaire »

Pascal Eloundou Ntsama<sup>1</sup>, Beka Marius<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Laboratoire de Physique, faculté des sciences, Département de Physique Université de Ngaoundéré, Cameroun*  
[pentsama@yahoo.fr](mailto:pentsama@yahoo.fr)

<sup>2</sup> *Département d'Electromécanique, Ecole Polytechnique de Masuku, Gabon*  
[mt\\_beka@yahoo.fr](mailto:mt_beka@yahoo.fr)

Pierre Ele<sup>3</sup>

<sup>3</sup> *Département des Génies Electrique et des Télécommunications*  
*Laboratoire d'Electronique et de Traitement du Signal*  
*Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Université de Yaoundé I, Cameroun*  
[pierre\\_ele@yahoo.fr](mailto:pierre_ele@yahoo.fr)

## Résumé

*Le problème étudié dans cet article est la compression de données des signaux ElectroMyographiques (EMG) par la Transformée dite « impaire ». La technique utilisée est celle d'un sous-échantillonnage des signaux d'indices pairs et impairs. La réduction de la taille des enregistrements des signaux EMG par cette technique permet de résoudre le récurrent problème de stockage et/ou de la durée de transmission. Dans cette communication, l'étude comparative effectuée démontre une amélioration nette par rapport au lifting scheme qui constitue la référence en la matière. Les résultats obtenus sont encourageants pour une compression robuste du signal EMG.*

**Mots clés :** *Compression, EMG, signal, Transformée impaire, Ondelette.*

## 1. Introduction

L'objectif de ce travail est d'appliquer sur les EMG une nouvelle méthode de compression des signaux biomédicaux. L'incessante augmentation des données générées dans les centres hospitaliers demeure un problème important à résoudre. Ces données, nécessaires pour le diagnostic ou la surveillance des patients, sont recueillies par des systèmes informatisés ou par des appareils numériques. Cela entraîne une grande quantité d'information qu'il faut gérer. En général, ces données sont stockées et peuvent être envoyées vers un autre centre hospitalier à travers un réseau Internet ou Intranet. Les signaux comprimés occupent moins de place sur une unité de stockage, prennent moins de temps de transmission et ont besoin d'une

bande passante plus petite. L'intérêt de la compression est donc évident.

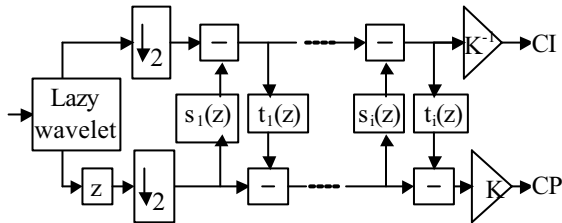
Des méthodes usuelles de compression telles que la Transformation en Cosinus Discrète, la Transformée de Karhunen-Loève, la Transformée en Ondelettes sont appliquées avec des fortunes diverses dans d'autres domaines et sur des signaux électrophysiologiques. Mais la compression par la Transformée dite impaire, malgré ses potentialités n'a jamais été essayée sur les EMG ou pour tout autre signal. Nous appliquons sur les signaux EMG la nouvelle méthode. Une évaluation de ce modèle est faite par rapport au *lifting scheme*. Les performances de cette méthode sont déterminées en fonction des mesures de la distorsion (rapport signal sur bruit), du taux de compression, de l'entropie du signal reconstruit et du critère objectif: Distorsion de la fréquence moyenne (Mean Frequency Distorsion : MFD). Le plan de cet article comprend deux articulations : la méthodologie utilisée, l'analyse et l'interprétation des résultats.

## 2. Méthodologie de compression du signal EMG

### 2.1. Méthodes de compression des signaux EMG

Beaucoup de travaux ont été menés pour répondre au besoin de la compression, principalement dans le cas du signal ElectroCardiogramme (ECG). Cependant, dans le cas des EMG, les travaux publiés sont en très petit nombre. Certaines méthodes telles que le *lifting scheme*, les méthodes de transformées orthogonales [8] (Transformée de Cosinus Discrète, Transformée en Ondelettes) et l'EZW (Embedded Zero-Tree Wavelet) ou en capsulation d'ondelettes

par arbres de zéros ont été exploitées. L'EZW possède une propriété extrêmement intéressante. Elle code l'information par ordre exact d'importance dans le signal. En effet, les coefficients sont codés du plus significatif au moins significatif. L'intérêt est évident : pour obtenir une compression sans perte, on code tous les coefficients ; et pour obtenir une compression avec perte, il suffit d'interrompre le (dé)codage à l'instant souhaité, en fonction des pertes admises [10] et [5]. Le *lifting scheme* a été introduit en 1994 par Win Swleden [11]. Son principe repose sur les étapes d'extraction dual lifting  $t_i(z)$  et du primal lifting  $s_i(z)$ . Le schéma bloc de la transformée en ondelettes par *lifting scheme* est donné ci-dessous [5]. Cette technique a permis d'évaluer en première instance les possibilités de la compression du signal EMG [7, 9].



**Figure 1. Transformée en ondelette par lifting scheme. (CI ,CP sont des coefficients obtenus après décomposition).**

## 2.2. Procédure

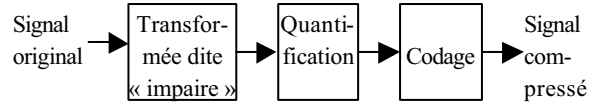
La chaîne de compression mise en œuvre dans notre processus expérimental est donnée sur la figure 2. La fonction de départ est une ondelette séparatrice ou lazy wavelet, dont le rôle consiste uniquement à séparer le signal d'entrée en deux sous-signaux. Ces deux sous-signaux correspondent respectivement aux échantillons d'indice pair et impair. Cette étape peut être considérée comme un sous-échantillonnage du signal d'entrée et permet de décorréler notre signal EMG. Ainsi, la transformée dite « impaire » est construite progressivement. Cette transformation favorise un codage plus efficace. Les coefficients issus de cette transformation sont quantifiés individuellement par groupe de 8 éléments. Cette quantification limite le nombre de bits nécessaire au stockage de chaque coefficient. Les valeurs codes que nous utilisons, sont réparties de manière uniforme. Et en quantification scalaire uniforme utilisée, l'opération est réalisée ainsi qu'il suit :

$$y(i) = \text{fix} \left( \frac{x(i)}{Q(i)} \right) \quad (1)$$

où fix désigne la partie entière et  $Q(i)$  la matrice du pas de quantification.

$$Q(i) = 1 + (1+i) * F_q \quad (2)$$

$F_q$  est le facteur de qualité, et varie de 1 à 15 selon le type du signal EMG utilisé.



**Figure. 2. Chaîne de compression.**

Le codage constitue la dernière étape de la chaîne de compression. Le codage de Huffman [6] est utilisé. Ce codage associe aux valeurs d'entrées des mots de code binaires de longueur variable. L'algorithme de construction du code de Huffman crée progressivement un arbre binaire en partant des nœuds terminaux. Les symboles de plus haute probabilité ont les codes les plus courts. Ces codes ont la propriété de préfixe unique. Ils peuvent donc être décodés de manière unique en dépit de leur longueur variable.

## 2.3. Qualité de la compression

Le taux de compression est le principal critère d'évaluation. Mais les techniques irréversibles qui produisent les taux de compression élevés modifient le signal EMG, en y introduisant une distorsion. Il faut donc évaluer le niveau de cette distorsion. Cela permet de contrôler la qualité des signaux EMG reconstruits et de comparer les différentes approches sous un aspect qualitatif.

Le taux de compression est défini par [6] :

$$TC = \left( 1 - \left( \frac{\text{taille\_compré}}{\text{taille\_originale}} \right) \right) * 100 \quad (3)$$

Quelques mesures de distorsion ou de qualité permettent de manière assez fruste, de comparer les algorithmes de compression. La mesure la plus utilisée est l'Erreur Quadratique Moyenne (EQM). Mais, la mesure la plus recommandée est le rapport signal sur bruit (SNR : Signal to Noise Ratio) :

$$SNR = 10 \log \left( \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} \right) \text{ en dB} \quad (4)$$

où  $\sigma_x^2$  représente la puissance du signal original et  $\sigma_e^2$  celle de l'erreur définie par :

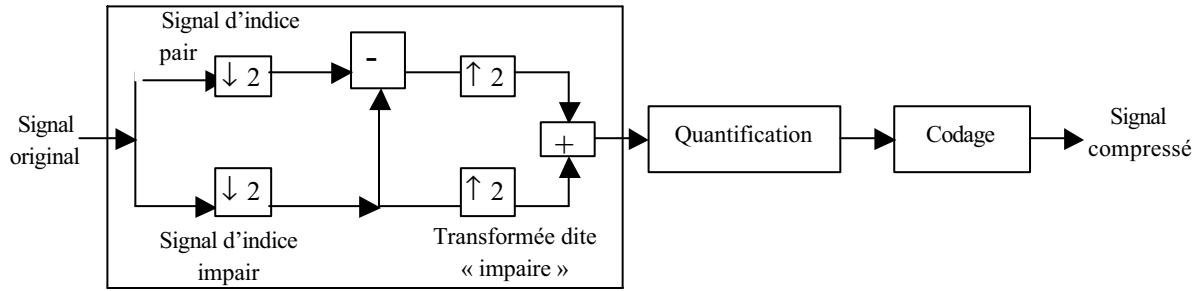


Figure 3 : Schéma de compression par la transformée dite « impaire ».

$$e(n) = S_{orig}(n) - S_{recons}(n) \quad (5)$$

$S_{orig}$  est le signal original et  $S_{recons}$  le signal reconstruit. Ce critère permet de pallier à l'absence de l'œil du spécialiste.

Un autre critère a été utilisé. A savoir, celui de la distorsion de la fréquence moyenne notée MFD (Mean Frequency Distorsion) [2]:

$$MFD = \left\{ \frac{|F_{orig} - F_{recons}|}{\max\{F_{orig}, F_{recons}\}} \right\}^2 \quad (6)$$

$F_{orig}$  et  $F_{recons}$  [3] représentent la fréquence moyenne calculée respectivement sur le signal original et sur le signal reconstruit.

Ainsi, la qualité des signaux EMG compressés est vérifiée à travers les valeurs du SNR, et par une évaluation brève subjective. Cette évaluation subjective permet de confirmer le degré des dégradations du signal reconstruit. Bien que ce jugement subjectif soit important puisqu'il fournit des informations que les valeurs numériques pures ne peuvent pas donner, il n'est pas suffisant pour mesurer fidèlement la qualité objective des signaux comprimés. C'est ainsi que le SNR a été préféré

#### 2.4. Transformée dite « impaire »

Le schéma de compression par la Transformée dite « impaire » est donné sur la figure 3. Les échantillons d'indice pair et impair issus du sous-échantillonnage passent par un filtre passe bas. Les nouveaux coefficients qui en sortent sont ajoutés au signal d'indice impair. Cette manière de procéder permet de décorréler au mieux notre signal EMG.

Soit  $x$  le signal d'entrée. Les calculs sont effectués de la manière suivante :

- séparation (indices pair et impair) :  

$$x_k \rightarrow x_{2k}; x_{2k+1}$$
- passe-bas :  $d_k = x_{2k+1} - x_{2k}$
- sur-échantillonnage

- Ajout des coefficients :

$$\hat{x}_k = \tilde{d}_k + \tilde{x}_{2k+1}$$

La matrice de polyphase d'analyse étant :

$$P(z) = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Le calcul de la transformée inverse consiste à inverser l'ordre des opérations ainsi que le signe des opérateurs.

### 3. Analyse et interprétation des résultats obtenus

La méthode présentée a été implémentée sur nos différents signaux EMG. Il s'agit des EMG de biceps de 8192 points chacun baptisés Kheir1 et kheir2 des initiales des noms de personnes sur lesquelles ces enregistrements ont été effectués. Le lifting scheme nous sert de base de comparaison. Une sélection des résultats est présentée. Les ondelettes de Haar et de Cohen-Daubechies-Feauveau sont utilisées pour le lifting scheme.

Les figures 4 et 5 ci-dessous donnent le rapport signal sur bruit obtenu en fonction du taux de compression. Le comportement des différentes méthodes semble identique. Le classement est le même dans le cas des différents EMG utilisés

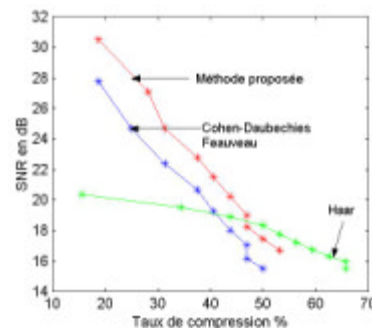


Figure 4. Variation du SNR en fonction du taux de compression pour le signal EMG baptisé Kheir1.

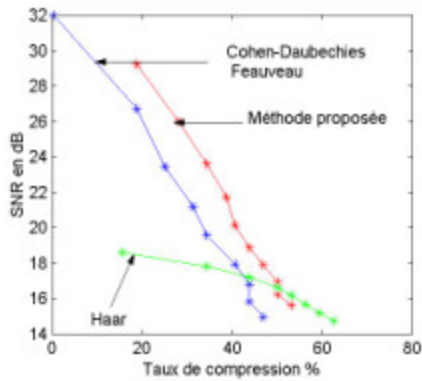


Figure 5. Variation du SNR en fonction du taux de compression pour le signal EMG baptisé Kheir2.

Les différentes courbes obtenues sont représentées sur les figures 6, 7, 8 et 9. A savoir, les variations du MFD et de l'entropie en fonction des taux de compression.

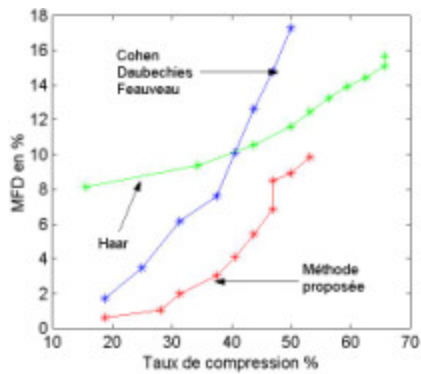


Figure 6. Variation du MFD en fonction du taux de compression pour le signal EMG baptisé Kheir1.

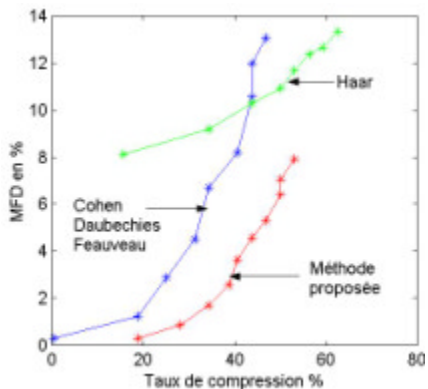


Figure 7. Variation du MFD en fonction du taux de compression pour le signal EMG baptisé Kheir2.

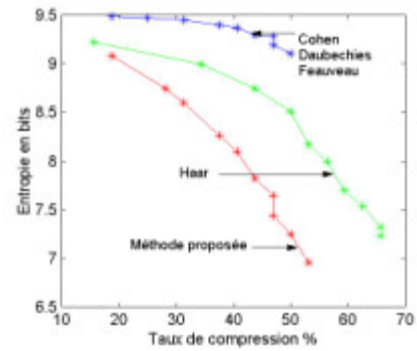


Figure 8. Variation de l'entropie en fonction du taux de compression pour le signal EMG baptisé Kheir1.

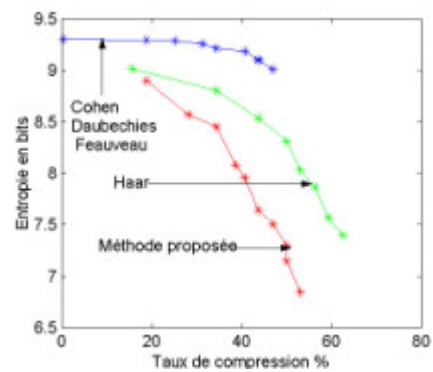


Figure 9. Variation de l'entropie en fonction du taux de compression pour le signal EMG baptisé Kheir2.

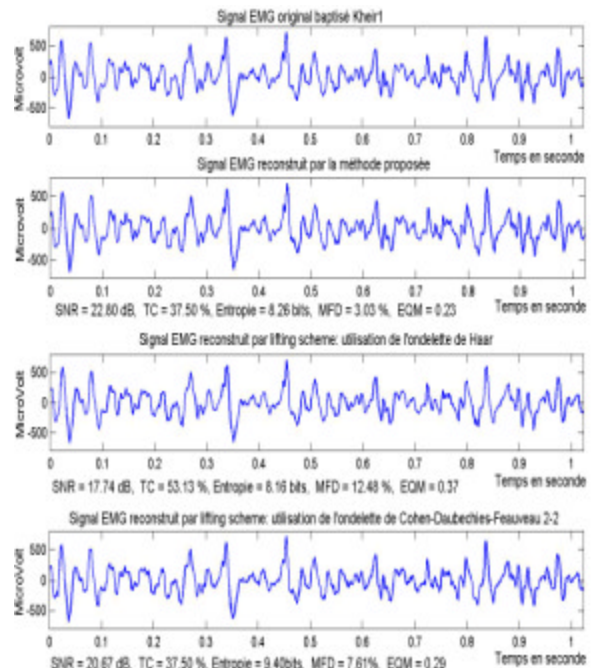
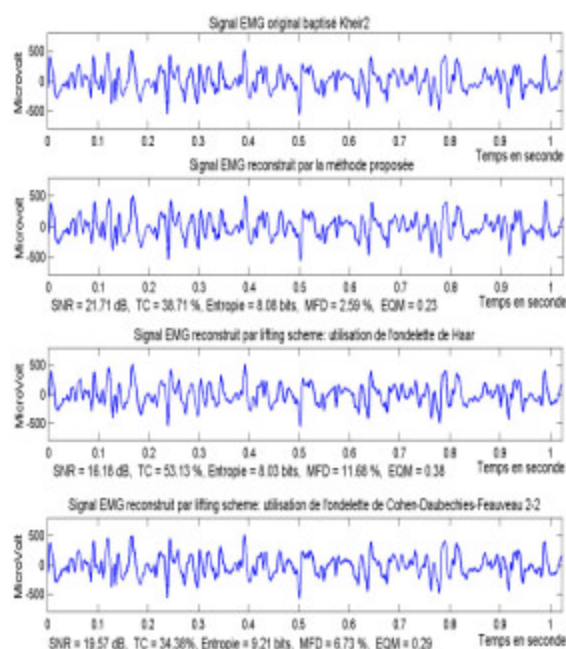


Figure 10. Reconstruction du signal EMG baptisé Kheir1.

Quelques exemples des signaux EMG étudiés sont montrés à travers les figures 10 et 11. Les résultats ont été obtenus avec un facteur de qualité  $F_q = 5$ .

En observant les figures 10 et 11, on constate qu'avec un taux de compression relativement acceptable, la qualité visuelle du signal EMG reconstruit est très bonne lorsqu'on applique la nouvelle méthode proposée. La dégradation est beaucoup plus gênante sur les signaux EMG reconstruit par la méthode utilisant le *lifting scheme* lorsque le facteur de qualité croît, et quand le taux de compression augmente. En même temps, les différences de qualité visuelle des signaux EMG reconstruits s'accroissent. L'approche mise au point produit un signal meilleur en termes de qualité visuelle.



**Figure 11. Reconstruction du signal EMG baptisé Kheir2.**

En observant les courbes des figure 4 et 5, une valeur élevée du SNR peut sembler suffisante pour accepter notre technique de codage. Cette nouvelle méthode nous procure des entropies faibles (figures 8 et 9). De même, la distorsion de la fréquence moyenne des signaux EMG est minime par rapport au *lifting scheme*. Au vu de tout ce qui précède, la méthode utilisée paraît meilleure.

Les tableaux 1 et 2 présentent les différents temps de compression pour les méthodes utilisées. En observant ces tableaux, nous constatons que le temps de compression par la Transformée dite « impaire » est minime par rapport au *lifting scheme*. Ce temps décroît lorsque le facteur  $F_q$  augmente. Les

calculs ont été faits avec Matlab 5.3 sur Pentium IV à 1.60 GHz.

Transformée dite « impaire »		Lifting scheme	
$F_q$	Temps (S)	Haar Temps (S)	Cohen Temps (S)
2	8.9370	9.7500	11.4220
3	6.3280	7.3900	8.1720
4	5.1720	6.4530	6.4530
5	4.5160	5.7340	5.4690
6	4.0460	5.2500	4.8600
7	3.7030	4.9070	4.3440

**Tableau 1. Variation du temps en fonction du facteur de qualité pour le signal EMG baptisé Kheir1.**

Transformée dite « impaire »		Lifting scheme	
$F_q$	Temps (S)	Haar Temps (S)	Cohen Temps (S)
2	7.9380	9.4220	10.2810
3	5.8130	7.0470	7.4530
4	4.8280	6.2650	6.0470
5	4.3130	5.5760	5.1560
6	3.9530	5.1250	4.5940
7	3.6090	4.8130	4.2030

**Tableau 2. Variation du temps en fonction du facteur de qualité pour le signal EMG baptisé Kheir2.**

#### 4. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une nouvelle méthode de compression qui paraît meilleure par rapport à la technique du *lifting scheme*. Cette méthode a une charge de calcul très faible. Le temps de compression est nettement plus réduit. Les résultats obtenus sont encourageants si l'on tient compte des critères objectif et subjectif (SNR, MFD et observation visuelle). Les taux de compression obtenus sont légèrement supérieurs aux méthodes utilisant les bsplines [8]. Mais, dans le domaine biomédical où le juge final est le médecin, le critère subjectif devrait être basé sur une expertise et un diagnostic en aveugle de signaux originaux et de signaux reconstruits. On pourra ainsi définir un taux de « bons diagnostics » en prenant en compte le nombre de fois où le médecin fera le même diagnostic sur le signal original et sur le signal reconstruit (*en ignorant bien sûr qu'il s'agit des mêmes signaux*). Une étude aboutissant à une réponse adéquate représentera certainement une progression importante pour le développement des méthodes

irréversibles et pour leur utilisation. Dans ce travail seul les signaux EMG ont été considérés. L'extension aux autres types des signaux électrophysiologiques est à explorer.

## 5. Bibliographie

[1] A. Cohen, I. Daubechies I, J. Feauveau, "Bi-orthogonal bases of compactly supported wavelets," Comm. Pure Appl. Math. 45, 485-560, 1992.

[2] A. Cohen, Y. Zigel, A. Katz, "A diagnostic meaningful distortion measure for ECG compression," Proc. 19<sup>th</sup> Conf. of Electrical and Electronic Eng. in Israel, pp.117-120, 1996.

[3] D. Khireddine, "Etude des paramètres du signal EMG associée à des exercices dynamiques : caractérisation de la fatigue lors de tests sur cycloergometre," Thèse de doctorat, présentée à l'Université Claude Bernard, Lyon 1, 29 juin 1998.

[4] I. Daubechies, W. Sweldens, "Factoring wavelet transforms into lifting steps," J. Fourier Appl. Vol.4. Nr.3.pp 247-269, 1998.

[5] J.A. Norris, K. Englehart, D. Lovely, "Steady-state and dynamic myoelectric signal compression using embedded zero-tree wavelets," Proc., 23<sup>rd</sup> annual Conference, IEEE/EMBS, Oct. 25-28, 2001, Istanbul, Turkey.

[6] M. Nelson, "Compression des données," Edition: Peter Burch, DUNOD, Paris, 1993.

[7] P. Ntsama Eloundou, P. Elé, E. Tonye, "Compression des signaux ElectroMyoGraphiques par le lifting scheme," Proc. 1<sup>er</sup> Conf. Int. Génie Electrique, 10 – 12 octobre 2004, Sétif, Algérie, pp. 320-326.

[8] P. Ntsama Eloundou, P. Elé, E. Tonye, "Compression robuste du signal ElectroMyoGraphique (EMG) par la transformée avec les Bsplines," Proc. 7<sup>th</sup> CARI, 22–25 nov. 2004, Hammamet, Tunisia, pp. 59-66.

[9] P. Ntsama Eloundou, P. Elé, E. Tonye, "Evaluation du "lifting scheme" pour la compression des signaux ElectroMyoGraphiques," Journal des Sciences pour l'Ingénieur, N°5, janvier 2005, pp. 1-9.

[10] P. Wellig, Z. Cheng, M. Semling, G. S. Moschytz, "Electromyogram data compression using single-tree and modified zero-tree wavelet encoding", Proc. of the 20<sup>th</sup> Int. Conf. of the IEEE Eng. in Medicine and Biology Society, 20(3), pp. 1303-1306, 1998.

[11] Sweldens, "The lifting scheme, a construction of second generation wavelets," SIAM J. Math. Anal. 29 (2),511-546. 1997.