

# Tatouage d'images : une nouvelle approche basée sur une méthode de compression

L. Guillemot

J-M. Moureaux

Centre de Recherche en Automatique de Nancy  
CRAN CNRS UMR 7039

Université Henri Poincaré, Nancy 1  
Faculté des Sciences et de Technologies - BP239  
54506 Vandœuvre Lès Nancy cedex, FRANCE

{guillemot, moureaux}@cran.uhp-nancy.fr

## Résumé

Nous proposons ici un algorithme de tatouage d'image basé sur l'étude des effets d'un schéma de compression. En découlent d'une part, une méthode de discrimination des zones de faible activité inintéressantes du point de vue du tatouage, et d'autre part, un mode d'insertion inspiré d'un résultat de la théorie de l'information. Le schéma de compression est basé sur une Transformée en Ondelettes associée à une Quantification Vectorielle Algébrique. L'approche vectorielle offre en effet de nombreux outils pour l'élaboration d'un schéma de tatouage efficace. Les résultats obtenus, concernant notamment la robustesse à la compression, sont encourageant et mettent en évidence l'intérêt de la simulation d'un processus de compression dans la mise au point d'un algorithme de tatouage.

## Mots clefs

tatouage d'images, compression, quantification vectorielle algébrique

## 1 Introduction

La sphère des applications du tatouage ne cesse d'augmenter depuis quelques années, englobant outre la protection de copyright et l'authentification, des domaines tels que l'indexage, le monitoring, etc. La compression avec perte, quant à elle, est non seulement une opération incontournable pour les images destinées à être transmises, mais aussi une attaque majeure à laquelle doit faire face le tatouage.

Dans cet article nous proposons un algorithme de tatouage qui prend en compte les effets d'un schéma de compression lors de l'insertion de la marque. Il comporte deux étapes : la localisation des zones tatouables et l'insertion proprement dite. Ces deux opérations sont basées sur l'interprétation des propriétés d'un schéma de compression performant : Transformée en ondelettes (TO) associée à une Quantification Vectorielle Algébrique (QVA).

Dans la première partie nous nous attacherons d'une part, à énoncer les propriétés remarquables de la QVA, et d'autre part, à présenter les principes de la localisation des zones tatouables. La deuxième partie est dédiée à la description de l'algorithme d'insertion et des opérations spécifiques au domaine non compressé. Des résultats expérimentaux seront présentés dans la troisième partie.

## 2 Compression et tatouage

Le principe de notre approche est de simuler une opération de compression afin d'en tirer des informations utiles au tatouage comme le montre la figure 1.

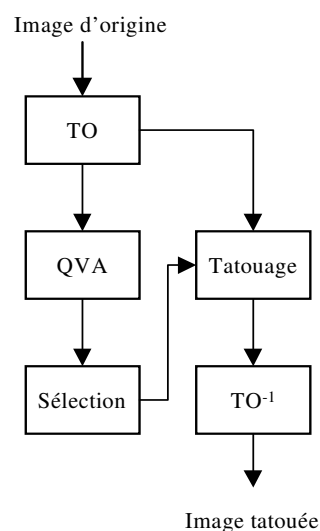


Figure 1 – Algorithme de tatouage

### 2.1 Présentation du schéma de compression

Le schéma de compression employé associe une TO à une QVA. La TO a permis d'améliorer de façon significative les performances des chaînes de compression. La Quantifi-

cation Vectorielle est la généralisation de la quantification scalaire à des blocs de pixels appelés vecteurs. Elle possède de meilleures performances que la quantification scalaire quel que soit le signal à comprimer.

Dans le cas de la QVA, le dictionnaire est construit de manière analytique, à partir d'une structure géométrique : un réseau [3] [4]. Le réseau employé dans le cadre de nos travaux est le plus simple : le réseau  $Z^n$ . Quantifier dans  $Z^n$  revient à quantifier uniformément chaque composante. Dans ce qui suit, on suppose que les coefficients d'ondelettes ont une distribution laplacienne, la norme utilisée est la norme  $L_1$ .

Nous allons à présent énoncer les différentes propriétés intéressantes de la QVA du point de vue du tatouage, propriétés sur lesquelles est basée notre schéma :

1. Considérer des blocs de coefficient permet de traiter les données par "zone d'intérêt pour le tatouage".

De plus, nous adaptons la forme des vecteurs au type de sous-bande. Par exemple, pour les détails verticaux on choisira des vecteurs verticaux afin de mieux "épouser" les zones de haute énergie.

2. L'énergie (i.e. la norme élevée à la puissance  $p$  pour une norme  $L_p$ ) des vecteurs de coefficients d'ondelettes est un élément de décision pour déterminer les zones de faible activité.

Cela consiste à considérer les vecteurs de faible énergie comme non significatifs, ce qui a conduit à la notion de zone morte vectorielle introduite dans [8].

3. Les vecteurs de même norme contiennent la même quantité d'information.

Cette dernière propriété concerne plus particulièrement la mise en oeuvre de l'algorithme d'insertion du tatouage présenté dans la deuxième partie.

## 2.2 Localisation des zones tatouables

La transformée en ondelettes est fréquemment utilisée en tatouage car elle permet de discriminer l'information à laquelle l'œil est sensible. Ainsi, dans une analyse multirésolution, on privilégiera le tatouage dans les niveaux de décomposition intermédiaires qui constituent un compromis entre imperceptibilité et robustesse. De nombreux travaux ont porté sur la localisation spatiale du tatouage, en fonction de critères psychovisuels [2]. Il s'agit de privilégier les zones de texture et les contours par rapport aux zones homogènes. Ici, nous proposons un critère basé sur la propriété 2 évoqué au paragraphe précédent : on regroupe les coefficients d'ondelettes par vecteurs, ceux dont l'énergie est inférieure au seuil sont exclus. Les figures 2 et 3 illustrent les effets d'un tel seuillage sur les coefficients d'ondelettes.



Figure 2 – Coefficients d'ondelettes de l'image Lena – niveau 3 (sous-image horizontale et verticale)



Figure 3 – Coefficients d'ondelettes non nuls après seuillage vectoriel – niveau 3 (sous-image horizontale et verticale) – seuils de, respectivement, 20 et 25

A l'issue de cette opération, on dispose pour chacune des sous-images considérées, d'une carte des vecteurs de forte activité. Les vecteurs de faible énergie sont exclus du processus de tatouage et pour chaque sous-image à tatouer. D'autre part, une clef permet de sélectionner les vecteurs candidats au tatouage.

## 3 Méthode de Tatouage proposée

Notre méthode est basée sur les propriétés spécifiques de la quantification vectorielle algébrique : dans notre cas, le porteur de l'information n'est ni la valeur quantifiée des données [6], ni le type de quantificateur utilisé [1], mais la classe du vecteur quantifié.

L'insertion s'effectue en deux temps, le vecteur sélectionné est d'abord quantifié et modifié par une transformation  $T$  en fonction du bit à insérer. La même transformation est ensuite appliquée au vecteur original.

### 3.1 Mode d'insertion proposé : Transformation des vecteurs

La transformation sur les données quantifiées que nous proposons est basée sur la propriété 3 du paragraphe 2.1 : en conservant la norme du vecteur,  $T$  conserve la quantité d'information qu'il contient afin de minimiser l'impact visuel de la transformation.

Soit  $X$  un vecteur sélectionné,  $\tilde{X}$  son quantifié. Le dictionnaire est noté  $D$ . Le dictionnaire est divisé en deux classes distinctes :

$D^*(0)$  contenant les vecteurs associés au bit 0 et  $D^*(1)$  contenant les vecteurs associés au bit 1.

$D^*(0)$  et  $D^*(1)$  sont définis comme suit :

-  $D^*(0)$  représente l'ensemble des vecteurs dont les composantes de distance minimale (non nulle) sont rangées dans l'ordre croissant

-  $D^*(1)$  contient les vecteurs dont les composantes de distance minimale sont rangés dans l'ordre décroissant.

La transformation  $T$  consiste alors à permuter les composantes de  $\tilde{X}$  les plus proches en fonction de la classe désirée i.e. le bit à insérer. On note  $\tilde{X}_t$  le vecteur transformé :

0-  $j = 1$

1-  $\tilde{X}_t = \tilde{X}$

2- trouver  $k$  ( $j < k$ ) tel que  $d(\tilde{x}_j, \tilde{x}_k) = |\tilde{x}_j - \tilde{x}_k|$  est minimum et non nul.

3- permuter  $\tilde{x}_j$  et  $\tilde{x}_k$  dans  $\tilde{X}$  de sorte que :

$$\tilde{x}_j < \tilde{x}_k \text{ si } i = 0$$

$$\tilde{x}_j > \tilde{x}_k \text{ si } i = 1$$

4- lire le bit inséré  $i'$  dans  $\tilde{X}_t$  :

trouver la classe  $D^*(i')$  de  $\tilde{X}_t$

5- si  $i' \neq i$  :  $j = j + 1$  : aller à l'étape 1  
sinon stop.

Les détails concernant la transformation  $T$  sont donnés dans [7].

### 3.2 Du domaine compressé au domaine multirésolution initial

L'algorithme décrit ci-dessus est basé sur une méthode agissant sur les données quantifiées. Le passage aux données "brutes" nécessite des opérations spécifiques sur les vecteurs sélectionnés afin de rendre possible l'extraction du tatouage. Il s'agit de minimiser la distance entre les vecteurs sélectionnés et leurs quantifiés afin qu'ils bénéficient des propriétés de robustesse de l'algorithme de tatouage présenté en [7] et [5]. Deux procédures sont ainsi nécessaires : l'une s'appliquant aux vecteurs tatoués et l'autre aux vecteurs exclus du processus.

**Procédure 1 : opération sur les vecteurs tatoués.** Le vecteur  $X_t$  transformé par  $T$  est rapproché de son quantifié  $\tilde{X}_t$  de la façon suivante :

$$X_\alpha = (1 - \alpha)X_t + \alpha\tilde{X}_t \quad (1)$$

où  $0 \leq \alpha \leq 1$  est un facteur de robustesse et  $X_\alpha$  le vecteur tatoué final substitué au vecteur original.

En rapprochant le vecteur tatoué de son quantifié, on diminue le risque de mauvaise extraction de l'information grâce aux propriétés de la quantification [6].

**Procédure 2 : opération sur les vecteurs non retenus.** Soit un vecteur sélectionné par la clef,  $X_r$ , mais qui n'a pas été retenu en raison de sa faible énergie. Une attaque peut facilement augmenter son énergie au-delà du seuil de sélection du fait de sa faible importance visuelle, l'incluant ainsi à tort dans la sélection.

$X_r$  va donc être projeté vers 0 afin de s'assurer que l'énergie de  $X_r$  restera en dessous du seuil.

On définit un nouveau facteur de robustesse  $\beta$ , avec  $0 \leq \beta \leq 1$  et  $X_\beta$  le vecteur projeté. On a :

$$X_\beta = \beta X_r \quad (2)$$

$X_\beta$  est alors substitué à  $X_r$ .

### 3.3 Extraction du tatouage

Le processus d'extraction comporte deux étapes :

– Détection des vecteurs tatoués en fonction de la clef et de la discrimination des vecteurs de faible énergie.

– Lecture des bits insérés dans chaque vecteur tatoué. Cette opération correspond à l'étape 4 de l'algorithme décrit ci-dessus.

En cas d'attaque, on peut distinguer deux types d'erreur : les erreurs issues d'une mauvaise détection et les erreurs issues d'une mauvaise lecture.

Des résultats théoriques concernant la robustesse de notre schéma dans le cas  $\alpha=1$  et  $\beta=0$  sont présentés en [5] et [7]. Ils montrent que, sous l'hypothèse d'une attaque de type bruit blanc gaussien, la variance nécessaire pour corrompre notre schéma implique une forte dégradation de l'image.

## 4 Résultats expérimentaux

Les tests présentés ici sur l'image Lena (figure 4) ont été effectués avec une décomposition en ondelettes sur 5 niveaux, un pas de quantification  $\gamma = 6$  et des facteurs de robustesse  $\alpha = \beta = 0,5$ . Le message inséré est de 120 bits (40 bits par sous image tatouée au niveau 3). Le PSNR de l'image tatouée (figure 5) est de 46,4 dB.



Figure 4 – Image originale

### 4.1 Localisation du tatouage

La figure 6 représente la différence entre l'image originale et l'image tatouée (marque de 120 bit dans le niveau 3). On peut remarquer que les zones homogènes de l'image Lena ont été exclues du processus de tatouage.

### 4.2 Robustesse

L'algorithme de tatouage proposé a été testé pour une compression JPEG. Les erreurs rencontrées lors de l'extraction

sont de 3 types : le bit extrait du vecteur est erroné, un vecteur est inclus par erreur dans la sélection ou un vecteur est exclu par erreur de la sélection. Les résultats obtenus en termes visuel (figure 5) et de robustesse (tableau 1) sont encourageants. Notons que pour les très forts taux de compression, le pourcentage d'erreur est dû essentiellement à une mauvaise lecture (et non à une mauvaise sélection) et que ces résultats pourraient être améliorés à l'aide d'un code correcteur d'erreurs. Enfin, nous soulignons le fait que notre schéma est bien entendu robuste à une compression du type QVA.

Qualité JPEG	90	50	40	30	20
% Vecteurs mal lu	0	0	0	0,8	11
% Vecteurs parasites*	0	0	1,6	2,5	3,3
% Vecteurs perdus	0	0	0	0	2,5

Tableau 1 – Robustesse de l'algorithme face à une attaque JPEG.

\* les vecteurs parasites sont inclus par erreur dans la sélection.



Figure 5 – Image tatouée (120 bits)

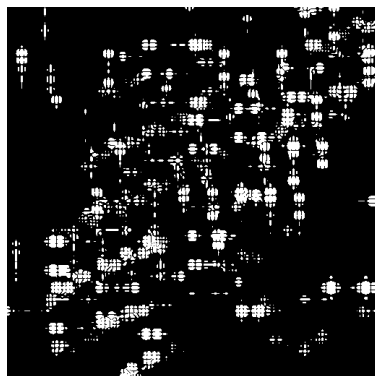


Figure 6 – Image de la différence entre l'image Lena originale et l'image tatouée

## 5 Conclusion

Nous avons proposé un algorithme de tatouage dont l'originalité repose sur la simulation d'un processus de compression. Deux points importants ont été présentés dans ce papier. Tout d'abord la méthode de localisation des zones favorables au tatouage. Cette approche est basée sur la notion de blocs de coefficients d'ondelettes appelés vecteurs. Elle consiste à utiliser la norme des vecteurs comme critère de décision. Le second point concerne le mode d'insertion de la marque. Exploitant à nouveau le point de vue particulier de la QVA, notre algorithme s'appuie sur la partition du dictionnaire en deux classes. Étant donnés les premiers résultats expérimentaux encourageants, nous envisageons d'appliquer cette approche à d'autres modes d'insertion afin de mettre en évidence les intérêts de notre méthode.

## Références

- [1] B. Chen, G. Wornell, "Quantization Index Modulation : a class of provably good Methods for Digital watermarking and information embedding", *IEEE Trans. Inf. Theory*, 2001.
- [2] J.F. Delaigle, C. De Vleeschouwer, B. Macq, "Watermarking algorithm based on a human visual model", *Signal Processing* 66, 1998.
- [3] T.R. Fischer and J. Pan, "Enumeration encoding and decoding algorithms for pyramid cubic lattice and trellis codes", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 41, pp. 2056-2061, november 1995.
- [4] A. Gersho, R.M. Gray, "Vector Quantization and Signal Compression", *Kluwer Academic Publishers*, 1992.
- [5] L. Guillemot, T. Voinson, J.M. Moureaux, "Lattice Vector Quantization with dead zone for an efficient combined compression and watermarking algorithm", *EUSPCO Toulouse, vol. 1, p. 67*, 2002
- [6] D. Kundur, D. Hatzinakos, "Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition", *vol. 5 proc. IEEE Int. Conf on Acoustic, Speech and Signal Processing*, 1998
- [7] J.M. Moureaux, L. Guillemot, "Image Compression and Watermarking using Lattice Vector Quantization", *SPIE San Jose, p. 600*, 2002.
- [8] T. Voinson, L. Guillemot, J-M. Moureaux, "Image Compression Using Lattice Vector Quantization with codebook shape adapted", *IEEE ICIP Rochester*, 2002.