

# Tatouage substitutif d'images intégrant un masque de pondération visuelle

H. Joumaa F. Davoine

Laboratoire Heudiasyc

UMR CNRS 6599, Université de Technologie de Compiègne  
60200 Compiègne cedex – France

{joumaaahu,fdavoine}@hds.utc.fr

## Résumé

*Les méthodes substitutives présentent des contraintes au niveau de leur capacité et de leur robustesse. Nous avons essayé d'améliorer la performance d'une méthode substitutive proposée par Chen et basée sur une quantification scalaire à demi-teinte, en utilisant un masque de pondération qui permet d'ajuster le pas de quantification au degré de perception psychovisuelle des dégradations engendrées par une modification des coefficients d'ondelettes. Nous avons effectué plusieurs tests pour étudier la robustesse de l'algorithme face à des attaques de type traitement du signal, notre but étant de proposer une méthode de tatouage pour l'augmentation des contenus, et plutôt que pour la protection du copyright. La méthode offre une capacité d'insertion élevée, mais elle reste vulnérable face à des attaques géométriques.*

## Mots clefs

Tatouage, méthode substitutive, ondelettes, pondération psychovisuelle, quantification à demi-teinte.

## 1 Introduction

Les principales méthodes de tatouage proposées dans la littérature se répartissent en deux catégories : les méthodes additives et les méthodes substitutives. Les méthodes substitutives présentent des avantages par rapport aux méthodes additives. Elles permettent d'insérer un nombre important de bits en exploitant le fait que le codeur a accès aux propriétés du signal hôte (on parle dans ce cas de tatouage informé). Une première méthode de tatouage substitutif basée sur la quantification a été proposée par Swanson et al. [1]. Chen [2] a proposé une modulation QIM (*Quantization index modulation*), basée sur un système de quantificateurs à demi-teinte (DM : *Dither Modulation*) : il suffit de définir un quantificateur de base et  $\mathbf{n}$  vecteurs de translation (*dither signals*) pour définir un système à  $\mathbf{n}$  quantificateurs qu'on utilise pour cacher  $\mathbf{n}$  messages différents. Dans un problème équivalent à celui

du tatouage aveugle, Costa [3] montre que, dans une application de transmission, la capacité d'un canal à deux bruits gaussiens additifs, dont le premier est connu du codeur, est la même si le décodeur a également accès au premier bruit. Pour le montrer, Costa utilise un dictionnaire aléatoire exploitant la connaissance du premier bruit. Eggers et al. [4] ont développé un système basé sur l'idée de Costa (le *Scalar Costa Scheme*), en utilisant un dictionnaire structuré : c'est un système de quantificateurs à demi-teinte avec un ajustement du bruit de quantification par facteur  $\alpha$ .

Nous avons développé un algorithme de tatouage substitutif aveugle, qui permet d'insérer un message binaire dans des images fixes. Il est basé sur une quantification à demi-teinte binaire, ajustée par une pondération psychovisuelle appropriée. Dans la suite, nous présentons les phases d'insertion et de décodage du message, puis quelques tests permettant d'apprécier les qualités de l'algorithme. Dans le dernier paragraphe, nous concluons.

## 2 Schéma

Dans ce paragraphe, nous présentons les phases d'insertion et de décodage du message.

### 2.1 Phase d'insertion

On effectue la transformée en ondelettes de l'image originale. On considère les sous-bandes du niveau de résolution 1. On décompose chaque sous-bande en blocs composés de  $8 \times 8$  coefficients. Dans chaque bloc, on insère un seul bit en quantifiant ses coefficients : la modulation à demi-teinte est alors binaire. Le pas de quantification est pondéré par un masque psychovisuel initialement utilisé par Lewis et al. [5] dans le cadre de travaux sur la compression en ondelettes. On définit un pas de quantification  $\mathbf{q}$  correspondant à un coefficient d'ondelettes  $\mathbf{c}$  comme suit :

$$\mathbf{q}(i,j,l,\theta) = \Theta(l,\theta) \wedge(l,i,j) \Xi(l,i,j)$$

où :

$\Theta(l, \theta)$  : prend en compte la sensibilité au bruit qui varie en fonction de l'orientation  $\theta$  et le niveau de résolution  $l$ .

$\Lambda(l, i, j)$  : estime la luminance locale au niveau du coefficient de coordonnées  $(i, j)$  en se basant sur les moyennes des sous-bandes de basse fréquence.

$\Xi(l, i, j)$  : mesure l'activité de la texture dans le voisinage de  $(i, j)$ , au niveau de résolution  $l$ .

Ce masque psychovisuel a été utilisé par Piva et al. [6] dans un système de tatouage additif par étalement de spectre. Cayre et al. [7] l'ont également utilisé dans un système de tatouage additif à plusieurs couches.

Le masque psychovisuel est calculé sur les sous-bandes du niveau de résolution  $l=1$ , d'orientations  $\theta$ . On aura ainsi pour ce niveau de résolution le pas de quantification  $\Delta_v(i, j)$  correspondant au coefficient d'ondelette  $c(i, j)$ . Puis on multiplie ce pas par un coefficient constant  $\beta$  représentant la force de la marque qu'on choisit expérimentalement en fonction de l'application et de la qualité visuelle désirée. On détermine donc le pas final  $\Delta_f$  utilisé pour la quantification ( $\Delta_f = \beta \cdot \Delta_v$ ).

Grâce à un tel système, le pas de quantification sera plus important dans les zones offrant un fort pouvoir de masquage.

Le système de quantification à demi-teinte est donc défini par le pas final  $\Delta_f(i, j)$ . On utilise deux quantificateurs  $Q_0$  et  $Q_1$  translatés l'un par rapport à l'autre de  $\Delta_f/2$ .

Il est utile de rappeler que la quantification à demi-teinte est une opération dans la quelle un signal de décalage  $d$  est ajouté à un signal présent à l'entrée d'un quantificateur [8]. Il y a plusieurs types de quantification à demi-teinte. Dans le cadre de tatouage, la quantification à demi-teinte soustractive est classiquement utilisée.

Un système de quantificateurs à demi-teinte ( $Q_0, \dots, Q_i, Q_j, \dots$ ) a la propriété suivante : les cellules de quantification et les points de reconstruction d'un quantificateur  $Q_i$  sont obtenus par translation des cellules et des points d'un autre quantificateur  $Q_j$ .

Pour implémenter la méthode QIM à l'aide de quantificateurs à demi-teinte, nous procédons de la manière suivante [2] :

- On construit un premier quantificateur  $q(\cdot)$ .
- Chaque message  $m$  module un signal de décalage  $d[m]$  différent, et ainsi à chaque message correspond un quantificateur  $Q_m$ .

Ainsi, si  $s$  est le signal résultant de l'insertion d'un

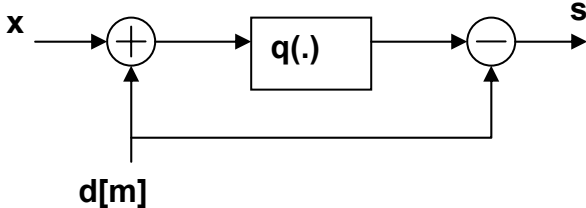


Figure 1 – Schéma de Modulation DM : insertion d'un message  $m$  dans un signal hôte  $x$ .

message  $m$  dans un signal hôte  $x$ , on aura :

$$s(x; m) = q(x + d[m]) - d[m]$$

Dans la figure 1, nous illustrons un schéma de modulation à demi-teinte (DM).

Dans cet article, nous nous intéressons à un schéma à demi-teinte binaire : on considère l'insertion d'un bit d'information (deux messages) par bloc. A partir du quantificateur scalaire de pas  $\Delta_f$ , on construit deux quantificateurs  $Q_0$  et  $Q_1$  en considérant deux signaux de décalage  $d[0]$  et  $d[1]$  :

- $d[0]$  est choisi arbitrairement (généralement  $d[0] = 0$ ).
- $d[1]$  est construit à partir de  $d[0]$  de telle façon que les points de construction de  $Q_0$  et  $Q_1$  soient le plus possible éloignés les uns des autres :  
 $d[1] = d[0] + \Delta_f/2$  si  $d[0] > 0$   
 $d[1] = d[0] - \Delta_f/2$  si  $d[0] < 0$

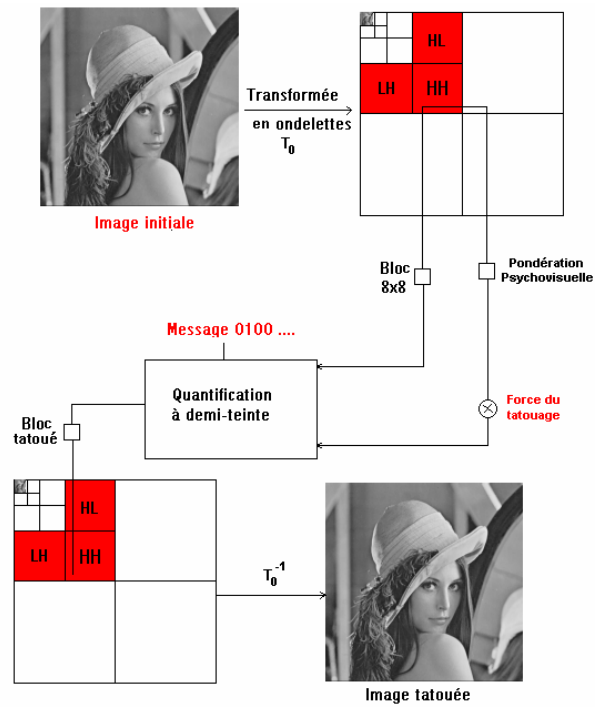


Figure 2 – Schéma d'insertion d'un bit dans chaque bloc de  $8 \times 8$  coefficients d'ondelettes.

On considère un coefficient donné d'un bloc  $8 \times 8$ . On le quantifie par  $Q_0$  si le bit à insérer est 0, et on le quantifie par  $Q_1$  si le bit est 1.

Nous avons proposé deux approches : l'une quantifie tous les coefficients d'un bloc  $8 \times 8$  (méthode globale), l'autre ne quantifie que quelques coefficients choisis à l'aide d'une clé privée (méthode partielle). L'introduction d'une clé améliore la sécurité du système. L'algorithme permet d'insérer 768 bits dans des images  $512 \times 512$ .

Le principe de l'insertion d'un tatouage est illustré sur la figure 2.

## 2.1 Phase de décodage

Le décodage se fait en aveugle, à partir de l'image tatouée seule. On effectue une transformée en ondelettes de l'image, puis on considère les sous-bandes du niveau 1. On décompose chaque sous-bande en blocs de taille 8x8. On rappelle que dans chaque bloc, un bit d'information est inséré. Pour un bloc donné  $B$ , le décodage se fait comme suit :

- On effectue une quantification de tous les coefficients de  $B$  à l'aide des deux quantificateurs  $Q_0$  et  $Q_1$ .
- On arrange les coefficients quantifiés de  $B$  suivant deux ensembles  $M_1$  et  $M_2$  tels que :  
Soit un coefficient quelconque  $c \in B$ ,  $c_1$  dénote le point résultant de la quantification de  $c$  par  $Q_0$ ,  $c_2$  dénote le point résultant de la quantification de  $c$  par  $Q_1$ .  
Si  $(\text{distance}(c, c_1) < \text{distance}(c, c_2))$  alors  $c \in M_1$  sinon  $c \in M_2$ .
- Si  $(\text{cardinal } M_1 \gg \text{cardinal } M_2)$  on conclut que le bit inséré dans  $B$  est égal à 0. Dans les tests effectués, on considère qu'un bit est égal à 1 si, au moins, 60 % des coefficients de  $B$  sont arrangés dans  $M_1$ .
- Si  $(\text{cardinal } M_2 \gg \text{cardinal } M_1)$  on conclut que le bit inséré dans  $B$  est égal à 1.  
Si  $(\text{cardinal } M_1 \approx \text{cardinal } M_2)$ , le bloc n'est pas tatoué.

On effectue le décodage sur tous les blocs, et on compose un message binaire, dans le cas où la plupart des blocs retournent une réponse égale à 0 ou 1. Dans les tests effectués, on considère qu'une image est tatouée si, au moins, 60 % des blocs de la bande 1 donnent une réponse binaire.

La figure 3 illustre les différentes étapes de décodage d'un bloc quelconque.

## 3 Tests et résultats

Dans cette partie, nous présentons les tests effectués pour étudier la stabilité du masque psychovisuel, et les tests de la robustesse de l'algorithme face aux attaques de type traitement de signal. Les tests que nous présentons ici ont été effectués sur des images tatouées par la méthode partielle (cf. 2.1) qui quantifie, dans ce cas, 8 coefficients d'un bloc 8x8 de coefficients de la transformée en ondelettes. Par rapport à la méthode globale, l'algorithme partiel permet d'augmenter la robustesse en gardant la même qualité visuelle : ceci étant une conséquence immédiate du faible nombre de coefficients tatoués dans l'algorithme partiel.

### 3.1 Stabilité du masque psychovisuel

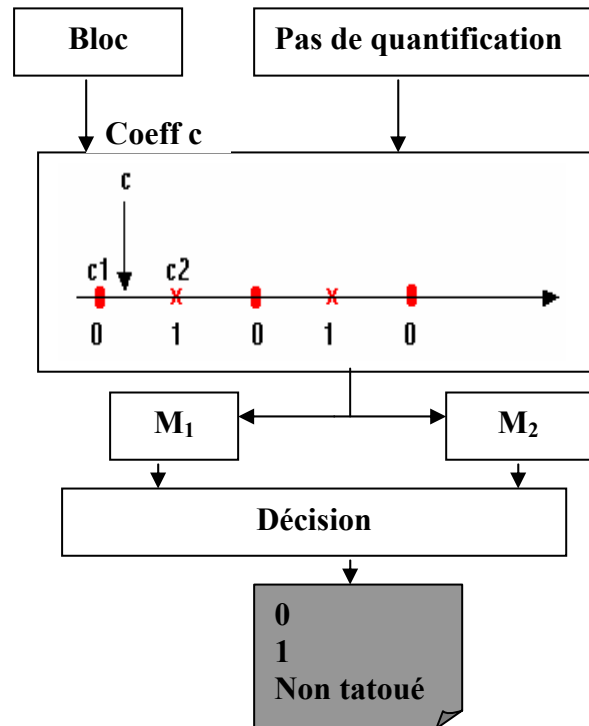


Figure 3 – Extraction d'un bit inséré dans un bloc de 8x8 coefficients d'ondelettes.

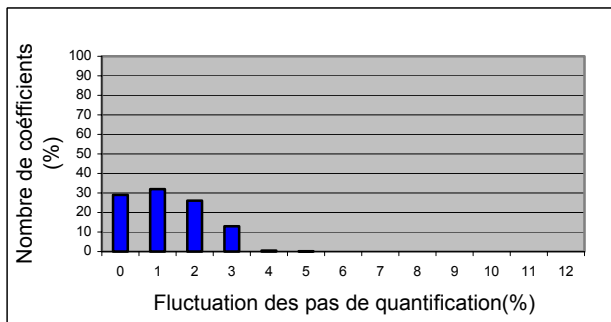
L'application d'un masque psychovisuel sur l'image à tatouer permet de la quantifier avec des pas de quantification variables. Nous avons étudié les propriétés du masque dans le chapitre précédent (cf. 2.1). Dans la phase de détection, le décodeur applique le même masque, cette fois, sur l'image tatouée afin d'avoir les pas de quantification nécessaires pour retrouver le message. En pratique, l'image pourra être attaquée. Pour que l'algorithme fonctionne bien, il faut que les pas soient assez stables envers des attaques.

Tout d'abord, nous avons étudié la stabilité des pas de quantification face à une attaque JPEG 50%. Ensuite nous avons attaqué les images tests avec un bruit additif jusqu'à avoir un rapport PSNR de l'ordre de 17 dB. Dans les deux cas, nous remarquons que la plupart des pas de quantification subissent un décalage de l'ordre de 8% de leur valeur initiale. Ceci montre la stabilité relative du masque envers ces types d'attaques. Dans la figure 4, nous présentons l'histogramme de stabilité du masque face à une attaque JPEG 50 % pour l'image Mandrill 512x512.

### 3.2 Robustesse de l'algorithme

Nous avons pu décoder le message sans erreur pour des images marquées légèrement (PSNR = 50dB).

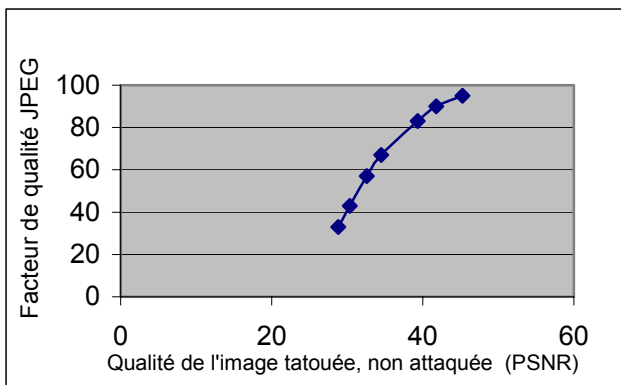
Nous avons décidé de valider l'algorithme face à des attaques de type « traitement du signal » (filtrage, ajout de bruit, modifications de l'histogramme, etc.). Nous nous intéressons ici plus particulièrement à la compression



**Figure 4** – Fluctuation (en %) de la valeur des pas de quantification. La plupart des pas ont subi un décalage inférieur à 3% de leur valeur initiale.

JPEG. Dans la figure 5, nous présentons une courbe permettant d'apprécier la robustesse de la méthode face à cette attaque pour des forces de marquage variantes, et pour un décodage sans aucune erreur, sur l'image Mandrill 512x512. Nous avons réussi à décoder le message en considérant des attaques JPEG de l'ordre de 65 % en conservant la qualité visuelle des images.

Cependant, le décodage est impossible face à une attaque géométrique. En effet, toute désynchronisation spatiale rend la méthode inefficace puisque le principe de l'algorithme consiste à quantifier des blocs de l'image à des positions précises, et repose sur une transformée en ondelettes sensible aux attaques géométriques.



**Figure 5** - Résistance de la méthode face à une attaque JPEG pour l'image Mandrill 512x512. Dans chacun des cas, l'extraction des 768 bits se fait sans erreur.

#### 4 Conclusion et perspectives :

Nous avons proposé une méthode de tatouage substitutive utilisant une quantification scalaire binaire. La méthode exploite l'intérêt d'un masque psychovisuel.

La capacité de la méthode est intéressante. Elle résiste à des attaques JPEG acceptables (de l'ordre de 60-70 %). En revanche, la méthode se montre fragile par rapport à des attaques géométriques. Elle semble donc intéressante

pour des applications de type "canal caché" dans le but d'augmenter la capacité du canal. Cependant, elle n'est pas suffisamment fiable pour des applications de droit d'auteur où la robustesse et la sécurité du schéma de tatouage sont primordiaux.

Dans cette méthode, nous avons choisi de quantifier les sous-bandes d'un niveau de résolution moyen. Pour une application demandant plus de robustesse, il serait utile de cacher un nombre faible de bits dans des sous-bandes de plus faible résolution. En revanche, pour une application qui exige une capacité plus grande au détriment de la robustesse, on pourrait quantifier les coefficients de plus haute résolution.

Nous avons utilisé un masque psychovisuel proposé dans le cadre de la compression. L'étude des masques psychovisuel est liée aux méthodes de tests psychovisuels : une nouvelle méthode a été proposée récemment [9]. Elle exploite d'autres propriétés du système visuel humain (SVH). Une autre méthode exploite la multirésolution d'une transformée en ondelettes pour mieux simuler un SVH [10]. Ces méthodes permettent d'avoir un tatouage plus transparent.

#### Références

- [1] M. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik. Data hiding for video in video. *IEEE International Conference on Image Processing*, Santa Barbara, October 1997.
- [2] B. Chen. Design and analysis of digital watermarking, information embedding and data hiding systems. *Ph.D. thesis*, Massachusetts Institute of Technology, June 2000.
- [3] M. Costa. Writing on dirty paper. *IEEE Transactions on Information Theory*, 29 (3): 439-441, 1983.
- [4] J. J. Eggers, J. K. Su and B. Girod. A Blind Watermarking Scheme Based on Structured Codebooks. *IEEE colloquium : Secure Images and Image Authentication*, London, April 2000.
- [5] A. Lewis and G. Knowles. Image compression using the 2D Wavelet Transform. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1(2) : 244-250, 1992.
- [6] A. Piva, M. Barni, F. Bartolini and V. Cappellini. Mask building for perceptually hiding frequency embedded watermarks. *IEEE International Conference on Image Processing*, Chicago, October 1998.
- [7] F. Cayre et F. Davoine. Vers un tatouage mou. *Traitement du signal*, 18(4) : 259-270, 2001.
- [8] S. P. Lipshitz, R.A. Wannamaker and J. Vanderkooy. A Theoretical Survey of Quantization and Dither, *Journal of the Audio Engineering Society*, 40: 355-375, May 1992.
- [9] M. J. Nadenau, J. Reichel and M. Kunt. Performance comparison of masking models based on a new psychovisual test method with natural scenery stimuli, *Signal processing : Image communication*, 17: 807-823, 2002.
- [10] M. Kutter and S. Winkler. A Vision-based Masking Model for Spread-Spectrum Image watermarking. *IEEE Transactions on Image processing*, 1(2): 244-250, 2002.