

République Algérienne Démocratique et Populaire.
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université Saad Dahlab, Blida

USDB.

Faculté des Sciences.

Département Informatique.

Mémoire pour l'Obtention
d'Un Diplôme d'Ingénieur d'Etat En Informatique.

Option : Intelligence Artificielle

Sujet :

Développement et Réalisation d'un
Algorithme de Tatouage d'Images
Basé sur les Ondelettes (DWT)

Présenté par: SLAMANI Mustapha
MEBAREK Salah-eddine

Promoteurs : BRAHIMI Zahia
AIT SAADI Karima

Organisme d'accueil : CDTA

Soutenu le : 22/12/2005, devant le jury composé de :

Melle : D.Mokhtari

Madame : N.Cherfa

Mr : M.Bougherara

Président

Examinatrice

Examineur

DEDICACES



Je dédie ce modeste mémoire
A mon père qui est ma joie de vivre.
A ma très chère mère que j'adore très fort.
A toute ma famille
A mon binôme.
A mohamdi, redouane et a tous mes amis.
A tous ceux qui m'aiment.

Mustapha.

A mon binome.
A tous mes amies djilali, djamel, tahir, kadi, abderezak.
A tous ceux qui m'aiment.
Je dédie ce travail.

Salah-eddine.

RESUME

Le tatouage des images est un domaine de recherche très fertile. Même si actuellement, l'application première du tatouage d'images est la défense des droits d'auteur, de nombreuses autres applications sont envisageables. Dans notre travail, l'application du tatouage consiste à assurer une transmission sécurisée des images médicales à travers des réseaux publics ou hospitaliers.

Deux grandes étapes constituent notre travail, la première est le codage des informations médicales. La seconde, consiste en l'implémentation d'un algorithme de tatouage basé sur la transformée en ondelettes discrètes (DWT), qui se base sur le principe de quantification.

ABSTRACT

The watermarking of the images is currently a very fertile field of research. Even if currently, the first application of watermarking is the defense of copyright, many other applications are possible. In our work, the application of watermarking consists to ensure a protected transmission of the medical images through public or hospital networks.

Our work comprise two great stages, the first is the coding of medical information and the second, consists in the implementation of watermarking algorithm based on the discrete wavelets transformation (*DWT*), which is based on the principle of quantization.

MOTS CLES : transformée en ondelettes, tatouage d'images, quantification scalaire, watermarking.

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné après tant d'années passées, la possibilité, la force et le courage de continuer mes études et de terminer ce modeste travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et mes remerciements à mes promotrices Melle BRAHIMI Zahia et Mme AIT SAADI Karima pour nous avoir proposé ce sujet et pour leur aide matérielle et morale.

Mes remerciements vont aussi au président et aux membres de jury pour l'honneur qu'ils me font de participer à ce jury.

Mes remerciements s'adressent également à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Enfin, un remerciement particulier à mon père, ma mère, ma grande sœur, et mes frères, mes sœurs et tous les membres de ma famille pour leurs encouragements continus.

Mustapha

REMERCIEMENTS

Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné après tant d'années passées, la possibilité, la force et le courage de continuer mes études et de terminer ce modeste travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et mes remerciements à mes promotrices Melle BRAHIMI Zahia et Mme AIT SAADI Karima pour nous avoir proposé ce sujet et pour leur aide matérielle et morale.

Mes remerciements vont aussi au président et aux membres de jury pour l'honneur qu'ils me font de participer à ce jury.

Mes remerciements s'adressent également à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Enfin, un remerciement particulier à ma mère, ma grande mère, mes tantes et mes oncles et tous les membres de ma famille pour leurs encouragements continus.

A la mémoire de mon grand père

Salah Eddine

Table des matières :

INTRODUCTION GÉNÉRALE	01
Chapitre I : Etat de l'art sur le tatouage des images	
I.1 Introduction	03
I.2 Caractéristiques et différentes formes de tatouage	04
I.3 Les intérêts et application du tatouage	05
I.3.1 Les intérêts	05
I.3.2 Les applications	06
I.4 Principe général d'un système de tatouage	08
I.4.1 Insertion	08
I.4.2 L'extraction	09
I.5 Les attaques	09
I.5.1 Définition	09
I.5.2 Fonctionnement	10
I.5.3 Les différents types d'attaques	10
I.5.3.1 les attaques aveugles	10
a- Les transformations géométriques	10
b- Les transformations fréquentielles	11
I.5.3.2 Les attaques volontaires	12
I.5.3.3 Les attaques de nature cryptographie	12
a. Attaque sur le copyright	13
b. Attaque sur la protection de copie	13
I.6 Classification des schémas de tatouage	13
I.6.1 Les schémas de tatouage	14
a. Les schémas additifs	14
b. Les schémas substitutifs	16
I.6.2 Les techniques de tatouage	17
I.6.2.1 Dans le domaine spatial	17
a. Les méthodes basées sur les schémas additifs	17
b. Les méthodes basées sur les schémas substitutifs	19
I.6.2.2 Dans le domaine fréquentiel	20
a. Les méthodes basées sur les schémas additifs	20
b. Les méthodes basées sur les schémas substitutifs	21

I.6.2.3 Dans le domaine multiresolution	22
a. Les méthodes basées sur les schémas additifs	22
b. Les méthodes basées sur les schémas substitutifs	24
I.7 Conclusion	25
Chapitre II : Les ondelettes	
II.1 Introduction	26
II.2 Historique de la transformée en ondelettes	26
II.3 Analyse des signaux par ondelettes	28
II.3.1 Transformée en ondelettes continue	28
II.3.2 Transformée en ondelettes discrète	28
II.4 Implémentation de la transformée en ondelettes discrète	34
II.4.1 Algorithme à trou	35
II.4.2 Algorithme de S.MALLAT	35
II.4.2.1 Algorithme unidimensionnel (1D)	36
II.4.2.2 Algorithme bidimensionnel (2D)	40
II.4.3 Algorithme MALLAT amélioré	44
II.5 Propriétés des ondelettes	46
II.6 Différents types d'ondelettes	46
II.6.1 Ondelettes orthogonales	46
II.6.1.1 Ondelettes orthogonales simple	47
II.6.1.2 Ondelletes de DAUBECHIES	47
II.6.1.3 Ondelettes de ROKHLIN COIFMAN dites "COIFLETS"	48
II.6.2 Ondelettes biorthogonales.	48
II.6.2.1 Ondelettes biorthogonales SPLINE	49
II.6.2.2 Les pseudo coiflets	49
II.7 Conclusion	50
Chapitre III : Les techniques de tatouage d'images basées sur les ondelettes	
III.1 Introduction	51
III.2 Tatouage substitutif intégrant un masque de pondération visuelle	51
III.2.1 Phase d'insertion	52
III.2.2 Phase d'extraction et décodage	56
III.3 Tatouage d'image numérique utilisant la décomposition en ondelettes dans le domaine multirésolution	58

III.3.1 Architecture de la technique	58
III.3.2 Phase d'insertion	59
III.3.3 Phase d'extraction	60
III.4 Conclusion	62
Chapitre IV : Réalisation et implémentation	
IV.1 Introduction	63
IV.2 Description de la méthode	63
IV.3 Architecture général du logiciel	65
IV.3.1 Extraction des données	65
IV.3.2 Transformée en ondelettes	65
IV.3.2.1 Initialisation	66
IV.3.2.2 Filtrage 2D	66
IV.3.3 Transformée en ondelettes inverse	70
IV.3.3.1 Principe de reconstruction	70
IV.3.4 Sélection et tri des coefficients	74
IV.3.5 Codage des informations	75
IV.3.6 Quantification	77
IV.3.7 Extraction des bits	82
IV.3.8 Décodage d'informations	84
Chapitre V : Tests et résultats	
V.1 Description du logiciel	85
V.1.1 Ouverture de l'image	86
V.1.2 Saisie et codage des informations	87
V.1.3 Insertion des informations	88
V.1.4 Extraction des informations	89
V.2 Transformée en ondelettes	90
V.2.1 Choix du meilleur filtre	90
V.2.2 Les niveaux de décomposition	90
V.3 Tatouage des images médicales	92
V.3.1 Tests et résultat	92
V.4 Conclusion	99
CONCLUSION GÉNÉRALE	100
BIBLIOGRAPHIE	101

Liste des Figures

N° Figure	Titre de la figure	Page
Fig.I.1	Insertion d'une signature	08
Fig.I.2	Principe d'un algorithme de tatouage.	09
Fig.I.3	Insertion de la signature pour les schémas additifs.	15
Fig.I.4	Principe de l'insertion par substitution.	16
Fig.I.5	Détection et lecture de la signature par substitution.	17
Fig.I.6	Principe d'insertion de schéma de Hartung et Giroto	18
Fig.I.7	Insertion de la signature selon le schéma de Barni et al.	23
Fig.II.1	Schéma de décomposition 1D de l'algorithme S.Mallat.	37
Fig.II.2	Schéma de reconstruction 1D de l'algorithme S.Mallat.	40
Fig.II.3	Schéma de décomposition 2D de l'algorithme S.mallat.	42
Fig.II.4	Décomposition pyramidale par ondelettes.	43
Fig.II.5	Schéma de reconstruction 2D de l'algorithme S.Mallat.	44
Fig.II.6	Schéma de reconstruction 2D de l'algorithme de S.Mallat amélioré.	45
Fig.III.1	Schéma de modulation DM.	53
Fig.III.2	Schéma d'insertion d'un bit dans chaque bloc de 8*8 coefficients.	55
Fig.III.3	Extraction d'un bit inséré dans chaque bloc de 8*8 coefficient.	57
Fig.III.4	Schéma de la technique de tatouage développée.	58
Fig.III.5	Procédure de quantification pour le tatouage.	60
Fig.IV.1	Décomposition en ondelettes à trois niveaux.	64
Fig.IV.2	Architecture générale de TIMO	65
Fig.IV.3	Le module transformée en ondelettes.	65
Fig.IV.4	L'image après opération de filtrage1_1D	69
Fig.IV.5	L'image après opération filtrage2_1D.	69
Fig.IV.6	Tab _pixel à la sortie du module filtrage_2D.	70
Fig.V.1	Menu principale de l'application.	86
Fig.V.2	Ouverture d'une image	86
Fig.V.3	Fenêtre de saisie et de codage des informations	87
Fig.V.4	Vérification des informations codées	88

Fig.V.5	Insertion des informations	89
Fig.V.6	Extraction des informations	90
Fig.V.7	Décomposition/reconstruction en ondelettes à plusieurs niveaux d'une image médicale	91
Fig.V.8	Test sur l'image Thorax	93
Fig.V.9	Test sur l'image Méningiome T2	94
Fig.V.10	Test sur l'image Thymomexface	95
Fig.V.11	Test sur l'image Radio mainG	96
FIG.v.12	Tests sur l'image gliome du tronc	97
Fig.V.13	Test sur l'image de Meningiome de l'olfactif	98

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Avec l'apparition et le développement des nouvelles technologies numériques, les fraudes se sont multipliées, soulignant le manque de méthodes concernant la protection des données numériques. Ces données sont en effet très faciles à pirater : on peut les stocker, les copier, les modifier et enfin les diffuser illégalement sans qu'elles perdent de leur qualité. Une image numérique, diffusée par exemple sur Internet, peut être aisément copiée puis rediffusée sur un réseau ou stockée sur CD-ROM sans prise en compte des droits d'auteurs. Pour répondre à ces besoins, un nouvel axe de recherche se développe très rapidement : **le watermarking** (traduction en français : filigrane, tatouage numérique ou marquage des documents). Malgré les nombreuses applications possibles (contrôle de la diffusion des images, amélioration de la confidentialité des données médicales, contrôle d'intégrité des images, ...) l'utilisation du watermarking reste très peu abordée en imagerie médicales, ceci est dû à la spécificité des images médicales (non modification de l'information diagnostique par exemple). Le principe des techniques dites de tatouage est d'insérer une marque imperceptible dans les valeurs de la donnée. Dans le cadre de la protection des droits d'auteurs, la marque insérée, appelée "watermark" correspond au code copyright, ou bien encore le contenu de la marque peut être constitué de diverses informations (identification du patient, informations diagnostiques...) dans le cadre de l'imagerie médicale. Ce type de tatouage doit répondre à des contraintes fortes en termes de robustesse. En effet, quelles que soient les transformations (licites ou illicites) que la donnée tatouée subit, la marque doit rester présente tant que la donnée reste exploitable. De plus, la présence de la marque ne doit être détectée que par des personnes autorisées (possédant une clef de détection privée). De nombreux algorithmes ont été présentés et certains produits sont même commercialisés, cependant, aucun d'eux ne satisfait pleinement au cahier des charges idéal.

Le travail qui nous a été confié consiste en l'élaboration et la réalisation d'un algorithme de tatouage des images médicales fondé sur la décomposition en ondelettes discrète (DWT) permettant d'apporter réellement des fonctionnalités nouvelles, et surtout aux médecins.

Nous avons organisé ce travail en plusieurs chapitres que nous décrivons brièvement :

- Dans le premier chapitre, nous exposons les principes et propriétés générales des processus du tatouage.
- Dans le chapitre deux, nous présentons la théorie des ondelettes et leurs applications dans le domaine du traitement d'images.
- Le troisième chapitre comporte les différentes techniques de tatouage d'images fondées sur l'utilisation des ondelettes.
- Le chapitre quatre de ce mémoire est consacré à la mise en œuvre et à l'implémentation de l'algorithme de tatouage. Nous décrivons en détails la méthodologie adoptée, ainsi que les différentes étapes nécessaires suivies dans la réalisation de notre schéma de tatouage, en allant de l'extraction des données de l'image source jusqu'à l'information extraite.
- Le cinquième chapitre produit un récapitulatif des résultats obtenus et interprétés.

CHAPITRE I :

ETAT DE L'ART SUR LE TATOUAGE D'IMAGES

CHAPITRE I :

ETAT DE L'ART SUR LE TATOUAGE D'IMAGES

I.1 INTRODUCTION

A une époque qui voit se développer tous les outils de communication, échanger des informations, qu'il s'agisse d'images, de sons, ... est devenu très facile, et beaucoup plus pratique ; avec le développement d'Internet, avec le numérique qui remplace l'analogique, la quantité d'images qui transitent est très importante. Cependant, il est de ce fait devenu plus simple pour une tierce personne d'intercepter, de modifier ou de s'appropriier ces images. La protection de ces données est donc devenu un enjeu majeur. Restons dans le domaine de l'imagerie médicale et prenons l'exemple de la télémédecine : certaines radiographies transitent via Internet, par exemple lorsqu'elles sont examinées par un médecin d'un site distant, ou lorsqu'elles appartiennent à une base de données de radiographies accessibles sur Internet. Pour éviter qu'une tierce personne mal intentionnée n'en modifie le contenu, on y ajoute une marque, qui code par exemple le nom du patient et celui du médecin traitant.

Le watermarking, ou tatouage d'image, propose une solution pour la protection d'images : il consiste à insérer dans une image une marque, qui peut être le logo d'une société, le nom du propriétaire codé dans un masque binaire, ... Elle peut aussi définir des droits ou des interdictions associés à l'image : est-il permis d'imprimer l'image, de la copier ? Dans ce cas, les ordinateurs, les imprimantes qui seront en charge de traiter l'image doivent savoir extraire l'information de l'image et l'interpréter.

Le tatouage d'images s'inspire de deux anciennes techniques : la stéganographie et la cryptographie.

La stéganographie est l'art de cacher un message secondaire dans un message primaire. Le message primaire reste lisible de tous, tandis que le message secondaire n'est lisible que par une ou plusieurs personnes propriétaires d'une information secrète. La stéganographie se distingue de la cryptographie dans la mesure où l'objectif principal en cryptographie est de rendre illisible un message primaire à toute personne

ne possédant pas une information secrète adéquate. De plus, alors que la cryptographie offre une sécurité plutôt a priori (contrôle d'accès, par exemple), la stéganographie offre une sécurité plutôt a posteriori, dans la mesure où le message secondaire est supposé rester accessible même après recopies et manipulations du message primaire .

I.2 CARACTERISTIQUES ET DIFFERENTES FORMES DE TATOUAGE

Plusieurs formes et degrés de tatouages existent. Ils sont généralement répertoriés par leurs degrés de priorités :

Le ratio :

C'est la quantité d'informations que l'on espère cacher par rapport à la quantité d'informations associée au support audio, image ou vidéo utilisée; généralement de 16 à 64 bits sont suffisants pour assurer un service de droit d'auteurs à l'aide d'un identifiant. Notons qu'en termes de ratio seul, il sera évidemment plus aisé de cacher un message donné dans une vidéo qu'une image fixe [JLD 99].

Visibilité :

Le principe fondamental du tatouage visible consiste à dissimuler partiellement une image. Pour ce faire il faudra utiliser un nombre indéterminé de marques visibles, qui ne pourront être efficacement effacées que si l'on possède une "*clef secrète*" adéquate. Ce type de tatouage est étudié actuellement pour gérer tout ce qui concerne les contrôles d'accès d'un unique document, correspondant en quelque sorte a une distribution de permission. On entend par contrôles d'accès la possibilité de restreindre la divulgation d'un document en fonction de l'appartenance d'un utilisateur ou non la classe des "*ayants droit*" à la lecture de ce document [JUP 04].

En pratique, l'intérêt d'un tatouage efficace réside dans son invisibilité. Et c'est d'ailleurs l'un des trois principaux critères d'un algorithme de marquage : faire en sorte que la différence avec l'original soit la plus minime possible. Plusieurs méthodes tentent de renforcer cette invisibilité [JUP 04].

Robustesse et fragilité :

Le deuxième principal critère de qualité d'un algorithme de tatouage concerne sa robustesse face a des manipulations de l'image : celui-ci doit pouvoir conserver l'information stocker dans le marquage en dépit de diverses transformations. Or très peu d'algorithme résiste a une simple compression ou un changement de format, mais ils sont sensés résister tout de même à des attaques basiques telle que des translations

ou des rotations de l'image (souvent utilisé pour la mise en page). Il est néanmoins intéressant de remarquer qu'il peut être utile, dans certain cas, de favoriser une fragilité plutôt qu'une robustesse. Pour s'assurer par exemple de l'intégrité d'un document, le fait de le tatouer avec un algorithme fragile permettra, par la suite de vérifier si l'information marquée est toujours présente, ce qui sous entend donc qu'elle n'a subi aucune modification malveillante (par exemple, une modification brutale de certaines parties textuelles). Cela permet donc une certaine falsification de l'image [JUP 04].

Ce critère de robustesse et de fragilité s'applique surtout à un marquage invisible (il n'y a aucun intérêt à se poser ce genre de question pour un tatouage visible).

Le tatouage **robuste** a pour objectif de transmettre une information malgré la modification du document. Lors de la lecture de la marque, certains algorithmes permettent d'extraire un message complet (une suite de symboles), tandis que d'autres indiquent simplement si le document a été marqué ou pas (on parle de détection de marque) [GLG 03].

Outre ces différences dues à la robustesse, les schémas de tatouages peuvent être classés suivant les éléments nécessaires pour l'extraction (lecture du message depuis le document) de la marque. Un schéma **aveugle** n'a pas besoin du document original pour extraire. Au contraire, un schéma **non aveugle** nécessite le media original pour pouvoir lire correctement le message. Ces types de schémas sont de moins en moins étudiés, les applications concrètes étant assez rares [GLG 03].

Un dernier point discriminant est l'utilisation des clefs. La marque insérée est issue du codage du message à transmettre. Il est dépendant d'une clef. Si cette même clef est nécessaire au décodage (c'est-à-dire à l'extraction du message), le schéma est **symétrique** et dans le cas contraire, il est **asymétrique** (systèmes à clef privée et clef publique). On retrouve cette classification dans les algorithmes de cryptographie [GLG 03].

1.3 LES INTERETS ET APPLICATION DU TATOUAGE

1.3.1 les intérêts :

Le tatouage des documents a été conçu à l'origine pour répondre à des besoins de sécurité spécifiques aux données numériques. En effet d'un côté les normes de sécurité internationales imposent des contrôles plus assidus sur le mouvement des données numériques, et d'un autre côté l'apparition d'Internet et la démocratisation des

technologies numériques ont fait explorer les manipulations et utilisations de ces mêmes données, que ce soit à titre privé ou à titre professionnel.

- **les craintes dues aux numérique:** L'explosion de nouveaux médias (Internet ,le câble, le satellite, le numérique hertzien, la téléphonie mobile de troisième génération, les réseaux sans fil et la multiplication des nouveaux supports et périphériques électroniques (ordinateurs, baladeurs numériques, graveur de CD et DVD, les PC de poche, téléphones mobiles et les consoles de jeux) ont contribué à juste titre à rendre les auteurs et les diffuseurs de données numériques très méfiant quant à la sécurisation de leurs œuvres. Leur principal ennemi est évidemment le piratage à titre privé ou commercial.

1.3.2 les applications :

Divers applications sont attribuées au tatouage des documents numériques. L'insertion d'une signature électronique a pour but d'augmenter la fonctionnalité du document. L'information ajoutée peut permettre des fonctions de protection de droits d'auteurs, d'authentification du document ou encore d'indexation. Le niveau de robustesse exigé pour ces différentes applications est variable [GLG03].

- Les problèmes de droits d'auteurs :

La première application envisagée pour le tatouage des documents a été la protection des droits d'auteurs. Le but de tatouage ici consiste en l'insertion d'une signature numérique qui atteste de l'identité du dépositaire de l'image. Cette signature ne doit être connue que de la personne ou de l'organisme qui a tatoué l'image. Elle dépend donc d'une clef secrète qui permet son insertion et sa détection. Pour une application de copyright, la signature ne doit pas obligatoirement porter une information conséquente, car la détection de la signature peut elle-même attester l'appartenance de l'image.

- L'authentification des documents :

L'information insérée au sein de l'image peut aussi permettre de certifier qu'une image n'a pas été modifiée. On entre ici dans une problématique de contrôle d'intégrité des documents. Dans ce cas précis, la signature ajoutée est dite fragile.

Elle doit être détectée tant que l'image n'a pas été manipulée. Le tatouage fragile est "évolué" lorsque la dégradation provoquée par la compression, la transformation géométrique ou bien encore le filtrage de l'image n'altère pas le tatouage, mais que l'ajout ou l'effacement d'objet dans l'image est détecté.

- Le tatouage et l'indexation des images

Le domaine de l'indexation des images consiste à classer de manière automatique des images selon leur contenu. On voudra par exemple faire la distinction entre les images animalières et les scènes de paysages. L'indexation des images permet de faciliter la recherche dans une base de données. Le tatouage de documents permet ainsi d'insérer une information décrivant le contenu de l'image. Compte tenu des exigences de tatouage, la taille de l'information n'est pas très élevée (quelques centaines de bits pour une image de taille 512 * 512). Cela permet de qualifier sommairement l'image ou d'insérer un pointeur vers une description plus complète.

La société "Digimarc", société pionnière en tatouage d'images numériques, a présenté le concept d'images intelligentes (smart images). Le tatouage est ici utilisé pour insérer un pointeur vers un lien Internet qui décrit plus en détails le document. Ce procédé peut être utilisé à des fins publicitaires : une personne ayant acheté un livre et voulant avoir plus d'informations sur le produit, présente la couverture du livre à un dispositif d'acquisition (par exemple une caméra numérique). Le message est ensuite décodé et les informations relatives au produit sont affichées sur un navigateur internet.

-Tatouage et prolifération des formats :

Le tatouage rend aussi possible la transmission de plusieurs informations différentes dans un même canal et cela indépendamment du format utilisé. Les informations annexes doivent être de taille restreinte par rapport à la taille de l'information principale pour qu'elles restent imperceptibles. Les standards utilisés par les systèmes de communication ne peuvent pas accepter d'informations supplémentaires à celle prévues par la norme utilisée. Le tatouage est un moyen de pallier ces contraintes techniques. On peut ainsi vouloir par exemple introduire dans un flux audio une information annexe comme le nom de la personne qui communique. Le flux ainsi transmis sera toujours lu par les lecteurs classiques mais les lecteurs capables de décoder les informations annexes pourront également le faire. Ainsi ces informations insérées sont considérées comme un canal d'informations propre, et peuvent être privées, publiques ou cachées.

Dans le cas d'un canal public, l'exemple classique consiste à ajouter des annotations à l'image (pour la classer au sein d'autres images par exemple).

Dans le cas d'un canal privé, ces informations annexes sont utilisées pour donner accès ou non (selon les droits que l'on a acquittés à l'achat) à des fonctionnalités supplémentaires : ajout de son à une vidéo, possibilité de pouvoir enregistrer une vidéo,

possibilité de pouvoir écouter un morceau en entier (et pas seulement les 20 premières secondes).

Dans le cas d'un canal caché, le tatouage s'apparente alors à la stéganographie. La valeur du document tatoué est la signature elle-même et non le document original. Ce type d'applications trouve son intérêt dans les communications entre militaires et état-major ou entre organisations terroristes [PAB 00].

I.4 PRINCIPE GENERAL D'UN SYSTEME DE TATOUAGE

Un schéma de tatouage se décompose en deux étapes fondamentales : l'**insertion** et l'**extraction** de la marque.

I.4.1 Insertion : L'insertion d'une marque W dans une image I permet d'obtenir une image marquée notée I_w . La fonction de marquage peut s'exprimer de la façon suivante:

$$I_w = F(T(I), W(b_0, b_1, \dots, b_n, K)) \quad [I.1]$$

L'espace d'insertion $T(I)$ peut être le domaine spatial ou bien le résultat d'une transformation réversible comme la transformée en cosinus discrète (TCD), la transformée de Fourier discrète (TFD) ou encore une transformation par ondelettes. La marque insérée W , également désignée sous le terme de signature ou de tatouage, dépend d'une clef secrète K mais aussi de message que l'on désire insérer $\{b_0, b_1, \dots, b_{n-1}\}$ dans le cas où l'extraction se fait sans faire recours à l'image originale.

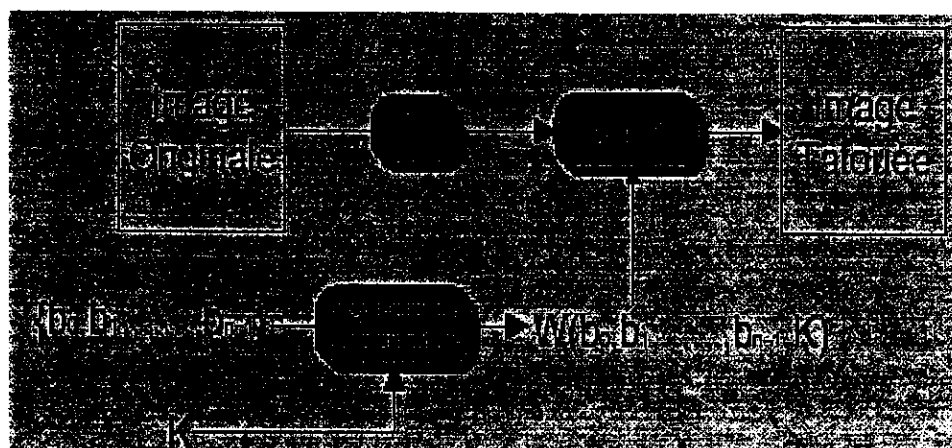


FIG.I.1: Insertion d'une signature.

I.4.2- L'extraction : A la réception des données, une suite de symboles est extraite (cas de transmission d'un message). Parfois la phase d'extraction se réduit à indiquer si la marque est présente ou pas.

A l'instar des schémas utilisés en cryptographie, les schémas de tatouage sont considérés comme connus et appartiennent au domaine public. Il n'est pas raisonnable de penser que les systèmes d'insertion et d'extraction de la signature demeurent secrets : des méthodes d'analyse permettent d'identifier les procédés utilisés pour l'insertion et l'extraction. Le seul paramètre secret de ces schémas est présenté par la clef K . L'utilisation d'une clef secrète rend le schéma irréversible : il est impossible d'extraire la signature sans la clef secrète [PAB 00] :

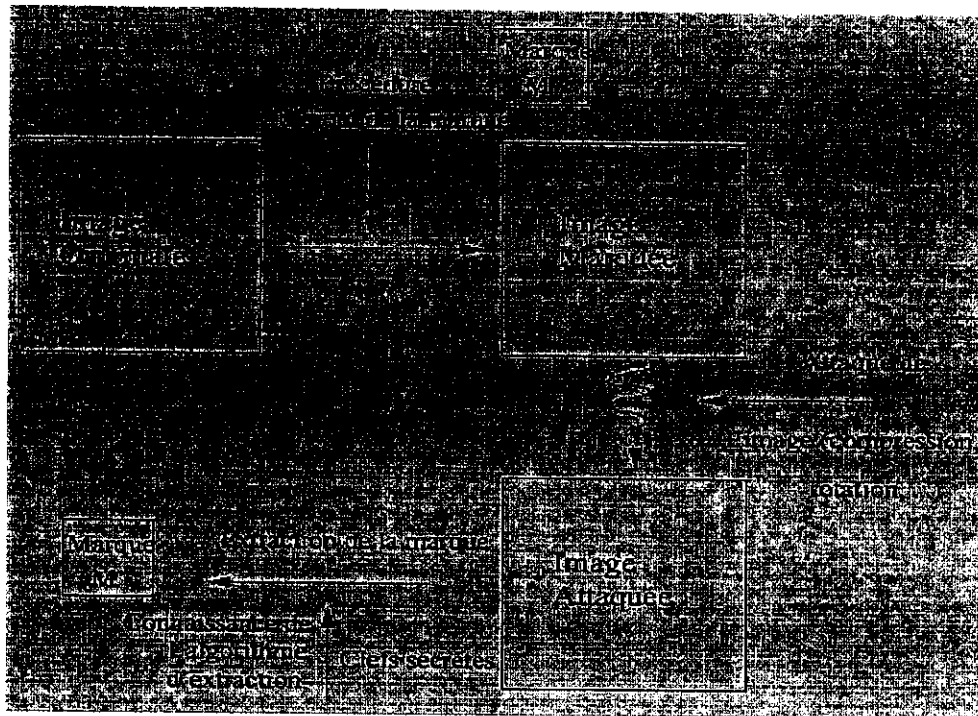


FIG.I.2 : Principe d'un algorithme de tatouage : la marque incluse dans l'image originale M , et la marque extraite après attaque de l'image marquée, M_0 doivent être identiques.

I.5 LES ATTAQUES [OLC 04]

I.5.1 Définition :

Ce qu'on appelle "attaque" est en fait une transformation que l'on fait subir à l'image et qui va plus ou moins l'endommager mais qui risque d'être fatale au marquage. Son but est soit altérer ou effacer le marquage, ces attaques peuvent être volontaires ou non.

Comme vous pouvez vous en douter la confiance que l'on donne à un marquage dépend de sa capacité à résister à une attaque :

1.5.2 Fonctionnement :

La plupart des marques insérées sont en rapport direct avec l'image, soit en modifiant les caractéristiques de certains pixels, soit en modifiant la luminance de certains pixels, il suffit d'effectuer un filtre passe bas sur l'image, et on a alors la quasi certitude d'avoir détruit complètement le tatouage.

1.5.3- Les différents types d'attaques :

Il existe deux grands types d'attaques sur les images tatouées:

Les attaques "destructives" appelées aussi "aveugles", au cours desquelles on fait subir des transformations (souvent violentes) à l'image. Ces transformations ont pour but de rendre illisible le marquage. Il est intéressant de remarquer néanmoins que ces attaques ne sont pas forcément voulues. En effet, sans le savoir on peut dégrader suffisamment l'image pour que le tatouage soit efficace. En théorie, si le marquage est suffisamment fort, il doit résister à ces transformations où tout au moins il doit rester tant que l'image reste exploitable.

Les attaques plus "subtiles" où encore "malicieuses" au cours desquelles le pirate va chercher intentionnellement à laver l'image sans l'endommager. Pour cela il va procéder par différents moyens à la recherche de la clef qui à permis de tatouer l'image (on peut alors qualifier cela de "stéganalyse"). Lorsqu'il aura trouvée il pourra alors lire le watermark, le changer, le supprimer etc. ...

1.5.3.1 Les attaques aveugles : elles comportent les transformations géométriques et les transformations fréquentielles.

a- Les transformations géométriques: elles sont liées principalement à la géométrie de l'image et parmi elles nous citons [OLC 04]:

Symétrie horizontale: Le fait simplement d'inverser horizontalement une image est très souvent fatal a une grande partie du watermark. Cette transformation peut sembler aux premiers abords bien trop brutale pour conserver le sens d'une image, mais peut passer inaperçu pour un paysage, ou même pour un film où aucune scène d'écriture n'intervient.

La rotation: c'est une transformation qui est très utilisée, la rotation sert à réaligner des images (avec des petits angles) et peut être fatale à certains types de marquage.

Le recadrement: Ces transformations concernent surtout la mise en page de diverses images scannées. Cela peut être une simple rotation de quelque degrés, ou bien un découpage brutal d'une partie de l'image. Ces types de recadrement peuvent être des attaques très efficaces.

Changement d'échelle: ces transformations peuvent être séparées en deux groupes: Les transformations uniformes (pour lesquelles on conserve les proportions, l'échelle en X varie comme l'échelle en Y) et bien sûr les transformations non uniformes (où l'échelle en X ne varie pas de la même manière que l'échelle de Y).

Attaque par mosaïque : cette méthode consiste à découper l'image en blocs (plus ils sont petits, meilleure est l'attaque) et recréer l'image au moment de l'affichage en assemblant les blocs dans un tableau.

b- Les transformations fréquentielles : Ces transformations modifient essentiellement les coefficients de la DCT, nous citons ainsi :

Bruitage et Filtrage : Le bruit est une altération de l'image ; toute l'information pertinente dans l'image n'est pas simplement accessible.

Des exemples de bruit artificiel peuvent être :

- le bruit Gaussien qui consiste à un ajout successif de valeurs générées aléatoirement à chaque pixel d'une image.
- le bruit "sel et poivre" qui transforme aléatoirement des pixels de l'image en pixel noir ou blanc.

Le bruitage d'une image ayant une utilisation particulièrement limitée, voyons à présent les différents types de filtre servant justement à récupérer une certaine compréhension de l'image en y filtrant les bruits.

Le filtre passe-bas : on utilise ici la transformée de Fourier pour travailler dans l'espace des fréquences de l'image et dans lequel on ne laisse alors passer que les basses fréquences. En fait, il ne s'agit ni plus ni moins que d'un produit de convolution du signal avec une fonction passe bas.

Filtre passe-haut : Toujours dans les filtrages linéaires, et souvent appelées "Sharpen" du au fait qu'il a pour but d'accentuer des contours. Il s'agit simplement de l'inverse du filtre passe-bas, car il ne conserve que les hautes fréquences. Cette attaque est certainement la moins efficace des transformations car elle conserve le bruit, et que c'est souvent à ce niveau la que se situe le tatouage.

Filtre médian : Ce filtre, non linéaire, remplace la valeur d'un pixel par la médiane des valeurs de ces voisins. Il est plus robuste que le précédent pour différents types de bruits artificiels, donc plus efficace en tant qu'attaque.

La compression JPEG: ceci est un mode de compression très en vogue (surtout depuis l'avènement de l'Internet). L'avantage de cette méthode réside dans les taux de compression importants que l'on peut obtenir, mais son désavantage se situe lui dans le fait qu'il s'agit d'une compression destructive. En effet plus l'on compresse l'image plus des défauts apparaissent. Pour comprendre le pourquoi de ces défauts il faut se pencher rapidement sur le principe de compression JPEG (qui se rapproche assez du format de compression MP3 pour le son). On découpe d'abord l'image en blocs carrés de 8 pixels sur 8 pixels, on effectue ensuite une transformée de fourrier en 2 dimensions du bloc. Ensuite, on applique un filtre passe-bas (c'est-à-dire que l'on enlève les hautes fréquences), et c'est là que l'on choisit le taux de compression. Plus celui-ci va être élevé, plus l'on va supprimer une gamme de fréquences plus importantes et plus l'image va être dégradée [OLC 04].

1.5.3.2 les attaques volontaires : Plusieurs outils commerciaux permettent de "lessiver" le marquage d'une image en essayant d'altérer au minimum l'image originale; Ces programmes sont appelés "crackers". Ceux-ci perturbent l'image de telle sorte que, même si la marque reste présente dans l'image tatouée, pour la plupart des algorithmes de marquage, celle-ci est difficile, voire très difficile à extraire, sans recourir à l'image originale, afin de se recalibrer. Ces perturbations sont souvent des transformations géométriques de manière aléatoire. Parmi les outils actuellement disponibles qui réalisent une telle perturbation, les plus référencés sont actuellement **Unzign** et surtout **StirMark**. UnZign modifie sensiblement la taille de l'image et StirMark crée des déformations locales et simule un processus d'impression suivie d'une digitalisation de l'image à l'aide d'un scanner [OLC 04].

1.5.3.3 les attaques de nature cryptographie : Ce type d'attaques est beaucoup plus intéressant, car il demande des connaissances en traitement du signal ainsi qu'une analyse sérieuse du marquage. Les attaques malicieuses sont différentes des attaques aveugles car le pirate va s'attacher à trouver la faiblesse du système qui utilise le watermark. Selon cette faiblesse, il ciblera son attaque.

a- Attaque sur le copyright : Une des utilisations du watermarking peut être la protection des droits d'auteur ("copyright"). Par exemple, le document va être tatoué avec en paramètres le nom de l'auteur, Seul l'auteur connaît ces paramètres. Cette

version marquée sera mise à disposition sur Internet. La version originale ne sera pas divulguée. L'auteur est le seul à pouvoir détecter le watermark pour prouver que ce document lui appartient. Dans ce cas précis, le pirate va chercher à semer le trouble sur l'origine de l'image.

En effet, il ne sert à rien d'ajouter une autre marque au contenu divulgué sur Internet. L'auteur a toujours à sa disposition la version originale. Le pirate essaie plutôt de recréer une image originale (c'est à dire sans marquage) en soustrayant un faux watermark. Ainsi, il existe deux personnes prétendant avoir la copie originale du contenu divulgué sur Internet. Il est impossible de confondre l'usurpateur.

b- Attaque sur la protection de copie : Ici, tous les contenus (films, fichiers musicaux) vont être tatoués avec la même clef. Sachant cela, le pirate va chercher à estimer cette clef, ce qui lui permettra de laver tous les contenus.

1.6 CLASSIFICATION DES SCHEMAS DE TATOUAGE

Les schémas de tatouage que l'on peut rencontrer dans la littérature scientifiques sont très variés et semblent très différents les uns des autres. Le domaine d'insertion de la signature (spatial ou fréquentiel), les méthodes utilisées pour détecter le message ou encore la catégorie d'attaques visées (compression par JPEG, transformations géométriques, etc.) sont autant de paramètres qui permettent de distinguer les différents schémas [PAB 00] : Ils existe par ailleurs de grandes classes de schémas de tatouage : la classes des schémas additifs et celle des schémas substitutifs.

La diversité des différents schémas de tatouage est liée au choix du domaine d'insertion de la signature. Chaque espace de représentation de l'image apporte diverses possibilités en termes de performance et de robustesse [PAB 00] :

Le domaine spatial est aussi un espace adéquat pour faire face aux transformations géométriques de l'image. Par exemple si une image subit une rotation, la signature ne sera pas effacée mais seulement déplacée, une étape de synchronisation sera donc nécessaire pour détecter la signature.

Les schémas qui utilisent le domaine fréquentiel comme domaine d'insertion peuvent être d'avantage robustes faces aux opérations de compression puisqu'ils utilisent le même espace que celui qui sert au codage de l'image.

Le domaine multirésolution est un espace de tatouage très intéressant car il est utilisé dans des standards récents de compression comme JPEG2000 ou encore MPEG4. La décomposition d'une image en sous bande permet d'en isoler les composantes basses

fréquences. Celles-ci constituent un espace d'insertion qui est moins sensible que l'image elle-même [PAB 00].

1.6.1 LES SCHEMAS DE TATOUAGE :

a- les schémas additifs [PAB 00]

Les schémas additifs constituent une classe particulière de méthode où la signature, qui représente le signal, est ajoutée à des composantes de l'image correspondant au bruit.

Insertion de la signature : dans les méthodes appartenant à la classe des schémas additifs l'insertion peut se décomposer en plusieurs étapes :

1- des composantes sont extraites de l'image originale I . Ces composantes peuvent être réordonnées en utilisant une clef secrète K , cette opération ayant pour effet de brouiller le domaine d'insertion. Les composantes extraites forment alors le vecteurs $C_K(I)$.

2- Une signature de base que nous nommerons $W_b(I)$ est ensuite générée. Cette séquence est construite à l'aide d'un générateur aléatoire et dépend également de la clef secrète K .

3- Un message binaire $M=\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ tel que $m_i \in \{0, 1\}$ peut éventuellement être modulé par la séquence aléatoire W_b . C'est le principe de l'étalement de spectre. On obtient alors le vecteur $W(K)$.

4- la signature $W(K)$ est ajoutée sur les composantes de l'image $C_K(I)$ pour obtenir les composantes $C_K(I_w)$ de l'image tatouée :

$$C_K(I_w) = C_K(I) + W(K) \quad [1.2]$$

5- l'image marquée est reconstruite à partir des composantes $C_K(I_w)$.

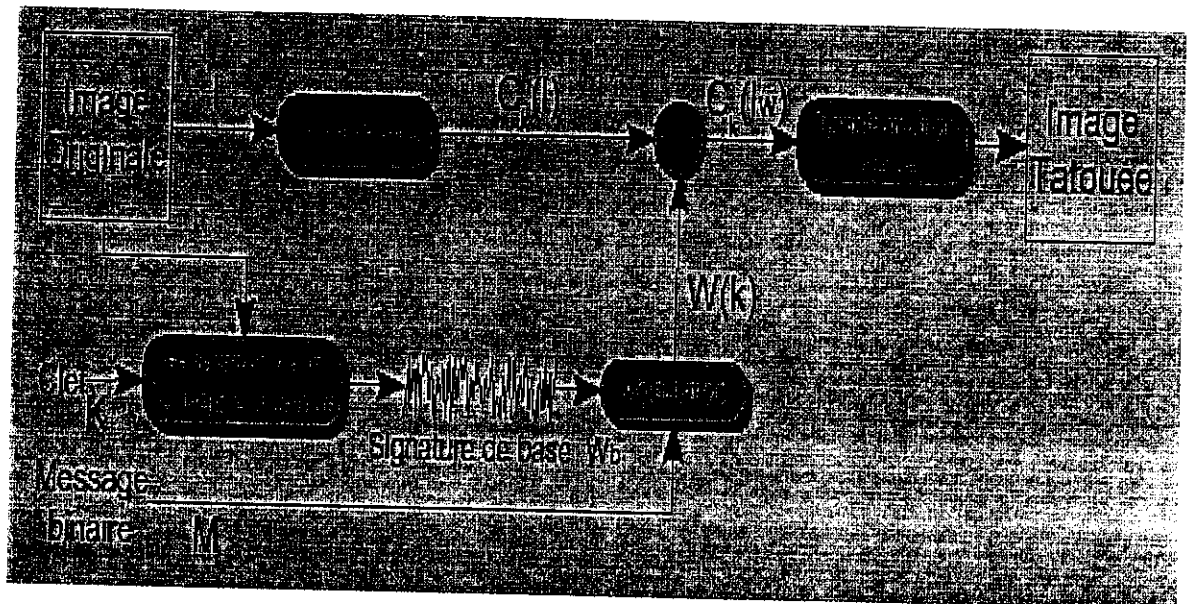


FIG I.3 : Insertion de la signature pour les schémas additifs.

Détection de la signature: la détection de la signature consiste à faire le choix entre deux hypothèse H_0 et H_1 .

- H_0 traduit l'absence de la signature : $H_0 : C_K(I_W) = C_K(I)$.
- H_1 traduit la présence de la signature : $H_1 : C_K(I_W) = C_K(I) + W(K)$.

Afin d'alléger les notations, nous posons : $X=C_K(I_W)$ et $W=W(K)$.

Voici le résumé des principaux algorithmes de détection utilisée :

Détection par corrélation : la détection de la signature est réalisée à partir d'un vecteur d'observation r . En effet, si l'on considère que la signature est transmise à travers un canal perturbé par un bruit blanc gaussien additif, la corrélation entre $C_K(I_W)$ et $W=W(K)$ permet d'obtenir une information révélatrice de la présence de signal. Cette corrélation peut s'écrire sous la forme [PAB 00]:

$$r = \langle X; W \rangle = \sum X_{ij} * W_{ij} \quad \text{pour } i, j = 1 \dots n \quad [I.3]$$

Estimation par filtrage passe-haut : l'estimation X' de X permet d'augmenter la performance de la corrélation. Car l'utilisation d'un filtre passe-haut rend possible l'élimination d'une partie des composantes propre à l'image et ainsi l'augmentation de la corrélation [PAB 00]:

$$r' = \langle X; X' \rangle = \sum X_{ij} * X'_{ij} \quad \text{pour } i, j = 1 \dots n \quad [I.4]$$

Estimation par filtrage de Wiener : le filtrage de Wiener est fondé sur la minimisation par les moindres carrés obtenus à partir de l'erreur de prédiction [PAB 00]

b- Les schémas substitutifs [PAB 00] :

Ici la signature n'est pas ajoutée mais substituée à des composantes de l'image.

Insertion de la signature: elle est décomposée en quatre étapes :

1- Une clef secrète associée à un générateur aléatoire permet de sélectionner les différentes composantes $C_K(I)$ de l'image. Ces composantes peuvent par exemple désigner des pixels de l'image, des coefficients issus de blocs TCD de l'image, ou encore des propriétés géométriques de l'image.

2- La signature est obtenue en appliquant une contrainte F sur $C_K(I)$ en fonction de message à insérer $W(K)$. Cela peut être par exemple une relation d'ordre, un critère de similarité, où encore une propriété géométrique de l'image.

3- On procède ensuite à l'étape de substitution :

$$C_K(I_w) = F(C_K(I), W(K)) \quad [I.5]$$

4- L'image tatouée est reconstruite à partir des composantes propres à la signature.

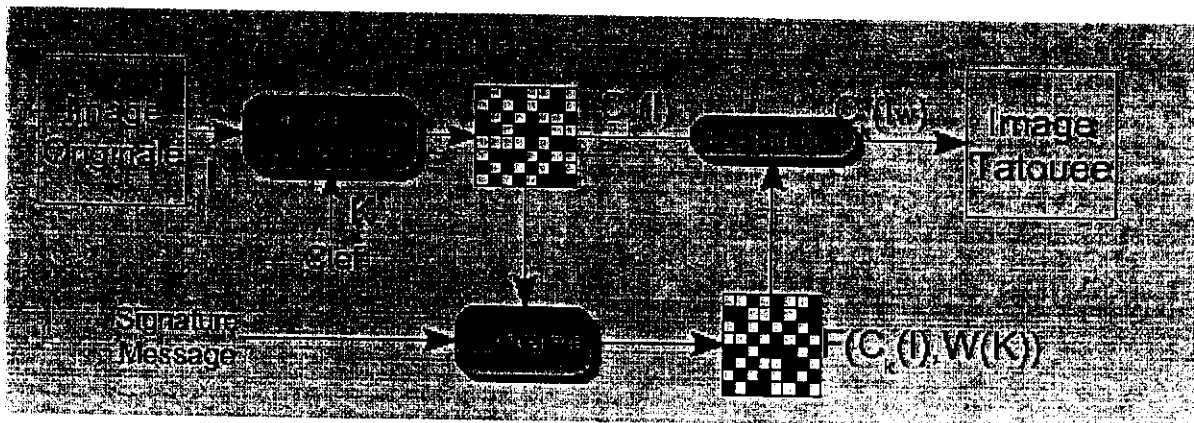


FIG I.4: Principe de l'insertion par substitution

Détection de la signature : elle se décompose en quatre étapes:

- 1- La clef secrète permet d'extraire les composantes de l'image tatouée I_t soit : $C_K(I_t)$.
- 2- le message est extrait à partir de la contrainte F utilisée lors de l'insertion de la signature.
- 3- la détection de la signature s'effectue en comparant le degré de similarité entre le préambule retrouvé et le préambule utilisé lors de l'insertion.

4- Le message peut être ensuite décodé.

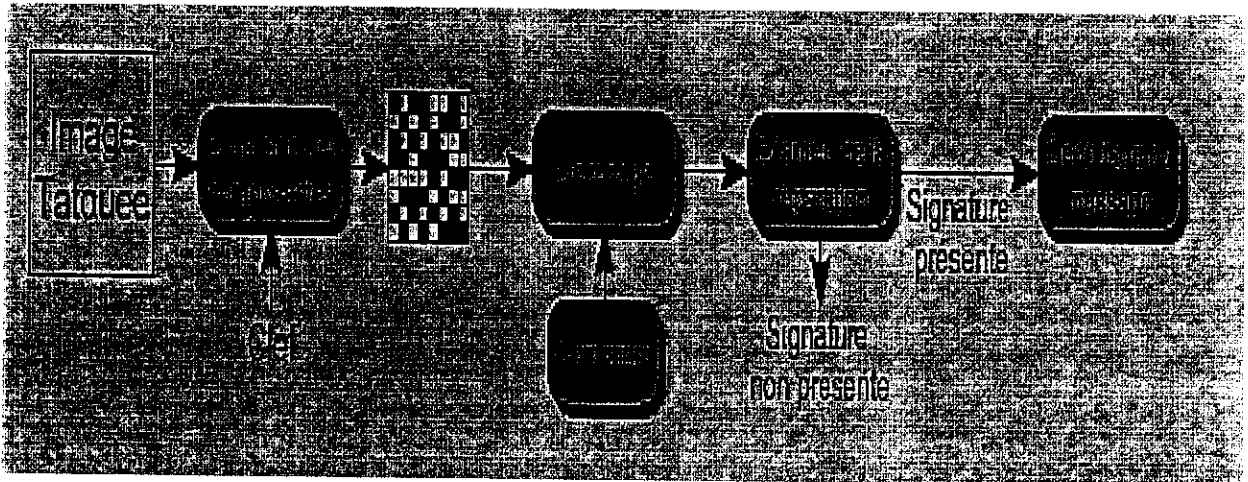


FIG I.5: détection et lecture de la signature par substitution.

I.6.2 LES TECHNIQUES DE TATOUAGE :

Nous présentons dans cette section un éventail de différentes méthodes de tatouage dans les différents domaines d'insertion (spatial, fréquentiel et multiresolution).

I.6.2.1- Dans le domaine spatial : ces méthodes de tatouage modifiant la luminance des pixels de l'image, elle peuvent être utilisées pour effectuer un tatouage "temps réel"

a- les méthodes basées sur les schémas additives:

L'étalement de spectre : "spread spectrum": c'est une technique utilisée dans les télécommunications radio, notamment par les militaires, pour disperser un signal sur une large bande de fréquence, de façon à le rendre discret et résistant aux interférences. On comprend donc que ce modèle est l'application immédiate de watermarking.

Elle fut présentée pour la première fois par TIRKEL et al pour insérer un message dans une image. Les auteurs ajoutent des séquences aléatoires sur les bits de poids faible de l'image. La détection de la signature s'effectue par le calcul de l'intercorrélation entre la séquence et l'image marquée [PAB 00] :

Hartung et Girot ont développé un schéma similaire qui permet d'insérer un message de plusieurs bits au sein d'une image où d'une séquence d'image.

Selon le schéma de Hartung et Girot, on associe à chaque bit une valeur +1 ou -1. Puis, chacun des ces bits est étalé sur une fenêtre. Le message occupe alors une taille identique à l'image hôte.

À la réception le décodage se fait par corrélation avec la même séquence aléatoire utilisée pour la modulation. Si la corrélation est proche de 1, c'est qu'il y a une valeur de +1 tatoué. Si elle est proche de -1, c'est une valeur -1 qui est tatouée. Sinon elle est proche de 0 et donc aucune valeur n'a été tatouée [PAB 00] :

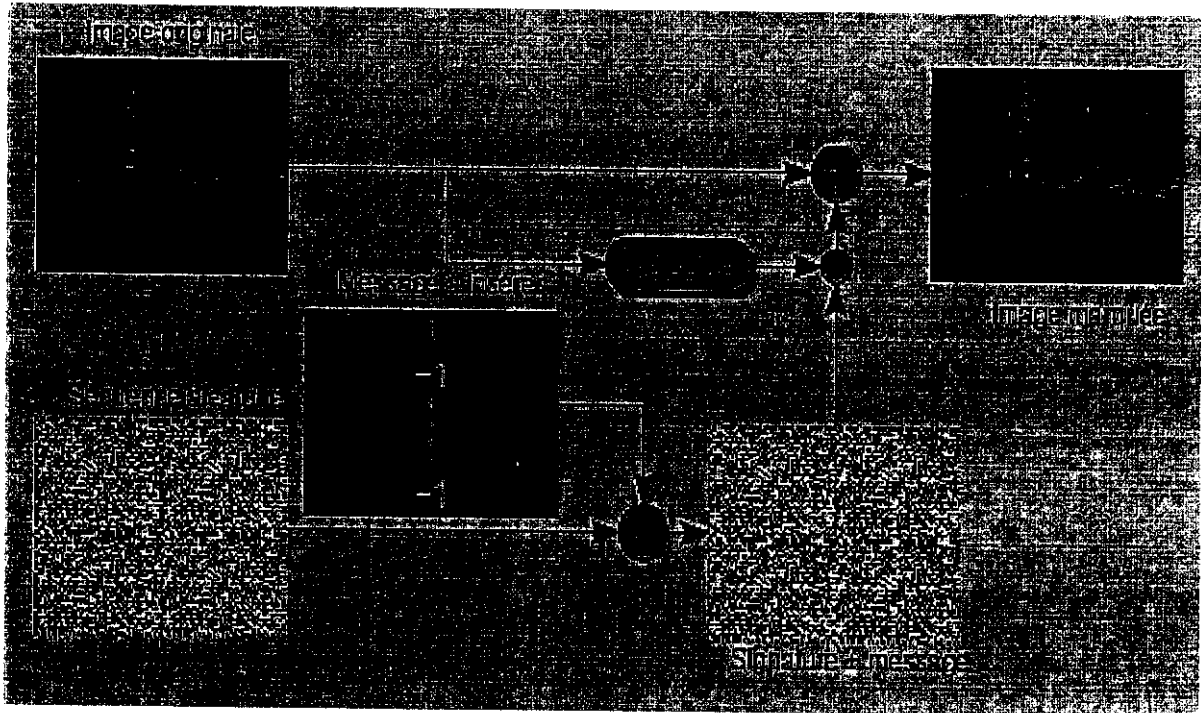


FIG.I.6: Principe d'insertion du schéma de Hartung et Girot.

Division de l'image en patchwork " algorithme patchwork":

L'algorithme "Patchwork" a été proposé par Bender et al. en 1995. Cet algorithme opère directement dans le domaine spatial. Les étapes d'insertion et d'extraction peuvent se résumer comme suit [JLD 99] :

1- L'insertion : l'étape d'insertion selon patchwork se fait comme suit :

- Sélectionner, selon une clé secrète pseudo aléatoire, une séquence de n paires de "pixels";
- Modifier les valeurs de luminances de chaque paire de points (p_i, q_i) en (p'_i, q'_i) de la manière suivante,

$$\begin{cases} p_i = p_j + 1 \\ q_i = q_j + 1 \end{cases}$$

[I.6]

2- L'extraction : elle comporte deux étapes :

- Récupérer, à l'aide de la clé secrète, la position des n paires de points;
- Calculer S,

$$S = \sum_{i=1}^n (p_i - q_i)$$

[I.7]

Puisque les couples sont choisis aléatoirement et, si on considère N assez grand, la somme des différences $(p_i - q_i)$ est nulle en moyenne et négligeable devant N. Donc, si en détection S est proche de la valeur 2N, on pourra affirmer que la marque est présente, dans le cas contraire on conclura que l'image n'est pas tatouée. Cette méthode permet d'insérer un seul bit dans l'image.

A la lecture de l'algorithme, il est aisé d'admettre que cet algorithme sera peu robuste. Par exemple, une attaque géométrique, simple comme une translation de un "pixel" de l'image, réalisée entre les étapes d'insertion et d'extraction, aura toutes les chances de faire que même le propriétaire de la clé risque d'obtenir un score proche de zéro (les positions attendues ayant été ainsi modifiées). Une attaque photométrique, comme un filtrage passe-bas, aura également toutes les chances de lessiver le marquage puisque la force du tatouage est ici très faible (i.e.: de plus ou moins un niveau de gris) [JLD]. Enfin, cet algorithme ne permet pas réellement, au moins dans sa version de base de cacher un message à proprement parler. Il permet simplement de répondre à la question : Est-ce que telle personne connaît la clé secrète, et est en mesure de retrouver correctement les emplacements de tatouage ?

b-les méthodes basées sur les schémas substitutifs [PAB 00]

Quantification Vectoriel Spatial:

Chen et Wornell. utilisent le principe de codage par quantification vectorielle pour insérer la signature au sein de l'image.

La quantification vectorielle consiste à remplacer des vecteurs de l'image (dans la plupart des cas, des blocs de l'image) par des blocs appartenant à un dictionnaire prédéfini. Le choix des blocs de dictionnaire s'effectue de telle sorte que le bloc sélectionné du dictionnaire est le plus proche possible du bloc de l'image. Dans chaque

dictionnaire, la taille et la variété des blocs déterminent la distorsion produite par l'insertion de la signature.

La détection du message est accomplie en vérifiant que les blocs de l'image appartiennent bien au dictionnaire utilisé lors de l'insertion.

Substitution d'histogramme :

Coltuc et al. Proposent d'insérer une signature dans une image en influant directement sur son histogramme.

L'histogramme étant une caractéristique assez souple de l'image, il peut être modifié et avoir une forme prédéfinie sans que la modification soit visible.

L'algorithme présenté ordonne les pixels de manière à ce que deux pixels de même valeur puissent être différenciés. La classification des pixels s'effectue en comparant leur valeur puis la moyenne des valeurs associées à différents voisinages. L'histogramme de l'image originale est alors remplacé par un histogramme arbitraire de forme périodique. Le calcul de l'histogramme permet de détecter la présence de la marque.

Tatouage par insertion de similarité:

Les techniques de tatouage fondé sur l'insertion de similarités substituent des blocs de l'image par des blocs qui sont similaires. La détection de la signature s'effectue le plus souvent par recherche de ces similarités.

1.6.2. 2- Dans le domaine fréquentiel:

Le domaine fréquentiel (obtenu après une TCD ou TFD) possède l'énorme avantage d'être l'espace de transformation qui est utilisé dans des normes de communication telle que JPEG pour les images fixes et MPEG pour les séquences vidéo. Les schémas qui utilisent l'espace fréquentiel comme espace d'insertion de la signature sont très sensibles aux transformations géométriques (rotation, recadrement) [PAB 00].

a-les méthodes basées sur les schémas additives:

technique basée sur la TCD:

Cox et al appliquent la méthode TCD (transformée en cosinus discrète) à l'image pour insérer la signature parmi les basses fréquences de l'image et ils modifient les n coefficients de plus grande amplitude de la transformée (exceptée la composantes continue) de la façon suivante :

$$\begin{aligned} y_i &= x_i + \alpha w_i \\ y_i &= x_i (1 - \alpha w_i) \\ y_i &= x_i e^{\alpha w_i} \end{aligned}$$

x_i : coefficient TCD de l'image marquée.

y_i : coefficient TCD de l'image à marquée.

α : coefficient d'invisibilité.

w_i : coefficient réel d'une distribution gaussienne centrée normée.

Les basses fréquences constituent les composantes les plus significatives de l'image. L'extraction s'effectue en utilisant l'image originale pour retrouver par différence la signature insérée. L'utilisation de l'image initiale permet de s'affranchir de la distorsion provoquée par l'insertion de l'image [PAB 00].

b - les méthodes basées sur les schémas substitutifs

Quantification des coefficients DCT (algorithme de Zhao et Koch):

Cette méthode de tatouage peut se résumer comme suit :

- d'abord, il faut extraire un certain nombre de carrés de 8*8 pixels de l'image.
- Ensuite, calculer la transformée discrète en cosinus DCT de ces blocs,
- Enfin, marquer un bit sur la bande des fréquences choisies.

L'insertion de la signature peut se faire à partir des coefficients DCT situés dans la gamme de moyenne fréquence des blocs 8*8 sélectionnés. La variance de ces coefficients étant faible, l'insertion n'est alors pas perceptible. Un bit est inséré dans un bloc en modifiant l'ordonnancement d'un triplet de TCD $\{C_1, C_2, C_3\}$.

Un bit égal à 1 est inséré en modifiant les valeurs de C_1, C_2, C_3 pour obtenir :

$$\begin{cases} C_1 > C_2 = C_3 \\ C_2 > C_1 = C_3 \\ C_3 > C_1 = C_2 \end{cases}$$

Un bit égal à 0 est inséré en modifiant les valeurs C_1, C_2, C_3 pour obtenir :

$$\begin{cases} C_1 + C_2 < C_3 \\ C_2 + C_3 < C_1 \end{cases}$$

Cette méthode pose plusieurs problèmes. Tout d'abord, elle utilise la notion de blocs, ce qui la limite à cacher au mieux un bit par bloc. Ensuite, il est clair que, au moins dans

sa version de base, cette méthode s'appuyant sur une découpe prédéfinie de l'image, elle sera assez vite mise en difficulté face à une attaque géométrique (même simple) modifiant par exemple la position relative de la grille de segmentation en blocs 8x8 par rapport à l'image. Enfin, cet algorithme est difficile à régler en termes de visibilité et robustesse. En effet, soit les coefficients de la DCT à perturber sont choisis dans les basses fréquences, et dans ce cas, le tatouage est robuste mais visible; soit, au contraire, les coefficients concernés sont choisis dans les hautes fréquences, mais dans ce cas, le tatouage est peu robuste face à des attaques photométriques, même faibles (y compris une compression JPEG!) [JLD 99].

Il est à noter qu'entre la version présentée ici et la version actuelle de cette méthode, de nombreuses améliorations ont été apportées, en particulier pour étendre la méthode à la vidéo. Concernant la gestion du compromis robustesse-visibilité, la stratégie pour choisir les blocs a été affinée, la relation n'est plus basée sur deux coefficients mais sur un jeu de trios coefficients, offrant ainsi plusieurs possibilités de perturbations et donc une meilleure maîtrise de la dégradation.

seuillage des coefficients DCT [PAB 00] :

Langellar et al. Proposent une méthode de tatouage substitutive utilisant les coefficients TCD de blocs 8x8 de l'image. Les blocs de l'image sont tous d'abord mélangés à l'aide d'une fonction aléatoire qui dépend d'une clef. Chaque bit de message à insérer est associé à une région de l'image après le mélange. Chaque région est divisée en deux régions de même taille et contenant le même nombre de bloc. Un bit est inséré en introduisant une différence d'énergie entre les blocs de la première région et les blocs de la seconde région. La différence d'énergie est créée en annulant coefficient TCD ce trouvant au-delà d'une fréquence de coupure f_c et la valeur est encodée par la sélection d'une des régions

1.6.2. 3- Dans le domaine multirésolution :

Cet espace de représentation est très important car la décomposition d'images en sous bande permet d'éliminer les basses fréquences d'une part, et de conserver le contenu spatial de l'image après une transformation multirésolution d'autre part, ce contenu peut alors servir à localiser la signature.

a - les méthodes basées sur les schémas additives

Barni et al proposent un schéma d'insertion additif dans l'espace obtenu à partir de la transformée par ondelettes [PAB 00].

Contrairement à d'autres schémas de tatouage qui utilisent cette transformée, la détection de la signature s'effectue sans utiliser l'image originale. La signature est insérée dans trois sous-bandes de détails de la décomposition (LH₀, HL₀, HH₀) pour offrir le meilleur compromis entre la robustesse et l'invisibilité de la marque. Les trois coefficients des sous-bandes X₀^{LH}, X₀^{HL} et X₀^{HH} sont marqués par l'addition pondérée d'une séquence pseudo-aléatoire W de même taille que l'ensemble des sous-bandes, soit 3MN (comme illustre la figure ci-dessous) [PAB 00].

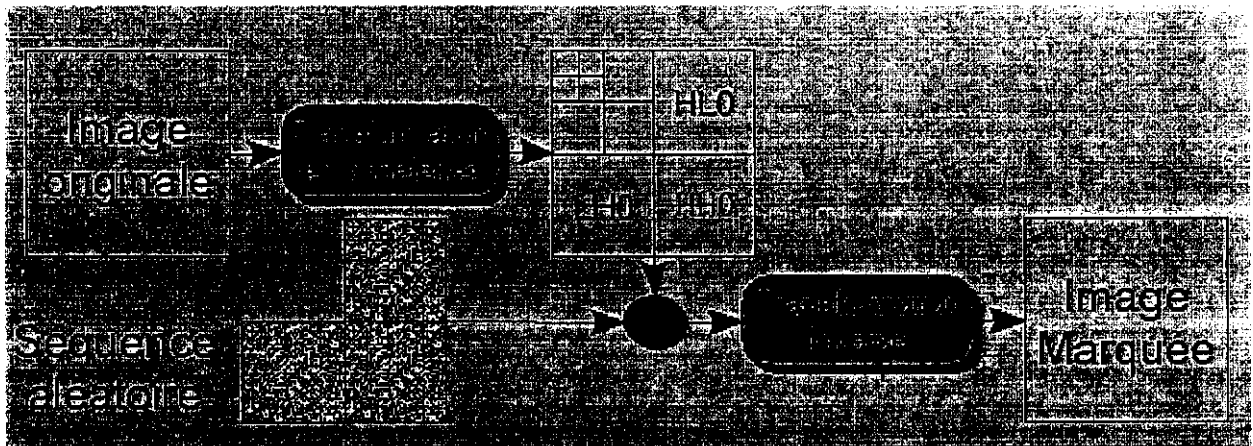


FIG.I.7 : Insertion de la signature selon le schéma de Barni et al

Le calcul des sous-bandes tatouées Y_0^{HL} , Y_0^{LH} , Y_0^{HH} s'effectuent par addition :

$$Y_0^{HL}(i, j) = X_0^{HL}(i, j) + \alpha \cdot P^{HL}(i, j) W_{iN+j} \quad [I.5]$$

$$Y_0^{LH}(i, j) = X_0^{LH}(i, j) + \alpha \cdot P^{LH}(i, j) W_{MN+iN+j} \quad [I.6]$$

$$Y_0^{HH}(i, j) = X_0^{HH}(i, j) + \alpha \cdot P^{HH}(i, j) W_{2MN+iN+j} \quad [I.7]$$

Le constant α qualifie la force de la signature et la fonction de pondération P dépend des propriétés de dissimulation de la signature. La détection de la signature s'accomplit ensuite à partir du calcul de la corrélation :

$$p = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [Y_0^{HL}(i, j) W_{iN+j} + Y_0^{LH}(i, j) W_{MN+iN+j} + Y_0^{HH}(i, j) W_{2MN+iN+j}]$$

P est ensuite comparé à un seuil qui dépend de la probabilité de fausse alarme qui est exigée.

b- les méthodes basées sur les schémas substitutifs :**Tatouage par paquets d'ondelettes [PAB 00] :**

Manoury et *al.* Utilisent l'espace fourni par la décomposition en paquet d'ondelettes comme espace d'insertion. La décomposition en paquet d'ondelettes d'un signal est une extension de la transformation en ondelettes discrète. Cette décomposition est quaternaire : chaque sous bandes peut être décomposé ou non en 4 autres sous bandes de détail (LL, LH, HL, HH). Le choix de la décomposition, appelé base, s'effectue selon un critère énergétique ou entropique.

Le schéma proposé se décompose en deux étapes principales. L'algorithme recherche les vecteurs de base les vecteurs de la base optimale à l'insertion de la Signature. La seconde étape consiste à sélectionner des nœuds de la décomposition à partir d'une clef secrète. Ces nœuds porteront la signature. L'insertion de la signature s'effectue en modifiant la parité de la somme des nœuds sélectionnés pour chaque résolution. Un nœud est égal à 1 si il est contenu dans la base, sinon il est égal à 0

L'examen de la parité des vecteurs appartenant à la base optimale permet de retrouver la signature.

1.7 CONCLUSION :

Nous avons présenté dans ce rapport les différentes méthodes de tatouage d'images numériques. Chaque méthode à ses propres critères comme le domaine d'insertion de la signature (spatial, fréquentiel et multirésolution), sa capacité de résister aux différentes attaques et leur efficacité. Bien que le domaine de tatouage d'image soit relativement récent, l'application première de tatouage d'image est la défense des droits d'auteurs; de nombreuses autres applications sont envisageables. D'une manière générale, toute application qui peut trouver un intérêt à ce qu'une information soit entrelacée de manière invisible à des données multimédia afin d'assurer une fonctionnalité qui peut être aussi variée qu'une trace des réseaux via lesquels l'information à transité; une trace des personnes qui l'ont achetée où reçue ; une trace du matériel qui à été utilisé pour acquérir, numériser ou transmettre cette information; une marque liée au document lui-même à des fins d'indexation, d'intégrité, où bien encore de contrôle d'accès. La liste des applications possible est vaste. Il est raisonnable d'envisager, qu'à défaut de répondre parfaitement et simultanément à toutes les contraintes de robustesse, visibilité, fiabilité, extraction aveugle,...les algorithmes de tatouage en cours de développement vont à l'avenir se spécialiser afin de répondre au mieux à une application précise, identifiée et limitée.

CHAPITRE II :
LES ONDELETTES

CHAPITRE II :

LES ONDELETTES

II.1 INTRODUCTION

Les ondelettes sont des méthodes les plus avancées pour l'analyse des signaux, qu'il s'agisse d'images, de sons ou d'une étude sur une population de bactéries ...etc. Au cœur même de cette théorie, on trouve le concept de schéma itératif c'est -à- dire la répétition sans fin d'une même opération a des échelles de plus en plus petites. Les amateurs de fractales reconnaîtront ce principe.

Les ondelettes sont appelées a être utilisées un peu partout dans nos vies. Que ce soit pour la compression d'images sur Internet, pour le traitement du son et de l'image (téléphonie, télévision,...), le graphisme, la modélisation numérique ou pour la géologie, et l'astronomie ...etc. Enfin bref, presque partout ! Des compagnies comme discret logique a Montréal, incluent déjà cette technologie a leurs produits. La base de donnée d'empreintes digitales du FBI est compressée avec les ondelettes depuis le début des années 90 .

II. 2 HISTORIQUE DE LA TRANSFORMATION EN ONDELETTES

Un problème très général en traitement du signal(image) est celui posé par l'analyse, c'est-à-dire l'extraction, a partir des données, d'un ensemble d'informations pertinentes qui rendent compte tant du contenu spectral du signal que de son organisation temporelle (ou spatiale) .

La transformée de Fourier a été utilisée depuis longtemps. Ce procédé n'est cependant pas toujours la façon la plus naturelle pour l'analyse d'un signal. La musique ou la parole, par exemple, sont des signaux dont le spectre évolue en fonction du temps d'une façon significative. A chaque instant, le son est une combinaison de fréquences qui changent constamment. Cette évolution des fréquences en fonction du temps n'est pas reflétée dans la transformée de Fourier,

ou du moins pas directement. Si un signal (temporel ou spatial) peut être reconstruit à partir de sa transformée de Fourier, la transformation donne une information sur tous les fréquences (ou nombre d'ondes) du signal sur tout le domaine, sans montrer comment les fréquences (ou nombre d'ondes) varient avec le temps. L'analyse de Fourier présente donc des inconvénients majeurs qui ne permettent pas de dégager à la fois une information sur la structure du signal analysé dans l'espace temporel et dans l'espace spectral.

Pour cette raison la transformée de Fourier court terme (à fenêtre glissante) est apparue, elle consiste à décomposer un signal sur des fonctions en temps (paramètre b) et par modulation en fréquence [MEY 92]. D. Gabord a essentiellement utilisé une fenêtre plus lisse (la fenêtre de Gauss) [COU 92]. L'apport de la transformée de Gabord dans l'analyse des signaux évolutifs reste insuffisante du fait que la longueur des fenêtres de Gabord est fixe. Ces fenêtres ne peuvent suivre l'évolution trop variable ou brève des signaux.

Il y a une dizaine d'années, une nouvelle méthode d'analyse, appliquée à l'origine aux signaux sismiques obtenue lors de la prospection pétrolière, a été proposée par le géophysicien J. Morlet [MOR71] : l'analyse par ondelettes. Il eut l'idée d'analyser un signal à l'aide de fonctions élémentaires (ondelettes) toutes issues, par translation et dilatation, d'une même fonction dite l'ondelette mère. Avec la contribution de A. Grossmann [GRO87] (spécialiste de la mécanique quantique), une formulation mathématique de la transformation en ondelettes continue a été développée en rapport avec les états cohérents de la mécanique quantique permettant de décomposer un signal à la fois en temps et en fréquence.

I. Daubechies en collaboration avec A. Grossmann et Y. Meyer, ont alors judicieusement discrétisé la transformation précédente [COU92]. Par la suite, les premières bases orthonormées d'ondelettes régulières ont été exhibées de façon indépendante en 1985 par Y. Meyer et P.G. Lemarie en 1986.

Dans le but d'inscrire la construction de bases orthonormées d'ondelettes dans un cadre général, S. Mallat et Y. Meyer ont introduit en 1987 le concept d'analyse multirésolution.

La relation existe entre ondelettes et filtres discrets (lié à la notion d'analyse multirésolution) a permis le développement d'algorithmes de décomposition et la construction de bases orthonormées d'ondelettes à support compact par

I. Daubechies. Les développements mathématiques de cet outil ont donc considérablement avancé depuis 1984.

Les ondelettes permettent d'analyser plus efficacement des signaux (images) ou se combinent des phénomènes localisés dans l'espace physique ayant des échelles spectrales très différentes.

C'est pour cette raison qu'elles semblent être un outil adapté à l'analyse des signaux tels que les images.

II.3 ANALYSE DES SIGNAUX PAR ONDELETTES

L'analyse par ondelettes est une représentation temps échelle dont le principe est de décrire l'évolution temporelle d'un signal relativement à une échelle d'observation. L'idée de base de la transformation en ondelettes est de présenter un signal quelconque comme une superposition de signaux élémentaires (les ondelettes) oscillants mais localisés dans le temps à la différence des ondes infinies de Fourier. Tous ces signaux élémentaires ont la même forme et ne diffèrent que par les instants d'apparition et leur durée, c'est ce qui fait sa principale caractéristique par rapport à l'analyse de Fourier classique.

II.3.1 TRANSFORMATION EN ONDELETTES CONTINUE

II.3.1.1 FONCTION D'ONDELETTES [COU92]

Les ondelettes sont des fonctions générées à partir d'une fonction ψ par translations et dilatation sur l'axe des temps (ou espace).

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad b \in \mathbb{R}, a > 0 \quad (II.1)$$

la fonction ψ est appelée ondelette-mère ou ondelette analysante, b est un paramètre de translation et a un paramètre de dilatation-contraction (dilatation si $a > 1$ et contraction si $a < 1$); le terme $1/\sqrt{a}$ est un facteur de normalisation, b est le centre de la fonction élémentaire ψ_{ab} et a est sa largeur.

sa transformée de Fourier est donnée par :

$$\hat{\psi}_{ab}(t) = \sqrt{a} e^{-2i\pi\lambda b} \psi(a\lambda) \quad (II.2)$$

Les coefficients d'ondelette du signal sont :

$$C_f(a,b) = (f, \psi_{ab}) \quad (II.3)$$

La transformation est dite continue car les paramètres de dilatation-translation (a,b) varient dans $\mathfrak{R}_+ \times \mathfrak{R}$. L'analyse en ondelettes offre la possibilité de suivre l'évolution d'un signal au cours du temps mais aussi, en considérant des signaux élémentaires de durée de plus en plus faible, de se focaliser sur des instants précis à la manière d'un « microscope mathématique » positionné en b , d'agrandissement $1/\sqrt{a}$ et dont l'optique est donnée par l'ondelette ψ . De plus, cette transformée contracte ou dilate l'axe des temps ce qui permet d'introduire la notion d'échelle ou de résolution. Le but de cette transformation est qu'elle autorise l'analyse simultanée des signaux en temps à caractéristiques très différentes.

II.3.2 TRANSFORMÉE EN ONDELETTES DISCRÈTE

Dans la pratique, on restreint les paramètres de dilatation translation (a,b) à un sous ensemble discret ; ce qui conduit à la notion de frames d'ondelettes étudiées par I. Daubechies, A. Grossmann et Y. Meyer [DAU92]. On choisit

$$a_m = a^{-m}, b_n = n\beta a^{-m}, (a > 1, \beta \neq 0) \quad (II.4)$$

Avec

$$\psi_{a_m b_n} = a^{\frac{m}{2}} \psi(a^m x - n\beta) \quad (II.5)$$

Les coefficients $C_f(a,b)$ donnent une information redondante. La manière de réduire cette redondance d'information est de prendre des fonctions d'ondelettes régulières. Ceci a été fait par Y. Meyer et I. Daubechies en 1985 quand ils construisirent dans $L^2(\mathfrak{R})$ les bases d'ondelettes ortho normales $(\psi_{jk})_{j,k \in \mathbb{Z}}$

Tout signal de $L^2(\mathfrak{R})$ peut s'écrire à l'aide des éléments de cette base sous la forme :

$$f(x) = \sum_{j \in \mathbb{Z}} \sum_{k \in \mathbb{Z}} (f, \psi_{jk}) \psi_{jk}(x) \quad (II.6)$$

avec

$$\psi_{jk} = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j x - k) \quad (II.7)$$

Ainsi les coefficients d'ondelettes associées s'écrivent :

Le réseau des paramètres de dilatation -translation considéré dans ce cas est la collection de

$$C_k = 2^{\frac{j}{2}} \int_{\mathbb{R}} f(x) \psi(2^j x - k) dx \quad (II.8)$$

Toutes les intervalles dyadiques :

$$I(j,k) = [k2^{-j}, (k+1)2^{-j}] \quad (j,k \in \mathbb{Z})$$

Où les paramètres de dilatation-translation sont :

$$(a,b) = (2^j, 2^j k)$$

$\psi_{j,k}$ Est l'ondelette dilatée d'un facteur de 2^j et translatée de $2^j k$; $2^{-j/2}$ est un facteur de normalisation choisi de façon que $\|\psi\|_2 = \|\psi_{j,k}\|_2$

Les points $(a,b) = (2^j, 2^j k)$ Correspondent a la discrétisation de $\mathbb{R} \times \mathbb{R}$.

Définition : On appelle ondelette de classe r ($r \in \mathbb{N}$), toute fonction $\psi \in L^2(\mathbb{R})$ de régularité r qui vérifie les propriétés suivantes :

$$* \forall m = 0, \dots, r \quad \begin{cases} \psi^{(m)} \in L^\infty(\mathbb{R}) \\ \psi^{(m)} \end{cases} \quad \text{est à décroissance rapide}$$

$$* \forall k = 0, \dots, r \quad \int_{-\infty}^{+\infty} x^k \psi(x) dx = 0 \quad \text{moments d'ordre nuls}$$

(Condition des moments $\hat{\psi}^{(k)}(0) = 0$)

* les fonctions $\psi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \psi(2^{-j} x - k)$, ($j,k \in \mathbb{Z}$) forment une base orthonormée de $L^2(\mathbb{R})$

Un exemple de base orthonormale d'ondelettes de $L^2(\mathbb{R})$ est la base de harr.

L'ondelette mère correspondant a cette base orthonormée est :

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } 0 < x < 1/2 \\ -1 & \text{si } 1/2 < x < 1 \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (II.9)$$

Dans $L^2(\mathbb{R})$ Pour une base orthonormée $\psi_{j,k}$ une fonction f s'écrit :

$$f = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (f, \Psi_{j,k}) \Psi_{j,k} \quad (II.10)$$

Avec

$$\sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} |(f, \Psi_{j,k})|^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |f(x)|^2 dx \quad (II.11)$$

Pour une telle base orthonormée, on obtient des approximations de $f \in L^2(\mathfrak{R})$ à mesure que j croît :

$$f_n = \sum_{j=-\infty}^{n-1} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (f, \Psi_{jk}) \Psi_{jk} \rightarrow f \quad (\text{II.12})$$

L'erreur d'approximation est :

$$e_n = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (f, \Psi_{nk}) \Psi_{nk} \quad (\text{II.13})$$

Cette erreur représente le détail que l'on ajoute à f_n pour obtenir f_{n+1} approximation plus fine [MAL 89].

II.3.2.1 ANALYSE MULTIRÉSOLUTION DE $L^2(\mathfrak{R})$

L'analyse multirésolution de $L^2(\mathfrak{R})$ a été introduite par Y.Meyer et S.Mallat [MAL89] [MEY92]. Son but est de construire les bases d'ondelettes orthonormées, elle met le fondement mathématique pour approcher une fonction f par ses approximations successives f_j contenant de plus en plus d'informations dans des espaces emboîtés. Dans le cas d'une fonction bidimensionnelle (image), une représentation multirésolution donne un aperçu simple de l'interprétation de l'information contenue dans cette image. A différentes résolutions, les détails d'une image caractérisent généralement différentes structures physiques d'une scène. A une résolution grossière, les détails correspondent aux structures les plus larges qui nous renseignent sur le « contexte » de l'image. Il est par conséquent naturel d'analyser d'abord les détails d'une image à une résolution grossière puis d'augmenter graduellement la résolution. L'idée de base est alors de mesurer les changements entre l'approximation f_j de f à l'échelle $2^{-(j+1)}$ et l'approximation f_{j+1} de f à l'échelle $2^{-(j+1)}$. L'analyse multirésolution de $L^2(\mathfrak{R})$ est la donnée d'une suite croissante V_j , $j \in \mathbb{Z}$ de sous-espaces fermés de $L^2(\mathfrak{R})$ ayant les propriétés suivantes :

- i. $\forall j \in \mathbb{Z}, f(x) \in V_j \Leftrightarrow f(2x) \in V_{j+1}$
- ii. V_0 est invariant par les translations entières de la variable :

$$f \in V_0 \Leftrightarrow \forall k \in \mathbb{Z} \quad f(x-k) \in V_0$$

iii. $\bigcup_{j=-\infty}^{+\infty} V_j$ est dense dans $\bigcap_{j=-\infty}^{+\infty} V_j = \{0\}$

iv. Il existe une fonction φ dans V_0 telle que la suite $(\tau_k \varphi)_{k \in \mathbb{Z}}$ forme une base de Riesz (ANNEXE B) de V_0 .

V_j est l'espace de toutes les approximantes possibles, à l'échelle 2^{-j} . La propriété $V_j \subset V_{j+1}$ traduit le fait que toute information accessible à l'échelle 2^{-j} (la projection sur V_j) l'est aussi à l'échelle $2^{-(j+1)}$: l'information contenue dans le signal est dégradée lorsque j croît.

La propriété (ii.) est la propriété d'invariance par translation.

La propriété (iii.) indique, d'une part que lorsque $j \rightarrow +\infty$, l'approximant f_j de f tend vers f en moyenne quadratique, d'autre part que cet approximant tend vers 0 quand $j \rightarrow -\infty$, autrement dit, le signal approché contient de moins en moins d'information (l'image devient de plus en plus lisse, donc moins de détails) [MAL 89] [COH92] [MEY92].

II.3.2.2 BASES ORTHORMEES D'ONDELETES DE $L^2(\mathbb{R})^2$

Une analyse multirésolution de $L^2(\mathbb{R})^2$ est la donnée d'une suite croissante $(V_j)_{j \in \mathbb{Z}}$ de sous-espaces fermés de $L^2(\mathbb{R})^2$ vérifiant les extensions en dimension (2D) des propriétés (i.), (ii.), (iii.) et (iv.) de l'analyse multirésolution décrits auparavant, la technique utilisée pour généraliser la base d'ondelettes dans le cas bidimensionnel est le produit tensoriel, dans ce cas, on part d'une analyse multi résolution $(V_j)_{j \in \mathbb{Z}}$ de $L^2(\mathbb{R})^2$; et on définit V_j de $L^2(\mathbb{R})^2$ comme étant le produit tensoriel de deux sous espaces identiques V_j de $L^2(\mathbb{R})^2$ [COH92] [DAV92].

$$V_j = v_j \otimes v_j \quad (II.14)$$

S.Mallat et Y.Meyer (MEY92) ont montré que la suite d'espaces V_j de $L^2(\mathbb{R})^2$ Ainsi définie forme une analyse multi résolution séparable de $L^2(\mathbb{R})^2$. la fonction d'échelle φ qui engendre l'analyse multi résolution V_j est donnée par : $\forall (x, y) \in \mathbb{R}^2$

$$\phi(x, y) = \phi(x)\phi(y) \quad (II.15)$$

où ϕ est la fonction d'échelle associée à l'analyse multirésolution V_j de $L^2(\mathfrak{R})^2$ comme dans le cas monodimensionnel, les coefficients d'ondelettes du signal sont donnés par sa projection sur le sous espace supplémentaire W_j de V_j dans V_{j+1} . Or les propriétés du produit tensoriel conduisent à :

$$W_j = (v_j \otimes v_j) \oplus (w_j \otimes v_j) \oplus (w_j \otimes w_j) \quad (\text{II.16})$$

$$W_j = W_j^1 \oplus W_j^2 \oplus W_j^3 \quad (\text{II.17})$$

Une base orthonormée de W_j est par conséquent formée par des dilatés et translatés de trois fonctions d'ondelettes. Dans le cas d'une analyse multirésolution séparable, on utilise donc trois ondelettes pour caractériser les détails nécessaires pour passer d'une échelle à la suivante.

Théorème (S.Mallat et Y.Meyer)

Soit $V_j, j \in \mathbb{Z}$ une analyse multirésolution séparable de $L^2(\mathfrak{R})^2$ associée à la fonction $\phi(x, y) = \phi(x)\phi(y)$ et ψ l'ondelette monodimensionnelle associée à ϕ .

Alors les trois ondelettes ψ^1, ψ^2 et ψ^3 , définies par la propriété « i » de l'analyse multirésolution pour tout $(x, y) \in \mathfrak{R}^2$

$$\psi^1(x, y) = \phi(x)\psi(y) \quad (\text{II.18})$$

$$\psi^2(x, y) = \psi(x)\phi(y) \quad (\text{II.19})$$

$$\psi^3(x, y) = \psi(x)\psi(y) \quad (\text{II.20})$$

Sont telles que les fonctions $(\psi_{jkl}^1, \psi_{jkl}^2, \psi_{jkl}^3)_{j,k,l \in \mathbb{Z}}$ forment une base orthonormée de $L^2(\mathfrak{R})^2$ avec

$$\psi_{jkl}^n = 2^j \psi^n(2^j x - k, 2^j y - l), \quad n=1,2,3 \quad (\text{II.21})$$

Les coefficients d'ondelette du signal $f \in L^2(\mathfrak{R})^2$ sont alors donnés par les trois coefficients d'ondelettes élémentaire.

$$C_{jkl}^1 = 2^j \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \psi^1(2^j x - k, 2^j y - l) dx dy \quad (\text{II.22})$$

$$C_{jkl}^2 = 2^j \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \psi^2(2^j x - k, 2^j y - l) dx dy \quad (\text{II.23})$$

$$C_{jkl}^3 = 2^j \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) \psi^3(2^j x - k, 2^j y - l) dx dy \quad (\text{II.24})$$

Ainsi, f peut être reconstruit par :

$$f = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} (C_{jkl}^1 \psi_{jkl}^1 + C_{jkl}^2 \psi_{jkl}^2 + C_{jkl}^3 \psi_{jkl}^3) \quad (II.25)$$

et on a la formule de conservation de l'énergie :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} |f(x, y)|^2 dx dy = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \sum_{l=-\infty}^{+\infty} (|C_{jkl}^1|^2 + |C_{jkl}^2|^2 + |C_{jkl}^3|^2) \quad (II.26)$$

Remarque

* ψ^1 est l'ondelette verticale qui sert à détecter les bords horizontaux dans l'image, ψ^2 l'ondelette horizontale, elle détecte les bords verticaux et ψ^3 est l'ondelette diagonale qui détecte les éléments diagonaux (coins).

* Cette méthode d'analyse multirésolution séparable nécessite trois ondelettes pour extraire l'information inter-échelle ainsi elle présente la caractéristique privilégier nettement la détection des structures horizontales et verticales par rapport aux autres directions.

II.4 IMPLEMENTATION DE LA TRANSFORMÉE EN ONDELETTES DISCRÈTE

La transformée en ondelettes discrète est naturellement celle qui convient pour des besoins de filtrage : pas de redondance d'information et peu de coefficients à calculer.

II.4.1 ALGORITHME A TROUS [COU92]

L'algorithme à trous a été l'un des premiers algorithmes proposé pour une transformée en ondelettes discrète sur un signal mono-dimensionnel.

La décomposition par l'algorithme à trous donne des images de contextes (relatives aux différentes approximations de l'image) et des images de structures (relatives aux images de détails) de dimension égale à celle de l'image d'origine.

Dans le cas mono-dimensionnel, l'approximation du signal à la résolution 2^{j+1} se calcule à partir de l'approximation du signal à la résolution 2^j à l'aide de l'équation suivante :

$$f_{j+1} = 1/4 f_j(x-2^j) + 1/2 f_j(x) + 1/4 f_j(x+2^j) \quad (II.27)$$

Les coefficients appliqués aux échantillons de l'approximation à la résolution 2^j pour le calcul de la nouvelle approximation à la résolution 2^{j+1} correspondent à la réponse impulsionnelle d'un filtre passe-bas. La différence d'informations entre deux approximations successives est décrite par les coefficients d'ondelettes :

$$C_j(x) = f_{j+1}(x) - f_j(x) \quad (II.28)$$

La reconstruction du signal est effectuée par la somme de l'approximation du signal à une résolution 2^j $f_j(x)$ et les coefficients d'ondelettes $C_j(x)$:

$$F(x) = f_j(x) + \sum C_j(x) \quad (II.29)$$

Le coût de l'algorithme est de l'ordre $J \cdot N \cdot \log N$ opérations. N est le nombre de coefficients et J le nombre total d'échelles, l'application de cet algorithme sur l'image s'effectue de manière similaire. IL possède la propriété d'une reconstruction exacte de l'image d'origine [COU92].

II.4.2 ALGORITHME DE S.MALLAT [MAL89]

Un algorithme efficace et rapide lié à la nature de transformée en ondelettes a été mis au point par S.Mallat.

Nous décrivons ici l'algorithme de S.Mallat. Cet algorithme, très utilisé pour la décomposition-reconstruction sur une base orthonormée d'ondelettes, est appliqué aux ondelettes issues d'une analyse multirésolution [COH92][DAV92].

II.4.2.1 ALGORITHME UNIDIMENSIONNEL (1D)

Soit (V_j) une analyse multirésolution de $L^2(\mathbb{R})$ et φ la fonction d'échelle associée, où ψ est l'ondelette analysante associée à φ . On a :

$$V_j = V_{j-1} \oplus W_{j-1} \quad (\text{II.30})$$

On dispose d'une fonction $f_j \in V_j$, on se propose de déterminer f_{j-1} projection de f_j sur V_{j-1} et les coefficients d'ondelettes correspondant sur W_j

a) Décomposition:

On part d'une suite $(a_n^0)_{n \in \mathbb{Z}}$ de $\ell^2(\mathbb{Z})$, c'est-à-dire de la fonction f_0 de V_0

$$f_0(x) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_n^0 \varphi(x-n)$$

Pour calculer les coefficients d'ondelettes de f_0 , i.e. les (f_0, ψ_{jn}) , on utilise la décomposition:

$$V_0 = V_{-J} \bigoplus_{j=-J}^{-1} W_j$$

On cherche donc les coefficients a_n^i et c_n^j $n \in \mathbb{Z}$, $-J \leq i \leq -1$, $J \geq 1$ tels que :

$$f_0(x) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_n^{-J} \varphi_{-Jn}(x) + \sum_{i=-J}^{-1} \sum_{n \in \mathbb{Z}} c_n^i \psi_{jn}(x)$$

Où

$$a_n^{-j} = (f_0, \varphi_{-jn}) \quad c_n^j = (f_0, \psi_{jn})$$

Selon (III.30) et à l'étape j de la décomposition, $f_j \in V_j$ s'écrit :

$$f_j(x) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_n^j \varphi_n(x) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} a_n^{j-1} \varphi_{j-n}(x) + \sum_{n \in \mathbb{Z}} c_n^{j-1} \psi_{j-n}(x)$$

Où

$$a_n^{j-1} = (f_j, \varphi_{j-n}) \quad \text{et} \quad c_n^{j-1} = (f_j, \psi_{j-n})$$

Comme $\varphi_{j-1k} \in V_{j-1} \subset V_j$, il vient donc que

$$\varphi_{j-1k} = \sum_{n \in \mathbb{Z}} (\varphi_{j-1k}, \varphi_n) \varphi_n$$

Et

$$(f_j, \varphi_{j-1k}) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} (\varphi_{j-1k}, \varphi_n) (f_j, \varphi_n)$$

Ou encore :

$$a_k^{j-1} = \sum_{n \in \mathbb{Z}} (\varphi_{j-1k}, \varphi_n) a_n^j$$

Un calcul direct donne :

$$(\varphi_{j-1k}, \varphi_n) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi\left(\frac{x}{2}\right) \varphi(x - (n - 2k)) dx$$

En posant :

$$h(n) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi\left(\frac{x}{2}\right) \varphi(x - n) dx$$

On obtient

$$a_i^{j+1} = \sum_{n \in \mathbb{Z}} h(n - 2k) a_n^j \tag{II.31}$$

De la même façon, en remarquant que $\psi_{j-1k} \in W_{j-1} \subset V_j$, un calcul direct donne

$$c_i^{j+1} = \sum_{n \in \mathbb{Z}} g(n - 2k) a_n^j \tag{II.32}$$

Avec

$$g(n) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi\left(\frac{x}{2}\right) \varphi(x - n) dx \tag{II.33}$$

h et g sont de filtres discrets indépendants de j associé à l'analyse multirésolution (V_j) , reliés par [MAL 89][DAU 92] :

$$g(n) = (-1)^{1-n} h(1-n) \tag{II.34}$$

Les relations (II.31) et (II.32) peuvent alors s'écrire

$$a^{j+1} = H a^j \quad \text{et} \quad c^{j+1} = G a^j$$

Note: h : filtre passe bas; g : Filtre passe haut.

L'algorithme de décomposition est illustré par le schéma (Fig.II.1):

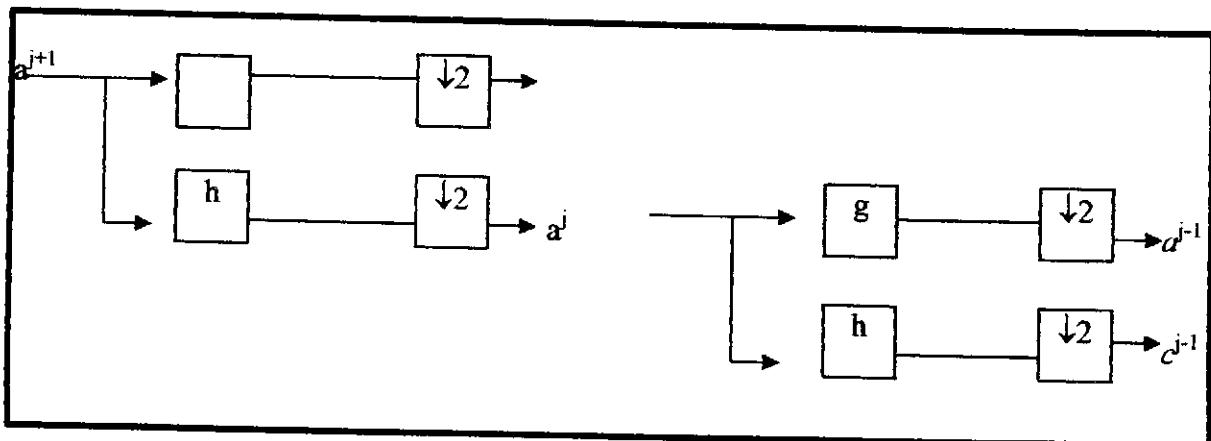


Fig .II.1: Schéma de décomposition 1D de l'algorithme de S.Mallat

Avec

↓2 : Décimation (supprimé un échantillon sur deux).

h: Convolution avec le filtre h.

g: Convolution avec le filtre g.

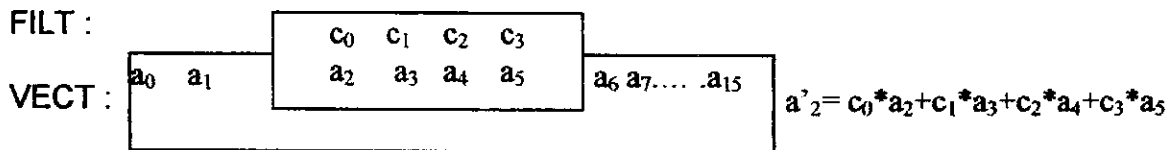
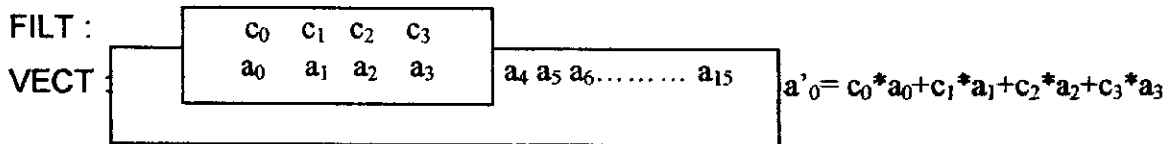
• **Notion de convolution:**

Soient VECT un vecteur à 1D de n composantes et FILT un filtre de nc coefficients, $nc < n$. une séquence de convolution de VECT avec FILT consiste à remplacer chaque composante du vecteur VECT par la somme de ses nc voisins, multiplié chacun avec un coefficient de FILT qui lui correspond dans la fenêtre masque FILT. Ce masque balayera tout vecteur du début jusqu'à la fin.

Exemple :

n=16 nc=4

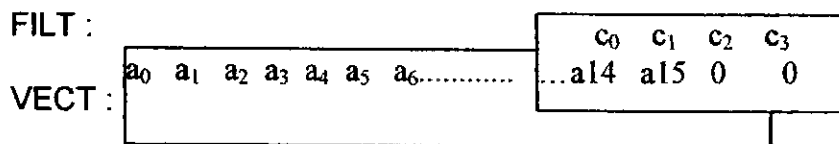
FILT: $[c_0, c_1, c_2, c_3]$, VECT $[a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, \dots, a_{15}]$.



Arrivant au bord de VECT , le passage du filtre engendre un problème. Par exemple pour calculer a'_{14} on aura besoin des composantes a_{14}, a_{15}, a_{16} et a_{17} , or a_{16} et a_{17} n'existent pas.

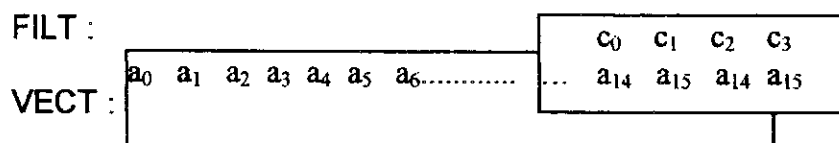
Trois solutions possibles pour ce problème :

1- remplacer les composantes manquantes a_{16} , et a_{17} par des zéros.



$$a'_{14} = c_0 * a_{14} + c_1 * a_{15} + c_2 * 0 + c_3 * 0$$

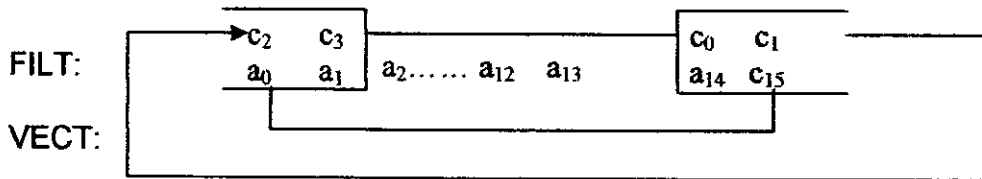
2- remplacer les composantes manquantes par les dernières composantes de VECT.



$$a'_{14} = c_0 * a_{14} + c_1 * a_{15} + c_2 * a_{14} + c_3 * a_{15}$$

3- Faire tourner le filtre autour de VECT.

Dans ce cas , joindre les deux extrémités de VECT. Cela revient à remplacer les composantes manquantes par les composantes se trouvant au début , donc rendre le filtre circulaire.



$$a'_{14} = c_0 * a_{14} + c_1 * a_{15} + c_2 * a_0 + c_3 * a_1$$

d'une façon générale la formule de convolution devient alors :

$$a'_j = \sum_{k=0}^{nc-1} c_k * a[(j+k) \bmod N] \tag{II.35}$$

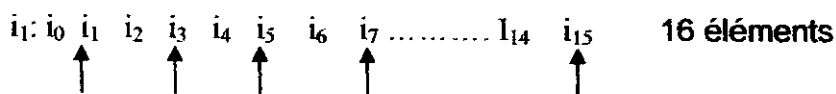
Où :

nc: représente le nombre de coefficient du filtre

N : la taille du vecteur VECT .

• **Notion de décimation :**

La décimation diminue la taille d'une ligne de moitié car les composantes d'indice impair seront enlevées (décimées).



(le symbole ↑ désigne le composant i qui va être décimé; ou bien enlevé)

Remarques:

La décimation diminue la taille d'une ligne de moitié car les composantes d'indice impair seront enlevées (décimées), ce qui rend leur calcul inutile lors de filtrage.

b) Reconstruction :

Le signal est facilement reconstruit en utilisant les filtres h et g. en effet ; à l'étape j, pour reconstruire $f_j \in V_j$, on a de (II.30),

$$\varphi_j = \sum_{k \in \mathbb{Z}} (\varphi_j, \varphi_{j-k}) \varphi_{j-k} + \sum_{k \in \mathbb{Z}} (\varphi_j, \psi_{j-k}) \psi_{j-k}$$

Et

$$(f_j, \varphi_m) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} (\varphi_m, \varphi_{j-k})(f_j, \varphi_{j-k}) + \sum_{k \in \mathbb{Z}} (\varphi_m, \psi_{j-k})(f_j, \psi_{j-k})$$

Ou encore

$$a_k^j = \sum_{k \in \mathbb{Z}} \tilde{h}(2k-n) a_k^{j-1} + \sum_{k \in \mathbb{Z}} \tilde{g}(2k-n) c_k^{j-1} \tag{II.36}$$

Avec $\tilde{h}(n) = h(-n)$ et $\tilde{g}(n) = g(-n)$. L'équation (II.36) peut encore s'écrire sous la forme

$$a^j = \tilde{H} a^{j-1} + \tilde{G} c^{j-1}$$

Où \tilde{H} et \tilde{G} sont les fonctions de transferts associées respectivement aux réponses impulsionnelles \tilde{h} et \tilde{g} .

L'algorithme de reconstruction est illustré par le schéma de reconstruction suivant (Fig.II.2):

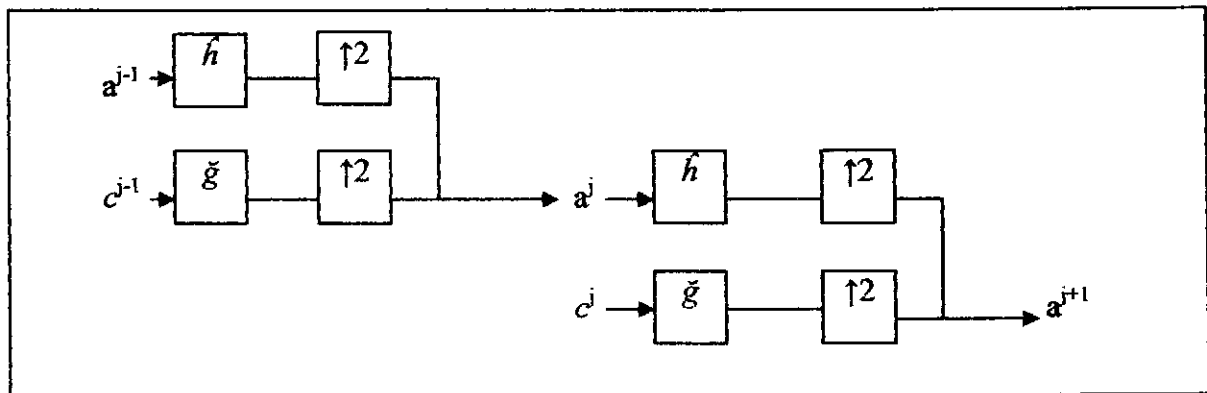


Fig.II.2: schéma de reconstruction 1D de l'algorithme de S.Mallat

avec

↑2 : Interpolation (insérer un zéro entre chaque deux échantillons)

\tilde{h} : Convolution avec le filtre \tilde{h}

\tilde{g} : Convolution avec le filtre \tilde{g}

II.4.2.2 ALGORITHME BIDIMENSIONNEL (2D)

a) Décomposition

Soit (V_j) une analyse multirésolution séparable de $L^2(\mathbb{R}^2)$. Désignons par W_{j-1} le supplémentaire orthogonal de W_{j-1} dans V_{j-1} .

$$V_j = V_{j-1} \oplus W_{j-1} \tag{II.37}$$

$$V_j = V_{j-1} \oplus W_{j-1}^1 \oplus W_{j-1}^2 \oplus W_{j-1}^3$$

Comme dans le cas mono-dimensionnel, à l'étape j de la décomposition, on part de $f_j \in V_j$. On a alors

$$f_j(x, y) = \sum_n \sum_m \alpha'_m \phi_{j,m}(x, y) \quad (II.38)$$

$$f_j(x, y) = \sum_n \sum_m \alpha'_m \phi_{j-1,m}(x, y) + \sum_n \sum_m \left[C_{j-1,m}^1 \psi_{j-1,m}^1(x, y) + C_{j-1,m}^2 \psi_{j-1,m}^2(x, y) + C_{j-1,m}^3 \psi_{j-1,m}^3(x, y) \right] \quad (II.39)$$

Où

$$\alpha'_m = (f_j, \phi_{j-1,m}), C_{j-1,m}^1 = (f_j, \psi_{j-1,m}^1), C_{j-1,m}^2 = (f_j, \psi_{j-1,m}^2) \text{ et } C_{j-1,m}^3 = (f_j, \psi_{j-1,m}^3)$$

Les ondelettes ψ^1, ψ^2, ψ^3 , sont définies à la section (II.3.2.2)

Du fait que $\phi_{j-1,k} \in V_{j-1} \subset V_j$, on a :

$$\phi_{j-1,k} = \sum_n \sum_m (\phi_{j-1,k}, \phi_{j,m}) (f_j, \phi_{j,m}) \quad (II.40)$$

Et donc

$$\alpha'_m = \sum_n \sum_m (\phi_{j-1,k}, \phi_{j,m}) \alpha'_m \quad (II.41)$$

Compte tenu de fait que:

$$\phi(x, y) = \phi(x)\phi(y) \quad (II.42)$$

ϕ étant la fonction d'échelle associée à l'analyse multirésolution (V_j) de $L^2(\mathbb{R})$; un calcul direct donne :

$$(\phi_{j-1,k}, \phi_{j,m}) = \frac{1}{2} \left(\int_{-\infty}^{\infty} \phi\left(\frac{x}{2}\right) \phi(x - (n - 2k)) dx \right) \left(\int_{-\infty}^{\infty} \phi\left(\frac{y}{2}\right) \phi(y - (m - 2l)) dy \right) \quad (II.43)$$

Donc

$$(\phi_{j-1,k}, \phi_{j,m}) = h(n - 2k)h(m - 2l) \quad (II.44)$$

On obtient donc

$$\alpha'_m = \sum_n \sum_m h(n - 2k)h(m - 2l) \quad (II.45)$$

De la même manière, en remarquant que :

$$\psi_{j-1,k}^1 \in W_{j-1}^1 \subset V_j, \psi_{j-1,k}^2 \in W_{j-1}^2 \subset V_j, \text{ et } \psi_{j-1,k}^3 \in W_{j-1}^3 \subset V_j,$$

On a :

$$C_{j-1,m}^1 = \sum_n \sum_m h(n - 2k)g(m - 2l) \alpha'_m \quad (II.46)$$

$$C_{j-1,k}^3 = \sum_n \sum_m g(n-2k)h(m-2l) a_{nm}^j \quad (II.47)$$

$$C_{j-1,k}^{3l} = \sum_n \sum_m g(n-2k)g(m-2l) a_{nm}^j \quad (II.48)$$

h et g sont les filtres discrets définis à la section (II.4.2.1)

Il convient de remarquer que les coefficients d'ondelettes de l'image sont calculés comme dans le cas unidimensionnel. A l'étape j de la décomposition, l'image a_{nm}^j est décomposée sur des sous-espaces orthogonaux; chacune des sous images obtenue est ainsi constituée par les coefficient d'ondelette $C_{j,k,l}^1, C_{j,k,l}^2$ et $C_{j,k,l}^3$ $0 \leq k, l \leq N-1$,

$J \leq j \leq 1$, ou N^2 est le nombre d'échantillons de l'image initiale.

Cette décomposition bidimensionnelle peut être schématisée comme suit (Fig.II.3).

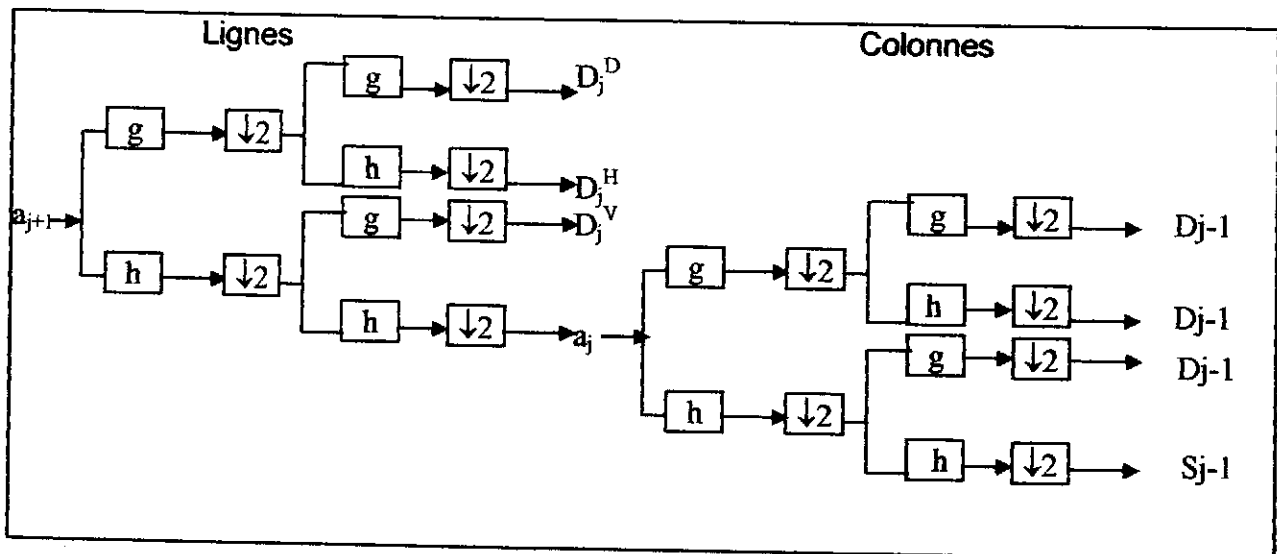


Fig.II.3: Schéma de décomposition 2D de l'algorithme de S.Mallat

Avec

↑2: Décimation d'une ligne/colonne parmi deux (supprimé une ligne/colonne sur deux)

h: Convolution avec le filtre h

g: Convolution avec le filtre g

En résumé on peut dire que la décomposition est faite par:

- 1: Convolution des lignes de l'image initiale avec un filtre à une dimension
- 2: Décimation des colonnes en ne retenant qu'une colonne sur deux
- 3: Convolution de résultat suivant les colonnes avec un autre filtre
- 4: En fin une deuxième décimation, est appliquée suivant les lignes

On constate que chaque filtrage est suivi d'une décimation à cadence de deux:

- Le filtre passe-haut G appliqué successivement sur les deux directions, met en évidence les contours diagonaux (coins) et représente DD_j .
- Le filtre passe-haut G appliqué horizontalement suivi du filtre passe-bas H appliqué verticalement, met en évidence les fréquences horizontales (frontières verticales) et représente donc DH_j .
- Le filtre passe-bas H appliqué horizontalement suivi du filtre passe-haut G appliqué verticalement, met en évidence les haute fréquences verticales (frontière horizontales) et représente donc DV_j .
- Le filtre passe-bas H appliqué sur les lignes puis sur les colonnes représente les basse fréquences et correspond à l'image a_j .

Le résultat de la décomposition suivant l'algorithme de S.Mallat pour deux niveaux est le suivant (Fig.II.4):

Sous-image de basse résolution	Résolution $j=2$ sous-image direction Horizontale	Résolution $j=1$ sous-image direction Horizontale
Résolution $j=2$ sous-image direction Verticale	Résolution $j=2$ sous-image direction Diagonale	
Résolution $j=-1$ sous-image direction Verticale		Résolution $j=-1$ sous-image direction Diagonale

Fig.II.4: Décomposition pyramidale par ondelettes

b) Reconstruction:

A l'étape j de la reconstruction, l'image a_{nm}^j est reconstruite à partir de a_{nm}^{j-1} et des coefficient d'ondelettes $C_{j-1,kl}^1$, $C_{j-1,kl}^2$, et $C_{j-1,kl}^3$. On a :

$$\alpha'_m = \sum_k \sum_l \left[\tilde{h}(2k-n)\tilde{h}(2l-m)\alpha'_m + \tilde{h}(2k-n)\tilde{g}(2l-m)C_{j-1,u}^1 \right. \\ \left. \tilde{g}(2k-n)\tilde{h}(2l-m)C_{j-1,u}^2 + \tilde{g}(2k-n)\tilde{g}(2l-m)C_{j-1,u}^3 \right] \quad (II.49)$$

Ou \tilde{h} et \tilde{g} sont les filtres définis à la section II.4.2.b

Le Schéma de la reconstruction est illustré par la Figure (Fig.II.5) suivante :

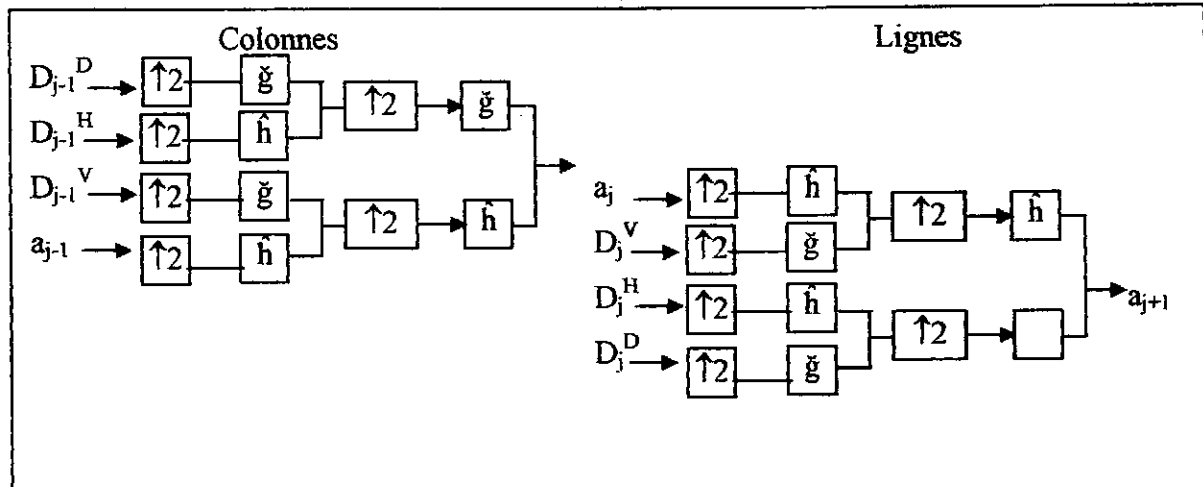


Fig.II.5: Schéma de reconstruction 2D de l'algorithme de S.Mallat

Avec

$\uparrow 2$: Interpolation d'une ligne/colonne parmi deux (insérer une ligne/colonne de zéro)

\hat{h} : Convolution avec le filtre \hat{h}

\check{g} : Convolution avec le filtre \check{g}

Remarque :

l'algorithme de S.Mallat est exacte lorsque les filtres h et g sont finis. Ce qui est le cas par exemple des ondelettes à support compact de I.Daubechies ou des ondelette splines (à décroissance exponentielle) qui sont numériquement considérées à support compact [MAL89]

II.4.3 L'ALGORITHME DE MALLAT AMELIORE

A.Cohen , I.Daubechies et Feauveau [COH90] apportent une amélioration à l'algorithme de Mallat, en introduisant une base d'ondelettes biorthogonale symétrique.

La décomposition est similaire à celle donnée par l'algorithme de S.Mallate, par contre la reconstruction est différente.

Dans le cas bidimensionnel, à l'étape j de la reconstruction l'image a_{nm}^j est reconstruite à partir de a_{nm}^{j-1} et des coefficients d'ondelettes $C_{j-1,kl}^1$, $C_{j-1,kl}^2$ et $C_{j-1,kl}^3$:

$$a_{n,m}^j = 4 * \sum_k \sum_l \left[\tilde{h}(2k-n)\tilde{h}(2l-m)a_{k,l}^{j-1} + \tilde{h}(2k-n)\tilde{g}(2l-m)D_{k,l}^{j-1,B} + \tilde{g}(2k-n)\tilde{h}(2l-m)D_{k,l}^{j-1,F} + \tilde{g}(2k-n)\tilde{g}(2l-m)D_{k,l}^{j-1,D} \right] \quad (II.50)$$

Où \tilde{h} , \tilde{g} sont des filtres duaux définis comme suit:

$$\tilde{g}_n = (-1)^n h_{n+1} \quad (II.51)$$

$$g_n = (-1)^n \tilde{h}_{n+1} \quad (II.52)$$

D'où le schéma pyramidal devient (Fig II.6)

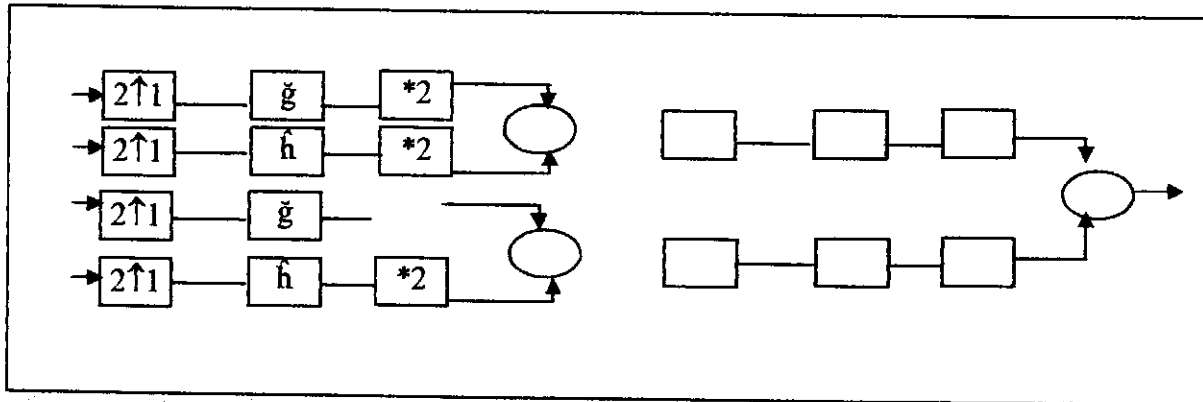


Fig.II.6: Schéma de reconstruction 2D de l'algorithme de S.Mallat amélioré

Avec

$2\uparrow 1$: Interpolation d'une ligne/colonne parmi deux (insérer une ligne/colonne de zéro)

\tilde{h} : Convolution avec le filtre \tilde{h}

\tilde{g} : Convolution avec le filtre \tilde{g}

Remarque : les filtres h et g doivent vérifier les conditions suivantes:

$$\sum_n h_n = \sqrt{2} \quad (II.53)$$

$$\sum_n \tilde{h}_n = \sqrt{2} \quad (II.54)$$

$$\sum_n (-1)^n h_n = 0 \quad (II.55)$$

$$\sum_n (-1)^n \tilde{h}_n = 0 \quad (II.56)$$

II.5 PROPRIETES DES ONDELLETES [COU92]

a) *ORTHOGONALITE*

Si les ondelettes sont orthogonales, la transformée en ondelettes est parfaite et la décomposition numérique est stable.

b) *SUPPORT COMPACT*

Si la fonction d'échelle ϕ est l'ondelette ψ sont à support compact, les filtres h et G sont

des filtres à réponse impulsionnelle finie, ce qui requis dans les implémentations.

c) *COEFFICIENTS RATIONNELS*

Pour une implémentation informatique, on souhaite que les coefficients des filtres h_k et g_k soient rationnels.

d) *SYMETRIE*

Si la fonction d'échelle et l'ondelette sont (anti-) symétriques, alors les filtres sont à phase linéaire. Si cette propriété n'est pas vérifiée, cela entraîne une distorsion de phase lors de la reconstruction.

e) *REGULARITE*

L'ondelette ψ régulière que possible pour que la transformée en ondelette soit apte à rendre compte des discontinuités du signal.

f) *NOMBRE DE MOMENTS NULS*

L'ondelette ψ oscillée, c'est-à-dire quelle doit avoir un nombre suffisant de passage par zéro sur l'intervalle où elle est localisée (le nombre de moments nuls).

II.6 DIFFERENTS TYPES D'ONDELLETES

On voit qu'il n'est pas possible de construire des ondelettes ayant toutes les propriétés citées ci dessus ; il faudra faire un compromis contre les différents types qui existent et choisir celle qui répond au plus grand nombre de propriétés demandées, voici quelques solutions qui peuvent faciliter le choix :

II 6.1 ONDELLETES ORTHOGONALES

La construction d'ondelettes orthogonales est basée sur l'analyse multi résolution orthogonale. Des espaces W_j ; sont définis comme étant le complément orthogonal de V_j ; dans V_{j+1} . Pour qu'une analyse multirésolution soit orthogonale, une condition suffisante est : $W_0 \perp V_0$

II.6.1.1 ONDELETTES ORTHOGONALES SIMPLES [COU 92]

Ces fonctions ondelette possèdent les propriétés suivantes :

$$\int \psi(x) dx = 0$$

$$\int \phi(x) dx = 1$$

Parmi ces ondelettes, citons la fonction de Harr : sa fonction d'échelle $\phi(x)$, ainsi que son ondelette $\psi(x)$ ont la forme suivante :

$$\phi_k^j(x) = \begin{cases} 2^{-\frac{j}{2}} & \text{Pour } 2^j(k-1) \leq x < 2^j k \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (\text{II.57})$$

$$\psi_k^j(x) = \begin{cases} 2^{-\frac{j}{2}} & \text{pour } 2^j(k-1) \leq x < 2^j(k-\frac{1}{2}) \\ -2^{-\frac{j}{2}} & \text{pour } 2^j(k-\frac{1}{2}) \leq x < 2^j k \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (\text{II.58})$$

On peut prendre comme fonction d'échelle $\phi(x)$ telle que :

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & \text{pour } 0 \leq x < 1 \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (\text{II.59})$$

L'ondelette correspondante $\psi(x)$ est donnée par l'expression suivante :

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{pour } 0 \leq x < \frac{1}{2} \\ -1 & \text{pour } \frac{1}{2} \leq x < 1 \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (\text{II.60})$$

III.6.1.2 ONDELETTES DE DAUBECHIER [DAU 92]

Daubechies proposa en 1988 une construction d'ondelettes orthogonales à support compact comme la fonction de Harr. Une ondelette de daubechies construit une base orthonormée de $L^2(\mathbb{R})$ de la forme :

$$2^{j/2} \psi(2^j x - k) \quad j \in \mathbb{Z}, k \in \mathbb{Z}$$

Celle ci ayant M moments nuls vérifie les équations :

$$\phi(x) = \sqrt{2}^{-2} \sum_{K=0}^{M-1} h_{k+1} \phi(2x - k) \quad (\text{II.61})$$

$$\psi(x) = \sqrt{2}^{-2} \sum_{K=0}^{M-1} g_{k+1} \phi(2x - k) \quad (\text{II.62})$$

et les coefficients h_k et g_k sont les coefficients de daubechies.

Remarque

Notons que pour $M = 1$, on retrouve le système de Harr.

II.6.1.2 ONDELETTES DE ROKHLIN COIFMAN DITES « COIFLETS »

Les coiflets sont un cas particulier des fonctions de daubechies. Ce sont des ondelettes orthogonales ou les fonctions $\phi(x)$ et $\psi(x)$ possèdent toutes les deux des moments nuls, et sont à support compact. Vu leurs grande régularité, ces ondelette sont d'un grand intérêt.

Les coiflets vérifient :

$$|\text{supp } \phi| = |\text{supp } \psi| = 2M - 1$$

$$\int \phi(x) dx = 1$$

$$\int \phi(x) x^l dx = 0 \quad \text{pour } l = 1, \dots, L-1$$

$$\int \psi(x) x^l dx = 0 \quad \text{pour } l = 1, \dots, L-1$$

Les ondelettes orthogonales n'ont pas entièrement satisfait les spécialités du traitement d'images, le défaut reproché est le manque de symétrie, il entraîne des défauts visibles, après l'étape de quantification. Ces défauts n'apparaissent plus lorsqu'on utilise les ondelettes biorthogonales symétriques à support compact.

II.6.2 ONDELETTES BIORTHOGONALES

Pour ces ondelettes, on introduit une fonction d'échelle dual \hat{V}_j et une fonction ondelette duale $\hat{\psi}$ qui génèrent une analyse multi résolution avec les sous espace, et, tel que :

$$\hat{V}_j \perp W_j \quad \text{et} \quad V_j \perp \hat{W}_j$$

Et par conséquent : $\hat{W}_j \perp \hat{W}_{j'}$ pour $j \neq j'$

Les conditions de biorthogonalité sont alors :

$$\forall \omega \in \mathfrak{R} \begin{cases} \sum_k \hat{\phi}(\omega + k2\pi) \overline{\hat{\phi}(\omega + k2\pi)} = 1 \\ \sum_k \hat{\omega}(\omega + k2\pi) \overline{\hat{\omega}(\omega + k2\pi)} = 1 \\ \sum_k \hat{\omega}(\omega + k2\pi) \overline{\hat{\phi}(\omega + k2\pi)} = 0 \\ \sum_k \hat{\phi}(\omega + k2\pi) \overline{\hat{\omega}(\omega + k2\pi)} = 0 \end{cases} \quad (II.63)$$

Où $\hat{\phi}$ et $\hat{\omega}$ sont les transformées de fourrier associées respectivement à la fonction ondelettes duale ψ et à la fonction d'échelle duale $\hat{\phi}$.

Les fonctions duales $\hat{\phi}$ et $\hat{\psi}$ sont données par :

$$\hat{\phi}(x) = 2 \sum_k \hat{h}_k \hat{\phi}(2x - k) \quad (II.64)$$

$$\hat{\psi}(x) = 2 \sum_k \hat{g}_k \hat{\phi}(2x - k) \quad (II.65)$$

tel que : \hat{h} et \hat{g} sont les réponses impulsionnelles duales des fonctions de transfert \hat{H} et \hat{G} .

II.6.2.1 ONDELETTES BIORTHOGONALES SPLINES [COU92]

Développées par Daubechies, Cohen et Feauveau. Elle utilisent deux bases de Riesz, duales l'une de l'autre, noté $\psi_{j,k}$ et $\hat{\psi}_{j,k}$:

$$\psi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \psi(2^j x - k) \quad \text{utilisée pour la synthèse} \quad (II.66)$$

$$\hat{\psi}_{j,k}(x) = 2^{j/2} \hat{\psi}(2^j x - k) \quad \text{utilisée pour la l'analyse} \quad (II.67)$$

La théorie de Cohen-Daubechies-Feauveau permet de choisir ψ à l'intérieur d'un ensemble de fonctions continues, à support compact et symétrique. De plus, tous les coefficients des filtres sont rationnels dyadiques. Un désavantage est que pour des filtres de petites tailles, les fonctions duales ont une régularité très faible.

II.6.2.2 LES SPLINES COIFLETS [COU92]

Ce sont des filtres biorthogonaux ayant les propriétés des coiflets notamment en ce qui concerne la régularité.

II.7. CONCLUSION

En général, trois algorithmes basés sur la transformée en ondelettes sont utilisés en traitement d'images :

- L'algorithme à Trous est l'un des premiers algorithmes à avoir utilisé les ondelettes pour le traitement d'images, en donnant une image approximative et des images de détails de même taille que celle de l'image originelle. Son avantage est de donner une reconstruction exacte de l'image en gardant la même taille que celle de l'image originelle. Cet algorithme est utilisé surtout dans la détection des contours.
- L'algorithme de S.Mallat est utilisé dans la compression des images; il utilise une base orthonormée d'ondelettes issue d'une analyse multirésolution (notion d'échelle). L'image originelle est décomposée en images de basses résolutions et des images de détails dans les trois directions principales (horizontale, verticale, diagonale). Cet algorithme a le désavantage d'utiliser les ondelettes non symétrique.

L'algorithme de S.Mallat amélioré exploite la symétrie, en utilisant des ondelettes biorthogonales symétriques.

CHAPITRE III:
LES TECHNIQUES DE TATOUAGE
D'IMAGES BASEES SUR
LES ONDELETTES

CHAPITRE III

LES TECHNIQUES DE TATOUAGE D'IMAGES BASEES SUR LES ONDELETTES

III.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.

Nous présentons maintenant deux techniques de tatouage qui appartiennent à la classe des méthodes substitutives (§chapitre I.6.1.b) basées sur l'utilisation des ondelettes dans le domaine multirésolution

III.2 TATOUAGE SUBSTITUTIF D'IMAGES INTEGRANT UN MASQUE DE PONDERATION VISUELLE [HJD]

Une première méthode de tatouage substitutif basée sur la quantification a été proposée par Swanson et al. [SZT 97]. Chen [BCH 00] 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 n vecteurs de translation (dither signals) pour définir un système à n quantificateurs qu'on utilise pour cacher n messages différents. Dans un problème équivalent à celui du tatouage aveugle, Costa [MCO 84] 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. [ESB 00] 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 λ . 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.

III.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 8×8 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. [ALK 92] dans le cadre de travaux sur la compression en ondelettes. On définit un pas de quantification q correspondant à un coefficient d'ondelettes c comme suit :

$$q(i,j,l,\theta) = \Theta(l,\theta) \Lambda(l,i,j) \Xi(l,i,j)$$

Où :

$\Theta(l,\theta)$: prend en compte la sensibilité au bruit qui varie en fonction de l'orientation θ 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. [AMF 98] dans un système de tatouage additif par étalement de spectre. Cayre et al. [FCD 01] 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 θ . On aura ainsi pour ce niveau de résolution le pas de quantification $\Delta_v(i,j)$ correspondant au coefficient d'ondelettes $c(i,j)$. Puis on multiplie ce pas par un coefficient constant \hat{a} 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 Δ_r utilisé pour la quantification

($\Delta_f = \beta * \Delta_v$).

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 traduits 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 laquelle 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 .

Le principe de quantification consiste à quantifier le document hôte en utilisant un ensemble de quantificateurs indexés par le message à transmettre. Ainsi, à chaque message est associé un quantificateur différent, et le tatouage s'effectue par quantification du document hôte avec le quantificateur correspondant au message à transmettre.

Pour implémenter la méthode **QIM** (quantification par modulation d'index) à l'aide de quantificateurs à demi-teinte, nous procédons de la manière suivante [BCH 00] :

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

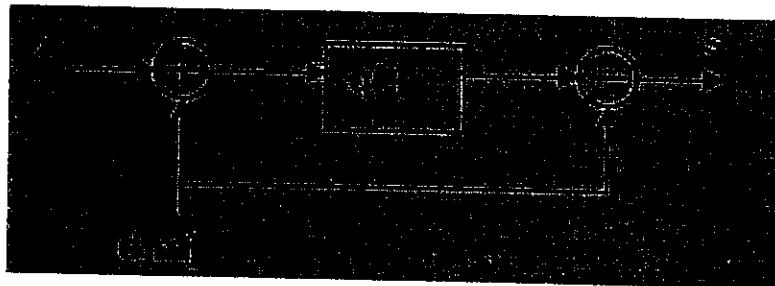


FIG.III.1: Schéma de modulation DM (insertion d'un message m dans un signal hôte x)

Ainsi, si s est le signal résultant de l'insertion d'un message m dans un signal hôte x , on aura :

$s(x; m) = q(x+d[m]) - d[m]$ Dans la figure (III.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 Δ_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 :

$$d[1] = d[0] + \Delta_f/2 \text{ si } d[0] > 0$$

$$d[1] = d[0] - \Delta_f/2 \text{ si } d[0] < 0$$



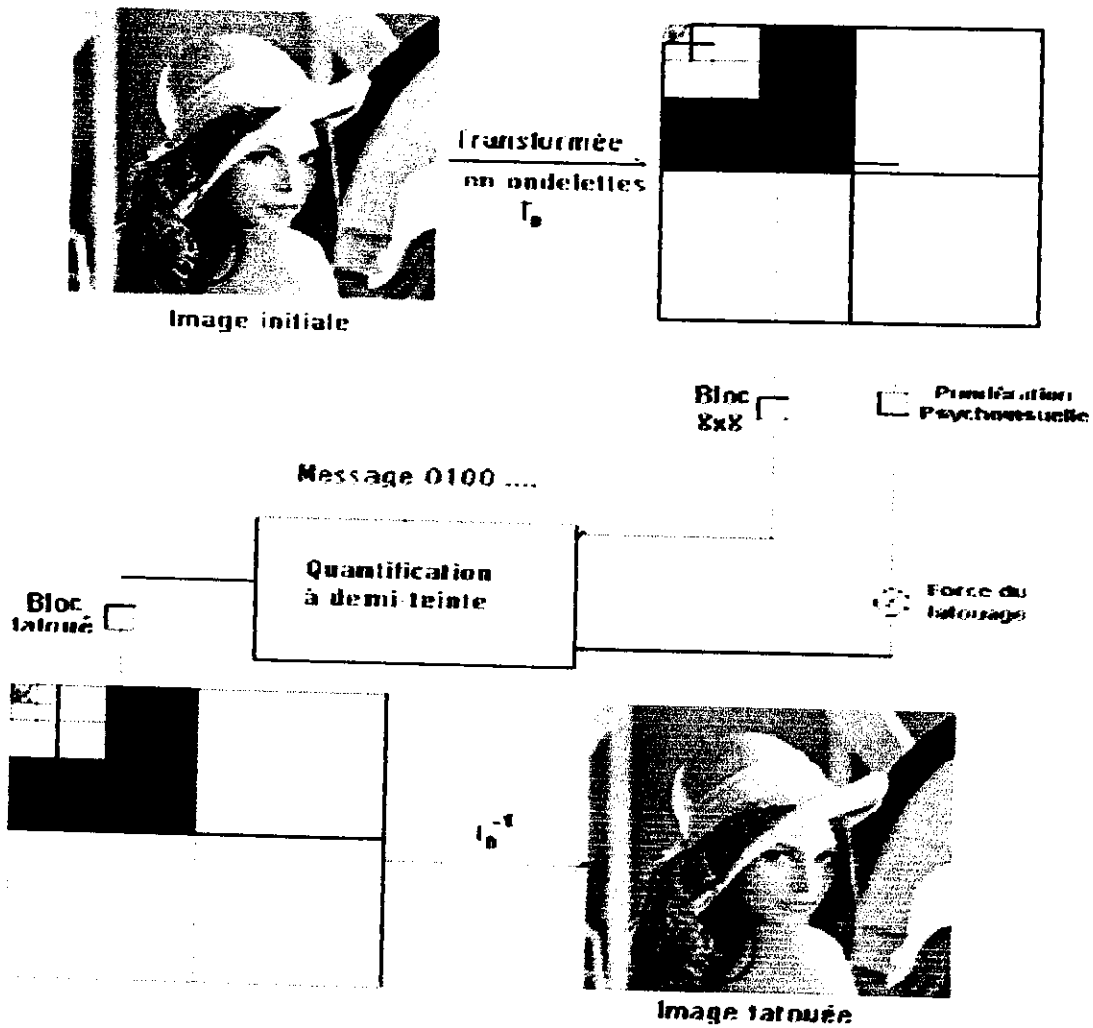


FIG.III.2 : schéma d'insertion d'un bit dans chaque bloc de 8*8 coefficients d'ondelettes

On considère un coefficient donné d'un bloc de 8*8. On le quantifie par Q_0 si le bit à insérer est 0, et on le quantifie Q_1 si le bit est 1. Nous avons proposé deux approches :

L'une quantifie tous les coefficients d'un bloc 8x8 (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 512x512.

III.2.2 Phase d'extraction et 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 :

1- On effectue une quantification de tous les coefficients de **B** à l'aide des deux quantificateurs Q_0 et Q_1 .

2- 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 $c \in M_2$

3- 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

4- 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 égal à 0 ou 1.

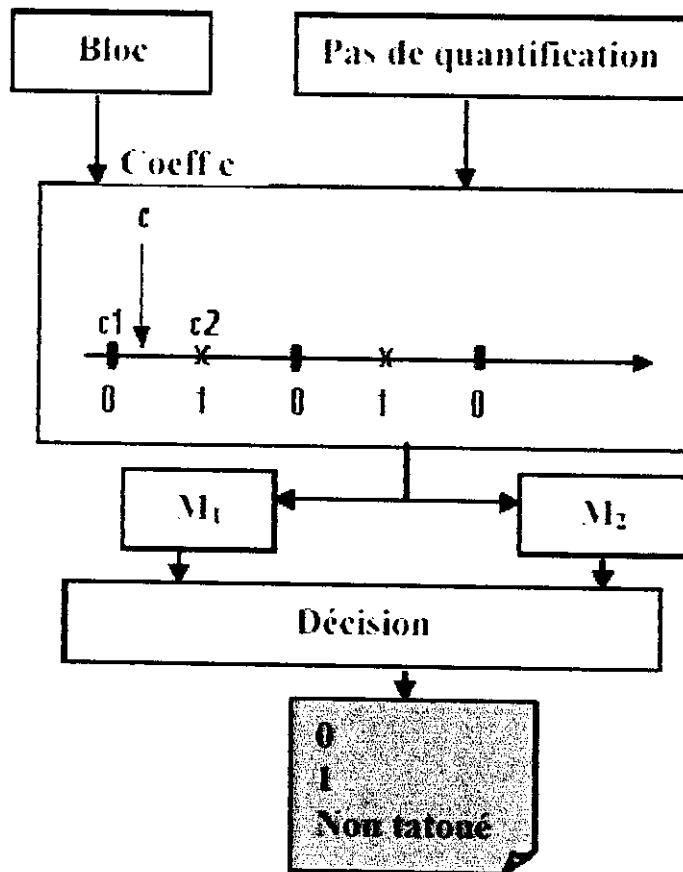


FIG.III.3: Extraction d'un bit inséré dans un bloc de 8*8 coefficient d'ondelettes.

L'application d'un masque psychovisuel sur l'image à tatouer permet de la quantifier avec des pas de quantification variables, ce masque psychovisuel sert pour améliorer les dégradations visuelles engendrées par le tatouage, il est possible d'utiliser des masques psychovisuels pour savoir où il est possible de modifier l'image sans que cela soit très perceptible. Une approche consisterait à marquer les blocs comme tatouable ou non suivant certains critères.

III.3 TATOUAGE D'IMAGE NUMERIQUE UTILISANT LA DECOMPOSITION EN ONDELETTES DANS LE DOMAINE MULTIREOLUTION [DKH 97]

Kundur et al. appliquent une méthode substitutive au domaine multirésolution. La méthode est basée sur la fusion de la marque avec les coefficients d'ondelettes de l'image originale [DKH 97].

III.3.1 ARCHITECTURE DE LA TECHNIQUE :

Dans cette technique la marque à insérer est représentée pour des raisons de simplicité par une séquence binaire de longueur N_w et elle se compose des éléments de l'ensemble $\{0, 1\}$. La marque est fusionnée avec les coefficients des ondelettes de l'image originale à l'aide d'utilisation d'une clé. Cette clé est aléatoirement générée et elle sert à sélectionner les emplacements exacts dans le domaine des ondelettes dans lequel la marque est insérée. Pour chaque coefficient d'ondelettes, la clé a une valeur correspondante (1 ou 0) pour indiquer si le coefficient doit être marqué ou pas, respectivement. Le nombre de "1" dans la clé doit être supérieur ou égal à la taille de la marque.

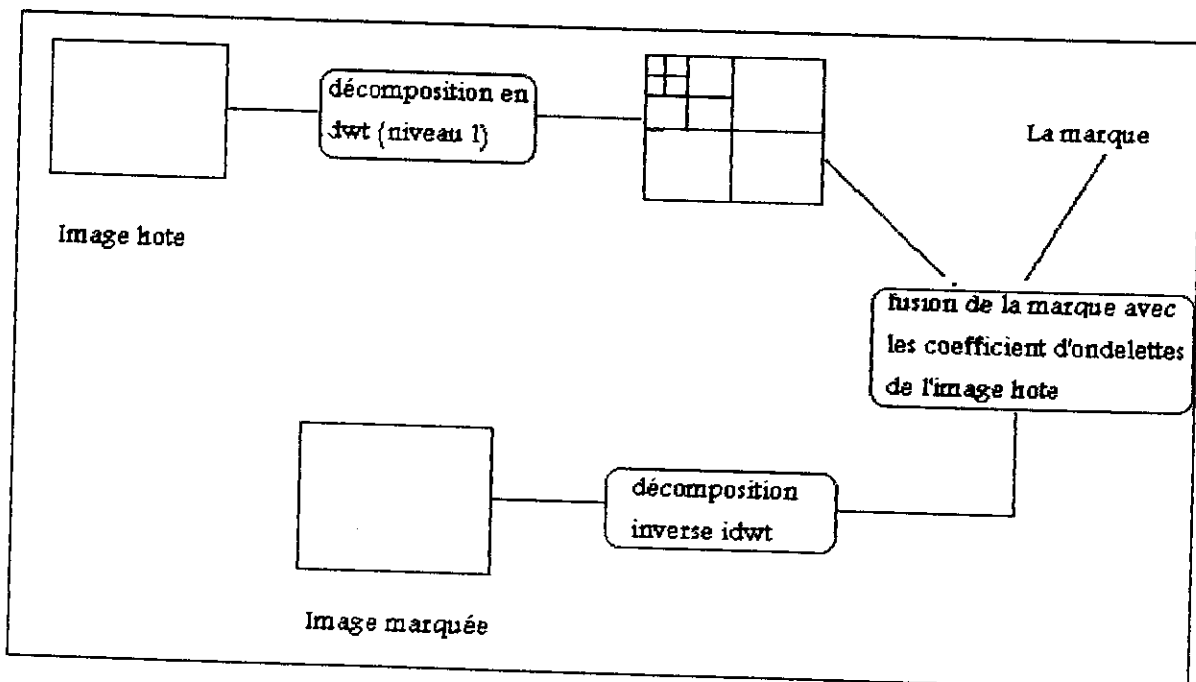


FIG.III.4 : schéma de la technique de tatouage.

Les étapes d'insertion et d'extraction de la marque sont définies comme suit :

III.2.2 Phase d'insertion :

Cette phase est composée principalement de trois parties que l'on décrit comme suit :

Partie 1 : Calculer la décomposition en ondelettes discrète de L niveau de résolution de l'image hôte pour produire un ordre de 3 niveaux de détail des images (3L), correspondant aux détails horizontaux, verticaux et diagonaux à chacun niveaux de résolution L, et à une approximation brute de l'image au niveau de résolution le plus brut. Nous dénotons K le composant de détail de l'image au L niveau de résolution par $f_{k,l}(m, n)$ où $k = h, v, d$ sont trois coefficients de détails appartenant aux trois orientations fréquentielles distinctes (horizontal, vertical, diagonal). L'approximation brute est représentée par $f_{a,l}(m, n)$.

Partie 2 : considérons chaque niveau de résolution l et chaque emplacement de coefficient (m, n) . Si la valeur associée a la clef K est 1 alors opérer comme suit; autrement ne rien faire.

1- Les coefficients de détails sont ordonnés suivant un ordre croissant (du plus petit au plus grand) de sorte que soient : $f_{k_1,l}(m, n)$, $f_{k_2,l}(m, n)$ et $f_{k_3,l}(m, n)$ des coefficients tels que :

$$f_{k_1,l}(m, n) \leq f_{k_2,l}(m, n) \leq f_{k_3,l}(m, n), \quad (\text{III.1})$$

Où : $k_1, k_2, k_3 \in \{h, v, d\}$ et k_1, k_2, k_3 sont distinctes.

2- Un bit de la marque est inséré en modifiant la valeur médiane du coefficient de détail à la résolution l et a l'emplacement (m, n) (c'est-à-dire $f_{k_2,l}(m, n)$).

Pour insérer la marque nous quantifions $f_{k_2,l}(m, n)$ comme le montre la figure (III.5). Le segment $[f_{k_1,l}(m, n), f_{k_3,l}(m, n)]$ est divisé en $2Q - 1$ segments de longueur Δ (Q représente la variable de quantification).

$$\Delta = \frac{f_{k_3,l}(m, n) - f_{k_1,l}(m, n)}{2Q - 1} \quad (\text{III.2})$$

Pour insérer un bit de la marque (de valeur soit 1 ou 0), $f_{k_2,l}(m, n)$ est quantifié a la valeur la plus proche spécifiée dans la figure (III.5) par des lignes continus où des lignes discontinus.

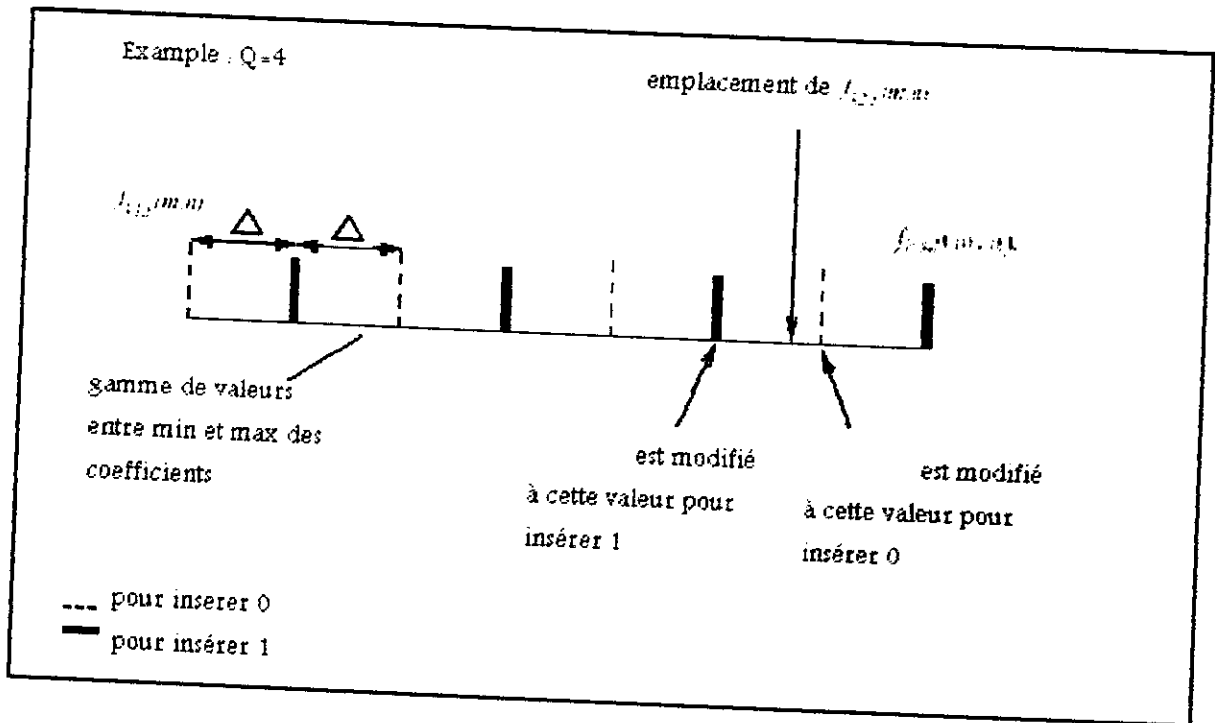


FIG.III.5 : Procédure de quantification pour le tatouage. Pour insérer une marque, la valeur de coefficient médian est quantifiée par la valeur la plus proche du ligne verticale continue (pour insérer 1) où celle d'une ligne verticale discontinus (pour insérer 0)

2-1-2 Phase d'extraction :

L'objectif du processus d'extraction de la marque est d'obtenir sûrement une évaluation du la marque originale d'une version probablement tordue de l'image marquée. Le procédé de détection exige la connaissance de filigrane $W(m, n)$ et la clef $K(m, n)$. L'image pour laquelle nous appliquons le processus d'extraction est représentée par $r(m, n)$.

La première étape consiste à appliquer une décomposition en ondelettes discrète de l'image $r(m, n)$ jusqu'au niveau de résolution l .

Soit $r_{k,l}(m, n)$ le coefficient de détail de l'image $r(m, n)$ tel que k représente l'orientation fréquentielle $k \in \{h, d, v\}$ et l le niveau de résolution. Nous nous servons alors de la clef K pour trouver les endroits dans lesquels la marque a été insérée pour chaque niveau de résolution l .

Nous extrayons la marque à partir de ces coefficients comme suit :

1- ordonner les coefficients de détails dans un ordre croissant de sorte que la relation suivante est vérifiée :

$$r_{k1,1}(m, n) \leq r_{k2,1}(m, n) \leq r_{k3,1}(m, n) \quad (\text{III.3})$$

Où : $k1, k2, k3 \in \{h, v, d\}$ et $k1, k2, k3$ sont distinctes.

2- Estimer la valeur du bit de la marque à partir de la position relative au $r_{k2,1}(m, n)$ en utilisant le même constant Q que pour l'insertion, certains bit de la marque sont déterminés en trouvant la valeur quantifiée la plus étroite de $r_{k2,1}(m, n)$ puis déterminer si cette valeur quantifiée était employée pour insérer 1 ou 0 .

3- Si la marque avait été insérée dans différents endroits plusieurs fois, alors la valeur des bits la plus commune extraite est assignée pour la marque estimé.

Si un nombre égal de 1 et de 0 était extrait, alors une conjecture aléatoire est faite à sa valeur.

Une marque donnée est détectée si la corrélation de la marque extraite avec la marque donnée est au-dessus d'un seuil pré spécifié. Plus précisément, l'état de détection de la marque est donné par :

$$p(w, \bar{w}) = \frac{\sum w(n)\bar{w}(n)}{\sqrt{\sum w^2(n)} \sqrt{\sum \bar{w}^2(n)}} \geq T \quad (\text{III.4})$$

Où W est la marque insérée, \bar{W} représente la marque extraite et T est le seuil pré spécifié.

La quantité $p(w, w')$ est appelée comme coefficient de corrélation entre la marque insérée et la marque extraite.

III.4 CONCLUSION :

Nous avons présenté dans ce chapitre un aperçu de deux techniques de tatouage d'image utilisées dans le domaine multirésolution et qui sont fondées sur la décomposition de l'image en ondelettes discrètes, la première technique exploite l'intérêt d'un masque psychovisuel et elle ne permet d'insérer que 768 bits dans une image de 512*512. En revanche, la deuxième technique a pour avantage de permettre de transmettre une marque de grand taille $((N^2-1)/3$ pour une image de taille N). Donc la deuxième technique semble donc intéressante et bien adaptée à notre problème, c'est la réalisation et l'implémentation de cette technique que nous présenterons dans la suite de ce mémoire.

CHAPTER:

REALISATION ET IMPLEMENTATION

Chapitre IV

REALISATION ET IMPLEMENTATION

IV.1 INTRODUCTION

Après avoir présenté dans les chapitres précédents les concepts théoriques de tatouage des images basées sur les ondelettes, nous présentons dans ce chapitre une technique de tatouage d'images basée sur la décomposition en ondelettes discrète (DWT) dans le domaine multiresolution.

Notre application a été réalisée en Borland c++ Builder version 6.0 sous Windows, plusieurs raisons justifient notre choix parmi les quelles nous citons :

- Le langage C++ permet la réalisation d'applications professionnelles.
- Le traitement d'images en générale nécessite un langage qui permet de travailler à bas niveau avec la machine.

IV.2 DESCRIPTION DE LA METHODE

La recherche sur la perception humaine indique que la rétine de l'œil coupe une image en plusieurs canaux chacun enjambant une largeur de bande d'approximativement une octave, les signaux dans ces canaux sont traités indépendamment, de même, dans une décomposition multiresolution, l'image est séparée dans des bandes de largeurs approximativement égaux sur une échelle logarithmique. On s'attend donc à l'utilisation de la transformée en ondelettes sans interaction perceptible significative entre eux, et par conséquent rend le processus d'imperceptibilité de la marque plus efficace.

C'est pour cette raison que la décomposition en ondelettes est généralement employée pour la fusion de la marque avec les coefficients d'ondelettes de l'image.

Les différentes étapes de la méthode se résument comme suit :

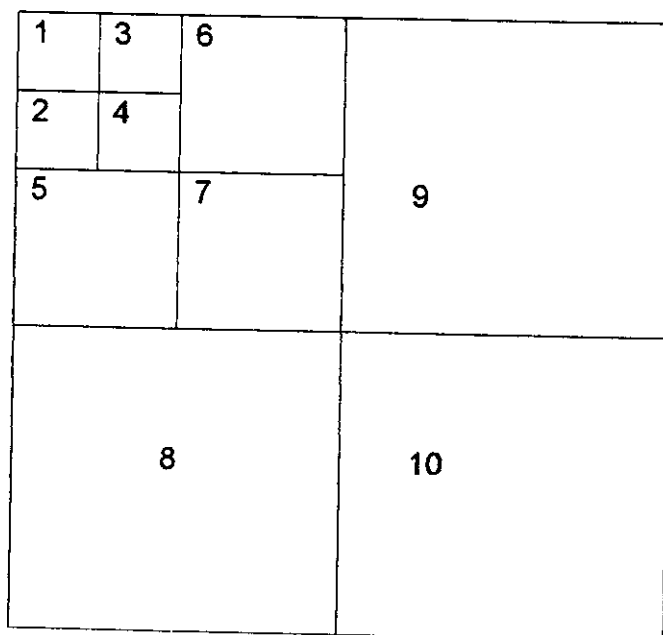


Fig .IV.1 : Décomposition en ondelettes à trois niveaux .

La transformée en ondelettes de l'image originale est calculée jusqu'à un niveau 3 ($L= 1, 2, 3$) tel q'on obtient 10 bandes de fréquences, comme indiqué dans la figure (Fig.IV.1):

La bande 1 est la représentation de l'image d'origine en basse résolution tandis que les six autres bandes représentent les hautes fréquences de l'image (les détails de l'image dans les trois directions Horizontale :H, vertical : V,diagonal : D).

- A chaque résolution J (niveau de la décomposition en ondelettes) , on choisit aléatoirement (avec la clef K) trois coefficients de détails appartenant a trois orientations fréquentielles distinctes (horizontales , verticales et diagonales) . Ces coefficients sont d'abord classés et ordonnés selon leur valeur (par ordre croissant): $c^1 \leq c^2 \leq c^3$ puis le coefficient « médian » est modifié. Les modifications se font par quantification. On divise le segment $[c_1, c_3]$ en $2Q-1$ segments de longueur Δ (Q est la force de tatouage).

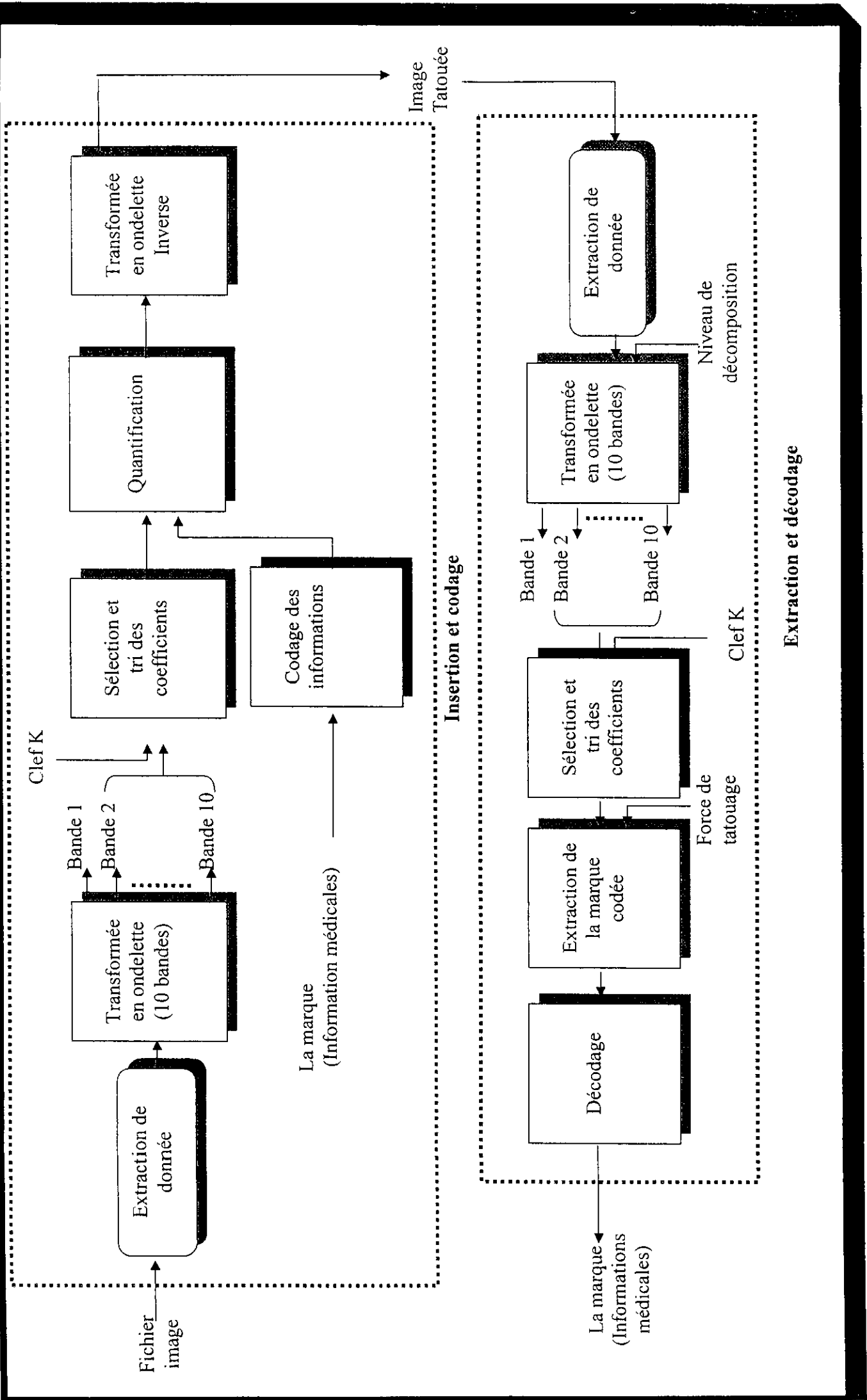


Fig.IV.2 : Architecture générale de « TIMO »

La détection s'effectue en regardant la position de la valeur moyenne du triplet (c^2) par rapport aux deux autres, cette position nous donne une estimation du bit inséré.

IV.3 ARCHITECTURE GENERALE DU LOGICIEL

L'architecture du logiciel de tatouage développé et baptisé **TIMO** (Tatouage d'Image Médicales basé sur les Ondelettes), est illustrée par la figure (Fig.IV.2) :

IV.3.1 EXTRACTION DES DONNEES

Sous l'environnement **Windows**, les images utilisées sont des images d'extension **bmp** correspondant au format **bitmap**. Le langage de programmation utilisé (**Borland C++Builder**) permet la manipulation des fichiers **bitmap** avec une grande souplesse, car il permet l'accès direct aux valeurs des niveau de gris de l'image. Les valeurs des niveaux de gris sont chargées dans une table à 2 dimensions **Tab_Pixels** de même taille que l'image en entrée.

IV.3.2 TRANSFORMEE EN ONDELLETES

Après extraction des données, la matrice **Tab_pixels (image d'origine)** subira une transformation en ondelettes à deux niveaux grâce au module « transformée en ondelettes ».

Appliquée une fois sur l'image entière et une deuxième fois sur la basse résolution du 1^{er} niveau de décomposition, telqu'on obtient sept bandes de fréquences.

(Fig. IV.3)

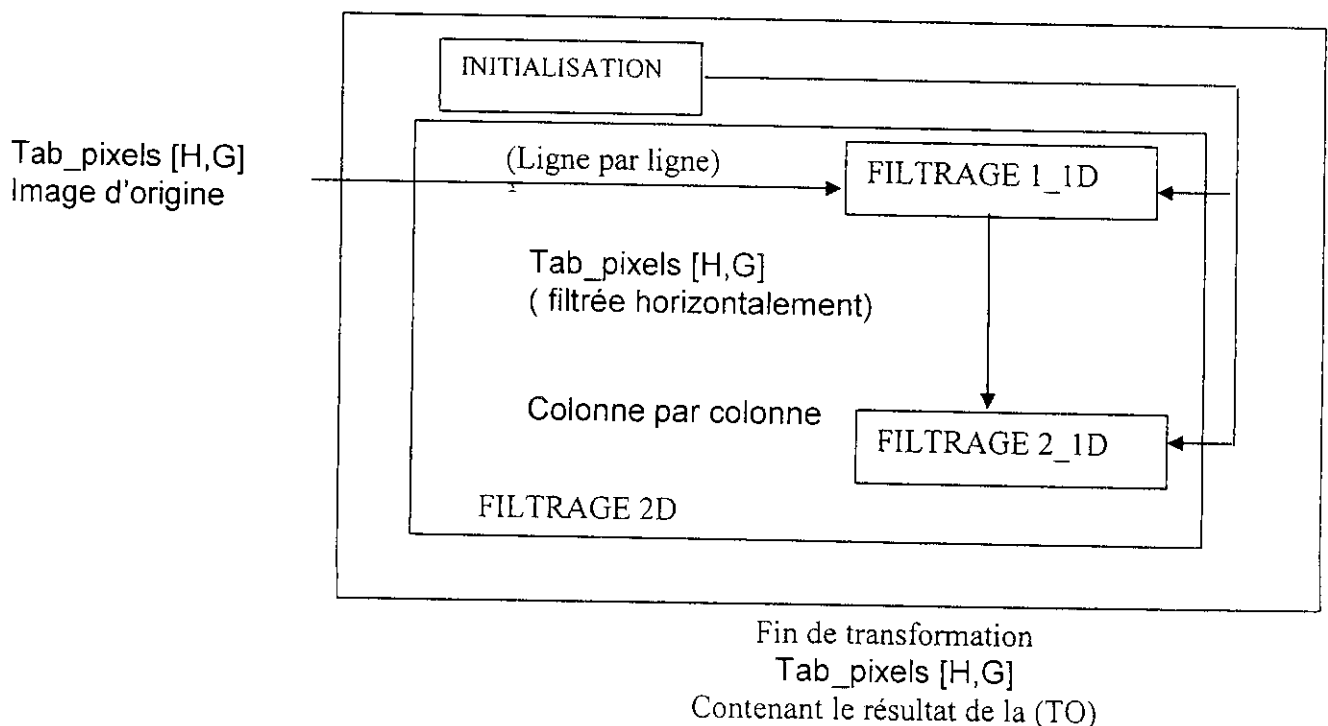


Fig .IV.3 : le module Transformée en ondelettes (TO).

IV.3.2.1 INITIALISATION

Le choix du type de filtre d'ondelettes est très important pour une bonne décomposition et restitution de l'image, est ainsi notre transformation en ondelettes est effectuée par le filtre de DAUBECHIES.

1. le type du filtre (exprimant le type d'ondelettes).
 - Filtres DAUBECHIES.....Daub.

2. la longueur du filtre nc :

Correspond au nombre d'éléments constituant le filtre. La longueur du filtre (nc) à une relation directe avec le nombre de moments nuls (N) de l'ondelettes : $nc = 2*N$.

Exemple : daub10 représente le filtre de Daubechies à 20 éléments ($nc = 12$) correspondant à l'ondelettes de daubechies avec 10 moments nuls.

3. niveau de décomposition N : représente le nombre de niveau de décomposition en ondelettes.

En sortie de ce module d'initialisation, nous obtenons deux filtres H et G qui contiendront respectivement les nc coefficient du filtre passe haut et passe définis dans le chapitre II.

IV.3.2.2 FILTRAGE 2D

Le filtrage 2D utilise à une dimension (H : filtre passe ; G : filtre passe haut)

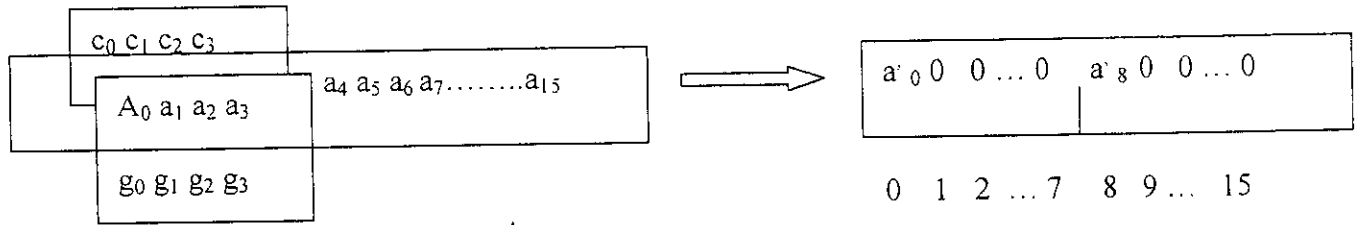
a) principe

Le module TO est réalisé par un filtrage à deux dimensions basé sur l'algorithme de S.Mallat spécifique au cas bidimensionnel (§II.4.2). Le filtrage 2D est réalisé à partir de deux opérations de filtrage à une dimension appliquée successivement sur une image (sur les lignes ensuite sur les colonnes). L'Algorithme de S.Mallat nous conduit à appliquer 12 fois le filtrage à une dimension, pour obtenir une décomposition en ondelettes de l'image. Il engendre ainsi un coût élevé en termes de temps et d'espaces. Afin d'améliorer le temps de décomposition et réduire l'espace mémoire utilisé, nous avons proposé l'algorithme (Filtrage1-1D) présenté dans le paragraphe suivant.

b) Filtrage_1D

Ce module à comme entrée par ordre croissant de $i=1...N$, les lignes de l'image d'origine contenues dans *Tab_Pixel*. Ces lignes sont chargées dans le vecteur *VECT* puis filtrées.

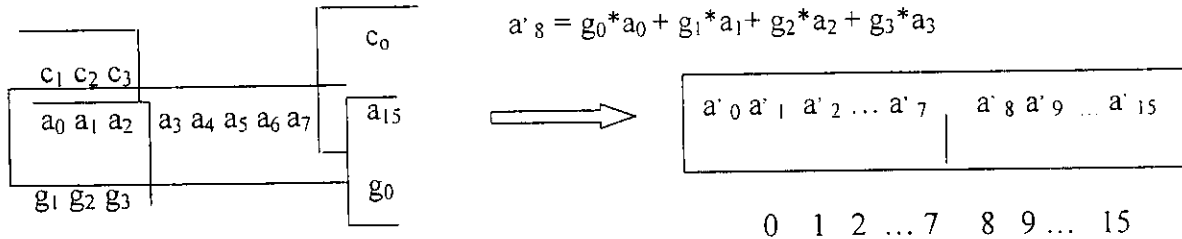
La convolution de l'image par H et G est suivie d'une opération de décimation appliquée suivant les colonnes (pour ne garder qu'une colonne sur deux).



Avec :

$$a'_0 = c_0 * a_0 + c_1 * a_1 + c_2 * a_2 + c_3 * a_3$$

$$a'_8 = g_0 * a_0 + g_1 * a_1 + g_2 * a_2 + g_3 * a_3$$

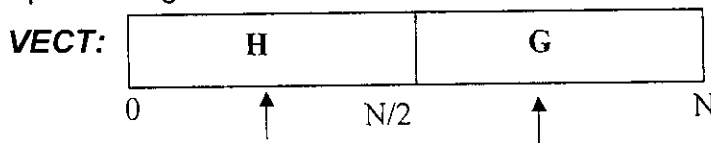


Avec :

$$a'_7 = c_0 * a_{15} + c_1 * a_1 + c_2 * a_1 + c_3 * a_2$$

$$a'_{15} = g_0 * a_{15} + g_1 * a_0 + g_2 * a_1 + g_3 * a_2$$

Après filtrage :



Algorithme " Filtrage1-1D "

variables utilisées : vect, vect ; deux vecteur à 1D et de N composantes.
(N = la taille d'une ligne) ; nc : taille du filtre.

Début

- 1- j = 0
- 2- charger une ligne i, à partir de Tab_Pixel vers le vecteur vect.
- 3- **Tant que** j < N **faire**
 - Pour** K allant de 0 à nc-1 **faire**
 - vect1[t] ← vect1[t] + vect1[(j+K)modN] * c_K
 - vect1[t+N/2] ← vect1[t+N/2] + vect1[(j+K)modN] * g_K
 - F pour**
 - j⁺ = 2 ; t⁺⁺
- 4- **FTq** Recharger vect1 dans la ligne i
- 5- **Incrementer** i.
- 6- **Si** i < N **alors** aller à 1

Fin

La sortie de ce module engendre la table de pixels représentée ci-dessous (Fig IV.4):

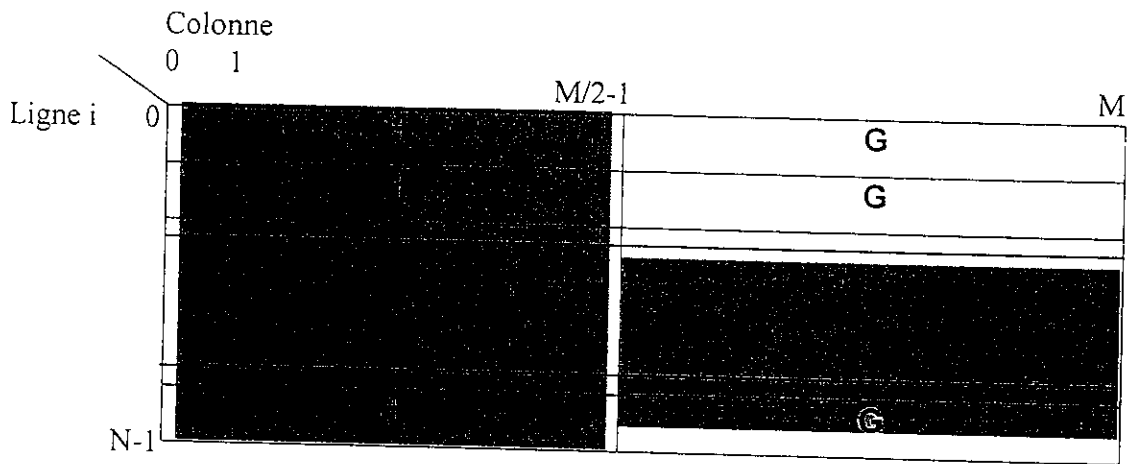


Fig IV.4 : l'image après opération de **Filtrage1_1D**

c) **Filtrage2_1D**

Ce module a comme entrée, par ordre croissant de $j : 1..M$, les colonnes de l'image filtrée horizontalement contenues dans **Tab-Pixel**. Ces colonnes seront chargées une à une dans un vecteur et filtrées selon l'algorithme **Filtrage1_1D**. **Tab_Pixel** contiendra alors le résultat suivant :

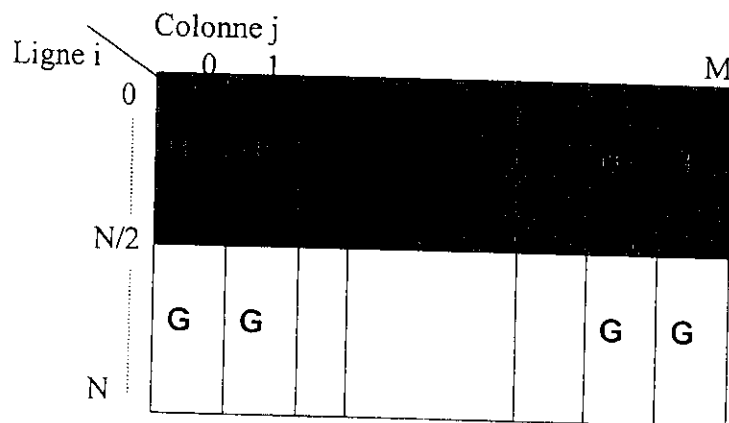


Fig.IV.5 : l'image après opération de **Filtrage2_1D**

La figure (Fig.IV.6) illustre les quatre sous images de résolution j , ainsi que leur emplacement dans **Tab_Pixel**, obtenus à l'issue du module **Filtrage_2D**.

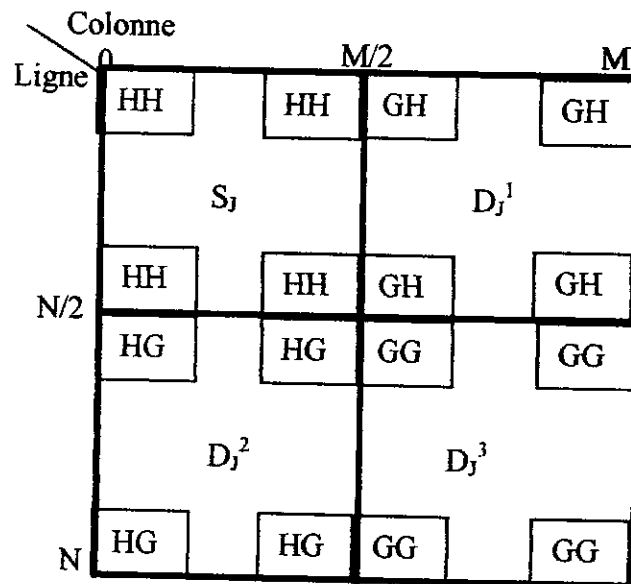


Fig.IV.6 : Tab_Pixel à la sortie du module **Filtrage_2D**

Remarque

Les notations '**HH**', '**HG**',etc, correspondant à 'Filtre1 Filtre2' ou 'Filtre1' désigne l'opération de filtrage selon les lignes et 'filtre2' désigne l'opération de filtrage selon les colonnes.

IV.3.3 TRANSFORMÉE EN ONDELETTES INVERSE

Cette étape représente l'opération inverse de la transformée en ondelettes, à partir de la matrice **TAB_PIXEL** contenant l'image transformée (selon Fig.IV.6) la transformée en ondelettes inverse a pour but de reconstituer l'image d'origine à partir des sous images détails D_j ainsi que l'image de basse résolution S_j . Les étapes de cette reconstruction sont celles schématisées par la figure (Fig.IV.3) en remplaçant les modules **FILTRAGE 1_1D** et **FILTRAGE 2_1D** par les modules **FILTRAGE 3_1D** et **FILTRAGE 4_1D**.

Dans la phase de la reconstruction, le filtre appliqué est H^{-1} et G^{-1} qui ne sont autres que les filtres inverses des filtres H et G utilisées lors de l'opération de décomposition.

IV.3.3.1 PRINCIPE DE RECONSTRUCTION

Le traitement se fait par convolution des quatre sous images avec les deux filtres H^{-1} et G^{-1} . Chaque sous image subira alors, deux fois le filtrage à une dimension : une fois selon les lignes **FILTRAGE 3_1D** et une seconde fois selon les colonnes **FILTRAGE 4_1D**.

Le principe de base est donc le suivant :

- faire une interpolation des lignes des sous images résultats en ajoutant des zéros entre chaque colonne pour obtenir des lignes de M composantes.
- filtrer ces lignes : une fois par H^{-1} et une deuxième fois par G^{-1}
- faire une interpolation des colonnes de $N/2$ composantes, filtrées déjà selon les lignes ajoutant des zéros entre chaque colonne pour obtenir des colonnes de N composantes.
- Filtrer ces colonnes : une fois par H^{-1} et une deuxième fois par G^{-1} .

On obtiendra alors quatre images chacune de taille $N \times M$ dont on doit faire la somme pour avoir l'image d'origine.

a) Filtrage3_1D

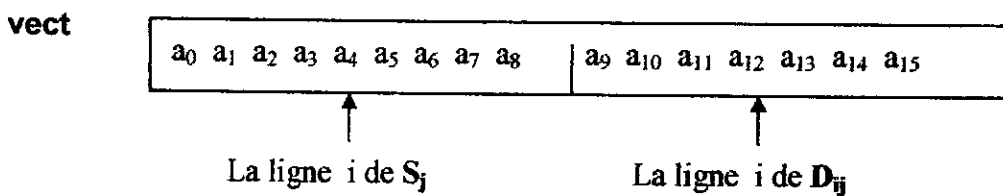
Ce module a en entrée, par ordre croissant de $i : 0..M-1$, les lignes de **Tab-Pixel** où chaque colonne(selon Fig.V.6) contient une colonne de S_j et une colonne D_j^2 (s'il s'agit des $M/2$ premières lignes de **Tab_Pixel**) ou une colonne de D_j^1 et une colonne D_j^3 (s'il s'agit des $M/2$ dernières lignes de **Tab_Pixel**) .

Soient les deux filtres :

Passé bas $H^{-1} : c_3 \ -c_2 \ c_1 \ -c_0$

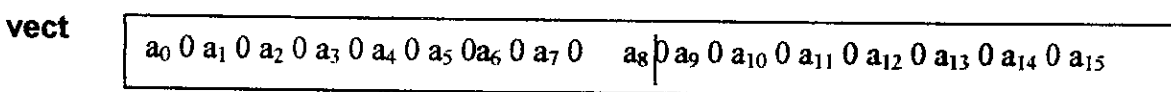
Pas haut $G^{-1} : g_3 \ -g_2 \ g_1 \ -g_0$

vect : la colonne i de **Tab_Pixel**

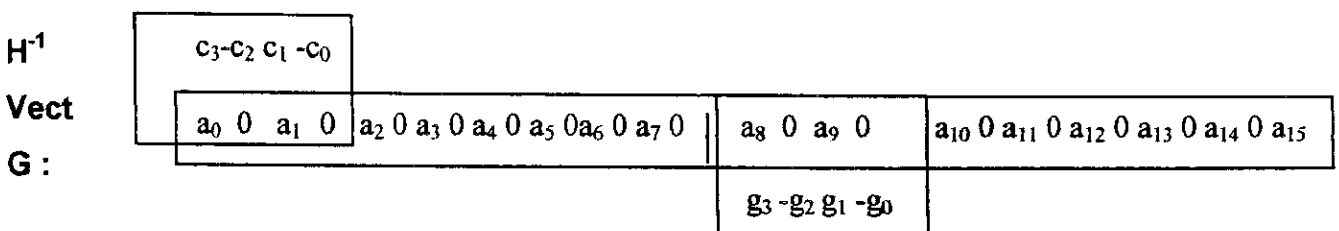


le principe set de convoluer les deux moitiés de vect par H^{-1} et par G^{-1} , puis additionner les résultats des deux convolutions.

Après interpolation



Après interpolation et calcul des deux premiers coefficient:



Résultat

Vect :

	a_0	a_1	0	.....	0	0
	0	1	2		14	15

avec $a'_0 = c_3 * a_0 + c_1 * a_1 + g_3 * a_8 + g_1 * a_9$

$a'_1 = c_2 * a_1 + c_0 * a_2 + g_2 * a_9 + g_0 * a_{10}$

calcul des deux dernières nouvelles valeurs

H^{-1} :

	$c_1 - c_2$						$c_1 - c_2$									
vect	a_0 0	a_1 0	.....	0	a_6 0	a_7 0	a_8 0	a_9 0	.....	a_{13} 0	a_{14} 0	a_{15} 0				
G^{-1} :							$g_1 - g_0$						$g_1 - g_2$			

Resultat :

Vect

	a_0	a_1	0	.....	a_{14}	a_{15}
	0	1	2		14	15

avec $a'_{14} = c_3 * a_7 + c_1 * a_0 + g_3 * a_{15} + g_1 * a_8$

$a'_{15} = -c_2 * a_0 - c_0 * a_1 - g_2 * a_8 - g_0 * a_9$

Algorithme "Filtrage3_1D"

Variables utilisées: vect, vect1 : deux vecteurs de 1D et de M composantes.
(M = la taille d'une colonne); nc : taille du filter.

Début

- ii = i1 = 0.
- n1 = M-1.
- nh = M/2.
- nm = nc * M
- ic = jc = - (nc >> 1).
- 1- charger une colonne i, à partir de *Tab_Pixel* vzrs le vecteur *vect*.
- 2- **Tant que** i1 < M **faire**
 - ai = *vect* [ii].
 - ai1 = *vect* [ii+nh].
 - ni = i1+nm+ic.
 - nj = i1+ nm+jc.
 - Pour** k allant de 0 à (nc) **faire**
 - jf=(n1 & (nj+k+nc/2)).
 - jr=(n1 & (nj+k+nc/2)).
 - *vect1*[jf] ← *vect* [jf] + ai * C_k.
 - *vect1*[jr] ← *vect* [jr] + ai1 * g_k.
 - Fpour**
 - i1+=2.
 - ii++.
- FTq**
- 3- charger *vect1* dans la colonne i.
- 4- Incrementer i
- 5- **Si** i < M **alors** aller à 1.

Fin

b) Filtrage4_1D

Ce module a comme entrée, par ordre croissant de j: 1.....N, les lignes de *Tab_Pixel* filtrées verticalement par le module précédent. Ces lignes seront dans un vecteur et filtrées selon l'algorithme **Filtrage3_1D** ci-dessus. Le traitement consiste à faire une interpolation puis un filtrage horizontal selon les lignes. *Tab_Pixel* contiendra enfin l'image reconstruite.

V.3.4 SELECTION ET TRI DES COEFFICIENTS

Après avoir sélectionné les coefficients d'ondelettes par la génération aléatoire de la clé K, l'opération de tri s'effectue par ordre croissant, en comparant les valeurs du trois coefficient de détails d'une même position (m, n) et qui appartenant aux trois orientations fréquentielles distinctes(horizontal, vertical, diagonal).

Lors de cette opération le résultat est rangé dans un tableau Tab_Tri qui contient les trois valeurs des coefficients :

Tab_Tri [0] : c'est la valeur minimale des trois coefficients.

Tab_Tri [1] : c'est la valeur moyenne des trois coefficients.

Tab_Tri [2] : c'est la valeur maximale des trois coefficients.

Algorithme de génération de la clef de sélection

Définition des variables :

I niveau de résolution des coefficients DNT

L niveau de décomposition maximale

K clé de sélection de coefficient

début

J:=0

Pour I allant de 1 à L

pour (m,n) allant de (1, 1) à ($N_{Fx}(I)$, $N_{Fy}(I)$)

J ← j+1

$K_s(j)$ ← $\text{rand}_{\text{seed}}^B(0,1)$

Epour

Fpour

FIN

Algorithme "Selection coef"**Variables utilisées:** nouv_mat : matrice

Long_mess : entier qui représente la taille des messages

h: hauteur de l'image

l: largeur de l'image

rond: un réel qui représente la valeurs retourné par la fonction

 $\text{rand}_{\text{seed}}^B(0,1)$ **Initialisation :** taille =0; B= (long_mess /h * l)*100**Début :****Tanque** (taille < long_mess) **faire****Pour** m allant de 0 à h **faire****Pour** n allant de 0 à l **faire****Si** (nouv_mat [m][n].det # 'b') **alors**Rand ← $\text{rand}_{\text{seed}}^B(0,1)$ **Si** ((rand ← B/100) ^ (nouv_mat [m][n].Q_coef=0)) **alors**Nouv_mat [m][n].Q_coef ← 1 "d'un coefficient selection dont
" la position est (m,n) et le
"le niveau ∈ {n,v,d}Nouv_mat [m][n].Q_coef ← 2 "les 2 autres coefficient qui
"appartient aux même niveau
"de décomposition et aux
"même position 'm,n) du
"Coefficient sélectionné à
" Posteriori**FSi****FSi****FTQ****FIN****IV.3.5 CODAGE DES INFORMATIONS**

Dans notre application, le codage consiste à convertir les informations médicales entrées par l'utilisateur en binaire. Ces informations peuvent être des chaînes de caractères (nom du patient, prénom, profession...) ou de type numérique (date de naissance du patient, date d'acquisition de l'image).

Pour coder les caractères alphabétiques nous avons utilisé un codage à 7 bits, chaque caractère est codé sur 7 bits et ainsi ce codage va nous permettre de coder 2^7 caractères.

Nous choisissons comme convention que chaque lettre majuscule ou minuscule de l'alphabet est codée par son numéro d'ordre (A et a sont codés par 1; B et b sont codés par 2, etc.)

Nous pouvons établir un ordre comme suit :

A Ξ a = 0000001 = 1.

B Ξ b = 0000010 = 2.

C Ξ c = 0000011 = 3.

D Ξ d = 0000100 = 4.

E Ξ e = 0000101 = 5.

F Ξ f = 0000110 = 6.

G Ξ g = 0000111 = 7.

H Ξ h = 0001000 = 8.

I Ξ i = 0001001 = 9.

J Ξ j = 0001010 = 10.

K Ξ k = 0001011 = 11.

L Ξ l = 0001100 = 12.

.

.

.

Z Ξ z = 0011010 = 26.

Le codage sera effectué par la fonction « *conversion ()* » qui reçoit en entrée un caractère alphabétique et nous donne en sortie son code approprié en binaire comme illustré en dessus.

La date de naissance du patient et la date d'acquisition de l'image sont codées sur 19 bits de la manière suivante :

Format date : jj / mm / aaaa

On s'accorde à reconnaître que les deux premiers chiffres concernant le numéro de jour, les deux suivants celui du mois et les quatre derniers ceux de l'année.

Le nombre de jours (de 1 jusqu'à 31) est codé sur 5bits ($2^5 = 32$)

Le nombre du mois (de 1 jusqu'à 12) est codé sur 4bits ($2^4 = 16$)

Le nombre d'années (de 1900 jusqu'à 2923) est codé sur 10bits ($2^{10} = 1024$)

Conversion des valeurs décimales :

Nous avons utilisé pour la conversion des valeurs numériques décimales (nombres du jour, nombre de mois et le nombre d'année) ; la fonction de conversion *IntToBin()* qui reçoit comme paramètre d'entrée une valeur entière et retourne en sortie sa valeur binaire sur 32bits (dans notre cas on utilise seulement les premiers 19 bits).

Remarque :

On peut remarquer qu'il nous reste deux bits non utilisés (les deux derniers bits du poids fort), nous avons exploité le dernier bit comme un délimiteur pour marquer la fin de chaque information codée (pour distinguer et séparer chaque information d'une autre).

Le tableau ci-dessous nous montre le nombre total de bits utilisés pour transmettre les informations médicales.

Informations du patient	Nbre maximale de caractères	Nombre de bits
Nom	20	$7 \times 20 = 140$ bits
Prénom	15	$7 \times 15 = 105$ bits
Date naissance		19 bits
Sexe		1 bit
profession	15	$7 \times 15 = 105$ bits
Information Médecin		
Nom	20	$7 \times 20 = 140$ bits
Prénom	15	$7 \times 15 = 105$ bits
Informations image		
Date d'acquisition		19 bits
Type	15	$7 \times 15 = 105$ bits
Diagnostic	50	$7 \times 50 = 350$ bits
Nombre total de bits		1089 bits

Tab.V.1: Informations médicales à transmettre

Le résultat de l'opération de codage est une séquence binaire de taille maximale égale à 1089bits, qui représente le message codé qui va être inséré dans une image quelconque, et qui sera ensuite enregistré dans le fichier texte "message_code.txt"

IV.3.6 QUANTIFICATION :

INTRODUCTION [EIN 03]

Le principe général de la quantification consiste à remplacer un phénomène physique (par exemple une image ou un son) par un autre, de même nature, mais représenté par une mesure différente.

L'exemple de base est le passage du continu au discret : on passe d'un système où les événements sont non dénombrables, sur un alphabet fini constitué de mots de longueurs infinies (l'espace des réels \mathbb{R}), à un phénomène à événements sur alphabets de taille finie (en général) constitué de mots de longueurs finies (les entiers \mathbb{N}_n , un code binaires sur n bits ...). Pour chacun de ces phénomènes, une grandeur est mesurée par un mot sur l'alphabet considéré.

Sous cet angle, toute quantification peut être vue comme une traduction induisant une perte d'information mais pouvant également produire une certaine quantité d'informations qui n'existait pas dans le signal original. Une bonne quantification est un processus qui minimise à la fois les pertes et les créations d'informations.

On distingue généralement deux types de quantification selon la forme du signal. Si un signal est monodimensionnel on parle de quantification scalaire. Si un signal est multidimensionnel on parle de quantification vectorielle. Bien qu'un signal 1D ne soit qu'un cas particulier de signal multidimensionnel, les méthodes de traitement étant considérablement plus simples, des algorithmes spécifiques existent pour la quantification scalaire, certains se généralisent au cas vectoriel, d'autres pas.

Remarque :

Si une image est a priori un signal 2D, on peut la considérer comme 1D dès que l'on travaille à partir d'un balayage ligne/colonne ce qui est le cas dans notre approche. De même, si on travaille avec des blocs de $n \times n$ pixels, l'image devient un signal de dimension n^2 .

PRINCIPE ET DEFINITION [EIN 03]

Par définition, un quantificateur scalaire est une application surjective Q sur un espace vectoriel ε , de dimension 1, muni d'une distance δ , d'une relation d'équivalence \mathfrak{R} qui, à tout élément (scalaire) x de ε associe un représentant particulier (scalaire) y de sa classe d'équivalence \tilde{x} .

On peut alors définir un quantificateur de compression comme une paire de encodeur /codeur. Pour une application numérique, le nombre de classes d'équivalence est nécessairement fini. Le codeur a pour rôle la définition des intervalles de quantification ($[b_i , b_{i+1}[$) $_{0 \leq i < n}$ (nombre, et frontières de décision des classes d'équivalence) et le décodeur a pour rôle le choix des valeurs de reconstruction y_i sur ces intervalles (représentant des classes).

Dans l'étape de notre cas, nous avons utilisé un quantificateur uniforme et le type le plus simple de quantificateurs scalaire, Quelques choix préalables, plus ou moins

arbitraires, doivent être faits. Il faut en particulier fixer le nombre n de valeurs de reconstruction et les bornes extrêmes $[-X_{\max}, +X_{\max}]$ de la zone utile; cela revient à supposer qu'au-delà de ces valeurs, dans les intervalles extrêmes, les événements seront rares. Alors, tous les intervalles de reconstruction $[b_i, b_{i+1}[$ ont la même taille Δ . Les valeurs de reconstruction y_i sont espacées régulièrement avec la même distance Δ que les frontières de décision.

Algorithme "d'initialisation de la matrice des coefficients"

```

Struct coef_ond
{
    Coef : un reel qui représente la valeur du coefficient d'ondelettes
    Niv_dec : un entier qui représente le niveau de décomposition auquel
             appartient le coefficient .
    det : représente l'orientation fréquentielle (h: horizontal, v: vertical, d: diagonal)
         de chaque coefficient
        Le niveau de détail  $det \in \{h,v,d\}$ 
    Q_coef: un entier qui précise si le coefficient est sélectionné où non, il prend
            trois valeurs possible:
                '0' : coefficient non sélectionné
                '1' : coefficient sélectionné
                '2' : coefficient déjà sélectionné
    Position : de type structure 'point'
}
Struct point
{
    X: entier qui représente la position sur les lignes
    Y: entier qui représente la position sur les colonnes
}
Struct quantif
{
    min : réel
    max: réel
}

```

Algorithme : "quantification":**Variables utilisées** : max_coef, min_coef, middle_coef: reel;Le pas de quantification Δ ;

Q: est la force de Tatonage;

Q_Tab: tableau de dimension 1 et de taille dim

Coef: représente le rang de la valeur à quantifie dans le tableau Q_Tab

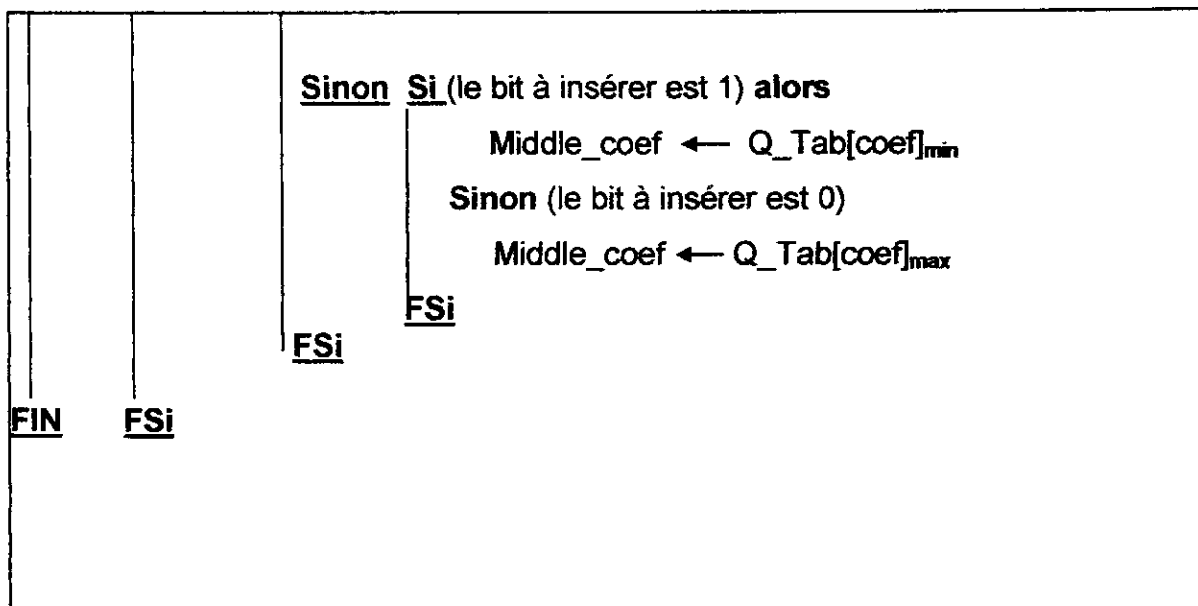
Début

1- initialiser les variables max_coef, min_coef, middle_coef par les 3 valeurs du tableau Tab_tri

2- $\Delta \leftarrow (\text{max_coef} - \text{min_coef}) / 2 * Q - 1$
Dim $\leftarrow (\text{max_coef} - \text{min_coef}) / \text{pas}$

3- initialiser le tableau Q_Tab:

Q_Tab [0]_{MIN} \leftarrow min_coef;Q_Tab [1]_{Max} \leftarrow max_coef;4- **pour** i allant de 1 à dim faire Q_Tab [i]_{MIN} \leftarrow Q_Tab [i-1]_{Max}; Q_Tab [i]_{Max} \leftarrow Q_Tab [i-1] + Δ ;**f.pour**5- coef \leftarrow (middle_coef - min_coef) / pas6- **Si** (coef < 0) alors coef \leftarrow (-1).coef7- **Sinon Si** (coef.mod 2 \neq 0) alors**Si** (bit à insérer est 1) alorsMiddle_coef \leftarrow Q_Tab [coef]_{max} "le coefficient moyen
"reçoit la valeur
"maximale du
"tableau Q_Tab**Sinon** (bit à insérer est un 0) alorsMiddle_coef \leftarrow Q_Tab [coef]_{min} "le coefficient
"moyen (middle_coef)
" reçoit la valeur
" minimale du tableau
"Q_Tab**FSi**



L'idée générale de l'algorithme de quantification proposé ci-dessus, est d'implémenter le processus de quantification comme défini dans la présentation de notre technique dans le "chapitre III.2". Le schéma de quantification présenté dans notre technique est représenté par un tableau "Q_tab" de type "quantif" et de taille "dim", chaque valeur de tableau représente les valeurs minimales et maximales de quantification, ainsi la valeur $(middle_coef - min_coef / pas)$ après conversion en entier représente l'indice des valeurs de quantification du coefficient moyen dans le tableau "Q_tab". Notre algorithme est implémenté par la fonction "quantification ()".

Note : La force de tatouage, le niveau de décomposition, le type d'ondelettes utilisé, la taille du message codé et la clé de sélection des coefficients (représenté par les coordonnées (x, y) de chaque coefficient sélectionné) constituent les paramètres de tatouage et qui sont considérés comme une clef secrète seul le propriétaire de cette clef peut s'en servir pour extraire le message. Ces paramètres sont enregistrés dans un fichier appelé "param_marquage" et qui va être envoyé avec l'image tatouée.

IV.3.6 EXTRACTION DES BITS :

Ce module sert essentiellement à extraire les informations insérées dans l'image, ce module est précédé d'une série d'opérations appliquées à l'image tatouée que l'on décrit comme suit :

- Extraire des données à partir de l'image tatouée.
- Appliquer la transformée en ondelettes à trois niveaux à l'image.
- Sélection et tri des coefficients.

L'extraction des bits consiste à estimer chaque valeur de bit inséré (marque), puis déterminer si cette valeur quantifiée était employée pour insérer 0 ou 1.

Algorithme 'Extraction des bits'

Variables utilisées : max_coef; min_coef; middle_coef;

Q: entier définissant le pas de quantification;

Tab_coef : tableau de dimension 1 et de taille (dim)

ok : booléen ; double mid, c_tab

Initialisation:

- 1- initialiser les 3 variables max_coef, min_coef et middle_coef par les valeurs du tableau Tab_tri
 Max_coef ← tab[2]
 Min_coef ← tab[0]
 Middle_coef ← tab[1]
- 2- pas ← $\frac{\text{max_coef} - \text{min_coef}}{2Q-1}$
- 3- dim ← $\frac{\text{max_coef} - \text{min_coef}}{\text{pas}}$
- 4- Tab_coef[0] ← min_coef
- 5- ok ← 0

Début

Pour i allant de 1 à dim faire

Tab_coef[i] ← tab_coef[0] + i * pas;

Ppour

Tantque (ok==0 et in<dim+1) faire

c_tab ← tab_coef[in].

compr ← $(-1)^{\text{in}}$.

mid ← middle_coef.

Si (mid<0) alors

mid ← mid * (-1)

c_tab ← c_tab * (-1)

Si mid(ComparValue(mid, c_tab, 0.000009999999999)==0) alors

Si (compr == -1) alors le bit insérer est "1" .

Si non le bit insérer est un "0".

Fsi.

ok ← 1.

Fsi.

Sinon (in ← in+1).

bit ← "x" .

return bit .

FSi.

Si (coef < 0) alors

Coef ← coef * (-1)

FSi

Si (coef mod 2==0) alors Le bit insérer est un '0'

Sinon 'le bit insérer est un '1'

FSi

FIN

Après le calcul des valeurs de quantification qui sont représentées par le tableau de valeurs réels "tab_coef" et de taille "dim+1", on recherche dans le tableau "tab_coef", la valeur avec laquelle on a quantifié le coefficient moyen en comparant le coefficient moyen avec chaque valeur de tableau et puis donné la valeur de bit inséré. Nous tenons à préciser que les coefficients d'ondelettes, après décomposition et reconstruction de l'image varient de façon non significative c'est-à-dire n'altère pas la qualité de l'image mais nous pose un problème lors de l'étape d'extraction et précisément lors de la recherche et de comparaison définie précédemment et pour cela la comparaison s'effectuera avec une certaine marge d'erreur qui est précisée dans l'algorithme.

IV.3.7 DECODAGE

Ce module reçoit en entrée le résultat du module "Extraction des bits" (une séquence de bits constitués de 0 et 1), l'étape de décodage consiste à appliquer le processus inverse de codage, la suite de bits extraite est traduite en informations lisibles concernant le patient et sa pathologie.

CHAPITRE V :
TESTS ET RESULTATS

CHAPITRE V :

TESTS ET RESULTATS

Dans ce chapitre, nous allons commencer par donner une description de notre logiciel avec ces interfaces graphiques et son mode d'utilisation. En suite, nous allons justifier le choix de type du filtre d'ondelettes "daubechies10" utilisé dans le module "transformée en ondelettes" de notre application.

Nous avons testé la méthode de tatouage développée sur des images de type médical. Les noms de ces images sont respectivement : Méningiome T2, Thorax, Thymomexface, Méningiome de l'olfactif, Gliome du tronc, RadiodemainG et elles sont toutes de taille 256*256 pixels à 256 niveaux de gris.

V.1 DESCRIPTION DU LOGICIEL

Notre application est destinée aux médecins et au personnel hospitalier. Et par conséquent, nous nous sommes assurés que notre application soit la plus simple et la plus agréable possible et surtout facile à comprendre et à utiliser pour un non-spécialiste malgré sa complexité car l'utilisateur doit effectuer toutes les opérations de notre application dans un ordre très précis pour le bon déroulement des procédures d'exécution.

C'est pour ça que notre application comprend aussi une aide pour l'utilisateur afin de le guider

à suivre correctement les étapes d'exécution.

Notre application comprend une fenêtre principale avec un menu principale comme illustré dans la figure FIG.V.1 qui contient les principales opérations à effectuer qui sont l'insertion et l'extraction des informations.

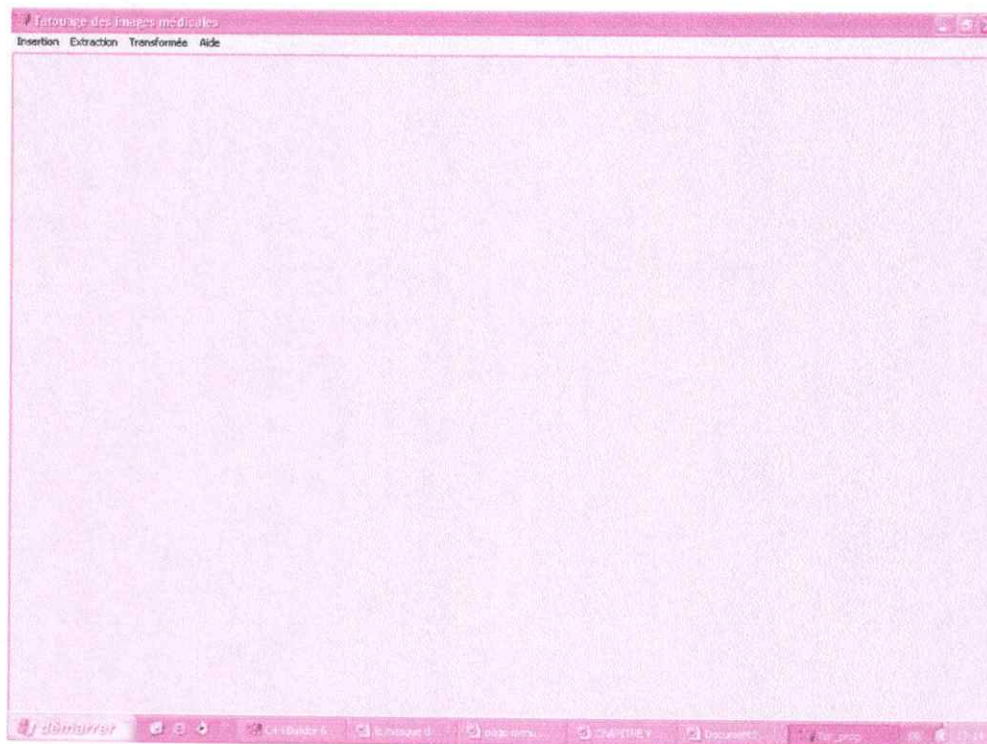


Fig.V.1: Menu principale de l'application.

V.1.1 Ouverture de l'image

L'ouverture d'une image s'effectue avec le bouton "Ouvrir une image" de menu "Insertion".

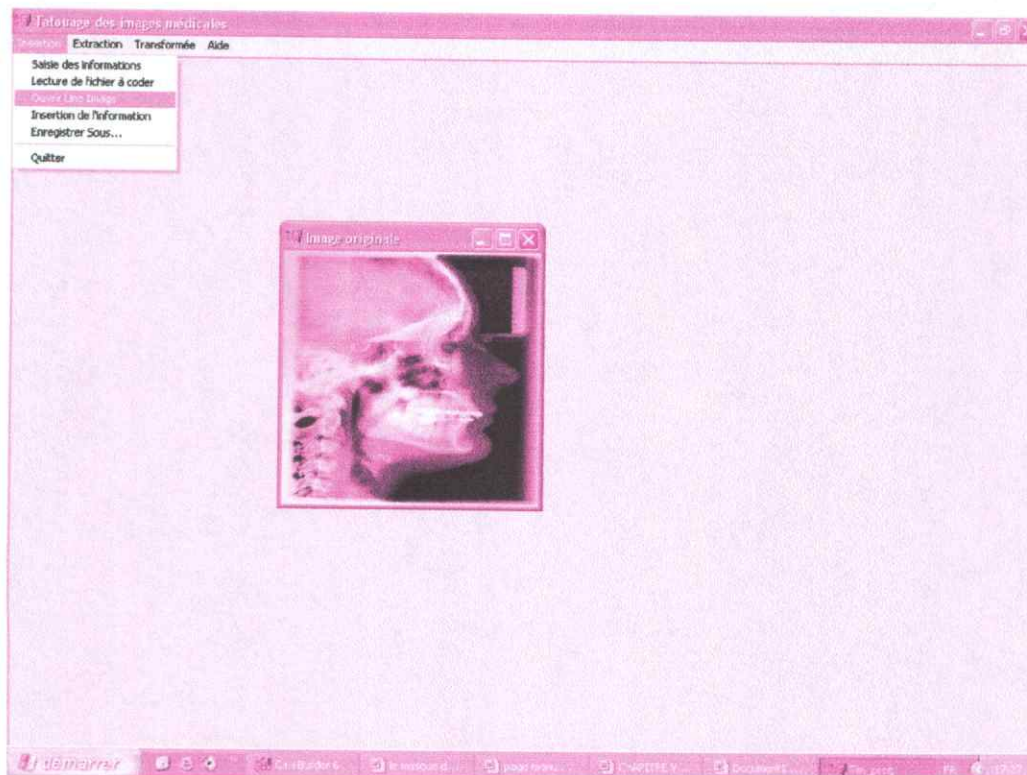


Fig.V.2 : Ouverture d'une image.

V.1.2 Saisie et codage des informations

La saisie et le codage des informations à insérer dans l'image s'effectue avec le bouton "saisie des informations" de menu "insertion" alors la fenêtre de saisie s'affiche comme suit :

Attention : Pour le bon déroulement de la procédure, il est nécessaire d'entré que des caractères alphabétiques et sans espace entre les lettres .

Informations du Patient

Nom : mebarek

Prénom : selcheddin

Date de naissance : 23/11/2005

Sexe : Homme Femme

Profession : etudiant

Informations de l'Image

Date d'acquisition : 23/11/2005

Type : radio

Confirmation

Operation de codage terminée!

OK

Clicker sur le bouton "CODAGE", après avoir rempli toute les cases correctement.

CODAGE VERIFICATION FERMER

Fig.V.3: Fenêtre de saisie et de codage des informations.

- Le bouton "**CODAGE**" sert au codage des informations entrées par l'utilisateur. Après l'opération de codage s'affiche une fenêtre de confirmation.

- Le bouton "**VERIFICATION**" sert au décodage et à vérifier le bon codage des informations entrées. Elle affiche une fenêtre contenant les informations après décodage comme illustré dans la figure FIG.V.4.

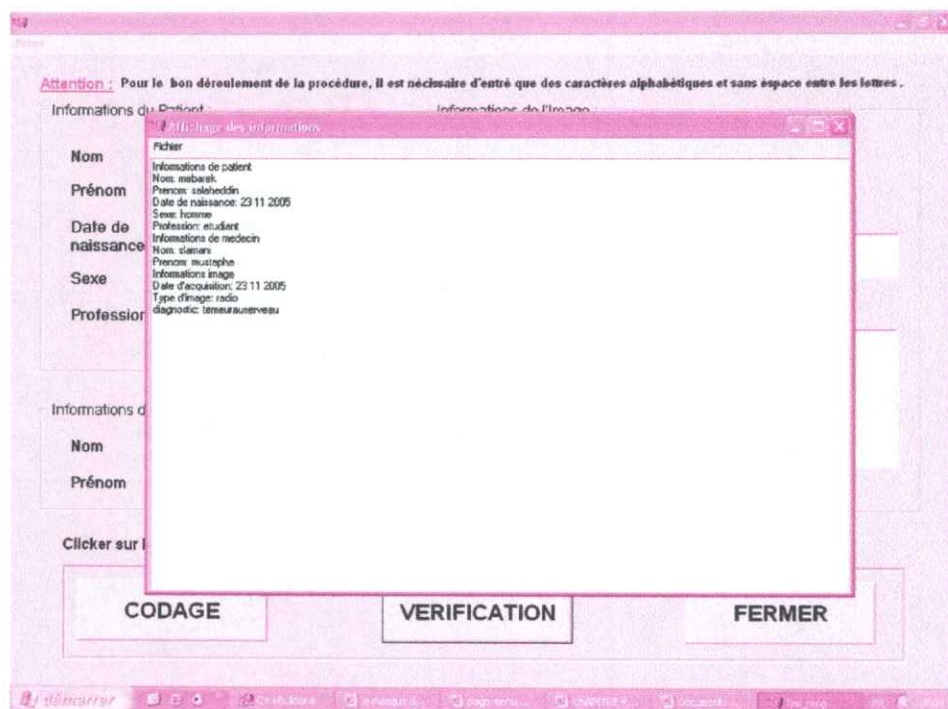


Fig.V.4: Vérification des informations codées.

- Le bouton "FERMER" permet de fermer la fenêtre et de revenir au menu principale.

V.1.3 Insertion des informations

L'insertion des informations codées dans l'image s'effectue avec le bouton "Insertion des informations" de menu "Insertion" sur l'image déjà ouverte et après codage. Le résultat est l'affichage de l'image tatouée avec l'image originale.

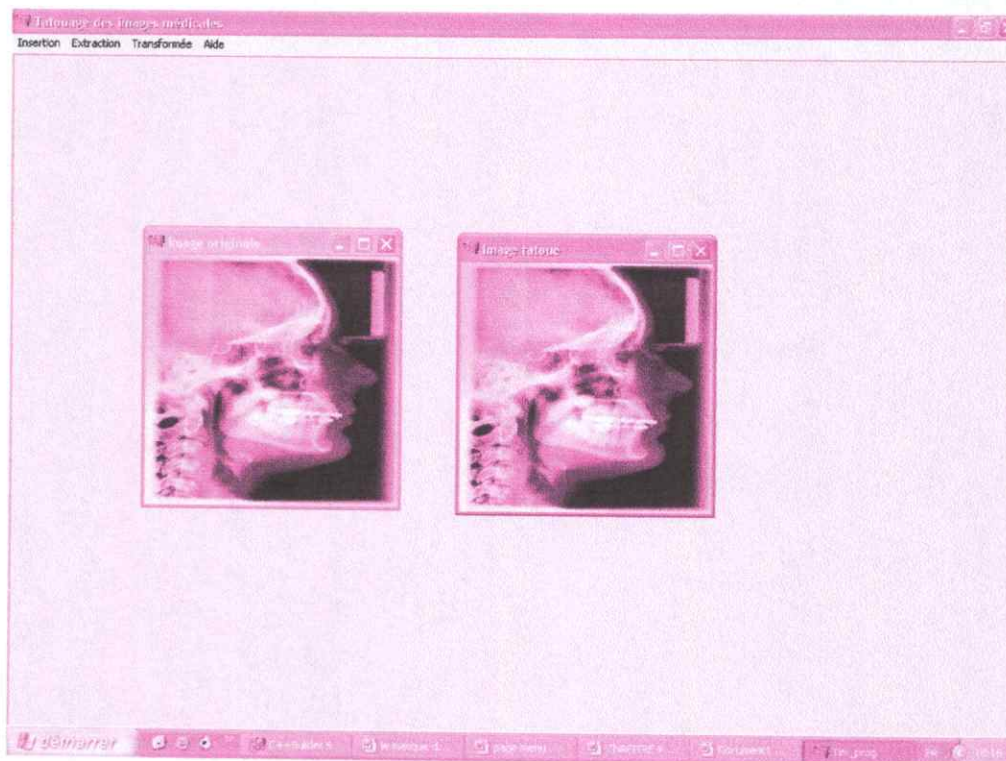


Fig.V.5: Insertion des informations.

V.1.4 Extraction des informations

L'extraction des informations insérées dans l'image s'effectue avec le bouton " **Extraction des informations** " de menu "**Extraction**". on commence par ouvrir l'image tatouée avec le bouton "**Ouvrir une image**" et puis on effectue l'extraction le résultat sera l'affichage d'une fenêtre montrant les informations extraites.

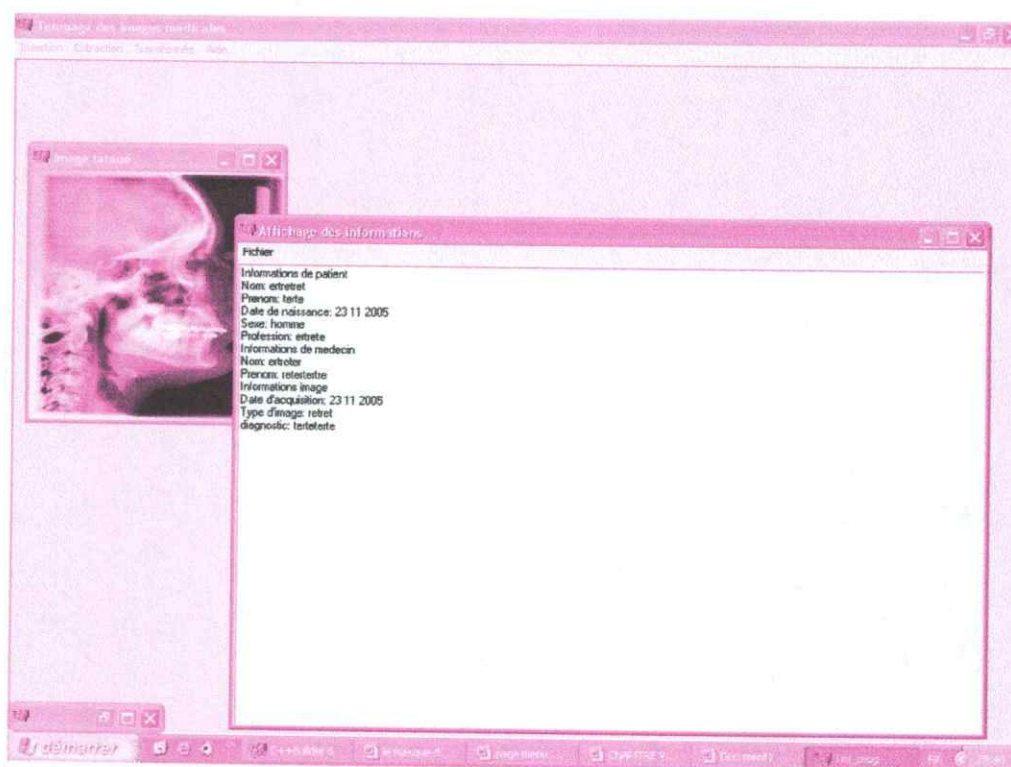


Fig.V.6 Extraction des informations.

L'onglet "Aide" de menu décrit à l'utilisateur les étapes à suivre pour une bonne utilisation de logiciel.

V.2 TRANSFORMEE EN ONDELETTES

V.2.1 CHOIX DU MEILLEUR FILTRE

Le choix du filtre (Daub 10) pour la transformée en ondelettes se base sur le fait que les filtres de Daubechies présentent une meilleure décomposition de l'image (détails très fins) par rapport aux autres filtres (Haar,...), nous avons opté pour l'utilisation de (Daub 10) parmi les filtres de Daubechies proposés au chapitre précédent (Daub 2, Daub 6, Daub 10) en prenant en considération que l'augmentation de la longueur du filtre engendre une amélioration de la qualité de l'image reconstruite mais aussi une augmentation du temps d'exécution.

V.2.2 LES NIVEAUX DE DECOMPOSITION

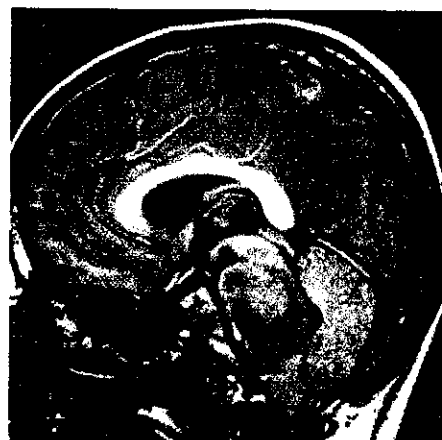
Exemple de décomposition/reconstruction en ondelettes d'une image médicale, par le filtre DAUB10.



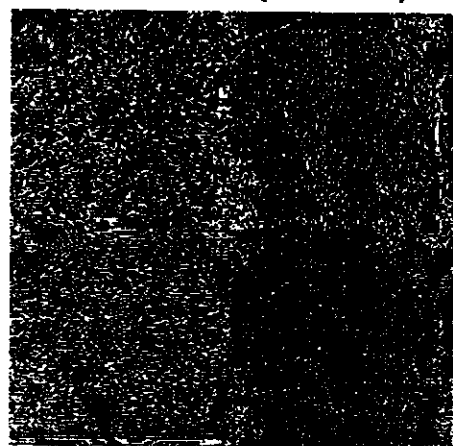
a) L'image originale



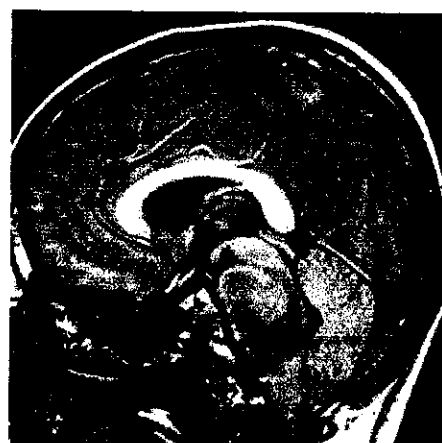
b1) Image décomposée en ondelettes (niveau 1).



b2) Image reconstruite.



c1) Image décomposée en ondelettes (niveau 3).



c2) Image reconstruite.

Fig. V.7: Décomposition/reconstruction en ondelettes à plusieurs niveaux d'une image médicale.

V.3 TATOUAGE DES IMAGES MEDICALES

V.3.1 TESTS ET RESULTATS

Paramètres du processus d'insertion et d'extraction des informations

Les principaux paramètres utilisés pour tatouer nos 7 images tests proposées sont:

- Filtre utilisé pour la DWT (décomposition) et la IDWT (reconstruction):
DAUB 10.
- Niveau de décomposition est à 3niveaux.
- Force de marquage $Q=4$.
- La taille de message à insérer varie au cours du test et cela pour évaluer son influence sur la qualité de l'image.

Note: Dans le choix des images utilisées pour le test, on prend en considération les différentes propriétés de l'image telles que : La luminosité, le contraste et les détails significatives.

Test n°1: Image "Thorax" de type radio.

- Les informations à insérer ici **a1** de la figure **Fig.V.2** après opérations de codage seront converties en une séquence binaire de taille 571bits.

Informations de patient

Nom: slamani
 Prenom: mustapha
 Date de naissance: 10 9 1982
 Sexe: homme
 Profession: etudiant

Informations de médecin

Nom: belabbesnabi
 Prenom: azzeddine

Informations image

Date d'acquisition: 26 11 2005
 Type d'image: radio standard

Diagnostic: bronchite pulmonaire

a1) Informations insérée



b1) Image originale.

Informations de patient

Nom: slamani
 Prenom: mustapha
 Date de naissance: 10 9 1982
 Sexe: homme
 Profession: etudiant

Informations de médecin

Nom: belabbesnabi
 Prenom: azzeddine

Informations image

Date d'acquisition: 26 11 2005
 Type d'image: radio standard

Diagnostic: bronchite pulmonaire

a2) Informations extraites.



b2) Image tatouée.

Fig.V.8 Test sur l'image " Thorax" .

Résultat

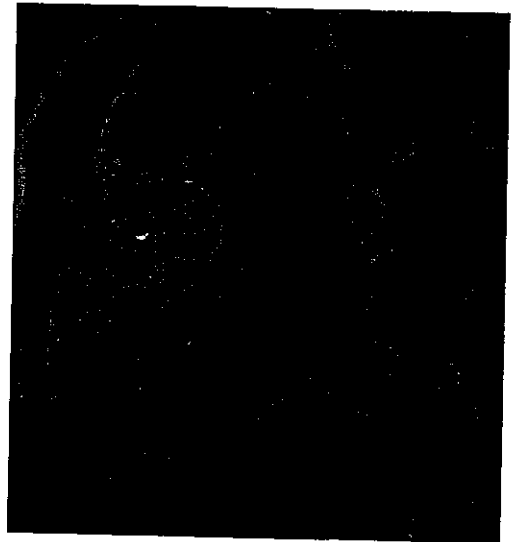
- Le résultat obtenu après insertion des informations dans l'image est illustré dans la Fig.V.2, nous pouvons remarquer en comparant l'image originale a1 avec l'image tatouée ici b2 que cette dernière n'a subi aucune dégradation ni altération de sa qualité
- Nous pouvons lire ici a2 à gauche de l'image tatouée les informations extraites de celle-ci et nous remarquons qu'elles sont correctement extraites.

Test n°2: Image "Méningiome T2" de type scanner

- Taille des informations insérées a1 de la figure Fig.V.3 après codage est 466 bits.

Informations du patient
 Nom: slamani
 Prenom: mustapha
 Date de naissance: 10 9 1982
 Sexe: homme
 Profession: etudiant
Informations de médecin
 Nom: belabbesnabi
 Prenom: azzeddine
Informations del' image
 Date d'acquisition: 26 11 2005
 Type d'image: scanner
 Diagnostic: méningiome

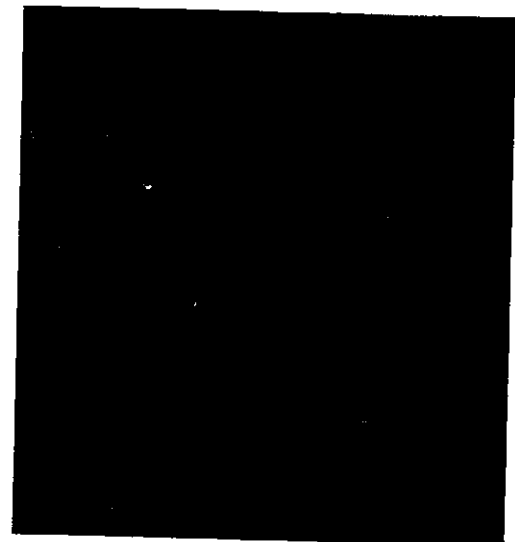
a1) Informations insérées.



b1) Image originale.

Informations du patient
 Nom: slamani
 Prenom: mustapha
 Date de naissance: 10 9 1982
 Sexe: homme
 Profession: etudiant
Informations de médecin
 Nom: belabbesnabi
 Prenom: azzeddine
Informations de l' image
 Date d'acquisition: 26 11 2005
 Type d'image: scanner
 Diagnostic: méningiome

a2) Informations extraites.



b2) Image tatouée.

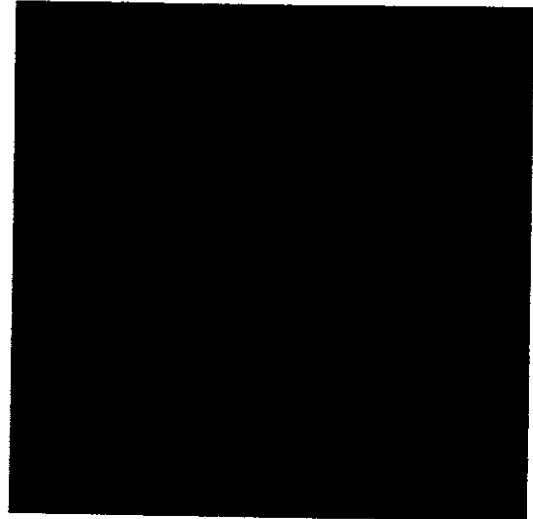
Fig.V.9 Test sur l'image " Méningiome T2".**Résultat:**

- Aucune dégradation, ni altération de la qualité de l'image.
- Extraction correcte des informations.

Test n°3: Image "Thymomerxface" de type radio

- Taille des informations insérée a1 de la figure Fig.V.4 après codage est 529 bits.

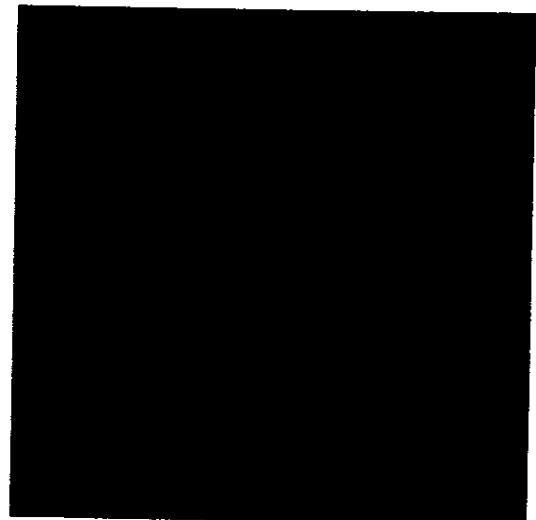
Informations de patient
 Nom: slamani
 Prenom: mustapha
 Date de naissance: 10 9 1982
 Sexe: homme
 Profession: etudiant
Informations de médecin
 Nom: belabbesnabi
 Prenom: azzeddine
Informations de l'image
 Date d'acquisition: 26 11 2005
 Type d'image: radiostandard
 Diagnostic: Thymomerxface



a1) Informations insérées.

b1) Image originale.

Informations de patient
 Nom: slamani
 Prenom: mustapha
 Date de naissance: 10 9 1982
 Sexe: homme
 Profession: etudiant
Informations de médecin
 Nom: belabbesnabi
 Prenom: azzeddine
Informations de l'image
 Date d'acquisition: 26 11 2005
 Type d'image: radiostandard
 Diagnostic: Thymomerxface



a2) Informations extraites.

b2) Image tatouée.

Fig.V.10 Test sur l'image " Thymomerxface".

Résultat:

- Aucune dégradation, ni altération de la qualité de l'image.
- Extraction correcte des informations.

Test n°4: Image "Radio mainG" de type radio

- Taille des informations insérées a2 de la figure Fig.V.5 après codage est 725 bits.

Informations de patient

Nom: mebarek

Prenom: mustapha

Date de naissance: 11 5 1982

Sexe: homme

Profession: etudiant

Informations de médecin

Nom: bachircherif

Prenom: abdanour.

Informations de l'image

Date d'acquisition: 25 11 2005

Type d'image: radiostandard

Diagnostic: traumatisme osseux au niveau du l'os métacarpien.

a1) Informations insérées.



b1) Image originale.

Informations de patient

Nom: mebarek

Prenom: mustapha

Date de naissance: 11 5 1982

Sexe: homme

Profession: etudiant

Informations de médecin

Nom: bachircherif

Prenom: abdanour.

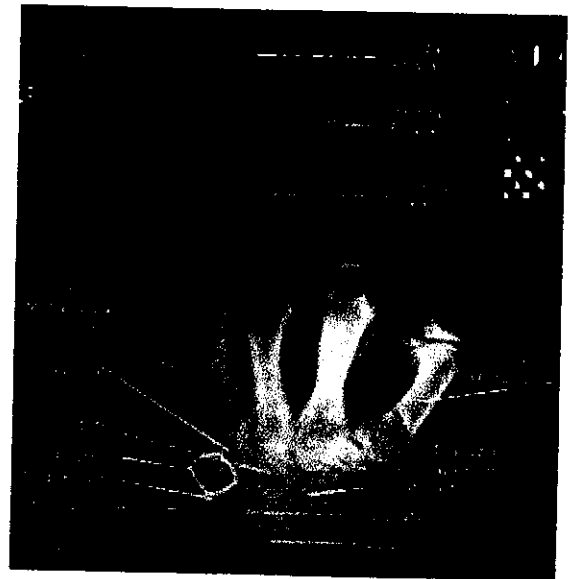
Informations de l'image

Date d'acquisition: 25 11 2005

Type d'image: radiostandard

Diagnostic: traumatisme osseux au niveau du l'os métacarpien.

a2) Informations extraites.



b2) Image tatouée

Fig.V.11 Test sur l'image "Radio mainG".

Résultat:

- Nous pouvons observer sur l'image tatouée b2 de la figure Fig.V.5 une dégradation des zones uniformes comme les zones noires sur les cotés de l'image et le trait blanc en haut qui sont non significatifs pour l'utilisation de l'image, contrairement pour les

zones importantes de l'image comme la radio de la main et les descriptions qui n'ont pas été dégradées, ni altérées car leurs dégradations peuvent fausser le diagnostic du médecin lors de la lecture de la radio par le médecin.

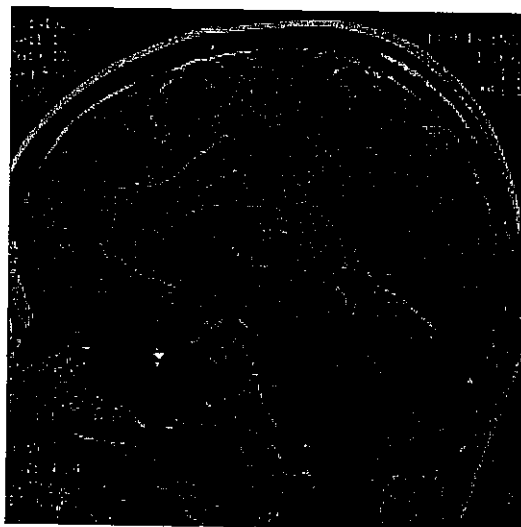
- Extraction correcte des informations.

Test n°5: Image " Gliome du tronc" de type scanner.

- Taille des informations insérées a1 de la figure Fig.V.6 après codage est 471 bits.

<p>Informations de patient Nom: mebarek Prenom: mustapha Date de naissance: 11 5 1982 Sexe: homme Profession: etudiant Informations de médecin Nom: bachircherif Prenom: abdanour Informations de l'image Date d'acquisition: 26 11 2004 Type d'image: scanner Diagnostic: gliome du tronc</p>

a1) Informations insérées.



b1) Image originale.

<p>Informations de patient Nom: mebarek Prenom: mustapha Date de naissance: 11 5 1982 Sexe: homme Profession: etudiant Informations de médecin Nom: bachircherif Prenom: abdanour Informations de l'image Date d'acquisition: 26 11 2004 Type d'image: scanner Diagnostic: gliome du tronc</p>

a2) Informations extraites.



b2) Image tatouée.

Fig.V.12 Tests sur l'image " gliome du tronc".

Résultat:

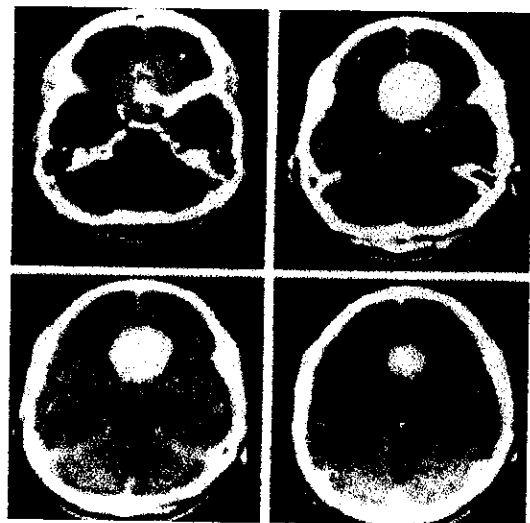
- Nous pouvons observés sur l'image tatouée b2 de la figure Fig.V.6 une légère dégradation dans les zones uniformes en noir en haut de l'image comme dans le test précédent mais à peine visibles et moins importantes et cela est due à la diminution de la taille de message inséré.

- Extraction correcte des informations

Test n°6: Image " Meningiome de lolfactif" de type scanner

Informations de patient
 Nom: slamani
 Prenom: mustapha
 Date de naissance: 11 5 1982
 Sexe: homme
 Profession: etudiant
Informations de medecin
 Nom: bachircherif
 Prenom: abdanour
Informations de l' image
 Date d'acquisition: 25 11 2005
 Type d'image: scanner
 Diagnostic: meningiome de lolfactif

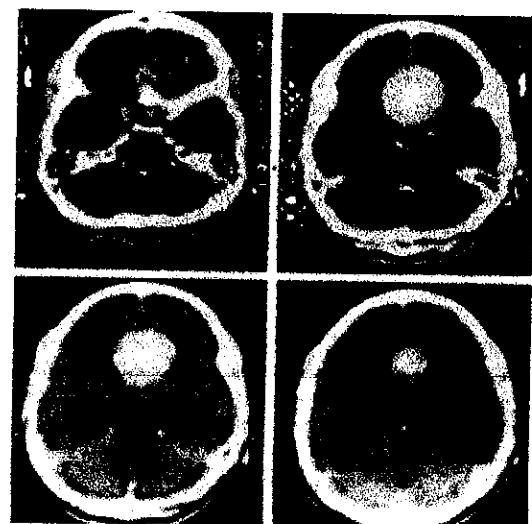
a1) Informations insérées.



b1) Image originale.

Informations de patient
 Nom: slamani
 Prenom: mustapha
 Date de naissance: 11 5 1982
 Sexe: homme
 Profession: etudiant
Informations de medecin
 Nom: bachircherif
 Prenom: abdanour
Informations de l' image
 Date d'acquisition: 25 11 2005
 Type d'image: scanner
 Diagnostic: meningiome de lolfactif

a2) Informations extraites.



b2) Image tatouée.

Fig.V.13: test sur l'image de Meningiome de lolfactif.

Résultat :

- Nous pouvons constater que l'image tatouée b2 de la figure V.7 a subi des dégradations perceptibles dans les zones sombres de façon remarquable et moins importantes sur les zones de détails de l'image.

V.4 CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre les résultats et les tests obtenus pour la méthode que nous proposons. Ces résultats montrent que les dégradations apparaissent parfois de manière perceptuelle dans les zones uniformes, et moins évidentes dans les zones de détails. Nous tenons à noter que la plupart des images médicales testées n'engendrent aucune dégradations et altérations significatives et sur la pluparts des images testées l'information est correctement extraite.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Nous avons introduit ce travail en présentant et en définissant les objectifs du tatouage d'images. Nous avons insisté pour considérer une approche globale du problème, elle nous a conduit à choisir un domaine applicatif : tatouage des images médicales et à en établir le cahier des charges. Après avoir présenté quelques méthodes génériques, nous avons choisi de travailler sur les techniques d'implémentation de la marque dans le domaine multiresolution utilisant la DWT.

L'algorithme de tatouage d'image que nous avons adoptée est basé sur la fusion de l'image originale avec la marque en utilisant la transformée en ondelettes discrète. L'apport de notre méthode par rapport aux méthodes de tatouage utilisant seulement la transformée en ondelettes et la quantification vectorielle peut être résumé en trois point essentiels : la taille de la marque à transmettre ($(N^2 - 1)/3$ pour une image de N^2), qualité de l'image reconstruite et le fait que la marque exprime des contraintes sur l'image c'est -à- dire que les modifications induites par le tatouage ne sont pas fixées, et par conséquent, cette liberté peut permettre d'optimiser le compromis robustesse-invisibilité.

Arrivées au terme de notre projet, nous estimons avoir répondu au cahier de charge et atteint l'essentiel de notre objectif qui est le développement et la réalisation d'un algorithme de tatouage basé sur les ondelettes (*DWT*) afin de permettre la transmission des informations médicales à travers des réseaux publics ou au sein des réseaux hospitalier (SIH).

Nous estimons également que ce logiciel est une contribution importante dans un domaine prometteur mais presque inconnu dans notre pays.

Ce travail peuvent être amélioré en envisagant les perspectives suivantes :

- on peut envisager de calculer le masque psychovisuel pour savoir où il est possible de modifier l'image sans que cela soit très perceptible afin d'améliorer les dégradations induites par le système tatouage.
- la robustesse de la technique peut être fortement augmentée par redondance ou emploi de code correcteurs d'erreurs lors de l'opération de codage.

Références bibliographiques :

code	Auteur (s)	Titre	Coordonnées
[OLC04]	O. Le Cadet	Thèse : " Méthodes d'ondelettes pour la segmentation d'images, applications à l'imagerie médicale et au tatouage d'images".	Institut national polytechnique de Grenoble, France, Septembre 2004.
[GLG03]	G. Le Guelvouit	Thèse : " Tatouage robuste par étalement de spectre avec prise en compte de l'information adjacente".	Rennes, France, Novembre 2003.
[PAB00]	P. Bas	Thèse : " Méthode de tatouage d'image fondées sur le contenu".	Institut national polytechnique de Grenoble, France, Octobre 2000.
[SZT97]	M. Swanson B. Zhu A. H. Tewfik	Data hiding for video in video.	IEEE International Conference on Image Processing, Santa Barbara, October 1997.
[BCH00]	B. Chen	Design and analysis of digital watermarking, information embedding and data hiding systems.	Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, June 2000.

MCO83]	M. Costa	Writing on dirty paper.	IEEE Transactions on Information Theory, 29 (3): 439-441, 1983.
[ESG00]	J. J. Egger J.K.Su B. Girod	A Blind Watermarking scheme Based on structured Codebooks.	IEEE colloquium : Secure Images and Image Authentication, London, April 2000.
[ALK92]	A. Lewis G. Knowles	compression using the 2D wavelet Transform.	IEEE Transactions on Image Processing, 1(2) : 244-250, 1992.
[AMF98]	A. Piva M. Barni F. Bartolini V. Cappellini	Mask building for perceptually hiding frequency embedded watermarks.	IEEE International Conference on Image Processing, Chicago, October 1998.
FCD01]	F. Cayre F. Davoine	Vers un tatouage mou.	<i>Traitement du signal</i> , 18(4) : 259-270, 2001 .
LWV92]	S. P. Lipshitz R.A. Wannamaker J. Vanderkooy	A Theoretical Survey of quantization and Dither.	Journal of the Audio Engineering Society, 40: 355-375, May 1992.
NRK02]	M. J. Nadenau J. Reichel 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.
MKW02]	M. Kutter S. Winkler	A Vision-based Masking model for Spread-Spectrum image watermarking.	IEEE Transactions on Image processing, 1(2): 244-250, 2002.

[DKH97]	D. Kundur D. Hatzinakos	Digital Watermarking Based on multiresolution wavelet Data Fusion.	Proc. IEEE, Special issue on Intelligent Signal processing, under review, 43 pages, 1997.
COU92]	M.Coulibaly	Analyse par ondelettes: Quelques aspects numériques et applications a des signaux oceaniques simules et l'estimation de densité de probabilité.	Thèse de doctorat Université Joseph Fourier Grenoble, juin 1992.
MOR81]	J.Morlet	Sampling theory and wave probagation.	Proc 51 st Annual Meeting of the society of exploration Geophysicists, Los Angels 1981.
[GRO84]	A.Grossman J.Morlet	Decomposition of hardy function into square integrable wavelets of constant shape.	SIAM Jmath. Anal., vol. 15, p. 723-736, 1984.
DAU92]	I. Daubechies	Retgus university and trn lecture	University of Karburke Avril 1992.
MAL89]	G.S.Mallat	A Theory of multirésolution signal decomposition: the wavelets representation.	IEEE Juillet 1989
MEY92]	Y.Meyer	Les ondelettes , Algorithmes application.	Armond Colin1992
COH90]	A.Cohen I. Daubechies J.E.Feauveau	Biorthogonal base of compactly Supported wavelets.	AT & Tbell laboratories Rapport technique, Janvier 1990
COH92]	A.Cohen	Ondelettes et traitement numérique de signal.	Masson 1992

JUP04]	J.Pugliesi C.piovano	Le tatouage d'images ou Watermarking.	Juin 2004
EIN03]	Enric Incerti	Compression d'images	Vuibert – informatique paris 2003
JLD99]	Jeau luc Degelay	Introduction au tatouage d'images	Laboratoire eurocom. Paris.1999