



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA



**Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la
Communication**

**Département d'Informatique et des Technologies
de l'Information**

MASTER

Domaine : Mathématiques et Informatique

Filière : Informatique

Spécialité: Administration et Sécurité Réseaux

Présenté par : Yamina Habbi

Thème

**Une approche de tatouage numérique
aveugle pour la protection des fichiers audio**

Soutenu publiquement

Le : 18/06/2023

Devant le jury :

M.	Chahrazad	Toumi	MA (A)	Président	UKM Ouargla
Mr.	Salah	Euschi	MA (B)	Encadreur	UKM Ouargla
Mr.	Amine	Khaldi	MC (A)	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2022 /2023



REMERCIEMENTS


Avant de présenter ce travail, nous tenons à remercier الله tout puissant, de notre avoir permis d'arriver à ce niveau d'étude, et aussi pour notre avoir donné beaucoup de patience et de courage pour réaliser ce mémoire.

Travers ce modeste travail, nous tenons à présenter nos sincères remerciements et notre profonde reconnaissance à notre encadreur Mr. Salah Euschi

Mes remerciements les membres du jury Mr Khaledi Amine et M Toumi Chahrazad qui ont bien accepté de juger et d'évaluer ce travail.

Nous adressons aussi notre sincère reconnaissance à tous les enseignants au département des Mathématiques Et Informatiques de l'Université Kasdi Merbah Ouargla pour leurs aides et leurs conseils. Sans oublier tout le staff administratif du département.

Grand merci à tous ceux et toutes celles qui ont contribué de près ou de loin dans l'accomplissement de ce travail.





DEDICACES

Je dédie ce mémoire

À toutes nos familles habbi ,

À tous nos collègues de promotion,

*ET à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir
ce travail.*



ملخص:

يوفر ظهور الملفات الرقمية امكانيات مبتكرة في مجال تكنولوجيا البيانات, يمكن للملفات المضيفة, في حالتنا , أخفاء المعلومات الرقمية. تسمى تقنيات الدفن هذه بالوشم.

هذا العمل هو تصميم و انجاز برنامج العلامة المائية العمياء من اجل حماية الملفات الصوتية بواسطة خوارزمية LSB ومن ثم تنفيذ الخوارزمية على مجموعة من الملفات الصوتية ذات الامتداد (.wav) و كانت النتائج ناجحة في الوص (1) ول الى الهدف المطلوب و جودة عالية , وقد تم اعتماد مقاييس الاداء نسبة الاشارة الى الضوضاء (SNR) قيمة معامل الارتباط (NC)

الكلمات الدالة : العلامة مائية رقمية , العمياء, LSB , SNR, NC

Résumé :

L'émergence des fichiers numériques offre des possibilités innovantes dans le domaine de la technologie des données, les fichiers hôtes, dans notre cas, les signaux audio, peuvent masquer des informations numériques. Ces techniques d'enterrement s'appellent le tatouage.

Ce travail est de la conception et l'implémentation un programme de tatouage numérique audio aveugle pour potection fichier audio par l'algorithme LSB, puis d'implémenter l'algorithme sur un ensemble de fichiers audio avec l'extension (.wav) et les résultats ont réussi à atteindre l'objectif souhaité et avec une haute qualité, et des mesures de performance ont été adoptées Rapport signal sur bruit (SNR) valeur du coefficient de corrélation (NC)

MOTS-CLÉS : tatouage numerique ,aveugle, SNR,NC,LSB.

Summary:

The emergence of digital files offers innovative possibilities in the field of data technology, host files, in our case audio signals, can mask digital information. These burial techniques are called watermark .

this work is the design and implementation of a blind audio watermark program for audio file protection using the LSB algorithm. The algorithm is then implemented on a set of audio files with the extension (.wav), and the results have successfully achieved the desired objective with high quality. Performance measures such as Signal-to-Noise Ratio (SNR) and Correlation Coefficient (NC) value have been adopted.

KEYWORDS: watermark, blind, SNR, NC, LSB.

Table des Matières

Thème	I
REMERCIEMENTS.....	II
DEDICACES.....	III
ملخص.....	I
Résumé :	I
Summary:	I
Table des Matières.....	2
Table des Figures.....	5
Table des Tableau.....	6
Introduction générale.....	7
Chapitre 01 : Généralités sur tatouage numérique	9
1. Introduction	10
2. Historique.....	11
3. Les techniques de protection :.....	12
3.1. La cryptographie	12
3.2. La stéganographie :	14
3.3. Tatouage numérique :.....	14
4. Schéma général du tatouage numérique : Le tatouage comporte deux phases fondamentales:..	15
4.1. Phase d'insertion de la signature ou de la marque.....	15
4.2. Phase d'extraction /détection de la signature ou de la marque.....	15
5. Les types du tatouage numérique :	16
5.1. Tatouage des images.....	17
5.2. Tatouage des vidéos.....	17
5.3. Tatouage audio	17
6. Propriétés requises du tatouage numérique :	18
6.1. Imperceptibilité :.....	18
6.2. La robustesse :.....	18
6.3. Capacité :.....	18
7. Les attaques menaçant le tatouage :	19
7.1. les attaques de la dynamique :	19
7.2. Les attaques par filtrage :.....	19

7.3.	Les modifications d’ambiance :	19
7.4.	Les changements de format :	19
7.5.	L’ajout de bruit :	20
7.6.	Les effets de modulation :	20
7.7.	Les modifications de l’échelle temporelle et du pitch :	20
8.	Domaine d’application du tatouage numérique	20
9.	Conclusion :	23
Chapitre 02 : tatouage numérique des fichiers audio		24
1.	Introduction :	25
2.	Définition des fichiers audio :	25
3.	Le son :	25
4.	Les ondes sonores :	25
5.	Caractéristiques du son :	26
5.1.	Fréquence v :	26
5.2.	Amplitude :	26
5.3.	Période T :	27
5.4.	Longueur d’onde λ :	27
6.	Formats audio numérique :	27
6.1.	Les formats audio sans compression :	27
6.2.	Les formats audio compressés sans perte :	28
6.3.	Les formats audio compressés avec perte :	28
7.	Classification du tatouage numérique :	29
7.1.	L’imperceptibilité / la perceptibilité :	29
7.2.	Tatouage robuste, semi-fragile et fragile :	29
7.2.1.	Le tatouage robuste :	29
7.2.2.	Tatouage semi-fragile :	30
7.2.3.	Tatouage fragile :	30
7.3.	Tatouage non aveugle, semi-aveugle et aveugle :	30
7.3.1.	Le tatouage non aveugle :	30
7.3.2.	Tatouage semi-aveugle :	30
7.3.3.	Tatouage aveugle :	30
7.4.	Tatouage temporel et fréquentiel :	31
7.4.1.	Tatouage temporel :	31
7.4.2.	Tatouage fréquentiel :	31

7.5.	Les tatouages réversible et non réversible :	31
7.6.	Les tatouages additifs et substitutifs :	32
8.	Présentation des techniques du tatouage :	32
8.1.	Temporel :	32
8.1.1.	Méthode LSB	32
8.1.2.	Tatouage par QIM :	32
8.1.3.	Masquage de l'écho :	33
8.2.	Fréquence :	33
8.2.1.	La Transformée en Cosinus Discrète - DCT :	33
8.2.2.	La Transformée en ondelette Discrète -DWT :	34
9.	Evaluation des performances des algorithmes de tatouage audio:	35
9.1.	Performance de l'imperceptibilité :	35
10.	Conclusion :	35
Chapitre 03 :Conception et Réalisation		36
1.	Introduction	37
2.	Méthode propose pour tatouage aveugle :	37
2.1.	Le schéma d'une insertion : pour insertion la marque au fichier audio(en utilise les fonctions prédéfinie au matlab)	37
2.2.	Le schéma d'une extraction : pour extraction la marque au audio tatouée(en utilise les fonctions prédéfinie au matlab)	37
3.	Les outils de test et simulation utilisés :	37
4.	Environnement matériel :	38
5.	Résultat et discussion :	38
5.1.	Interface de programme :	38
5.1.1.	L'interface d'insertion du tatouage :	39
5.1.2.	L'interface d'extraction du tatouage :	39
5.2.	Résultats :	39
5.3.	Discussion : Après le résultat de tableau II-1 on a remarqué	40
6.	Conclusion :	40
Conclusion générale		41

Table des Figures

Figure 1: Schéma général d'un système de cryptage.	13
Figure 2 : Exemple de stéganographie basé sur le "Principe de l'encre invisible".	14
Figure 3:Schéma général de l'insertion d'une marque.....	15
Figure 1-4 : Encodeur de tatouage audio et ses composants.....	18
Figure 5 : Basses fréquences.....	26
Figure 6 : haute fréquences.....	26
Figure 7 : l'amplitude.....	26
Figure 8 : période.....	27
Figure 9 : la longueur d'onde.....	27
Figure 10:Classification du tatouage numérique.....	29
Figure 11 : Exemple d'une méthode LSB.	32
Figure 12: interface de programme avant test.....	39
Figure 13 : interface de program après test.....	39

Table des Tableau

Tableau II-1:Les valeurs SNR signal sur bruit et NC	40
---	----

Introduction générale

L'avènement des documents sous format numérique et la facilité de duplication et de modification permettent une large prolifération des médias numériques (audio, vidéo et image). Toutefois, cette accessibilité accroît le problème associé à la protection des droits d'auteur. Pour cette raison, les créateurs et distributeurs des documents numériques hésitent à rendre accessible leur propriété intellectuelle et sont à la recherche d'une solution fiable au problème de la protection des droits d'auteur des données multimédia.

Le tatouage numérique a été proposé comme un moyen d'identification de l'auteur ou du distributeur des données numériques. Le tatouage est un processus d'insertion d'information concernant le droit d'auteur, en opérant un léger changement sur les échantillons de la donnée. Contrairement au cryptage, le tatouage ne restreint pas l'accès à la donnée, mais la protège tout au long de son utilisation. Le tatouage est inséré de telle sorte à résider en permanence dans la donnée hôte. Quand le propriétaire est mis en question, l'information peut être extraite de la donnée tatouée pour prouver la propriété unique.

Dans notre travail nous utilise tatouage numérique aveugle pour la protection des fichiers audio .Nous allons réaliser une application qui permettra de tatouer un signal par la méthode LSB (Least Significant Bit).

Notre mémoire se compose de deux chapitres organisés de la façon suivante:

- ✓ Le premier chapitre, nous introduisons la notion de tatouage numérique, les applications et l'évaluation en suit le attaque.
- ✓ Le deuxième chapitre proposé un concept audio numérique actuel qui contient des caractéristique et formats de tatouage pour le signal

audio. Ensuite, le chapitre aborde de le domaine à deux insertions spatial et fréquentielle.

- ✓ Dans le troisième chapitre, nous présentons le programme réalise et les outils utilise ensuite discussion de résultat de test de SNR et NC
- Finalement, nous terminons par une conclusion générale.

Chapitre 01 : Généralités sur tatouage numérique

1. Introduction

La technique du tatouage, associée à d'autres techniques, a pour but de résoudre des problèmes variés relatifs à la sécurité des données digitales telles que la protection des droits d'auteur, la prévention de la redistribution non autorisée, l'intégrité du contenu d'une donnée, etc.

Plusieurs méthodes de tatouage existent, elles diffèrent selon l'application et les contraintes qu'elles exigent. Dans ce chapitre nous présentons des généralités sur la notion de tatouage, quelques-unes de ses applications les plus utilisées, un état de l'art sur les techniques de tatouage existantes et enfin des méthodes d'évaluation des algorithmes de tatouage ainsi que les éventuelles attaques.

2. Historique

Bien que l'art de la fabrication du papier ait été initié en Chine il y a plus de mille ans, les tatouages en papier ne sont apparus en Italie qu'aux environs de 1292[2]. Les marques ont été créées en ajoutant des motifs métalliques minces aux moules en papier. Le papier serait légèrement plus fin là où se trouvait le fil et donc plus transparent. La signification et le but des premiers tatouages sont incertains. Ils peuvent avoir été utilisés à des fins pratiques telles que l'identification des moules sur lesquels des feuilles de papier ont été fabriquées ou en tant que marques de commerce pour identifier le fabricant de papier. En revanche, ils peuvent avoir représenté des signes mystiques ou simplement servi de décoration. Au XVIIIe siècle, les tatouages sur papier fabriqués en Europe et en Amérique étaient devenus plus utilitaires. Ils étaient utilisés comme marques de commerce pour enregistrer la date de fabrication du papier et pour indiquer le format des feuilles originales. C'est également à cette époque que les tatouages ont commencé à être utilisés comme mesures anti-contrefaçon pour l'argent et d'autres documents.

Le terme tatouage semble avoir été créé vers la fin du XVIIIe siècle et pourrait provenir du terme allemand wassermarke [2] bien que le terme allemand puisse également provenir de l'anglais [3]. Le terme est en fait un abus de langage, dans la mesure où l'eau n'est pas particulièrement importante dans la création de la marque. C'est probablement parce que les marques ressemblent aux effets de l'eau sur le papier. À peu près au moment où le terme tatouage a été inventé, les faussaires ont commencé à mettre au point des méthodes de falsification de tatouages qui servent à protéger le papier-monnaie. En 1779, le *Gentleman's Magazine* [4] rapportait qu'un homme du nom de John Mathison avait découvert une méthode de contrefaçon de la marque de l'eau du papier de banque, qui était auparavant considérée comme la principale garantie contre la

fraude. Dans cette découverte, il proposa de révéler et d'enseigner au monde la méthode de détection de la fraude, à condition que le pardon soit obtenu, ce qui n'avait pourtant aucun poids pour la banque.

La contrefaçon a entraîné des avancées dans la technologie du tatouage. William Congreve, un Anglais, a inventé une technique pour créer des tatouages en couleurs en insérant un matériau teint au centre du papier lors de sa fabrication. Les marques résultantes ont dû être extrêmement difficiles à falsifier, car la Banque d'Angleterre elle-même a refusé de les utiliser au motif qu'elles étaient trop difficiles à créer. Un autre Anglais, William Henry Smith, a inventé une technologie plus pratique : remplacer les motifs fins métalliques antérieurs utilisés pour faire les marques par une sorte de sculpture en relief peu profonde, pressée dans le moule en papier. La variation résultante à la surface du moule a produit de magnifiques tatouages aux nuances de gris variables. C'est la technique de base utilisée aujourd'hui pour le visage du président Jackson sur le billet de 20 dollars. Des exemples de notion plus générale de tatouages - des messages imperceptibles sur les objets dans lesquels ils sont incorporés - remontent probablement aux civilisations les plus anciennes. David Kahn, dans son livre classique *The « Codebreakers »*, fournit des notes historiques intéressantes [5]. Une histoire particulièrement pertinente décrit un message caché dans le livre *Hypnerotomachia Poliphili*, anonymement publié en 1499. Les premières lettres de chaque chapitre précisent «*Poliam Frater Franciscus Columna Peramavit* », supposé signifier «*le père Francesco Columna aime Polia.* ».

3. Les techniques de protection :

3.1. La cryptographie

Le mot cryptographie est d'origine grecque : "kruptos" pour dire caché et "graphein" pour dire écriture. Elle peut être définie alors comme étant une science mathématique qui vise la protection des données confidentielles. Autrement dit, la cryptographie est l'art de chiffrer et coder les messages. Elle

est devenue aujourd'hui une science entière à part. Au croisement des mathématiques, de l'informatique, et parfois même de la physique, elle permet ce dont les civilisations ont besoin depuis qu'elles existent : le maintien du secret. La cryptographie est traditionnellement utilisée pour dissimuler des messages aux yeux de certains utilisateurs. Cette utilisation a aujourd'hui un intérêt d'autant plus grand que les communications via internet circulent dans des infrastructures dont on ne peut garantir la fiabilité et la confidentialité. Désormais, la cryptographie sert non seulement à préserver la confidentialité des données mais aussi à garantir leur intégrité et leur authenticité [6]. Le mécanisme de la cryptographie est défini par un algorithme de cryptographie ou un chiffrement qui est une fonction mathématique utilisée lors du processus de cryptage et de décryptage. Cet algorithme est associé à une clé (un mot, un nombre ou une phrase), afin de crypter une donnée. Avec des clés différentes, le résultat du cryptage variera également. La sécurité des données cryptées repose entièrement sur deux éléments : l'invulnérabilité de l'algorithme de cryptographie et la confidentialité de la clé [7]. Cependant, le vendeur ne peut pas savoir comment le produit est traité après son décryptage par l'acheteur.

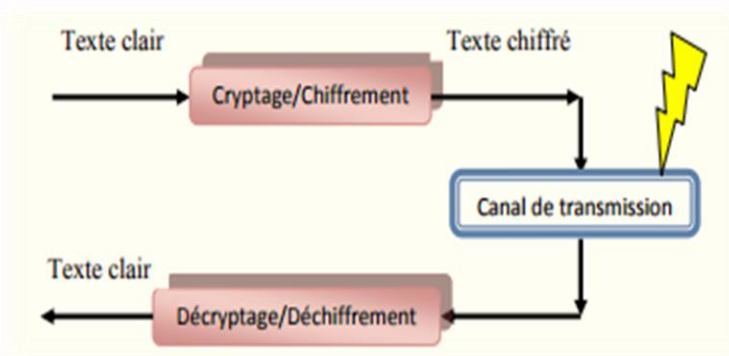


Figure 1: Schéma général d'un système de cryptage.

Le cryptage protège le contenu pendant la transmission uniquement. Lorsqu'il est transmis au destinataire, les données doivent être déchiffrées pour être utiles. Une fois déchiffrées, les données ne sont plus protégées et deviennent

vulnérables. L'acheteur peut s'avérer être un pirate qui distribue des copies illégales du contenu décrypté (non protégé).

3.2. La stéganographie :

Le mot stéganographie est origine grecque et se compose de deux mots: "steganos" qui signifie couvert et "graphein" pour dire écriture. La stéganographie est l'art de la dissimulation, elle consiste à protéger un secret au sein d'un autre message anodin [8,9] de façon qu'on ignore même l'existence du message secret et seule personne connaissant l'astuce est apte à extraire le message caché. Pour mieux comprendre, on cite l'exemple de stéganographie connu sous le nom de "Principe de l'encre invisible". Cette technique était beaucoup utilisée dans le but d'envoyer des messages secrets. A cette époque, l'encre était réalisée à base de jus d'oignons et de chlorure d'ammoniac. Comme il est illustré dans la figure2, l'écriture était alors rendue claire en approchant le papier d'une flamme de bougie.



Figure 2 : Exemple de stéganographie basé sur le "Principe de l'encre invisible".

3.3. Tatouage numérique :

Le tatouage (en anglais « watermarking ») est une technique qui permet d'ajouter des informations quel que soit le type de fichier, de support ou de document. En général, un message que vous masquez dans un signal hôte peut être appelé une marque ou simplement un message. La marque consiste d'un ensemble de bits dont le contenu varie d'une application à l'autre. La marque peut être un nom ou un identifiant du créateur, du propriétaire ou de l'acheteur. Les tatouages soulèvent la question de la protection du droit d'auteur, [10].

4. Schéma général du tatouage numérique :

Le tatouage comporte deux phases fondamentales:

4.1. Phase d'insertion de la signature ou de la marque

Les entrées de l'insertion de tatouage sont la marque, les données originales et la clé de sécurité de l'insertion. La marque qui peut être une séquence de nombres, une séquence de bits binaire ou peut être une image. La clé est utilisée pour améliorer la sécurité du système de tatouage. Les sorties de processus de l'insertion sont des données tatouées.

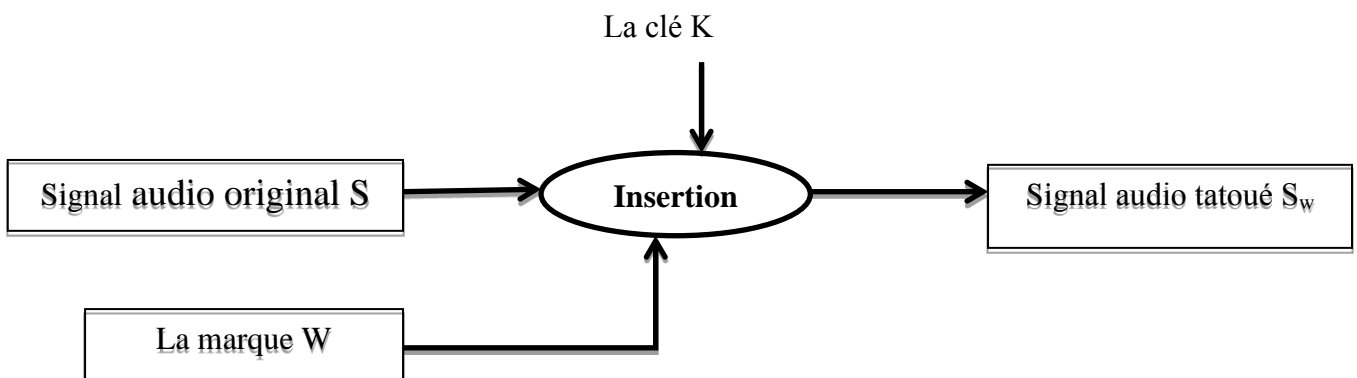


Figure 3:Schéma général de l'insertion d'une marque

La figure 3 présente le schéma général de l'insertion de la marque W à l'aide d'une clé K. Le signal audio original S est tatoué de la marque W par le propriétaire du signal et une clé de chiffrement K. Le signal audio marqué S_w .

4.2. Phase d'extraction /détection de la signature ou de la marque

Dans le processus de l'extraction les entrées sont les données tatouées, la clé de sécurité et éventuellement les données originales et / ou la marque originale en fonction de la technique utilisée, si l'extracteur ne nécessite pas la disponibilité de la copie original, le schéma de tatouage est appelé « tatouage aveugle », si l'extracteur nécessite le signal audio original, il est appelé « tatouage non aveugle ». Si le signal audio original est utilisé, la marque peut être extraite sous sa forme exacte (si l'image n'est pas corrompue ou attaquée). S'il s'agit d'une extraction aveugle, on peut déterminer si un signal spécifique de

tatouage donné est présent dans un signal audio ou non. Dans le schéma semi aveugle la présence du signal audio original et la marque ne sont pas nécessaires mais quelque informations supplémentaires de celle-ci.

Ensuite, l'étape suivante consiste habituellement à la comparaison de la marque extraite avec la marque originale et le résultat pourrait être comme une sorte de mesure qui représente la possibilité de la présence de la marque originale dans le document ou non en utilisant une fonction de corrélation. Pour certains algorithmes de tatouage, la marque extraite peut être encore décodé pour obtenir le message incorporé à des diverses buts telles que la protection du droit d'auteur et l'authentification. La marque est considéré comme robuste si elle est incorporée de manière que la marque peut rester robuste et stable même si les données tatouée passé par différentes traitements. La procédure de l'extraction est indiquée par la formule (1,3) comme suit :

$$w' = D(S_w^*, K) \quad (1,3)$$

La marque W' doit être détectée à partir de avec/ou sans la connaissance du signal audio original S . Si S_w n'est pas modifiée (attaquée), alors W' correspond exactement à W . [12]

5. Les types du tatouage numérique :

Le tatouage vise trois signaux numériques : l'image, la vidéo et l'audio. Depuis le début de la recherche sur le tatouage, le domaine de l'image s'est bien développé et a attiré plus d'attention. La plupart des techniques de tatouage vidéo actuelles traitent les images vidéo comme une séquence d'images fixes et tatouent chacune d'elles en conséquence. Comparé au tatouage d'images et de vidéos, le tatouage audio est plus difficile en raison de la moindre redondance des signaux audio et de la sensibilité élevée du système auditif humain (HAS), qui est supérieure à celle du système visuel humain (HVS).

5.1. Tatouage des images

Le tatouage d'images, comme indiqué précédemment, est un processus d'insertion d'un signal secondaire dans une image de telle sorte que le signal peut être détecté ou extrait ultérieurement.

5.2. Tatouage des vidéos

Une vidéo est une succession d'images numériques (appelées trames) affichées à une certaine cadence. L'oeil humain a comme caractéristique d'être capable de distinguer environ 20 images par seconde. Ainsi, en affichant plus de 20 images par seconde, il est possible de tromper l'oeil et de lui faire croire à une image animée. Le tatouage de vidéo numérique se résume souvent à des approches image par image comme donné ci-dessous :

$$f'_t = f_t + \alpha w_t \quad (1.1)$$

Où f_t est la trame vidéo originale à l'instant t , f'_t sa version tatouée, α est la force de tatouage et w_t est le signal de tatouage. Par conséquent, chaque trame peut être considérée comme un document tatoué individuellement [20-21].

5.3. Tatouage audio

Les signaux audio sont représentés par des échantillons dans l'intervalle de temps, et la quantité d'informations pouvant être intégrées de manière robuste et non audible est donc bien inférieure à celle des supports visuels [8]. Les exigences des techniques de tatouage audio sont les plus difficiles à satisfaire comparées à celles des autres applications du tatouage numérique. La tâche d'un encodeur de tatouage est de régler le signal à tatouer afin de garantir l'inaudibilité et d'intégrer simultanément le tatouage avec la puissance maximale en fonction du signal porteur pour fournir une robustesse maximale. Un encodeur de tatouage audio perceptuel comprend généralement plusieurs composants (voir figure 1.4). Le bloc de codage et de modulation code les informations m au moyen d'une clé secrète K et modifie des composantes de porteuse sélectionnées du signal audio, telles que l'amplitude, la phase et la

fréquence. Le bloc modèle psycho-acoustique (PAM) analyse le signal original $c_o(t)$ afin de calculer des seuils de perception comme le seuil de masquage minimal. Il peut également représenter les paramètres de contrôle psycho-acoustique tels que la différence de phase maximale admissible ou les seuils de masquage temporel. Le modèle utilisé est déterminé par le type de modulation utilisé dans l'algorithme spécifique.

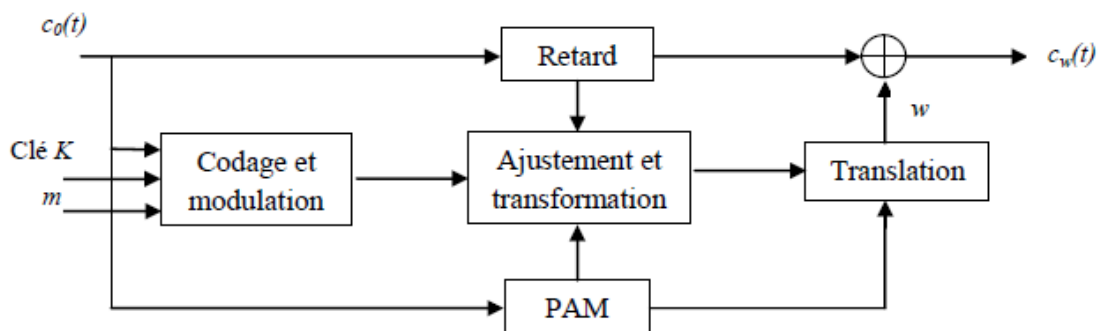


Figure 1-4 : Encodeur de tatouage audio et ses composants.

6. Propriétés requises du tatouage numérique :

Avant de nous pencher sur les applications possibles des systèmes de tatouage, nous allons décrire les trois propriétés généralement utilisées pour décrire les systèmes de tatouage, le tatouage numérique fait appel aux trois principes de base suivants : [2]

6.1. Imperceptibilité :

elle existe sous un autre nom : la distorsion d'insertion. Il s'agit de faire en sorte que l'impact auditif du marquage soit le plus faible possible afin que le signal audio tatoué soit imperceptiblement équivalent au signal original. [14]

6.2. La robustesse :

est défini comme une résistance du tatouage contre les transformations du signal audio. La sécurité caractérise la façon de résistance du marquage vis-à-vis des attaques « malicieuses ». [14]

6.3. Capacité :

ou le taux d'intégration ; on l'appelle aussi ratio, qui est le rapport entre le nombre de données à dissimuler et la taille du signal audio hôte. [14]

7. Les attaques menaçant le tatouage :

7.1. les attaques de la dynamique :

ces attaques consistent à modifier la sonie du signal audio : il s'agit de l'augmenter et de la diminuer dans la plupart des cas ou de la soumettre à des transformations non linéaires (expanseur ou compresseur de dynamique, amplification des basses, lissage du signal, etc...).

7.2. Les attaques par filtrage :

utilisées pour augmenter ou supprimer certaines parties du spectre du signal audio : filtrage passe-bas, passe-haut, tout-pole mais également égaliseur de spectre, modification de la répartition du signal entre la voie de gauche et la voie de droite dans le cas de signaux stéréo sont autant de configurations possibles.

7.3. Les modifications d'ambiance :

qui permettent de simuler les effets d'une pièce lors de l'écoute, notamment les ajouts de réverbération (ou écho). Ces perturbations modifiant la perception du son, elles ne seront pas prises en compte dans cette étude.

7.4. Les changements de format :

cette catégorie regroupe le ré-échantillonnage ou l'interpolation des signaux à une fréquence d'échantillonnage différente du signal original, la modification du nombre de bits utilisés pour la quantification des échantillons, les compressions du signal (compression MPEG par exemple), les conversions sous format analogique (CNA « Conversion Numérique Analogique » -CAN « Conversion Analogique Numérique ») mais également des problèmes dits de changement de la polarité du signal audio. Changer la polarité consiste à inverser le signe de tous les échantillons du signal audio. Ce problème se produit fréquemment lors de l'acquisition d'un signal audio analogique.

7.5. L'ajout de bruit :

lors d'un enregistrement d'un signal audio tatoué analogique dans un environnement bruité.

7.6. Les effets de modulation :

parmi lesquels on distingue les vibratos, les chorus ou les modulations d'amplitude. Ces perturbations sont spécifiquement utilisées en studio pour modifier les perceptions sonores du signal audio. Elles ne seront donc pas considérées ici, puisque la qualité du signal est modifiée.

7.7. Les modifications de l'échelle temporelle et du pitch :

Les modifications de l'échelle des temps permettent de modifier la durée d'un signal en le dilatant ou le contractant. Elles peuvent être involontaires dans le cas d'une conversion analogique-numérique du signal audio tatoué ou volontaires pour des diffusions radios où l'extrait sonore, préalablement tatoué, doit être diffusé dans un temps imparti. Dans le cas des conversions analogiques-numériques, le signal audio tatoué peut être ré-échantillonné à une fréquence d'échantillonnage légèrement différente de l'émission (inférieure à une dizaine d'échantillons) ; cette différence d'échantillonnage est souvent liée aux imperfections des quartz des convertisseurs. Dans le cas des diffusions radio, le "time stretching" peut être utilisé pour modifier à l'occasion la durée du signal sans modifier le pitch de sorte à satisfaire la contrainte de temps de diffusion sans altérer la perception du signal. A ces modifications de l'échelle des temps, s'ajoutent les modifications de pitch, qui permettent par exemple de modifier la hauteur de la voix ; puisqu'elles dénaturent la perception du son, ces modifications de pitch ne seront donc pas considérées dans cette étude.[10]

8. Domaine d'application du tatouage numérique

- ✓ **L'annotation de documents sonores:** pouvant servir d'aide à l'indexation dans les bases de données: l'information cachée à destination de l'auditeur ou de l'administrateur de la base de

données peut indiquer le nom de l'artiste, le lieu de l'enregistrement ou toute autre donnée relative au signal. Cette annotation peut être faite en studio ou en temps-réel lors de l'enregistrement.[2]

- ✓ **L'amélioration de systèmes de transmission existants:** l'information peut par exemple **permettre** l'écoute stéréo dans un système de transmission initialement dédié aux signaux mono ou diffuser le signal audio sous format numérique caché dans la bande FM analogique.
- ✓ **L'identification du document:** Cette application, souvent associée au tatouage de protection, peut être envisagée dans un contexte de transmission de données existe lors que l'identifiant ne sert pas de preuve de propriété mais permet d'établir des statistiques sur l'utilisation du document. L'information identifie le signal audio lors de son transfert dans un réseau de diffusion (radio, télévision ou Internet). Elle permet, par exemple, de savoir sur quelle radio a été diffusé le signal audio, combien de fois, Ces statistiques peuvent intéresser notamment les analyseurs de marché. Cette identification peut également remplacer les systèmes de mesure d'audience (établis pour des transferts analogiques alors que les diffusions télévisées tendent à devenir numériques).
- ✓ **Le contrôle d'applications cible:** L'information peut être destinée à une application adjacente à l'écoute du signal audio, nécessitant la mise en œuvre d'un décodeur spécifique.

Deux exemples peuvent être cités. Le premier fait référence à certaines stations de radio FM, qui utilisent l'information cachée pour réduire le bruit lié à la transmission FM du signal audio. Le second est le projet RNRT ARTUS dont l'enjeu est d'utiliser le tatouage de la séquence audiovisuelle pour

transmettre des informations de mouvement à un clone virtuel. Ce clone, synthétisé par un décodeur spécifique, sera incrusté dans l'image télévisée pour reproduire l'information du télétexte en langage des signes.

- ✓ **L'ajout d'informations publicitaires:** Le signal audio peut cacher des informations annexes à diffuser vers un auditeur. Un système de tatouage pour le télé-achat, l'IVDS (Interactive Video and Data Services) a d'ailleurs été proposé : l'information cachée contient la référence du produit mis en vente par le télé-achat.

➤ **L'ajout de données supplémentaires au média :**

Plus récemment, les chercheurs se sont intéressés à utiliser le tatouage comme un moyen d'embarquer des informations supplémentaires sur le média, notamment pour l'indexation du contenu audio, pour faciliter l'utilisation et le stockage dans une base de donnée et inclure des métadonnées décrivant le contenu (ex : l'histoire ou les paroles d'une œuvre musicale) ou des informations à destination d'une application cible (ex : à destination des utilitaires de lecture).

Cette application peut aussi être utilisée en considérant le signal audio comme un support d'information, le système de tatouage se présente alors comme une chaîne de transmission bruitée, pour laquelle le tatouage est l'information utile et le signal numérique est un bruit [2].

➤ **Applications médicales**

Le tatouage audio et image peut être appliqué pour protéger le droit d'auteur des images médicales et des fichiers audio médicaux comme les sons respiratoires et les battements de cœur. Les informations peuvent être protégées de l'accès illégal par des techniques de tatouage. Ces applications incluent l'imagerie médicale, la télésanté et la télémédecine, entre autres. L'imagerie médicale permet de visualiser les tissus, les organes ou d'autres parties du corps, en utilisant les technologies de l'information et des communications.

9. Conclusion :

Le tatouage est un procédé assez récent, inspiré de techniques plus anciennes. Dans ce chapitre nous avons introduit le sujet relatif à l'embarcation d'informations en général et au tatouage en particulier.

Chapitre 02 : tatouage numérique des fichiers audio

1. Introduction :

Le tatouage audio est utilisé pour la sécurité du signal audio comme la protection des droits d'auteur et l'authentification. Dans le tatouage audio, le tatouage est intégré dans un signal audio hôte de manière à ce que le contenu intégré ne soit pas identifié. Dans le même temps, le tatouage intégré doit être suffisamment robuste contre diverses attaques de tatouage audio. Ce chapitre présente les techniques fondamentales de tatouage audio.

2. Définition des fichiers audio :

Une boîte ou un conteneur similaire pour contenir et organiser des enregistrements sonores sur l'un des différents supports.[31]

3. Le son :

Le son est une vibration qui traverse le milieu sous la forme d'ondes longitudinales. Cela signifie que les ondes sonores sont des ondes dans lesquels les particules du milieu vibrent parallèlement à la direction de propagation des ondes. Les ondes sonores sont appelées ondes mécaniques car elles nécessitent un milieu pour se propager. Le milieu peut être solide, liquide ou gazeux.[31]

4. Les ondes sonores :

Une onde sonore est une vibration qui appartient à la catégorie des ondes mécaniques longitudinales. Elle se propage grâce aux particules de matière de son milieu en créant des zones de compression et de raréfaction.

Les ondes sonores sont émises par une source (voix humaine, instrument de musique, diapason) et mises en évidence par un récepteur tel que l'oreille humaine ou animale, un sonomètre. Elles sont caractérisées par leur fréquence.

5. Caractéristiques du son :

5.1. Fréquence ν :

C'est le nombre de répétition d'un même état vibratoire (période) par unité de temps, son unité est l'Hertz (Hz).

$$\nu = \frac{1}{\text{période}} = \frac{1}{T}$$

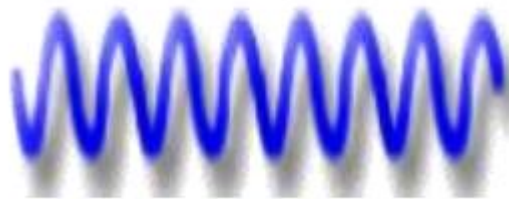


Figure 5 : Basses fréquences

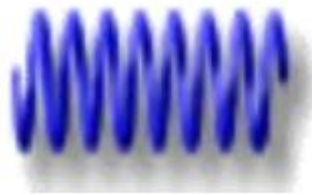


Figure 6 : haute fréquences

5.2. Amplitude :

élongation maximale d'un point à partir de sa position d'équilibre.

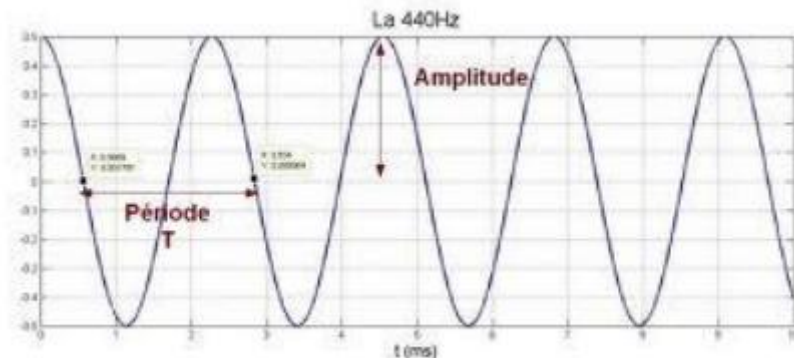


Figure 7 : l'amplitude

5.3. Période T:

C'est le temps qui s'écoule entre deux états vibratoires identiques consécutifs.

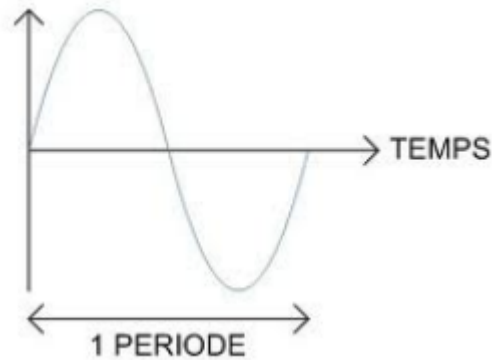


Figure 8 : période

5.4. Longueur d'onde λ :

c'est la plus petite distance séparant deux points ayant le même état vibratoire, son unité est le mètre (m) ou c'est la distance parcourus durant une période.

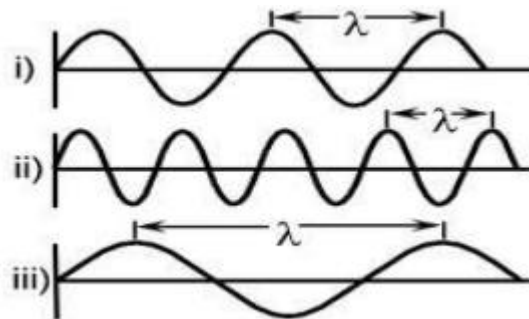


Figure 9 : la longueur d'onde

6. Formats audio numérique :

6.1. Les formats audio sans compression :

sont les formats de fichier appropriés pour le stockage et la réalisation d'enregistrements originaux. il y a quelque exemple de ce format [30]

- **WAV: waveform (forme d'onde) :** C'est un format audio «basique» développé par Microsoft. L'encodage et le décodage sont immédiats car il n'y a aucune compression. Le son peut être mono ou stéréo.

- **RAW (Real Audio Wrapper)** est un format audio utilisé pour représenter les données de son en modulation d'impulsion codée sans en-tête ni métadonnées.

6.2. Les formats audio compressés sans perte :

La compression sans perte (lossless) signifie qu'on utilise un algorithme tel qu'on peut toujours retrouver les données d'origine. Dans l'absolu, il existe toujours un fichier d'origine tel que l'algorithme ne ferait pas gagner d'espace disque. il y a quelque exemple de ce format

L'ATRAC (Adaptive Transform Acoustic Coding) est une technique de compression audio avec et sans pertes développée par Sony en 1992. Ce format a subi plusieurs évolutions :ATRAC3, ATRAC3plus (familièrement écrit ATRAC3+) et ATRAC Advanced Lossless se sont succédé respectivement en 1999, 2002 et 2006.

FLAC (Free Lossless Audio Codec), est un format libre de compression audio sans perte. Maintenu par la fondation Xiph.org

6.3. Les formats audio compressés avec perte :

La compression audio avec perte (lossy) se base sur des algorithmes spécialisés pour déterminer quelles transformations simplifient la représentation du son tout en étant perçue quasiment de la même manière par l'oreille humaine. Elle diminue la taille du fichier en éliminant les nuances perçues comme les moins utiles.

- **Le format mp3** est très répandu sur l'Internet, surtout en raison de son historique. Il s'agit d'un format "destructeur", dont la taille dépend fortement de la qualité (qu'on mesure en kbps).
- **WMA** :Se raréfiant de nos jours, le format WMA (Windows Media Audio) a été développé par Microsoft et reste utilisable notamment

dans le logiciel de montage Movie Maker ou le dictaphone Windows.

7. Classification du tatouage numérique :

Le tatouage numérique peut être classé en plusieurs catégories selon différentes caractéristiques comme résumé sur la figure 10

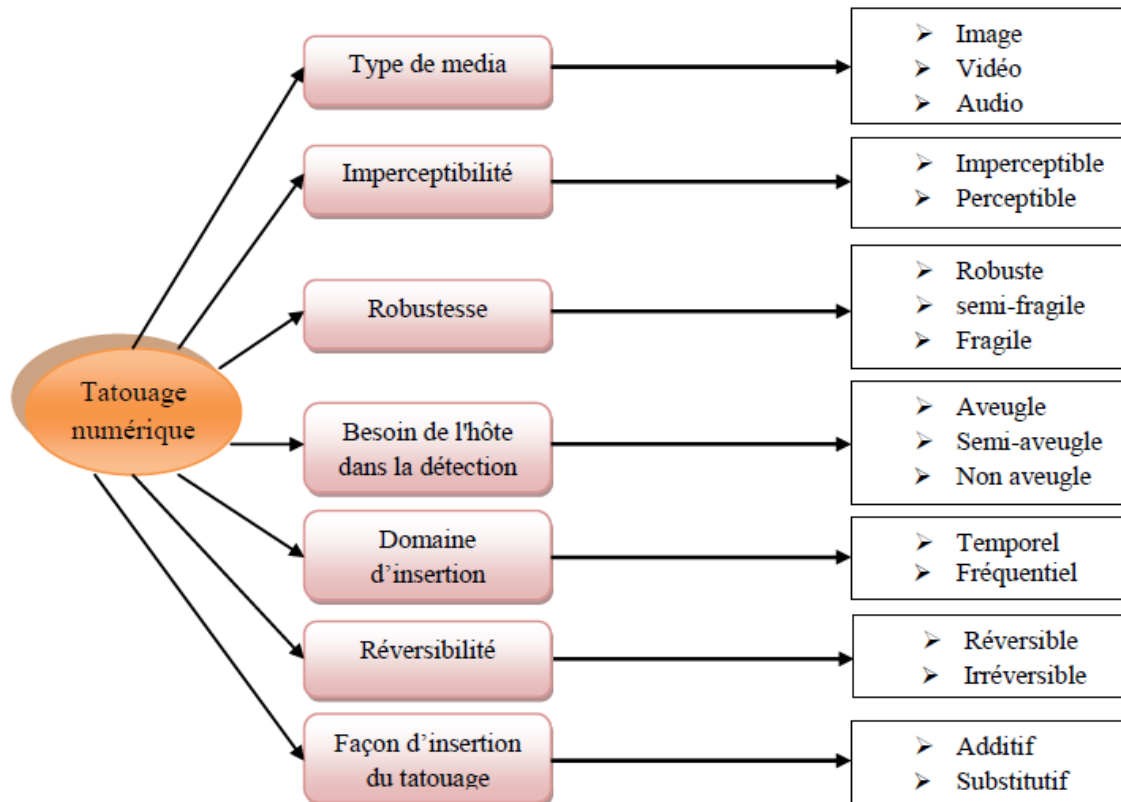


Figure 10:Classification du tatouage numérique

7.1. L'imperceptibilité / la perceptibilité :

La perception humaine est également utilisée comme un critère pour classer les techniques de tatouage visible et invisible[24]

7.2. Tatouage robuste, semi-fragile et fragile :

7.2.1. Le tatouage robuste :

Ce type de tatouage sert à garantir la protection des droits d'auteurs. Les algorithmes de tatouage robustes permettent de trouver la marque après d'éventuelles distorsions telles que la compression, le filtrage et le bruit

7.2.2. Tatouage semi-fragile :

Ce type de tatouage est robuste à certains types de manipulations ou dégradations comme la compression avec perte, plusieurs méthodes et travaux reposent sur ce schéma ont été réalisés[19]

7.2.3. Tatouage fragile :

Pour le tatouage fragile, la marque insérée est sensible et fragile et elle ne doit pas résister aux modifications de l'image tatouée. Ce type de tatouage est utilisé pour détecter s'il y a eu une manipulation ou une modification sur le contenu numérique.

7.3. Tatouage non aveugle, semi-aveugle et aveugle :

7.3.1. Le tatouage non aveugle :

Détection est dite « non aveugle » si le signal original est nécessaire pour l'extraction de la marque.

7.3.2. Tatouage semi-aveugle :

Détection est dite « semi-aveugle » n'utilise pas le signal original mais elle se base sur quelques caractéristique dérivées de ce dernier.

7.3.3. Tatouage aveugle :

C'est le cas où le signal original n'est pas disponible pendant le processus d'extraction.

L'utilisation du signal audio original permet de savoir si le signal d'origine a été attaqué ou non, par exemple si le signal tatoué a subi une amplification. La présence du signal original fournit une référence qui peut servir à améliorer la détection de la signature. Par conséquent, de manière générale, les schémas "non-aveugle" ont une robustesse supérieure.[24]

7.4. Tatouage temporel et fréquentiel :

7.4.1. Tatouage temporel :

Ce domaine permet d'utiliser des modèles psychoacoustiques qui établissent les conditions d'inaudibilité du signal de tatouage en présence du signal audio. Dans ce domaine, l'insertion s'attache à modifier l'amplitude du signal audio [10].

7.4.2. Tatouage fréquentiel :

Ce domaine est souvent choisi pour son invariance à certaines attaques désynchronisantes : en effet, la représentation fréquentielle est robuste aux modifications de l'échelle des temps (opérations de time stretching à pitch constant) couramment appliquées aux signaux audio

7.5. Les tatouages réversible et non réversible :

Dans les schémas de tatouage irréversible ou non-inversible, les modifications de l'image originale lors de processus d'insertion du watermark reste d'une façon permanente, malgré que ces modifications soient souvent insignifiantes [27].

Notez que certaines applications sensibles et de grande importance ne peuvent pas utiliser ces schémas de tatouage, tels que les applications d'images militaires, juridiques et médicales, où toute petite distorsion est difficile à accepter [27].

Au contraire des schémas irréversible, après l'extraction du watermark, le tatouage réversible (inversible) permet de récupérer le signal original, tous en supprimant le watermark et en restaurant les données originales qui sont écrasées lors du processus d'insertion du watermark [27]. Les méthodes de tatouage réversibles sont appropriées aux applications d'authentification et les applications militaires et médicales [28].

7.6. Les tatouages additifs et substitutifs :

Dans le tatouage additif, le watermark est directement ajouté au signal hôte avec une puissance uniforme, tandis que dans le tatouage substitutif [15], la puissance du watermark par composant est proportionnelle à la valeur du signal hôte.

8. Présentation des techniques du tatouage :

8.1. Temporel :

8.1.1. Méthode LSB

Une méthodologie très populaire est l'algorithme LSB (Least Significant Bit), qui remplace le bit le moins significatif dans certains octets du fichier de couverture pour masquer une séquence d'octets de données cachées. C'est généralement une technique efficace dans les cas où la substitution LSB ne provoque une dégradation significative de la qualité, comme dans les bitmaps 24 bits.

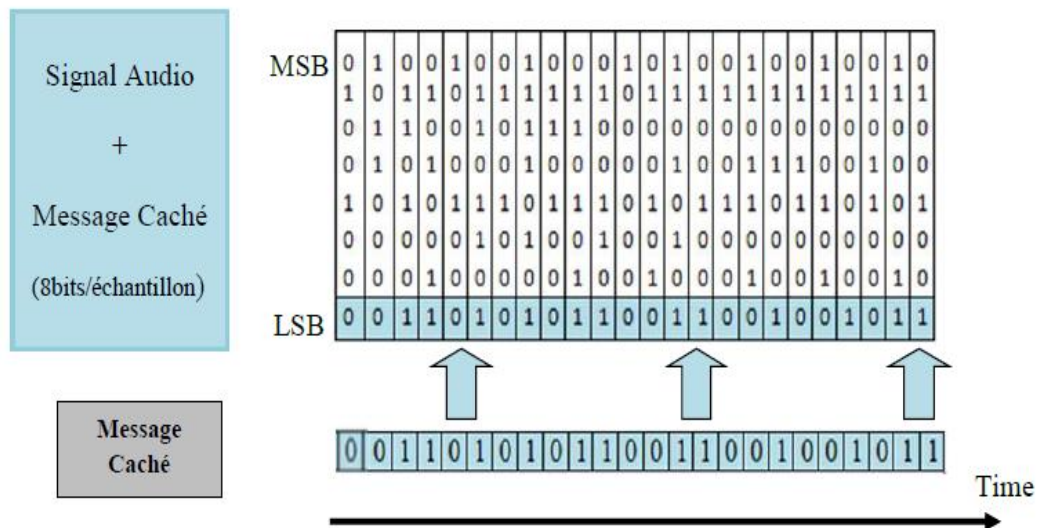


Figure 11 : Exemple d'une méthode LSB.

8.1.2. Tatouage par QIM :

La technique de modulation de l'indice de quantification (QIM) a été proposée par Chen et Wornell comme méthode de tatouage numérique valide. Elle présente un très bon compromis robustesse-transparence et cache des

informations en quantifiant des échantillons. Dans la méthode QIM, chaque échantillon est quantifié avec un pas de quantification prédéterminé. Ensuite, une légère modification est apportée à chaque échantillon quantifié en fonction des valeurs des bits de la marque. Dans, l'auteur a introduit une implémentation simple de QIM comme suit : supposons que l'échantillon hôte d'entrée est X , le pas de quantification est Δ , et le bit de la marque à intégrer est $w \in \{0,1\}$, alors l'échantillon tatoué X' est obtenu comme suit :

$$X' = Q(X, \Delta) + \frac{(2w-1)\Delta}{4}$$

Où $Q(X, \Delta)$ est la fonction de quantification standard donnée par $Q(X, \Delta) = \lfloor \frac{X}{\Delta} \rfloor \Delta$

8.1.3. Masquage de l'écho :

La méthode de dissimulation par écho (Echo Hiding) insère des données dans le signal audio en introduisant un écho court au signal hôte. La nature de l'écho est une résonance ajoutée à l'audio hôte. Par conséquent, le problème de sensibilité du système auditif humain HAS (Humain Auditory System) au bruit additif est évité. Après l'ajout de l'écho, le signal audio tatoué conserve les mêmes caractéristiques statistiques et perceptuelles. C'est une méthode de tatouage additif et aveugle destiné essentiellement aux signaux audio. Un bit est inséré par écho. Pour ajouter plusieurs bits, le signal original est décomposé en petits segments et un bit de la marque est caché dans chaque segment en ajoutant son écho.[15]

8.2. Fréquence :

8.2.1. La Transformée en Cosinus Discrète - DCT :

La transformée en cosinus discrète convertit le signal du domaine temporel en signal du domaine fréquentiel. La DCT à deux dimensions donne les coefficients de fréquence sous la forme d'une matrice. Le coin supérieur gauche de la matrice représente les coefficients de fréquence les plus bas, tandis que le coin inférieur droit représente les coefficients de fréquence les plus

élevés. En utilisant la DCT, le média hôte est divisé en pseudo bandes de fréquences, et généralement la marque est insérée dans la sous-bandes de fréquence moyenne. Inversement, si la marque est insérée dans la sous bande de hautes fréquences, elle est plus facile à cacher, mais le schéma de tatouage est moins résistant aux attaques .

Cette importante transformation a été initiée par (Ahmed et al., 1974) et a été utilisée et étudiée largement car elle est très importante pour la compression de donnée. L'un des premiers algorithmes présentés par (Cox et al., 1997) a utilisé l'approche DCT globale pour intégrer une marque robuste dans la partie perceptivement significative du système visuel humain (HVS). Comme d'autres transformations, la transformée en cosinus discrète (DCT) tente de décorréler les données du signal. Après décorrélation, chaque coefficient de transformation peut être codé de manière indépendante sans perte d'efficacité de compression. La transformée en cosinus discrète (DCT) est une transformation spectrale, qui a les propriétés de la transformée de Fourier discrète , mais qui n'utilise que des fonctions cosinus de différents nombres d'ondes comme des fonctions de base. Elle fonctionne sur des signaux à valeurs réelles ou sur des coefficients spectraux. Les définitions de la DCT et de la DCT inverse sont données par les expressions suivantes:

$$X(k)=\sum_{n=0}^{N-1} w(k)y(k)\cos \pi(2n-1)/2n \text{ pour } k=0,1,2,\dots, N-1.$$

Avec

$$w(k)=\begin{cases} \frac{1}{\sqrt{n}} & \text{pour } k = 0 \\ \sqrt{2/n} & \text{pour } 1 \leq k \leq n \end{cases}$$

8.2.2. La Transformée en ondelette Discrète -DWT :

La transformée en ondelettes est une technique moderne fréquemment utilisée dans le traitement des images numériques, la compression, le tatouage, etc. Au cours des dernières années, la transformée en ondelettes a été largement

étudiée dans le traitement du signal en général et la compression d'images en particulier. Dans certaines applications, les systèmes de tatouage basés sur les ondelettes surpassent les approches basées sur la DCT.[15]

9. Evaluation des performances des algorithmes de tatouage audio:

9.1. Performance de l'imperceptibilité :

L'imperceptible du tatouage est estimée en mesurant le SNR (Signal to Noise Ratio) [53]. Le SNR est calculé comme suit :

$$SNR=10*\log 10\left(\frac{\sum_{n=1}^N Y^2(n)}{\sum_{n=1}^N [Y(n)-Y'(n)]^2}\right)$$

Y:signal original et Y':signal tatouée

Performance de robustesse :

La robustesse de tout système de tatouage est une exigence très importante. Pour comparer les similitudes entre le tatouage original W et le tatouage extrait W' , nous utilisons le Coefficient Normalisé (NC).il est calculé comme suit

$$NC(W,W')=\sum \sum \frac{W(i,j)*W'(i,j)}{|W(i,j)|^2}$$

10. Conclusion :

L'objectif de ce chapitre était d'introduire quelques notions sur la technique de tatouage de documents numériques et d'audio en particulier.

Chapitre 03 : Conception et Réalisation

1. Introduction

Nous présentons, dans ce chapitre la approche propose et les outils utilise pour réalise notre application, est les étapes d'insertion et l'extraction de la marque et teste l'imperceptible et la robustesse.

2. Méthode propose pour tatouage aveugle :

La méthode propose pour tatouée fichier audio est méthode LSB (Least Significant Bit) on insère un bit de texte à dernier bit de fichier audio. L'opération compose à deux : Le schéma d'une insertion et Le schéma d'une extraction.

2.1. Le schéma d'une insertion : pour insertion la marque au fichier audio(en utilise les fonctions prédéfinie au matlab)

1. Lire fichier audio de format (.wav)
2. Converti fichier audio au binaire
3. Saisie texte (marque)
4. Converti texte au binaire
5. Insert un bit de marque à dernier bit de fichier audio
6. Enregistre nouveau fichier audio au même format

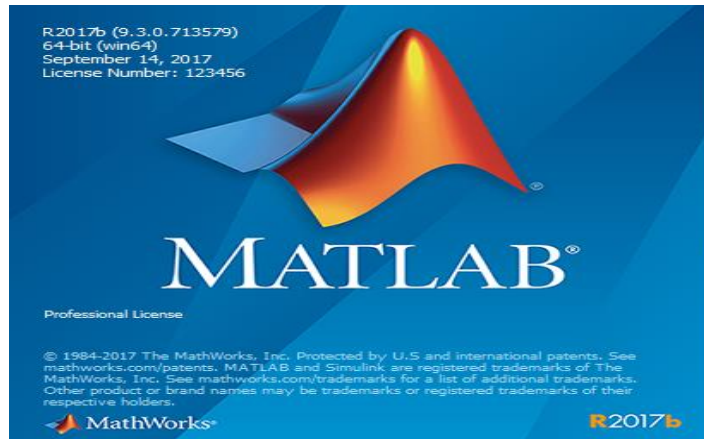
2.2. Le schéma d'une extraction : pour extraction la marque au audio tatouée(en utilise les fonctions prédéfinie au matlab)

7. Lire fichier audio tatouée de format (.wav)
8. Converti fichier audio au binaire
9. Extraire texte binaire (marque)
10. Converti marque au texte

3. Les outils de test et simulation utilisés :

Matlab est un logiciel de calcul numérique commercialisé par la société MathWorks1. Il a été initialement développé à la fin des années 70 par Cleve

Moler, professeur de mathématique à l'université du Nouveau-Mexique puis à Stanford, pour permettre aux étudiants de travailler à partir d'un outil de programmation de haut niveau et sans apprendre le Fortran ou le C.



Matlab signifie Matrix laboratory. Il est un langage pour le calcul scientifique, l'analyse de données, leur visualisation, le développement d'algorithmes. Son interface propose, d'une part, une fenêtre interactive type console pour l'exécution de commandes, et d'autre part, un environnement de développement intégré (IDE) pour la programmation d'applications.[13]

4. Environnement matériel :

L'application a été créée depuis un PC HP

- Mémoire : 4,00 GO RAM.
- Processeur : Intel ® Coré™ i3-5005U CPU @ 2.00 GHZ 2.00GHz.
- Système d'exploitation : Windows 7 Professionnel 64 bits.

5. Résultat et discussion :

5.1. Interface de programme :

l'interface avant l'exécution de programme comme figure 12 et l'interface après l'exécution de programme comme figure 13 qui permet de lire le signal hot (fichier audio) et insère texte , ensuite extrait texte au signal tatouée

5.1.1. L'interface d'insertion du tatouage :

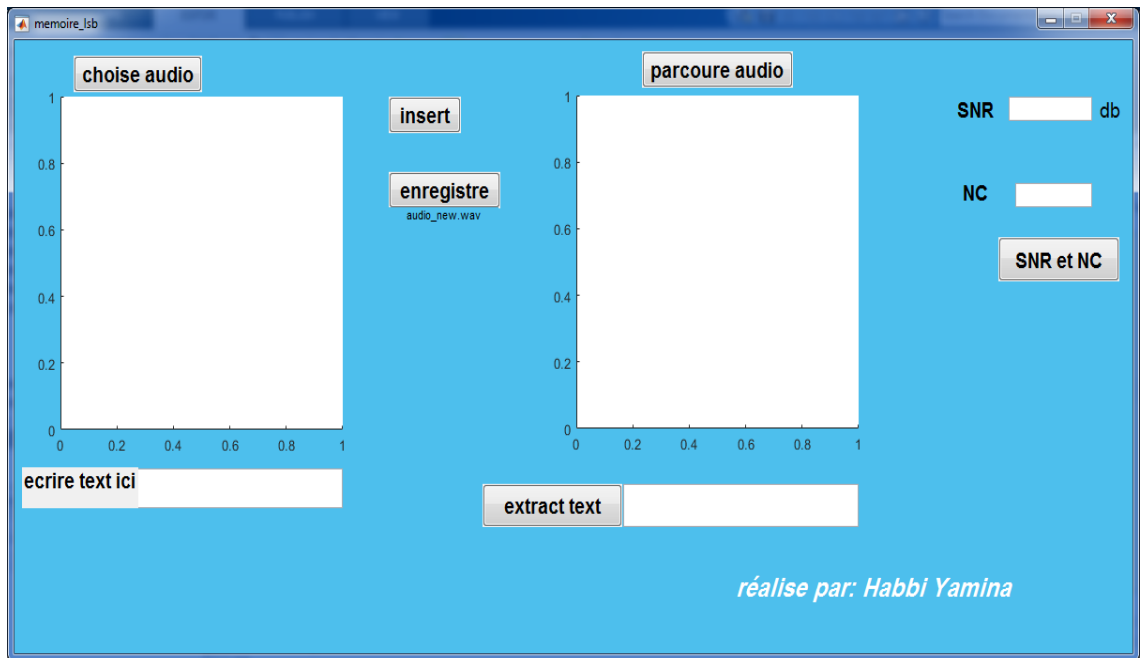


Figure 12: interface de programme avant test

5.1.2. L'interface d'extraction du tatouage :

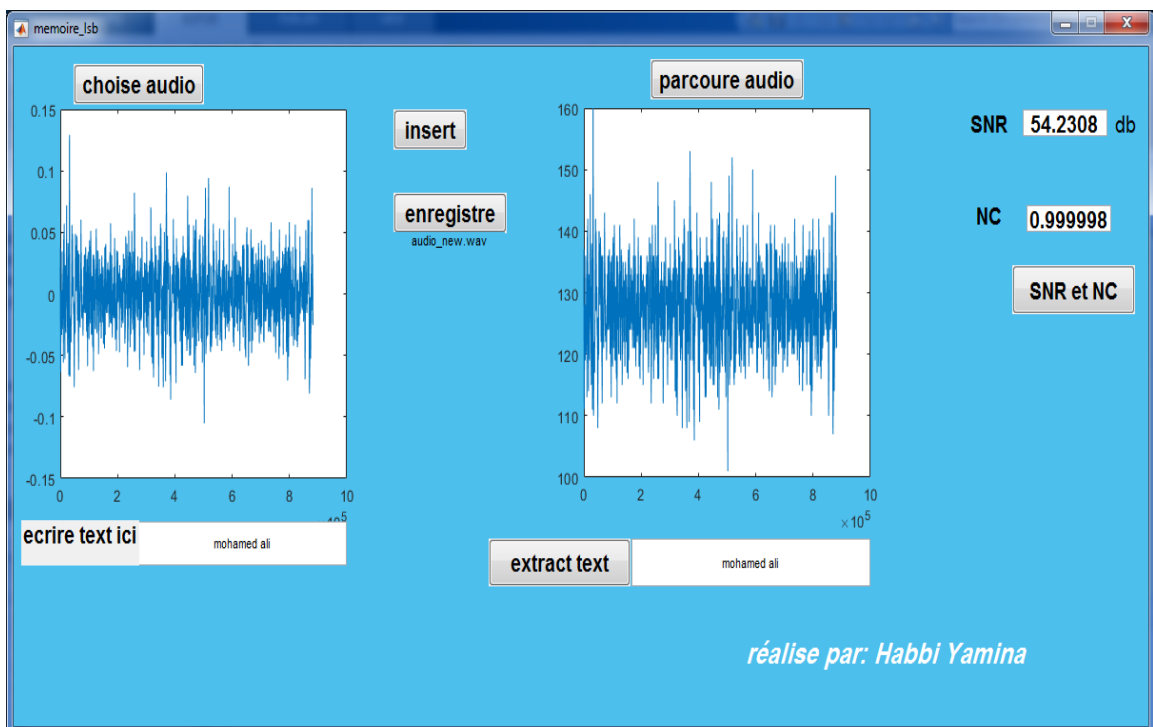


Figure 13 : interface de program après test

5.2. Résultats :

Pour évaluer l'algorithme proposée on a teste SNR et NC

nom audio	SNR	NC
101_1b1_Al_sc_Meditron.wav	54.3378	1
102_1b1_Ar_sc_Meditron.wav	54.2308	0.999998
104_1b1_Al_sc_Litt3200.wav	54.3209	0.999999
104_1b1_Ar_sc_Litt3200.wav	54.3055	0.999998
104_1b1_Ll_sc_Litt3200.wav	54.2939	0.999991
104_1b1_Lr_sc_Litt3200.wav	54.4068	0.999999
104_1b1_Pr_sc_Litt3200.wav	54.3252	0.999999
105_1b1_Tc_sc_Meditron.wav	54.246	0.999999
106_2b1_Pl_mc_LittC2SE.wav	54.2433	0.999999
battements-de.wav	54.196	1

Tableau 0-1: Les valeurs SNR signal sur bruit et NC

5.3. Discussion :

Après le résultat de tableau II-1 on a remarqué

- la valeur de NC est 1 parce que la marque extrait complètement .les valeur prédéfinie de NC est [-1,1]
- la valeur SNR est entre [54.196 ,54.3378]

6. Conclusion :

Selon les résultats des différents tests que nous avons effectués, nous pouvons dire que notre schéma de tatouage répond aux exigences principales. Cependant il est nécessaire de procéder à des tests plus poussés, afin de déterminer ses limites, et d'effectuer d'éventuelles adaptations.

Conclusion générale

Le tatouage numérique audio utilise pour protéger le fichier audio à communication et transmission. L'objectif global de ce travail était de montrer un tatouage numérique aveugle pour la protection des fichiers audio par l'algorithme LSB.

Les difficultés que nous avons rencontrées est de savoir comment implémenter le regroupement de signal et texte après conversion au binaire.

Les perspectives envisagées pour améliorer ce travail sont multiples, Nous identifions plusieurs perspectives :

- ✓ Utilisation du tatouage numérique par DCT et DWT.
- ✓ Tester les attaques sur signal.

Bibliographie

2. **J. Cox, Matthew L. Miller, Jeffrey A. Bloom, Jessica Fridrich, and Ton Kalker.** *Digital Watermarking and steganography*. s.l. : Second Edition Ingemar, vol. 624, novembre 2007.
3. *handmade paper and its watermarking: a bibliography.* B. franklin. **Hunter, Dard.** 1967.
4. **mathison.** *Gentlemen's Magazine*. s.l. : XLIX, 1779.
5. **kahn, David.** *The Codebreakers-the Story of Secret Writing*. New York : Scribner, 1967.
6. **B.Schneier.** *Cryptographie appliquée:Algorithme, protocoles et codes sources en C*. s.l. : vuibert Informatique, deuxième édition, janvier 2001.
7. **J. Dumas, J. Roch, E. Tannier, and S. Varrette.** *Théorie des codes-compression*. France : Dunod, 2007.
8. *Tatouage numérique des images: Application à la messagerie médicale.* **Hajjaji, M.Ali.** Tunis : thèse de doctorat, 2013, Vol. Université de Monastir.
9. *Elaboration d'une nouvelle approche de tatouage pour l'indexation des images médicales.* **Trichili, Hanène.** France : Ecole nationale supérieure de télécommunications, 2006, Vol. PhD thesis.
10. **Baras, Cléo.** *Tatouage informé de signaux audio numériques*. s.l. : Télécom ParisTech, 2005.
11. Format de fichier audio. *wikipedia*. [En ligne] [Citation : 01 04 2023.]
https://fr.wikipedia.org/wiki/Format_de_fichier_audio.
12. **Salah, EUSCHI.** *Une Approche de Tatouage Numérique Irréversible*. univ ouargla : these doctorat, 2022.
13. **cadieux, yassine ariba-jérôme.** *manuel matlab*. s.l. : ICAM.
14. **Abderrahmane, DAHAM.** *Sécurisation des images couleur par la watermarking*. oran : s.n., 2010.
15. **H.Abdulla, Yiqing Lin.Waleed.** *Audio watermark*. london : springer, 2015.
16. **M, Q.Fan ,H-X.wang,S-K.Li.** *Restudy on SVD-based watermarking scheme*. s.l. : applied Mathematique and computation, 2008.
17. **C.Fontaine.** *Contribution à la recherche de fonctions booléennes hautement non linéaires, et marquage d'image en vue de la protection des droits d'auteur*. s.l. : PhD thesis,Thèse de Doctorat de l'université Paris 6, 1998.
18. **J.O.Ruanaidh, H.Petersen,A.Herrigel,S.Pereia and T.Pun.** *Cryptographic copyright protection for digital images based on watermarking techniques*. s.l. : theoretical computer science, 1999.
19. **Bekkouche, S.** *Etude et implémentation des techniques de tatouage numérique*. Sidi Bel Abbes : thèse de Doctorat, Université de Djillali Liabes, Faculté des sciences exactes, 2017.

20. **Dugelay, G. Doerr et J. Luc.** *Problématique de la Collusion en Tatouage Vidéo Collusion Issue in VideoWatermarking.*
21. *A guide tour of video watermarking.* **Dugelay, G. Doerr et J.-L.** s.l. : Signal Processing : Image Communication, Special Issue on Technologies for Image Security, 2003, Vol. 18(4).
22. **K. Su, D. Kundur, et D. Hatzinakos.** *A novel approach to collusion resistant video watermarking. Security and Watermarking of Multimedia Contents IV, volume 4675 de Proceedings of SPIE, pages 491–502, January 2002.*
23. **G. Doerr et J.-L. Dugelay.** *Collusion issue in video watermarking dans Security, Steganography and Watermarking of Multimedia, Proceedings of SPIE, Contents VII, , volume 5681, pages 685–696, January 2005.*
24. **Y. Terchi,** *Développement de nouvelles techniques fréquentielles de tatouage du signal audio, thèse de Doctorat, département d'électronique, Université Ferhat Abbes, Sétif, 2018.*
25. **Sondes Ajili.** *tatouage des images médicales : ,Approche basée sur dct. Thèse de master, Ecole Nationale d'Ingenieurs de Sousse, Tunisie, 14 juillet 2012.*
26. **B. Patrick and C. Jean Marc,** *Tatouage couleur adaptatif fondé sur l'utilisation d'espaces perceptifs uniformes. Laboratoire des Images et des Signaux, Saint Martin d'Hères , France, juin 2004.*
27. **I.F. Jafar, K.A. Darabkh, R.T. Al-Zubi, R.R. Saifan,** *An efficient reversible data hiding algorithm using two steganographic images, Signal Processing. 128 (2016) 98–109. doi: 10.1016/j.sigpro.2016.03.023.*
28. **J. Zhou, W. Sun, L. Dong, X. Liu, O.C. Au, Y.Y. Tang,** *Secure Reversible Image Data Hiding Over Encrypted Domain via Key Modulation, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. 26 (2016) 441–452. doi:10.1109/TCSVT.2015.2416591.*
29. **Z. Guoliang.** *Face recognition with singular value decomposition. CISSE Proceeding, 2006.*

Webgraphie

1. MATLAB Answers. *MathWorks.* [En ligne] The MathWorks, Inc., 1994-2023. [Citation : 15 03 2023.] <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/>.
30. Format de fichier audio. *wikipedia.* [En ligne] [Citation : 01 04 2023.] https://fr.wikipedia.org/wiki/Format_de_fichier_audio.
31. <https://byjus.com/jee/properties-of-sound/>[05 05 2023]
-