

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك  
Département d'Électronique



# Mémoire de Projet de Fin d'Études

*présenté par*

**MOUALDI Ahmed**

*pour l'obtention du diplôme de Master en Électronique option système de vision et robotique*

---

## Identification de personne par analyse l'image d'iris

---

*Proposé par :* Mrs. BENBLIDIA Nadjia

Mrs. REGUIEGU Fatima Zahra

Année Universitaire 2012-2013

## *Dédicace*

*C'est avec un très grand honneur une aimance joie que je dédie ce mémoire a toute personne m'ayant apporté soutient et aide soit matériel soit morale pour la confection de ce modeste mémoire, a ça voire ma très chère mère et mon très chère père.*

*Sans oublier mes sœurs, Aicha, Fatma, houria et khadidja et mes frères Ali, Morfi, Mohamed et Morade, car sans ma famille je n'aurais pu franchir ce cap tant a tendu.*

*A mes jeunes frère Riadh, bochra, Amel, IKram,sohaib, Nessaiba, Ilham et abd eldjalile*

*Je le dédie aussi à mes très chers amis Sid Ali, Hamza et Amine*

*A la mémoire de mon frères Madjid que dieu L'accueil dans on vaste paradis*

*À tout mes famille sans exception*

*A tout les employés du département de l'électronique sans exception*

*A tous mes camarades et mes enseignants qui nous ont soutenues durant notre travail.*

*MOUALDI Ahmed*

## Dédicace

*C'est avec une immense fierté que je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents, Aucun mot ne saurait exprimer mon grand amour, mon respect et ma reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour ma formation et ma réussite.*

*Uniques et irremplaçables, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de vos sacrifices et de l'affection dont vous n'avez jamais cessé de m'entourer.*

*Dieu merci de m'avoir donné des parents aussi magnifiques.*

*Puisse Dieu vous accorder santé et longue vie.*

*A Mon frère Mohamed Lui souhaitant un prompt rétablissement et la santé et le bien-être optimal.*

*A toutes ma petite famille mes sœurs, Chehrazed & Kenza, et mes frères Abd El Rahmen & Youssef pour leurs soutiens morale et leur encouragements, un grand merci a eux*

*A la mémoire de Mon Cousin Amine que dieu L'accueil dans son vaste paradis*

*A mes très chères oncles :*

*A mon binôme MOUALDI Ahmed et à toute sa famille.*

*A mes très chères amis et camarades et mes enseignants qui nous ont soutenues durant notre travail.*

*A toutes les personnes qui nous ont Prodigué des encouragements et se sont donné la peine de nous soutenir durant cette formation.*

*A nos chers enseignants sans aucune exception.*

*KAINNOU Omar*

## *Remerciement*

*C'est grâce à Dieu qui nous a permis de finaliser notre travail et franchir les étapes les plus difficiles et de réaliser un vœu très chère alhamdoulillah.*

*C'est du fond du cœur que nous remercions toute les personnes que nous allons citer pour nous avoir apporté leur bénédiction aide et encouragement et nous prions DIEU tout puissant de les préserver en leur souhaitant joie bonheur et prospérité.*

*Un grand merci à notre promotrice Madame Benblidia Nadjia et reguiegu fatima zahra , pour sa direction, ses orientations, sa grande patience et sa compréhension.*

*Nos sincères remerciements et grande gratitude à notre encadreur Madame Benblidia Nadjia pour avoir guidé notre travail et nous avoir fait profiter de son expérience et de sa grande compétence.*

*Un autre merci à nos camarades et amis qui n'ont cessé de nous encourager tout*

*Merci enfin à nos parents, pour leurs soutient indéfectible.*

*A toutes nos familles pour toute l'aide qu'ils nous ont apporté durons toute cette période.*

# Résumé

La reconnaissance biométrique par iris est l'un des moyens les plus performants pour identifier une personne. En effet, des études biologiques ont montré que les profils et les courbes présents dans un iris garantissent son unicité. Le travail effectué dans ce mémoire a consisté à étudier un système complet et fiable de reconnaissance s'appuyant sur cette propriété: depuis le prétraitement jusqu'à la recherche dans une base de données, en passant par la codification. Ce système de reconnaissance est constitué d'un système de segmentation automatique basé sur la transformée de Hough (méthode de Canny pour l'extraction de contours) qui permet la localisation de la région de l'iris. La normalisation est utilisée pour la conversion de l'iris circulaire en forme rectangulaire sous forme de dimensions fixes en utilisant le modèle pseudo- polaire de Daugman. Ensuite, on procède au codage en s'appuyant sur l'utilisation de l'analyse en ondelettes de Haar pour extraire les coefficients qui caractérisent la texture de l'iris. Nous obtenons ainsi un code d'iris d'une taille fixe. Enfin, un méthode ont été employée pour la reconnaissance du modèle de l'iris : La distance de Hamming avec la reconnaissance parfaite sur un ensemble de 20 images de l'iris et les réseaux de neurones. Cette dernière a confirmé son efficacité et encourage de nouvelles recherches.

**Mots-clés:** Biométrie, localisation de l'iris, reconnaissance de l'iris, filtre de Canny, analyse en ondelettes de Haar, distance de Hamming.

# Abstract

Biometric iris recognition is one of the most efficient means to identify a person. Indeed, studies have shown that biological profiles and curves present in an iris guarantee its uniqueness. The work done in this subscript was therefore to study a comprehensive and reliable recognition based on this property, starting from the pre-treatment up to the search in a database, after codification. The recognition system consists of a system of automatic segmentation is based on the Hough Transform (Canny method for contour extraction) and is able to locate the iris region. Standardization is used to convert the circular iris into a rectangular form of fixed size using the Daugman's pseudo-polar model. Thus the result is to encode using Haar's wavelets analysis to extract their coefficients which characterize the texture of the iris. We thus obtain a fixed size iris code. Finally, two methods are used to recognize the iris modal: The Hamming distance with perfect recognition on a set of 20 images of the iris. which confirms the effectiveness of this method and encourages further research.

**Keywords:** Biometrics, iris localization, iris recognition, Canny filter, Haar wavelet analysis, Hamming distance

## ملخص

التعرف البيومتري باستعمال قزحية العين هي من أحسن الوسائل للتعرف على الأشخاص . دراسات بيولوجية أثبتت أن المواصفات والمنحنيات الموجودة في القزحية تؤكد وحدتها. العامل المنجز في هذه المذكرة هي دراسة جهاز كامل موثوق للتعرف على أساس هذه الخصوصية. من ما قبل العلاج حتى البحث في قاعدة المعطيات مع المرور بالترميز. جهاز الترميز هذا يحتوي على جهاز تقسيم أوتوماتيكي مركز على متغيرات " هوغ " ( طريقة " كاني " لنزع الحدود ) استعمال نظرية " دوغمان " لتغيير شكل القزحية من الدائري إلى المستطيل. ولنزع معاملات القزحية استعملنا التحليل بموجات " هار " . أخيرا استعملنا طريقة للتعرف على القزحية : طريقة مسافة " هامنغ " مع 20 نموذج للقزحية .

**كلمات المفاتيح :** بيومتري . تحديد القزحية. التعرف على القزحية. طبقة كاني. الحليل بموجات هار مسافة هامنغ

# Sommaire

<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : La Biométrie.....</b>	<b>4</b>
I.1 Introduction.....	4
I.2 Principe de fonctionnement.....	4
I.3 Types de la biométrie.....	5
I.3.1 La biométrie morphologique.....	6
I.3.2 La biométrie comportementale.....	6
I.4 Description des différentes techniques biométrique.....	6
I.4.1 La reconnaissance des empreintes digitale.....	6
I.4.2 La reconnaissance de visage.....	9
I.4.3 La reconnaissance de la main.....	10
I.4.4 La reconnaissance vocale.....	12
I.4.5 La reconnaissance dynamique de la signature.....	13
I.4.6 La reconnaissance de la dynamique de frappe au clavier.....	14
I.4.7 La reconnaissance de la rétine.....	15
I.4.8 La reconnaissance d'iris.....	17
I.4.8.1 Schéma générale d'un système de reconnaissance d'iris.....	17
I.5 Performance des systèmes biométriques.....	20
I.6 Erreur des systèmes biométriques.....	20
I.7 Comparaison entre les techniques biométrique.....	21
I.8 Application de la biométrie.....	22
I.9 Conclusion.....	23

<b>Chapitre II : Détection d'iris.....</b>	<b>24</b>
II.1 Introduction.....	24
II.2 L'œil humain.....	24
II.3 Caractéristique de l'œil humain.....	25
II.4 Structure de l'iris.....	25
II.4.1 Anatomie macroscopique.....	25
II.4.2 Face antérieure de l'iris.....	26
II.4.3 Face postérieure de l'iris.....	27
II.5 Acquisition de l'iris.....	28
II.6 Les difficultés de la reconnaissance par l'iris.....	29
II.7 Techniques de reconnaissance par iris.....	30
II.7.1 Techniques basées sur l'apparence.....	30
II.7.2 Techniques basées sur la texture.....	30
II.7.3 Techniques basées sur les caractéristiques.....	30
II.8 Base de données.....	30
II.8.1 Les critères pour le choix de la base de données.....	31
II.8.2 Description de la base de données CASIA-IrisV1.....	32
II.8.3 Caractéristiques de la base de données CASIA-IrisV1.....	33
II.8.4 Organisation de la Base de données CASIA-IrisV1.....	35
II.8.5 Les différentes bases de données qui existent.....	36
II.8.5.1 base de données UPOL.....	36
II.8.5.2 base de données UBATH.....	37
II.8.5.3 base de données UBIRIS. v1.....	37

II.8.5.4	base de données UBIRIS. v2.....	38
II.8.5.5	base de données NIST.....	39
II.9	Conclusion.....	39
<b>Chapitre III : Segmentation et Traitement de l'iris.....</b>		<b>40</b>
III.1	Introduction.....	40
III.2	Segmentation de la pupille et de l'iris.....	40
III.3	Les différentes méthodes de détection d'iris de la pupille.....	41
III.3.1	La méthode par La transformée de Hough.....	41
III.3.1.1	Détermination du rayon et du centre de la pupille et de l'iris.....	42
III.3.1.2	Détermination le Rayon de l'iris.....	42
III.3.2	Méthode par détecteur de contours circulaires.....	43
III.3.3	Méthode par Les contour actif.....	45
III.4	Normalisation de l'iris.....	46
III.4.1	Méthode pseudo-polaire.....	46
III.4.2	La méthode de par P.Eduardo.....	47
III.4.3	Extraction des caractéristiques.....	48
III.4.3.1	Extraction par filtre de Gabor.....	49
III.4.3.2	Extraction par ondelettes de Haar.....	50
III.5	Matching par distance de Hamming.....	51
III.6	Démarche adoptée.....	52
III.6.1	Extraction d'iris.....	53
III.6.2	Normalisation de l'iris.....	55
III.6.3	Codage de l'iris.....	56

III.6.4	Reconnaissance d'iris par la distance de Hamming.....	57
III.7	Conclusion.....	58
<b>Chapitre IV : Application et résultats obtenus.....</b>		<b>59</b>
IV.1	Introduction.....	59
IV.2	Organigramme général du processus d'identification de.....	59
VI.3	Présentation du système d'identification à partir d'iris.....	59
IV.3.1	Interface Graphique (GUI).....	60
IV.3.1.1	La Barre De Menus.....	61
IV.3.1.2	Deux Bouton Radio.....	63
IV.3.1.3	Push Bouton (Reset).....	64
IV.4	Tests expérimentaux.....	65
IV.4.1	Localisation de la pupille.....	65
IV.4.2	Recherche du centre et contour de la pupille.....	66
IV.4.3	Recherche du contour et rayon de l'iris.....	66
IV.4.4	Normalisation la région de l'iris.....	70
IV.4	Extraction des caractéristiques.....	73
IV.5	Comparaison entre les codes iris.....	76
IV.5.1	La distance de Hamming.....	76
IV.6	Conclusion.....	77
<b>Conclusion générale.....</b>		<b>78</b>
<b>Annexe A.....</b>		<b>80</b>
<b>Annexe B.....</b>		<b>85</b>
<b>Bibliographie.....</b>		<b>90</b>

# Liste des figures

## Chapitre I

<b>Figure I.1</b> : principe de fonctionnement d'un système biométrique.....	5
<b>Figure I.2</b> : Classification d'un certain nombre de modalités biométriques dans des catégories physiologiques et comportementales.....	6
<b>Figure I.2</b> : classes des empreintes digitales.....	7
<b>Figure I.3</b> : Empreinte digitale acquise par un capteur optique.....	7
<b>Figure I.4</b> : Le principe du traitement d'un système d'empreinte digitale Image capturée (a) binarisation (b) L'extraction des minuties(c)Résultat(d).....	8
<b>Figure I.5</b> : Une méthode de reconnaissance automatique des visages basée sur Eigenface.....	9
<b>Figure I.6</b> : Scan de la forme de la main.....	10
<b>Figure I.7</b> : Caractérisation de la géométrie d'une main en 3 dimensions.....	11
<b>Figure I.8</b> : Capture de la voix.....	12
<b>Figure I.9</b> : Capture d'une signature.....	13
<b>Figure I.10</b> : le rythme des doigts.....	14
<b>Figure I.11</b> : exemple d'un algorithme de frappe au clavier.....	15
<b>Figure I.12</b> : Empreinte rétinienne.....	16
<b>Figure I.1</b> : l'appareil de faisceau lumineux.....	16
<b>Figure I.11</b> : Schéma général d'un système de reconnaissance d'iris.....	18
<b>Figure I.15</b> : reconnaissance d'iris par la méthode de John Daugman.....	18
<b>Figure I.16</b> : image des plants rapprochés illustrant les textures des différents iris.....	20
<b>Figure I.17</b> : Relation entre TFA et TFR.....	21
<b>Figure I.18</b> : Application biométriques.....	23

## Chapitre II

<b>Figure II.1</b> : l'œil humain.....	24
<b>Figure II.2</b> : Composition d'un œil humain partie parfaitement annulaire de l'iris dans l'œil.....	27
<b>Figure II.3</b> : Image acquise en lumière visible, conditions normales.....	28
<b>Figure II.4</b> : Image acquise en infrarouge.....	29
<b>Figure II.5</b> : Illustration du relief de l'iris.....	30
<b>Figure II.6</b> : L'appareil développé par CASIA utilisé pour la collection de la base de donnée CASIA-IrisV1.....	32
<b>Figure II.7</b> : Echantillons de la base de données CASIA-IrisV1.....	34
<b>Figure II.8</b> : Exemples de la base de données UPOL.....	36
<b>Figure II.9</b> : Exemples de la base de données UBATH.....	37
<b>Figure II.10</b> : Exemples de la base de données UBIRIS. V1.....	38
<b>Figure II.11</b> : Exemples de la base de données UBIRIS. v2.....	39
<b>Figure II.12</b> : Exemple de la base de données ICE.....	39

## Chapitre III

<b>Figure III.1</b> : Une image d'iris avec les différentes parties à détecter.....	40
<b>Figure III.2</b> : Image de l'oeil (a), différentes images de contours par la méthode Canny selon que l'on considère des contours diagonaux (b), horizontaux (c) ou verticaux (d).....	41
<b>Figure III.3</b> : Détermination du rayon et du centre de la pupille.....	42
<b>Figure III.4</b> : Détermination le Rayon de l'iris.....	43
<b>Figure III.5</b> : (a) région de l'iris, (b) localisation de la pupille et de l'iris.....	43
<b>Figure III.6</b> : Segmentation de l'iris par la méthode intégro-différentielle.....	44
<b>Figure III.7</b> : Transformation en pseudo-polaire.....	46
<b>Figure III.8</b> : Image d'iris normalisée (base de données CASIA-IrisV1).....	47
<b>Figure III.9</b> : Représentation de la partie sélectionnée (en blanc et bleu) par la méthode de P.Eduardo.....	48
<b>Figure III.10</b> : Application de la méthode de P.Eduardo sur un échantillon de la base de données CASIA-IrisV1.....	48

<b>Figure III.11</b> : Exemple de code d'iris généré par la méthode Daugman.....	49
<b>Figure III.12</b> : Ondelette de Haar.....	50
<b>Figure III.13</b> : forme de décomposition en sous-bandes par l'ondelette de Haar.....	50
<b>Figure III.14</b> : Texture d'iris décomposé en sous- images par ondelette de Haar.....	51
Figure III.15 : illustration du processus de décalage utilisé dans le calcul de la distance de Hamming entre deux codes de l'iris.....	52
<b>Figure III.16</b> : Démarche adoptée pour notre travail.....	53
<b>Figure III.17</b> : Processus d'extraction de la région de l'iris.....	54
<b>Figure III.18</b> : Processus de normalisation et d'extraction du vecteur d'attribut.....	55
<b>Figure III.19</b> : Processus de Codage de l'iris.....	56
<b>Figure III.20</b> : Processus de Codage de l'iris.....	57

## Chapitre IV

<b>Figure IV.1</b> : présentation de l'Interface principale de Notre application.....	60
<b>Figure IV.2</b> : Interface File.....	61
<b>Figure IV.3</b> : Interface Tools.....	62
<b>Figure IV.4</b> : Interface comparaison.....	63
<b>Figure IV.5</b> : Interface Chargement d'image 1.....	63
<b>Figure IV.6</b> : Interface Chargement d'image 2.....	64
<b>Figure IV.7</b> : Interface Isolation de la pupille.....	65
<b>Figure IV.8</b> : Détection du contour de la pupille.....	66
<b>Figure IV.9</b> : Contour de l'iris pour $\sigma = 3, 6, 9$ et $17$ .....	67
<b>Figure IV.10</b> : localisation de la pupille et de l'iris.....	67
<b>Figure IV.11</b> : Interface localisation et isolation.....	68
<b>Figure IV.12</b> : Interface localisation et isolation des autre images.....	69
<b>Figure IV.11</b> : Interface normalisation.....	71
<b>Figure IV.12</b> : Décomposition d'une image d'iris normalisée.....	74
<b>Figure IV.12</b> : décomposition au niveau 4.....	75
<b>Figure IV.13</b> : code obtenu par la décomposition.....	75

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Comparaison entre les techniques biométriques (H : haut, M : Moyen, B : Bas).....	22
<b>Tableau II.1</b> : Caractéristiques de la Base de Données CASIA-IrisV1.....	35
<b>Tableau IV.1</b> : Exemple de calcul de la distance de Hamming.....	76

La biométrie est la technique qui permet de reconnaître des personnes à partir de leurs caractéristiques physiques et comportementales. L'utilisation de parties du corps humain pour reconnaître les personnes est un procédé ancien. Dans une cave dont l'âge est estimé à 31 millénaires, des murs jonchés de dessins d'empreintes de la main ont été découverts. Au VI<sup>ème</sup> siècle avant JC, les babyloniens utilisaient déjà l'empreinte du pouce laissée sur une poterie d'argile pour sceller des accords commerciaux. La Chine antique en faisait de même quasiment au même moment où les parents chinois utilisaient tant l'empreinte digitale de la main que celle du pied pour différencier leurs enfants. Les égyptiens utilisaient les descriptions physiques des commerciaux pour différencier ceux qui sont connus de ceux qui sont nouveaux sur le marché. La couleur des yeux est aussi utilisée dans de nombreuses civilisations antiques pour reconnaître des personnes et c'est aussi le cas dans les prisons françaises au XVI<sup>ème</sup> siècle pour reconnaître les prisonniers.

Il existe différents moyens physiques ou comportementaux qui permettent une reconnaissance de l'individu. Comme déjà cité, l'empreinte, l'iris, le visage et la forme de la main sont des moyens physiques appelés 'modalités biométriques'. On peut aussi citer l'exemple de la veine de la main et de la rétine. Pour ce qui est des modalités comportementales, on peut citer la signature (dynamique ou statique), la démarche ... Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés uniquement aux problématiques liées à la modalité de l'iris.

Le mot iris qui veut dire arc en ciel vient d'IRIS, messagère d'Héra et de Zeus, personnification de l'arc en ciel. Plutarque, un philosophe grec, suggère quant à lui que le mot Iris vient de la langue égyptienne et signifie: l'œil du ciel. Quelle que soit son origine, l'iris désigne la partie colorée de l'œil humain. L'iris est une membrane circulaire de la face antérieure du globe oculaire. Elle est percée en son centre (pas exactement au centre) d'un orifice ou trou noir appelé la pupille par laquelle la lumière pénètre vers la rétine. L'iris sert à adapter cette quantité de lumière en se réfractant ou se dilatant suivant les conditions de luminosité. Par exemple, quand la luminosité ambiante est forte, l'iris se contracte, ce qui diminue l'intensité lumineuse qui vient frapper le centre de la rétine, et vice-versa.

L'iris est un organe qui doit sa couleur, qu'elle soit grise, verte, bleue, marron ou noire au pigment responsable de la coloration : la mélanine. En l'absence de ce pigment l'iris serait

rouge (cas d'albinisme). Plusieurs particularités rares mais normales peuvent être rencontrées qui peuvent affecter la texture de l'iris. Ainsi, il peut y avoir des gens avec deux iris ayant deux couleurs complètement différentes (yeux vairon) ou des individus où l'iris est découpé en plusieurs zones de couleurs différentes, ou même des personnes caractérisées par la présence de plusieurs pupilles au sein d'un même iris. Parmi les 3 maladies rares qui peuvent affecter l'iris, on peut citer l'aniridie qui consiste purement et simplement en l'absence totale d'iris.

L'iris commence à se former durant le troisième mois de gestation. La texture particulière de l'iris est établie au huitième mois de la gestation bien que les pigmentations qui sont responsables de la couleur des yeux continuent à apparaître jusqu'à un an après la naissance.

La texture de l'iris est une combinaison de plusieurs éléments qui font d'elle l'une des textures distinctives les plus riches du corps humain. Elle comporte des arcs de ligaments, des cryptes, des arêtes, des sillons et des collerettes. La localisation de ces composants, le croisement entre eux et la forme que peuvent avoir ces éléments font que la texture de l'iris est considérée comme l'une des plus riches de la biométrie. L'iris est aussi l'unique organe interne du corps humain visible de l'extérieur puisqu'il est protégé par un miroir, la cornée.

L'iris présente donc une caractéristique unique qui est d'être à la fois un organe protégé de l'environnement extérieur en même temps qu'il est relativement facile à acquérir comparé aux autres organes internes du corps humain tel que la rétine par exemple.

Tous ces avantages ont poussé les chercheurs et les ophtalmologistes à étudier la faisabilité d'un système de reconnaissance par l'iris dès les années 1930. Un brevet a même été déposé en 1986 sur le fait que deux iris de deux personnes ne peuvent pas être identiques.

Le présent travail est composé de quatre chapitres présentés comme suit :

Le *premier chapitre* est consacré à la présentation générale de la biométrie. Il décrit tout d'abord les différentes méthodes existantes. Ensuite, la place de la reconnaissance d'iris parmi les autres techniques biométriques. Nous expliquerons ainsi l'architecture d'un système de vérification par l'iris.

Le *seconde chapitre* se réfère dans ce mémoire à les conditions et les difficultés au niveau de l'acquisition de l'iris en suite on présente base de données des images Iris

sur laquelle les expériences ont été réalisées. En outre un aperçu des bases de données qui existent dans la littérature est donné.

Le *troisième chapitre* sera consacré tout d'abord au traitement de l'image permettant l'extraction de l'information utile à l'identification d'une personne. Plusieurs méthodes permettant d'extraire la texture d'iris et de la normaliser. Ensuite, nous passerons à l'extraction du code de l'iris.

Dans le *dernier chapitre*, nous présentons l'architecture globale ainsi que les principaux modules de notre système. Différentes expérimentations ont été menées en considérant des images d'iris.

Dans la conclusion générale, nous allons discuter les résultats obtenus tout au long de ce travail.

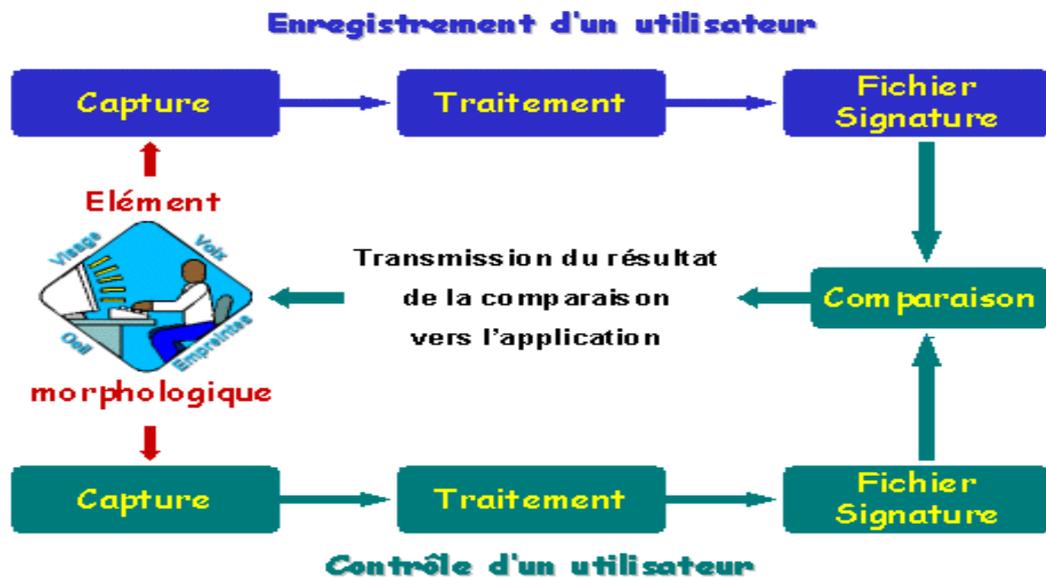
## I.1 Introduction

La biométrie est un ensemble des technologies (appelées les technologies biométriques) qui exploitent des caractéristiques humaines physiques ou comportementales telles que l'empreinte digitale, la signature, l'iris, la voix, le visage, la démarche, et un geste de main pour différencier des personnes. L'utilisation des mots de passe ou des PIN (numéros d'identification personnelle) engendre des inconvénients du fait qu'ils sont facilement oubliés ou exposés à l'utilisation frauduleuse. De même pour les clefs ou les cartes magnétiques qui doivent être portées par l'individu et sont faciles à être volées, copiées ou perdues. La technologie biométrique essaie de lever certains de ces inconvénients en développant des algorithmes d'identification basés sur les caractéristiques biométriques de l'individu. Aujourd'hui, ces technologies biométriques sont considérées comme les plus puissantes en termes de sécurité. De plus, les mesures biométriques sont confortables parce qu'elles n'ont pas besoin d'être portées séparément. De telles caractéristiques peuvent être employés pour obtenir l'identification/authentification pour accéder à des systèmes tels que les ATM (guichet automatique). La biométrie se prouve également comme un outil puissant d'identification/vérification aux scènes de crime dans le secteur juridique.

## I.2 Principe de fonctionnement

La biométrie utilise la forme de certaines parties du corps humain comme l'empreinte digitale, la main, le visage mais aussi la couleur de l'iris, ou le timbre de la voix... Grâce à de nombreux capteurs, les appareils de biométrie arrivent à comparer une forme, couleur ou son par rapport à ce qu'il a déjà en mémoire. D'une fiabilité de plus en plus incomparable, la biométrie devient réalité et dépasse la fiction pour équiper des aéroports, gares, laboratoires, armée, lieux protégés et peut être bientôt nos maisons et appartements ! Bien que la fiabilité soit de plus en plus précise, la biométrie contient encore quelques "failles" car deux sons ou deux images ne sont jamais rigoureusement identiques ainsi il faut donner un seuil d'acceptabilité entre 0 et 100% afin de rendre la mesure plus souple. Mais ainsi des personnes peuvent être refusées par erreur et d'autres peuvent aussi rentrer par erreur [1].

Dans un premier temps, il faut créer un modèle qui servira de gabarit aux futures identifications de la personne. Ensuite, chaque fois que la personne voudra pénétrer dans un lieu sécurisé ou accéder à des données protégées il lui faudra se soumettre à un test permettant de l'identifier par comparaison avec le gabarit mémorisé. Ce principe sera le même quelle que soit la technologie utilisée. Le schéma ci-dessous illustre ces différentes

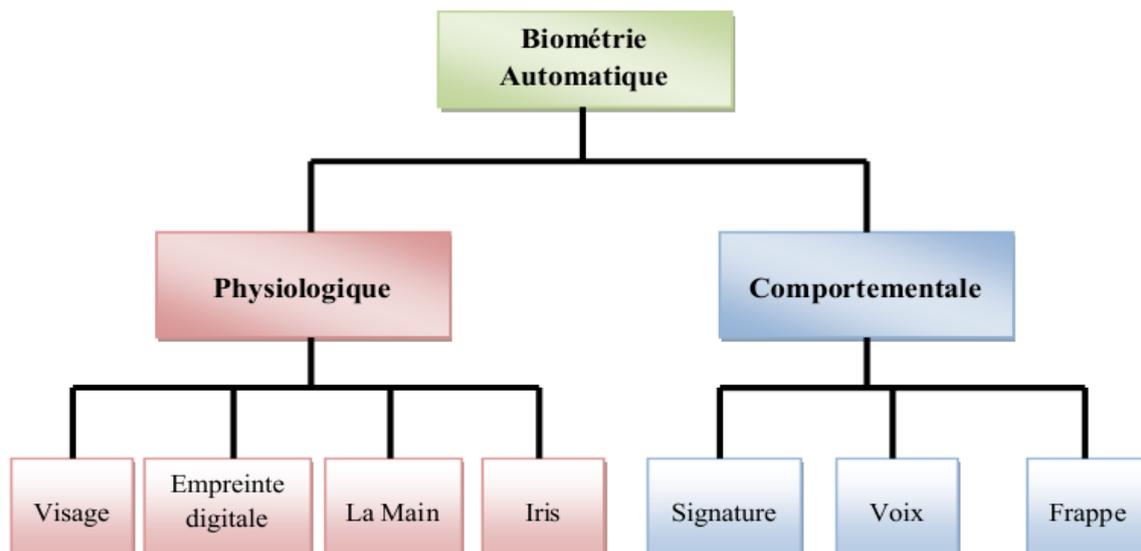


séquences [1].

**Figure I.1 :** Principe de fonctionnement d'un système biométrique [1].

### I.3 Types de la biométrie

Les systèmes biométriques sont généralement classés par l'industrie dans deux grandes catégories : la biométrie morphologique ou physiologique et la biométrie comportementale [2].



**Figure I.2 :** Classification d'un certain nombre de modalités biométriques dans des catégories physiologiques et comportementales [2].

### **I.3.1 La biométrie morphologique**

Basée sur l'identification de traits physiques particuliers qui pour toute personne, sont uniques et permanents. Cette catégorie regroupe la reconnaissance des empreintes digitales, de la forme de la main, de la forme du visage, de la rétine et de l'iris de l'œil.

### **I.3.2 La biométrie comportementale**

Elle se base sur l'analyse de certains comportements d'une personne comme le tracé de sa signature, l'empreinte de sa voix, sa démarche et sa façon de taper sur un clavier.

## **I.4 Description des différents systèmes biométriques**

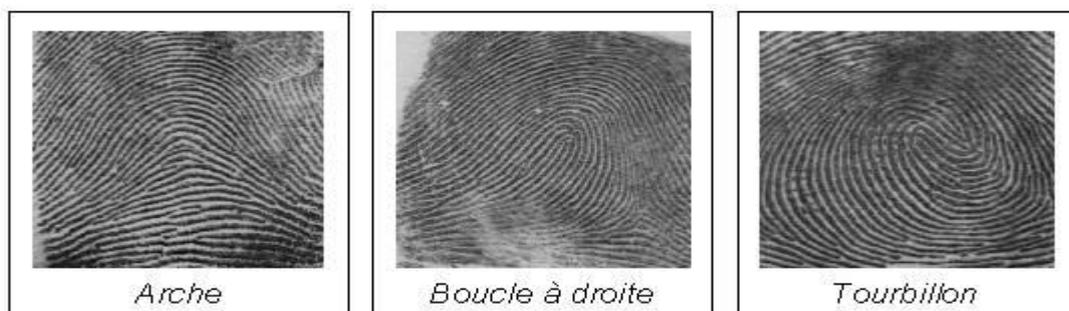
### **I.4.1 La reconnaissance des empreintes digitales**

C'est la plus ancienne et la plus répandue des technologies d'identification. Elle représente plus de cinquante pour cent des applications. La donnée de base dans le cas des empreintes digitales est le dessin représenté par les crêtes et sillons de l'épiderme. Ce dessin est unique et différent pour chaque individu.

En pratique, les informations fournies par ce dessin sont tellement nombreuses qu'il est quasiment impossible de toutes les utiliser. On préférera donc en extraire les caractéristiques principales telles que les bifurcations de crêtes, les "îles", les lignes qui

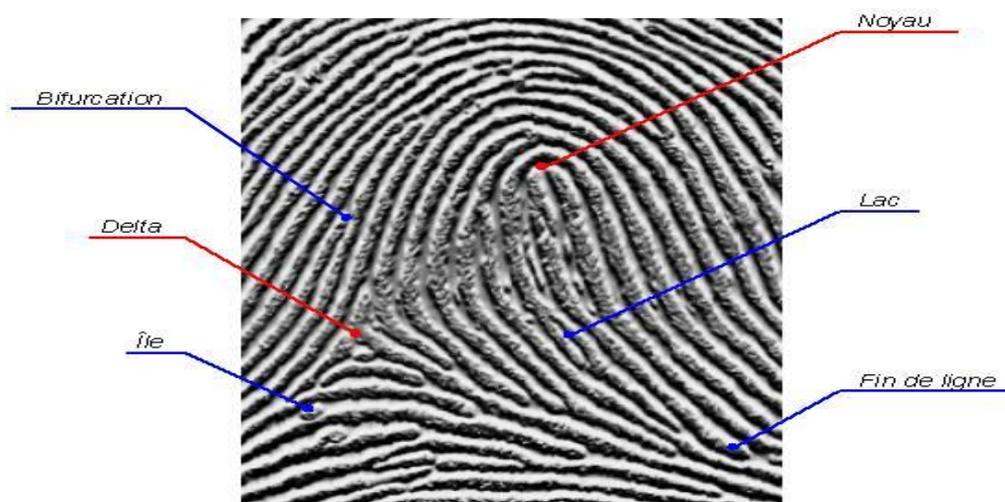
disparaissent. Une empreinte complète contient environ une centaine de ces points caractéristiques encore appelés "minuties". Si l'on considère la zone réellement scannée, on peut extraire environ quarante de ces minuties. La loi impose un minimum de douze pour identifier avec certitude une personne car il est statistiquement impossible de trouver deux individus présentant les mêmes douze points caractéristiques, même en considérant une population de plusieurs dizaines de millions de personnes [3].

L'empreinte digitale est le modèle du relief de la peau des doigts. Ce relief, formé pendant la période fœtale est classé d'après le système de "Henry" selon la topographie générale de l'empreinte. On distingue trois grandes familles. (1) Les empreintes dites en "arches", (2) en "boucles" qu'elles soient à droite ou à gauche et (3) les empreintes en "tourbillon" (cf. Figure I.2).



**Figure I.2 :** classes des empreintes digitales [3].

Sur ces empreintes, pour les différencier, on recherchera les accidents encore appelés minuties (cf. Figure I.3).



**Figure 1.3 :** Empreinte digitale acquise par un capteur optique [3].

- L'image capturée est envoyée au système de traitement.

- Afin d'y être dans un premier temps binarisée pour en augmenter le contraste, en diminuer le volume et ainsi accroître la rapidité du traitement
- Ensuite le système extrait les minuties qu'il considère comme fiables ; c'est-à-dire les minuties qui ne risquent pas d'être issues de défauts lors de la capture de l'image.

Cette extraction permet d'établir un gabarit de l'empreinte qui sera ensuite comparé à celui déjà mémorisé permettant d'identifier ou non la personne qui a soumis son empreinte au test (cf. figure I.4).



**Figure I.4 :** Le principe du traitement d'un système d'empreinte digitale  
Image capturée (a) binarisation (b) L'extraction des minuties(c)  
Résultat(d).

#### Les avantages

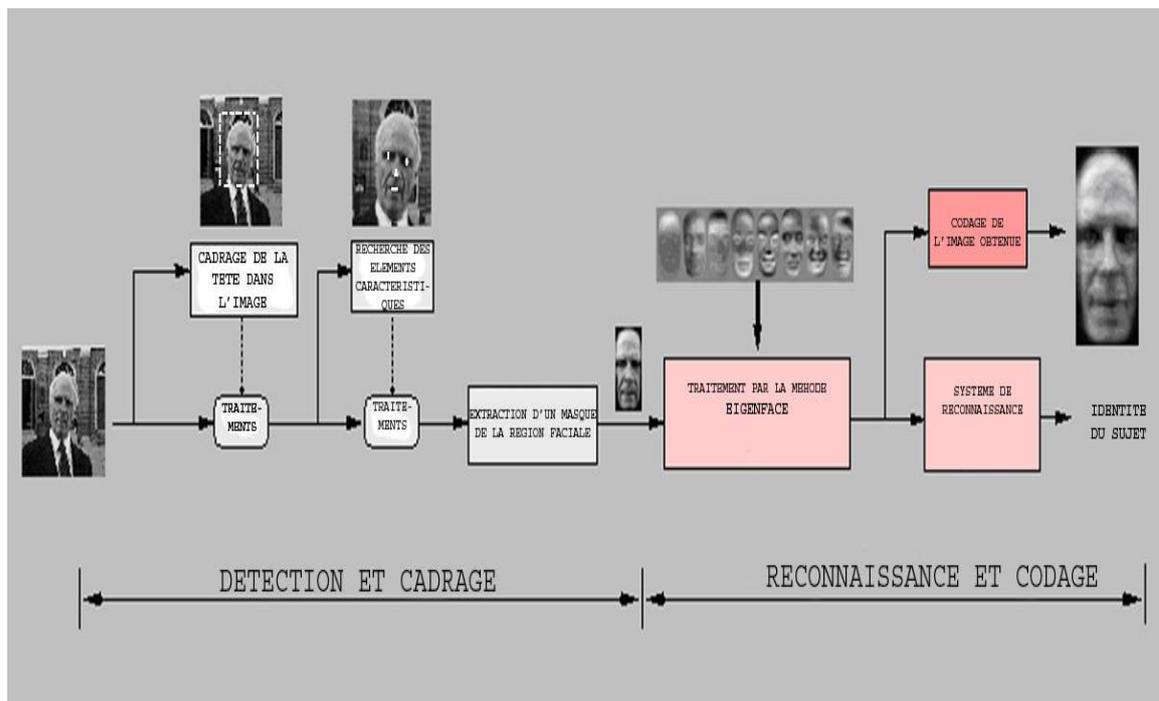
- Son ancienneté et sa mise à l'épreuve
- Sa résistance aux changements de température, jusqu'à un certain point.
- Son coût abordable.
- Sa capacité à fournir des résolutions de plus de 500 dpi.

#### Les Inconvénients

- Il est possible que l'empreinte d'utilisateurs précédents reste latente, d'où une possibilité de dégradation de l'image par sur-impression.
- Apparition possible de rayures sur la fenêtre.
- Dégradation du dispositif CCD avec le temps ; le système devient moins fiable.
- Problèmes de contrastes (doigt propre et sec devient trop clair tandis qu'un doigt humide et recouvert d'un film gras devient très foncé). Ce problème peut être résolu grâce au film liquide mais ce système est mal accepté du fait que l'utilisateur doit mouiller le doigt.

### I.4.2 La reconnaissance de visage

Rien n'est plus naturel qu'utiliser le visage pour identifier une personne. Les images faciales sont probablement la caractéristique biométrique la plus communément employée par l'homme pour effectuer une identification personnelle. L'utilisation d'une caméra permet de capter la forme du visage d'un individu et d'en dégager certaines particularités. Selon le système utilisé, l'individu doit être positionné devant l'appareil ou peut être en mouvement à une certaine distance. Les données biométriques qui sont obtenues sont par la suite comparées au fichier référence. La méthode la plus utilisée est la méthode Eigen face. Elle utilise une représentation des éléments caractéristiques d'une image de visage à partir d'images modèles en niveau de gris [4]. Des variantes de Eigen face sont fréquemment utilisées comme base pour d'autres méthodes de reconnaissance comme c'est le cas dans la méthode illustrée ci-dessous (cf. figure I.5).



**Figure 1.5 :** Une méthode de reconnaissance automatique des visages basée sur Eigenface [4].

**Les avantages [4] :**

- Technique peu coûteuse, peu encombrante
- Absence de contact avec le capteur, méthode non intrusive pour la personne ; pas de risques pour la santé.

**Les Inconvénients [4] :**

- Les vrais jumeaux ne sont pas différenciés

- Psychologiquement, certaines personnes rejettent leur image photographique (refus de son image, ajout d'accessoires, rôle, religion, critique de la qualité de la caméra, etc.).
- En tant que contrôle d'accès ; le visage n'est pas, traditionnellement, reconnu comme un mécanisme fiable d'authentification (il peut être dupé par l'utilisation de maquillage ou d'un masque en silicone).
- Dans l'état des systèmes actuels, technique est trop sensible au changement d'éclairage, changement d'échelle (taille du visage ou distance de la caméra), présence d'arrière plan non stationnaire, changement de position lors de l'acquisition de l'image (inclinaison de la tête ou expression).
- Tout élément tel que lunettes de soleil, chapeau, moustache, barbe, piercing, blessure peut causer des anomalies avec des systèmes d'identification du visage.

### **I.4.3 La reconnaissance de la main**

La biométrie par la forme de la main est une technologie populaire qui est largement employée pour le contrôle d'accès physique ou le pointage horaire. Elle est très simple et bon marché. L'exactitude d'un système biométrique basé sur la forme de la main est tout à fait raisonnable. Les éléments pris en compte ne reposent que sur la géométrie de la main et non sur l'empreinte palmaire. Le système prend une photo de la main et examine quatre vingt dix caractéristiques, y compris la forme tridimensionnelle de la main, la longueur et la largeur des doigts ainsi que la forme des articulations [5].

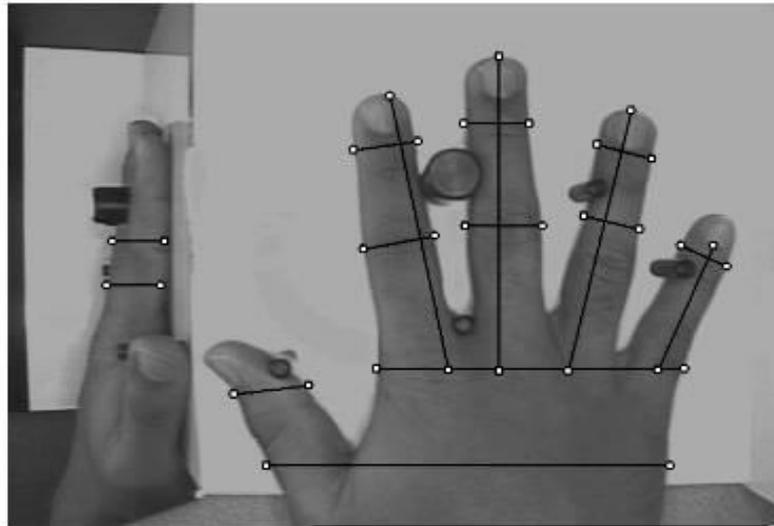
Pour utiliser la géométrie de la main, l'utilisateur place sa main sur une platine possédant des guides pour positionner les doigts (cf. figure I.6).



**Figure 1.6 :** Scan de la forme de la main [5].

En général, une caméra infrarouge prend l'image de la main sous deux angles différents pour obtenir les trois dimensions comme l'illustre la photographie ci dessous (cf. figure 1.7). Les mesures qui sont faites ne prennent que les dimensions de certaines parties de la main et non la pigmentation de la peau ou les lignes situées au niveau des

articulations. Le gabarit qui en résulte est d'une taille très faible, une dizaine d'octets, et permet de faire de l'authentification [5].



**Figure 1.7 :** *Caractérisation de la géométrie d'une main en 3 dimensions [5].*

**Les avantages [5] :**

- Le résultat est indépendant de l'humidité des doigts et de souillures éventuelles car il n'y a pas de contact direct avec le capteur ou une fenêtre, donc pas de risque d'encrassement
- Facilité de l'enrôlement du point de vue de l'utilisateur et bonne acceptation psychologique.
- Faible volume de stockage par fichier.

**Les Inconvénients [5] :**

- Système encombrant.
- Risque élevé du taux de fausses acceptations et faux rejets, par exemple à cause d'une blessure ou pour les jumeaux ou les membres d'une même famille.
- Cette technique n'a pas évolué depuis plusieurs années.
- Le lecteur est plus cher que pour les autres types de capture de données physiques.

#### **I.4.4 La reconnaissance vocale**

La mesure biométrique de la voix traite des données qui proviennent à la fois de facteurs physiologiques dépendants de l'âge, du sexe, de la tonalité, de l'accent et de facteurs comportementaux comme la vitesse et le rythme. Ils ne sont en général pas

imitables. C'est la seule technique qui permette à l'heure actuelle de reconnaître une personne à distance. Cependant cette technique est très facilement falsifiable, en utilisant un enregistrement (cf. figure I.8). Cette technique nécessite en plus une excellente qualité d'enregistrement ce qui n'est pas possible dans les lieux publics par exemple. Le peu de différences qui existe entre deux voix rend également cette technique peu fiable [6].



**Figure I.8 :** Capture de la voix [6].

**Les avantages [6] :**

- Disponible via le réseau téléphonique.
- Les imitateurs utilisent les caractéristiques vocales sensibles au système auditif humain, mais ne sont pas capables de recréer les harmoniques de la voix, servant de base à l'identification. Il est quasi impossible d'imiter la voix stockée dans la base de données.
- Non intrusif.

**Les Inconvénients [6] :**

- L'utilisation d'un micro nécessite un dispositif adapté présent sur l'environnement.
- Sensibilité à l'état physique et émotionnel d'un individu.
- Sensibilité aux conditions d'enregistrement du signal de parole : bruit ambiant, parasites, qualité du microphone utilisé, qualité de l'équipement, lignes de transmission.
- Fraude possible en utilisant un enregistrement de la voix de la personne autorisée, facilitée dans le cas de système basé sur la lecture d'un texte fixe.

#### **I.4.5 La reconnaissance dynamique de la signature**

La reconnaissance de la signature est la seule technologie, classée comme "comportementale", qui ait véritablement aboutie. Cette technologie permet d'identifier un utilisateur en le faisant signer avec un stylo électronique. Les produits les plus évolués sont capables d'évaluer, en plus du tracé de la signature (cf. figure I.9), la façon dont le stylo est

manipulé, sa vitesse, ses accélérations, la pression et l'inclinaison avec laquelle il a été utilisé. Cependant, le tracé est particulièrement instable. Certaines personnes ont une signature très erratique qui peut changer sensiblement au cours du temps.

Chaque personne a un style d'écriture unique. On peut donc définir, à partir de la signature, un modèle qui pourra être employé pour effectuer une identification. De plus, la signature est utilisée dans beaucoup de pays comme élément juridique ou administratif. Elle permet de justifier de la bonne foi d'une personne ou de la confondre devant des documents signés. Cette méthode peu intrusive est bien acceptée par le grand public. Il y a deux façons d'analyser une signature : l'analyse statique et l'analyse dynamique [7].

- a. **Analyse statique** : elle utilise la géométrie de la signature. L'avantage de cette méthode est qu'elle est bien adaptée pour authentifier des documents manuscrits. La vérification automatisée des chèques dans les banques est une des applications intéressantes. Un scanner spécial rend cette opération plus rapide et plus sûre qu'avec un opérateur.
- b. **Analyse dynamique** : elle utilise les paramètres statiques ainsi que l'accélération, la vitesse et les profils de trajectoire de la signature (voir illustration ci-dessous). L'avantage indéniable est l'impossibilité pour un imposteur de reproduire une signature avec les mêmes informations dynamiques que l'original. Cependant, elle nécessite une capture directe de la signature sur une tablette tactile. L'application la plus intéressante consiste à authentifier des documents électroniques par le biais d'Internet.



**Figure I.9** : Capture d'une signature

**Les avantages [7] :**

- Geste naturel qui responsabilise le signataire.

### Les Inconvénients [7] :

- Dépendance de l'état émotionnel de la personne.
- Utilisation à l'intérieur de bâtiment uniquement.

### I.4.6 La reconnaissance de la dynamique de frappe au clavier

La reconnaissance de la dynamique de frappe au clavier est une autre technologie "comportementale". Elle est l'équivalent de l'étude graphologique d'une personne. Les durées entre frappes, la fréquence des erreurs et la durée de la frappe elle-même sont étudiées de façon statistique. En revanche, cette technologie peu intrusive est tributaire de l'état physique et psychique de la personne qui utilise le clavier(cf. figure I.10). La fatigue, le stress sont autant de facteurs qui feront varier la qualité de la frappe. A l'aide d'un algorithme qui exploite le temps d'appui sur chaque touche et le temps entre chaque touche, la dizaine de saisie est moyennée pour bâtir un profil de frappe de l'utilisateur [8].



Figure I.10 : le rythme des doigts [8].

A l'aide d'un algorithme qui exploite le temps d'appui sur chaque touche et le temps entre chaque touche, la dizaine de saisie est moyennée pour bâtir un Profil de frappe de l'utilisateur (cf. figure I.11).

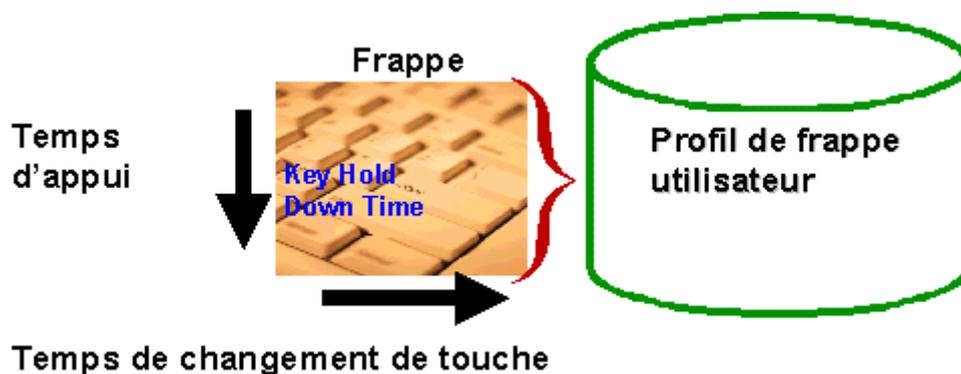


Figure I.11 : exemple d'un algorithme de frappe au clavier [8].

### **Les avantages [8] :**

- Moyen non intrusif qui exploite un geste naturel.

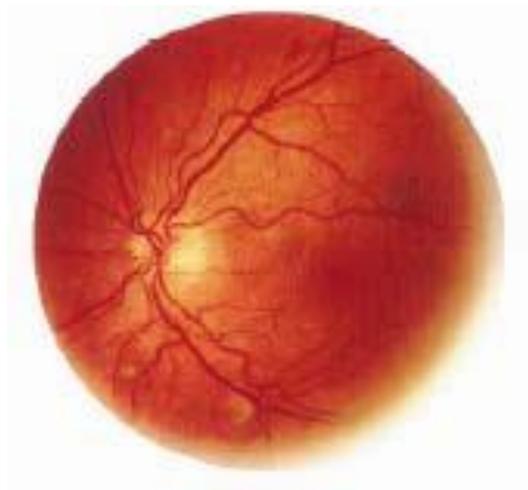
### **Les Inconvénients [8] :**

- Dépendance de l'état physique de la personne. (âge, maladies,...)

#### **I.4.7 La reconnaissance de la rétine**

Cette mesure biométrique est plus ancienne que celle utilisant l'iris, mais elle est très peu utilisée. Elle a été moins bien acceptée par le public et les utilisateurs, sans doute à cause de son caractère trop contraignant : la mesure doit s'effectuer à très faible distance du capteur, à peine quelques centimètres. Le capteur effectue ensuite un balayage de la rétine. Il est physiquement impossible d'effectuer une mesure rétinienne à plus de trente centimètres sur un sujet mobile, comme on peut le voir dans certains films. Cette méthode requiert des sujets coopératifs et entraînés. Pourtant cette technique semble être tout aussi fiable que celle de l'iris [9].

Elle se base sur le fait que le schéma et le dessin formés par les vaisseaux sanguins de la rétine sont uniques pour chaque personne, différents entre jumeaux et assez stables tout au long de la vie. La mesure peut ainsi fournir jusqu'à quatre cents points caractéristiques. C'est une mesure très fiable, très difficile à falsifier.



**Figure I.12 :** Empreinte rétinienne [9].

Les difficultés liées à la capture de l'image d'une rétine sont autant psychologique que médicale et technique. Pour obtenir une image d'une rétine, il est nécessaire d'éclairer le fond de l'œil à l'aide d'un faisceau lumineux ; à travers la pupille et le corps vitreux. Ce

faisceau est de très faible intensité pour ne pas gêner l'utilisateur ; il est sans danger et de plus faible intensité que sur les dispositifs ophtalmologiques. Un système de caméra très précis vient ensuite récupérer l'image de la rétine (cf. figure I.13).



**Figure I.13** : l'appareil de faisceau lumineux [9].

**Les avantages [9] :**

- Résistant à la fraude, difficile et long à imiter.
- Unicité même chez les vrais jumeaux.
- La cartographie de la rétine est la même tout au long de la vie, en l'absence de maladie spécifique.
- Technique fiable.

**Les Inconvénients [9] :**

- Nécessité de placer ses yeux à très faible distance du capteur, donc système intrusif mal accepté psychologiquement.
- Coût.
- Difficile à utiliser en cas de contrôle d'une population importante (temps important).
- Installation délicate (hauteur.)

#### **I.4.8 La reconnaissance de l'iris**

L'identification par l'iris utilise plus de paramètres que les autres méthodes d'identification et la fiabilité résultante est suffisante pour ne plus faire de l'identification mais de l'authentification. La probabilité de trouver deux iris suffisamment identiques pour être confondues est de 1 sur 10 puissance 72 selon les estimations de Daugman [31].

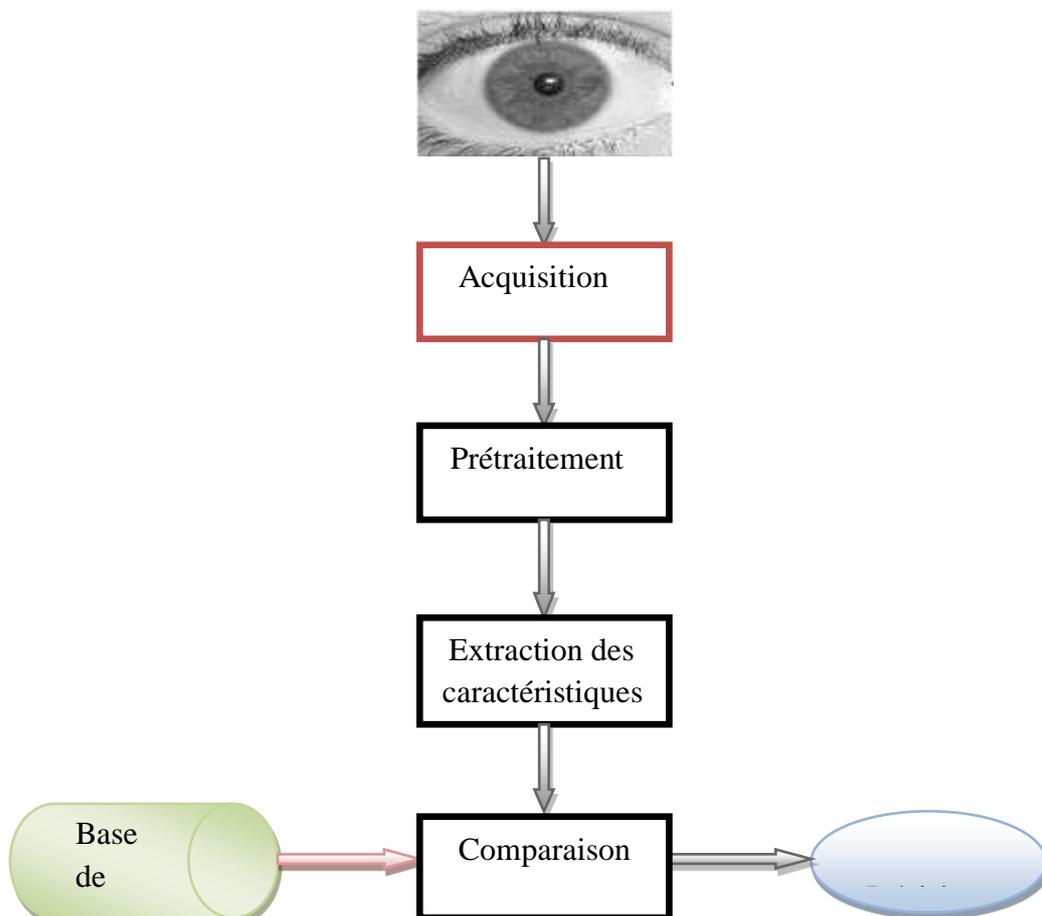
La première étape, difficile, est la capture de l'image de l'iris. L'œil est en effet un organe très sensible à la lumière et à la fatigue, deux facteurs qui peuvent faire varier sa

taille et sa netteté. De plus, il est souvent obscurci par les cils, les paupières, les lentilles, les réflexions de la lumière où les mouvements incontrôlés de la personne. Le système de prise d'image doit être rapide, précis et ne doit pas utiliser une lumière qui se refléterait sur l'œil. Le système de numérisation doit permettre d'obtenir au moins soixante-dix pixels de rayon sur l'iris, et dans la plupart des cas, le rayon est compris entre cent et cent quarante pixels. Une caméra CCD monochrome (640 x 480) est employée avec une source de lumière de longueur d'onde comprise entre sept cents et neuf cents nanomètres, invisible pour les humains [10].

#### I.4.8.1 Schéma général d'un système de reconnaissance d'iris

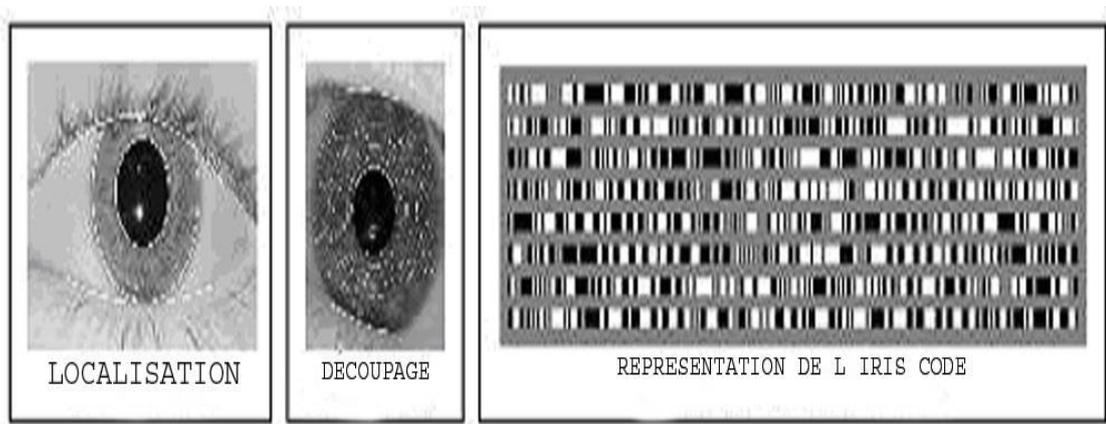
Un tel système peut se décomposer en deux unités principales (figure : I.11) :

- une unité optique de capture de l'image de l'iris (dispositif de vision).
- une unité de traitement des données (extraction et comparaison des informations discriminantes avec celles stockées préalablement lors de l'enrôlement)



**Figure I.11** : Schéma général d'un système de reconnaissance d'iris [11].

La méthode employée pour la caractérisation d'un iris est celle brevetée par John Daugman [31]. Après la numérisation de l'image de l'œil, le logiciel va déterminer le centre de la pupille et la zone où se trouve l'iris. Puis sur deux secteurs angulaires, le logiciel découpe des bandes de taille régulière et génère un gabarit à partir de l'analyse locale de la texture de l'iris, comme l'illustre la figure ci-dessous.



**Figure I.15 :** reconnaissance d'iris par la méthode de John Daugman [31].

Pour reconnaître un individu, on extrait des paramètres de l'image de l'œil. Puis, on compare ces paramètres avec tous les paramètres précédemment extraits et sauvegardés. La comparaison qui produira le meilleur score permettra d'identifier le nom de l'individu.

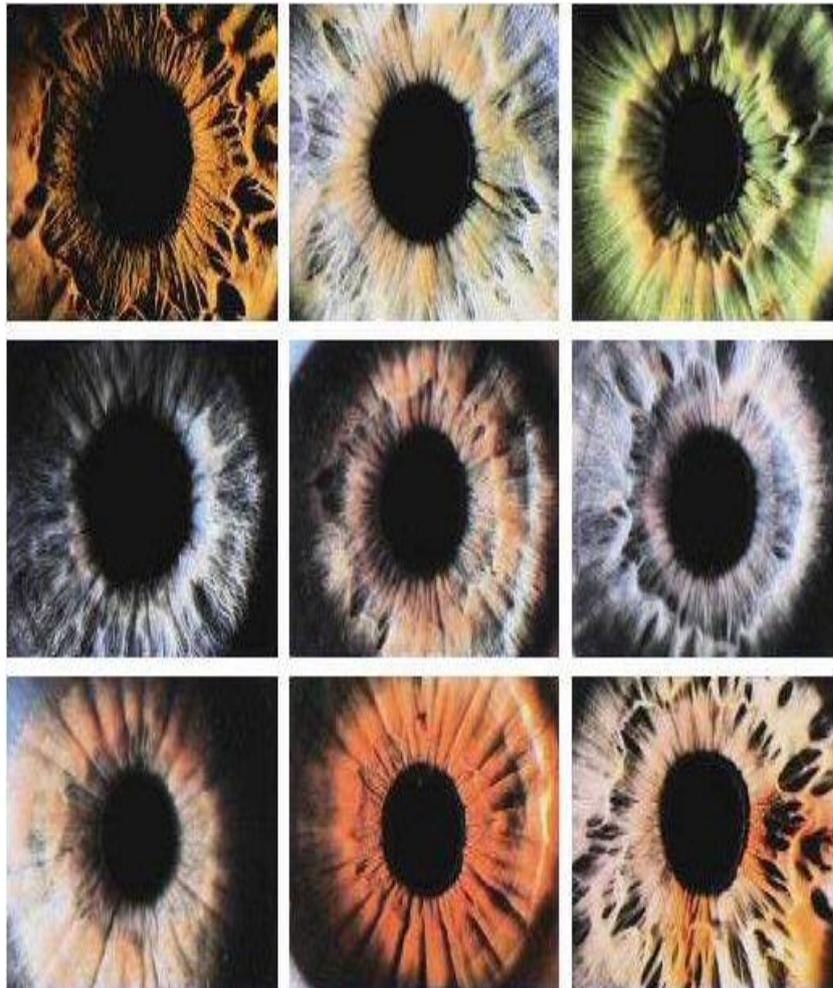
#### **Les avantages [11] :**

- Grand quantité d'information contenue dans l'iris.
- Vrais jumeaux non confondus.
- L'iris est infalsifiable sous peine d'altération (il est impossible de modifier l'iris par chirurgie sans sa destruction avec risque d'altérer la vision).
- Le mouvement de la pupille confirme la physiologie naturelle non altérée de l'iris par un objet artificiel telle une lentille ou autre.
- Degré de liberté élevé (environ 24) par rapport aux autres moyens biométriques.
- Stabilité de la texture de l'iris durant la vie.
- Acquisition de l'image d'iris sans contact (à distance).

#### **Les Inconvénients [11] :**

- La petite dimension de l'iris (1 cm) rend l'acquisition de l'image à partir d'une certaine distance (1 m), difficile.
- L'iris est situé derrière le cornée qui est une surface courbée et humide ce qui donne des reflets qui apparaissent sous forme de tâche de flash sur les images.

- L'iris est partiellement caché par les paupières et les cils.
- L'éclairage ambiant ne doit pas être élevé ou brillant.



**Figure I.16 :** Image des plants rapprochés illustrant les textures des différents iris

## **I.5 Performance des systèmes biométriques**

Les technologies biométriques constituent un assemblage complexe de composantes optiques, électroniques et logicielles (algorithmes). Chacune de ces composantes a des lacunes, des faiblesses et des limites. En raison de cela, leur calibrage s'avère souvent difficile. Certaines technologies sont plus fiables que d'autres et certains manufacturiers offrent des produits plus ou moins performants pour une technologie donnée. En conséquence, ces systèmes ne donnent pas une réponse précise sur l'identité d'une

personne mais une réponse relative qui s'exprime par un taux de similitude qui n'atteint jamais 100 % [12].

## I.6 Erreurs des systèmes biométriques

Un système biométrique fait deux types d'erreurs: (a) confusion des caractéristiques biométriques de deux personnes différentes pour être de la même personne, et (b) confusion des caractéristiques biométriques de la même personne pour être de deux personnes différentes. Ces deux types d'erreurs se nomment souvent en tant que faute d'acceptation et faute de rejet, respectivement. Il y a une compensation entre le taux de faute d'acceptation (TFA) et le taux de faute de rejet (TFR) dans chaque système biométrique. En fait, TFA et TFR sont des fonctions du seuil  $t$  de système; si  $t$  est diminué pour rendre le système plus tolérant aux variations et au bruit d'entrée, alors TFA augmente. D'autre part, si  $t$  est augmenté pour rendre le système plus bloqué, TFR augmente en conséquence. Le diagramme dans la figure I.17 montre la relation entre ces deux variables [13].

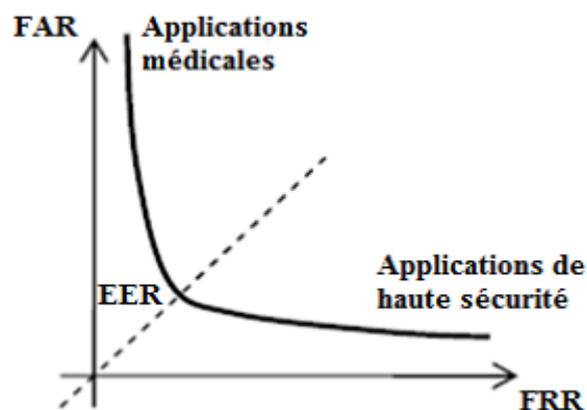


Figure I.17 : Relation entre FAR et FRR [13].

## I.7 Comparaison entre les techniques biométriques

Il existe plusieurs des techniques biométriques et elles sont utilisé dans diverses applications. Chaque technique biométrique a ses forces et faiblesses, et le choix dépend de l'application. Aucune technique biométrique ne peut répondre efficacement aux exigences de toutes les applications. En d'autres termes, aucune technique biométrique n'est optimale.

La correspondance entre une technique biométrique et une application dépend du mode opérationnel de l'application et des propriétés de la caractéristique biométrique.

identificateur biométrique	universalité	distinctif	permanence	recouvrabilité	performance	acceptabilité	mise en échec
ADN	H	H	H	B	H	B	B
Oreille	M	M	H	M	M	H	M
Visage	H	B	M	H	B	H	H
Empreintes	M	H	H	M	H	M	M
Allure	M	B	B	H	B	H	M
Géom.Main	M	M	M	H	M	M	M
Veine.Main	M	M	M	M	M	M	B
Iris	H	H	H	M	H	B	B
Frappe	B	B	B	M	B	M	M
Odeur	H	H	H	B	B	M	B
Rétine	H	H	M	B	H	B	B
Signature	B	B	B	H	B	H	H
Voix	M	B	B	M	B	H	H

**Tableau I.1** : Comparaison entre les techniques biométriques (H : haut, M : Moyen, B : Bas) [14].

## I.8 Applications de la biométrie

Les techniques biométriques sont appliquées dans plusieurs domaines et leurs applications sont divisées en trois groupes principaux :

1. **Applications commerciales** : telles que l'accès au réseau informatique, la sécurité de données électroniques, le commerce électronique, l'accès à Internet, l'ATM, la carte de crédit, le contrôle d'accès physique, le téléphone portable, le PDA, la gestion des registres médicale, l'étude de distance, etc.

2. **Applications de gouvernement**: telles que la carte nationale d'identification, le permis du conducteur, la sécurité sociale, la contrôle de passeport, etc.

3. **Applications juridiques**: telles que l'identification de cadavre, la recherche criminelle, l'identification de terroriste, les enfants disparus, etc.



**Figure I.18:** Applications biométriques [13].

## I.9 Conclusion

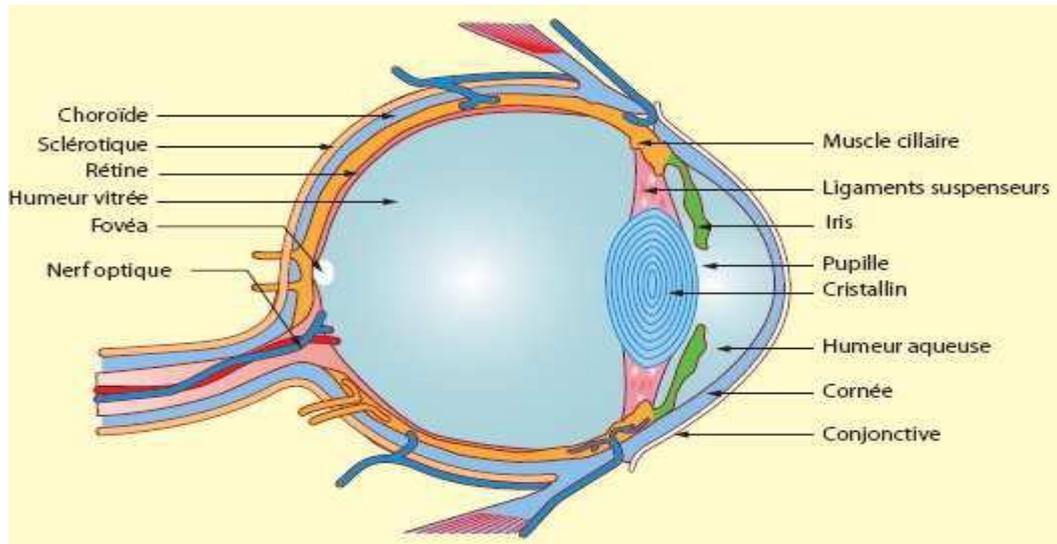
Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une façon générale, les systèmes biométriques pour la reconnaissance de forme, et en particulier la biométrie par Iris, ainsi que ses caractéristiques physiologiques, avec un bref aperçu sur les différents systèmes et techniques biométriques qui existent dans la littérature. Dans la suite de ce travail, nous nous intéresserons à l'étude de l'iris et des méthodes de vérification d'iris basées sur l'extraction des caractéristiques les plus discriminantes (code d'iris, etc.).

## II.1 Introduction

Les performances d'un système de reconnaissance d'iris sont étroitement liées à la qualité des images acquises. Or l'acquisition d'une image bien définie d'un iris nécessite un éclairage par LED proche infrarouge et une lentille spécifique, qui contraignent l'utilisateur à être extrêmement coopératif. La texture de l'iris peut être détériorée par différents types de bruits : les cils, les paupières et les reflets qui peuvent être considérés comme des bruits occultant, et peut être masquée par des bruits de flou que ce soit d'acquisition ou de bougé et cela rendant la segmentation plus difficile. Afin de fournir l'identification précise des individus, l'information la plus distinctive actuelle dans un modèle d'iris doit être extraite. Seulement les dispositifs significatifs de l'iris doivent être codés de sorte que des comparaisons entre les calibres puissent être faites. La plupart des systèmes d'identification d'iris se servent d'une décomposition de passage de bande de l'image d'iris pour créer un calibre biométrique.

## II.2 l'œil humain

L'œil est l'un des cinq organes de sens du corps humain, c'est l'organe de la vue. La vision est donc la perception de l'organe de la vue qui en est l'œil. Ce dernier est l'organe récepteur de la lumière. Sa fonction est de transformer l'information lumineuse en influx nerveux transmis au cerveau. Pour voir un objet, il faut que de la lumière issue de cet objet pénètre dans l'œil que celui-ci la transforme en influx nerveux transmis au cerveau et que celui-ci interprète à son tour les informations reçues [15].



**Figure II.1 :** l'œil humain [15].

## **II.3 Caractéristiques de l'œil humain**

### **II.3.1 La tunique fibreuse**

La tunique fibreuse externe se compose de la sclérotique opaque en arrière et de la cornée transparente en avant [15].

### **II.3.2 La tunique uvéale**

La tunique uvéale, dite aussi uvée, se compose de 3 éléments : l'iris en avant, le corps ciliaire, la choroïde en arrière [16].

### **II.3.3 La tunique nerveuse**

La tunique nerveuse se compose de la rétine [17].

### **II.3.4 Les milieux transparents**

Les milieux transparents se composent de l'humeur aqueuse, du cristallin et du corps vitré [17].

## **II.4 Structure de l'iris**

### **II.4.1 Anatomie macroscopique**

Situé dans un plan frontal, coronal, identique à celui du cristallin, l'iris, perforé en son centre par un orifice circulaire, la pupille, sépare les deux chambres antérieure et postérieure du segment antérieur de l'œil, remplies par l'humeur aqueuse. Il bombe

légèrement en avant, la pupille étant dans un plan légèrement plus antérieur que l'insertion périphérique de l'iris. On lui décrit deux faces, antérieure et postérieure, et deux bords : un bord interne, formant le bord pupillaire, et un bord externe, périphérique, inséré sur le corps ciliaire. Le diamètre de l'iris est de 12 à 13 mm. Son épaisseur varie : fine (0,1 mm) au bord périphérique, elle augmente à la collerette, atteignant 0,6 mm, puis re-diminue en allant vers la pupille. Pour Kobayashi, l'épaisseur moyenne de la partie la plus épaisse de l'iris va de 249 à 579  $\mu\text{m}$  (moyenne : 434,6). Chez l'enfant prématuré, elle varie de 188 à 306  $\mu\text{m}$  (moyenne 247) [18].

#### **II.4.2 Face antérieure de l'iris**

Bien visible, en particulier en biomicroscopie, elle présente un relief très irrégulier avec deux zones, une interne pupillaire et une externe périphérique ou ciliaire, séparées par la collerette irienne.

##### **a Collerette irienne**

Elle est située à l'union du tiers interne et des deux tiers externes de la face antérieure et apparaît comme une ligne irrégulière, saillante. Elle correspond à la limite de résorption de la membrane pupillaire, avec souvent présence de reliquats de cette membrane. Plus ou moins marquée, elle est en général bien visible avec souvent des dépôts pigmentés.

##### **b Zone interne ou pupillaire**

Étendue entre le bord pupillaire et la collerette, elle mesure 2 mm de large. Elle présente trois zones en allant de la pupille vers la collerette :

- le bord pupillaire, anneau festonné, pigmenté, formé par le débordement en avant du feuillet postérieur pigmenté de l'iris d'origine neuroblastique. Il est en général plus large en haut qu'en bas. Sa pigmentation diminue avec l'âge ;
- la zone du sphincter, bande circulaire, plus marquée sur les iris clairs ;
- la zone des cryptes de Fuchs ou stomates : ce sont des déhiscences plus ou moins profondes, à concavité dirigée vers la pupille, dont le fond apparaît réticulé et dont les

bords sont formés par des arcs charnus. Chez le nouveau-né, collerette et cryptes ne sont pas visibles.

### **c Zone externe ou ciliaire**

Plus large, 3 à 4mm, elle comporte également trois zones :

- une zone interne, plane, qui fait suite à la collerette.
- une zone moyenne, formée de plis circulaires à disposition concentrique séparés par des sillons qui augmentent lors de la mydriase, les sillons de contraction. Le pli le plus périphérique forme la ligne des crêtes de Busacca (ourlet marginal de Fuchs). Il constitue par définition la limite de la paroi postérieure de l'angle iridocornéen ;
- une zone externe comportant des anfractuosités ou cryptes ciliaires peu profondes.

### **d Coloration**

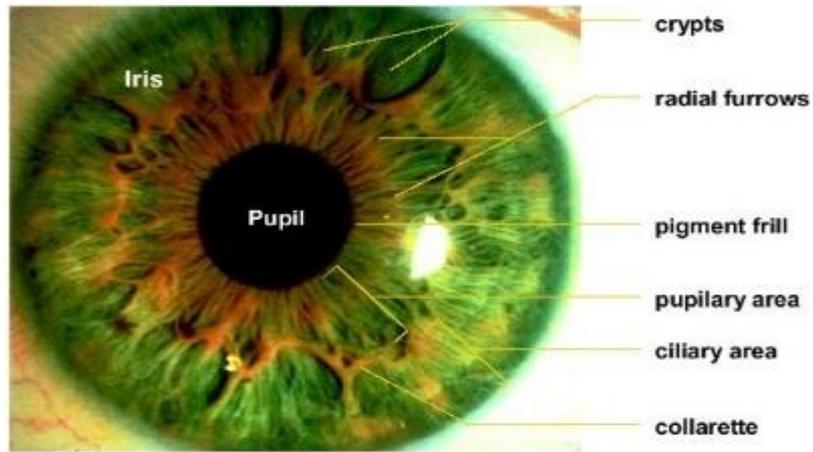
La coloration de l'iris est celle de sa face antérieure. Elle dépend de l'épaisseur de la couche pigmentée postérieure et de l'intensité de la pigmentation du stroma : plus le stroma est riche en pigment et plus l'iris est foncé.

On peut opposer ainsi des iris clairs (bleus ou verts), ayant un épithélium pigmenté mince et peu de cellules pigmentées dans le stroma, et des iris foncés (marrons), ayant une pigmentation stromale abondante. La couleur de l'iris varie avec l'âge : maximale vers 15 ans, la pigmentation diminue ensuite progressivement.

### **II.4.3 Face postérieure de l'iris**

Uniformément noire, elle présente trois types de plis :

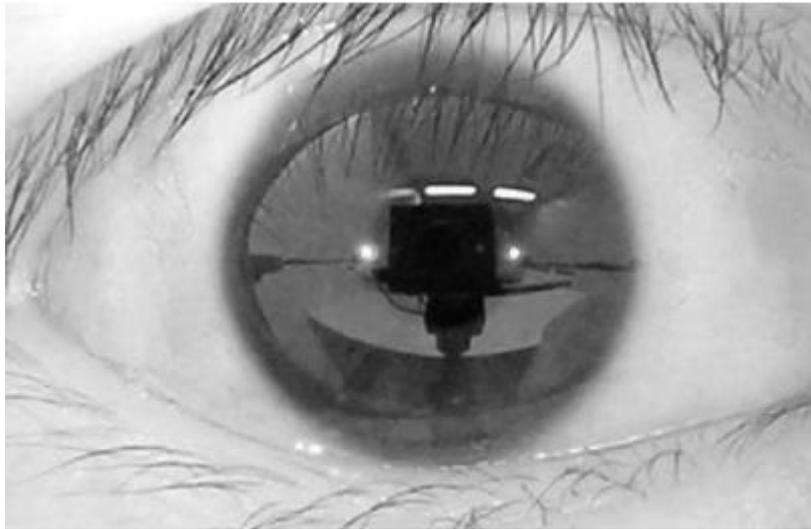
- les plis de contraction de Schwalbe, lignes radiaires minces situées au pourtour de la pupille.
- les plis structuraux de Schwalbe, lignes radiaires tendues de la pupille à la périphérie irienne, correspondant à des vaisseaux.
- les plis circulaires, concentriques à la pupille, liés à des différences d'épaisseur de l'épithélium pigmenté.



**Figure II.2 :** Composition d'un œil humain partie parfaitement annulaire de l'iris dans l'œil [18].

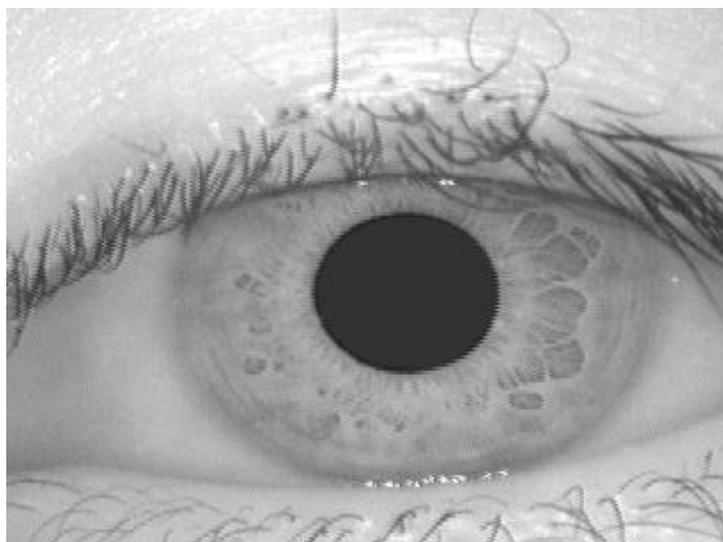
## II.5 Acquisition de l'iris

L'acquisition d'une image d'iris est considérée comme l'une des plus difficiles en biométrie. Premièrement, l'iris est sombre, il faut donc l'éclairer mais en même temps l'iris est sensible à la lumière et de fortes illuminations peuvent engendrer des malaises chez l'utilisateur. Deuxièmement, l'iris est un objet de petite taille (environ 1cm de diamètre) il est alors impératif d'utiliser des focales très puissantes ou de rapprocher l'iris de l'objectif mais non sans risque, car dans ce dernier cas, on rapprocherait l'iris de la source d'illumination ce qui pourrait nuire aux personnes. Enfin l'iris est une surface qui réfléchit la lumière dans toutes les directions et est situé derrière la cornée un miroir hautement réfléchissant [19]. Ces deux dernières caractéristiques font que si aucune technique particulière n'est employée l'iris photographié sera couvert par des reflets de toutes les sources lumineuses présentes dans l'environnement d'acquisition comme illustre dans la Figure II.3.



**Figure II.3 :** Image acquise en lumière visible, conditions normales [19].

Il est bien clair que l'image ci-dessus ne montre pas la richesse de texture que nous sommes en mesure d'espérer. Une deuxième option, adoptée par tous les industriels de la reconnaissance de l'iris qui correspond à la norme ISO, est l'utilisation d'une ou plusieurs sources infrarouge comme illuminateur puissant. La Figure II-3 montre le même iris que celui de la Figure II-2 mais acquis avec une lumière infrarouge. L'infrarouge possède deux avantages majeurs sur la lumière visible. Premièrement, la lumière est invisible, l'utilisateur ne sera pas aussi gêné qu'en lumière visible par une puissante illumination. Le deuxième avantage est que le proche infrarouge possède un pouvoir de pénétration de la cornée qui est largement plus grand que celui de la lumière visible et il est ainsi possible de récupérer une richesse de texture supérieure à celle obtenue en lumière visible surtout pour les iris sombres [20].



**Figure II.4 :** Image acquise en infrarouge [20].

## II.6 Les difficultés de la reconnaissance par l'iris

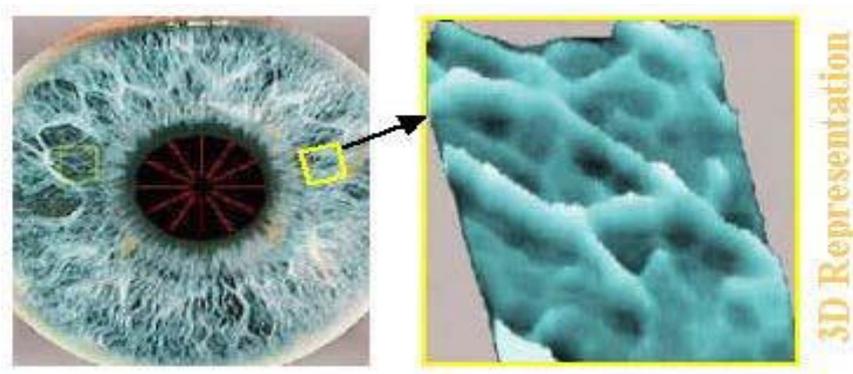
La biométrie de l'iris présente plusieurs difficultés et défis que nous devons surmonter pour définir un système de reconnaissance fiable basé sur cette modalité. L'iris est comme nous l'avons indiqué, un organe interne du corps qui doit sa visibilité depuis l'extérieur à la cornée, sensée jouer le rôle d'un miroir hautement réfléchissant. Ce miroir impliquera quelque soit le mode d'acquisition de l'iris, des réflexions sur la pupille et/ou sur l'iris qui peuvent compliquer la reconnaissance.

La texture de l'iris peut être couverte par ce qu'on appelle des bruits occultants. Ces bruits peuvent être dûs à la présence des paupières selon l'ouverture de l'œil et selon les populations peuvent aussi résulter de la présence des cils. La texture de l'iris peut aussi souffrir des réflexions dues au port des lunettes ou des lentilles.

Un phénomène peut être rencontré avec l'iris en présence concerne les mouvements brusques de l'œil (ouverture/fermeture des paupières) avec ceux de la contraction ou dilatation de la pupille selon la quantité de lumière dans l'environnement d'acquisition.

## II.7 Techniques de reconnaissance par iris

L'extraction des caractéristiques doit être capable de capturer et d'encoder cette particularité aléatoire présente dans la texture de l'iris. Les méthodes de traitement algorithmique reposent donc sur une analyse du relief et de strie de l'iris.



**Figure II.5 :** Illustration du relief de l'iris.

### II.7.1 Techniques basées sur la texture

Elles font usage de filtres pour le traitement des images et l'extraction de quelques propriétés des images filtrées afin de quantifier les images d'iris données [21].

## **II.7.2 Techniques basées sur les caractéristiques**

Elles font usage des caractéristiques locales présentes dans l'image (blocs ou taches) et enregistrent leurs localisations et caractéristiques (propriétés) pour distinguer les différentes images [22].

## **II.7.3 Techniques basées sur l'apparence**

Elles font usage d'approches statistiques classiques telles que l'analyse en composantes principales (ACP) ou l'analyse en composantes indépendantes (ACI) pour représenter les images d'iris [23].

## **II.8 Base de données**

Une base de données est une entité dans laquelle il est possible de stocker des données de façon structurée et avec le moins de redondance possible. Ces données doivent pouvoir être utilisées par des programmes, par des utilisateurs différents. Ainsi, la notion de base de données est généralement couplée à celle de réseau, afin de pouvoir mettre en commun ces informations. Il existe différentes bases de données dans le domaine de la biométrie, ce qui donne aux utilisateurs l'avantage de pouvoir choisir la base de données convenable à leurs travaux. La plupart de ces bases de données ne sont pas disponible gratuitement. Dans ce travail, nous allons utiliser la bas de données CASIA-IrisV1 définie tout au long de ce chapitre.

### **II.8.1 Les critères pour le choix de la base de données**

Plusieurs critères permettent d'opter pour une base plutôt qu'une autre ; nous pouvons citer :

- l'application est-elle prévue pour fonctionner dans un environnement à éclairage contrôlé ou non contrôlé ?
- le fond est commandé ou pas ?
- le nombre des sessions est-il suffisant pour simuler des effets temporels ?

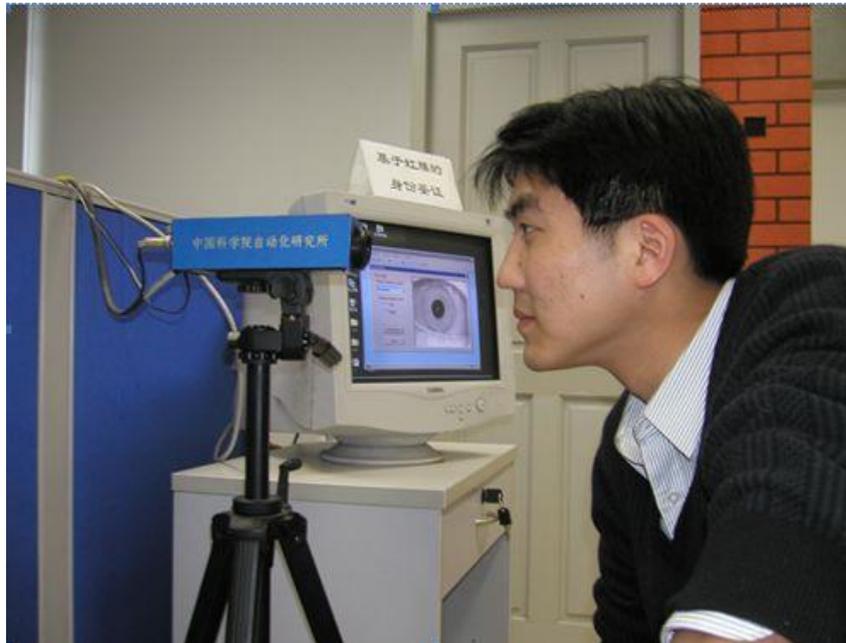
D'autres facteurs incluent :

- la taille de la base de données,
- la disponibilité,
- l'existence d'un protocole de test bien défini,
- la densité populaire élevée pour comparer les résultats

L'Académie chinoise des Sciences (CAS) est le premier centre de recherche qui a fourni la base de données « CASIA » des Iris gratuitement à la demande pour les chercheurs de reconnaissance d'Iris, sur laquelle ce travail a été effectué. Les images Iris de CASIA version 1.0 (CASIA-IrisV1) ont été capturées avec un appareil photo fabriqué par le centre CASIA. Cet appareil photo constitué de huit enlumineurs de 850nm, sont disposées circulairement autour du capteur afin d'assurer que l'Iris est uniformément et convenablement éclairé.

## **II.8.2 Description de la base de données CASIA-IrisV1**

La base de données CASIA-IrisV1 des images Iris comprend 756 photos d'iris de 108 personnes. Pour chaque personne, 7 photos sont capturées par l'appareil développé par CASIA-IrisV1 qui se met proche de l'iris (cf. Figure II.6), où trois échantillons (photos) sont prélevés à la première session, et quatre dans la deuxième session. Toutes les photos sont enregistrées au format BMP avec une résolution «320x280 » [24].



**Figure II.6 :** L'appareil développé par CASIA utilisé pour la collection de la base de donnée CASIA-IrisV1 [24].

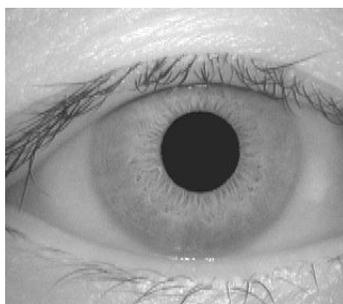
L'institut CASIA a effectué un prétraitement sur les images acquises pour les raisons mentionnées précédemment ; ce prétraitement affecte la région pupille de toutes les images d'Iris dans CASIA-IrisV1. La pupille a été automatiquement détectée et remplacée par un masque circulaire d'intensité constante pour cacher les reflets spéculaires de la lumière émise par les enlumineurs, Ces prétraitements rendent clairement la détection des contours de l'Iris plus facile, et n'ont aucun ou un effet minime sur les autres composants d'un système de reconnaissance de l'Iris humain, telles que l'extraction des caractéristiques et la conception du classificateur.

### **II.8.3 Caractéristiques de la base de données CASIA-IrisV1**

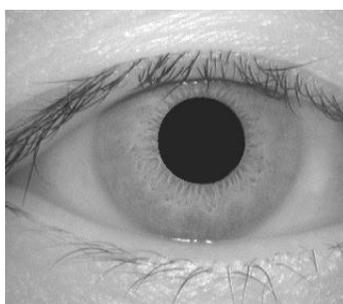
CASIA, « Chinese Academy of Science Institute of Automation », partage une base de données pour des images de l'Iris humain quelle a collectée. La base de données CASIA-IrisV1 première base publique a été demandée par plus de 1400 groupes de recherches, de 70 pays des cinq continents. La base de données est considérée comme étant très propre, c'est à dire que les images sont toutes nettes, les Iris sont faiblement couverts de paupières et de cils. Les images ont aussi subi plusieurs

prétraitements avant d'être mises à la disposition des chercheurs, ainsi les images ont été centrées et la pupille colorée en noir, comme montré par la figure II.7.

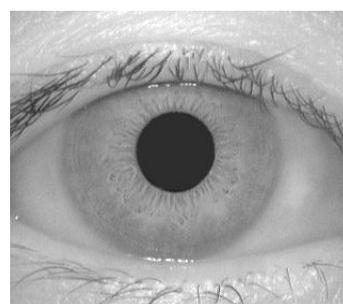
*Classe1*



*001 1 1.bmp*

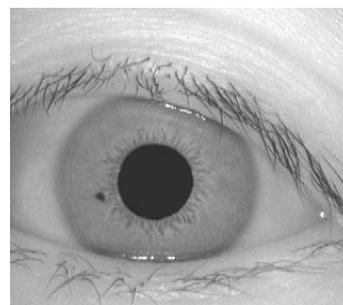
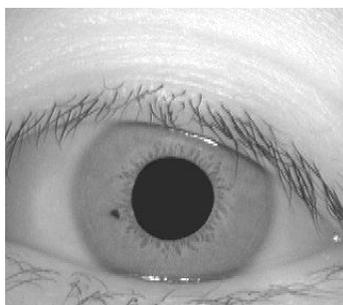
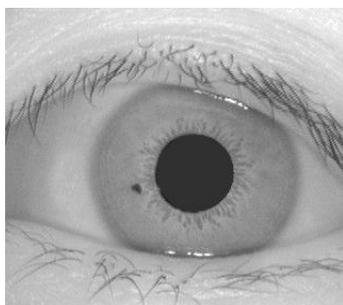


*001 2 1.bmp*



*001 2 4.bmp*

*Classe 32*

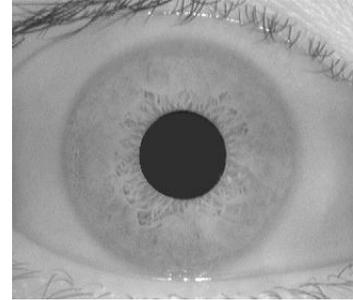
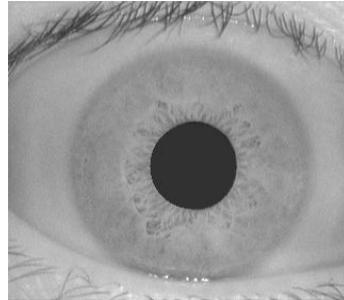
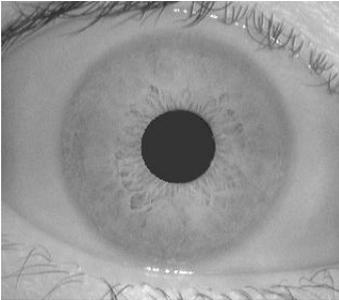


032\_1\_1.bmp

032\_2\_1.bmp

032\_2\_4.bmp

*Classe 88*

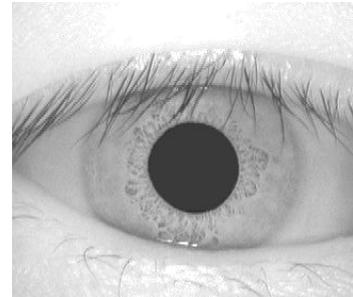
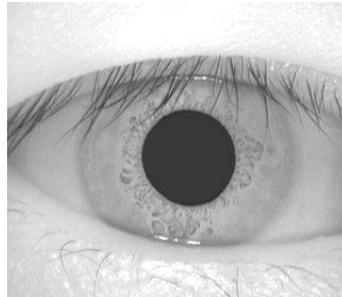
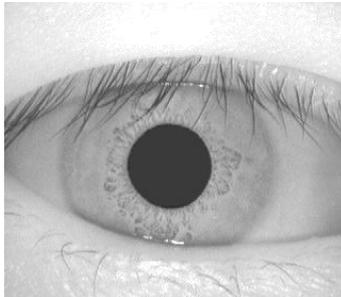


088\_1\_1.bmp

088\_2\_1.bmp

088\_2\_4.bmp

*Classe 108*



108\_1\_1.bmp

108\_2\_1.bmp

108\_2\_4.bmp

**Figure II.7 :** Echantillons de la base de données CASIA-IrisV1.

Dans ce présent travail, nous avons utilisé la base de données des images CASIA-IrisV1, sa répartition en classes est composée principalement par les images d'iris des personnes asiatiques. Chaque classe de l'Iris est composée de 7 échantillons du même œil. Le tableau II.1 montre les caractéristiques de la base de données CASIA-IrisV1.

Nombre des Classes ou Personnes	108
Nombre des images ou échantillons par classe	7
Nombre d'échantillons dans la base de données	756
Dimension et Résolution d'une image	320x280 pixels en échelle de gris.
Format	bitmap
La taille d'une image en octet	Vers 88.5ko
Le dispositif utilisé au niveau de l'acquisition	digital optical sensor designed by NLPR (National Laboratory of Pattern Recognition)

**Tableau II.1** Caractéristiques de la Base de Données CASIA-IrisV1.

#### II.8.4 Organisation de la Base de données CASIA-IrisV1

La base de données CASIA-IrisV1 contient 108 dossiers, le nom de chaque dossier est unique, et désigne une classe qui correspond à une personne spécifiée. Les images de chaque classe sont renommées par un code décimal qui représente une certaine propriété utile liée à l'image, telle que l'adresse des images, en spécifiant la session, et l'appartenance à une classe [25]. Les images de l'iris sont stockées sous la forme suivante:

**XXX\_S\_Y.bmp**

avec :

**XXX:** Identifiant unique de l'œil, allons de 000 à 108.

**S:** Indice qui désigne la session, ces images ont été acquises en deux sessions séparées de quelques semaines.

**Y:** Indice de l'image dans la session. Ces indices vont de 1 à 3 dans la première session, et de 1 à 4 dans la deuxième session.

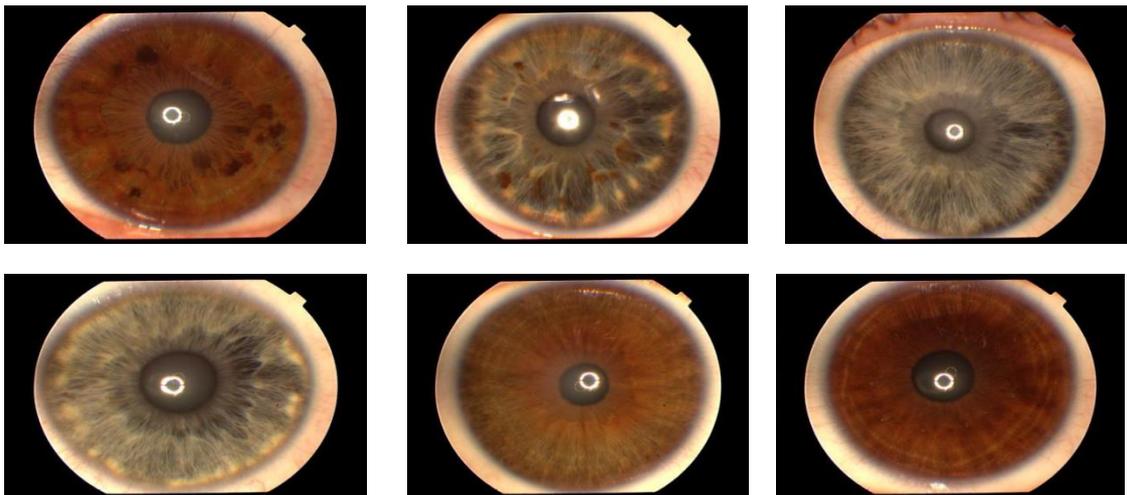
Alors « XXX\_S\_Y. bmp » signifie l'image Iris de l'indice Y dans la session S de la classe XXX de format bitmap.

### **II.8.5 Les différentes bases de données qui existent**

Dans le domaine de la biométrie par Iris, il existe peu de bases de données publiques. La plupart des capteurs d'Iris étaient développés à des fins commerciales sans permettre aux utilisateurs d'enregistrer les images acquises par ces capteurs ; d'autres ne remplissent pas les conditions d'acquisition pour le choix de la base données.

#### **II.8.5.1 Base de données UPOL**

Cette base de données d'Iris contient 384 images de 64 personnes européennes. Les Iris ont été acquis par le capteur TOPCON TRC50IA connecté à la caméra SONY DXC-950P 3CCD. La base est propre, la qualité des images est très bonne sans aucune occlusion des paupières et des cils . Ces images incluent un bruit provoqué par la réflexion d'enlumineur sur l'image. Les images sont acquises en couleur au format PNG avec la résolution « 768x576 » [26].

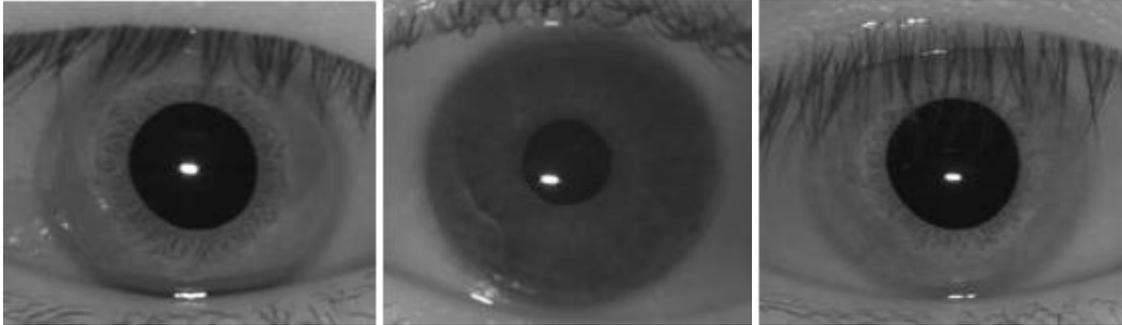


**Figure II.8 :** Exemples de la base de données UPOL [26].

#### **II.8.5.2 base de données UBATH**

L'université de Bath a développé un système de capture d'Iris permettant d'acquérir des images de haute qualité, soit 2000 images d'Iris de 50 personnes. Les européens et les asiatiques sont représentés dans cette base. Parce que la capture a

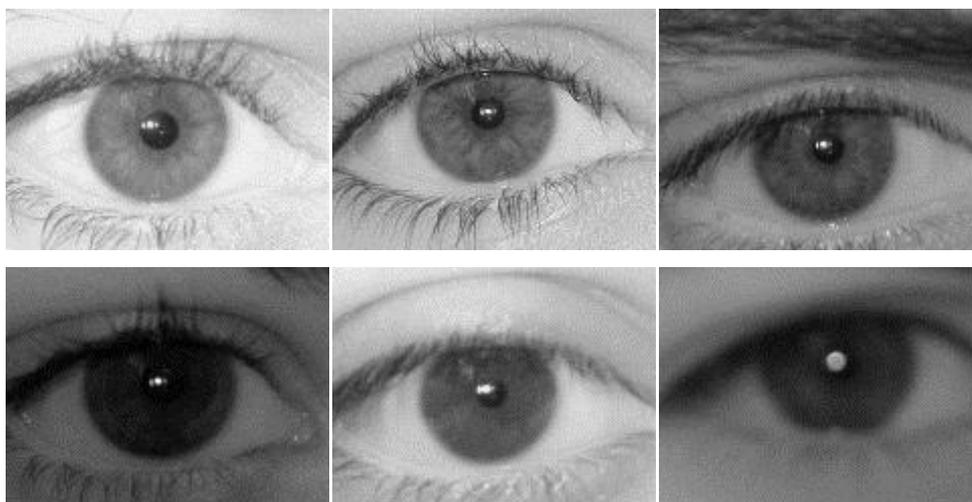
été faite en mode très contrôlé, la qualité des images d'Iris est très bonne et la résolution dépasse largement les résolutions des autres bases disponibles [26]. Voir figure III.4. Les images de la base de données UBATH, ont une résolution de «1280x960».

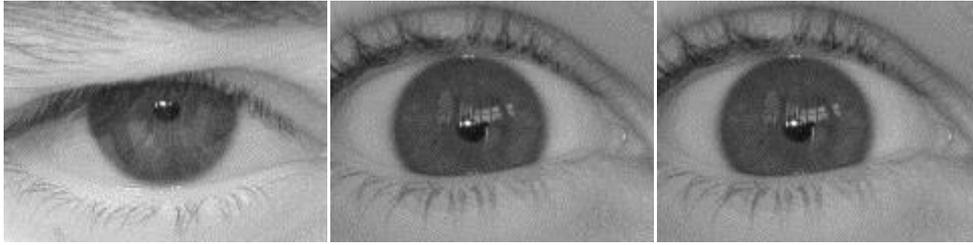


**Figure II.9 :** Exemples de la base de données UBATH [26].

### II.8.5.3 base de données UBIRIS. v1

Cette base de données qui a été proposée pour tester la robustesse des algorithmes de reconnaissance d'Iris aux différents types de dégradations que les images d'Iris ont subi. Dans ce but, plusieurs variations des conditions d'acquisition et diverses dégradations des images (illumination, contraste, réflexion, etc.) ont été introduites dans cette base de données. Elle contient 1877 images, de résolution «400x300» de 241 personnes capturées en deux sessions (cf. figure II.6). Les images ont été acquises sous la lumière visible, mais elles sont aussi disponibles en couleur sous deux résolutions possibles : «800x600» et «200x150». Le grand point faible de cette base de données est qu'elle a été acquise en lumière visible et ne peut donc être utilisée pour évaluer des systèmes développés sur des images en infrarouge [27].





**Figure II.10** : Exemples de la base de données UBIRIS. V1 [27].

#### **II.8.5.4 Base de données UBIRIS. v2**

Elle correspond à la deuxième version de la base de données UBIRIS. Elle contient plus de 11 000 images, et elle est en croissance continue. Avec plus de facteur bruit, les images ont été capturées en réalité à une distance et sur le mouvement [27].



**Figure II.11** : Exemples de la base de données UBIRIS. v2 [27].

#### **II.8.5.5 Base de données NIST**

« National Institute of Standards and Technology », a mis à disposition des chercheurs sa base ICE 2005. La base contient 2953 images de 132 personnes acquises par la caméra dédiée LG2200. Voir figure II.8. Dans la plupart des cas l'Iris gauche et droit sont acquis en même temps. Cette base de données est une sous partie d'une base plus

large de plus de 25094 images. La base contient plusieurs variations intra classe et différents types de dégradation. En effet les images peuvent être occultées par les paupières et les cils [27].



**Figure II.12 :** Exemple de la base de données ICE [27].

## **II.9. Conclusion**

Ce chapitre donne un bref aperçu sur les conditions et les difficultés au niveau de l'acquisition de l'iris, montre aussi les bases de données les plus connues dans le domaine de la reconnaissance par Iris, à savoir UPOL, UBATH, UBIRIS, et ICE. Il présente aussi en particulier la base de données CASIA-IrisV1 sur laquelle ce travail a été réalisé, et les critères sur lesquelles nous avons choisi CASIA-IrisV1 comme une base de données.

Dans le chapitre qui suit, nous allons décrire la démarche que nous avons adoptée pour la réalisation de notre système.

### III.1 Introduction

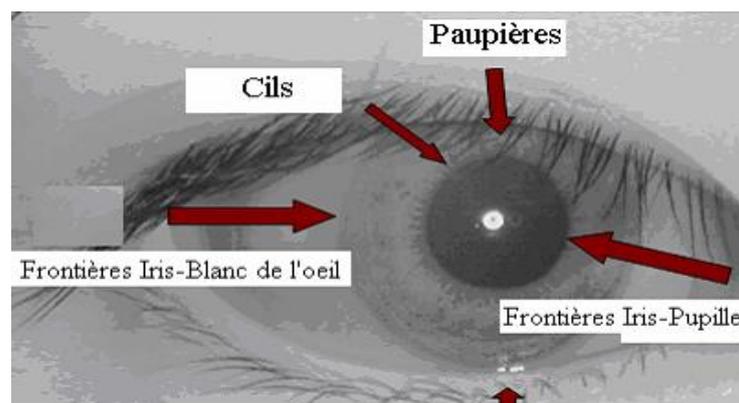
Dans le but de concevoir un système d'identification biométrique de personnes par reconnaissance de l'iris, plusieurs étapes sont nécessaires. Les données acquises par des capteurs spécifiques ou sauvegardées dans une base de données subissent d'abord des prétraitements afin de les débarrasser du bruit. Elles seront ensuite traitées dans le but d'obtenir un gabarit qui représente l'identité biométrique de l'image, celui-ci caractérise le plus d'informations possibles contenues dans cette image en un minimum d'espace. L'étape d'extraction des caractéristiques est la plus importante car les performances du système en dépendent.

### III.2 Segmentation de la pupille et de l'iris

La segmentation est une technique nécessaire pour isoler et exclure les informations inutiles, ainsi que la localisation de la région circulaire. L'image peut être considérée comme une scène composée de différentes régions, objets, etc. Ainsi, la segmentation permet de montrer les contours des objets dans une image.

Dans le cas de la reconnaissance de l'iris, elle consiste à trouver la frontière intérieure entre la pupille et l'Iris et la frontière extérieure entre l'Iris et la sclérotique comme illustrée dans la Figure III-1 ci-dessous. Elle est entourée par des frontières extérieures (iris-blanc de l'œil) et des frontières intérieures (iris-pupille).

Ces limites, bien que pas toujours parfaitement circulaires, les deux frontières, intérieure et extérieure, d'un Iris typique peuvent être prises approximativement par des cercles. Toutefois, les deux cercles ne sont généralement pas centralisés [28].



**Figure III.1** : Une image d'iris avec les différentes parties à détecter [28]

### III.3 Les différentes méthodes de détection d'iris de la pupille

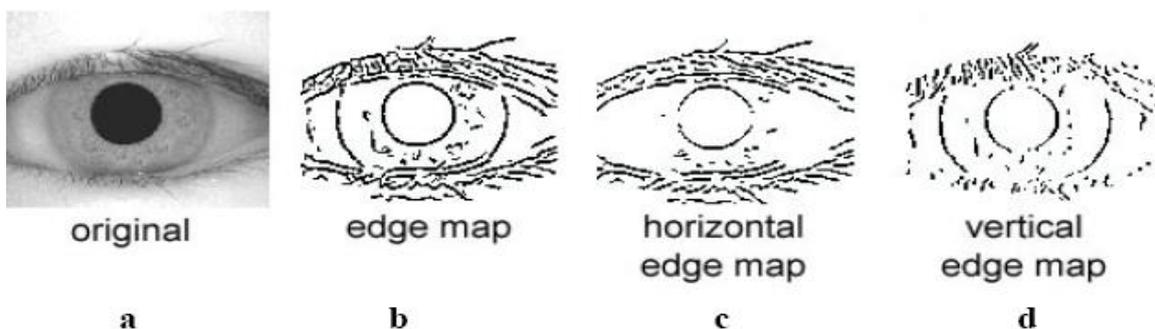
Il existe plusieurs méthodes dans la littérature pour aboutir à l'extraction de l'iris, nous allons présenter quelques unes dans ce qui suit.

#### III.3.1 La méthode par La transformée de Hough

La transformée de Hough est une technique qui peut être utilisée afin d'isoler des objets de formes géométriques simples dans l'image. En général, on se limite aux lignes, cercles ou ellipses présents dans l'image. L'un des grands avantages de la transformée de Hough est qu'elle est tolérante aux occlusions dans les objets recherchés et demeure relativement inaffectée par les bruits. Cette technique nous permet de reconnaître les lignes (droite), les cercles ou n'importe quelle forme présente dans une image. Les objets à détecter dans l'image de l'œil (iris, pupille, paupières) sont circulaires ou ellipsoïdaux et donc se prêtent bien à une détection par la transformée de Hough [29].

Les étapes de la transformée de Hough sont les suivantes :

- Une image de contours est générée par une quelconque méthode de génération de contours. Plusieurs images de contours obtenues par la méthode Canny sont montrées sur la figure(III.2).
- Un processus de vote est mis en place sur l'image de contours obtenue. Chaque point de contour vote pour les cercles dont il appartient et le cercle qui obtient le plus de vote est le cercle recherché. Dans ce cas, nous comptabilisons pour chaque cercle dans la zone recherchée ; le cercle qui possède le plus de points de contours est le cercle recherché.



**Figure III.2** : Image de l'oeil (a), différentes images de contours par la méthode Canny selon que l'on considère des contours diagonaux (b), horizontaux (c) ou verticaux (d).

### III.3.1.1 Détermination du rayon et du centre de la pupille et de l'iris

Pour déterminer le centre de la pupille on procède comme suit :

- Binarisation de l'image
- Seuillage
- Détermination du rayon  $R_p$  et du centre de la pupille  $c_p(x_p, y_p)$ .

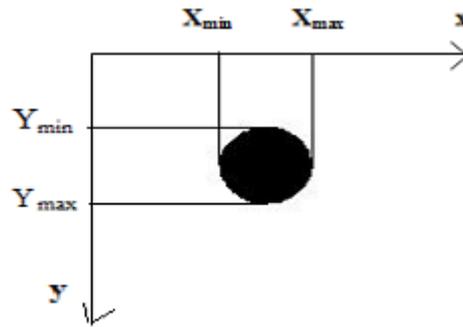


Figure III.3 : Détermination du rayon et du centre de la pupille

Le rayon et le centre de la pupille sont donnés par les formules suivantes :

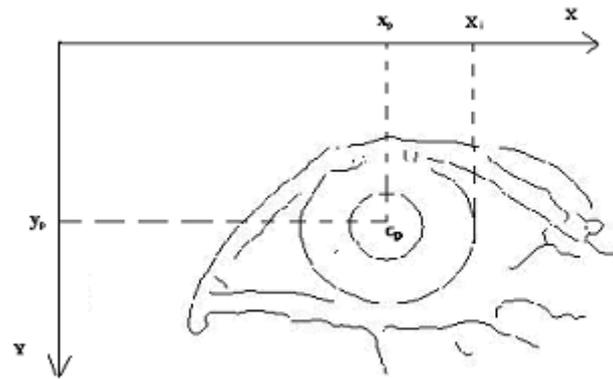
$$R_p = (x_{max} - x_{min})/2 \quad (III.1)$$

$$x_p = R_p + x_{min} \quad (III.2)$$

$$y_p = R_p + y_{min}$$

### III.3.1.2 Détermination du Rayon de l'iris

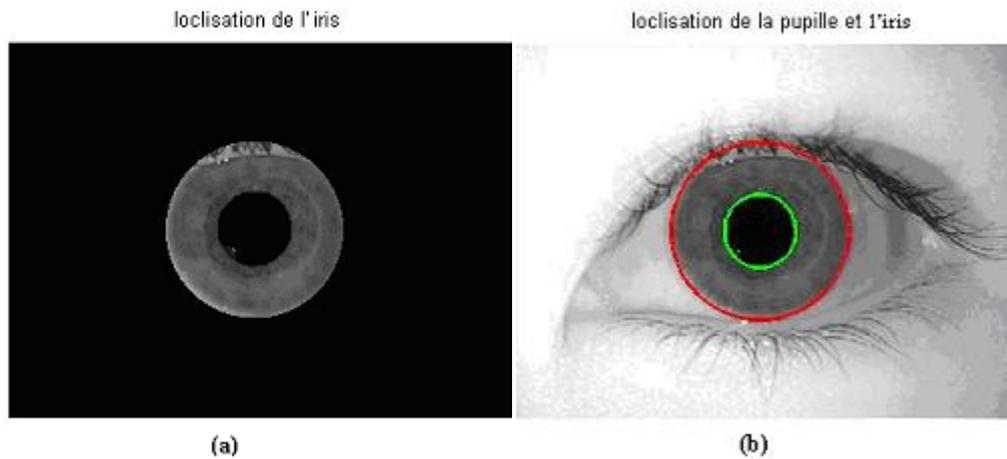
Après avoir déterminé  $C_p(x_p, y_p)$  on peut extraire le rayon de l'iris  $R_i$ : à partir du centre de la pupille et en partant de ce point ( $C_p$ ) que nous avons trouvé, nous avançons jusqu'à trouver un deuxième contour. Nous notons alors le point ( $X_i$ ) où nous sommes arrivés: il appartient au bord de l'iris.



**Figure III.4 :** Détermination du Rayon de l'iris

Donc le rayon de l'iris est donné par l'équation suivante :  $R_i = (C_p - x_i)$

À partir de ces équations, on peut facilement isoler la région de l'iris



**Figure III .5 :** (a) région de l'iris, (b) localisation de la pupille et de l'iris

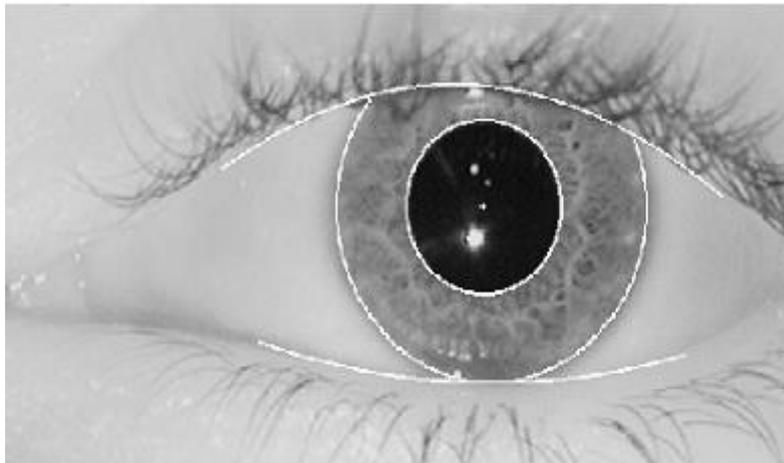
### III.3.2 Méthode par détecteur de contours circulaires

Le système de Daugman est basé sur plusieurs avancées majeures et originales. Tout d'abord, il a proposé une méthode de détection de l'iris dans l'image de l'œil, de la pupille et des paupières basée sur la mesure d'un Integro - Differentiel Operator « IDO » défini par l'expression suivante [34 ;39]:

$$\max_{(r,x_0,y_0)} = \left| G_\sigma(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r,x_0,y_0} \frac{I(x,y)}{2\pi r} ds \right| \quad (\text{III.3})$$

$$\text{Avec : } G_\sigma(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{r^2}{2}}$$

où  $I(x, y)$  est l'image de l'œil,  $r$  le rayon du cercle que l'on est en train de chercher et  $G\sigma(r)$  est une fonction gaussienne de lissage. L'opérateur effectue donc la différence entre la moyenne des gradients calculés sur deux cercles de rayons  $r$  et  $r+1$ . Le cercle qui maximise cette différence est le cercle recherché. Ainsi, l'opérateur est appliqué de manière itérative avec un degré de lissage de moins en moins fort afin d'atteindre une détection précise. La figure III.6 montre une image segmentée par la méthode intégral-différentielle.



**Figure III.6 :** Segmentation de l'iris par la méthode intégral-différentielle.

La méthode intégral-différentielle peut être vue comme une généralisation de la méthode de la transformée de Hough. En effet, elle utilise une image du gradient afin de rechercher un contour géométrique bien défini. Puisqu'elle utilise l'image du gradient sans seuillage, cette méthode ne souffre pas de problèmes de recherche de points de contours et donc d'élaboration de stratégie pour trouver des seuils. Par contre, cette méthode est plus sensible aux bruits car ces derniers engendrent des gradients très forts qui peuvent fausser la moyenne du gradient sur un cercle et attirer le contour vers leurs positions [30].

Quelque soit la méthode utilisée (Transformée de Hough ou détecteur intégral-différentiel), une modélisation a priori des contours recherchés par des formes géométriques est nécessaire. En effet, la pupille n'est souvent pas parfaitement circulaire et peut subir quelques déformations en particulier à cause de l'angle de prise de vue. L'iris non plus ne peut pas être considéré comme un cercle car il est couvert par les paupières sur les parties supérieures et inférieures [30].

### III.3.3 Méthode par les contours actifs

L'idée d'utiliser les contours actifs pour une détection des paupières, de l'iris et de la pupille a été évoquée par Masek [28]. Plus récemment Daugman et Xiaomei Liu ont publié des documents indiquant qu'ils ont utilisé les contours actifs comme moyen d'isoler l'iris du reste des régions de l'œil [31;40]. Le paramètre  $s$  représente le point de contrôle. Ces valeurs prises entre 0 et 1 donnent lieu à la courbe (courbe paramétrée). Cette méthode ne peut pas détecter automatiquement des contours dans une image. Elle a besoin d'une position initiale pour les points de contrôle. L'idée principale de cette méthode est de déplacer les points de contrôle pour les rapprocher le plus possible des contours d'intérêt. Elle est basée sur les notions d'énergies interne et externe dont le but est de minimiser l'énergie totale présente le long de la courbe [31].

L'énergie d'un contour dépend de sa forme et de sa position dans l'image. Ces deux paramètres définissent les forces intérieures et extérieures du contour.

Un contour est défini d'une manière paramétrée par :

$$V(S) = [X(S), (YS)] \quad (III.4)$$

Où  $s \in [0,1]$  est l'arc normalisé tout au long du contour. L'énergie peut être écrite sous la forme suivante :

$$E_{snaks} = E_{interne} + E_{externe} \quad (III.5)$$

L'énergie interne est :

- 1) La force d'élasticité : elle contrôle la tension du contour actif et empêche le contour de se rétracter mais aussi l'extension de ce dernier.
- 2) La force de courbure: Cette force contrôle la rigidité du contour. Pendant le processus de déformation, elle essaye de lisser le contour.

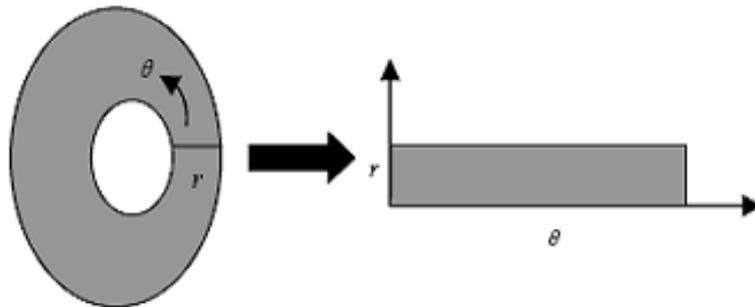
L'énergie externe est:

La dérivée de l'intensité de l'image. Son but est d'attirer la courbe au plus près du contour d'intérêt. Cette énergie est la nature de l'attraction vers les contours intéressants.

### III.4 Normalisation de l'iris

#### III.4.1 Méthode pseudo-polaire

L'iris humain, comme il a été cité précédemment, est un disque pas toujours parfaitement circulaire et de forme irrégulière. Ces irrégularités sont dues à la dilatation et contraction de la pupille, du fait que les deux cercles ne sont pas concentriques et du fait des changements non linéaires de la texture de l'iris. Ces caractéristiques ont poussé Daugman à développer une méthode de normalisation pseudo-polaire du disque de l'Iris appelée la méthode "Rubber Sheet" dont la signification pourrait être vue comme une tentative d'étendre le disque de l'iris comme du caoutchouc. Comme l'illustre la Figure III.7. Cette méthode est la pseudo-polaire car les deux cercles de l'iris et de la pupille ne sont pas concentriques [32].



**Figure III.7 :** Transformation en pseudo-polaire [32].

Plus précisément la transformation se fait selon l'équation suivante :

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta) \quad (\text{III.6})$$

Avec :

$$x(r, \theta) = (1 - r)x_p(\theta) + rx_s(\theta)$$

$$y(r, \theta) = (1 - r)y_p(\theta) + ry_s(\theta)$$

Où,

$I(x, y)$ : est l'image de la région Iris,

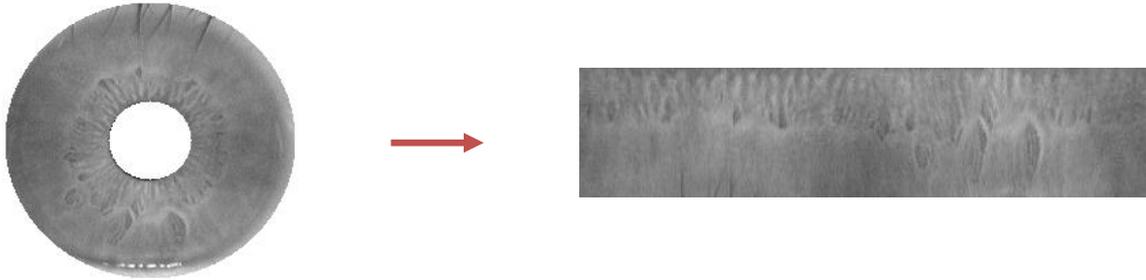
$(x, y)$  : sont les coordonnées cartésiennes originale,

$(r, \theta)$  : sont les coordonnées polaires normalisées correspondantes.

$x_p(\theta)$  : sont les coordonnées polaire normalisés correspondants.

$x_p(\theta)$ , représente l'abscisse du point de la frontière détectée de la pupille dont le segment passe par ce point et le centre de la pupille fait un angle  $\theta$  avec une direction choisie. De même  $y_p(\theta)$  représente l'ordonnée de ce même point, alors

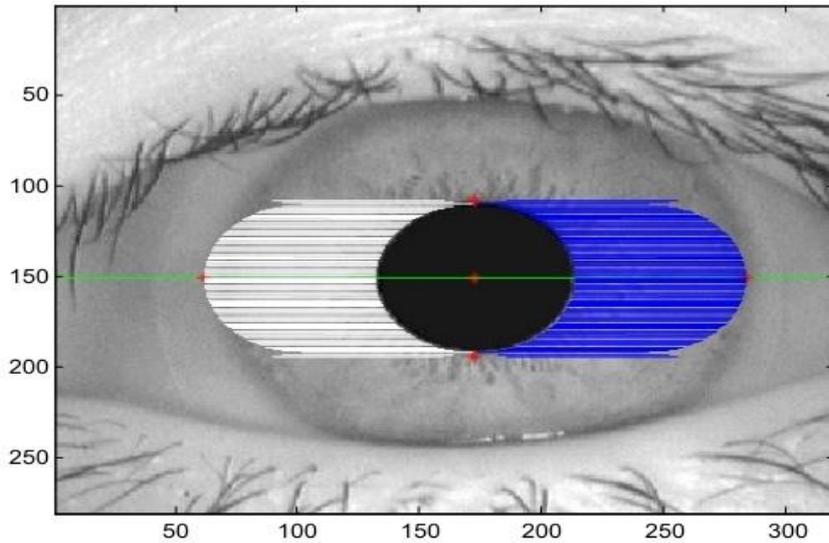
$x_s(\theta)$  et  $y_s(\theta)$  représentent les coordonnées des points obtenus par le même principe mais sur le contour de l'iris. La figure III.8 montre des images normalisées obtenues par ce processus. L'image normalisée est rectangulaire de taille constante, généralement la taille choisie est de 80\*512 pixels, la largeur de l'image représente la variation sur l'axe angulaire alors que la hauteur représente les variations sur l'axe radial.



**Figure III.8 :** Image d'iris normalisée (base de données CASIA-IrisV1).

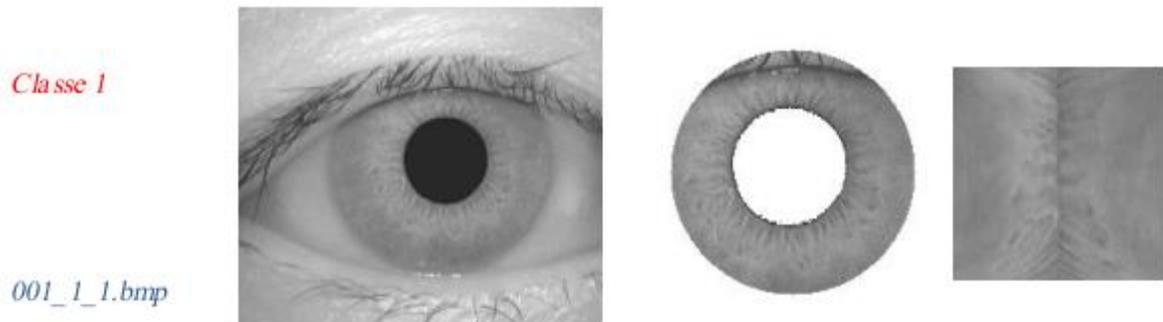
#### III.4.2 La méthode de P.Eduardo

La méthode de segmentation est utilisée pour différentes raisons. La première est de confiner la reconnaissance seulement sur l'information qui va permettre la distinction des individus. La seconde est la tentative de réduire la taille du vecteur motif, et pour projeter l'information utile dans un nouveau plan de dimension fixe pour toutes les images. Par exemple, la base de données CASIA fournit des images qui ont une taille de 320x280 pixels. Si nous allons concaténer toutes les lignes de l'image en un seul vecteur, le problème sera de classer un vecteur avec 89 600 éléments. Cette dimension est très grande, et nous allons affronter le problème des données à grande dimension (Curse of dimensionality), qui pourra nous conduire à des résultats moins satisfaisants. Pour avoir moins d'influence des cils et des paupières, P.Eduardo a tenté de réduire la dimensionnalité et de prendre uniquement l'information de la région Iris qui entoure la pupille des deux côtés [33].



**Figure III.9 :** Représentation de la partie sélectionnée (en blanc et bleu) par la méthode de P.Eduardo.

Un exemple d'application de la méthode de P. Eduardo est donné dans la figure III.10.



**Figure III.10 :** Application de la méthode de P.Eduardo sur un échantillon de la base de données CASIA-IrisV1.

### III.4.3 Extraction des caractéristiques

Jusqu'à présent, les chercheurs sont parvenus à isoler la région de l'iris porteuse d'information et à la placer d'une façon bien déterminée dans une matrice. Il s'agit maintenant de traiter cette région d'iris pour localiser les caractéristiques significatives et ainsi permettre l'identification d'un individu déterminé lors d'une comparaison avec d'autres iris. La plupart des méthodes que l'on trouve dans la littérature utilisent différents types d'ondelettes ou de filtrages par fenêtre et la recherche sur ce sujet est encore d'actualité.

John Daugman utilise les filtrages à deux dimensions de Gabor. Wilds quant à lui, se sert du passage à zéro d'ondelettes à une dimension ; elle combine les ondelettes de Haar à deux dimensions à la 4ème échelle et un réseau neuronal. Masek a étudié en 2003

l'application d'une ondelette Log-Gabor et a constaté qu'elle présentait de bonnes qualités d'analyse dans le cas de l'iris [28].

### III.4.3.1 Extraction par filtre de Gabor

Daugman a utilisé le filtre de Gabor à 2 dimensions (2D) afin de coder le modèle d'iris. Il démodule la sortie du filtre afin de compresser les données par quantification de l'information de phase dans quatre niveaux. Il a été montré par Oppenheim et Lim que l'information de phase, plutôt que celle de l'amplitude fournit les informations les plus significatives dans une image. Ces quatre niveaux sont représentés en utilisant deux bits de donnée ; un total de 2048 bits est calculé pour tout le calibre [34]. La démodulation et le processus de quantification de phase peuvent être représentés comme :

$$h_{\{Re,Im\}} = sgn_{\{Re,Im\}} \iint_{p\phi} I(p, \phi) e^{-iw(\theta_0 - \phi)} e^{-(r_0 - \rho)^2 / \alpha^2} e^{-(\theta_0 - \phi)^2 / \beta^2} \rho d\rho d\phi \quad (III.7)$$

Où :

$(r_0, \theta_0)$  : indique la fréquence centrale du filtre.

$(\alpha, \beta)$  : indiquent la largeur et la longueur efficaces.

$I(\rho, \phi)$  : est une image d'iris dans un système du même rang polaire sans dimension et  $h$  peut être considéré comme un bit complexe dont la partie réelle et imaginaire dépendent du signe de l'intégrale 2D.



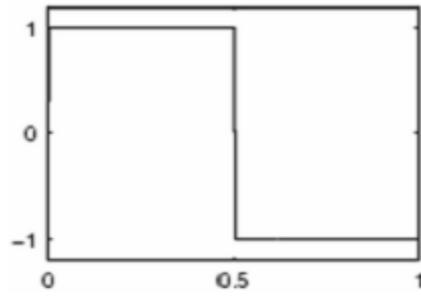
**Figure III.11** : Exemple de code d'iris généré par la méthode Daugman [34].

### III.4.3.2 Extraction par ondelettes de Haar

En traitement d'image, les ondelettes orthogonales sont très utilisées car elles conduisent à des calculs rapides. Dans le cas de signaux d'une dimension (1D), le signal est décomposé en une approximation et un détail. En deux dimensions (2D), l'image est décomposée en une approximation et trois détails (horizontal, diagonal et vertical) [35].

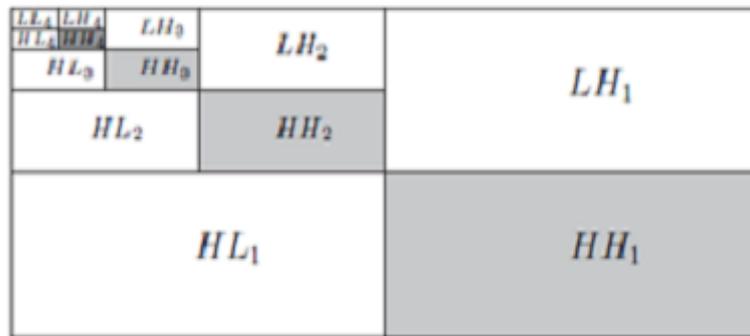
L'équation d'une fonction de base pour extraire les caractéristiques de la région de l'iris est donnée par :

$$H(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in [0, 1/2] \\ -1 & \text{si } x \in [1/2, 1] \end{cases} \quad (\text{III.8})$$



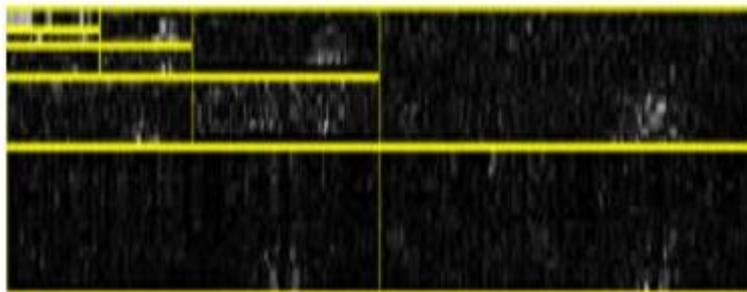
**Figure III.12 :** Ondelette de Haar [35].

La figure (III.13) présente les sous-images après la transformation. Les désignations H et La représentent respectivement le filtre passe-haut et le filtre passe-bas et HH indique que le filtre passe-haut est appliqué aux signaux des deux axes (lignes puis les colonnes de la matrice associée à l'image).



**Figure III.13 :** forme de décomposition en sous-bandes par l'ondelette de Haar [24].

La texture de l'iris est décomposée sur 4 niveaux, et le vecteur de caractéristiques d'un iris est construit en combinant la sous-image HH4 (4<sup>ème</sup> niveau) avec l'intensité moyenne des 3 autres sous-images HH1, HH2 et HH3. Afin de réduire le temps de calcul pour manipuler le vecteur de fonctionnalité, nous quantifions chaque valeur réelle en valeur binaire en convertissant simplement la valeur positive en '1' et la valeur négative en '0' [24].



**Figure III.14** : Texture d'iris décomposé en sous- images par ondelette de Haar

### III.5 Matching par distance de Hamming

Le calcul de score s'effectue au moyen du calcul de la distance de Hamming qui est donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{HD}_{\text{raw}} = \frac{\|(\text{codeA} \otimes \text{codeB}) \cap \text{maskA} \cap \text{maskB}\|}{\|\text{maskA} \cap \text{maskB}\|} \quad (\text{III.9})$$

Où code A et code B sont deux codes calculés à partir de deux images d'iris par le procédé précédemment décrit et mask A et mask B représentent leurs masques associés.

Littéralement la distance de Hamming calcule le nombre de bits différents et valides pour les deux iris entre le code A et le code B. Plus la distance de Hamming est faible, plus les deux codes se ressemblent.

Une distance 0 correspond à une parfaite correspondance entre les deux images alors que deux images de personnes différentes auront une distance de Hamming proche de 0.5.

L'introduction des masques A et B dans la mesure de la distance de Hamming fait que celle-ci n'est pas mesurée uniformément quelque soient les deux échantillons que nous tentons de mettre en correspondance. En effet plus les paupières, les cils et autres bruits couvrent la texture de l'iris et plus les codes correspondants contiennent des bits erronés qui n'interviendront pas dans le calcul de la distance de Hamming. Or une distance mesurée à partir de peu de bits valides n'a pas la même signification, ni sans doute la même plage de variation, qu'une distance mesurée sur plus de bites. Daugman propose alors une méthode de normalisation de la distance de Hamming pour tenir compte du nombre de bits qui interviennent dans le calcul de la distance a été calculée. La nouvelle distance de Hamming normalisée est alors calculée selon la formule suivante :

$$HD_{\text{norm}} = 0.5 - (0.5 - HD_{\text{raw}}) \sqrt{\frac{n}{911}} \quad (\text{III.10})$$

Où  $n$  représente le nombre de bits valides,  $HD_{\text{raw}}$  la distance de Hamming précédemment définie et 911 un coefficient de normalisation qui correspond à la moyenne du nombre de bits valides pour une comparaison entre deux codes d'iris.

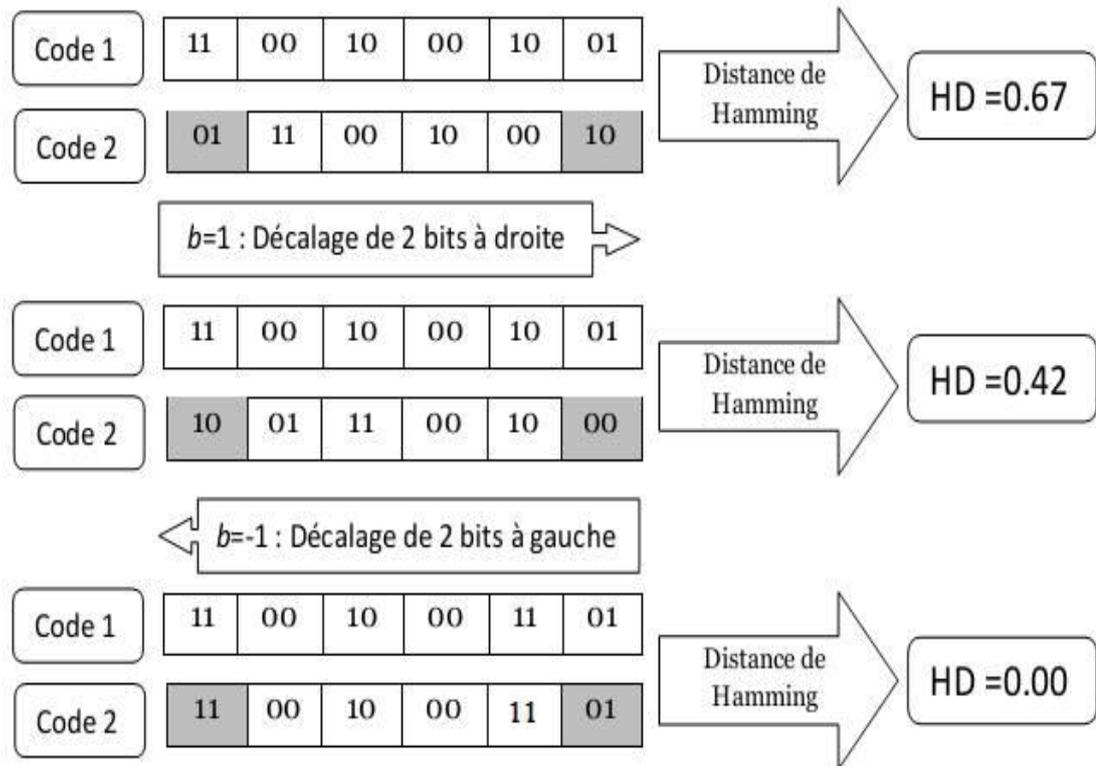
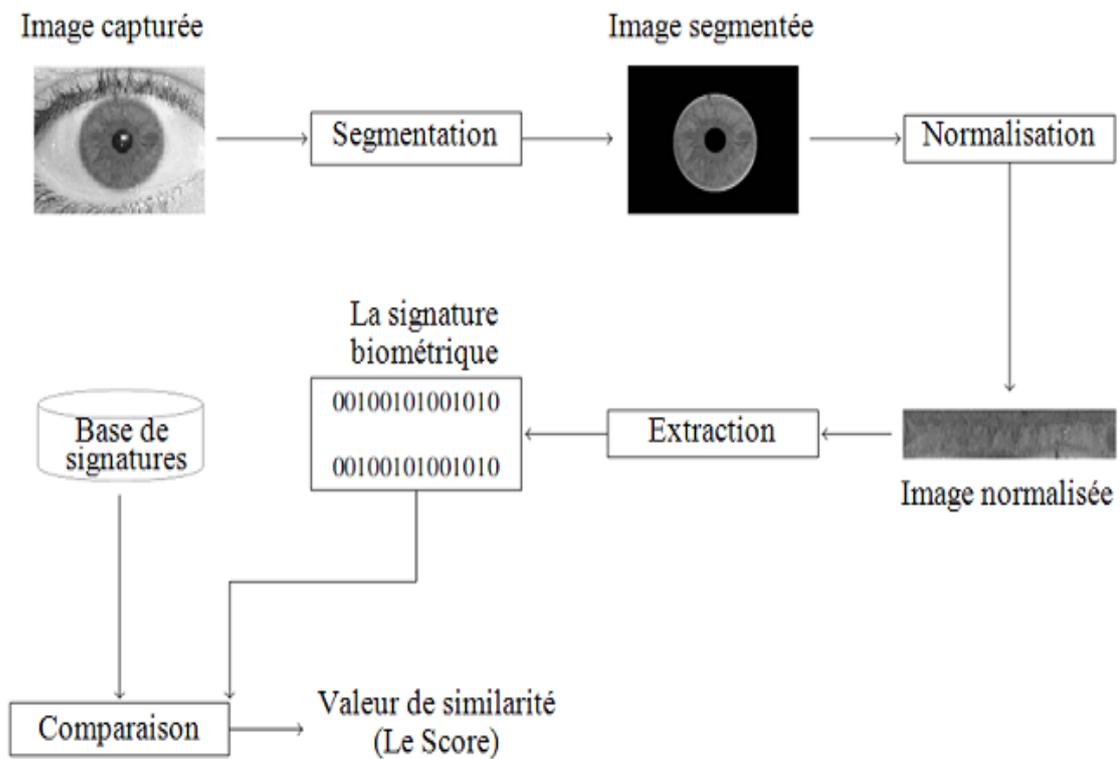


Figure III.15 : illustration du processus de décalage utilisé dans le calcul de la distance de Hamming entre deux codes de l'iris.

### III.6 Démarche adoptée

Après avoir parcouru les principales méthodes, nous présentons dans ce qui suit le schéma général intervenant dans l'identification de l'iris.

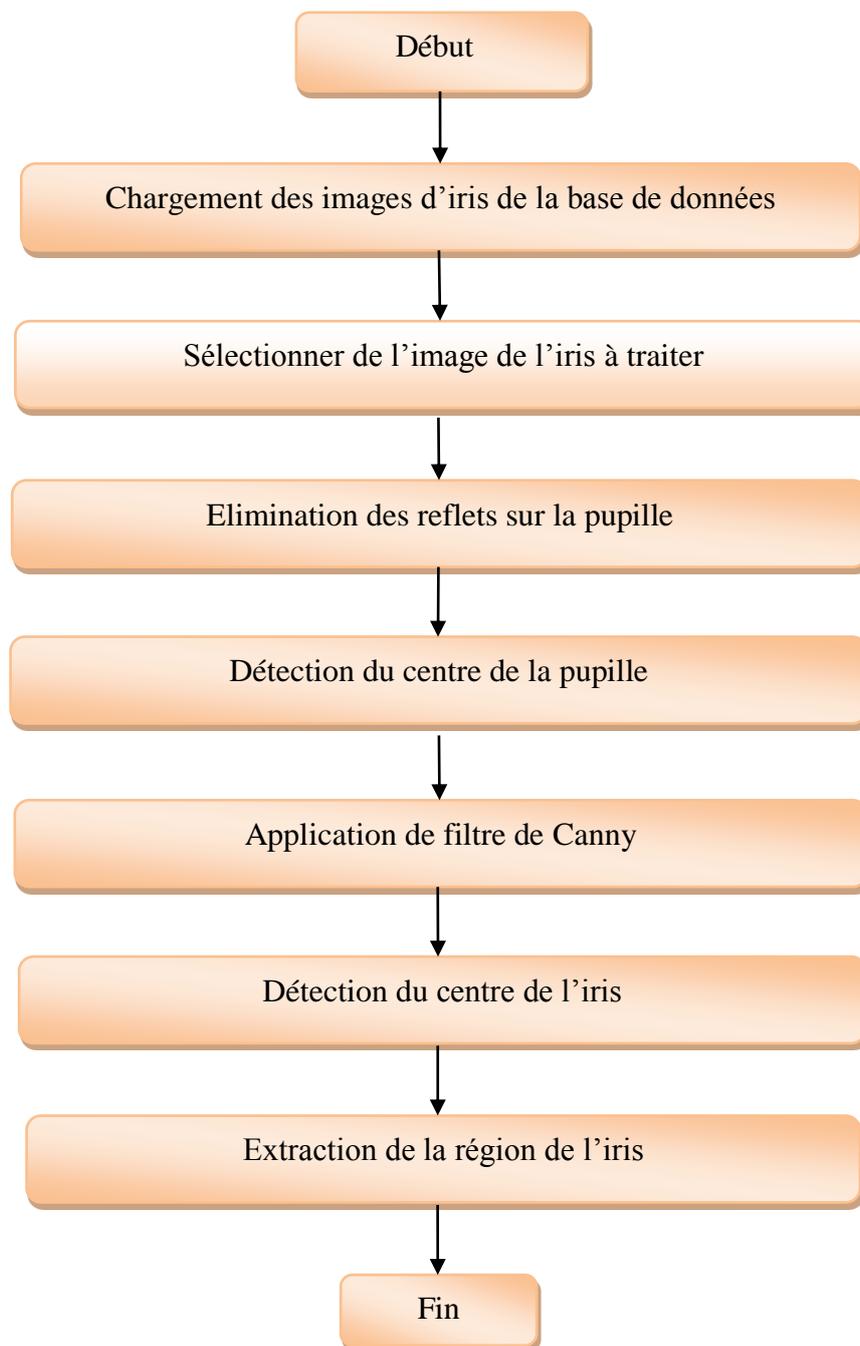


**Figure III.16 :** Démarche adoptée pour notre travail.

Le schéma ce fait par les organigrammes suivantes :

### III.6.1 Extraction d'iris

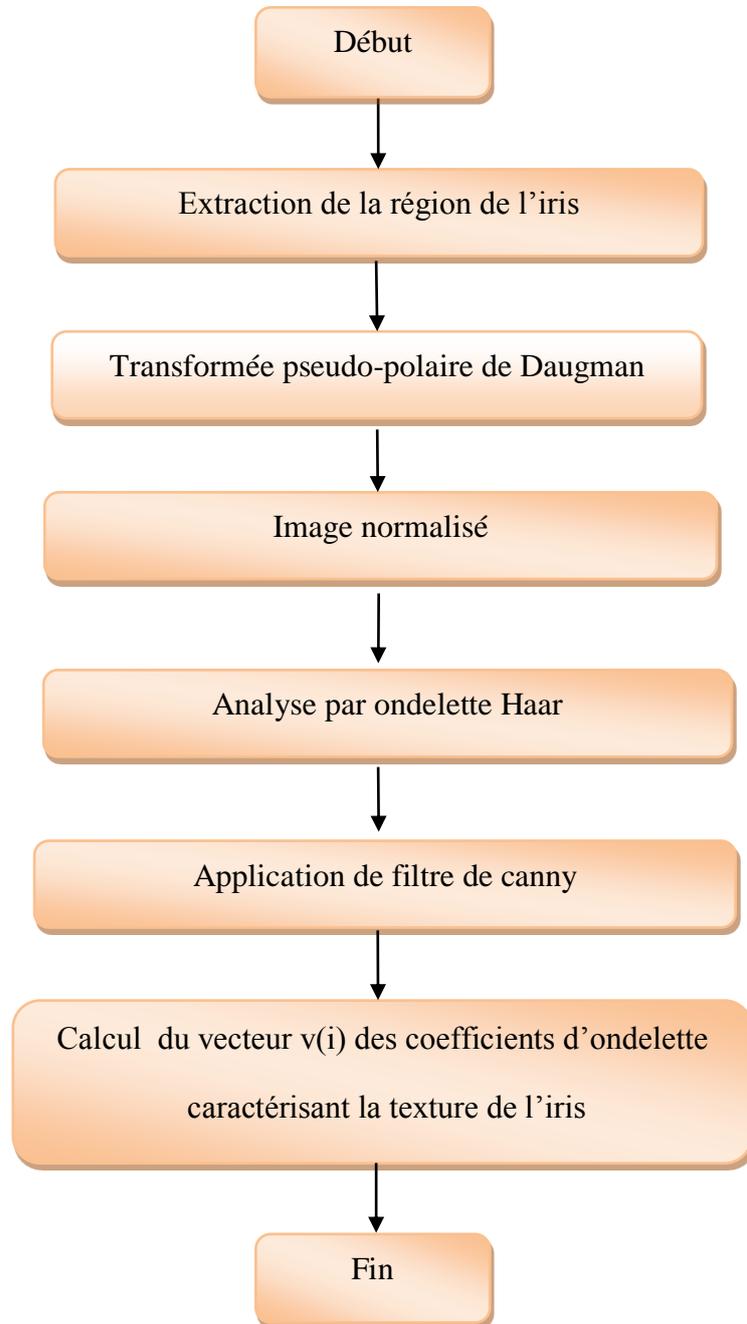
Le processus de l'extraction de la région de l'iris est représenté sous forme d'organigramme par la figure (III.17).



**Figure III.17 :** Processus d'extraction de la région de l'iris

### III.6.2 Normalisation de l'iris

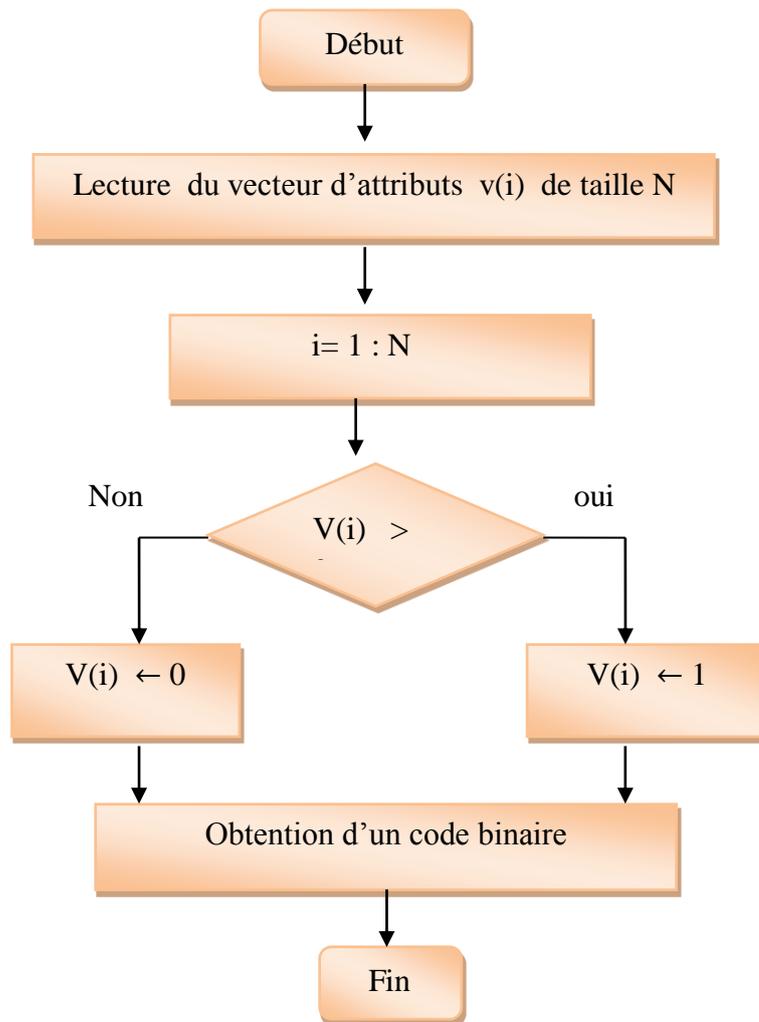
L'organigramme de la figure (III.18), présente le processus de normalisation et d'extraction du vecteur d'attributs qui caractérise la texture de l'iris normalisé.



**Figure III.18 :** Processus de normalisation et d'extraction du vecteur d'attributs

### III.6.3 Codage de l'iris

Le processus du codage de l'iris est présenté par la figure III.19.



**Figure III.19 :** Processus de Codage de l'iris

### III.6.4 Reconnaissance d'iris par la distance de Hamming

La figure (III.20), présente le processus de reconnaissance d'iris, en utilisant la distance de Hamming.

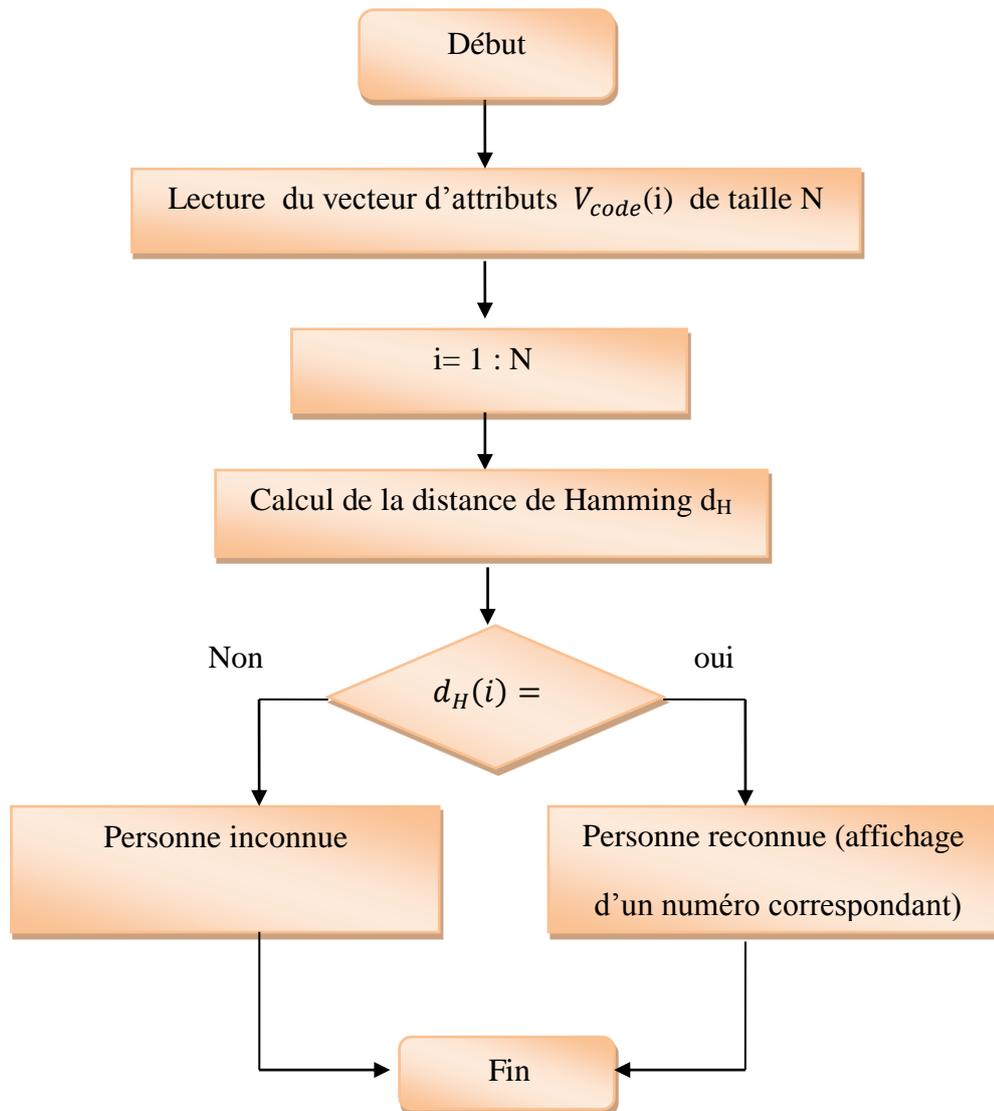


Figure III.20 : Processus de Codage de l'iris

### **III.7 Conclusion**

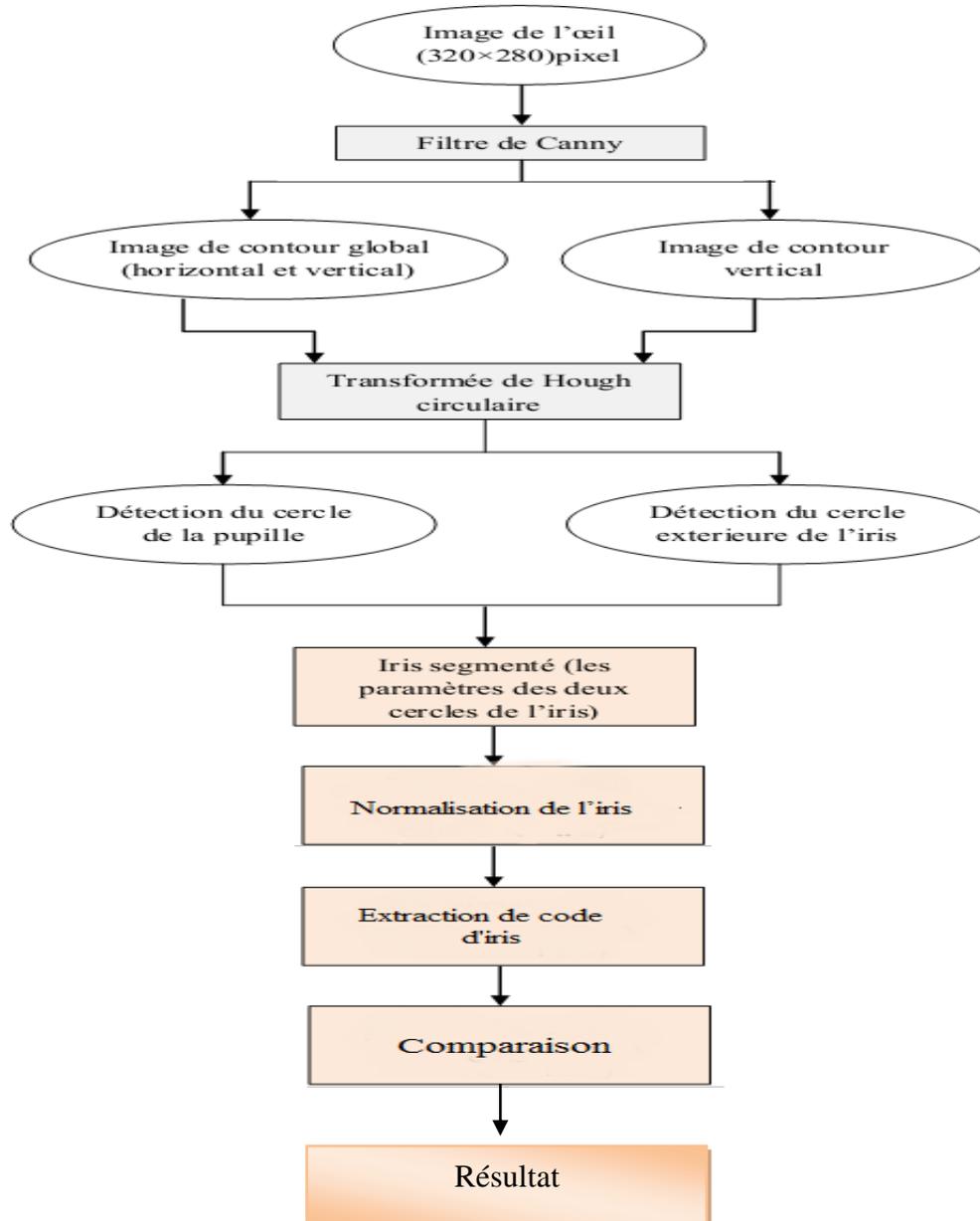
Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes mises en œuvre pour l'identification de personnes à partir d'iris. Les principaux travaux concernant la segmentation ainsi que ceux du prétraitement ont été présentés. Par la suite, nous avons présenté les différents résultats de notre démarche qui développée sous environnement pour la reconnaissance de personnes à partir d'images Iris.

## IV.1 Introduction

Ce dernier chapitre est consacré à la présentation de la plate forme logicielle implémentée sous l'environnement MATLAB® 8.1. Nous commencerons par illustrer le processus global de reconnaissance d'iris. Puis nous , ainsi qu'une explication présentons pour chaque module les résultats obtenus en considérant différents types d'images d'iris.

## IV.2 Organigramme général du processus d'identification de l'iris

La première étape du procédé de traitement de l'information qui se trouve dans l'image d'un œil est de localiser la pupille et l'iris suivant ce processus d'extraction de la région de l'iris qui est représenté sous forme d'organigramme.



## VI.3 Présentation du système d'identification à partir d'iris

### IV.3.1 Interface Graphique (GUI)

Les interfaces graphiques (ou interfaces homme-machine) sont appelées GUI (pour : Graphical User Interface) sous MATLAB.

Elles permettent à l'utilisateur d'interagir avec un programme informatique, grâce à différents objets graphiques (boutons, menus, cases à cocher, ...).

Ces objets sont généralement actionnés à l'aide de la souris ou du clavier.

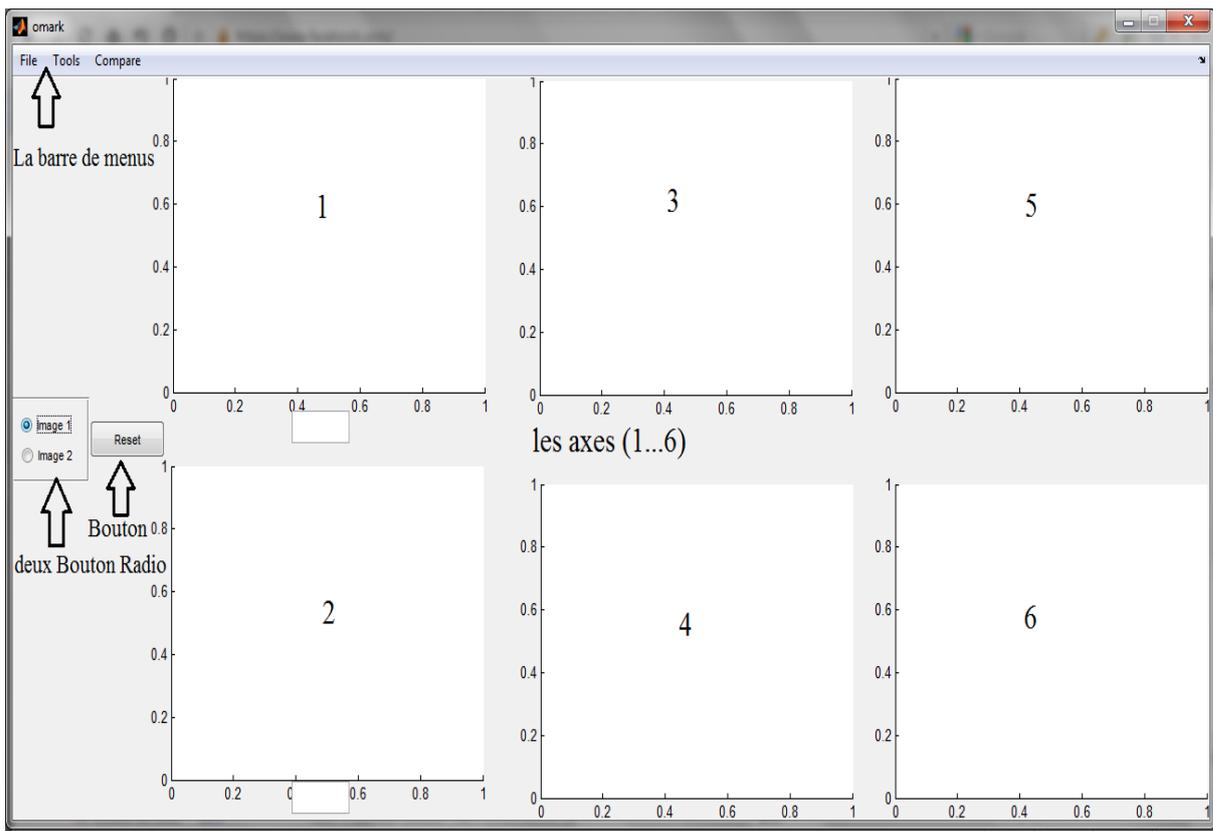


Figure IV.1 : présentation de l'Interface principale de Notre application.

Notre interface graphique est réalisée sous MATLAB ®8.1.0 elle contient :

- 1- une Barre de Menu visible dans la partie supérieure de la zone de travail.
- 2- deux boutons radio.
- 3- un push bouton (reset).
- 4- les axes (1....6).

#### IV.3.1.1 La Barre De Menu

Notre barre de menus contient trois menus (File, Tools, compare).

**File** : Ce menu contient trois sous-menus : Load, Save, Exit.

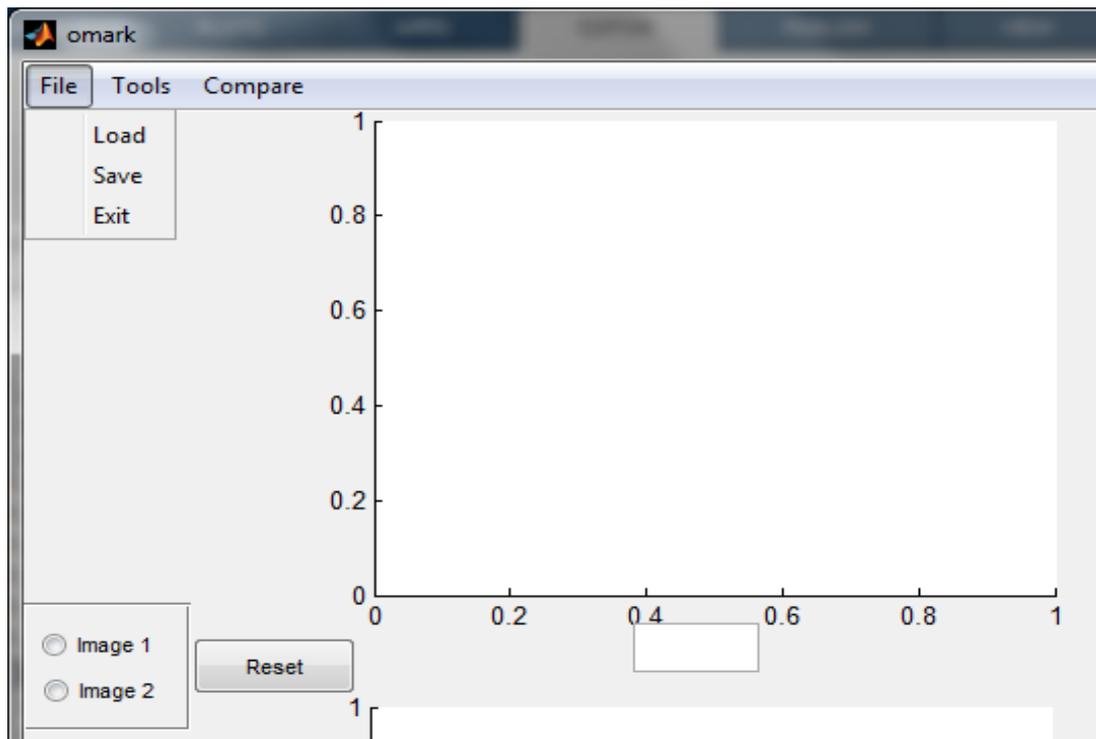


Figure IV.2 : Interface File.

1. **Load** : Permet de charger une image à traiter.
2. **Save** : Permet de Sauvegarder l'image de traité.
3. **Exit** : Pour quitter l'interface graphique.

**Tools** : ce menu contient Cinq sous-menus.

Grayscale, Binarisation, Canny, Localisation&Isolation , Normalisation.

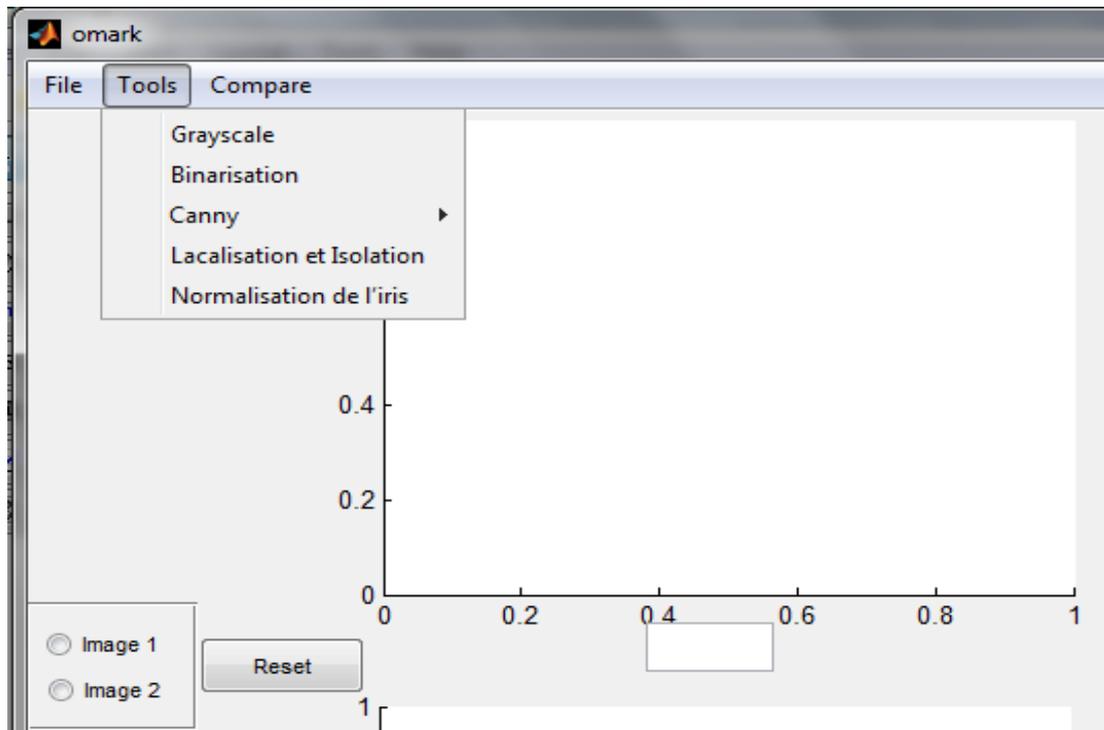


Figure IV.3 : Interface Tools.

1. **Grayscale** : pour convertir une image couleur en niveau de gris.
2. **Binarisation** : pour convertir l'image en image binaire (des pixels N&B).
3. **Canny** : Le filtre de Canny pour la détection des contours.
4. **Localisation&Isolation**: pour la localisation est isolation de la région d'iris.
5. **Normalisation** : pour normaliser la région d'iris.

**Compare:** ce menu contient trois sous-menus :

Haar, iris code, H.Distance.

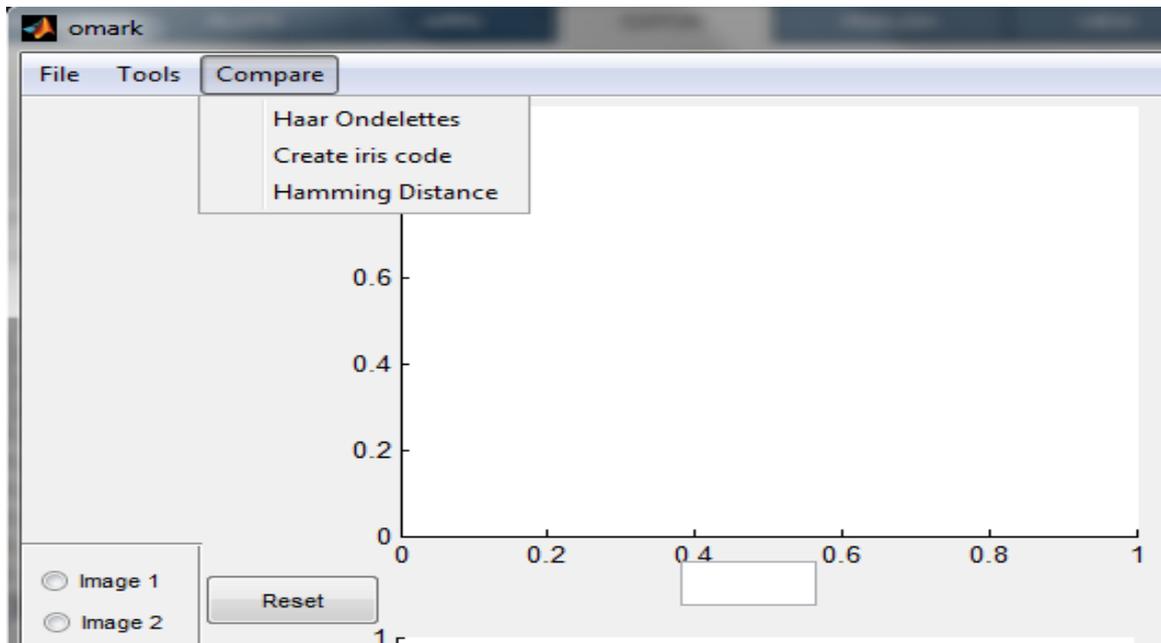


Figure IV.4 : Interface comparaison.

1. *Haar Ondelettes* : pour appliquer la transformer de Haar.
2. *Create Iris Code* : pour générer le code de l'iris.
3. *Hamming Distance* : pour comparé entre de iris code.

#### IV.3.1.2 Deux Bouton Radio : on a 2 bouton radio.

- **radio bouton 1** : pour choisir la 1ère image.

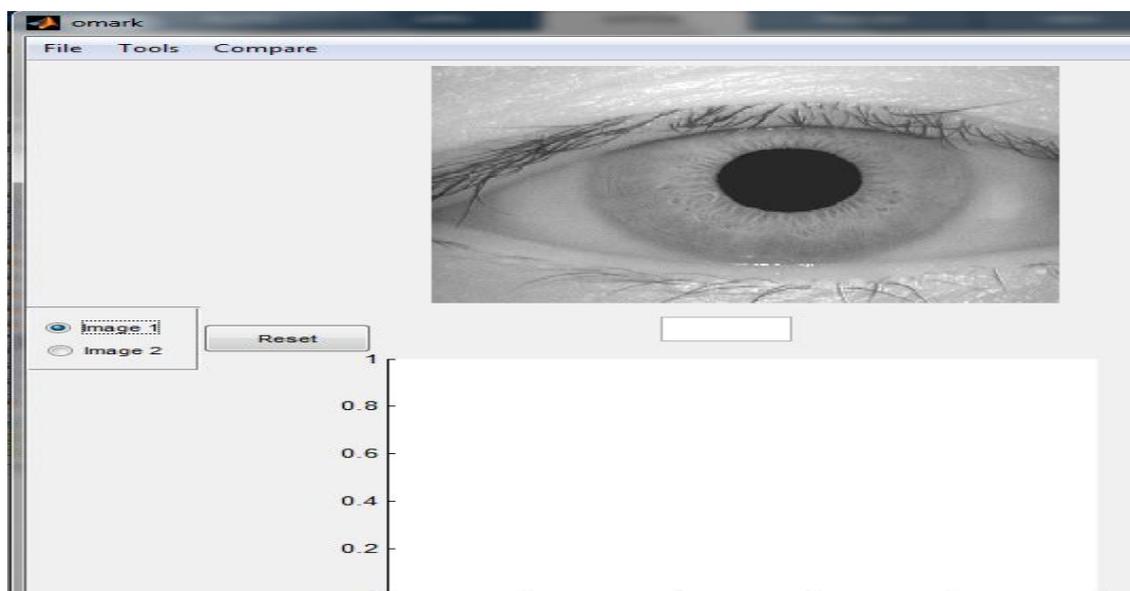


Figure IV.5 : Interface Chargement d'image 1.

- **radio bouton 2** : pour choisir la 2<sup>ème</sup> image.

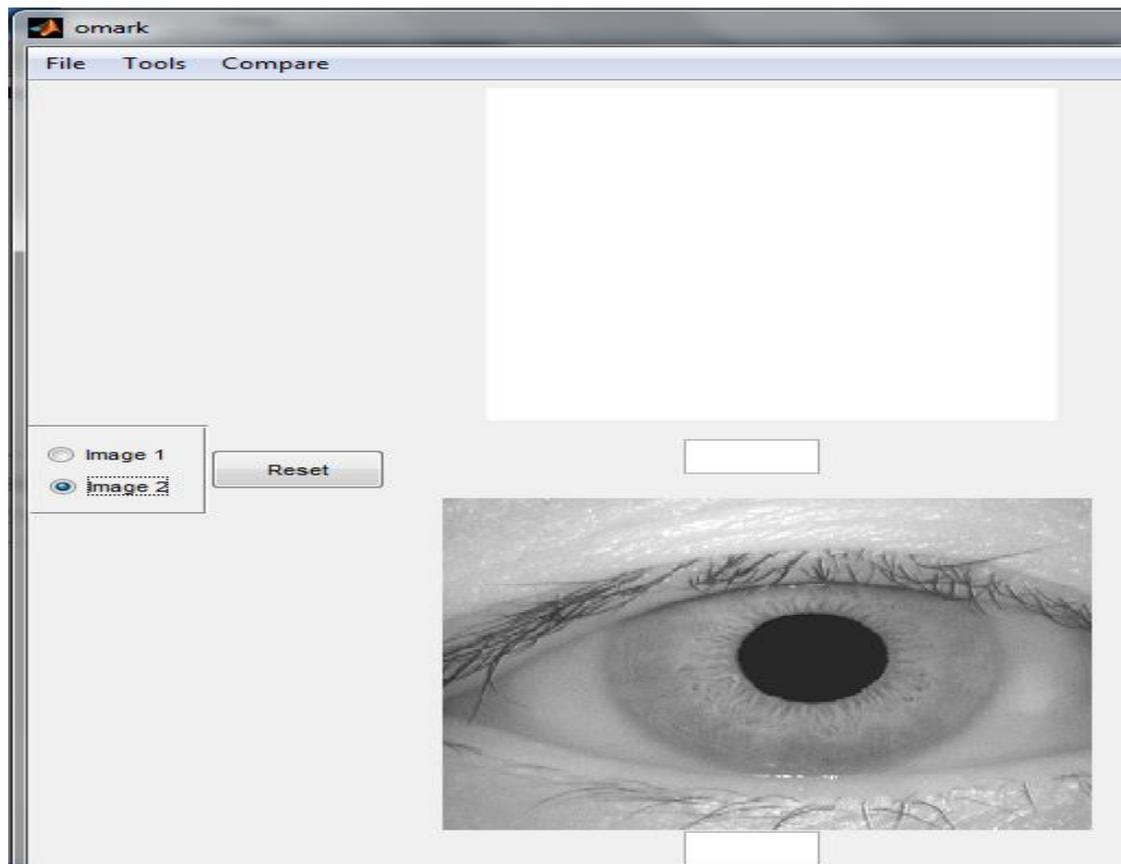


Figure IV.6 : Interface Chargement d'image 2.

**IV.3.1.3. Push Bouton (Reset) :** pour faire un reset a l interface graphique.

**IV.3.1.4. Les Axes (1..6) :**

- l'axe 1&2: pour afficher l'image a traité.
- les Axes 3.4.5.6 : pour afficher les différents résultats de traitement.

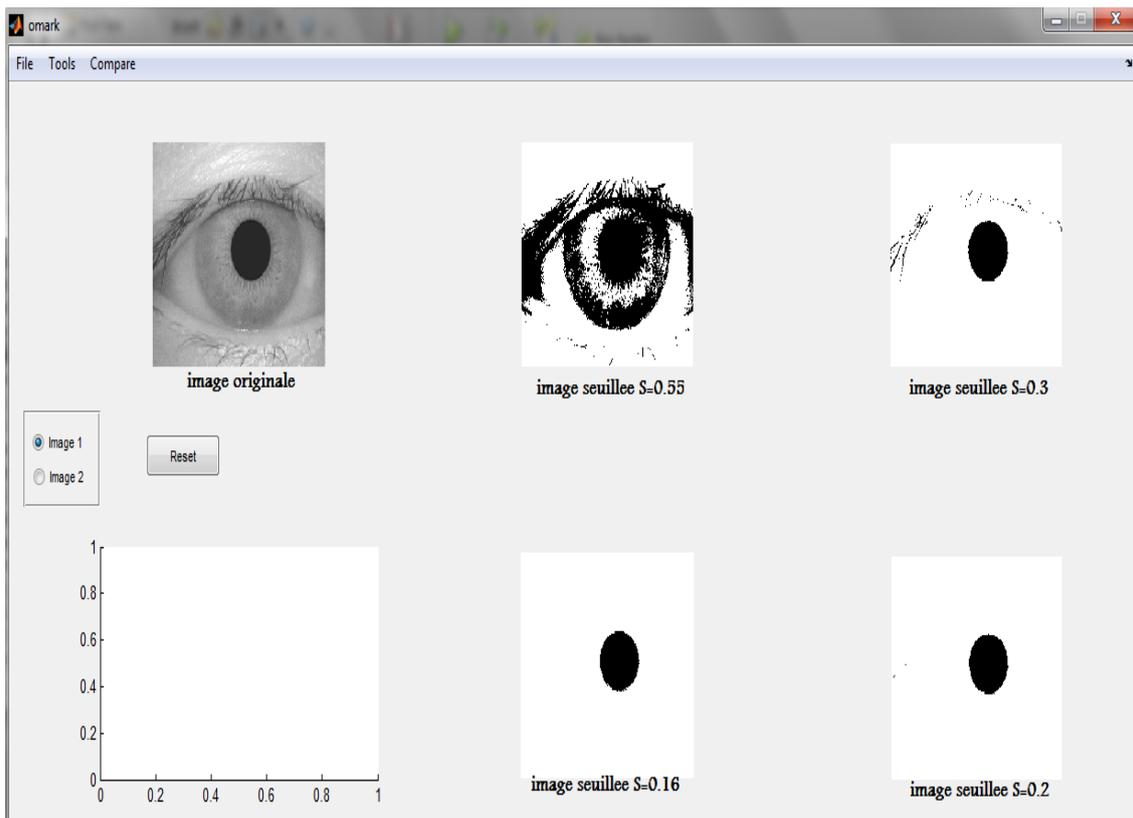
## IV.4 Tests expérimentaux

#### IV.4.1 Localisation de la pupille

La localisation de la pupille dans l'image est une phase très importante. Si on la connaît, on peut diminuer la taille de la zone de recherche et donc augmenter la vitesse d'exécution et diminuer l'erreur. De plus, le niveau de gris de la pupille est le plus bas dans l'image et ne varie pas beaucoup.

Donc, la région de la pupille est la plus facile à détecter dans l'image. On peut faire un simple seuillage pour obtenir cette région.

A l'aide des fonctions sous MATLAB® 8.1.0, on peut obtenir les images binaires suivantes pour différentes valeurs du S (seuil) :

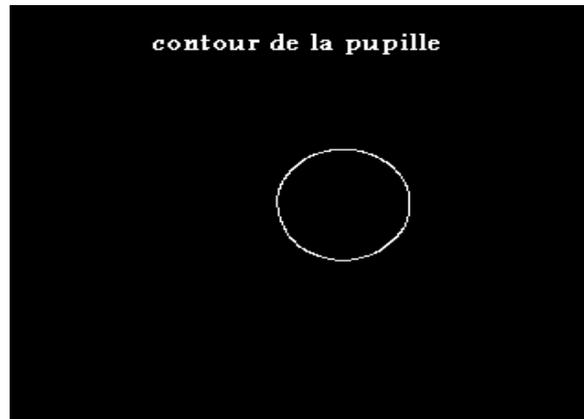


**Figure IV.7 :** Interface Isolation de la pupille.

#### IV.4.2 Recherche du centre et contour de la pupille

L'étape de localisation de la pupille est très importante, toutes les étapes suivantes reposent sur la précision de cette localisation.

On utilise ici l'algorithme de détection de contours de Canny (voir annexe A). Celui-ci nous permet d'obtenir une image où les contours sont en blanc sur un fond noir.

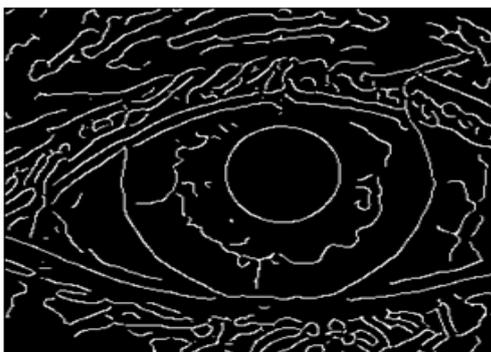


**Figure IV.8 :** Détection du contour de la pupille.

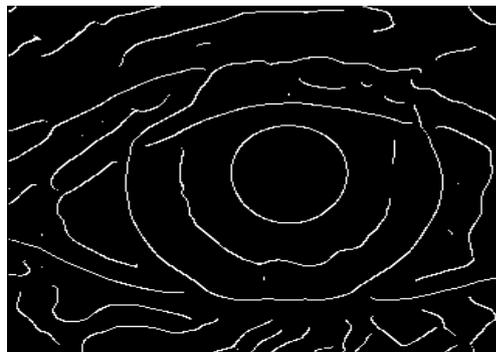
#### **IV.4.3 Recherche du contour et rayon de l'iris**

Une fois la détection du cercle intérieur de l'iris (le bord iris-pupille) effectuée, on recherche le bord extérieur de l'iris, qui est modélisé par un cercle. Pour ce faire, nous avons employé une technique capable de détecter la forme géométrique désirée, appelée "Transformation de Hough ". Le système fournit ensuite le rayon exact du bord extérieur de l'iris, ainsi que les coordonnées du centre (voir annexe 1).

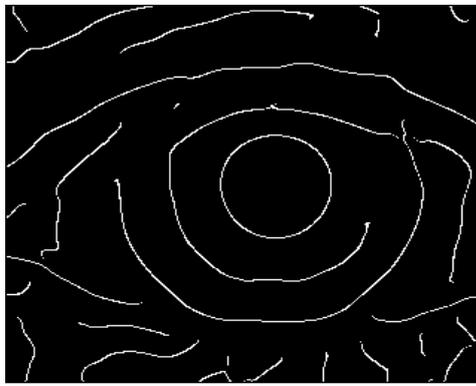
En utilisant sigma comme écart type du filtre gaussien, la figure (4.4) montre les contours détectés pour différentes valeurs de sigma.



**contour de l'iris pour sigma = 3**



**contour de l'iris pour sigma = 6**



contour de l'iris pour sigma s=9

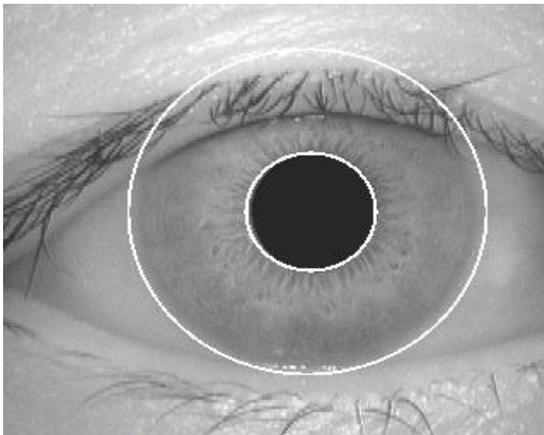


contour de l'iris pour sigma = 17

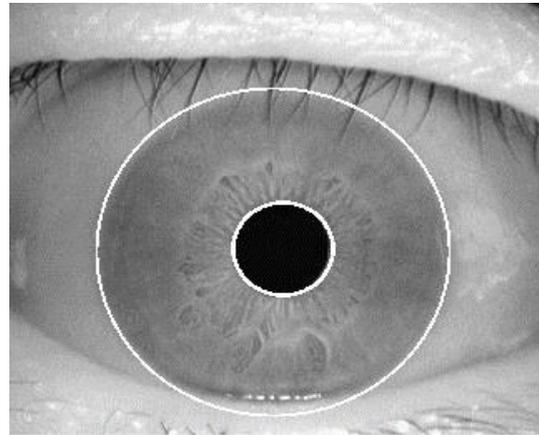
**Figure IV.9 :** Contour de l'iris pour  $\sigma = 3, 6, 9$  et  $17$ .

Maintenant pour localiser l'iris et la pupille ensemble, nous avons appliqué la transformée de Hough (circulaire) qui cherche les cercles présents dans la région .

Voici quelque results de la localisation de la pupille+l'iris à l'aide de la T.H. Circulaire sur des images de Database CASIA V1.0



localisation de la pupille et de l'iris



localisation de la pupille et de l'iris

**Figure IV.10 :** localisation de la pupille et de l'iris.

Voici quelque résultat de la localisation de la région d'iris sur notre interface

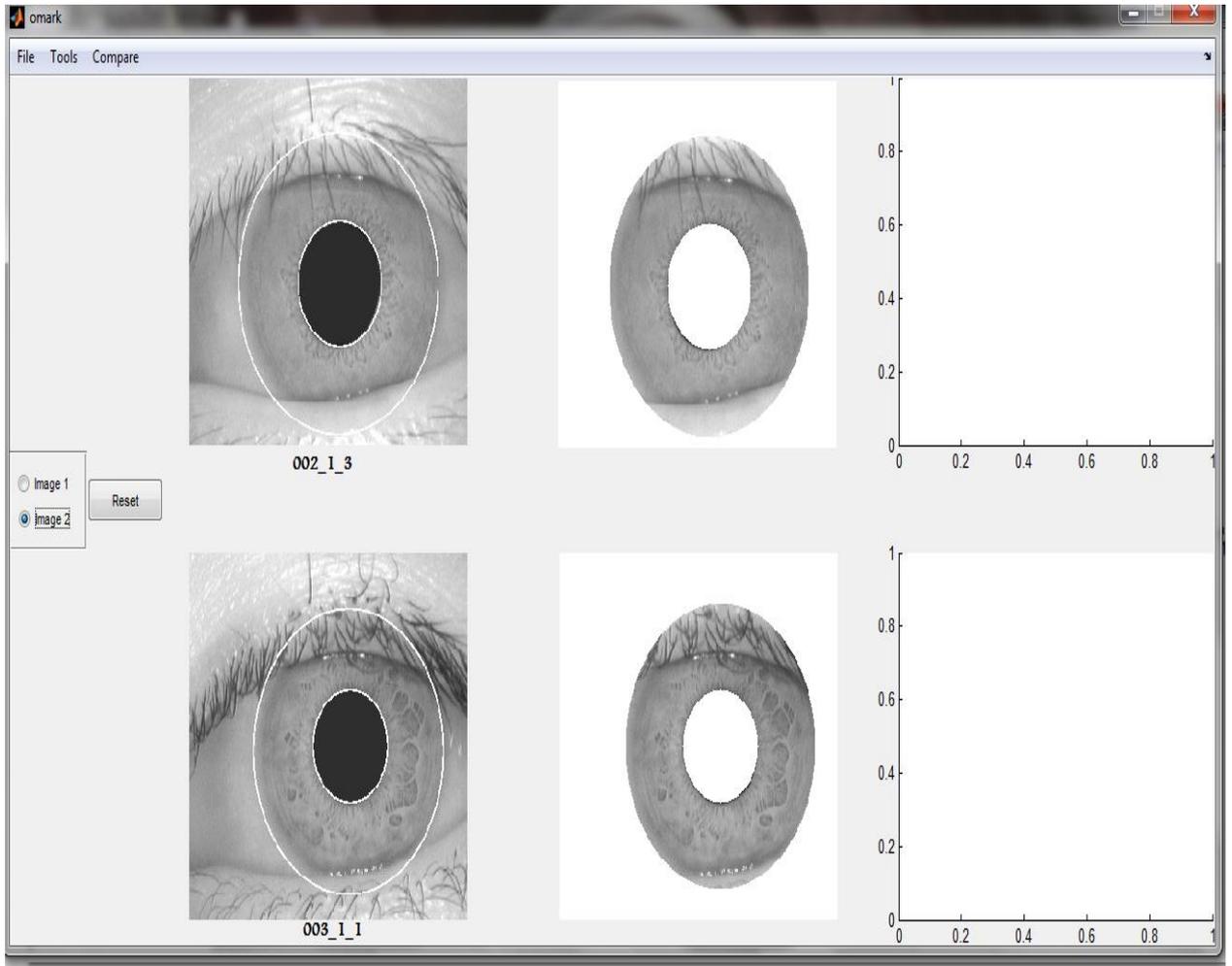


Figure IV.11 : Interface localisation et isolation.

En remarque que la localisation de la région d'iris elle est parfaite malgré que les cils ils ont caché une partie de l'iris

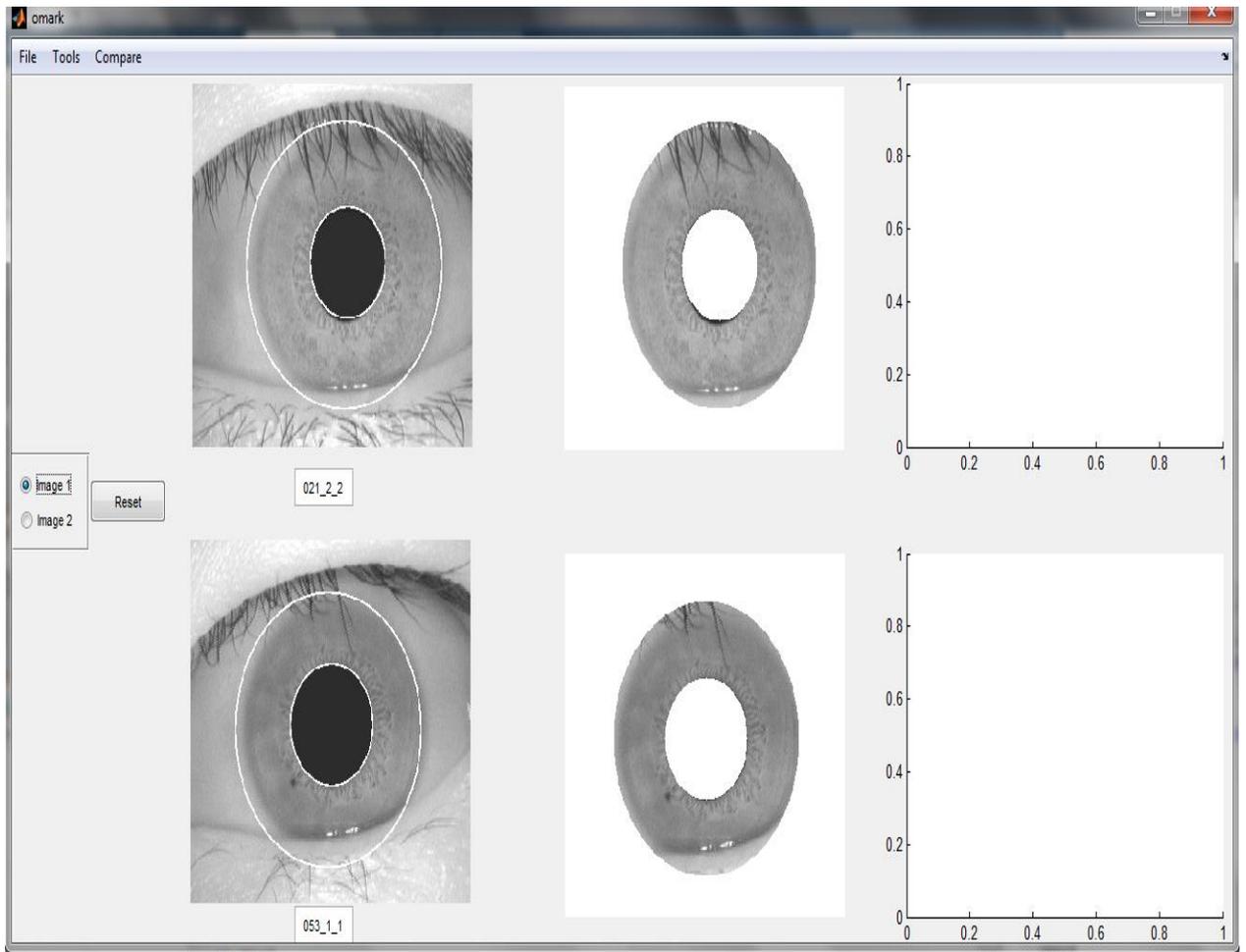
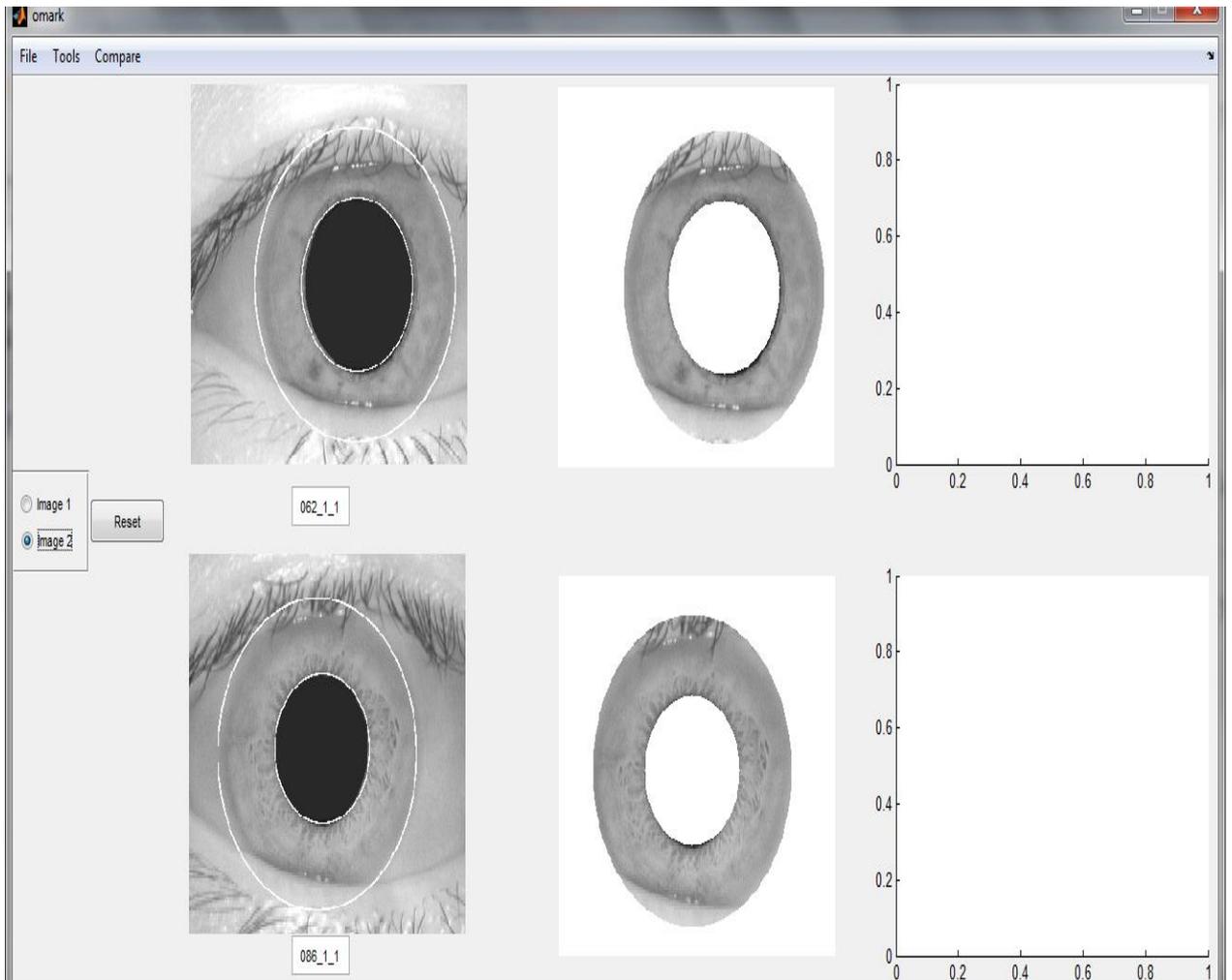


Figure IV.12 : Interface localisation et isolation des autre images.

La aussi en voit que la localisation elle est bien précis



En remarque que l'iris est bien clair dans l'image et que la localisation elle est bien ce qui rend sa localisation très précise et parfaite

#### IV.4.4 Normalisation la région de l'iris

Après avoir obtenu les cercles les plus proches des contours finaux, nous utilisons la méthode proposée par Daugman (Méthode pseudo-polaire), pour générer les images normalisées d'iris (voir chapitre 3).

Le résultats suivants montre des images normalisées obtenues par ce processus.

Voici quelques résultats de la méthode de pseudo polaire appliquée sur quelques échantillons de la base de données CASIA-IrisV1 comme illustre les figures si dessous

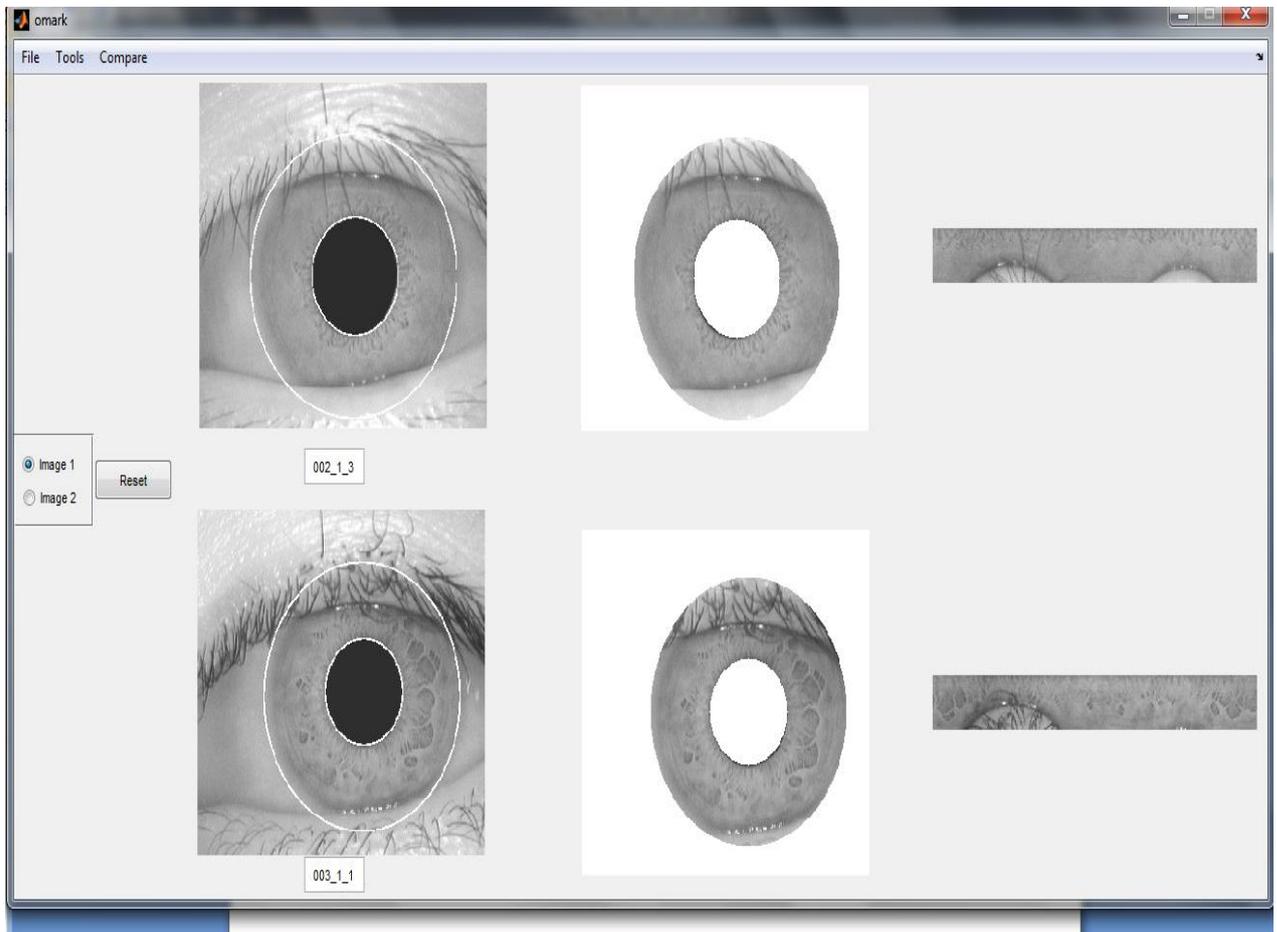
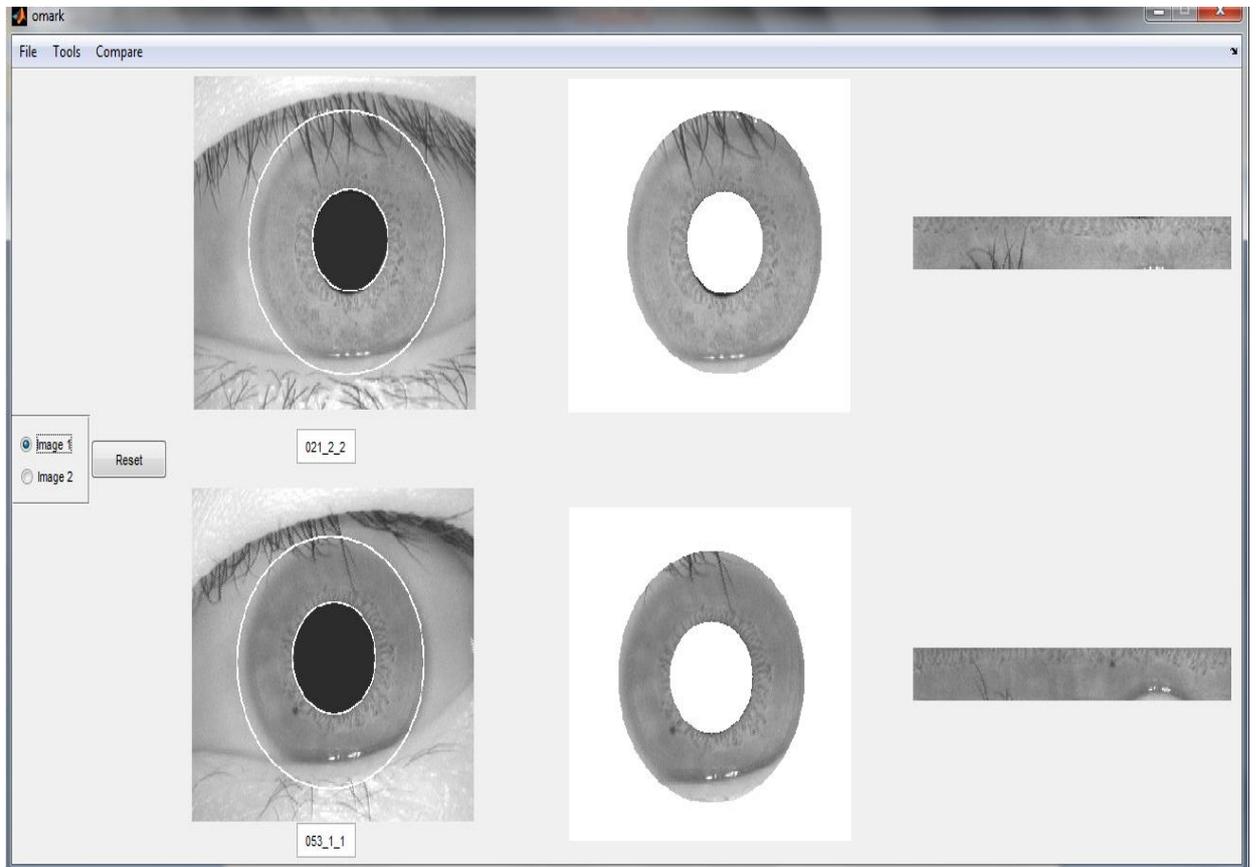
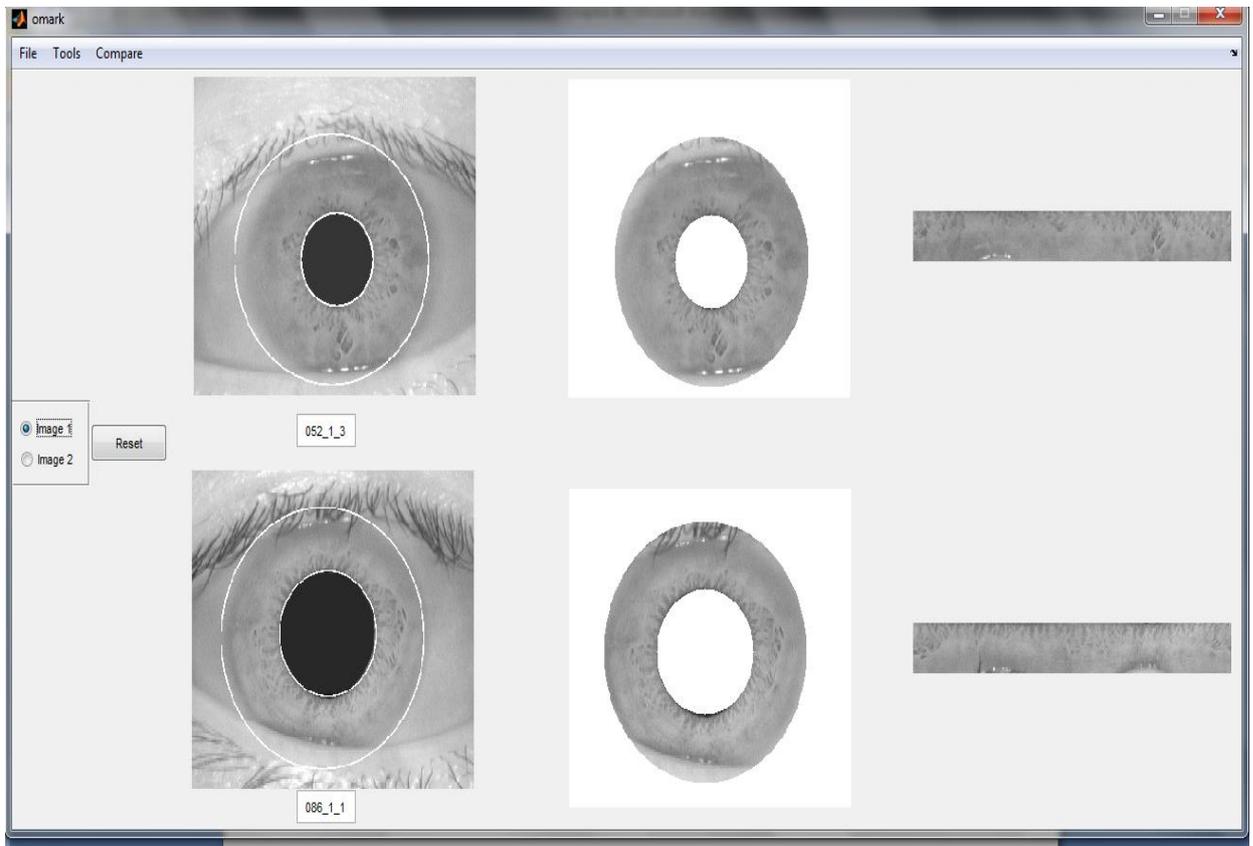


Figure IV.11 : Interface normalisation.

Résultats de la méthode de pseudo polaire sur les images « 002\_1\_3 et 003\_1\_1 de la base de donnée CASIA Iris V1.



Résultats de la méthode de pseudo polaire sur une autres image « 021\_2\_2 et 053\_1\_1 de la base de donnée CASIA Iris V1.



Comme on peut le voir respectivement sur les figures ci-dessus sur des différents échantillons des images que l'image normalisée est rectangulaire de taille constante.

#### IV.4 Extraction des caractéristiques

Pour pouvoir reconnaître un iris, il faut en extraire une signature et la comparer à une base de données de signatures de référence. L'extraction des caractéristiques (vecteurs d'attributs) repose sur l'utilisation de la transformée en ondelettes (ondelette mère de Haar).

La texture de l'iris est décomposée sur quatre niveaux, et les vecteur des caractéristiques d'un iris est construit en combinant la sous-image HH4 (4ème niveau) avec l'intensité moyenne des 3 autres sous-images HH1, HH2 et HH3.

Le vecteur caractéristique obtenu contient des valeurs positives et négatives, Ces éléments caractéristiques (coefficients d'ondelettes) seront quantifiés ; chaque valeur réelle est transformée en une valeur binaire en convertissant tout simplement la valeur positive en '1' et la valeur négative en '0'.

La figure (IV.12) illustre la décomposition d'une image d'iris normalisée "053\_1\_1.bmp" sur quatre niveaux.

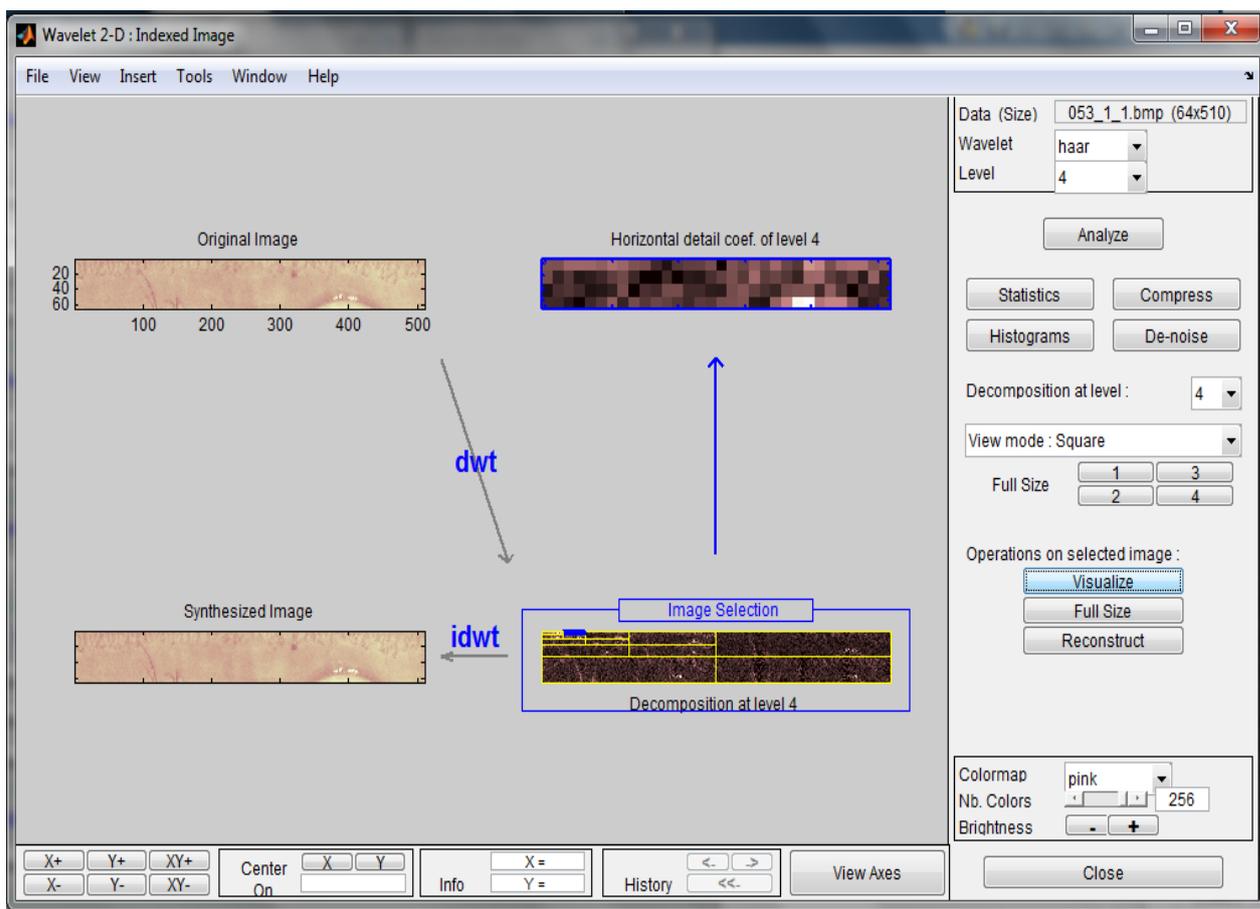


Figure IV.12 : Décomposition d'une image d'iris normalisée.

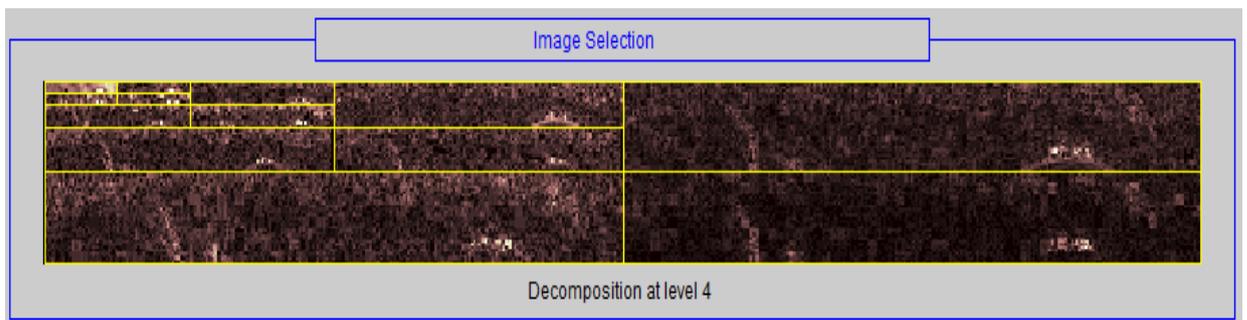
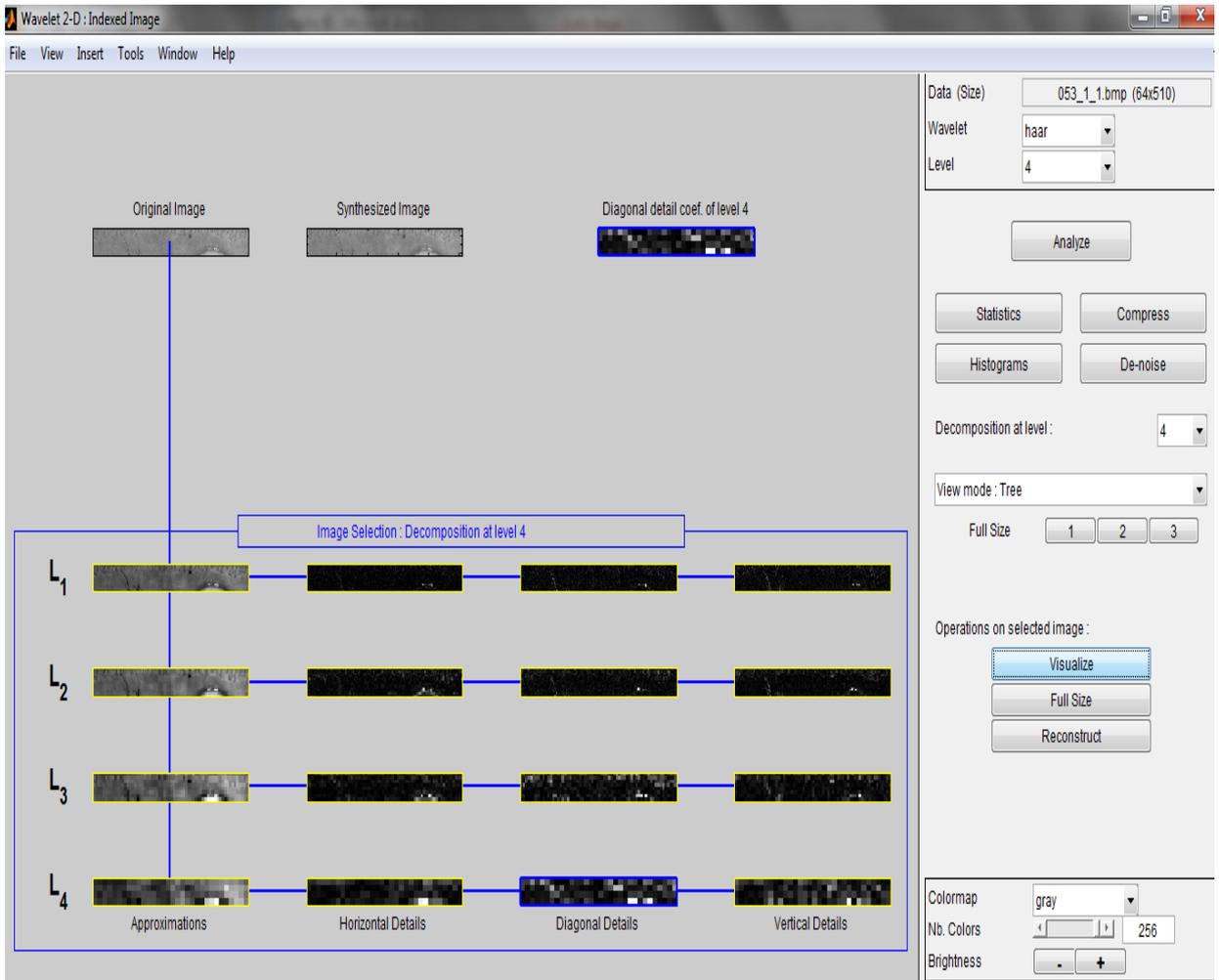


Figure IV.12 : décomposition au niveau 4.



Figure IV.13 : code obtenu par la décomposition.

## IV.5 Comparaison entre les codes iris

### IV.5.1 La distance de Hamming

La comparaison entre individus se fait à travers les codes de leurs iris. Une fois deux codes d'iris extraits, on calcule leur distance de Hamming par la formule (III.9).

Si deux modèles sont dérivés du même iris, la distance de Hamming entre eux sera égale à 0.

Si deux configurations binaires sont complètement indépendantes, comme des calibres d'iris produits d'iris différents, la distance de Hamming entre les deux modèles sera proche de 0.5.

Le tableau (4.4) donne un exemple de calcul de la distance de Hamming calculée pour une base de données de 20 iris.

	<b>Images</b>	<b>Distance de Hamming</b>
<b>1</b>	<b>001_1_1.bmp</b>	<b>0.46615</b>
<b>2</b>	<b>002_1_3.bmp</b>	<b>0.49001</b>
<b>3</b>	<b>006_1_3.bmp</b>	<b>0.4918</b>
<b>4</b>	<b>009_1_2.bmp</b>	<b>0.51538</b>
<b>5</b>	<b>014_2_4.bmp</b>	<b>0.46345</b>
<b>6</b>	<b>016_1_2.bmp</b>	<b>0.48512</b>
<b>7</b>	<b>018_1_1.bmp</b>	<b>0.46084</b>
<b>8</b>	<b>024_1_3.bmp</b>	<b>0.48715</b>
<b>9</b>	<b>028_1_3.bmp</b>	<b>0.48811</b>
<b>10</b>	<b>030_2_1.bmp</b>	<b>0.48667</b>
<b>11</b>	<b>046_2_3.bmp</b>	<b>0.50814</b>
<b>12</b>	<b>053_1_1.bmp</b>	<b>0.00000</b>
<b>13</b>	<b>060_1_3.bmp</b>	<b>0.46979</b>
<b>14</b>	<b>066_1_1.bmp</b>	<b>0.48762</b>
<b>15</b>	<b>075_1_1.bmp</b>	<b>0.51985</b>
<b>16</b>	<b>076_2_1.bmp</b>	<b>0.49029</b>
<b>17</b>	<b>087_2_1.bmp</b>	<b>0.48871</b>
<b>18</b>	<b>091_2_4.bmp</b>	<b>0.47395</b>
<b>19</b>	<b>098_1_3.bmp</b>	<b>0.44616</b>
<b>20</b>	<b>106_1_2.bmp</b>	<b>0.49142</b>

**Tableau IV.1** : Exemple de calcul de la distance de Hamming.

On voit clairement que l'image d'iris qui correspond à une distance de Hamming nulle est l'image recherchée donc le sujet (**053\_1\_1.bmp**) est parfaitement identifié.

## IV.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes étapes de reconnaissance biométrique par le code d'iris que nous avons implémentés sous l'environnement MATLAB®8.1.0 Ce système est basé sur l'extraction et le codage de chaque point de résolution de la texture de l'iris. Au début, nous avons présenté l'algorithme de segmentation qui localise le disque de l'iris et isole les régions non-iris (les cils, les paupières). Cet algorithme est basé sur la transformée de Hough circulaire pour localiser les deux cercles du disque de l'iris. Ensuite, le disque de l'iris segmenté est normalisé en un rectangle de taille standard ; cette normalisation est effectuée par la Méthode pseudo-polaire. Les caractéristiques de la texture de l'iris présente sur ce rectangle sont extraites par la décomposition en ondelettes de Haar. Finalement, nous avons utilisé la distance de Hamming comme une métrique de comparaison entre les codes d'iris. Une fois deux codes d'iris extraits, on calcule leur distance de Hamming, plus la distance est faible, plus les deux codes se ressemblent. Une distance '0' correspond à une parfaite correspondance entre les deux images alors que deux images de personnes différentes auront une distance proche de '0.5.

## Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons traité deux applications essentielles et complémentaires rencontrées dans la reconnaissance de l'iris. Il s'agit, d'une part de l'extraction automatique de la région de l'iris et de ses caractéristiques, et d'autre part de la reconnaissance de l'iris. La difficulté de l'extraction de la région de l'iris et de ses caractéristiques est due principalement aux conditions d'acquisition (apparition des reflets sur la région de la pupille), ce qui produit une fausse détection de l'iris.

Tout d'abord, nous avons présenté les différentes étapes de segmentation automatique, permettant de localiser la région de l'iris et d'isoler les paupières, les cils et les zones de réflexion. La segmentation automatique a été réalisée grâce à l'utilisation de la transformée de Hough en exploitant la méthode de Canny pour l'extraction des contours. Un seuillage a également été employé pour isoler les cils et les reflets. Ensuite, la région de l'iris segmentée a été normalisée. Ensuite, la région de l'iris segmentée a été normalisée. Ceci a été réalisé en mettant en œuvre une version du modèle de Daugman, où la normalisation d'iris basé sur la méthode pseudo-polaire (représentation de la texture dans un repère cartésien). Enfin, nous avons utilisé la décomposition en ondelettes de Haar comme moyen d'analyse multi-résolution pour extraire les caractéristiques de la texture de l'iris normalisée, qui donne les vecteurs d'attributs constitués des coefficients d'ondelettes de Haar.

Pour résoudre le problème de la reconnaissance de l'iris, nous avons appliqué la distance de Hamming afin de réaliser la comparaison. Pour cela nous avons codé chaque coefficient d'ondelettes de Haar en un bit selon son signe.

Le résultat obtenu est un code binaire de taille fixe. Une fois deux codes d'iris extraits, nous calculons leur distance de Hamming ; plus la distance est faible, plus les deux codes se ressemblent. Une distance '0' correspond à une parfaite correspondance entre les deux images alors que deux images de personnes différentes auront une distance proche de 0,5.

Les perspectives de ce travail sont nombreuses :

Il s'agit d'abord de trouver les bons contours pour toutes les images de la base en ajoutant la phase de recherche du contour actif. Cette phase permet de chercher un contour plus net et plus proche du contour intéressé. Il s'agit aussi de réduire au maximum les vecteurs d'attributs (coefficients d'ondelettes de Harr) pour rendre la phase d'apprentissage plus rapide. Il est aussi intéressant de constituer une large base de données, comprenant un grand nombre d'individus et davantage d'images par individu. La multi-modalité, qui consiste à combiner des systèmes de reconnaissance (Iris et Visages par exemple) pour améliorer la fiabilité globale d'un système.

# Annexe A

## Le filtre de canny

### A.1 L'algorithme de Canny

L'algorithme de Canny (1986) [36], est utilisé en traitement ou en analyse d'image pour la détection des contours. L'auteur l'a conçu pour être optimal suivant trois critères clairement explicités :

1. bonne détection : faible taux d'erreur dans la signalisation des contours,
2. bonne localisation : minimisation des distances entre les contours détectés et les contours réels,
3. clarté de la réponse : une seule réponse par contour et pas de faux positifs

#### A.1.1 Réduction du bruit

La première étape est de réduire le bruit de l'image originale avant d'en détecter les contours. Ceci permet d'éliminer les pixels isolés qui pourraient induire de fortes réponses lors du calcul du gradient, conduisant ainsi à de faux positifs. Un filtrage gaussien 2D est utilisé, dont voici l'opérateur de convolution :

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{A.1})$$

et un exemple de masque 5×5 discret avec  $\sigma=1,4$

$$h = \frac{1}{189} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (\text{A.2})$$

Usuellement, un filtre est de taille plus réduite que l'image filtrée. Plus le masque est grand, moins le détecteur est sensible au bruit et plus l'erreur de localisation grandit.

### A.1.2 Gradient d'intensité

Après le filtrage, l'étape suivante est d'appliquer un gradient qui retourne l'intensité des contours. L'opérateur utilisé permet de calculer le gradient suivant les directions X et Y, il est composé d'une paire de deux masques de convolution, un de dimensions 3×1 et l'autre 1×3:

$$\mathbf{G}_X = [-1 \quad 0 \quad 1] \quad ; \quad \mathbf{G}_Y = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.3})$$

La valeur du gradient en un point est approximée par la formule :

$$|\mathbf{G}| = |\mathbf{G}_x| + |\mathbf{G}_y| \quad (\text{A.4})$$

### A.1.3 Direction des contours

Les orientations des contours sont déterminées par la formule :

$$\theta = \mathit{arc\,tan} \left( \frac{G_x}{G_y} \right) \quad (\text{A.5})$$

Nous obtenons finalement une carte des gradients d'intensité en chaque point de l'image accompagnée des directions des contours.

### A.1.4 Seuillage des contours

La différenciation des contours sur la carte générée se fait par seuillage à hystérésis.

Cela nécessite deux seuils, un haut et un bas; qui seront comparés à l'intensité du gradient de chaque point. Le critère de décision est le suivant. Pour chaque point, si l'intensité de son gradient est:

- Inférieur au seuil bas, le point est rejeté;
- Supérieur au seuil haut, le point est accepté comme formant un contour;
- Entre le seuil bas et le seuil haut, le point est accepté s'il est connecté à un point déjà accepté.

Une fois ceci réalisé, l'image obtenue est binaire avec d'un côté les pixels appartenant aux contours et les autres.

### **A.1.6 Paramètres**

Les deux paramètres principaux déterminant le temps de calcul et l'acuité de l'algorithme sont la taille du filtre gaussien et les deux seuils.

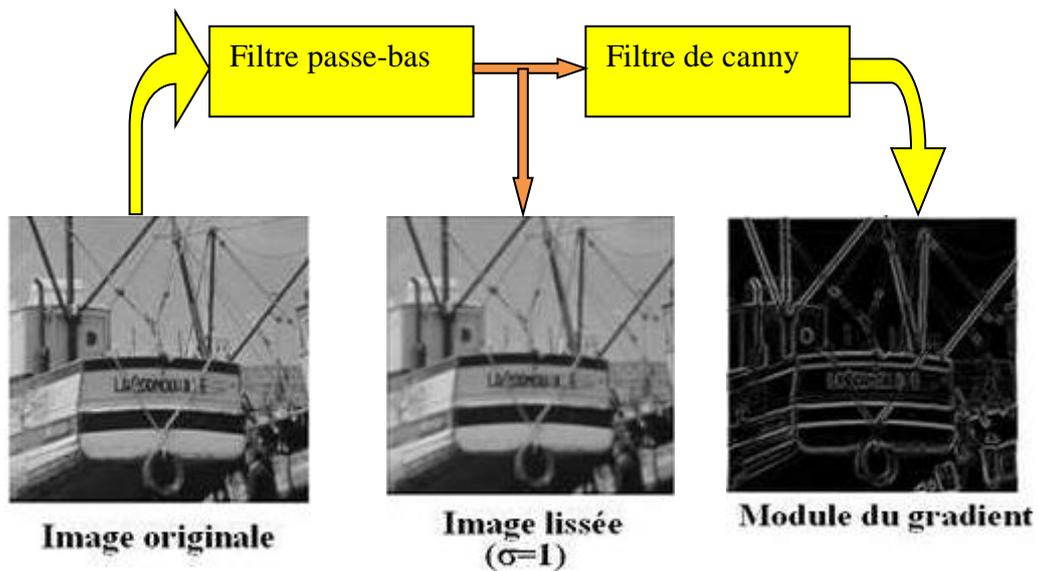
- **Taille du filtre:** le filtre utilisé lors de la réduction du bruit a une influence directe sur le comportement de l'algorithme. Un filtre de petite taille produit un effet de flou moins prononcé, ce qui permet la détection de petites lignes bien marquées. Un filtre de taille plus grande produit un effet de flou plus important, ce qui permet de détecter des contours moins nets, par exemple celui d'un arc-en-ciel.
- **Seuils:** l'utilisation de deux seuils au lieu d'un améliore la flexibilité mais certains problèmes propres au seuillage demeurent. Ainsi, un seuil trop bas peut conduire à la détection de faux positifs. Inversement, un seuil trop haut peut empêcher la détection de contours peu marqués mais représentant de l'information utile.

Il n'existe pas actuellement de méthode générique pour déterminer des seuils produisant des résultats satisfaisants sur tous les types d'images [36].

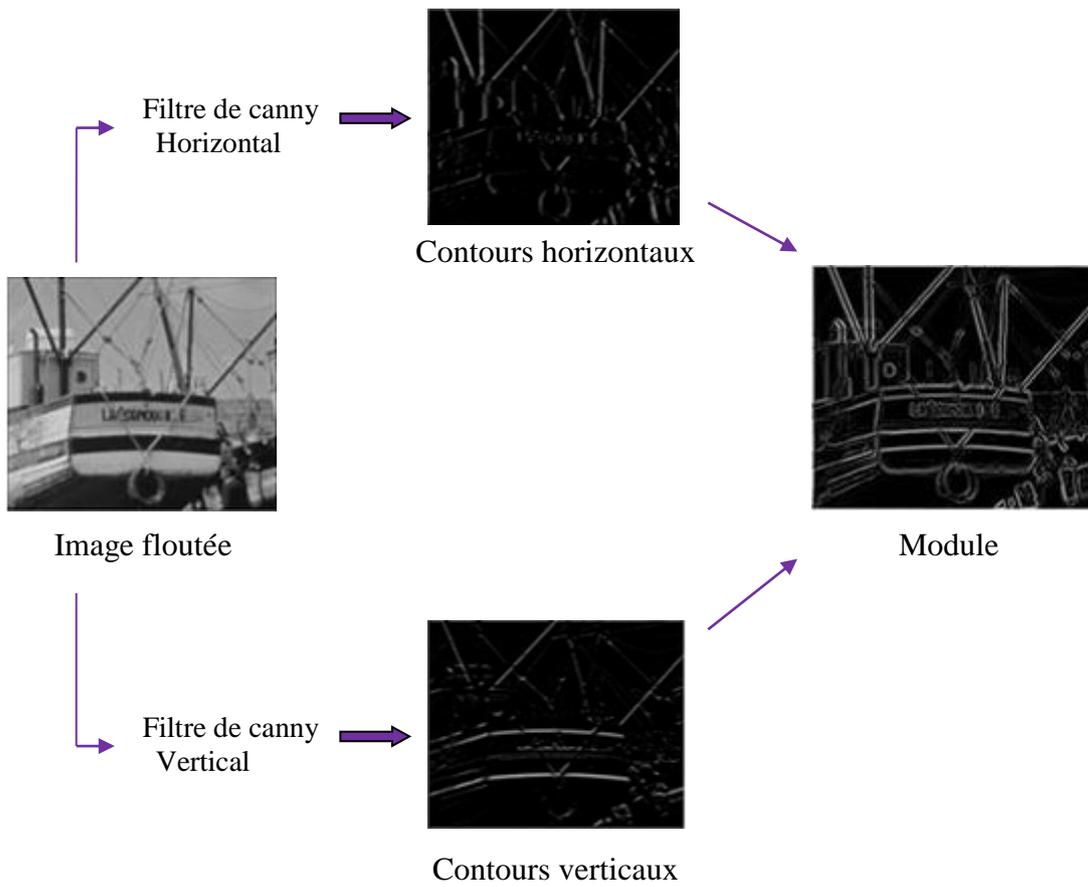
## **A.2 Etapes d'une détection de contours par le filtre de canny**

L'objectif est bien de calculer le module du gradient de l'image analysée. Souvent avant d'appliquer le filtre de Canny, un filtrage préalable est opéré sur l'image au moyen d'un filtre gaussien. Les différentes étapes sont énumérées ci-après :

- Convolution de l'image initiale avec un filtre passe-bas gaussien bi-dimensionnel (ou convolution 1D dans chacune des deux directions).
- Convolution de l'image lissée avec le filtre de Canny ou la dérivée de gaussienne dans les directions horizontale et verticale.
- Calcul du module du gradient à partir des deux images représentant les gradients de l'image filtrée passe-bas dans les directions horizontale et verticale.



**Figure A.1** : Exemple d'application du filtrage de Canny



**Figure A.2 :** Obtention du module du gradient par filtrage de Canny

# Annexe B

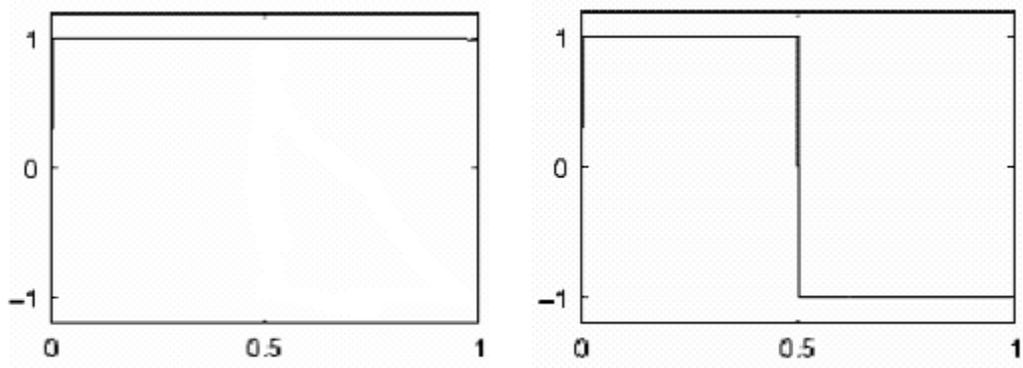
## La transformée en ondelettes

### B.1 La transformée en ondelettes

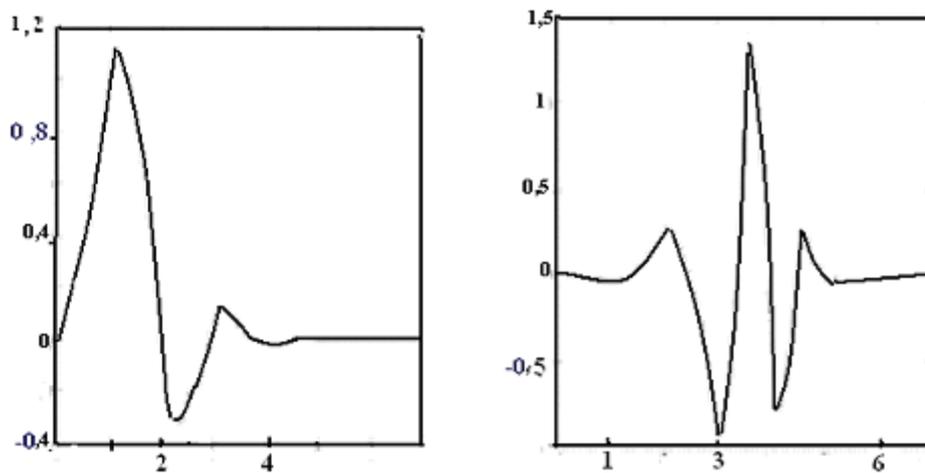
La transformée en ondelette (TO) est apparue en géophysique au début des années 1980 pour l'analyse des signaux sismiques, et a été formalisée plus tard par Grossmann et Morlet (1984) et Goupillaud. C'est au sein de ces dernières communautés que des développements théoriques et appliqués majeurs ont eu lieu ces quinze dernières années. Des avancées significatives ont notamment été faite par Meyer, Mallat, Daubechies , Chui, Wornell et Holschneider. Ces avancées ont alors influencé d'autres domaines de recherche, dont en particulier, des applications pour la compréhension des processus géophysique (Foufoula-Georgiou et Kumar, 1994). Ces interactions entre développement et application favorisent encore aujourd'hui l'évolution rapide de l'outil "ondelettes" [37].

### B.2 Les ondelettes orthogonales

Cependant, il existe encore de la redondance. Pour la supprimer totalement, il faut utiliser des ondelettes dites orthogonales. L'orthogonalité signifie que l'information capturée par une ondelette est totalement décorrélée de celle capturée par une autre. L'utilisation d'ondelettes orthogonales va de soi pour la compression d'images, car cela permet de ne garder que l'information nécessaire et d'assurer la réversibilité. Deux ondelettes mères orthogonales permettent d'effectuer une analyse multi-résolution orthogonale : les espaces de détail et d'approximation sont alors orthogonaux, c'est-à-dire que la projection des vecteurs de la base de l'un des espaces sur l'autre donne zéro. Chaque ondelette et sa fonction d'échelle associée sont également orthogonales. Une famille d'expansion très populaire a été crée par Ingrid Daubechies. Une autre fonction d'expansion également fréquemment utilisée est celle de Haar. Ces deux ondelettes et leur fonction d'échelle associée sont illustrées ci-dessous.



**Figure B.1 :** La fonction d'échelle de Haar (gauche) et l'ondelette (droite).



**Figure B.2 :** La fonction d'échelle Daubechies (gauche) et l'ondelette associée (droite).

### B.3 Analyse d'images par l'ondelette de Haar [38]

Il existe une infinité de fonctions de base multi - échelles, i.e. d'ondelettes, mais pour chaque type d'ondelette il y a une soit dite fonction "mère" à l'aide de laquelle toutes les fonctions de la base sont "fabriqués". Dans cette annexe nous allons introduire les ondelettes de Haar, les plus simples et premières à être utilisées dans l'analyse du signal. Toutes les familles d'ondelettes sont définies par une ondelette père  $\phi$  et une ondelette mère  $\psi$ . Dans le cas des ondelettes de Haar, l'ondelette père est définie par  $\phi : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$

$$\phi(x) = \begin{cases} \mathbf{1} & \text{si } 0 \leq t < 1 \\ \mathbf{0} & \text{si non} \end{cases} \quad (\text{B.4})$$

L'ondelette mère est définie par :

$$\Psi(x) = \begin{cases} \mathbf{1} & \text{si } 0 \leq t < 1/2 \\ -\mathbf{1} & \text{si } 1/2 \leq t < 1 \\ \mathbf{0} & \text{si non} \end{cases} \quad (\text{B.5})$$

Les espaces  $W_j$  et  $V_j$  pour l'ondelette de Haar sont :

$$W_1 = \left( \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \frac{-\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \dots, \mathbf{0} \right)$$

$$W_2 = \left( \mathbf{0}, \mathbf{0}, \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \frac{-\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \dots, \mathbf{0} \right)$$

.

.

.

$$W_{N/2} = \left( \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \dots, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \frac{-\mathbf{1}}{\sqrt{2}} \right)$$

Et

$$V_1 = \left( \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \dots, \mathbf{0} \right)$$

$$V_2 = \left( \mathbf{0}, \mathbf{0}, \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \dots, \mathbf{0} \right)$$

$$V_{N/2} = \left( \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \dots, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{2}}, \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{2}} \right)$$

Soit un signal discret  $f$  de la forme  $F = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_N)$ , avec  $N$  la longueur de  $f$ .

Les éléments du vecteur détail sont :

$$cD_j = F \cdot W_j \quad \text{pour } j = 1, 2, N/2$$

Les éléments du vecteur approximation sont:

$$cA_j = F.V_j \quad \text{pour } j=1, 2, N/2$$

Donc pour l'ondelette de Haar :

$$cD_j = F.W_j = \frac{F_{2*j-1}-F_{2*j}}{\sqrt{2}} \quad \text{pour } j=1, 2, N/2$$

$$cD_j = F.W_j = \frac{F_{2*j-1}-F_{2*j}}{\sqrt{2}} \quad \text{pour } j=1, 2, N/2$$

Le passage à l'espace de dimension 2 peut être pensé d'une manière très simple: Si on a une image avec  $N \times N$ , avec N une puissance de 2 (en complétant éventuellement avec 0), on revient à la définition des ondelettes en dimension 1 et on procède en 2 étapes :

- On transforme en ondelettes chaque ligne de l'image, 2 par 2 : on obtient une approximation de l'image et des détails.
- On prend l'approximation de l'image et on transforme de nouveau en ondelettes, en procédant cette fois sur les colonnes. Finalement on obtient une image d'approximations et 3 images de détails, comme dans les figures (B.3).

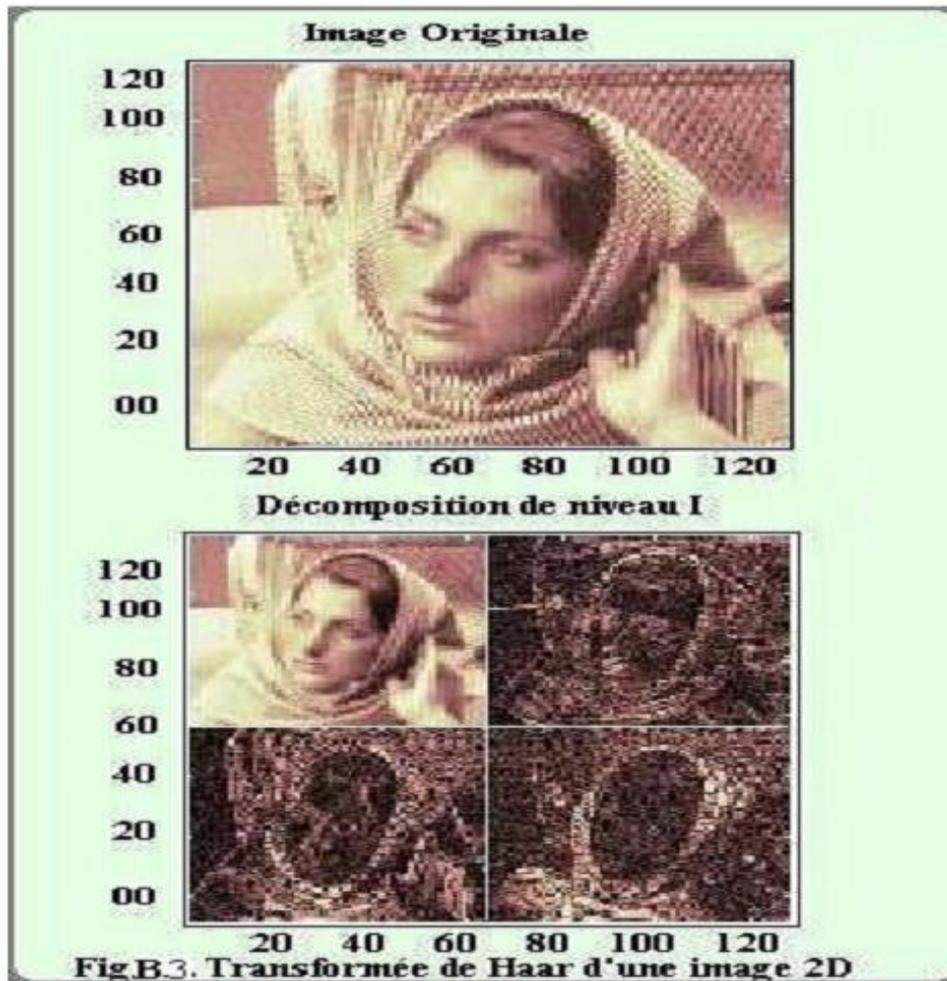


Figure B.3 : Transformée de Haar d'une image 2D.

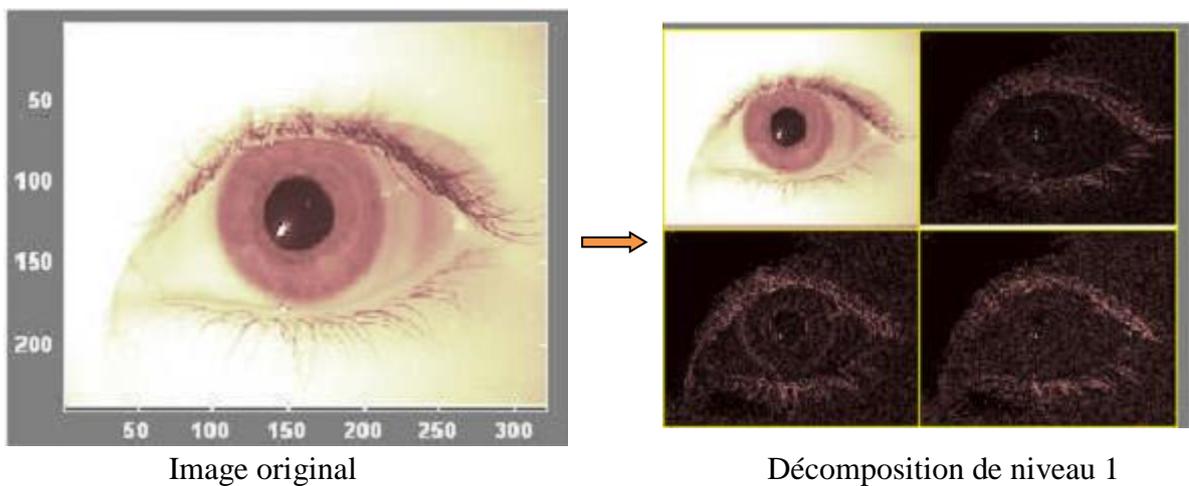


Figure B.4 : Exemple de la transformée de Haar d'une image de l'œil.

## Bibliographie

- [1] DANG Hoang Vu, “Biométrie pour l’Identification”, Rapport final, Institut de la Francophonie pour l’Informatique, Hanoi, Vietnam, 07 – 2005.
- [2] Djamel SAIGAA, “ Contribution à l’authentification d’individus par reconnaissance de visages”, THESE Présentée pour obtenir le Diplôme de Doctorat d’état en Automatique, Faculté des Sciences et Sciences de l’ingénieur, Université Mohamed Kheider, Biskra, 2006.
- [3] N. Galy, « Etude d’un système complet de reconnaissance d’empreintes digitales pour un capteur microsysteme à balayage », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Avril 2005.
- [4] W. Zhao, R. Chellappa, P.J. Phillips, A. Rosenfeld, « Face recognition : A literature survey », ACM Computing Surveys (CSUR), Vol. 35, Issue 4, December 2003.
- [5] A.K. Jain, A. Ross, and S. Pankanti, « A prototype hand geometry-based verification system », Proc. of 2nd International Conf. on Audio- and Video- based Biometric Person Authentication, pp. 166 171, March 1999.
- [6] S.J. Vaughan-Nichols, « Voice authentication speaks to the marketplace », Computer, Vol. 37, Issue 3, pp. 13-15, March 2004.
- [7] Anil K. Jain and Ruud Bolle “Biometrics Personal Identification in Networked Society” Kluwer Academic Publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow ©2002.
- [8] <http://www2.ministries-online.org/biometrics/biometrics3.html>
- [9] [http://www.retina-scan.com/retina\\_scan\\_technology.htm](http://www.retina-scan.com/retina_scan_technology.htm)
- [10] ‘Individual Biometrics: Iriscan’, National Center for State Courts, 6 July 2006, <<https://ctt.nsc.dni.us/biomet%20web/BMIris.htm>>
- [11] Christel -Loïc TISSE. “Contribution à la vérification biométrique de personnes par reconnaissance de l’iris ”.Thèse de doctorat de l’université de Montpellier II, Octobre 2003.

- [12] Max Chassé-Juilet 2002, la biométrie au Québec : les enjeux,  
[http://www.cai.gouv.qc.ca/documents/CAI\\_DRA\\_biometrie\\_enjeux.pdf](http://www.cai.gouv.qc.ca/documents/CAI_DRA_biometrie_enjeux.pdf)
- [13] <http://diuf.unifr.ch/diva/>
- [14] A. K. Jain, A. Ross, S. Prabhakar, « An introduction to biometric recognition »,  
<http://www.cse.msu.edu>
- [15] <http://www.ac-nice.fr/physique/doc/divers/oeil/anatomie.htm>
- [16] <http://psychologie-m-fouchey.psyblogs.net/?post/291-Anatomie-de-loeil>
- [17] <http://www.medix.free.fr/sim/anatomie-iris.php>
- [18] Philippe Gain, Dr Gilles Thuret, “ Anatomie et physiologie de l’œil”, Chapitre 1,  
 2003
- [19] ‘Individual Biometrics: Iriscan’, National Center for State Courts, 6 July  
 2006, <<https://ctt.nsc.dni.us/biomet%20web/BMIris.htm>>
- [20] ‘Electromagnetic Radiation Tutorial: Electromagnetic Waves,’ CRISP: Center  
 for Remote Imaging, Sensing and Processing  
 <<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm>>
- [21] Lily Lee, « *Gait analysis for recognition and classification* », Research Abstract  
 of the Artificial Intelligence Laboratory at MIT, Cambridge – Massachusetts, 2002.
- [22] A. K. Jain, L. Hong, S. Pankanti, « *Biometrics : Promising Frontiers for  
 Emerging Identification Market* », Communications of the ACM, pp. 91-98, February 2000.
- [23] S.J. Vaughan-Nichols, « *Voice authentication speaks to the marketplace* »,  
 Computer, Vol. 37, Issue 3, pp. 13-15, March 2004.
- [24] Note on CASIA-IrisV1, Iris Recognition Research Group, Center for  
 Biometrics and Security Research. National Laboratory of Pattern Recognition,  
 Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences.  
<http://biometrics.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=1>
- [25] Hunny Mehrotra, Banshidhar Majhi, and Phalguni Gupta. “Multi- algorithmic  
 Iris Authentication System”. Proceedings of Worde academy of science, engineering and  
 technology volume ISSN 2070-374034 ,October 2008.

- [26] M. Emine Krichen, “Reconnaissance des personnes par l’Iris en mode dégradé”, Thèse Thèse de doctorat, Institut National des Télécommunications, Evry-Val d’Essonne, 4 octobre 2007.
- [27] Hugo Proença and Luís A. Alexandre, “UbIris Iris image database”, 2004, <http://iris.di.ubi.pt>.
- [28] L. Masek, “Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification”, 2003. <http://www.csse.uwa.edu.au/~pk/studentprojects/libor/index.html>
- [29] Li Ma, Yunhong Wang, Tieniu Tan, « *Personal identification based on iris texture analysis* », IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 25, N° 12, pp. 1519-1533, December 2003.
- [30] M. Emine Krichen, “Reconnaissance des personnes par l’Iris en mode dégradé”, Thèse Thèse de doctorat, Institut National des Télécommunications, Evry-Val d’essonne, 4 octobre 2007.
- [31] J. Daugman “Probing the uniqueness and randomness of IrisCodes: Results from 200 billion iris pair comparisons.” Proceedings of the IEEE, vol. 94, no. 11, pp 1927-1935, 2007.
- [32] Gonzalez, R.C., Woods, R.E, Digital Image Processing, 2<sup>rd</sup>ed., Prentice Hall (2002).
- [33] P.Eduardo, “Experiments on humain Iris recognition using error backpropagation artificial neural network”, San Di Ego State University, Computer science Department, Final Project, avril 2004
- [34] J. Daugman. “How Iris Recognition Works”, IEEE transactions on circuits and systems for video technology, vol.14, no.1, January 2004
- [35] Gonzalez, R.C., Woods, R.E, Digital Image Processing, 2<sup>rd</sup>ed., Prentice Hall (2002).
- [36] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme\\_de\\_Canny](http://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_de_Canny)
- [37] P. S. Addison, ``The Illustrated Wavelet Transform Handbook,`` Institute of physics publishing, Bristol and Philadelphia, UK, 2002.
- [38] ‘Iris identification system and method of identifying a person through iris

recognition', Kim; Dae Hoon, Ryoo; Jang Soo, US PATENT 6,247,813, June 19, 2001

[39] John Daugman, 'High confidence recognition of persons by rapid video analysis of iris texture', European Convention on Security and Detection, pp. 244 -251, 16-18 May 1995.

[40] X liu, "Optimizations in Iris Recognition", A Dissertation Submitted to the Graduate School of the University of Notre Dame in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Computer Science. 2006.