REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. YAHIA FARES De MEDEA

Faculté des Sciences et de La Technologie

Département du Génie Electrique et de l'Informatique

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de Master en Electronique

Option : Système de Télécommunication

Thème :

La reconnaissance biométrique d'iris



Proposé et dirigé par :

- Dr. SOLTANE Mohamed.

Réalisé par :

- OULD BABA ALI Leila
- TEBIB Meriem

Promotion juin 2012-2013

REMERCIEMENT :

Nous tenons tous d'abord nos sincères remerciements à notre créateur **DIEU** le tout puissant, nous le louons et le remercions pour tout ce qui a donné et qui nous a incité à acquérir le savoir et le réussir. C'est à lui que s'adresse toute notre gratitude.

Nous tenons à exprimer nos remerciements à notre encadreur **Mr. SOLTANE MOHAMED** qui bien nous a voulu encadrer, et de nous avoir encouragés tout au long de notre travail.

Nous remercions également **Mr ESSAID BILAL** qui nous a donné de son temps et qu'il nous aide à notre projet.

Egalement nous remercions les membres de jury pour leur participation dans le jugement de ce travail. Et je souhaite à présent adresser mes sincères remerciements à tous les professeurs de Département de Génie Electronique.

Enfin nous tenons à remercier tous personnes de promotion 2013 et toute personne contribuée de loin ou de prés à ce travail.

Dédicace

A mes chers parents :

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, ni la profonde gratitude que je vous témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.

***Maman** ma perle précieuse, ma jolie fleur, mon âme ma source d'affection et du courage, tu as supporté tous les problèmes et les difficultés pour que je sois heureuse,*

Tu ma comblé de tendresse malgré l'absence de mon père, Tu as souffert pour notre éducation et pour mon bien être,Tu as supporté tous le fardeau de la vie pour moi,

Merci maman j'espère que je suis la fille que tu pourras toujours être fière d'elle, je t'aime maman

***Papa** je porte ton nom avec honneurs, il est été tous sourire et a réussi de mon éducation je prie ALLAH de tout puissant de lui accordé le vaste de paradis et QU'ALLAH lui accorde sa miséricorde pour son âme je t'aime mon père.*

A mon cher frère : Mustapha

QU'ALLAH vous garde pour moi, je vous souhaite tous ce qui est beau comme vous, le bonheur, le succès dans votre vie et le sourire que vous devez toujours le garder, je vous aime.

A ma charmante sœur : Lamia

Que le grand bonheur vous accompagne aussi et surtout de la réussite dans tous ce que vous désirez réaliser, je t'aime.

***A ma grand-mère, mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines :**grand et petit.*

Hanen, Nawel, Karima et Ibtissam.

Et à toute la famille OULD BABAALI ET BOUKHELKHAL

A mon binôme : Meriem

Je te remercie beaucoup pour la réalisation de ce modeste travail je te souhaite tout le bonheur.

*A mes amies : Ma très chères copines **Amina, Fella, hadjer, Ihsene, Imen, Karima, Meriem et Touba** merci pour les bons moments que nous avons passé ensemble, de vos soutien et serviabilité, vous m'avez appris comment rire du fond du cœur, et tout mes camarades de classe et tous mes amies à celle qui me sont chères que j'ai involontairement omis de citer.*

LEILA

Dédicace

La joie de réussir n'est jamais complète que si elle est partagée avec ceux qu'on aime.

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon cher grand père et mes grandes mères.

A mon cher Père « Hakim » A ma chère mère « Amina »

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

A mes sœurs : « Hadjer, Nadjia et la petite Chaimaa ».

A mes amies intimes : Amina, Hadjer, Ihsene, Imene, Karima, Touba et surtout à mon binôme Leila.

A mes tentes, mes oncles, à chaque cousins et cousines.

Anfal, Nabila, Imene, Nacera et affaf.

A tous mes camarades de classe et à toute personnes qui m'ont encouragé ou aidé au long de mes études.

Meriem

ملخص:

البيومترية هي تكنولوجية جديدة تضمن مستوى عالي من الأمان. ترجع إلى المعرفة الآلية للأفراد المركزة على مميزاتهم الفيزيائية و/أو السلوكية. من بين مختلف الأنواع البيومترية، القزحية هي الأكثر فعالية بفضل فوائدها. القزحية هي العضو الداخلي الوحيد في جسم الإنسان المرئي للخارج، تبقى مستقرة طوال حياة الفرد و هي مميزة بتركيبها الخاص.

بسبب هذه الخصائص، المعرفة بالقزحية تعتبر نهجا واعدا لتحديد الهوية و التّحقق من الأشخاص.

كلمات المفتاحية: البيومترية ،المعرفة الآلية ، القزحية ، تحديد الهوية و التّحقق من الأشخاص

Résumé :

La biométrie est une nouvelle technologie assurant un haut niveau de sécurité. Elle réfère à la reconnaissance automatique des individus basée sur leurs caractéristiques physiologiques et /ou comportementales. Parmi les différentes modalités biométriques, l'iris est une des plus performantes de ces modalités grâce à ses avantages. L'iris est le seul organe interne humain visible de l'extérieur, il est stable durant la vie d'une personne et il est caractérisé par une texture unique. Dû à toute ces caractéristiques, la reconnaissance de l'iris est une approche prometteuse pour l'identification et la vérification des personnes.

Les mots clés : La biométrie, la reconnaissance automatique, les modalités biométriques, l'iris, l'identification et la vérification des personnes.

Abstract :

Biometric is a new technology that provides high level of security. It refers to automatic recognition of individuals based on their physiological and/or behavioral characteristics. Among the various biometric kinds, the iris is the more performant of these kinds cause to their advantages. The iris is the only visible human internal body outside, it is stable during the life of a person and it is characterized by a single texture. Had with all these characteristics, the recognition of the iris is a promising approach for the identification and the checking of the people.

Keywords : Biometric, automatic recognition, the various biometric kinds, the iris, the identification and the checking of the people.

Liste des figures :

Figure II.1. Différentes modalités biométriques....4

Figure II.2. Enrôlement d'une personne dans un système biométrique....7

Figure II.3. Authentification d'un individu dans un système biométrique....8

Figure II.4. Identification d'un individu dans un système biométrique....8

Figure II.5. Illustration du FAR et du FRR....10

Figure II.6. Les courbes des variations des différents types de taux d'erreurs (FAR,FRR et TER) en fonction du seuil de décision....11

Figure II.7. Classification des modalités biométriques....13

Figure II.8. Le processus de reconnaissance par empreinte digitale....16

Figure II.9. Spectre d'un signal voix....17

Figure II.10. Dispositif de reconnaissance par géométrie de la main....18

Figure II.11. Analyse Zéphyr : évaluation de différentes modalités biométriques selon quatre critères principaux : l'intrusivité, la discrimination, le coût et l'effort....19

Figure II.12. Applications biométrique....20

Figure III.1. L'anatomie de l'œil humain....23

Figure III.2. L'appareil du la capture d'iris....24

Figure III.3. La morphologie de l'Iris humain....25

Figure III.4. Les différents motifs de la texture de l'iris....25

Figure IV.1. Image acquise en lumière visible, conditions normales d'acquisition....28

Figure IV.2. Image acquise en proche infrarouge....28

Figure IV.3. Les étapes types de la reconnaissance de l'iris....30

Figure IV.4. Les reflets des LEDs infrarouge sur la pupille de l'œil....31

Figure IV.5. Les cils et paupières couvrent une partie de l'Iris....32

Figure IV.6. La segmentation de l'iris par la méthode intégro-différentielle....34

Figure IV.7 Les différentes type d'image de contours par la méthode Canny : (a) image de l'œil, (b) image de contours globale, (c) image de contours horizontale et (d) image de contours verticale 36

Figure IV.8. La normalisation de l'image de l'iris 39

Figure IV.9. (a) Une image capturée de l'œil, (b) Une image de l'iris segmenté 39

Figure IV.10. Illustration de la comparaison des de deux exemplaires binaires de même taille (6×2) avec une rotation à droite et une à gauche 44

Figure V.1. Illustration des différentes étapes de la reconnaissance de l'iris 47

Figure V.2. Le mécanisme d'acquisition des images de l'iris de la base CASIA-IrisV1 48

Figure V.3. Des exemples de la base de données CASIA-IrisV1 49

Figure V.4. La fenêtre qui illustre notre interface 50

Figure V.5. La fenêtre de l'interface qui charge l'image 51

Figure V.6. La fenêtre de l'interface qui fait l'étape de la segmentation 51

Figure V.7. L a fenêtre de l'interface qui fait l'étape de la normalisation 52

Figure V.8. La fenêtre de l'interface qui fait la vérification (cas identique) 53

Figure V.9. La fenêtre de l'interface qui fait la vérification (cas non identique) 53

Figure V.10. La fenêtre de l'interface qui fait l'identification (cas de personne acceptée) . 54

Figure V.11. La fenêtre de l'interface qui fait l'identification (cas de personne rejetée) 54

Figure V.12. La fenêtre de l'interface qui présente les courbe de ROC 55

Figure V.13. Une image d'iris avec les différentes parties à détecter 56

Figure V.14. Diagramme du processus de segmentation de l'iris de l'œil 57

Figure V.15 (a) Image initiale de CASIA Iris-V1 (b) Image de contour global (c) Image de contours verticale (d) Image de contours horizontale 58

Figure V.16. Quelques images de la base de donnés CASIA Iris V-1 segmentées avec succès 59

Figure V.17. Exemples des échecs de segmentation d'images de la bases de donnés CASIA Iris V-1 59

Figure V.18. Exemples des images de l'iris de la bases de donnés CASIA Iris V-1segmentées avec succès et masqués 60

Figure V.19. Illustration des défauts de masquage des régions non-iris.....60

Figure V.20. Exemples des images de l'iris de la bases de donnés CASIA Iris V-1 normalisées.....61

Figure V.21. Le principe de codage de phase sur quatre quadrants et en deux bits.....62

Figure V.22. Différents exemples d'iris code générés par la méthode Daugman 62

Figure V.23. Des exemples de la représentation des distances de Hamming de l'identification d'iris (One to All).....64

Figure V.24. La courbe ROC pour seuil=0.1 (2 personnes) 65

Figure V.25. La courbe ROC pour seuil=0.5 (2 personnes) 66

Figure V.26. La courbe ROC pour seuil=0.8 (2 personnes) 66

Figure V.27. La courbe ROC pour seuil=0.1 (10 personnes) 67

Figure V.28. La courbe ROC pour seuil=0.5 (10 personnes) 67

Figure V.29. La courbe ROC pour seuil=0.8 (10 personnes) 68

Figure V.30. La courbe ROC pour seuil=0.1 (90 personnes) 68

Figure V.31. La courbe ROC pour seuil=0.5 (90 personnes) 69

Figure V.32. La courbe ROC pour seuil=0.8 (90 personnes) 69

Liste des matières :

Remerciements
Dédicace
Résumé
Liste des figures
Liste des matières
Notifications
Liste des abréviations

Chapitre I : Introduction et Motivation 1
Chapitre II : Les systèmes biométriques 4
II.1. Introduction 4
II. 2. Système de biométrie 5
II.2.1. Modes de fonctionnement d'un système biométrique 6
II. 3. Performance de système biométrique 8
II. 4. Modalités biométriques 12
II. 4.1. Classification des modalités biométriques 12
II. 4.2. Différentes modalités biométriques 13
II. 4.2.1. Le visage 13
II. 4.2.2. La rétine 15
II. 4.2.3. L'iris 15
II. 4.2.4. Les empreintes digitales 16
II. 4.2.5. La voix 17
II. 4.2.6. La main 18
II. 4.3. Comparaison des modalités biométrique 19
II. 5. Application de la biométrie 20
II.6. Conclusion 20

Chapitre III : L'iris Anatomie Et Physiologie 21
II.1. Introduction 21
II.2. L'œil humain 22

II. 2.1. Anatomie de l'œil 22
II.3. Généralités sur l'iris 23
II.3.1. Anatomie de l'iris 24
II.3.2. La physiologie 25
II.4. Conclusion 26

Chapitre IV : Développement théorique 27
IV.1. Introduction 27
IV.2. L'acquisition de l'iris 27
IV.3. Etapes typiques de la reconnaissance de l'iris 29
IV.3.1. La segmentation de l'iris 31
IV.3.1.1. Par détecteur de contours circulaires 34
IV.3.1.2. Par transformée de Hough 35
IV.3.1.3. Par contour actif 37
IV.3.2. La normalisation de l'iris 38
IV.3.3. L'extraction de caractéristique 40
IV.3.3.1. Le codage en ondelette 42
IV.3.3.2. Le filtrage de Gabor 42
IV.3.3.3. Le filtre de Log-Gabor 42
IV.4. La comparaison 43
IV.5. Conclusion 45

Chapitre V : Implémentation et résultats 46
V.1. Introduction 46
V.2. La base de données CASIA-iris V4 48
V.3. Présentation de GUI (Graphical User Interface) 49
V.3.1. Présentation de l'interface graphique réalisée 49
V.3.1.1. Gestionnaire des menus 50
V.3.1.2. La barre des outils 50
V.3.1.2.1. Enrôlement 50
V.3.1.2.2. La vérification 52
V.3.1.2.3. L'identification 54
V.3.1.2.4. Performance 55

V.4. La segmentation.....55
V.5. La normalisation.....60
V.6. L'extraction de caractéristiques.....61
V.7. La comparaison des codes d'iris.....62
V.8. Les performances.....63
V.9. Conclusion.....70

Chapitre VI : Conclusion générale.....71
Bibliographie

Notations

$I(x, y)$: Une image de l'œil.

(x_0, y_0) : Les coordonnées du centre recherché.

r : Le rayon.

$G_\sigma(r)$: Une fonction gaussienne de lissage.

σ : Le degré de lissage.

$C(x_c, y_c)$: Les coordonnées du centre.

a_j : La distance focale contrôlant la courbe parabolique.

(h_j, k_j) : Les coordonnées du sommet de la parabole.

θ_j : L'angle de rotation par rapport à l'axe des abscisses.

F_i : La force interne.

G_i : La force externe.

v_i : La position du point de contrôle (i).

$x(r, \theta)$ et $y(r, \theta)$ **:** sont définis comme des combinaisons linéaires de l'ensemble des points de la bordure intérieure et extérieure de l'iris.

$x_p(\theta), x_p(\theta)$: Les coordonnées des points de la bordure détectée de la pupille.

$x_s(\theta), x_s(\theta)$: Les coordonnées des points du contour extérieur de l'iris.

$I_c(x, y)$: Une image capturée.

$I_r(x, y)$: Une image de référence.

$(u(x, y), v(x, y))$: Une fonction d'alignement.

f_0 : La fréquence centrale.

σ : la largeur de la bande de filtre.

$G(f)$: La réponse en fréquence d'un filtre Log-Gabor.

HD : La distance de Hamming.

X et Y : deux exemplaires binaires d'une même taille.

Liste des abréviations :

ADN : Acide Désoxyribonucléique.

ATM : Asynchronous Transfer Mode.

CASIA : Chinese Academy of Sciences, Institut of Automation.

CCD : Charged Couples Device.

DTC : Dispositif à Transfert de Charge.

EER : Equal Error Rate.

FAR : False Acceptance Rate.

FMR : False Match Rate.

FNMR : False Not Match Rate.

FRR : False Rejection Rate.

GAR : Genuine Acceptance Rate.

IBG : International Biometric Group.

IOMTM : Iris On the Move TM.

JPG : Joint Photographic Group.

LED : Light Emitting Diode.

NRRA : Number of Rejected Recognition attempts performed by Authentics.

NSRI : Number of Succeeded Recognition attempts performed by Imposters.

PC : Personel Computer.

PDA : Personel Digital Assistant.

PIN : Personnel Identification Number.

ROC : Receiver Operating Curve.

TER : Total Error Rate.

TNRA : Total Number of Recognition attempts performed by Authentics.

TNRI : Total Number of Recognition attempts performed by Imposters.

Chapitre I:
Introduction et Motivation

Introduction et Motivation :

La biométrie est la technique qui permet de traiter les données biologiques et de reconnaitre les personnes à partir de leurs caractéristiques physiques et comportementales. Au 7ème siècle, les babyloniens utilisaient 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 16ème siècle pour reconnaître les prisonniers [6].

Au 19ème siècle a connu la naissance de l'anthropométrie, véritable ancêtre de la biométrie. Avec la rapide croissance des cités, les besoins de reconnaître les personnes devinrent de plus en plus importants. Après la publication de plusieurs travaux stipulant qu'il était possible d'utiliser les empreintes digitales pour identifier des personnes, ce procédé émergea en Asie, en Afrique du Sud et en Europe. En Inde, Edward Henry développa une méthode robuste de reconnaissance à base d'empreintes digitales. Sir Francis Galton publia des travaux détaillés sur la reconnaissance par l'empreinte digitale basés sur des caractéristiques particulières de la texture de l'empreinte, les minuties. Ces caractéristiques sont encore utilisées dans les systèmes automatiques de nos jours.

Dans les années 30, un ophtalmologiste, Frank Burch, La première personne qui proposa le concept de la texture de l'iris pour reconnaître des personnes, cette méthode sera considérée bien des années plus. Avec l'avènement des ordinateurs, l'idée d'une reconnaissance automatique est née ; c'est le début de la biométrie moderne. Dans les années 60, plusieurs travaux sur des algorithmes automatiques ou semi automatiques furent publiés, citons le cas du visage et bien sûr des empreintes digitales. Grâce à cet élan de recherche et ces travaux très prometteurs, le FBI lança en 1969 une campagne scientifique afin de développer un système automatique de reconnaissance par les empreintes digitales. La géométrie de la main dont les balbutiements remontent au milieu du 19ème siècle connut dans les années 70 un regain d'intérêt avec la commercialisation du premier produit biométrique de contrôle d'accès et d'identification [6].

La reconnaissance personnelle fiable est essentielle pour plusieurs processus. Le but d'utilisation des systèmes biométriques est d'établir une identité fondée sur 'qui est la personne', plutôt que sur 'ce que la personne possède' (par exemple une carte d'identité) ou 'ce dont la personne se souvient' (par exemple un mot de passe). Ainsi, les applications biométriques sont nombreuses et permettent d'apporter un niveau de sécurité supérieur sur les accès logiques (ordinateurs, comptes bancaires, données sensibles, etc.) et les accès physiques (bâtiments sécurisés, aéroports, unités militaires, etc.). Aujourd'hui, les différentes sociétés accordent une grande importance aux systèmes qui contribuent à élever le niveau de sécurité et améliorer la fiabilité. La grande puissance de calcul des ordinateurs peut être utilisée pour reconnaître des individus, grâce à des appareils couplés à des programmes informatiques complexes. Ainsi, La biométrie est couplée avec l'informatique afin d'assurer un niveau de sécurité élevé à travers la transformation des particularités physiologiques ou comportementales uniques en un exemplaire numérique. En effet, ce dernier remplace les moyens de vérification de l'identité traditionnels (mot de passe, carte à puce, etc.). L'identification et l'authentification sont basées sur une opération de comparaison statistique entre un exemplaire numérique de référence et un autre obtenu en temps réel. Cela a abouti à une nouvelle génération de systèmes dits biométriques [5].

Il existe plusieurs caractéristiques biométriques chez l'être humain comme déjà cité, l'empreinte, l'iris, le visage et la forme de la main etc. Dans notre projet, nous nous sommes intéressés uniquement à la modalité de l'iris. Ce dernier est un organe situé à l'intérieur de l'œil et visible par l'extérieur, son image peut être capturée par des appareils photos à distance. Par ailleurs, la forme de l'iris reste stable durant toute la vie des adultes. Dû à toute ces caractéristiques, la reconnaissance de l'iris est une approche prometteuse pour l'identification et la vérification des personnes. Elle est utilisée dans des systèmes biométriques déployés avec succès dans différents domaines civils et militaires.

Généralement, les systèmes de reconnaissance de l'iris comportent quatre étapes typiques principales utilisant les filtres de Gabor développé par le Prof. Daugman [22]. La première étape est celle de la segmentation d'image de l'œil pour en isoler la région de l'iris contenant l'information utile à la reconnaissance et ignorer les autres régions. Ensuite, l'étape de normalisation du disque de l'iris segmenté qui illustre la partie de l'iris de l'œil humain. Après cela, l'étape d'extraction des informations distinctives afin de les représenter sous forme d'un exemplaire permettant l'enregistrement et la comparaison.

Finalement, il y a l'étape d'apprentissage et/ou de comparaison des exemplaires afin d'enrôler les individus et/ou de vérifier leur identité.

Tout au long de ce mémoire, nous nous intéressons au domaine de la biométrie et particulièrement à l'identification et l'authentification des individus par reconnaissance de l'iris. Le reste de ce manuscrit est organisé comme suit pour présenter les détails de notre étude

- **Le Premier Chapitre :** c'est l'introduction et motivation qui indique aussi l'historique de la biométrie
- **Le Deuxième Chapitre :** présente le système de la biométrie et explique leurs modes de fonctionnement et les performances.
- **Le troisième chapitre :** c'est l'étude de l'œil humain et spécialement l'iris qu'on a présenté une généralité sur l'iris et sa physiologie.
- **Le quatrième chapitre :** ce chapitre est le développement théorique qui identifie les étapes typiques d'un système de reconnaissance de l'iris et décrire la conception détaillée de chaque étape de ce dernier pour les approches les plus importantes.
- **Le cinquième chapitre :** nous illustrons la conception globale de l'approche proposée, et donnons les détailles de chaque module du processus de reconnaissance de l'iris que nous illustrons avec quelques résultats expérimentaux obtenus.
- Nous finalisons ce mémoire par une conclusion générale sur ce travail.

Chapitre II:
Les systèmes biométriques

II.1 Introduction :

La biométrie trouve ses origines dans des procédés de reconnaissance anthropométrique, le plus ancien étant l'analyse des empreintes digitales. L'empreinte du pouce servait déjà de signature lors d'échanges commerciaux à Babylone dans l'Antiquité et en Chine au 7ème siècle. Dans une époque beaucoup plus proche, au 19ème siècle, Alphonse Bertillon, grand criminologiste français, invente une méthode scientifique appelée "anthropologie judiciaire" permettant l'identification de malfrats d'après leurs mesures physiologiques [1]. De nos jours, la puissance de calcul grandissante des ordinateurs peut être mise à contribution pour reconnaître des individus, grâce à des appareils couplés à des programmes informatiques complexes.

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 géométrie de la main, l'iris, la rétine, le visage, l'empreinte palmaire, la géométrie de l'oreille, l'ADN, la voix, la démarche, la signature ou encore la dynamique de frappe au clavier sont autant de modalités biométriques différentes (Figure I.1) [1].

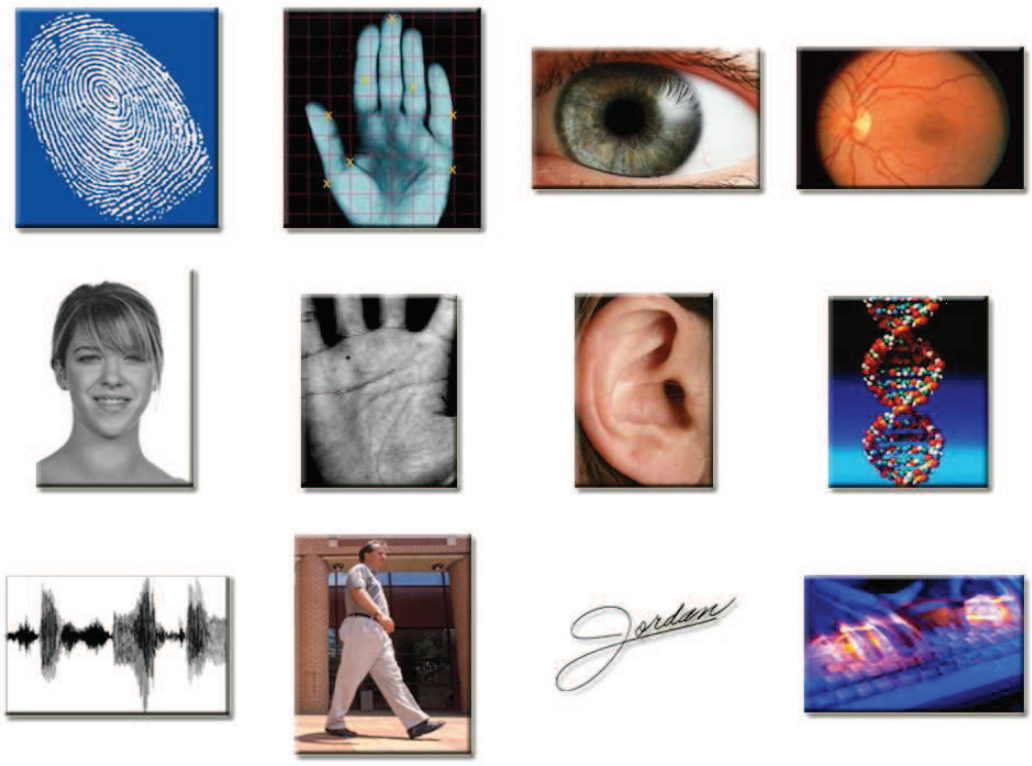


Figure II.1. Différentes modalités biométriques [1].

Ces caractéristiques sont traitées par certain ordre des processus automatisés à l'aide des dispositifs comme des modules de balayage ou des appareils-photo. À la différence des mots de passe ou des PINs (numéros d'identification personnelle) qui sont facilement oubliés ou exposés à l'utilisation frauduleuse, ou des clefs ou des cartes magnétiques qui doivent être portées par l'individu et sont faciles à être volées, copiées ou perdues, ces caractéristiques biométriques sont uniques à l'individu et il y a peu de possibilité que d'autres individus peuvent remplacer ces caractéristiques, Donc les technologies biométriques sont considérées les plus puissantes en termes de sécurité.

En plus les mesures biométriques sont confortables parce qu'elles n'ont pas besoin d'être portées séparément. De telles caractéristiques peuvent être bien employées pour obtenir l'identification/authentification pour accéder à des systèmes tels que les ATMs (guichet automatique). La biométrie se prouve également comme outil puissant d'identification/vérification aux scènes de crime dans le secteur juridique [2].

II.2. Système de biométrie :

La première question à laquelle il nous faut répondre est la suivante : qu'est-ce que la biométrie? Le mot biométrie désigne dans un sens très large l'étude quantitative des êtres vivants, mais dans notre contexte plus précis de reconnaissance et d'identification d'individus, il existe deux définitions principales qui se complètent :

1. La biométrie est la science qui étudie à l'aide de mathématiques, les variations biologiques à l'intérieur d'un groupe déterminé.
2. Toute caractéristique physique ou trait personnel automatiquement mesurable, robuste et distinctif qui peut être employé pour identifier un individu ou pour vérifier l'identité qu'un individu affirme.

Un système biométrique est essentiellement un système de reconnaissance de formes qui fonctionne en acquérant des données biométriques à partir d'un individuel, extrayant un ensemble de caractéristiques à partir des données acquises, il peut être représenté par quatre modules principaux [1]:

1. Le module de capture est responsable de l'acquisition des données biométriques d'un individu (cela peut être un appareil photo, un lecteur d'empreintes digitales, une caméra de sécurité, etc.),

2. Le module d'extraction de caractéristiques prend en entrée les données biométriques acquises par le module de capture et extrait seulement l'information pertinente afin de former une nouvelle représentation des données. Idéalement, cette nouvelle représentation est censée être unique pour chaque personne et relativement invariante aux variations intra-classe,

3. Le module de correspondance compare l'ensemble des caractéristiques extraites avec le modèle enregistré dans la base de données du système et détermine le degré de similitude (ou de divergence) entre les deux,

4. Le module de décision vérifie l'identité affirmée par un utilisateur ou détermine l'identité d'une personne basée sur le degré de similitude entre les caractéristiques extraites et le(s) modèle(s) stocké(s) [1].

II.2.1. Modes de fonctionnement d'un système biométrique :

Un système biométrique peut fournir trois modes de fonctionnement à savoir :
L'enrôlement, l'authentification (ou vérification) et l'identification.

- ***L'enrôlement*** (Figure II.2) est la première phase de tout système biométrique, il s'agit de l'étape pendant laquelle un utilisateur est enregistré dans le système pour la première fois et une ou plusieurs modalités biométriques sont capturées et enregistrées dans une base de données. Cet enregistrement peut s'accompagner par l'ajout d'information biographique dans la base de données.

- ***L'authentification ou la vérification*** (Figure II.3), le système biométrique demande à l'utilisateur son identité et essaye de répondre à la question « est-ce la personne X ?». Dans une application de vérification l'utilisateur annonce son identité par l'intermédiaire d'un mot de passe, d'un numéro d'identification, d'un

nom d'utilisateur, ou toute combinaison des trois. Le système sollicite également une information biométrique provenant de l'utilisateur, et compare la donnée caractéristique obtenue à partir de l'information entrée, avec la donnée enregistrée correspondante à l'identité prétendue, c'est une comparaison un à un (1 : 1). Le système trouvera ou ne trouvera pas d'appariement entre les deux. La vérification et communément employée dans des applications de contrôle d'accès et de paiement par authentification [3].

- ***L'identification*** (Figure II.4), l'utilisateur ne dévoile pas explicitement son identité. Cependant, l'affirmation implicite faite par l'utilisateur est qu'elle est une des personnes déjà enrôlées par le système qui pose et essaye de répondre à la question « Qui est la personne X ? » Ainsi, l'échantillon biométrique de l'individu est comparé avec les modèles de toutes les personnes de la base de données. On parle alors de correspondance 1:N. La sortie du système biométrique est constituée par l'identité de la personne dont le modèle possède le degré de similitude le plus élevé avec l'échantillon biométrique présenté en entrée. Typiquement, si la plus grande similarité entre l'échantillon et tous les modèles est inférieure à un seuil de sécurité minimum fixé, la personne est rejetée, ce qui implique que l'utilisateur n'était pas une des personnes enrôlées par le système. Dans le cas contraire, la personne est acceptée [1].

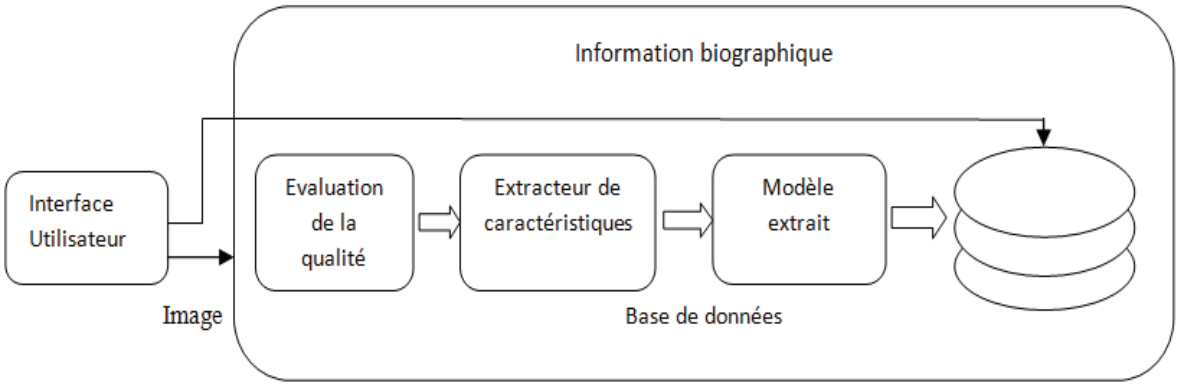


Figure II.2. Enrôlement d'une personne dans un système biométrique.

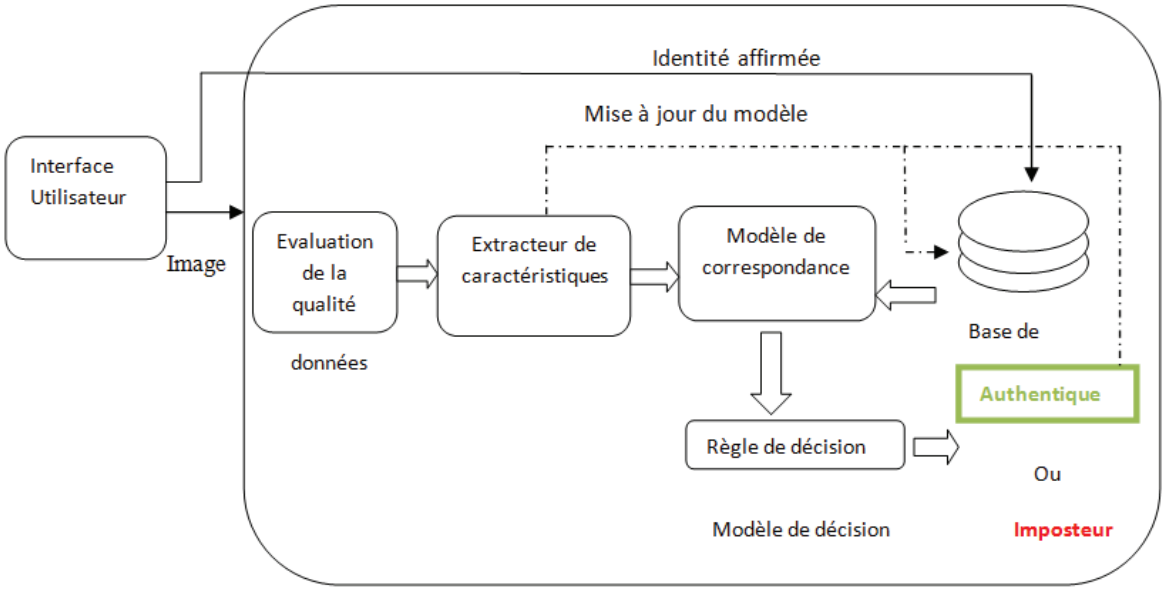


Figure II.3. Authentification d'un individu dans un système biométrique.

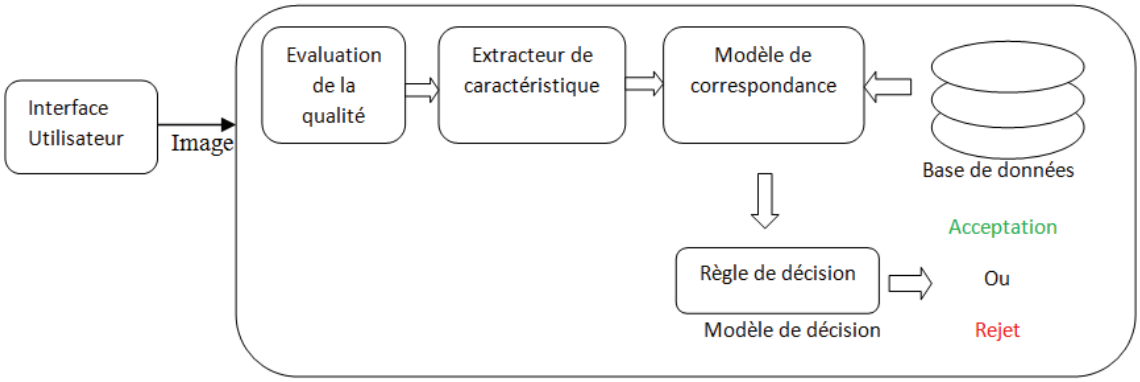


Figure II.4.Identification d'un individu dans un système biométrique.

II.3. Performance de système biométrique :

En biométrie, il est impossible d'obtenir une coïncidence parfaite entre l'exemplaire qui est enregistré comme référence et l'exemplaire acquis au moment du test. Ces modifications entre les deux exemplaires sont dues à plusieurs facteurs significatifs. Premièrement, les caractéristiques humaines sont sujettes à des variabilités diverses dues aux effets du temps et de l'environnement. Par exemple, des coupures au doigt affectent les détails utilisés par

la reconnaissance d'empreinte digitale et des cicatrices sur le visage peuvent aussi fausser les algorithmes de reconnaissance de visage. L'étape de capture de l'échantillon biométrique est aussi responsable de cette variabilité. En effet, les capteurs ne reproduisent pas l'échantillon biométrique à la perfection ce qui introduit des erreurs. Dans ce cas, ces derniers peuvent être dues au flou d'acquisition, au flou du bougé, ou aux variations liées à l'illumination [6].

En général, les différences qui peuvent exister entre l'exemplaire de référence et celui du test engendrent forcément des erreurs de décision dans chaque système biométrique. Le taux de ces erreurs est considéré comme un terme d'évaluation pour les deux modes de systèmes biométriques (identification et vérification).

Il existe deux types d'erreurs dans un système biométrique. Le premier, dénommé « faux rejet », à lieu lorsque le système considère une caractéristique d'un utilisateur authentique comme celle d'un imposteur (rejet de la transaction de reconnaissance). Le deuxième type, dénommé « fausse acceptation », à lieu lorsque le système considère une caractéristique d'un imposteur comme celle d'un utilisateur authentique, (acceptation de la transaction de reconnaissance). La décision d'acceptation et de rejet de la transaction d'authentification s'effectue par la comparaison de la valeur du score de comparaison des deux exemplaires par rapport à une valeur prédéfini dite seuil de décision. En cumulant les erreurs associées à ces décisions, nous calculons les taux d'erreur correspondant à ces deux types d'erreurs [1].

Le taux de faux rejets, dénommé : **FRR** (**F**alse **R**ejection **R**ate), appelé aussi : **FNMR** (**F**alse **N**ot **M**atch **R**ate), est le pourcentage de comparaisons authentiques qui ont été rejetées.

Le taux de fausses acceptations, dénommé : **FAR** (**F**alse **A**cceptance **R**ate), appelé aussi : **FMR** (**F**alse **M**atch **R**ate) est le pourcentage de comparaisons non-authentiques (d'imposteurs) qui ont été acceptées.

Soient *TNRI* et *NSRI*, respectivement, le nombre total de tentatives et le nombre de celles réussies, lors de la phase de reconnaissance, exécutées par des imposteurs. Le pourcentage entre ces deux valeurs produit le taux de fausses acceptations *FAR*, qui mesure la probabilité de confusion entre deux identités. Évidemment, cette mesure est la plus importante pour évaluer le niveau de la sécurité.

$$FAR = \frac{NSRI}{TNRI} \quad (1)$$

D'autre part, Soient *TNRA* et *NRRA* respectivement, le nombre total de tentatives et le nombre de celles échouées, lors de la phase de reconnaissance, exécutées par des utilisateurs authentiques. Le pourcentage entre ces deux valeurs produit le taux de faux rejets *FRR*, qui a une grande importance pour le niveau de confort que le système biométrique offre à ses utilisateurs.

$$FRR = \frac{NRRA}{TNRA} \quad (2)$$

Les deux mesures FAR et FRR sont illustrées sur la Figure 1.5 à partir de la distribution des valeurs des comparaisons authentiques et imposteurs effectuées selon le score de la comparaison. Chaque valeur sur le repère des scores décrit un niveau de similarité entre deux exemplaires biométriques comparés. Le repère vertical décrit le nombre de comparaisons effectuées ayant les mêmes valeurs du score. Ainsi, les deux surfaces, rouge et verte, représente les décisions correctes du système (rejets de requêtes de reconnaissance exécutées par des imposteurs et acceptations de celles exécutées par des utilisateurs authentiques).

Cependant, les deux surfaces, jaune et bleu, représente les fausses décisions engendrées par le système (les fausses acceptations et les faux rejets) [5].

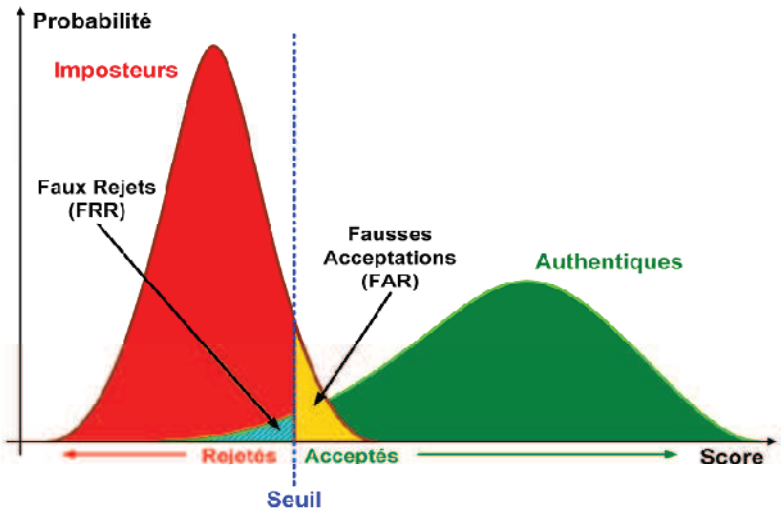


Figure II.5. Illustration du FAR et du FRR [1].

De plus, il est possible de calculer le taux d'erreur total d'un système biométrique, dénommé ***TER*** (***T**otal **E**rror **R**ate*). C'est le pourcentage de décisions erronées pour des tentatives de reconnaissance effectuées par des imposteurs et des utilisateurs authentiques :

$$TER = \frac{FAR+FRR}{2} \quad (3)$$

Les taux d'erreurs *FAR* et *FRR*, définis plus haut sont inversement proportionnels par rapport au seuil de décision. Dans le cas d'un score de similarité, plus le seuil de décision augmente, plus le taux de faux rejets (*FRR*) augmentent et le taux de fausses acceptations (*FAR*) diminue, et vice versa dans le cas d'un score de dissimilarité. Afin de visualiser ces variations, il est possible de tracer, en fonction du seuil, les trois différents taux d'erreurs : *FAR*, *FRR* et *TER* (Figure II.6).

Le point d'intersection des deux courbes *FRR* et *FAR* est une mesure commune de la précision des systèmes biométriques, dénommée : ***EER*** (***E**qual **E**rror **R**ate*). Cette valeur correspond à la valeur du seuil de décision où *FAR* et *FFR* sont égaux. En effet, cette valeur assure un compromis entre les deux types d'erreurs engendrés par un système biométrique [5].

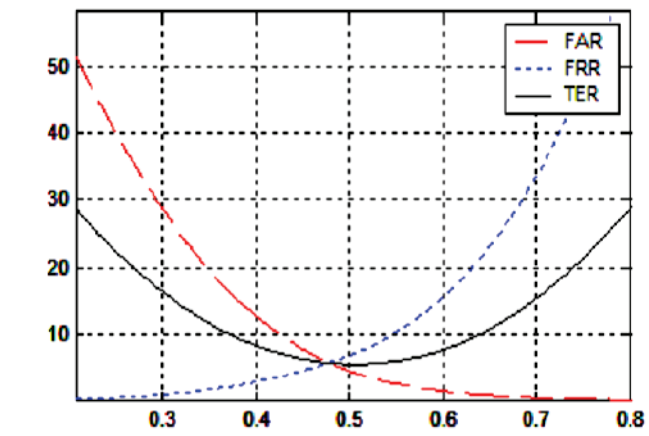


Figure II.6. Les Courbes des variations des différents types de taux d'erreurs (FAR, FRR et TER) en fonction du seuil de décision [5].

La variation de l'un des deux taux d'erreurs en fonction de l'autre (*FAR* et *FRR*). Cette courbe est dénommée : ***ROC*** (***R****eceiver* ***O****perating* ***C****urve*). Plus l'arc de cette courbe est tendu aux axes des abscisses et ordonnées, moins le système engendre d'erreurs, en termes de *FAR* et *FRR* [5].

II.4. Modalités biométriques :

En fait, le terme biométrie regroupe plusieurs caractéristiques, traits, ou bien ce que l'on appelle : modalités biométriques. Contrairement à ce que l'on possède et que l'on peut donc perdre comme une clé, ou ce que l'on sait et que l'on peut donc oublier comme par exemple un mot de passe, les modalités biométriques représentent ce que l'on est et permettent de prouver notre identité.

Pour que des données collectées (images, audio, vidéo, etc.) puissent être qualifiées de modalité ou de trait biométrique, elles doivent être :

- Universelles : exister chez tous les individus à identifier;

- Uniques : permettre de différencier un individu par rapport aux autres ;

- Permanentes : suffisamment invariantes au fil du temps ;

- Enregistrables : permettant d'être collectées et numérisées avec des capteurs appropriés sans provoquer un malaise excessive pour la personne ;

- Mesurables : les données acquises peuvent être traitées pour en extraire des ensembles représentatifs permettant une future comparaison [5].

II.4.1 Classification des modalités biométriques :

Les modalités (traits) biométriques peuvent être classées en deux catégories principales, des modalités physiologiques et des modalités comportementales. Les modalités physiologiques sont liées à la forme du corps, comme le cas de l'empreinte digitale, l'iris, le visage, etc. Quand aux modalités comportementales, elles sont liées aux comportements

de la personne, comme la démarche, la signature, la dynamique de frappe au clavier, etc. La classification des modalités biométriques est décrite par la Figure II.7.

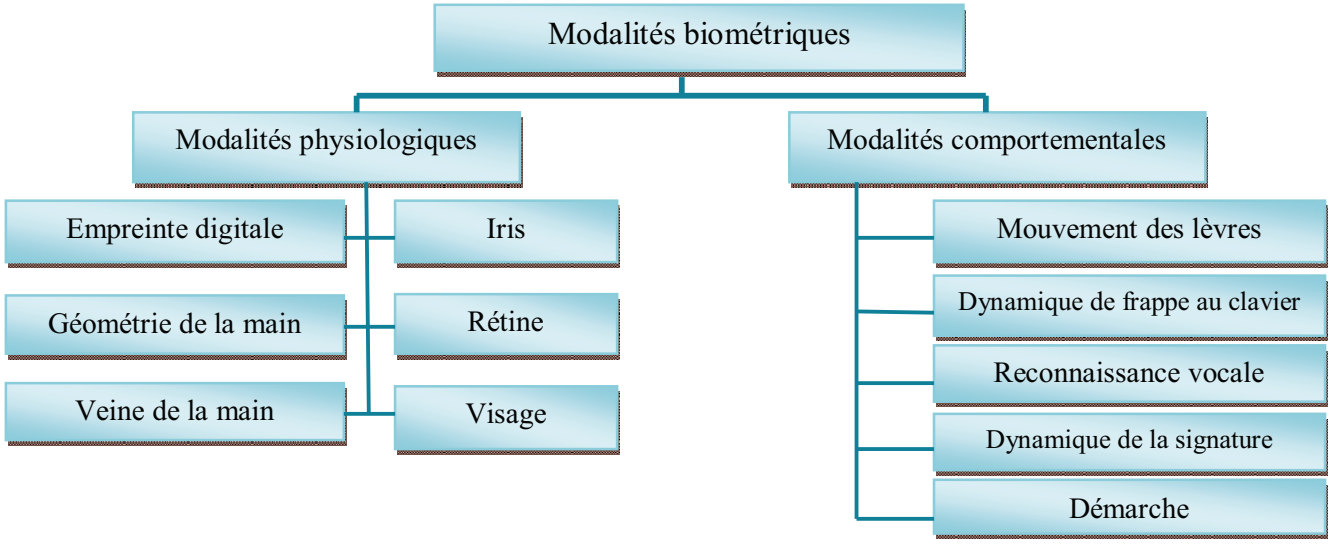


Figure II.7. Classification des modalités biométriques.

Les modalités physiologiques sont les plus utilisées par rapport aux modalités comportementales. Cela est dû à leur stabilité dans le temps et la difficulté de falsification de ces modalités. De plus, les modalités comportementales sont, généralement, affectées par l'état moral des individus [5].

II.4.2. Différentes modalités biométriques :

Il existe plusieurs des techniques biométriques et elles sont utilisées dans diverses applications.

Chacune des modalités biométriques possède ses propres capteurs, algorithmes, points forts et points faibles. Une brève introduction aux modalités biométriques, les plus courantes, est donnée dans ce que suit :

1. Le visage :

La reconnaissance à partir du visage se base sur les caractéristiques jugées significatives comme l'écart entre les yeux, la forme de la bouche, le tour du visage, la position des oreilles.

Il existe plus de 60 critères fondamentaux. Une méthode consiste à décomposer le visage selon plusieurs images en différentes nuances de gris : chaque image met en évidence une caractéristique particulière.

D'autres méthodes dérivent de la méthode précédente et ajoutent des informations telles que l'écart entre les yeux, etc.

La plupart des systèmes d'identification du virage utilisent du matériel classique du marché :

Un ordinateur et une camera pour capturer l'image. L'image est enregistrée dans une base de données exigeant approximativement 100 octets de mémoire par image [4].

- ✓ Avantage :
- Technique peu coûteuse, peu encombrante.
- Absence de contacte avec le capteur, méthode non intrusive pour la personne, pas de risque pour la santé.
- ✓ Inconvénient :
- Les vrais jumeaux ne sont pas différenciés.
- Psychologiquement certaines personnes rejettent leur image photographique (refus de son image, ajout d'accessoire, rôle, religion, critique de la qualité de la caméra, etc.). L'image est considérée comme trop personnelle pour être utilisée.
- En tant que contrôle d'accès, le visage n'est pas, traditionnellement, reconnu comme un mécanisme fiable d'authentification. (peut être dupé par l'utilisation de maquillage ou d'un masque en silicone).
- Dans l'état des systèmes actuels, technique 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, percing, blessure peut causer des anomalies avec des systèmes d'identification du visage.

2. La rétine :

La lecture des caractéristiques de la rétine est une technologie utilisée pour des applications de sécurité très élevée : par exemple, des systèmes de balayage de rétine ont été employés dans des applications militaires ou nucléaires.

Les caractéristiques de la rétine sont liées à la configuration géométrique des vaisseaux sanguins. La technologie utilise du matériel spécialisé et un rayon illumine le fond de l'œil .les systèmes identifient jusqu'à cent quatre vingt douze points de repères. Quelques risques pour la santé ont été révélés et limitent l'utilisation de cette technique à des locaux de haute sensibilité [4].

- ✓ Avantage :
- Résistant à la fraude, difficile et long à imiter.
- Unicité même chez les vrais jumeaux.
- Technique fiable.
- La cartographie de la rétine est la même tout au long de la vie, en l'absence de maladie spécifique.
- ✓ Inconvénients :
- Nécessite de placer ses yeux à tés 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…).

3. L'iris :

L'utilisation de l'iris comme caractéristique biométrique unique de l'homme à donné lieu a une technologie d'identification fiable et extrêmement précise. L'iris est la région, sous forme d'anneau, située entre la pupille et le blanc de l'œil, il est unique. L'iris a une structure extraordinaire et offre de nombreuses caractéristiques de texture qui sont uniques pour chaque individu. Les algorithmes utilisés dans la reconnaissance de l'iris sont si précis que la planète toute entière pourrait être inscrite dans une base de données de l'iris avec peu des erreurs d'identification.

L'image de l'iris est généralement capturée à l'aide d'une caméra standard. Cependant, cette étape de capture implique une coopération de l'individu. De plus, il existe plusieurs contraintes liées à l'utilisation de cette technologie. Par exemple, il faut s'assurer que l'iris de l'individu est à une distance fixe et proche de dispositif de capture, ce qui limite l'utilisation de cette technologie [3].

4. Les empreintes digitales :

A l'heure actuelle la reconnaissance des empreintes digitales est la méthode biométrique la plus utilisée. Les empreintes digitales sont composées de lignes localement parallèles présentant des points singuliers (minuties) et constituent un motif unique, universel et permanent. Pour obtenir une image de l'empreinte d'un doigt, les avancées technologiques ont permis d'autoriser la tâche au moyen de capteurs intégrés, remplaçant ainsi l'utilisateur classique de l'encre et du papier. Ces capteurs fonctionnant selon différents mécanismes de mesure (pression, champ électrique, température) permettent de mesurer l'empreinte d'un doigt fixe positionné sur ce dernier (capteur matriciel) ou en mouvement (capteur à balayage).

L'image d'empreinte d'un individu est capturée à l'aide d'un lecteur d'empreinte digitale puis les caractéristique sont extraites de l'image puis un modèle est crée. Si des précautions appropriées sont suivies, le résultat est un moyen très précis d'authentification.

Les techniques d'appariement des empreintes digitales locales des minuties et les techniques basées sur la corrélation. L'approche basée sur les minuties consiste à trouver d'abord les points de minuties puis trace leurs emplacements sur l'image du doigt (Figure II.8).

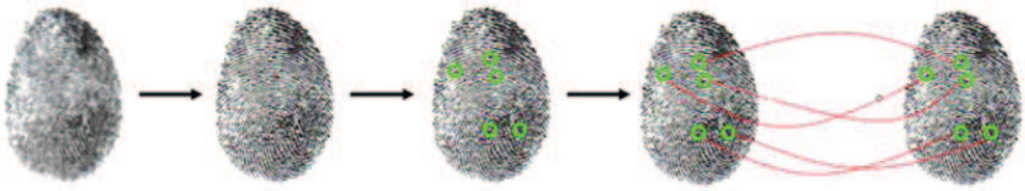


Figure II.8. Le processus de reconnaissance par empreinte digitale [3].

Cependant, il y a quelques difficultés avec cette approche lorsque l'image d'empreinte digitale est d'une qualité médiocre, car l'extraction précise des points de minuties est

difficile. Cette méthode ne tiens pas en compte la structure globale de crêtes et de sillons. Les méthodes basées sur la corrélation sont capable de surmonter les problèmes de l'approche fondée sur les minuties. Ces méthodes utilisent la structure globale de l'empreinte, mais les résultats sont moins précis qu'avec les minuties. De plus, les techniques de corrélation sont affectées par la translation et rotation de l'image de l'empreinte. C'est pour cela que les deux approches sont en général combinées pour augmenter les performances du système [3].

5. La voix :

De tous les traits humain utilisé dans la biométrie, la voix est celle que les humains apprennent à reconnaitre dès le plus jeune âge. Les systèmes de reconnaissance de locuteur peuvent être divisés en deux catégories : les systèmes dépendant du texte prononcé et les systèmes indépendants du texte. Dans le premier cas, l'utilisateur est tenu d'utiliser un texte (un mot ou une phrase) fixe prédéterminé au cours des séances d'apprentissage et de reconnaissance. Alors que, pour un système indépendant du texte le locuteur parle librement sans texte prédéfini.

Cette dernière catégorie est plus difficile, mais elle est utile dans le cas ou l'on a besoin de reconnaître un locuteur sans sa coopération. La recherche sur la reconnaissance de locuteur est en pleine croissance, car elle ne nécessite pas de matériel cher, puisque la plupart des ordinateurs personnels de nos jours sont équipés d'un microphone. Toutefois, la mauvaise qualité et le bruit ambiant peuvent influencer la vérification et par suite réduire son utilisation dans les systèmes biométriques (Figure II.9) [3].



Figure II.9. Spectre d'un signal voix [3].

6. La main :

La reconnaissance s'effectue à partir de la géométrie de la main dans l'espace (3D) : longueur des doigts, largeur et épaisseur de al paume, dessins des lignes de la main.

Pour le capteur de l'image, la personne pose sa main sur une platine ou les emplacements du pouce, de l'index et du majeur sont matérialisés. (Figure II.10)

Une camera CCD (Charged Coupled Device /en français : DTC : Dispositif à Transfert de Charge) prend l'image, reliée à un lecteur ou sont enregistrées les informations. Ce lecteur inclut des logiciels de traitement et de codage.



Figure II.10. Dispositif de reconnaissance par géométrie de la main [4].

Quatre vingt dix caractéristiques sont examinées parmi lesquelles la forme tridimensionnelle de la main, la longueur et la largeur des doigts ainsi que la forme des articulations, et constituent un fichier d'environ neuf octets de mémoire. Cette technique, très répandue aux USA, a été utilisée lors des J.O. d'Atlanta [4].

- ✓ Avantage :
- 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'usage et bonne acceptation psychologique.
- Faible volume de stockage par fichier.
- ✓ Inconvénient :
- 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 évoluée depuis plusieurs années.
- Le lecteur est plus cher que pour les autres types de capture de données physiques.

II.4.3 Comparaison des modalités biométriques :

Malgré l'existence de plusieurs modalités biométriques, il n'y a pas de système biométrique parfait. D'une part, le Groupe International de la Biométrie IBG (International Biometric Group) a procédé à une comparaison des différentes technologies biométriques appelée Analyse Zéphyr. Les résultats de cette comparaison sont illustrés sur la Figure II.11.

Cette comparaison est basée sur quatre (04) critères principaux :

- L'intrusivité décrit l'acceptabilité des individus à donner cette information intrinsèque pour qu'ils s'authentifient ;
- La discrimination décrit le niveau de précision de la reconnaissance ;
- Le coût basé, principalement, sur la valeur du capteur de trait ;
- L'effort décrit le niveau de confort des utilisateurs de la modalité [5].

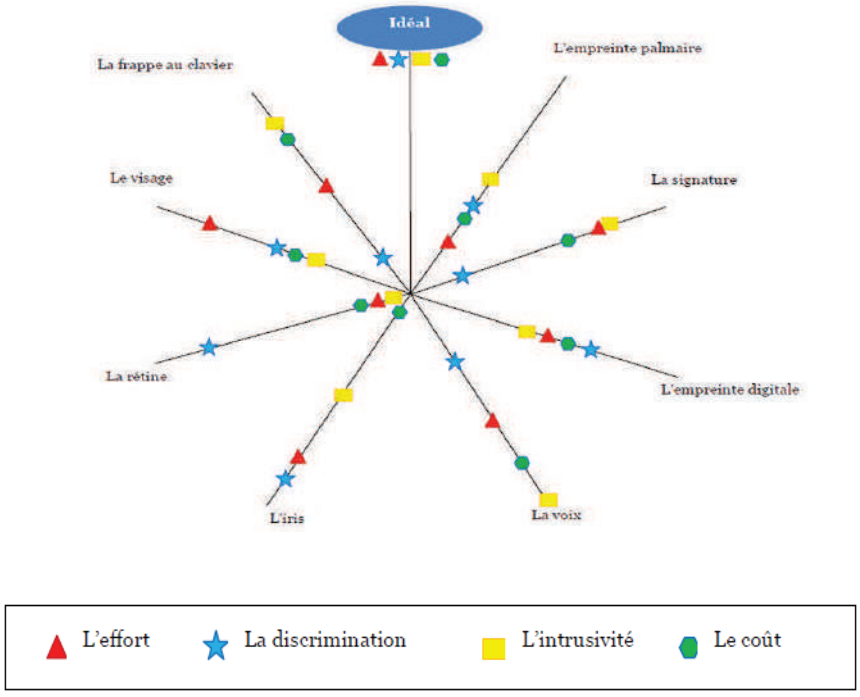


Figure II.11. Analyse Zéphyr : évaluation de différentes modalités biométriques selon quatre critères principaux : l'intrusivité, la discrimination, le coût et l'effort [5].

II.5. Application de la biométrie :

Les techniques biométriques sont appliquées dans plusieurs domaines et ses applications sont divisées en trois groupes principaux (Figure II.12) :

- Applications commerciales: telles que l'accès au réseau informatique, la sécurité de données électroniques, le commerce électronique, l'accès d'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...
- Applications de gouvernement: telles que la carte nationale d'identification, le permis du conducteur, la sécurité sociale, la contrôle de passeport, etc...
- Applications juridique: telles que l'identification de cadavre, la recherche criminelle, l'identification de terroriste, les enfants disparus, etc...[2].



Figure II.12. Applications biométrique [2].

II.6.Conclusion:

La biométrie est la science qui permet d'identifier automatiquement un individu en se basant sur ses caractéristiques physiologiques ou comportementales. Elle est une technologie très bénéfique dans plusieurs domaines tels que la sécurisation des accès logiques et physiques dans différents types de sociétés comme le secteur militaire et cela par l'utilisation les trois modes de fonctionnement. dans ce chapitre, on a vue qu'il y a des probabilités d'erreur comme Le taux de faux rejet(FRR),le taux de fausse acceptation(FAR) et le taux d'égale erreur(EER), ce système n'est pas absolument parfait. Bien que les techniques de reconnaissance biométrique promettent d'être très performantes, on ne peut garantir actuellement un excellent taux de reconnaissance avec des systèmes biométriques uni modaux.

Chapitre III:
L'iris Anatomie et Physiologie

III.1.Introduction :

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 « modalité biométrique ».

Durant cette thèse, nous nous sommes intéressés uniquement aux problématiques liées à la modalité de l'iris.

La première personne à s'être officiellement rendu compte des possibilités qu'offre la texture de l'iris en tant qu'outil d'identification était l'ophtalmologiste américain Frank Burch, qui a proposé cette méthode lors d'une conférence pour l'American Academy of Ophthalmology, en 1936. Avant cela, l'iris n'était principalement considéré que pour sa couleur. Pendant plusieurs années, l'idée de Burch a été reproduite dans les manuels d'ophtalmologie mais il n'y avait que très peu de recherche effectuée, avec un manque tout particulier dans le domaine de l'ingénierie [1].

En 1987, deux ophtalmologistes américains, Leonard Flom et Aron Safir, ont tenté de transposer l'idée de Burch en voulant développer un système d'identification opérationnel. Malheureusement, ils n'ont pas été capables de mettre au point une méthode de classification des différences entre les iris [1].

Le Professeur John Daugman est venu les aider en mettant au point une approche mathématique pour l'analyse des motifs aléatoires de l'iris. La collaboration entre Daugman, Sarin et Flom a abouti à un proto type fonctionnel breveté en 1994. Ce système a depuis largement été amélioré et, de nos jours, plusieurs sociétés utilisent, sous licence, ces algorithmes dans leurs applications. Le brevet est maintenant la propriété de la société Iridian [1].

Le travail de Daugman est basé sur l'analyse par ondelettes complexes de Gabor non orthogonales [1].

III.2.L'œil humain :

L'œil est une merveille de la nature, un des organes les plus perfectionnés de notre corps. Miroir de nos émotions et de nos pensées secrètes, l'œil est une caméra réflexe très perfectionnée, il assure la vision et la perception des couleurs, formes et dimensions des objets à travers plusieurs composants physiologiques [4].

III.2.1.Anatomie de l'œil :

La Figure III.1 schématise les parties les plus pertinentes de l'œil humain. Comme la majorité des mammifères, l'œil humain est plus ou moins de forme sphérique et creuse. Il peut être divisé en deux segments principaux : antérieur et postérieur. Ces derniers sont entourés par une enveloppe coriace qui sert à sa protection dénommée : **la Sclérotique** (la partie blanche de l'œil). Il s'agit d'un tissu dur composé de fibres et de bandes très compactées et entrelacées [5]**.**

En ce qui concerne le segment antérieur des yeux, il comprend les structures qui se positionnent devant l'humeur vitrée : la cornée, l'iris, le corps ciliaire et la lentille**.**

La cornée agit comme une fenêtre de la face de l'œil et fournit environ 85% de la puissance de focalisation de l'œil. Elle est composée d'un tissu semblable à celui de la Sclérotique, à l'exception qu'elle ne contient pas de vaisseaux sanguins. Juste au-dessous de la cornée on trouve un espace rempli de liquide appelé la chambre antérieure, où baigne l'ensemble du segment antérieur et assure de la nourriture et les produits de nettoyage pour la lentille et la cornée [5].

Le corps ciliaire est la source du fluide mentionnée ci-dessus et contient les fibres musculaires qui permettent à l'œil de se concentrer. Devant la lentille, il y a une structure couvrante dénommée : **l'iris**, contenant une ouverture dans le centre : **la pupille.** Il est composé d'un tissu élastique et sa fonction est de contrôler la quantité de la lumière qui pénètre à travers la pupille. Derrière l'iris, il y a **la lentille,** dont le rôle consiste à se déformer sous l'action du corps ciliaire pour lui permettre de s'adapter à la distance de vision [5].

Le segment postérieur des yeux occupe les deux tiers de l'œil et contient :

L'humeur vitrée, la rétine, la choroïde et le nerf optique. La première est une gelée transparente qui remplit l'espace entre la lentille et la rétine. Cette dernière est une couche mince très sensible chargée de la transformation de la lumière acquise en signaux électriques. Ces derniers sont envoyés, à travers le nerf optique, au cerveau. Ce processus donne le sens de la lumière et la capacité de voir et d'interpréter les formes, les couleurs et les dimensions [5].

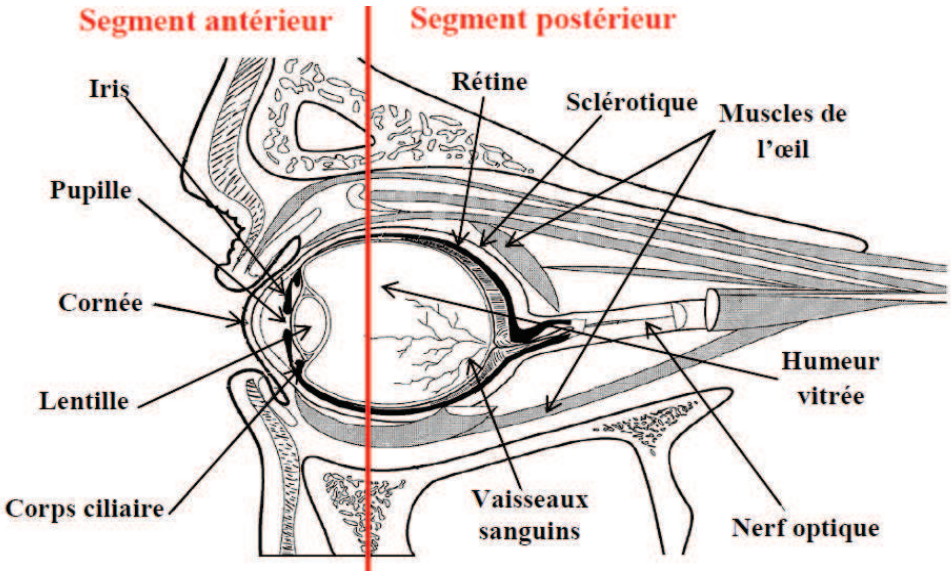


Figure III.1. L'anatomie de l'œil humain [5].

III.3. Généralités sur 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 [6].

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 [6].

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[6].

Les motifs de l'iris se forment au cours des deux premières années de la vie et sont stables.

Les iris sont uniques et les deux iris d'un même individu sont différents. L'iris n'est pour l'instant pas modifiable par intervention chirurgicale. La reconnaissance de l'iris est donc aussi considérée comme une des méthodes biométriques les plus fiables qu'il soit.

La capture de l'iris se fait par une caméra standard. Du fait des contraintes sur l'éclairage de l'œil, le capteur doit être assez proche de celui-ci (un mètre maximum) ce qui restreint les applications d'une telle technologie. L'éclairage de l'œil doit être uniforme et il faut éviter les reflets [7].



Figure III.2. L'appareil de la capture d'iris [21].

III.3.1.Anatomie de l'Iris :

Illustré par la Figure III.3, l'iris est constitué d'un tissu fibro-vasculaire pigmenté, connu sous le nom de stroma. Il contient deux types de muscles : un ensemble de muscles sphincter pour contracter la pupille et un autre de muscles dilatateurs pour l'ouvrir.

La texture de l'iris est divisée en deux grandes régions: la zone pupillaire et la zone ciliaire. La zone pupillaire est la partie interne de l'iris dont les bords forment la frontière de la pupille. La zone ciliaire est la partie externe de l'iris, qui s'étend vers l'origine de l'iris dans le corps ciliaire. La région qui sépare ces deux zones est appelée la collerette. Il s'agit de la région où les muscles sphincter et les muscles dilatateur se croisent [5].

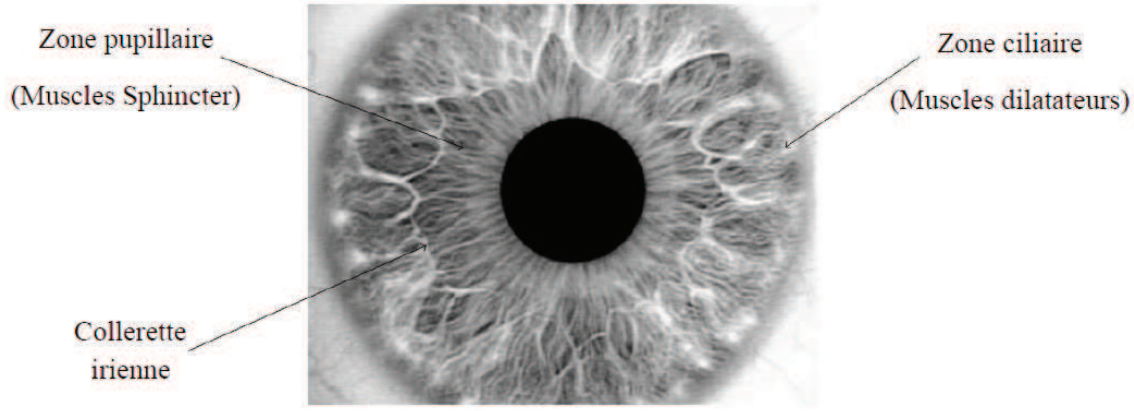


Figure III.3. La morphologie de l'Iris humain [5].

III.3.2.La physiologie de l'iris :

L'iris commence à se former durant le troisième mois de gestation et sa structure est complète dés le huitième mois, bien que la pigmentation continue pendant la première année après la naissance. De plus, la texture de l'iris est visible avec la lumière, elle 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 Figure III.4 montre une texture d'iris avec certains des éléments précédemment cités. 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. Généralement, comme John Daugman l'a mentionné, elles fournissent un signal particulier et unique [5].

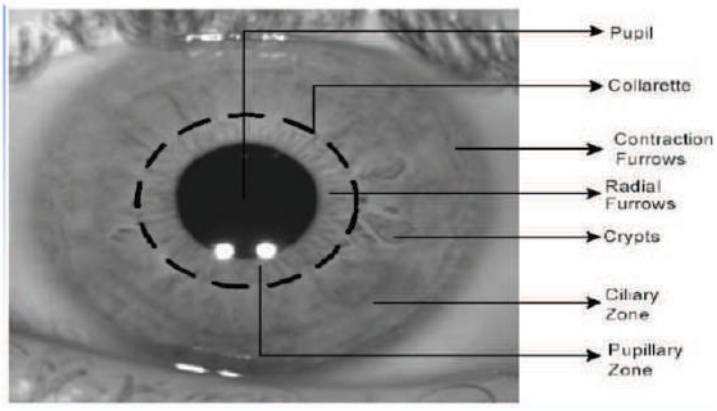


Figure III.4. Les différents motifs de la texture de l'iris [6].

Puisque l'apparence de chaque iris dépend des conditions initiales dans le mésoderme embryonnaire depuis lequel il se développe, le phénotype de deux iris avec le même génotype (deux jumeaux identiques ou les deux yeux d'une personne) ont des différences de minuties. Ainsi, la texture de l'iris est censée avoir une morphogenèse complètement aléatoire sans influence génétique pendant sa phase de construction [5].

III.4.Conclusion :

La reconnaissance de l'iris est une technologie plus récente puisqu'elle ne s'est véritablement développée que dans les années 80, principalement grâce aux travaux de J. Daugman [19].

L'iris est un organe interne unique 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. Toutes ces caractéristiques biologiques font de l'iris l'un des traits les plus fiables dans le domaine de la biométrie.

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

Chapitre IV:
Développement théorique

IV. 1. Introduction :

La reconnaissance d'iris est déjà utilisée à des fins gouvernementales, et également pour le contrôle d'accès physique. D'ailleurs, le plus large système biométrique déployé dans le monde entier utilise la reconnaissance d'Iris. C'est le système de contrôle de frontières des Emirats Arabes Unis (E.A.U) qui effectuent trois milliards (3.000.000.000) de comparaisons par jour. Il est à noter qu'il n'y a eu aucune fausse comparaison, depuis son lancement, d'après le ministère de l'intérieure de l'E.A.U [5].

Ce chapitre est dédié à l'utilisation de l'iris dans le domaine de la reconnaissance biométrique des individus. Nous allons identifier les étapes typiques d'un système de reconnaissance de l'iris et décrire les approches les plus importantes pour chacune d'elles.

IV.2. L'acquisition de l'image d'Iris :

L'acquisition d'une image de l'iris est considérée comme l'une des plus difficiles par rapport aux autres traits biométriques. En effet, l'iris est un organe de petite taille, sombre, localisé derrière la cornée qui constitue un miroir hautement réfléchissant. Toutes ces caractéristiques font de l'iris un objet très difficile à capturer. Premièrement, l'iris est sombre, donc il faut l'éclairer. Mais, en même temps, il est sensible à la lumière puisque de fortes illuminations peuvent engendrer des malaises chez l'utilisateur. En plus, selon la longueur d'onde des différents types d'illumination, certains sont dangereux pour les yeux humains (par exemple l'infrarouge). Deuxièmement, l'iris est de petite taille (environ un centimètre de diamètre), il est alors impératif d'utiliser des focales très puissantes ou de rapprocher l'iris de l'objectif. Cependant, rapprocher l'iris de la source d'illumination, peut nuire aux personnes.

Enfin, comme cela a été vu dans la section de l'anatomie de l'œil, l'iris est une surface située derrière la cornée, qui est un miroir reflétant la lumière dans toutes les directions.

La première technique d'acquisition de l'iris utilise l'illumination en lumière visible. Comme le montre la Figure IV.1, l'utilisation de ce type d'illumination sans condition particulière fournit une image de l'iris de mauvaise qualité, contenant des réflexions qui proviennent de toutes les sources lumineuses présentes dans la salle d'acquisition (tube néon, fenêtre, écran du PC,…. etc.). Donc, l'acquisition de l'œil en lumière visible produit

une image qui contient beaucoup de réflexions et peu de texture ce qui n'est pas convenable pour la reconnaissance de l'iris [5].

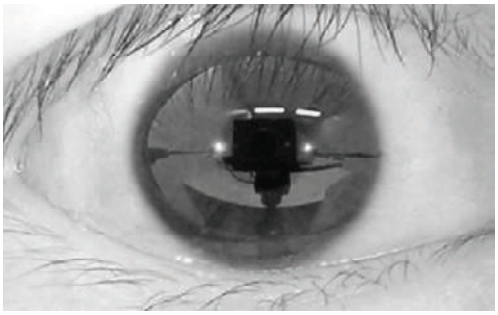


Figure IV.1. Image acquise en lumière visible, conditions normales d'acquisition [5].

Tous les industriels de la reconnaissance de l'iris ont adopté la technique d'illumination proposée dans le premier prototype de Daugman, en 1993. Cette technique est basée sur l'utilisation d'une ou plusieurs LED (Light Emitting Diode) de proche infrarouge comme source d'illumination puissante. La Figure IV.2 montre le même iris que celui de la Figure IV.1 mais acquis en proche infrarouge. Le proche infrarouge possède deux avantages majeurs sur la lumière. Le premier est que sa lumière est invisible, l'utilisateur n'est pas gêné lors de l'acquisition. Le deuxième avantage est que la bande infrarouge possède un pouvoir de pénétration de la cornée plus grand que celui de la lumière visible. Cela permet de récupérer une richesse de texture supérieure à celle obtenue en lumière visible surtout dans le cas des iris sombres. Cependant, le seul inconvénient par rapport à la lumière visible est l'impact de l'utilisation du proche infrarouge sur la sûreté de l'œil [8].

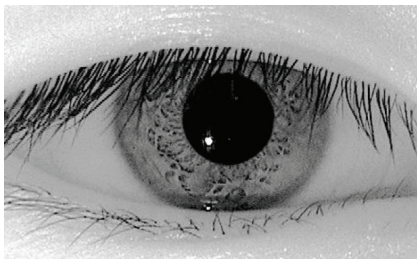


Figure IV.2. Image acquise en proche infrarouge [5].

Généralement, l'étape d'acquisition de l'iris nécessite une coopération des utilisateurs, afin de fournir une image de bonne qualité pour le reste du processus de la reconnaissance

de l'iris. Ainsi, les contraintes imposées par les systèmes de reconnaissance commercialisés pendant l'acquisition sont résumées dans les points qui suivent [8] :

- L'utilisateur doit être à proximité de la caméra d'acquisition ;
- L'utilisateur doit garder les yeux ouverts et face à la caméra pour une période d'environ trois secondes ;
- L'utilisateur doit garder son corps et sa tête fixés (sans aucun mouvement) ;
- L'environnement d'acquisition contient un éclairage contrôlé ;
- Tous les types de lunettes sont interdites ;
- Seules les lentilles transparentes sont autorisées.

Toutes ces contraintes d'acquisition de l'image de l'iris exigent un effort excessif de la part des utilisateurs et forment un obstacle majeur pour le déploiement de ces systèmes. Cela limite donc la gamme d'application de ces systèmes, en particulier ceux où la coopération des personnes n'est pas possible, comme la recherche de criminelles ou terroristes, et la recherche d'enfants disparus.

En 2006, il a été prouvé que la capture d'une image d'iris de bonne qualité avec une coopération minimale de l'utilisateur était possible. Ensuite, les travaux du groupe Sarnoff ont débouché sur la création du produit Iris On the Move TM (IOMTM). Comme son nom l'indique (l'iris en mouvement), les personnes sont identifiées à la volée. L'acquisition s'effectue à (03) mètres de distance entre eux et la caméra lors qu'ils traversent un corridor, avec une vitesse de marche normale. Le système IOMTM est capable de traiter 20 personnes chaque minute (une personne chaque trois secondes) [5].

IV.3. Etapes typiques de la reconnaissance de l'Iris :

Bien qu'il y ait certaines spécificités aux différents systèmes de reconnaissance de l'iris proposés, ils partagent la même structure. La Figure IV.3 illustre les étapes fondamentales des systèmes de reconnaissance d'iris. Afin de ne garder que l'information utile, il est nécessaire d'effectuer **une segmentation** afin d'isoler l'iris du reste de l'image de l'œil capturée. Ce processus consiste à localiser deux bordures de l'iris, intérieure (vers la pupille) et extérieure (vers la Sclérotique). Ces deux bordures sont généralement d'une forme circulaire ou elliptique [8].

A cause des variations de la taille de la pupille dus aux phénomènes de dilatations et de contractions des muscles de l'iris, et aux changements de la distance de capture de l'image, il est nécessaire **de normaliser la région de l'iris segmenté**. Cela est effectué en assignant à chaque pixel de l'iris dans le domaine cartésien, un correspondant dans le domaine polaire selon la distance du pixel par rapport aux centres des deux cercles et l'angle qu'il fait avec eux. Ce processus sert à étendre le disque de l'iris segmenté comme du caoutchouc en un rectangle. Cette étape est généralement accomplie par le modèle utilisée par Daugman [8].

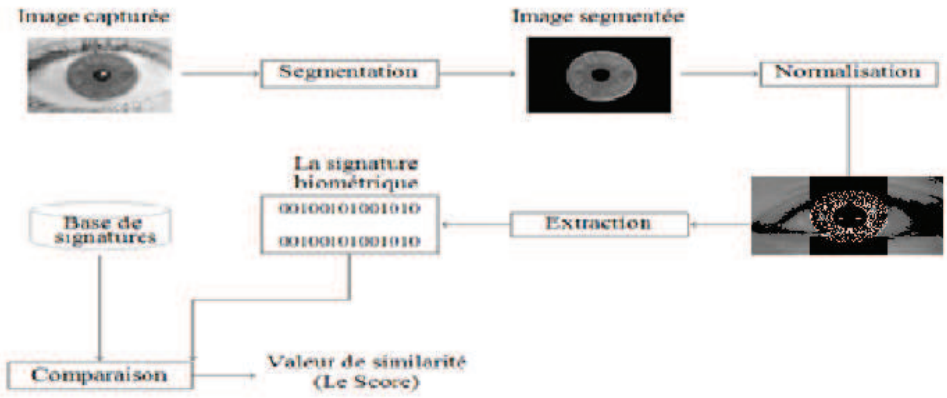


Figure IV.3. Les étapes types de la reconnaissance de l'iris [8].

La troisième étape prend en entrée l'image rectangulaire de l'iris fournie par l'étape précédente afin **d'extraire les informations pertinentes**. Ainsi, cette étape génère, en sortie, une nouvelle représentation des données. Idéalement, cette représentation doit être unique pour chaque personne et relativement invariante. Les approches utilisées afin d'accomplir la tâche de cette étape sont, généralement, basées sur l'analyse par ondelettes monodimensionnelles (comme les ondelettes de Haar) et bidimensionnelles (comme les ondelettes de Gabor 2D) [8].

L'étape finale est celle de **la mise en correspondance ou la comparaison des exemplaires**. Dans cette étape on compare l'ensemble des informations extraites de l'iris capturé (exemplaire de test) à chacun des exemplaires de référence enrôlés dans la base de données du système afin de déterminer le degré de similitude ou de dissimilitude entre eux. Le résultat de cette étape est une valeur numérique. Dans le cas de similarité, si cette valeur

est inférieure à un seuil de décision prédéfini, le système donne le résultat ‘non-match’, ce qui signifie que chaque exemplaire appartient à un iris différent. Sinon, le système donne comme résultat ‘match’, ce qui signifie que les deux exemplaires ont été extraites du même iris, et vice-versa dans le cas de dissimilitude.

Dans les prochaines sections, nous décrivons en détaille les trois (03) étapes de la reconnaissance de l’iris. Nous présentons, également, un état de l’art des approches utilisées pour accomplir la tâche de chacune de ces étapes [8].

IV.3.1. La segmentation de l’iris :

La segmentation d’image peut être considérée comme un traitement de bas niveau [9]. Elle a pour but de permettre la détection et l’extraction des différents composants de l’image. Dans les systèmes de reconnaissance de l’iris, l’image de l’œil acquise ne comporte pas uniquement l’information de l’iris. Il est alors nécessaire de segmenter cette information du reste de l’image. Cela consiste à isoler l’iris du blanc de l’œil et des paupières, ainsi qu’à détecter la pupille à l’intérieur du disque de l’iris. Généralement, l’iris et la pupille sont définis par des cercles et les paupières par des ellipses [5].

Dans les images d’iris, il y a souvent quelques reflets, dus à l’utilisation des LEDs infrarouges, localisés à l’intérieur de la pupille comme illustré sur la Figure IV.4 Ces reflets dépendent du nombre de LEDs, de leur puissance et de la position de l’œil par rapport au capteur lors de l’acquisition. Cependant, ils peuvent être utilisés pour faciliter la détection de la pupille qui est la bordure intérieure de l’iris [5].

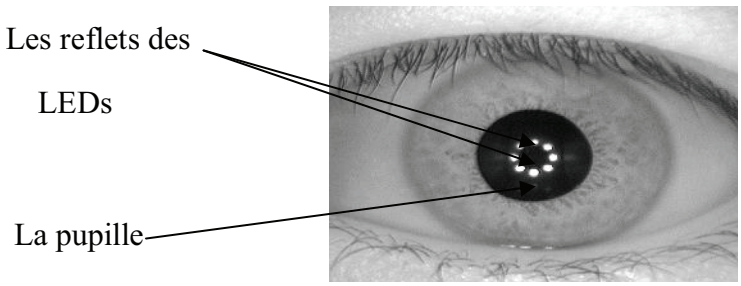


Figure IV.4. Les reflets des LEDs infrarouge sur la pupille de l’œil [5].

Quant à la bordure extérieure de l'iris, la séparation entre le disque de l'iris et le blanc de l'œil (la sclérotique), une acquisition avec des LEDs proche infrarouge complique la tâche de segmentation car le contraste du blanc de l'œil est très faible dans ces conditions d'acquisition. De plus, dans certains cas, comme le montre la Figure IV.5, une grande partie de cette frontière est couverte par d'autres régions telles que les cils ou les paupières. Ces derniers, sont des bruits difficilement détectables dans la texture de l'iris. Particulièrement, les cils qui sont des objets noirs de formes irrégulières et diverses, pouvant couvrir de grandes régions de la texture d'iris, surtout pour les personnes asiatiques [5].

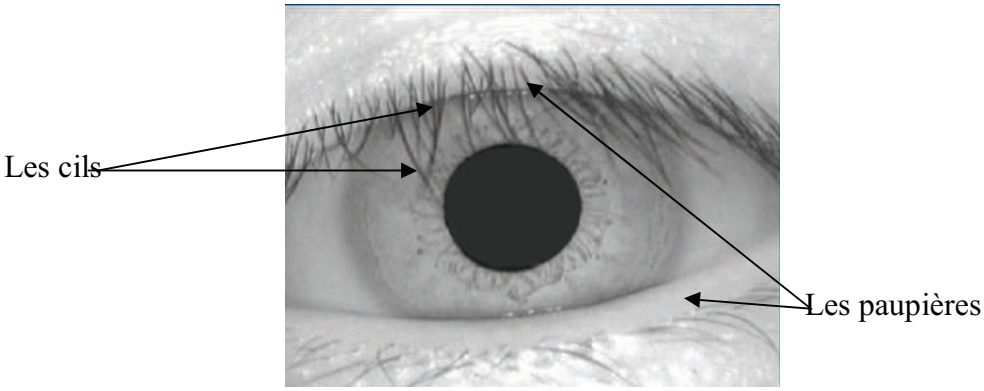


Figure IV.5. Les cils et paupières couvrent une partie de l'Iris [5].

En 1993, John Daugman, professeur à l'Université de Cambridge, a utilisé, dans sa méthode, une technique basée sur un opérateur intégro-différentiel afin de définir les deux bordures principales de l'iris (intérieure et extérieure). L'objectif de cet opérateur est de maximiser des équations qui permettent d'identifier les paramètres des deux bordures de l'iris [10].

En 1997, Richard Wildes a été le premier à proposer un module de segmentation de l'iris totalement différent de celui de Daugman. Ce module est basé sur l'image de contours binaire et la transformée de Hough[11]. L'image de contours binaire est obtenue par l'utilisation du filtre Canny et une opération de seuillage basée sur deux seuils prédéfinies [12]. La transformée de Hough est une technique utilisée afin d'isoler des objets de formes géométriques simples (droite, cercle, etc.) dans l'image. Ainsi, Wildes a utilisé la transformée de Hough circulaire pour détecter les deux bordures de l'iris et de la pupille, et la transformée de Hough elliptique pour détecter bordures des paupières [13].

En 2002, Liam, Chekima, Fan, et Dargham ont proposé une méthode simple. Cette méthode est basée sur la supposition que la pupille est plus sombre que l'iris et que ce dernier est plus sombre que la sclérotique [14]. En se basant sur cette hypothèse, ils proposent d'utiliser une opération de seuillage (la valeur du seuil est prédéfinie) afin de convertir l'image, en niveau de gris, de l'iris en une image binaire. Ensuite, ils utilisent la maximisation d'une fonction, afin d'obtenir les paramètres de deux cercles qui définissent les deux bordures, intérieure et extérieure, de l'iris. Cependant, cette fonction est très sensible au moindre bruit apparent sur l'image de l'iris. En plus, elle dépend de la valeur du seuil prédéfinie qui dépend des caractéristiques de l'image capturée [5].

En 2004, Du, Ives, Etter, Welch, et Chang ont proposé une méthode de détection de l'iris basée d'abord sur la segmentation de la pupille. Ensuite, l'image est transformée en coordonnées polaires (un rectangle) et la bordure extérieure de l'iris est définie par la plus grande bordure horizontale en appliquant l'operateur de Sobel. Cependant, cette approche n'est pas efficace dans le cas où l'iris et la pupille sont non concentriques et également dans le cas des textures d'iris sombre [5].

En 2008, Nabti et Bouridane ont introduit une nouvelle approche de détection de contour multi-échelles pour la segmentation de l'iris. La puissance de cette approche se base sur l'utilisation des maxima locaux d'ondelette. L'hypothèse de cette approche est que les maxima locaux fournissent des contours significatifs, verticalement et horizontalement, avec l'augmentation de l'échelle à un certain niveau. Cela est justifié par la disparition du bruit de l'image dans des grandes échelles. Cette technique utilise une opération de seuillage pour générer une image binaire. Ensuite, cette dernière est utilisée dans le processus de la transformée de Hough circulaire pour la détection des deux cercles limitant l'iris [15].

En générale, les techniques de segmentation de l'iris qui existent dans la littérature peuvent être regroupées en deux catégories : les techniques basées sur l'analyse de texture et celles basées sur les contours. Les approches de la première catégorie partagent le principe de maximisation d'une fonction pour définir les deux cercles de l'iris. Les approches de la deuxième catégorie commencent par la construction d'une image de contours binaire suivie par l'application de l'algorithme de détection de formes géométrique, la transformée de Hough. Les approches les plus courantes, dans la littérature, sont celles de la deuxième

catégorie, puisqu'elles sont moins sensibles aux bruits apparents sur la texture de l'iris. Bien que ces approches sont coûteuses en temps de calcule [5].

Dans ce qui suit, nous allons aborder d'une façon détaillée trois approches de segmentation de l'iris. Ces approches sont les plus courantes, dans la littérature, pour la détection de la région de l'iris et l'élimination de différents types de bruits.

IV.3.1.1 Par détecteur de contours circulaires :

Dans le but de la localisation des bordures de l'iris, de la pupille et des paupières, Daugman a été le premier à proposer une méthode de segmentation de la région de l'iris. Cette méthode est basée sur la mesure d'un opérateur intégro-différentiel. L'opérateur se base sur l'hypothèse que les deux bordures de l'iris (extérieure et intérieure) ont une forme circulaire. L'opérateur intégro-différentiel est défini par l'expression suivante :

$$max_{r,x_0,y_0}\left|G_\sigma(r)*\frac{\sigma}{\sigma_r}\oint_{r,x_0,y_0}\frac{I(x,y)}{2\pi r}ds\right| \quad (4)$$

Cet opérateur recherche sur le domaine de l'image $I(x, y)$ le rayon (r) qui maximise la différence entre la moyenne des gradients calculés sur deux cercles avec l'augmentation du rayon (r) par un noyau gaussien de lissage $G_\sigma(r)$. Où $I(x, y)$ est l'image de l'œil, (x_0, y_0) sont les coordonnées du centre recherchée, (r) est le rayon du cercle recherché, $G_\sigma(r)$est une fonction gaussienne de lissage et (σ) est le degré de lissage. Autrement dit, cet opérateur recherche, dans l'espace de l'image capturée, le centre et le rayon d'une circonférence qui a la plus grande valeur de dérivée partielle par rapport à des circonférences du prochain rayon. Ainsi, l'opérateur est appliqué de manière itérative avec un degré de lissage de moins en moins fort afin d'atteindre une détection plus précise. La Figure IV.6 illustre une image de l'œil segmentée par cette méthode [5].

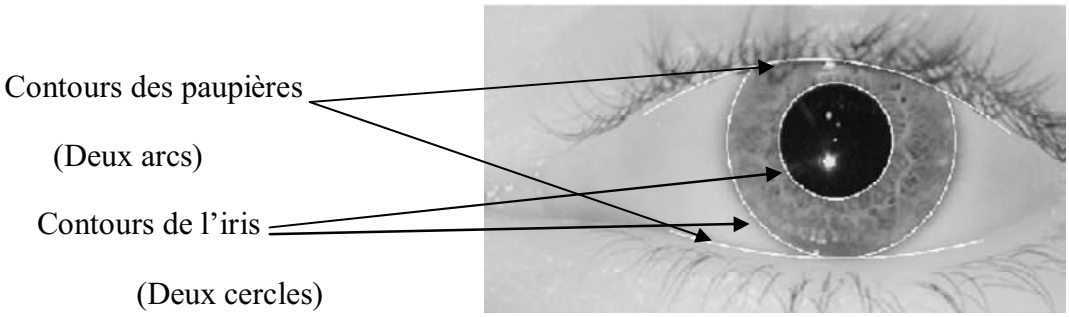


Figure IV.6 La segmentation de l'iris par la méthode intégro-différentielle [5].

Cette méthode intégro-différentielle a donné des résultats très efficaces sur des images avec une grande séparabilité d'intensité entre l'iris, la pupille et la sclérotique. Par contre, elle échoue fréquemment lorsque les images capturées ne contiennent pas une séparabilité d'intensité suffisante, précisément entre la région de l'iris et celle de la sclérotique. En plus, cette méthode est plus sensible aux bruits car ces derniers engendrent de très grandes intensités qui peuvent fausser la moyenne sur un cercle et attirer le contour vers leur position [9].

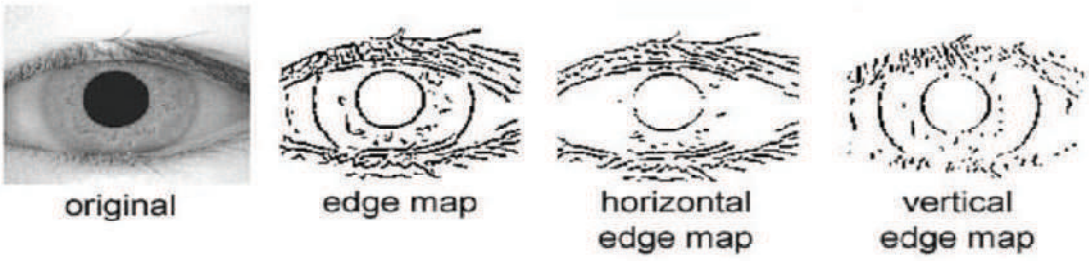
IV.3.1.2 Par transformée de Hough :

La transformée de Hough a était proposée en 1972 par Duda et Hart comme une technique pour l'isolation des objets de formes géométriques simples (des lignes, des cercles, des courbes,…etc.) dans l'image [13].

Comme cité précédemment, les objets à détecter dans l'image de l'œil (iris, pupille, paupières) ont une forme circulaire ou ellipsoïde, ce qui s'adapte bien à une détection par la transformée de Hough circulaire. Wildes a été le premier à introduire cette méthode dans le contexte de la segmentation de la région d'iris dans les images de l'œil [11]. Ensuite, plusieurs autres travaux ont été proposés qui utilisent la transformée de Hough pour localiser le disque de l'iris.

La méthode de Wildes effectue la détection de contours sur deux étapes principales. Au début, l'image capturée est transformée en image binaire de contours (Binary Edge-Map).

Cette transformation est effectuée par la méthode de John Canny, toute en calculant la première dérivation de valeurs d'intensité de l'image de l'œil suivi d'une opération de seuillage (deux seuils prédéfinis) de l'image résultante. De plus, il est possible d'effectuer cette transformation dans une direction (horizontale ou verticale) ou dans les deux. Les points contours alignés horizontalement n'apparaissent pas dans la direction verticale. Comme exemple, différentes images binaires de contours obtenues par la méthode de Canny sont montrées sur la Figure IV.7 [5].



(a) (b) (c) (d)

Figure IV.7 Les différentes type d'image de contours par la méthode Canny : (a) image de l'œil, (b) image de contours globale, (c) image de contours horizontale et (d) image de contours verticale.

Ensuite, les points contours (pixels) votent, dans un espace de paramètres de Hough, pour les cercles auxquels ils appartiennent. Ces paramètres sont les coordonnées du centre *C* (x_c, y_c) et le rayon *r*, qui définissent un cercle quelconque par l'équation suivante :

$$r^2 = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 \tag{5}$$

Ce vote donne, en résultat, le rayon et les coordonnées du centre du cercle le mieux défini par les points contours. Dans le cas d'occlusion des paupières, Wildes a utilisé également la transformée de Hough parabolique [11]. Elle sert à détecter les bordures de paupières, supérieure et inferieure, tout en les approximant par deux arcs paraboliques représentés par l'équation suivante :

$$((y - k_j)\, cos\theta_j - (x - h_j)\sin\theta_j)^2 = a_j((x - h_j)\, cos\theta_j + (y - k_j)\sin\theta_j) \tag{6}$$

Où (a_j) est la distance focale contrôlant la courbe parabolique, (h_j, k_j) sont les coordonnées du sommet de la parabole et (θ_j) est l'angle de rotation par rapport à l'axe des abscisses.

Pour la détection de contours, Wildes a proposé la dérivation dans la direction horizontale pour détecter les bordures de paupières et dans la direction verticale pour détecter la bordure extérieure circulaire de l'iris. Cela est motivé par l'alignement horizontal des paupières dont les contours corrompent, généralement, les contours circulaires de l'iris. De plus, l'utilisation de l'image de contours verticale pour localiser les bordures de l'iris réduit l'influence des paupières sur le processus de la transformée de Hough circulaire.

Effectivement, les points contours définissant le cercle, ne sont pas tous nécessaires pour une localisation correcte.

Ainsi, le processus de vote, dans l'espace de paramètres de Hough, est optimisé car il y a moins de points de contours [16].

Cette méthode présente deux inconvénients principaux. Le premier est qu'elle exige le choix des seuils pour la transformation de l'image capturée en image binaire de contours. Cela peut entraîner l'élimination de certains points contours importants dans le processus de vote, ce qui provoque un échec de détection de cercles ou d'arcs. Le deuxième inconvénient revient à la nature de ce processus, qui est très coûteux en temps de calcul, et cela est généralement inconvenable pour les applications temps réel [9].

IV.3.1.3 Par contour actif :

La segmentation par contours actifs, est une méthode qui utilise plusieurs modèles (des lignes connectées, des nœuds interconnectés) pour la localisation des formes dans les images. Le premier modèle des contours actifs a été proposé, en 1988 [5].

Ritter, Owens, Van Saarloos et Cooper ont été les premiers à introduire un model de contour actif afin de localiser la bordure de la pupille dans les images des yeux capturées, en 2003.

Le contour actif se déforme et se déplace à travers l'image sous l'effet de deux forces prédéfinis : une force interne et une autre externe, jusqu'à atteindre un équilibre. Plus précisément, le contour actif contient un ensemble de sommets appelés les points de contrôles.

De plus, pour donner plus de précision, les points de contrôles du contour initial sont centrés autour d'un point (reflet) détecté à partir de l'image de variance. Ensuite, ces points changent leur position, réagissant aux deux forces opposées. La force interne définit les contraintes internes dépendant du contour lui même. Cependant, la force externe définit des contraintes appartenant à l'image et complètement indépendantes du contour. Chaque point de contrôle change sa position sur l'image dans le temps entre (t) et ($t+1$) par :

$$v_i(t+1) = v_i(t) + F_i(t) + G_i(t) \qquad (7)$$

Où (F_i) est la force interne, (G_i) est la force externe et (v_i) est la position du point de contrôle (i) [16].

La force interne est décrite pour pousser le contour à former un cercle qui est la forme de la bordure de la pupille. Quand à la force externe elle est décrite pour pousser le contour vers la position de cette bordure, dans l'image, en utilisant les gradients des pixels.

En conclusion, cette méthode est basée sur la localisation d'un point à l'intérieur de la pupille (le reflet de la lampe d'éclairage pendant la capture de l'image) sur l'image de variance. Ensuite, le contour actif est créé avec un ensemble de points de contrôle centrés autour de ce point. Puis, le contour actif se déplace sous l'influence de forces internes et externes appliquées sur ces points de contrôles jusqu'à atteindre un équilibre de forces sur le contour. Cela signifie la fin de la localisation de la bordure de la pupille [5].

Cette méthode souffre de ses exigences pendant la capture d'image de l'œil. Elle se base sur les reflets de la lampe sur la pupille pour la localisation d'un centre du contour actif initiale. En plus, elle est sensible aux problèmes d'obscurcissement de la pupille, à cause des cils par exemple [5].

IV.3.2. La normalisation de l'iris :

Essentiellement à cause de la taille variable de l'iris et de la distance et l'angle de capture de l'image, la taille de l'iris capturé peut avoir de grandes variations, ce qui augmente la complexité de la tâche de la reconnaissance d'iris [17]. En plus, les représentations efficaces des formes de reconnaissance biométrique doivent être fixes par rapport aux changements de taille, position et orientation. Dans le processus de reconnaissance de l'iris, cela nécessite une représentation de données de l'iris invariante par rapport à la dimension de l'image capturée. Cependant, l'étape de capture d'image de l'œil est influencée par : la distance entre l'œil et l'appareil de capture, le facteur de grossissement optique de la caméra, et l'orientation de l'iris causé par la rotation des yeux et de l'angle d'orientation de la caméra [5].

L'ensemble de ces facteurs peut être fixé par l'utilisation de la méthode de la normalisation du disque irrégulier de l'iris car les deux cercles de l'iris et de la pupille ne sont pas concentriques (ne possèdent pas le même centre).

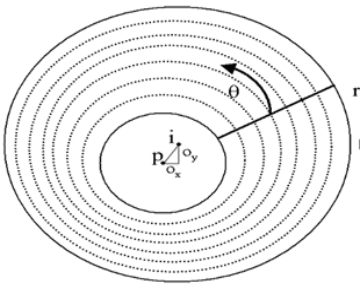


Figure IV.8. La normalisation de l'image de l'iris [16].

La Figure IV.8 montre les deux variables, l'une angulaire (θ) et l'autre radiale (r), correspond à chaque pixel de ce disque (x, y) dans le domaine cartésien.

Où $x(r, \theta)$ et $y(r, \theta)$ sont définis comme des combinaisons linéaires de l'ensemble des points de la bordure intérieure de l'iris ($x_p(\theta)$, $y_p(\theta)$) et celles de la bordure extérieur de l'iris ($x_s(\theta)$, $y_s(\theta)$), détectés dans l'étape de segmentation de l'iris, comme suit :

$$\begin{cases} x(r,\theta) = (1-r) * x_p(\theta) + r * x_s(\theta) \\ y(r,\theta) = (1-r) * y_p(\theta) + r * y_s(\theta) \end{cases} \quad (8)$$

Plus précisément, $x_p(\theta)$ représente l'abscisse du point de la bordure détectée de la pupille dont le segment qui passe par ce point et le centre de la pupille fait un angle (θ) dans une direction choisie. De même $y_s(\theta)$ représente l'ordonné de ce même point. Ainsi, $x_s(\theta)$ et $y_s(\theta)$ représentent les coordonnées des points obtenus par le même principe mais sur le contour extérieur de l'iris (entre l'iris et la sclérotique) [16].

Le système, proposé par *Wildes*, utilise une technique d'alignement d'images de l'iris avant de les comparer, pour remédier aux variations de l'échelle et aux rotations. Cette technique aligne géométriquement une image capturée $I_c(x, y)$, avec une image de référence $I_r(x, y)$, selon une fonction d'alignement $(u(x, y), v(x, y))$. L'alignement s'effectue de manière à ce que l'intensité de chaque pixel(x, y) dans l'image I_r soit proche de celle du pixel $(x, y) - (u(x, y), v(x, y))$ dans l'image I_c. Plus précisément, la fonction d'alignement (u, v) doit minimiser [11]:

$$\int x \int y \ (I_r(x,y) - I_c(x, -u, y-v))^2 \, dx \, dy \quad (9)$$

IV.3.3. L'extraction de caractéristiques :

L'étape d'extraction de caractéristiques est un processus très important pour assurer l'efficacité d'un système de reconnaissance de l'iris. Elle consiste à extraire le maximum d'informations discriminantes qui existent (des points, des vecteurs ou des coefficients) sur l'image de l'iris normalisée. Ce processus est le plus populaire dans la recherche parmi les quatre étapes de la reconnaissance de l'iris [18].
La majorité de méthodes proposées afin d'accomplir cette tâche est basée sur la décomposition par ondelettes de la région de l'iris en un ensemble de composants qui apparaissent à travers différentes résolutions. Selon la méthode d'extraction de caractéristiques utilisée, les systèmes de reconnaissance de l'iris peuvent être classés en trois catégories principales : des méthodes basées sur la phase, des méthodes basées sur les « zéro-crossing » et des méthodes basées sur l'analyse de texture [5].

Dans le système proposé par Daugman, en 1993, la tâche d'extraction de caractéristiques est basée sur la convolution de l'image de l'iris normalisée par un paquet d'ondelettes complexes de Gabor non orthogonales bidimensionnelles [17]. Autrement dit, des filtres à valeur complexe sont appliqués sur la texture de l'iris en deux dimensions et uniquement l'information de phase est extraite sur quatre (échelle) résolutions. Enfin, l'information de phase est codée sur deux bits pour chaque pixel. Il obtient ainsi un total de 2048 bits comme code de l'iris (iris-code). Un masque de même taille (2048 bits) est calculé, en parallèle. Ce masque permet d'indiquer les régions du bruit (les cils, les paupières, les réflexions spéculaire) afin de les ignorer dans l'étape de comparaison [11].

En 1997, Wildes a présenté un processus de caractérisation de l'iris à travers l'application de filtres gaussiens sur l'image de disque de l'iris [11]. L'image filtrée est représentée par les pyramides de Laplace avec quatre (04) niveaux de résolution afin de ne garder que les informations significatives et générer un ensemble de quatre (04) images de l'iris à enregistrer et comparer (chaque iris est représenté par un exemplaire qui contient quatre images filtrée). Cependant, l'image originale peut être reconstruite à partir de l'ensemble des images filtrées [5].

En 1998, Boles et Boashash ont proposés un algorithme basé sur la représentation « zero-crossings » d'une transformée unidimensionnelle par ondelettes orthogonales sur plusieurs

échelles, afin de coder les caractéristiques de l'iris. Cette technique est motivée par l'efficacité des zero-crossings qui correspondent à des informations significatives sur l'image de la région de l'iris [5].

En 2001, Lim, Lee, Byeon, et Kim ont utilisés une transformée par ondelettes orthogonales avec une simple ondelette de Haar. Dans cette approche, le filtrage est effectué sur plusieurs dimensions, et un vecteur de 87 dimensions est calculé. Ensuite, chaque dimension (valeur réelle) est encodée par un bit. Ce dernier prend la valeur (1) si le signe de la valeur réelle de cette dimension est positif, et (0) s'il est négatif. Cela génère, à la fin, un code de l'iris d'une taille de 87 bits [5].

En 2007, Zhang, Yu, et Wang partitionnent l'image normalisée de l'iris en 16 blocs de taille fixée à 32×32 pixels. Ensuite, un ensemble de 32 points clés (les pixels qui ont les valeurs d'intensités maximales) est défini sur chaque bloc filtré par les ondelettes de Gabor bidimensionnelles. Après avoir calculé le centre de masse des points clés sur chaque bloc, un vecteur de (32×16)=512 valeurs est construit à partir des distances de points clés par rapport à leur centre de masse [5].

En 2008, Nabti et Bouridane proposent une nouvelle approche pour l'extraction des caractéristiques discriminantes de l'iris [15]. Ils commencent par calculer les maxima d'ondelettes en deux (02) directions et cinq (05) échelles. Ensuite, ils appliquent un paquet d'ondelettes de Gabor, à chaque image obtenue, à quatre (04) échelles et six (06) orientations pour générer ((4×6) ×5) ×2=240 images filtrées. Pour construire le vecteur représentant les caractéristiques de la texture de l'iris, ils utilisent deux techniques différentes. La premières est basée sur le calcul d'un couple (moyenne, variance) pour chacune des images filtrés. Cette technique génère, à la fin, un vecteur de taille (2×240)=480 valeurs. La deuxième est basée sur le calcul de 7 moments invariants aux transformations géométriques (la translation, et la rotation) pour chacune des images filtrés. Cette technique génère un vecteur de taille (7×240)=1680 valeurs. Cependant, leurs résultats montrent que la deuxième technique est plus performante en termes de reconnaissance correcte [5].

Ainsi, Nabti et Bouridane comparent les résultats obtenus par leurs deux approches par rapport à trois autres méthodes. Cette comparaison est effectuée sur la base de données CASIA IrisV1, en termes de taux de reconnaissance correcte et de temps de réponse de cette étape [5].
On trouve plusieurs algorithmes d'extraction des caractéristiques de l'iris, on cite quelque algorithme :

1. le codage en ondelette :

Les ondelettes peuvent être utilisées pour décomposer les données de la région d'iris en composants qui apparaissent à des résolutions différentes. Les ondelettes ont l'avantage sur la transformer de Fourier traditionnelle ce que les données de fréquence est localisée. Un certain nombre de filtres d'ondelettes, appelées aussi une banque d'ondelettes, est appliqué à la région de l'iris 2D, un pour chaque résolution avec chaque ondelette d'une version réduite d'une fonction de base.

2. Le filtre de Gabor :

Les filtres de Gabor sont capables de fournir une représentation conjointe optimale d'un signal dans l'espace et de fréquence spatiale. Il est réalisée par la modulation d'une onde sinus / cosinus avec une gaussienne. Ceci est en mesure de fournir la localisation conjointe optimale à la fois dans l'espace et de fréquence, depuis une onde sinusoïdale est parfaitement localisé en fréquence, mais il n'est pas localisée dans l'espace. La modulation du sinus avec une gaussienne fournit la localisation dans l'espace, mais avec la perte de la localisation en fréquence [16].

3. Le filtre de Log-Gabor :

L'inconvénient du filtre de Gabor est que les filtres même ils sont symétriques auront une composante continue lorsque la bande passante est supérieure à une octave. Toutefois, le composant zéro DC peut être obtenu pour toute la bande passante en utilisant un filtre de Gabor qui est gaussien sur une échelle logarithmique, c'est ce qu'on appelle le filtre Log-Gabor. La réponse en fréquence d'un filtre Log-Gabor est donnée comme :

$$G(f) = \exp\left(\frac{-(\log(f/f_0))^2}{2(\log(\sigma/f_0))^2}\right) \quad (10)$$

Où f_0 représente la fréquence centrale, et σ donne la largeur de bande du filtre [16].

IV.4. La comparaison :

L'étape de comparaison consiste à mettre en correspondance l'exemplaire de test et celui de référence.

Généralement, dans cette étape, chaque système de reconnaissance de l'iris génère comme résultat une valeur numérique dite score. Ce dernier est considéré comme une mesure de similarité ou de dissimilarité entre les deux exemplaires comparés.

Dans le cas d'un score de similarité, plus la valeur est grande, plus la probabilité que l'exemplaire testé provient de la même personne que l'exemplaire de référence, est grande. A l'opposé, le score de dissimilarité indique le degré d'éloignement de l'un par rapport à l'autre. Par conséquent, plus il tend vers zéro plus la probabilité que les deux exemplaires comparés proviennent de la même personne, est grande.

Donc, assigner une identité à une personne (l'identification) ou confirmer l'identité qu'elle affirme (la vérification), revient alors à prendre une décision à savoir la valeur du score calculé par rapport à une valeur prédéfinie dite seuil de décision. Le seuil de décision est fixé d'une manière empirique afin de minimiser les fausses acceptations et les faux rejets.

Généralement, la technique utilisée dans le processus de comparaison des exemplaires de l'iris est strictement liée à la méthode utilisée pour l'extraction de caractéristiques de l'iris et, précisément, à la représentation de l'information extraite. Fréquemment, dans la littérature, ce processus utilise des techniques qui se basent sur la distance de Hamming. Il existe d'autres approches proposées basées sur la distance Euclidienne, sur la corrélation du signal comme dans et sur les réseaux de neurones [5].

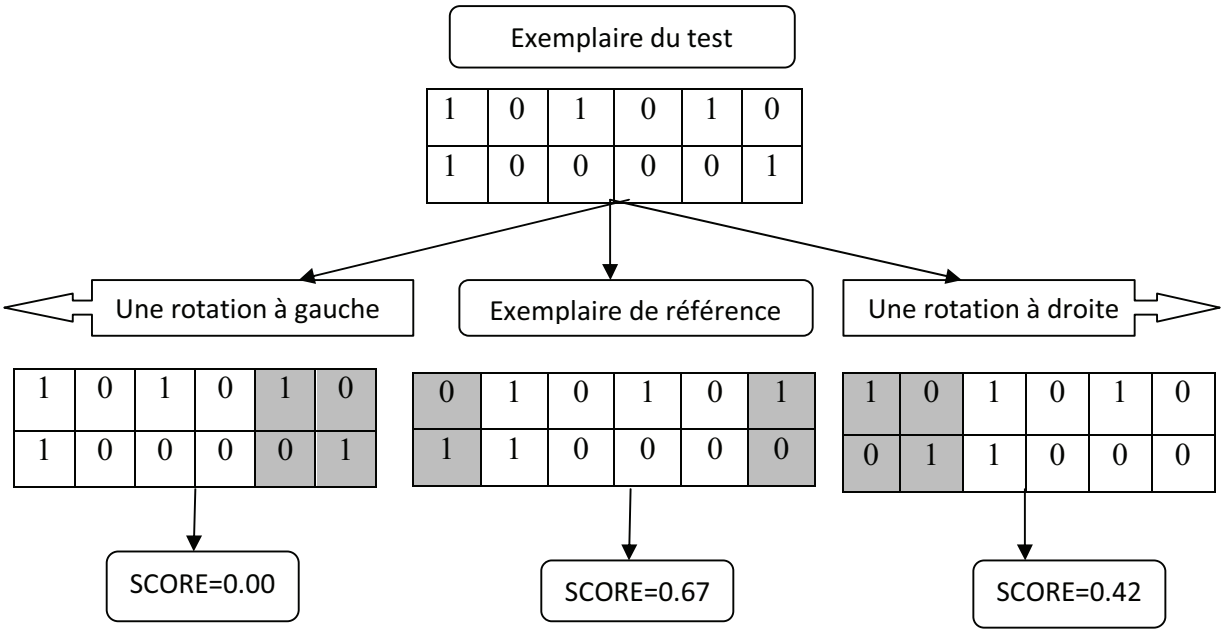


Figure IV.10. Illustration de la comparaison des de deux exemplaires binaires de même taille (6×2) avec une rotation à droite et une à gauche [5].

La distance de Hamming proposée par Daugman est utilisée dans le cas ou l'information extraite est binaire. Elle mesure la fraction du nombre de bits différents entre les deux exemplaires comparés (Figure III.10). Pour calculer le score de dissimilarité entre deux exemplaires binaires *X* et *Y* d'une même taille *n*, la Distance de Hamming (*DH*) est défini à travers la fraction de la somme d'un OU exclusif entre *X* et *Y* sur les *N* bits, comme suit [16] :

$$HD = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} X_j \,(XOR) Y_j \qquad (11)$$

Après avoir effectué plusieurs testes de comparaison entre les exemplaires provenant de deux iris différents, Daugman mentionne que la moyenne de leur distances de Hamming doit être proche du (0.5). Si les exemplaires proviennent du même iris, la distance de Hamming doit être proche de (0).

En plus, pour remédier aux problèmes de rotations de l'iris pendant la capture, Daugman applique sept (07) rotations (décalages) à l'exemplaire de référence (Figure III.10). Ensuite, il calcule les distances de Hamming entre tous les exemplaires décalés et l'exemplaire de test. Afin de prendre une décision d'authentification, Daugman compare la distance de Hamming minimale obtenue à un seuil de décision prédéfini. Ainsi, si la

distance de Hamming est inférieure au seuil de décision, la personne est authentifiée. Sinon, la tentative d'authentification est rejetée [17].

IV.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous allons détailler les étapes principales de système de la reconnaissance de l'iris. Ce système contient quatre processus typiques : la segmentation de l'iris, la normalisation de l'iris, l'extraction de caractéristiques et la comparaison. Chacun de ces processus ouvre une porte sur un domaine de recherche pour optimiser le fonctionnement d'un tel système en termes de temps de réponse, précision, et domaines d'utilisation. Ainsi, nous présentons l'état de l'art de chacune de ces étapes, en se basant sur la méthode standard de John Daugman, qui a implémenté le premier algorithme et prototype d'un système de reconnaissance de l'iris, il reste l'algorithme le plus précis et le plus connu parmi les systèmes proposés. De plus, l'algorithme de Daugman monopolise, jusqu'à aujourd'hui, presque tous les systèmes de reconnaissance de l'iris déployés et commercialisés.

Chapitre V:
Implémentation et résultats

V.1.Introduction :

Dans ce chapitre nous avons décrit sur la base de données CASIA-irisV4 que nous utilisé dans notre projet nous avons données par la suite l'architecture globale d'un nouvelle approche de reconnaissance de l'iris (Figure V.1).

Comme nous l'avons déjà nu dans le deuxième chapitre, notre système de reconnaissance de l'iris comporte deux phases principales, l'enrôlement(ou l'enregistrement) et la reconnaissance. La figure V.5 montre les différentes étapes de ce système en commençant par la phase d'enrôlement jusqu'à la phase de reconnaissance. La phase d'enrôlement contient quatre modules de traitement principaux : la segmentation de l'iris, la normalisation du disque de l'iris, l'extraction des codes et leur enregistrement.

Dans le reste de ce chapitre, nous donnons la conception détaillés de chaque module du processus de reconnaissance de l'iris que nous illustrons avec quelques résultats obtenus. Et ainsi nous donnons les performances de ce système et nous traçons la courbe ROC (FAR en fonction de FRR). tout ça, il est présenté dans une interface nommé Iris.

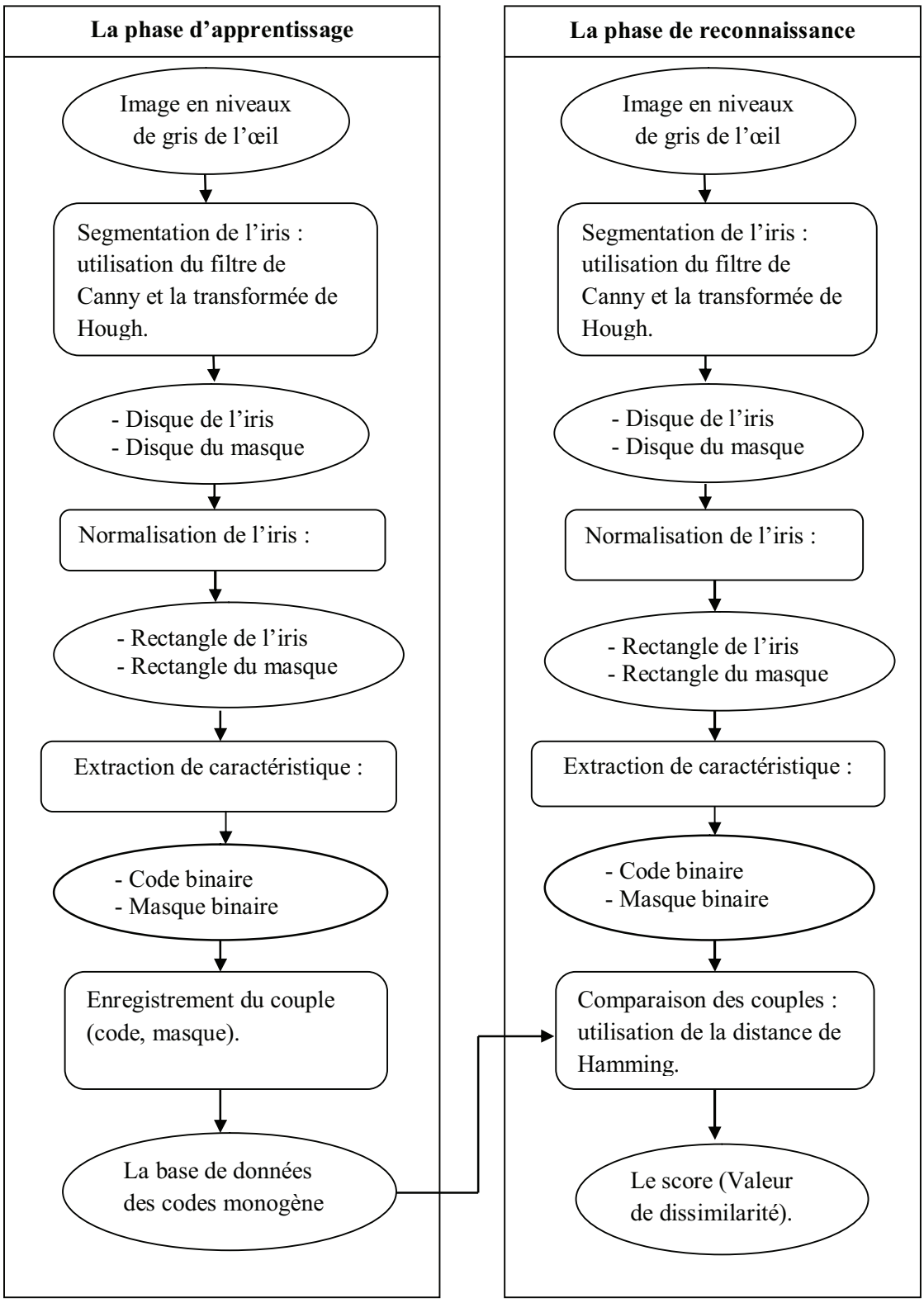


Figure V.1. Illustration des différentes étapes de la reconnaissance de l'iris.

V.2. La base de données CASIA-IrisV4 :

CASIA est l'abréviation de **C**hinese **A**cademy of **S**ciences, **I**nstitut of **A**utomation. Cette base de données est gratuitement téléchargeable pour les chercheurs dans le domaine de la reconnaissance de l'iris. Elle est aussi la base de données la plus couramment utilisée dans l'évaluation des méthodes de reconnaissance de l'iris [5]. A partir de cela, nous avons choisi d'utiliser cette base de données dans tous les tests d'évaluation de notre méthode, afin de contextualiser et valoriser les résultats obtenus.

Les images de cette version de la base de données CASIA sont capturées à l'aide d'une caméra développée au sein du même institut. Le dispositif le plus irrésistible de notre camera est que nous avons conçu une rangée circulaire de LED, avec le flux lumineux approprié pour la formation image d'iris. Le mécanisme d'acquisition des images de cette base de données est illustré sur la Figure V.2.

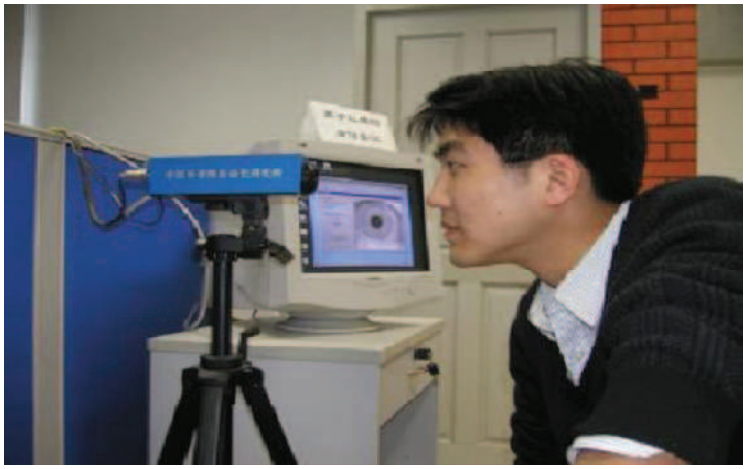


Figure V.2. Le mécanisme d'acquisition des images de l'iris de la base CASIA-IrisV4 [5].

CASIA-IrisV4 est une prolongation de CASIA-IrisV3 et contient six sous-ensembles. Les trois sous-ensembles de CASIA-IrisV3 sont CASIA-Iris-Intervalle, CASIA-Iris-Lampe, et CASIA-Iris-Jumeaux respectivement. Les trois nouveaux sous-ensembles sont CASIA-Iris-Distance, CASIA-Iris-Mille, et CASIA-Iris-Syn. La base de données CASIA-IrisV4 contient un total d'images de 54.601 iris de plus de 1.800 sujets véritables et de 1.000 sujets virtuels. Toutes les images d'iris sont 8 dossiers de JPEG de niveau gris de bit, rassemblés sous l'illumination infrarouge proche ou synthétisés [20].

Cette base qui sans contexte a fait évoluer la recherche a néanmoins plusieurs points faibles qui l'ont rendu aujourd'hui obsolète. En raison de cette conception originale, notre camera

d'iris peut saisir des images très claires d'iris (voir la Figure V.3). Le CASIA-Iris-Intervalle est bien adapté pour étudier les dispositifs détaillés de texture des images d'iris. Les images ont aussi subit plusieurs prétraitements avant d'être mises à dispositions des chercheurs, ainsi les images ont été centrées et la pupille colorée en noir [20].



Figure V.3. Des exemples de la base de données CASIA-IrisV4.

V.3. Présentation de GUI (Graphical User Interface) :

L'objectif principal est de créer une application pour des manipulations effectuées par les utilisateurs.

Le GUI permet de créer des interfaces où le créateur choisi plusieurs types d'objets (boutons, axes, edit box, listbox.....) appelés handles.

Ensuite, il doit réaliser la programmation pour obtenir l'interaction qu'il souhaite obtenir entre ces différents objets.

V.3.1. Présentation de l'interface graphique réalisée :

Dans cette partie nous allons essayer d'expliquer brièvement notre interface graphique qui est pour faciliter l'utilisation du programme Iris.

L'interface est composée essentiellement de quatre zones indiquée sur la figure suivante :

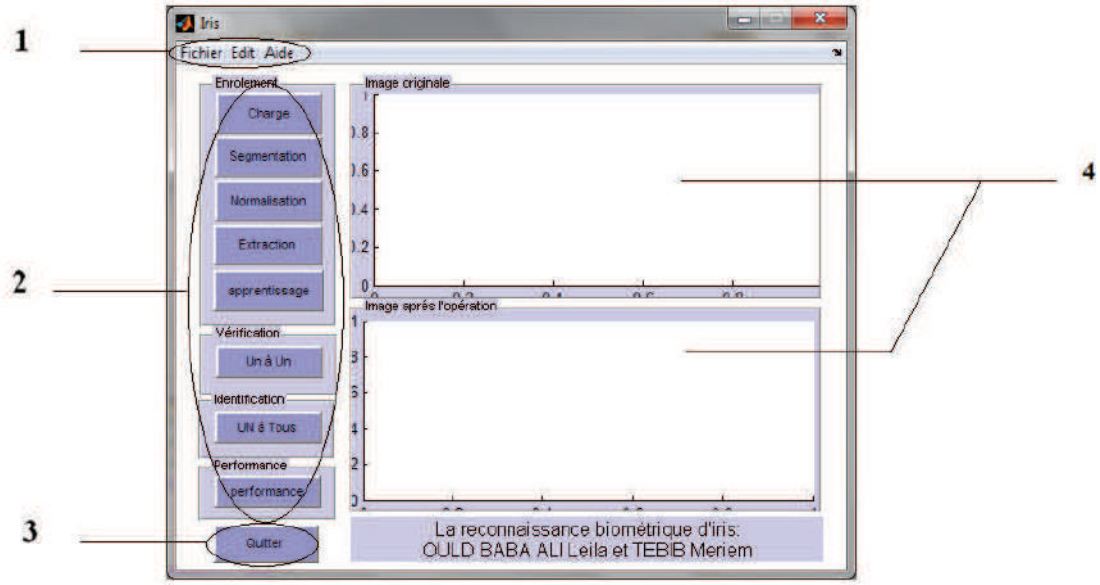


Figure V.4. La fenêtre qui illustre notre interface.

1. Barre des menus déroulants.

2. Barre des outils (exécuter les programmes).

3. Barre d'outil (fermer le logiciel).

4. Zone réservé à afficher l'image originale/l'image résultat.

On va détailler quelque application.

1. Gestionnaire des menus :

Il existe plusieurs méthodes d'animation des menus.

Dans notre programme on a utilisé les menus déroulants pour leur efficacité en existence d'un nombre important de commandes.

2. La barre des outils :

2.1. Enrôlement :

A. Charge : Charger l'image qui on veut traiter et aperçu dans la zone réservée pour l'image originale.

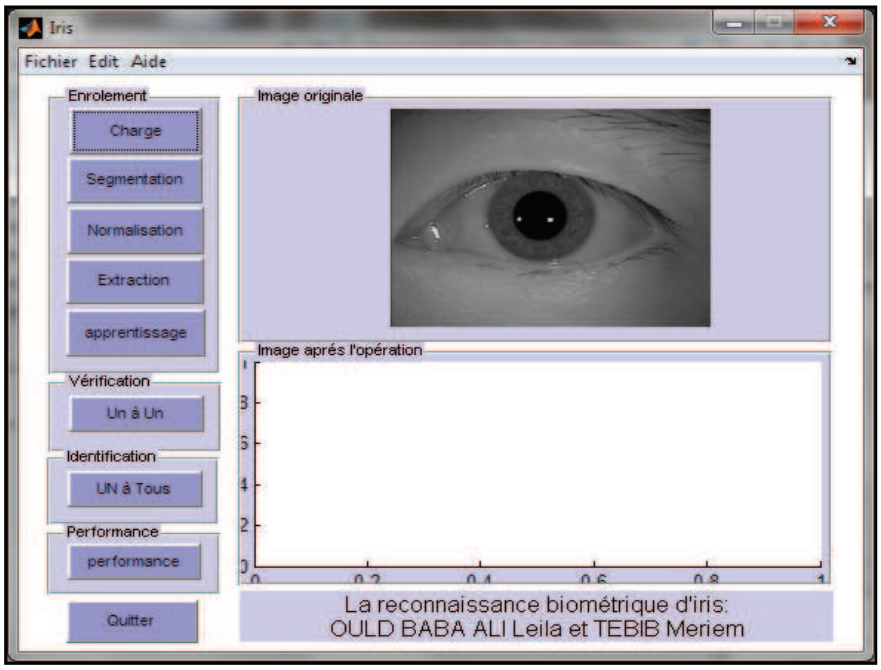


Figure V.5. La fenêtre de l'interface qui charge l'image.

B. Segmentation : Cette application nous aide d'appliquer l'algorithme de segmentation qu'on présente ces résultats dans ce chapitre

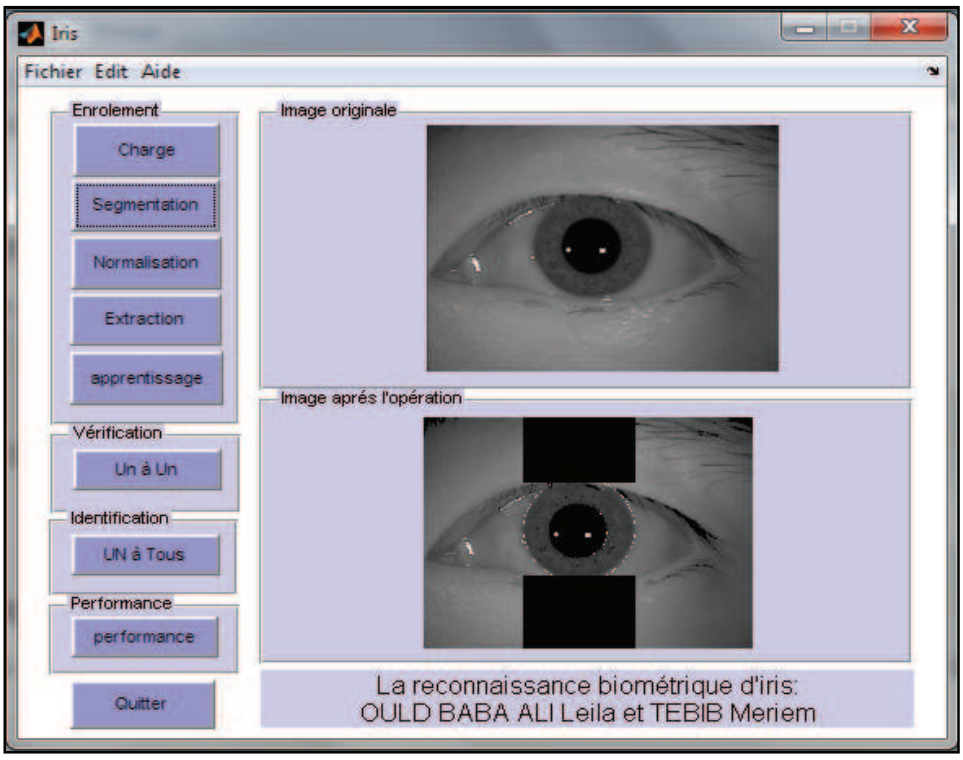


Figure V.6. La fenêtre de l'interface qui fait l'étape de la segmentation.

C. Normalisation : Cette application nous aide d'appliquer l'algorithme de normalisation qu'on présente ces résultats dans ce chapitre et qui affiche le résultats dans la zone réservée à Image après l'opération.

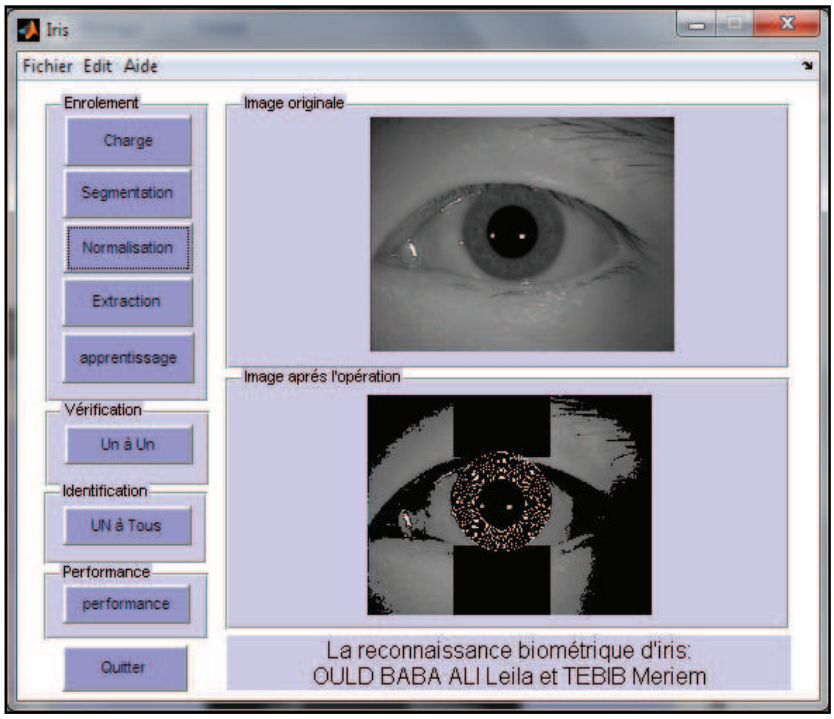


Figure V.7. L a fenêtre de l'interface qui fait l'étape de la normalisation.

D. Extraction : Cette application nous aide d'appliquer l'algorithme d'extraction qu'on présente ces résultats dans ce chapitre et qui enregistre le code (Template-masque) dans un répertoire de PC.

E. Apprentissage : cette application nous aide d'enrôler une image (on applique sur cette image les algorithmes de la segmentation, la normalisation et l'extraction)

A la fin quand on clique sur cette application, elle enregistrer un code (template-masque) de cette image dans un répertoire de PC.

2.2. La vérification : On a fait une comparaison entre deux iris et cette application affiche un message.

- Si les deux personnes sont identiques :

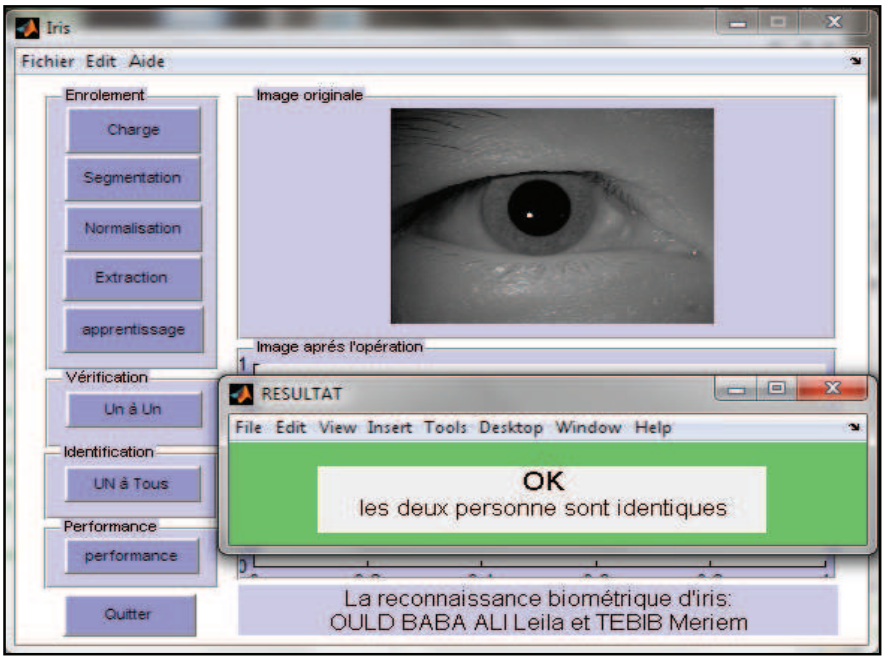


Figure V.8. La fenêtre de l'interface qui fait la vérification (cas identique).

- Si les deux ne sont pas identiques :

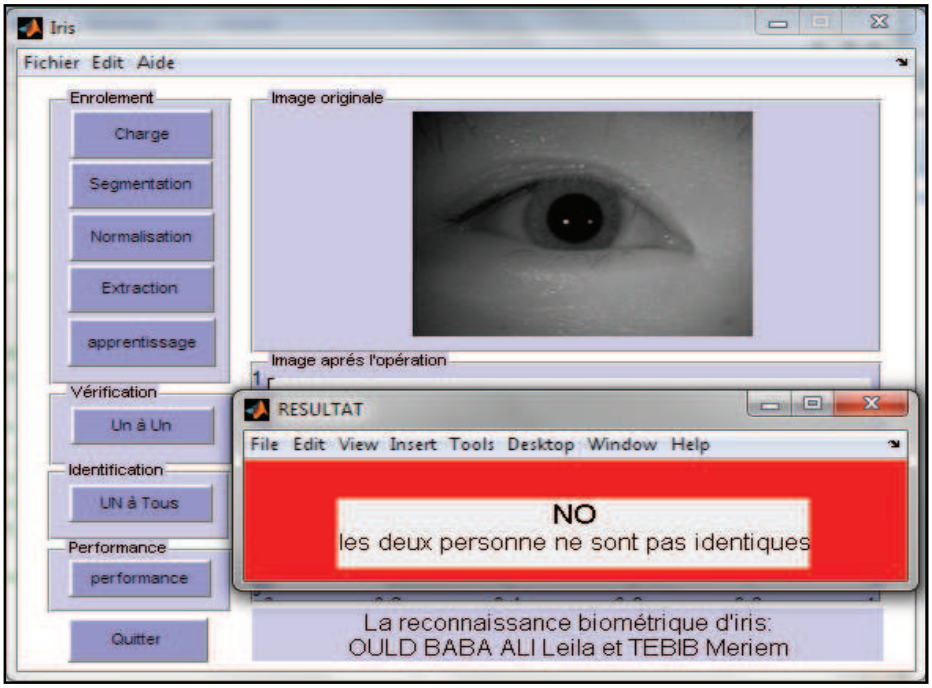


Figure V.9. La fenêtre de l'interface qui fait la vérification (cas non identique).

2.3. L'identification : On a fait une comparaison entre le code de l'iris qui est extrait à partir de l'image donnée (Image originale) et tous les codes de notre base de données, cette application donne plusieurs distances de Hamming quand l'utilisateur clique sur cette bouton, une fenêtre apparu pour que l'utilisateur doit entrer le seuil.

Ensuite, elle affiche un message :

- Si la personne existe dans la base de données :

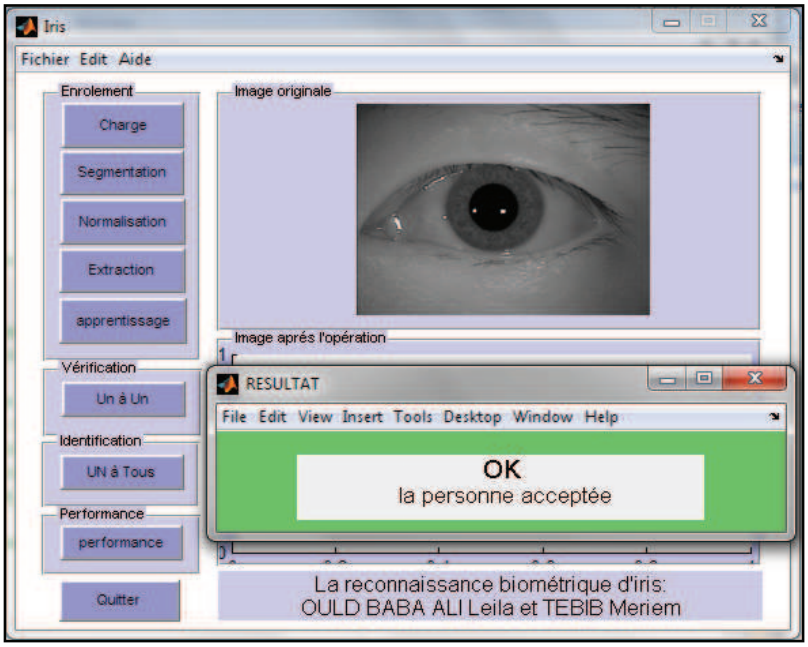


Figure V.10. La fenêtre de l'interface qui fait l'identification (cas de personne acceptée).

- Si la personne n'existe pas dans la base.

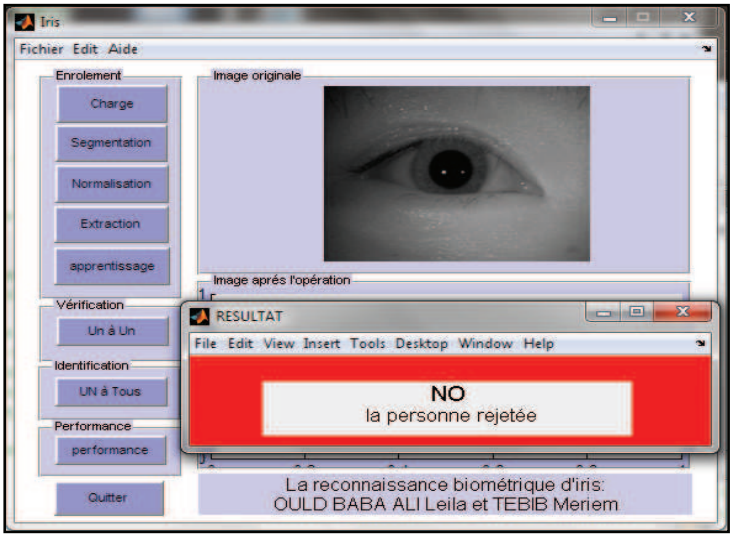


Figure V.11. La fenêtre de l'interface qui fait l'identification (cas de personne rejetée).

2.4. Performance :

Dans notre interface on présente une image qui contient 4 courbes de ROC des différents seuils et différents base de données quand l'utilisateur clique sur le bouton de performance.

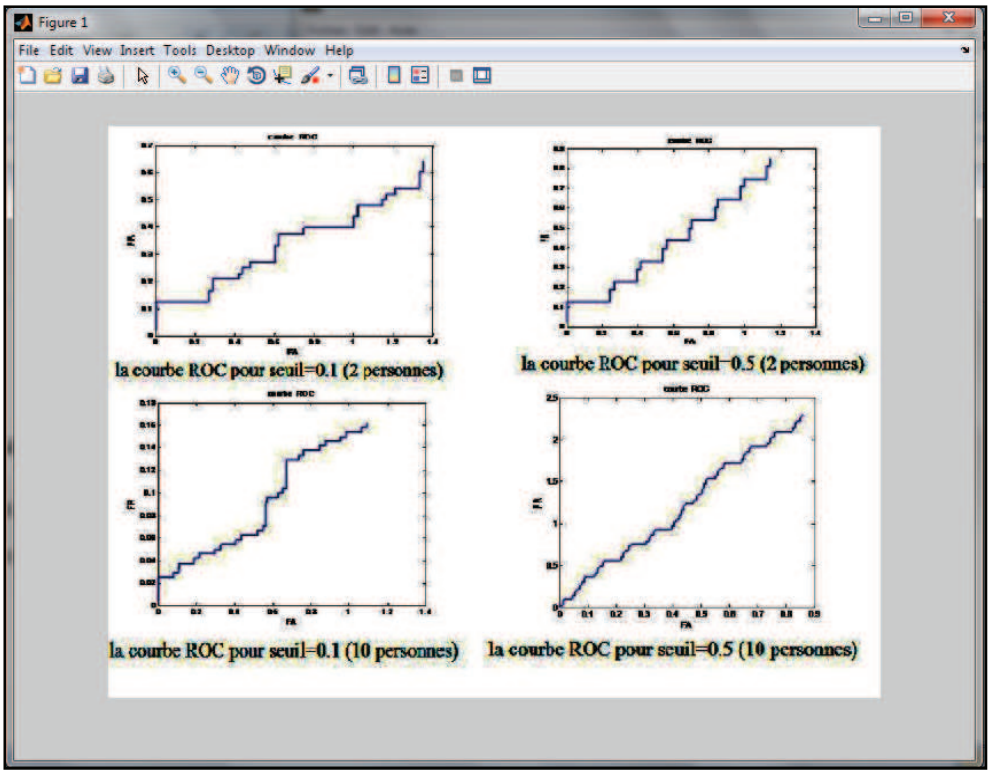


Figure V.12. La fenêtre de l'interface qui présente les courbe de ROC.

V.4. La segmentation :

La segmentation de l'iris est la première étape dans un processus de reconnaissance. Elle consiste à isoler la texture de l'iris du reste de l'image de l'œil acquise par un quelconque capteur. La région de l'iris comme illustrée dans la Figure V.13 est entourée par des frontières extérieures (iris-blanc de l'œil) et des frontières intérieures (iris-pupille).

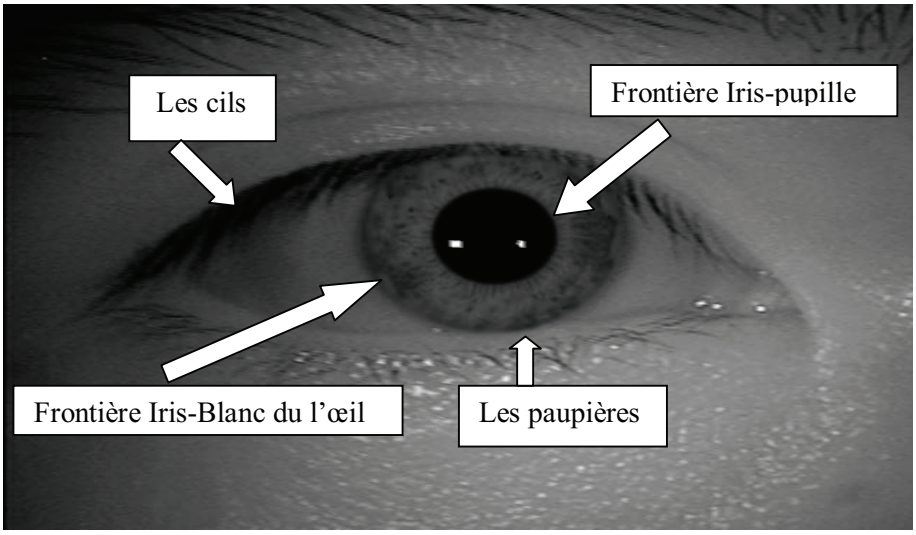


Figure V.13. Une image d'iris avec les différentes parties à détecter.

La pupille est un trou noir à l'intérieur du disque de l'iris, presque circulaire. En acquisition proche infrarouge, cette région peut être considérée comme la région à plus fort contraste. Généralement quelques reflets dus à l'utilisation des diodes LED proche infrarouge sont localisés à l'intérieur de la pupille (voir figure V.13). Ces reflets dépendent du nombre de diodes LED, de leur puissance et de la position de l'œil par rapport à la caméra lors de l'acquisition. Ces reflets peuvent être utilisés pour faciliter la détection de la pupille et aussi comme moyen d'assigner une mesure de flou à l'image.

La frontière extérieure de l'iris est la séparation entre le disque de l'iris et le blanc de l'œil. Une acquisition en proche infrarouge complique la tâche de segmentation car le contraste blanc de l'œil-iris est très faible dans de telles conditions d'acquisition. En plus, cette frontière est en grande partie couverte par d'autres régions telles que les cils ou les paupières.

Les paupières sont généralement elliptiques avec un contraste souvent faible avec la texture de l'iris. Quand aux cils, il s'agit sans doute du bruit le plus difficilement détectable dans la texture de l'iris. En effet les cils sont des objets noirs de formes irrégulières et diverses qui peuvent couvrir de grandes régions de la texture de l'iris surtout dans cas d'iris d'asiatiques [6].

Notre objectif est de localiser les frontières pupille-iris et iris-blanc de l'œil ainsi que d'extraire de l'image de l'œil différents éléments qui sont considérés comme bruits.

Nous avons accompli l'étape de segmentation du disque de l'iris par la méthode de la transformée de Hough circulaire. Le diagramme de la Figure V.14 illustre, hiérarchiquement, les différentes étapes de cette méthode. En premier lieu, nous commençons par générer trois types d'images de contour en utilisant le filtre de Canny :

- Une dans le sens vertical pour détecter le contour circulaire extérieur de l'iris.
- Une dans les deux sens vertical et horizontal pour détecter le contour circulaire intérieur de l'iris (la bordure de la pupille).
- Une dans le sens horizontal pour détecter deux lignes limitant les paupières.

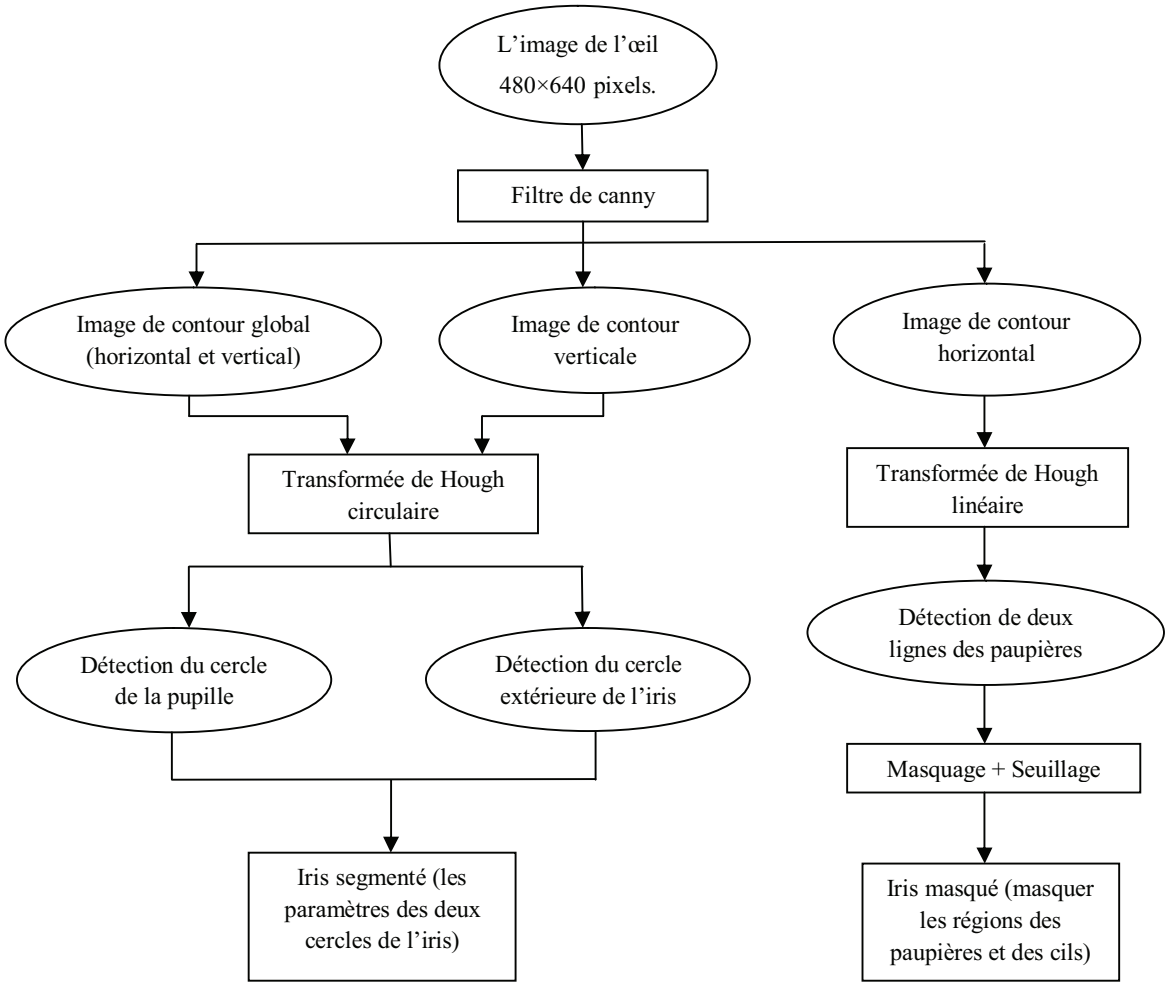


Figure V.14. Diagramme du processus de segmentation de l'iris de l'œil.

La Figure V.15 montre la différence entre les trois types d'images de contour générées. Nous utilisons l'image de contour vertical (c) pour localiser le cercle extérieur de l'iris, car les paupières sont alignées horizontalement et leurs points de contour n'apparaissent pas

beaucoup dans ce sens. Afin de détecter le cercle de la pupille nous utilisons l'image de contour global (b), puisque le contour de la pupille y apparaît clairement. De plus, l'image de contour globale optimise la localisation de la pupille dans le processus de la transformée de Hough circulaire.

La région de l'iris, limitée par les deux cercles (disque), est généralement chevauchée par d'autres régions non-iris (régions bruits), particulièrement les paupières et les cils. Afin d'isoler la région des paupières, nous appliquons la transformée de Hough linéaire sur l'image de contours horizontale (l'image (d) de la Figure V.15). Le résultat de ce processus est deux lignes horizontales : une ligne limitant la paupière supérieure et une autre limitant la paupière inferieure. Enfin, les cils et les réflexions lumineuses sont isolés par une simple opération de seuillage. En effet, les cils ont généralement une intensité proche du noir (0), par contre celle des réflexions lumineuses est proche du blanc (255). Nous marquons ces régions, considérées comme bruit, par (0). Ainsi, le reste du disque est la région contenant l'information utile pour la reconnaissance.

Le processus de segmentation de l'iris donne un résultat qui se compose :

- Des paramètres de deux cercles non concentriques (les coordonnées du centre et le rayon).
- Une image de l'œil contenant les pixels des régions non-iris masquées (ce masque est généré par l'opération de seuillage et les paramètres des deux lignes des paupières).



(a) (b) (c) (d)

Figure V.15. (a) Image initiale de CASIA Iris-V4 (b) Image de contour global (c) Image de contours verticale (d) Image de contours horizontale.

Nous avons exécuté ce processus sur toutes les images de la base de données CASIA Iris-V4. La Figure V.16 montre quelques images d'iris segmentées avec succès.

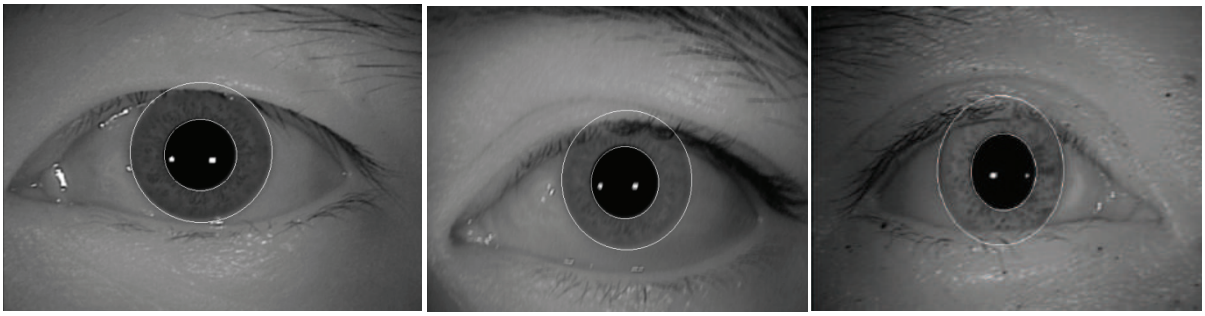
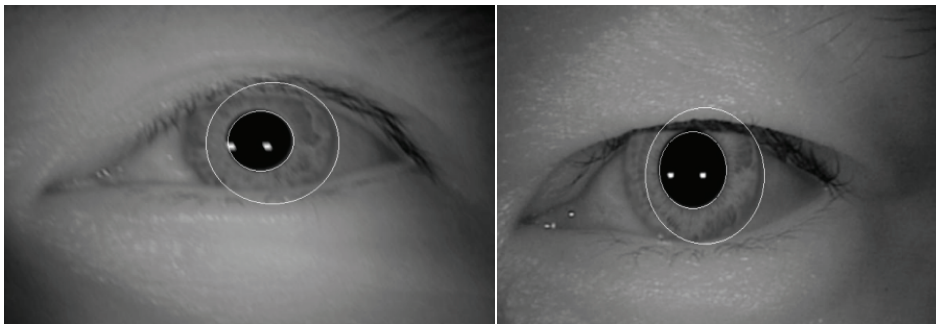


Figure V.16. Quelques images de la base de donnés CASIA Iris V-4 segmentées avec succès.

La Figure V.17 montre trois exemples d'échecs de segmentation d'iris. Ces échecs sont généralement liés à deux catégories d'images. Les images de la première catégorie contiennent une faible différence d'intensité entre la région de l'iris et celle de la sclérotique (les iris clairs). En effet, le contour extérieur de l'iris n'apparaît pas dans l'image de contour verticale ce qui fausse sa détection, les images contiennent de fortes occlusions de paupières et des obscurcissements de l'œil par des cils parfois alignés devant la région de l'iris.



(a) (b)

Figure V.17. Exemples des échecs de segmentation d'images de la bases de donnés CASIA Iris V-4.

D'autre part, le processus de détection et de masquage des régions non-iris qui se présentent sur la région de l'iris (les paupières, les cils et les réflexions lumineuses) est très important pour la reconnaissance de l'iris. La Figure V.18 montre trois exemples d'images d'iris segmentées avec succès et masquées. Ce processus engendre quelques défauts. Généralement, quelques parties de régions non-iris ne sont pas masquées, et parfois une grande partie de la texture de l'iris est masquée avec les paupières (Figure V.19). Ces défauts de masquage provoquent des dégradations de l'efficacité de la reconnaissance. Autrement dit, parfois des

informations non-iris peuvent être représentées sur les codes générées et parfois de grandes régions de la texture de l'iris peuvent être ignorées.

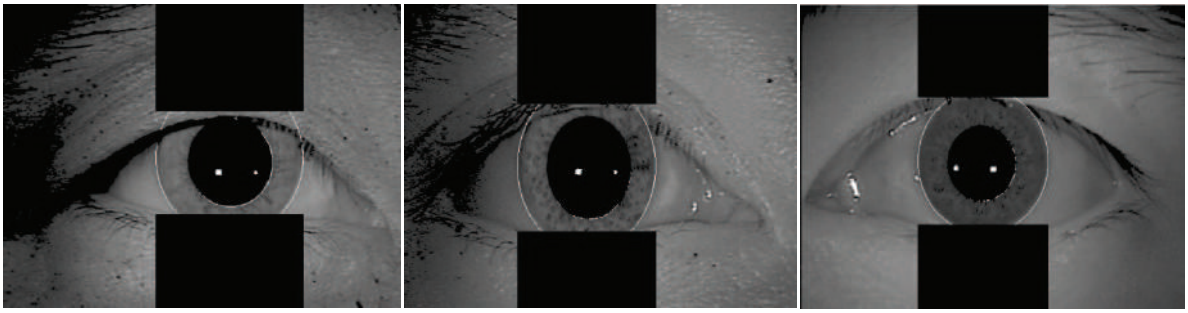


Figure V.18. Exemples des images de l'iris de la bases de donnés CASIA Iris V-4 segmentées avec succès et masqués.

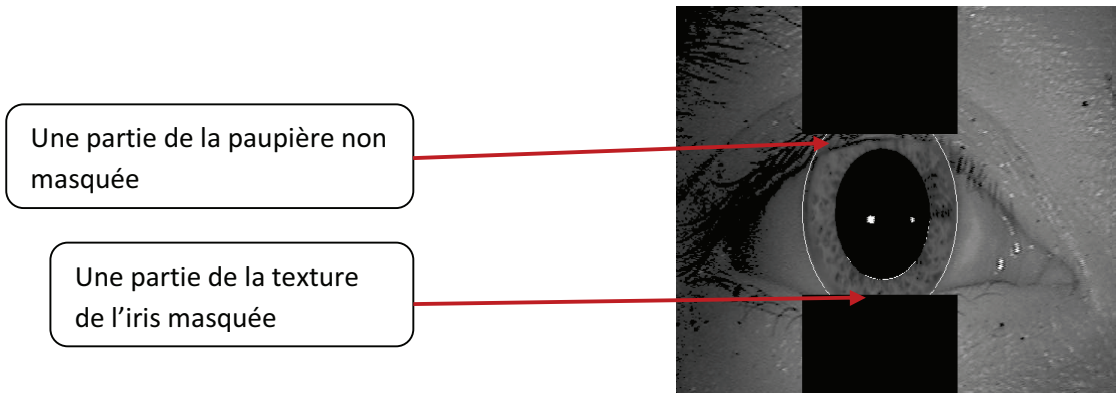


Figure V.19. Illustration des défauts de masquage des régions non-iris.

V.5. La normalisation :

Comme c'est indiqué dans le chapitre précédent, l'iris est un disque irrégulier. Ces irrégularités sont dues à la dilatation et contraction de la pupille, au fait que les deux cercles ne sont pas concentriques et au fait des changements non linéaires de la texture de l'iris. Ces caractéristiques ont poussé Daugman à développer une méthode de normalisation du disque de l'iris qui normalise uniquement la partie de l'iris après le faire la segmentation dont une signification imagée pourrait être vu comme une tentative d'étendre le disque de l'iris plus clairement dans l'œil humain (Figure V.20).

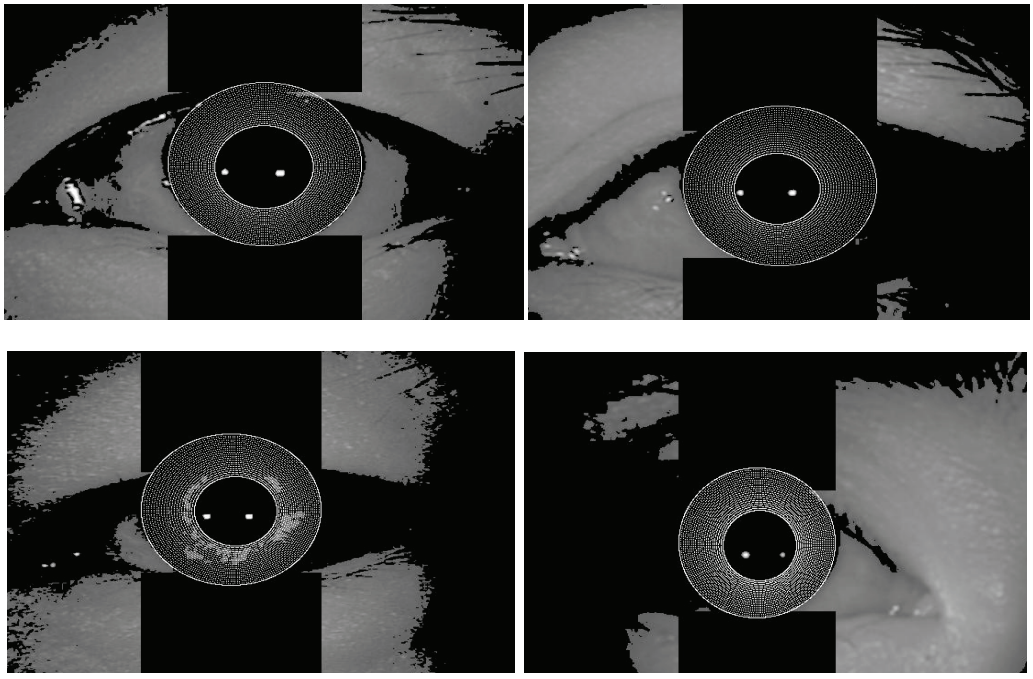


Figure V.20. Exemples des images de l'iris de la bases de donnés CASIA Iris V-4 normalisées.

V.6. L'extraction de caractéristiques :

L'extraction d'une signature de l'iris est fondée sur la décomposition en paquets d'ondelettes. Pour identifier une personne il suffit donc de comparer la signature extraite de son iris avec les signatures stockées dans la base des signatures.

L'extraction des caractéristiques repose sur l'utilisation des filtres de Gabor que Daugman a adopté au traitement d'images. Les filtres de Gabor sont connus comme le moyen d'analyse espace-fréquence qui minimise l'incertitude de Heisenberg qui exprime que plus on est précis dans l'analyse de l'information dans l'espace du pixel et moins on le sera dans l'espace fréquentiel et vice versa. En effet chaque phase de Gabor sera codée sur 2 bits suivant le principe du codage quatre quadrants illustré dans la figure V.21. Selon que la phase appartienne à l'un des quatre quadrants uniformément découpé du cercle trigonométrique, elle sera codée différemment. Il est à noter que chaque passage entre un quadrant et un quadrant adjacent entraine un changement d'un seul bit. Ceci limitera les erreurs si la phase calculée est à la frontière entre deux quadrants adjacents. Cette opération revient à coder les signes de la partie réelle et de la partie imaginaire des coefficients de Gabor obtenus et d'assigner 1 au code si le coefficient est positif et 0 si le coefficient de Gabor est négatif.

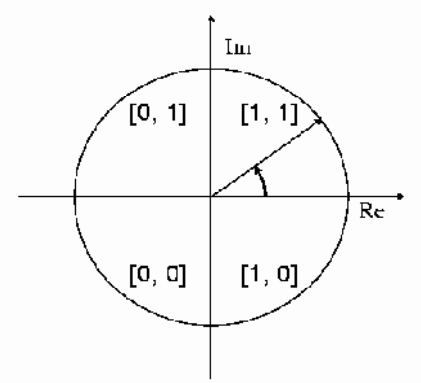


Figure V.21. Le principe de codage de phase sur quatre quadrants et en deux bits.

Cette opération est réitérée plusieurs fois, autour de plusieurs points d'analyse, suivant plusieurs résolutions et orientations des filtres de Gabor jusqu'à ce que l'on obtienne un code de taille 256 octets ou 2048 bits.

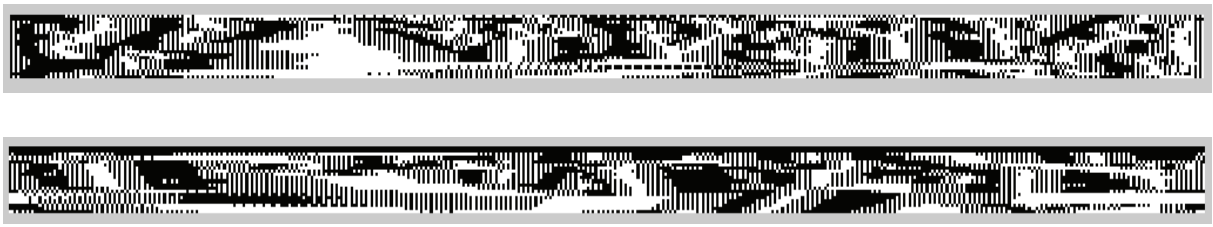


Figure V.22. Différents exemples d'iris code générés par la méthode Daugman.

En plus des codes, des masques sont calculés de taille fixe (2048 bits) qui indiquent pour chaque bit du code s'il faut le prendre en considération ou non. Les bits ignorés proviennent généralement des points d'analyse couverts par les paupières, les cils, un faible rapport qualité bruit, des réflexions lumineuses …

V.7. La comparaison des codes d'iris :

Dans l'étape de comparaison des codes générés dans l'étape précédente, nous utilisons la distance de Hamming pour calculer la valeur de dissimilarité. Cette métrique est la plus adaptée aux codes de type binaire. Elle se base sur l'opérateur logique : XOR (ou exclusif). Nous incorporons, dans cet algorithme, le code de l'iris et son masque correspondant afin de ne prendre en considération que les bits utiles dans la reconnaissance et ignorer ainsi les bits

masqués. De cette manière, la valeur de cette métrique est plus significative. Autrement dit, nous n'utilisons que les bits qui ne sont pas masqués (0) dans les deux masques correspondants de ces deux codes, pour calculer la valeur de la 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 :

$$HD_{raw} = \frac{\|(codeA \otimes codeB) \cap maskA \cap maskB\|}{\|maskA \cap maskB\|} \quad (14)$$

Où codeA et codeB sont deux codes calculés à partir de deux images d'iris par le procédé précédemment décrit et maskA et maskB représentent leurs masques associés. Littéralement la distance de Hamming calcule le nombre de bits différents et valides pour les deux iris entre le codeA et le codeB. 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.

V.8 .Les performances :

Il existe toujours au moins deux modules dans un système biométrique : le modèle d'apprentissage et celui de reconnaissance. Au cours de l'apprentissage, la caractéristique biométrique est tout d'abord mesurée grâce à un capteur, qui n'est pas directement stockée et des transformations lui sont appliquées, en générale. Au cours de la reconnaissance, la caractéristique biométrique est un ensemble de paramètres qui mesurée et extrait comme lors de l'apprentissage. Le capteur utilisé doit avoir des propriétés aussi proches que possible du capteur utilisé durant la phase d'apprentissage. Si les deux capteurs ont des propriétés trop différentes, il faudra en général appliquer une série de prétraitement supplémentaire pour limiter la dégradation des performances. La suite de la reconnaissance sera différente suivant le mode opératoire du système : identification ou vérification.

En mode d'identification, le système doit deviner l'identité et compare le signal mesuré avec les différents modèles contenus dans la base de données (problème de type 1 : N). En général, lorsque l'on parle d'identification, on suppose que le problème est fermé, c'est-à-dire que toute personne qui utilise le système possède un modèle dans la base de données.

Dans ce chapitre, nous présentons quelques exemples du mode d'identification. Nous exécutons un programme qui trace la courbe qui représente les distances de Hamming de plusieurs iris dans la figure V.23.

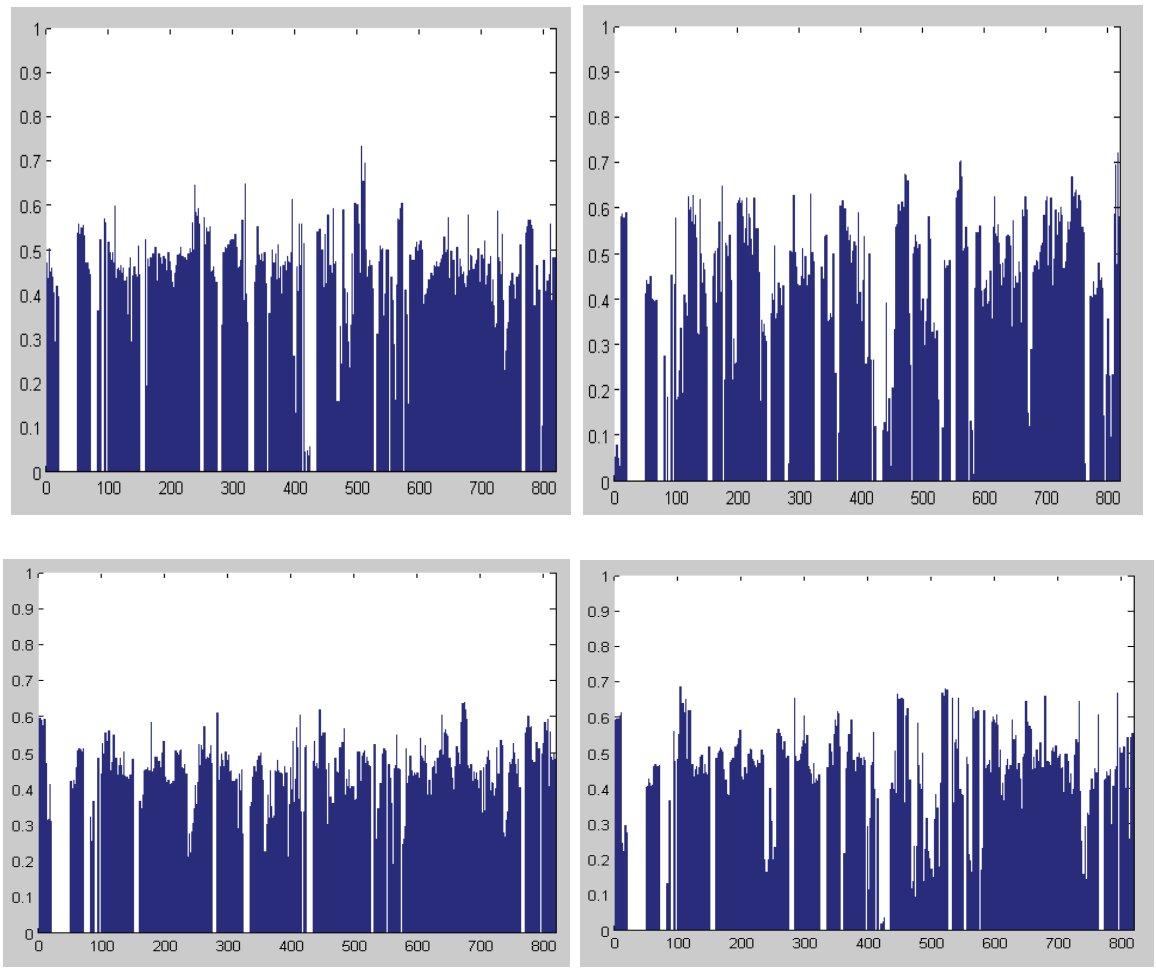


Figure V.23. Des exemples de la représentation des distances de Hamming de l'identification d'iris (One to All).

En mode vérification, l'utilisateur propose une identité au système qui doit vérifier que l'identité de l'individu est bien celle proposée. Il suffit donc de comparer le signal avec un seul des modèles présents dans la base de données (problème de type 1 :1). Dans ce mode, on parle de problème ouvert puisque l'on suppose qu'un individu qui n'a pas de modèle dans la base de données (imposteur) peut chercher à être reconnu.

Dans ce chapitre, nous présentons quelques exemples du mode de vérification. Nous exécutons un programme qui donne la valeur de la distance de Hamming de deus iris.

Ces valeurs de la distance de Hamming sont supérieures à zéros qui indiquent que les deux iris ne sont pas identiques

```
dist =

    0.6068
```

```
dist =

    0.6495
```

Ces valeurs de la distance de Hamming sont égales ou presque égale à zéros qui indiquent que les deux iris sont identiques.

```
dist =

     0
```

```
dist =

    0.0442
```

Pour tracer le ROC, il faut mesurer le taux de False Reject et le taux de False Accept.

- Pour une base de donnée qui contient 2 personnes, chaque personne a 10 images (6 pour l'apprentissage et 4 pour le test), alors le nombre de vrai authentique (Génuine) sont égale à (le nombre de l'apprentissage *le nombre de test*le nombre des personnes) 48 Génuine et le nombre des imposteurs sont égale à (le nombre de l'apprentissage *le nombre de test*le nombre des personnes* (le nombre des personnes-1)) 48 imposteurs.

Selon le seuil qu'on choisie, il y a différentes courbes des différents seuils

- un exemple de la courbe de ROC pour un seuil égale à 0.1

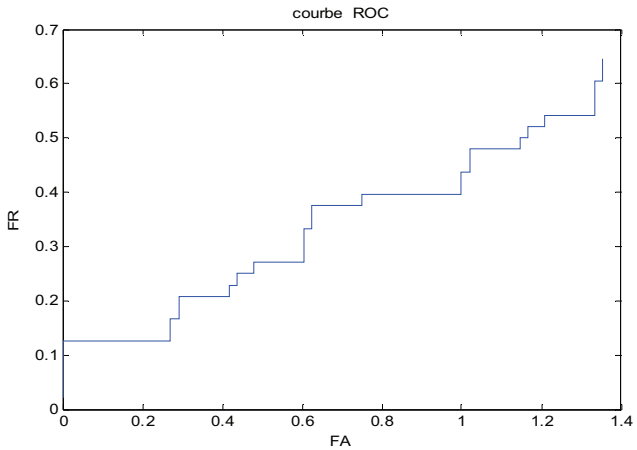


Figure V.24. La courbe ROC pour seuil=0.1 (2 personnes).

- un exemple de la courbe de ROC pour un seuil égale à 0.5

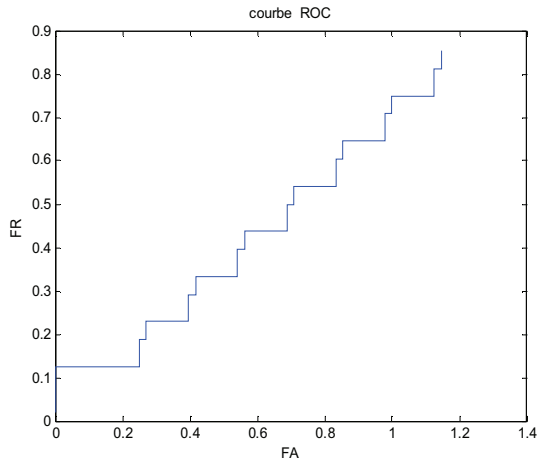


Figure V.25. La courbe ROC pour seuil=0.5 (2 personnes).

- un exemple de la courbe de ROC pour un seuil égale à 0.8

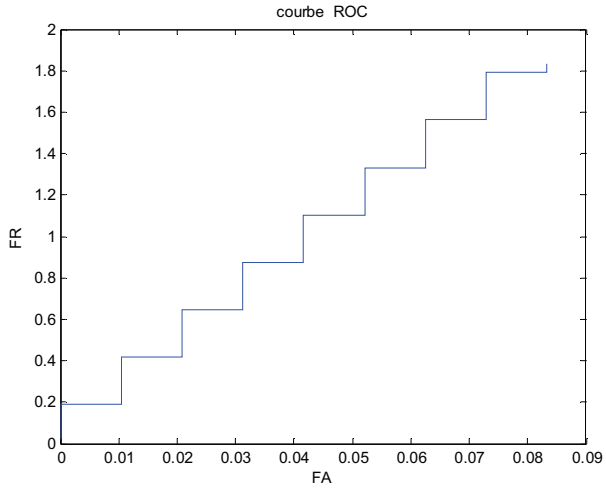


Figure V.26. La courbe ROC pour seuil=0.8 (2 personnes).

➢ Pour une base de données qui contient 10 personnes, chaque personne à 10 images, alors le nombre de vrai authentique (Génuine) sont égal à 240 Génuine et le nombre des imposteurs sont égal à 2160 imposteurs.

- un exemple de la courbe de ROC pour un seuil égale à 0.1

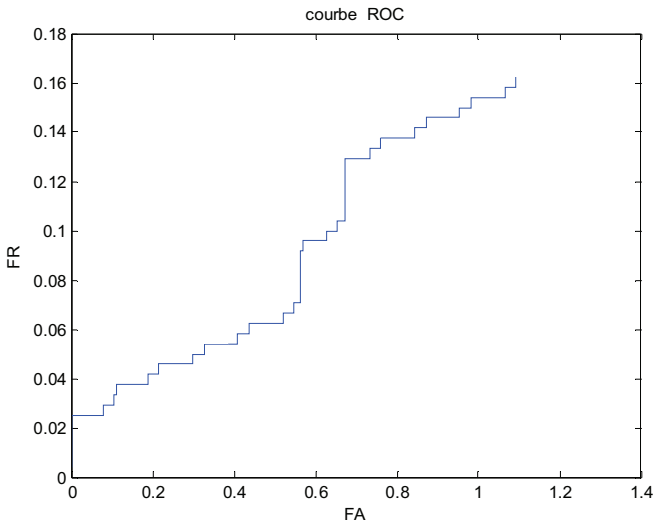


Figure V.27. La courbe ROC pour seuil=0.1 (10 personnes).

- un exemple de la courbe de ROC pour un seuil égale à 0.5

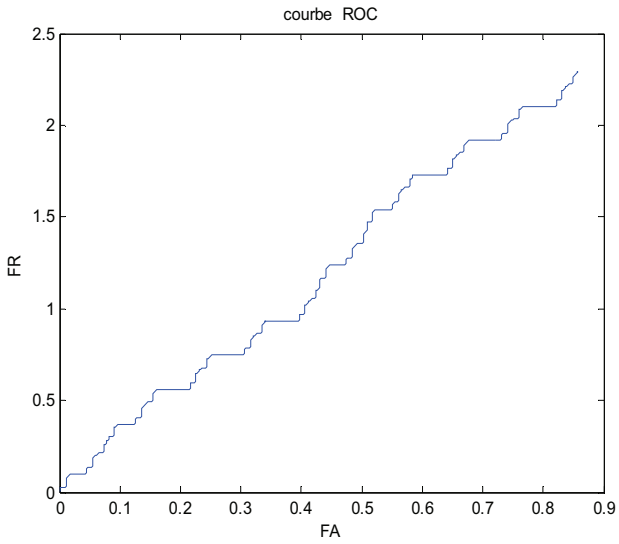


Figure V.28. La courbe ROC pour seuil=0.5 (10 personnes).

- un exemple de la courbe de ROC pour un seuil égale à 0.8

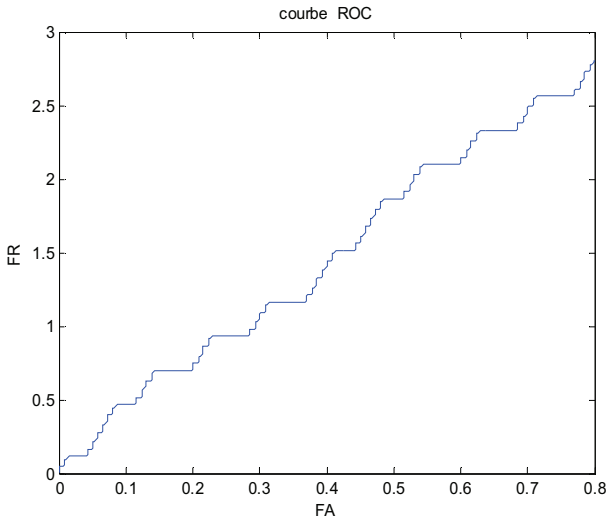


Figure V.29. La courbe ROC pour seuil=0.8 (10 personnes).

- Pour une base de données qui contient 90 personnes, chaque personne à 10 images, alors le nombre de vrai authentique (Génuine) sont égal à 2160 Génuine et le nombre des imposteurs sont égal à 192240 imposteurs.

- un exemple de la courbe de ROC pour un seuil égale à 0.1

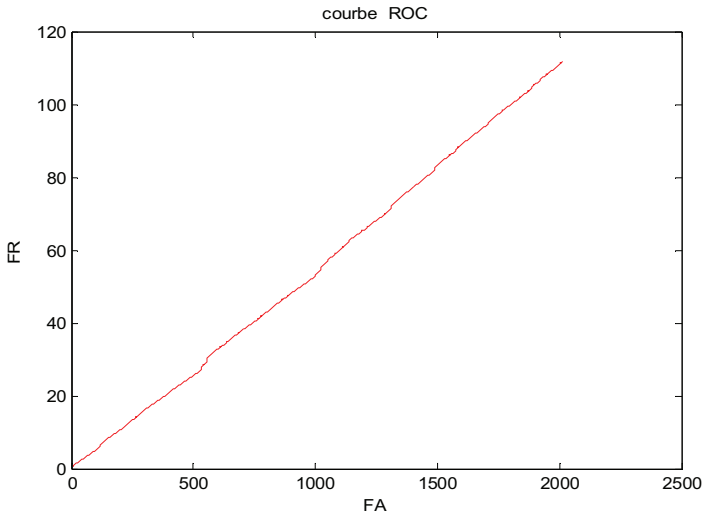


Figure V.30. La courbe ROC pour seuil=0.1 (90 personnes).

- un exemple de la courbe de ROC pour un seuil égale à 0.5

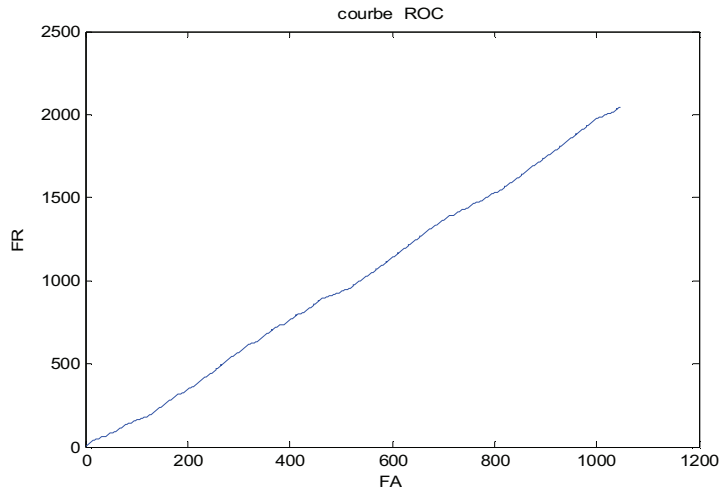


Figure V.31. La courbe ROC pour seuil=0.5 (90 personnes).

- un exemple de la courbe de ROC pour un seuil égale à 0.8

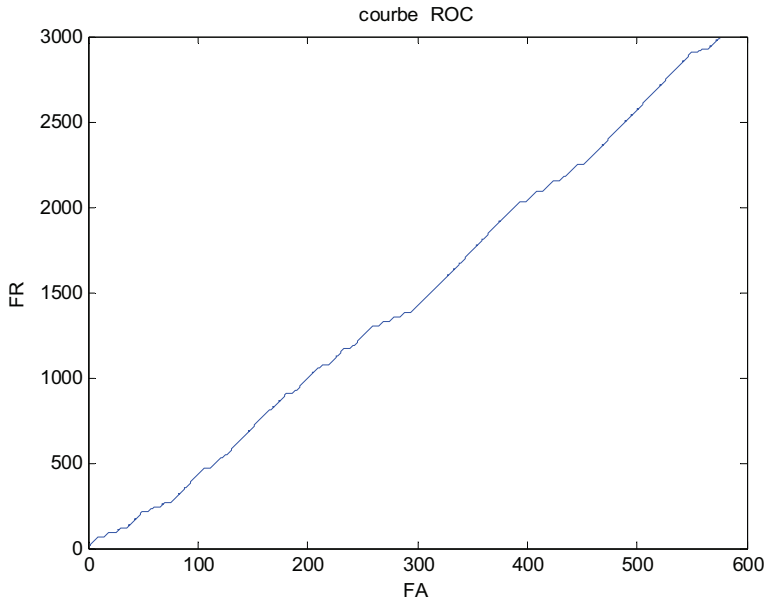


Figure V.32. La courbe ROC pour seuil=0.8 (90 personnes)

On note que la variation de seuil implique une variation en FA et FR, Quand on augmente le seuil les personnes sont plus acceptées par le système et vice-versa. Donc pour un système plus performant, il faut diminue le seuil et cela pour attendre un système plus sécurisé.

V.9. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté l'approche globale et détaillé du système de reconnaissance de l'iris proposé pour obtenir nos résultats de différents processus typiques que nous avons vue dans le chapitre précédent.

Au début, nous avons présenté l'algorithme de segmentation .cet algorithme est basé sur la transformée de Hough circulaire qui fait la localisation de deux cercles de l'iris (pupille-iris et iris-blanc), la transformée de Hough linéaire qui isole les régions non iris (les deux paupières) et le seuillage est utilisé pour isoler les cils et les réflexions.

Ensuite, on a fait la normalisation qui normalise le disque de l'iris segmenté pour illustrer la partie de l'iris de l'œil humain qui basé sur la méthode de normalisation développé par Daugman .

Les caractéristiques de la texture de l'iris normalisée sont extraites par l'utilisation des filtres de Gabor pour coder uniquement l'information de phase sur deux bits pour chaque pixel.

Finalement, nous avons utilisé la dernière étape, cette étape est le processus de comparaison qui se base sur la distance de Hamming. Ce processus consiste à comparer les codes générer et mesure le taux de dissimilarité entre deux codes comparés.la comparaison inclut la courbe ROC qui trace le taux de faux rejet en fonction du taux de fausse acceptation.

Chapitre VI:
Conclusion générale

Conclusion générale :

Un système biométrique est essentiellement un système qui reconnaît des personnes à base d'un vecteur extrait d'une caractéristique spécifique, physiologique ou comportementale, qu'elles possèdent. Ce vecteur de caractéristique est, généralement, stocké dans une base de données ou sur une carte à puce donnée à l'individu, après avoir été extrait pour la vérification et l'identification. Ainsi, les systèmes biométriques sont de plus en plus adaptés dans de nombreuses applications professionnelles (par exemple les aéroports, les prisons et les banques etc.) puisqu'elles assurent la présence du propriétaire au moment de la transaction.

Dans notre projet nous avons étudié les systèmes biométriques basés sur la reconnaissance de l'iris utilisent des informations uniques présentes sur la texture de l'iris qui est développé par le professeur John Daugman basant sur l'analyse par ondelettes complexes de Gabor.

La reconnaissance de l'iris est plus performante que d'autres modalités biométriques comme la reconnaissance du visage, la reconnaissance de l'empreinte digitale et la reconnaissance de l'empreinte palmaire etc. L'iris est le seul organe interne humain visible de l'extérieur, localise derrière la corné qui est un miroir hautement réfléchissant. Il est motivé par la précision et la richesse de sa texture, ainsi que sa stabilité durant la vie d'une personne. Pourtant, reconnaitre les personnes par leurs iris n'est pas facile car plusieurs bruits peuvent interférer avec l'image de la texture de l'iris, l'image d'iris acquise est alors souvent perturbée par des reflets et est aussi couvert par des paupières et des cils.

Dans ce mémoire, nous avons présenté et détaillé les approches de système de reconnaissance de l'iris basée sur les filtres de Gabor. Les tests d'évaluation des performances de ce système sont effectués en utilisant un échantillon qui contient 940 images de 94 personnes de la base de données CASIA- IrisV4. Les expérimentations sont effectuées en utilisant MATLAB.

L'analyse des résultats obtenus lors de chaque étape du système a montré différentes conclusions intéressantes. Premièrement, l'étape de segmentation de l'iris est critique pour le reste du processus de la reconnaissance. Qui localise le disque de l'iris et isole les régions non-iris (les cils, les paupières et les réflexions) basé sur la transformée de Hough. Deuxièmement, l'étape de la normalisation qui normalise le disque de l'iris segmenté pour

illustrer la partie de l'iris de l'œil humain plus clairement. Ensuite l'étape de l'extraction des caractéristiques de la texture de l'iris normalisée qui code uniquement l'information de phase sur deux bits pour chaque pixel. Finalement, et particulièrement dans le mode identification où le système doit effectuer l'opération de comparaison avec l'ensemble des codes de références enregistrés sur la base de données basé sur la distance de Hamming. Ce processus consiste à comparer les codes générer et mesure le taux de dissimilarité entre deux codes comparés pour tracer la courbe ROC.

Les résultats obtenus lors des expérimentations effectuées montrent que cette approche proposée est intéressante pour l'analyse de la texture de l'iris.

Ce travail fond de l'iris un trait biométrique attractif et fiable pour les applications de sécurisation et d'identification par apport les autres modalités, malgré qu'il est très couteux.

Bibliographie

[1] N. MORIZET, *Reconnaissance Biométrique par Fusion Multimodale du Visage et de l'Iris*, thèse doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris 2009.

[2] H. T. VINH, H.V. DANG, I. H. VIETNAM. *Biométrie pour l'Identification*, rapport final du tipe, Institut de la Francophonie pour l'Informatique, 2005.

[3] S.BOUDJELLAL, *Détection et identification de personne par méthode biométrique*, Mémoire de magister en Electronique, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou (UMMTO).

[4] CLUSIF, *Techniques de contrôle d'accès par biométrie*, Commission Techniques de Sécurité Physique, Dossier technique France, 2003, http://www.clusif.asso.fr

[5] R. LEMOUCHI, *La Reconnaissance de l'Iris Basée sur l'Orientation Locale du Signal Monogène*, Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister en informatique, Ecole nationale Supérieure d'Informatique (ESI) Oued-Smar Alger, 2012.

[6] E. KRICHEN, *Reconnaissance des personnes par l'iris en mode dégradé*, Thèse de doctorat, Université d'Evry-Val d'Essonne, 2007.

[7] F. PERRONNIN et J DUGELAY, *Introduction à la Biométrie Authentification des Individus par Traitement Audio-Vidéo*, Institut Eurécom, 2002.

[8] H.P. C. P. MARTINS, *Towards Non-Cooperative Biometric Iris Recognition*, Thèse de doctorat, University of Beira Interior Department of Computer Science, octobre 2006.

[9] P.HUGO and L. A. ALEXANDRE. *UBIRIS: A noisy iris image database*. Technical Report, University of Beira Interior, Département of Computer science, January 2005.

[10] J. G. DAUGMAN. *Probing the Uniqueness and Randomness of Iris Codes: Results From 200 Billion Iris Pair Comparisons*. Proceedings of the IEEE, November 2006.

[11] R. P. WILDES, membre, IEEE. *Iris recognition : an emerging biometric technology*. In Proceedings of the IEEE, September 1997.

[12] J. CANNY. *A computational approach to edge detection*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, November 1986.

[13] O. Richard, Duda and E.Peter. *Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures.* Hart Stanford Research Institute, January 1972.

[14] L. Liam, A. Chekima, L. Fan and J. Dargham. *Iris recognition using self-organizing neural network*. Proceedings of the IEEE Student Conference on Research and Developing Systems, June 2002.

[15] M. Nabti and A. Bouridane. *An effective and fast iris recognition system based on a combined multiscale feature extraction technique*. Pattern Recognition, 2008.

[16] L. MASEK. *Recognition of Human Iris Patterns for Biometric Identification*, **(**Un rapport for the Bachelor of Engineering degree of the School of Computer Science and Software Engineering**)**, The University of Western Australia, 2003.

[17] J. G. DAUGMAN. *High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, November 1993.

[18] K.W. BOWYER, K.HOLLINGSWORTH and P. J. FLYNN. *Image Understanding for Iris Biometrics*, Department of Computer Science and Engineering University of Notre Dame, Indiana, May 2008.

[19] F. PERRONNIN et J. DUGELAY, *Introduction à la Biométrie Authentification des Individus par Traitement Audio-Vidéo,* Institut Eurécom Multimedia Communications Department, 2002.

[20] http://www.idealtest.org/dbDetailForUser.do?id=4.

[21] www.edu.upmc.fr/sdi/signal-images/biometrie/Biométrie%20IRIS.ppt.

]22 [www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/.