



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

MEMOIRE DE MAGISTER

Présenté par

AHMED ZAID Aghiles

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Electronique

Option télédétection

Dirigé par

Pr AMEUR Soltane

Intitulé

Segmentation d'images appliquée en biométrie :

Cas des images de l'iris

Devant le jury composé de:

- 1. Président : LAGHROUCHE Mourad Professeur -UMMTO**
- 2. Rapporteur : AMEUR Soltane Professeur -UMMTO**
- 3. Examineur : LAHDIR Mourad Maitre de conférences classe A-UMMTO**
- 4. Examineur : ZIANI Arezki Maitre de conférences classe A-UMMTO**
- 5. Examinatrice : AMIROU Zahia Maitre de conférences classe B-UMMTO**

Soutenu le : 27 / 06 / 2013

DEDICACES

A mes parents,

Sans leurs soutiens et leurs conseils, mes accomplissements n'auraient pas eu lieu, ils ont été derrière moi dans chacun des mes pas tout au long de ma vie, ma plus profonde gratitude leurs ai exprimé, aucun mot ne pourrai qualifier l'estime que je leur porte ni le bien qu'ils m'ont fait, apporter et donner.

A mon frère,

Le meilleur exemple, un modèle que j'ai toujours voulu suivre durant mes accomplissements, merci pour tout les conseils que tu ma soigneusement prodigués.

A Katia,

Un soutien infailible, je te trouverai toujours dans les moments les plus important de ma vie, ta présence, ta manière de me pousser à aller de l'avant et de me booster ont fait de toi tout ce que tu représenteras à mes yeux.

A tout ceux et celles qui m'ont apporté la moindre aide ou soutien, il se reconnaitra.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Mr le professeur AMEUR Soltane qui m'a guidé dans le choix du thème de recherche et qui a suivi mon travail tout au long de son exécution.

Un grand merci aux membres du jury composé de Pr LAGHROUCHE Mourad, Dr LAHDIR Mourad, Dr ZIANI Arezki, Dr AMIROU Zahia, qui ont accepté d'évaluer et d'examiner mon travail.

Je manifeste ma profonde reconnaissance à Mme AMEUR Zohra, directrice du laboratoire d'analyse et de modélisation des phénomènes aléatoires (LAMPA) qui m'a accueilli pour réaliser ce travail.

Je n'oublierai pas d'exprimer un profond respect à tous mes professeurs qui m'ont inculqué les fondements scientifiques tout au long des cursus d'ingénieur et de magister.

Segmentation d'images appliquée en biométrie : cas des images de l'iris

**Aghiles AHMED ZAID sous la direction du Pr. Soltane AMEUR
Laboratoire d'Analyse et de Modélisation des Phénomènes Aléatoires (LAMPA)**

Résumé :

Il est largement admis que malgré les difficultés liées à la matérialisation de ses contours, l'iris constitue un puissant outil dans les méthodes d'identification des personnes fondées sur des considérations biométriques. A ce titre, la segmentation robuste des images de l'iris joue un rôle déterminant dans le processus de reconnaissance par l'iris.

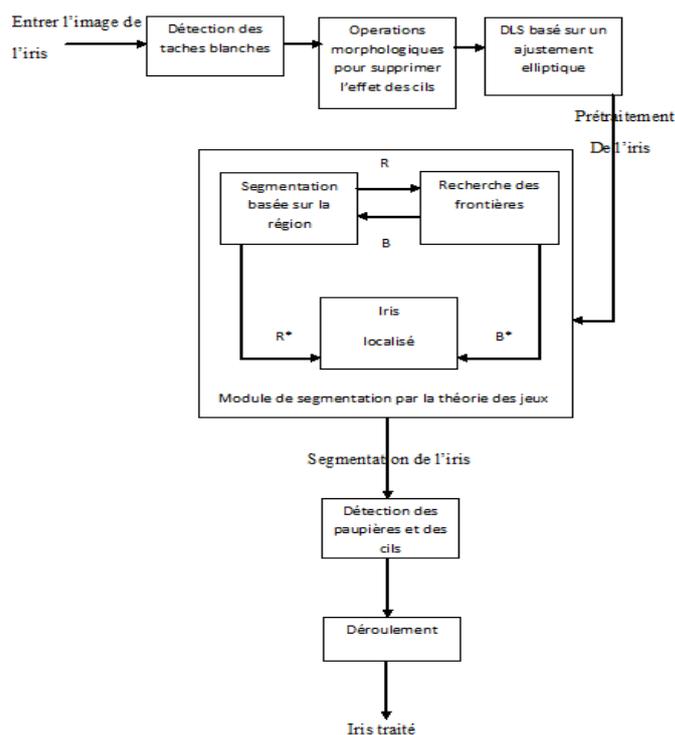
Cependant, de nombreux facteurs contraignants, tels que les déformations non linéaires, la dilatation de la pupille, le mouvement des taches, les mouvements de rotation de la tête, les reflets de la lumière, la non uniformité des intensités, le faible contraste des images, les angles de caméra et la diffusion, ainsi que la présence des cils et des paupières, peuvent compromettre l'efficacité des méthodes conventionnelles de localisation de la frontière iris/pupille fondées sur des approches de détection de frontière par région ou par gradient.

L'apport du présent travail consiste en le développement d'une méthode de segmentation de l'iris qui individualise la frontière entre l'iris et la pupille sur la base d'une technique fondée sur la théorie des jeux à partir d'une image non-idéale de l'iris.

Nous appliquons une procédure de prise de décision fondée sur la théorie des jeux tout en modifiant l'algorithme de Chakraborty et Duncan. Celle-ci intègre la segmentation par approche région et la méthode de recherche de frontières fondée sur le gradient, combinant ainsi les puissances complémentaires de chacune de ces méthodes prises individuellement.

Cette démarche intégrée constitue une approche unifiée très robuste pour le bruit et les difficultés de localisation comme elle est moins affectée par les faibles frontières entre l'iris et la sclérotique.

L'efficacité de cette démarche qui donne des résultats intéressants sera mise en œuvre sur des images appropriées de l'iris puisées de bases de données telles que CASIA Version 3.



Nous traiterons de notions fondamentales importantes à l'effet d'introduire les principales définitions de la biométrie, les principes de fonctionnement des systèmes biométriques, ainsi que les outils nécessaires à la mesure de leurs performances. Nous accorderons une attention plus particulière à la reconnaissance par l'iris que pour les autres méthodes vu que cette thèse a pour objectif l'étude de cette caractéristique, pour nous étaler enfin sur les difficultés majeures liées à la reconnaissance par l'iris qui font l'objet de recherches actuelles.

Il sera question de l'acquisition d'images et des traitements opérés durant la phase de la reconnaissance par l'iris, on parlera des quatre étapes primordiales du processus de la reconnaissance par l'iris, à savoir la segmentation, la normalisation, l'extraction du gabarit et la mise en correspondance. Ensuite, nous présenterons les méthodes qui sont à la base de la biométrie de l'iris, on citera notamment « l'iriscode » de Daugman ou encore les méthodes Wildes, Lim, etc.

Nous développerons la méthode de segmentation d'iris par la théorie des jeux, nous utiliserons celle-ci dans l'objectif d'une prise de décision dans le cadre d'une segmentation par level-set en parallèle à une autre méthode de segmentation par approche région, le tout sur des images issues de différentes bases de données comme CASIA v3, WVU, des images qui ont toutes subies des prétraitements et avec des conditions de capture différentes les unes des autres.

Mot clés : Biométrie, reconnaissance par l'iris, segmentation d'iris, théorie des jeux, équilibre de Nash, méthode des level-set.

Introduction	1
Chapitre I : Les systèmes biométriques	
I. Préambule	5
I.1 Les systèmes biométriques	7
I.2 Les techniques biométriques	10
I.3 Présentation des différentes techniques biométriques	10
I.3.1 L’empreinte digitale	10
I.3.2 L’iris	11
I.3.3 La géométrie de la main	11
I.3.4 Le visage	11
I.3.5 La rétine	12
I.3.6 La reconnaissance vocale	12
I.3.7 La dynamique de frappe au clavier	12
I.3.8 La dynamique de la signature	13
I.4 Applications de la biométrie	13
I.5 Evaluation des performances d’un système biométrique	14
I.5.1 Intrusivité	14
I.5.2 Fiabilité	15
I.5.3 Coût	15
I.5.4 Effort	15
I.6 Evaluation de la précision d’un système biométrique	16
I.6.1 Evaluation de l’identification	16
I.6.2 Evaluation de la vérification	17
I.7 Discussion	21

Chapitre II : Systèmes de vérification de l'iris

II. Préambule	23
II.1 Acquisition de l'iris	24
II.2 Architecture d'un système d'iris	27
II.2.1 La segmentation de l'iris	27
II.2.2 La normalisation de l'iris	28
II.2.3 L'extraction du gabarit de l'œil	28
II.2.4 La mise en correspondance	28
II.3 Les difficultés de la reconnaissance par l'iris	28
II.4 Les méthodes de reconnaissance par l'iris	29
II.4.1 La méthode Daugman	29
II.4.1.1 Normalisation de l'iris : méthode pseudo polaire	30
II.4.1.2 Extraction des caractéristiques : utilisation du filtre de Gabor	31
II.4.1.3 Calcul des scores : La distance de Hamming	34
II.4.2 La méthode Wildes	35
II.4.3 La méthode Miyazawa	36
II.4.4 L'approche IriTech : l'utilisation de l'ondelette de Haar	36
II.4.5 L'approche CASIA : les mesures ordinales.....	37
II.4.6 La méthode Masek	37
II.4.7 Le système OSIRIS	38
II.5 Autres méthodes et approches	40
II.5.1 La méthode de Boles et Boashash	40
II.5.2 L'approche de Sanchez-Rellio et al	40
II.5.3 L'approche de Lim et al	40

II.5.4 L'approche de Ma et al	41
II.5.5 L'approche Sudha	41
II.5.6 Les bases de données publiques	41
II.6 Discussion	44
Chapitre III : Segmentation de l'iris par la théorie des jeux	
III. préambule	46
III.1 Méthode retenue	47
III.2 Algorithme de segmentation de l'iris	49
III.2.1 Suppression de bruit et réduction des reflets spéculaires et cils	49
III.2.2 Détection de l'iris et de la pupille en utilisant la théorie des jeux	51
III.2.3 Acquisition des données du contour iris/pupille à l'aide des méthodes des level set	53
III.2.4 Détection de bruit, amélioration et déroulement	58
III.2.5 Fonctionnement du codage et de la comparaison	60
III.3 Discussion	61
Chapitre IV :	
IV. Préambule	63
IV.1 Outil de développement	63
IV.2 Images test	63
IV.2.1 Quelques résultats et interprétation	65
IV.2.2 Interprétations et discussions	67
IV.3 Discussion	71
Conclusion	72

Figure 1 : Les techniques biométriques	6
Figure 2 : Principaux modules d'un système biométrique ainsi que ses différents modes	8
Figure 3 : Distributions des taux de vraisemblance des utilisateurs légitimes et des imposteurs d'un système biométrique	18
Figure 4 : Courbe ROC (Receiver Operating Characteristics).....	19
Figure 5 : Image acquise en lumière visible conditions normales d'acquisition.....	25
Figure 6 : Image acquise en lumière visible avec l'utilisation d'un flash et d'une lampe de bureau	25
Figure 7 : Image acquise en infrarouge	26
Figure 8 : Image de l'œil (en haut à gauche), image d'iris segmenté (en haut à droite) Image d'iris normalisé (en bas)	31
Figure 9 : Banque de filtres de Gabor suivant plusieurs orientations (a) et (b)	32
Figure 10 : Principe de codage de phase sur quatre quadrants en 2 bits	33
Figure 11 : Exemples d'iriscodes générés par la méthode Daugman	33
Figure 12 : Découpage de l'iris en secteurs par Iritech	36
Figure 13 : Module Osiris	39
Figure 14 : Exemple tiré de la base de données CASIA v1.....	42
Figure 15 : Exemple de base de données UPOL	42
Figure 16 : Exemple de base de données UBATH	42
Figure 17 : Exemple de base de données UBIRIS	43
Figure 18 : Exemple de base de données ICE	43
Figure 19 : Tableau récapitulatif des principales méthodes	47
Figure 20 : Algorithme de segmentation de l'iris par la théorie des jeux	50
Figure 21 : Frontière estimée iris/pupille	58
Figure 22 : Déroulement et amélioration de l'image de l'iris	59
Figure 23 : Amélioration du contraste en utilisant la technique d'égalisation d'histogramme cumulatif local et de réduction de bruit avec filtre de Wiener 2D	59
Figure 24 : Images prétraitées de la base de données CASIA	64
Figure 25 : Images prétraitées de la base de données WVU	64
Figure 26 : Segmentation de la pupille en utilisant une approche d'intégration basée sur la théorie des jeux (image CASIA ver3)	65

Figure 27 : Segmentation de l’iris utilisant une approche basée sur la théorie des jeux (image CASIA ver3)66

Figure 28 : Segmentation de l’iris utilisant une approche basée sur la théorie des jeux (image WVU)67

Figure 29 : (a) segmentation d’image CASIA ver 3 (b) segmentation d’image WVU68

Figure 30 : Efficacité de la méthode basée sur la théorie des jeux69

Figure 31 : Performance de la méthode dans différentes situations de bruits.....70

Introduction générale

La variété des systèmes de reconnaissances biométriques disponibles se basent sur l'étude des différences aléatoires d'un aspect biologiques entre des personnes distinctes afin d'élaborer un système de reconnaissance fiables pour vérifier ou trouver l'identité des individus. L'idée principale était d'assurer un système de contrôle d'accès plus robuste que ceux existants déjà et qui se limitaient à un mot de passe ou une carte d'accès.

Pour faire face aux impostures et aux ruses en tous genres, la biométrie fut la meilleure des solutions. En effet, l'utilisation de signatures spéciales comme la reconnaissance faciale, l'empreinte digitale, la rétine ou encore l'iris a rendu cette optique plus envisageable que celles utilisées auparavant et surtout plus sécurisante et fiable.

Toutefois, l'aléa nécessairement présent dans l'analyse biométrique engendre un problème de taille : les formes biométriques étudiées dans les systèmes de reconnaissance d'identité doivent garantir des signatures quasiment identiques pour une même personne quelles que soient les conditions physiques extérieures lors du test. Prenons par exemple la reconnaissance faciale. Les visages sont des objets en trois dimensions très dynamiques : leurs images de projection sur des plans peuvent varier en fonction de l'angle de vue, de l'éclairage, de l'âge, etc. Les expressions du visage sont susceptibles de modifier considérablement les signatures biométriques d'une même personne.

Le constat fut mitigé car, en utilisant les algorithmes les plus développés, il suffisait d'introduire deux images différentes prises à plus d'une année d'intervalle pour se rendre compte que cette méthode présentait un taux d'erreur élevé. Il en est de même pour la reconnaissance vocale.

Du coup, la recherche d'une alternative meilleure à ces techniques a conduit à envisager une autre optique plus sûre au niveau de la fiabilité et de la variabilité sur le temps. Il s'est trouvé que l'iris constitue le meilleur compromis à ce problème, présentant plus d'avantages que d'inconvénients à l'exploitation et surtout se démarquant nettement des autres systèmes biométriques.

Si on analyse de plus près cette possibilité, on constate que le profil d'un iris contient beaucoup de ligaments courbés, de sillons, de stries, d'auréoles, de tâches, etc.

Introduction générale

Des études biologiques ont montré que la diversité de ces traits garantit l'unicité d'un iris humain : les deux iris (droit et gauche) d'une même personne ne sont jamais identiques, de même que les iris de jumeaux. Malgré sa petite taille, l'iris a l'avantage de présenter une grande marge de profils possibles dont la variation entre personnes est très importante. De plus, étant un organe interne de l'œil, l'iris est bien protégé du milieu extérieur et sa modification chirurgicale présente de très grands risques.

Un système de reconnaissance par l'iris peut difficilement être trompé à partir d'une photo ou d'une lentille de contact reproduisant l'iris de la personne dont on souhaite usurper l'identité, la résolution demandée étant très importante.

La première proposition d'utilisation du motif de l'iris comme moyen de reconnaissance des individus remonte à 1949 et est attribuée à James Doggarts. En 1986, les ophtalmologistes Aran Safir et Leonard Flom déposèrent un brevet sur cette idée et invitèrent John Daugman à travailler sur un algorithme d'identification basé sur le motif de l'iris. Breveté en 1994, cet algorithme reste la base de la quasi-totalité des systèmes actuels de reconnaissance par l'iris.

C'est dans ce contexte que nous situons notre modeste travail qui vise à contribuer à l'amélioration du processus de reconnaissance par l'iris en intervenant sur l'un des maillons du système biométrique : la segmentation des images de l'iris. En d'autres termes, nous nous proposons de développer une méthode qui facilitera davantage l'extraction de l'iris à partir d'images de l'œil. Cette méthode que l'on peut qualifier d'hybride, en ce sens, qu'elle combine deux approches, contours et régions, cherche à affiner la détermination des contours interne [iris/pupille] et externe [iris/sclérotique] de l'iris en nous appuyant sur la théorie des jeux. Le présent rapport, structuré en quatre chapitres, rend compte du travail accompli.

Dans le premier chapitre, nous traiterons de notions fondamentales à l'effet d'introduire les principales définitions de la biométrie, les principes de fonctionnement des systèmes biométriques et les outils nécessaires à la mesure de leurs performances.

Introduction générale

Nous accorderons plus d'intérêt à la reconnaissance par l'iris qu'aux autres méthodes étant donné que cette thèse a pour objet l'étude de cette caractéristique, pour nous étaler ensuite sur les difficultés majeures liées à la reconnaissance par l'iris et qui font l'objet de recherches actuelles.

Le second chapitre sera consacré à l'acquisition d'images et aux traitements opérés durant la phase de la reconnaissance par l'iris. On y évoquera les quatre étapes primordiales du processus de la reconnaissance par l'iris : la segmentation, la normalisation, l'extraction du gabarit et la mise en correspondance. Enfin, nous présenterons les méthodes à la base de la biométrie de l'iris, notamment « l'iriscode » de Daugman, les méthodes Wildes, Lim, etc.

Dans le troisième chapitre, nous développerons la méthode de segmentation de l'iris par la théorie des jeux appliquée à la prise de décision dans le cadre d'une technique de segmentation par courbes de niveau (level set) fonctionnant en parallèle avec une autre méthode de segmentation fondée sur l'approche par régions, le tout travaillant sur des images issues de diverses bases de données comme CASIA v1, UBATH, OSIRIS, ICE et qui ont subies des prétraitements avec des conditions de capture différentes les unes des autres.

Dans le quatrième et dernier chapitre, nous procéderons à une série de tests sur des images issues des bases de données citées ci-dessus, lesquelles seront analysées et discutées pour ensuite terminer ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Les systèmes biométriques

I. Préambule

La biométrie consiste à identifier une personne à partir d'une ou de plusieurs caractéristiques physiologiques (empreintes digitales, visage, iris, contour de la main, etc.), ou comportementales (signature, démarche, etc.). Etymologiquement, la biométrie humaine est synonyme d'anthropologie physique. Une autre définition de la biométrie est donnée par Roethenbaugh : «La biométrie s'applique à des particularités ou des caractères humains uniques en leur genre et mesurables, permettant de reconnaître ou de vérifier automatiquement l'identité ». Aussi, la biométrie représente, d'une certaine manière, l'analyse mathématique des caractéristiques biologiques sus citées dans le but de déterminer l'identité d'une personne de manière irréfutable.

Depuis quelques années, les systèmes biométriques ont pris un essor considérable, l'apparition de l'ordinateur et sa capacité à traiter et à stocker les données ayant permis la création des systèmes biométriques informatisés. Il existe plusieurs caractéristiques physiques uniques pour chaque individu, ce qui explique la diversité des systèmes appliquant la biométrie, on citera notamment :

- L'empreinte digitale
- La géométrie de la main
- L'iris
- La rétine
- Le visage
- La reconnaissance vocale
- L'ADN
- La dynamique des signatures
- La dynamique de frappes au clavier

Loin d'être exhaustif, nous ne venons d'énumérer que ceux qui sont utilisés couramment dans le monde de l'industrie et de la vie courante.

Cela étant, nous traiterons en premier lieu de notions fondamentales à l'effet d'introduire les principales définitions de la biométrie, les principes de fonctionnement des systèmes biométriques, ainsi que les outils nécessaires à la mesure de leurs performances. Nous accorderons une attention plus particulière à la reconnaissance par l'iris qu'aux autres méthodes étant donné que ce travail a pour objet l'étude de cette caractéristique, pour déboucher sur les difficultés majeures liées à la reconnaissance par l'iris objet de recherches actuelles.

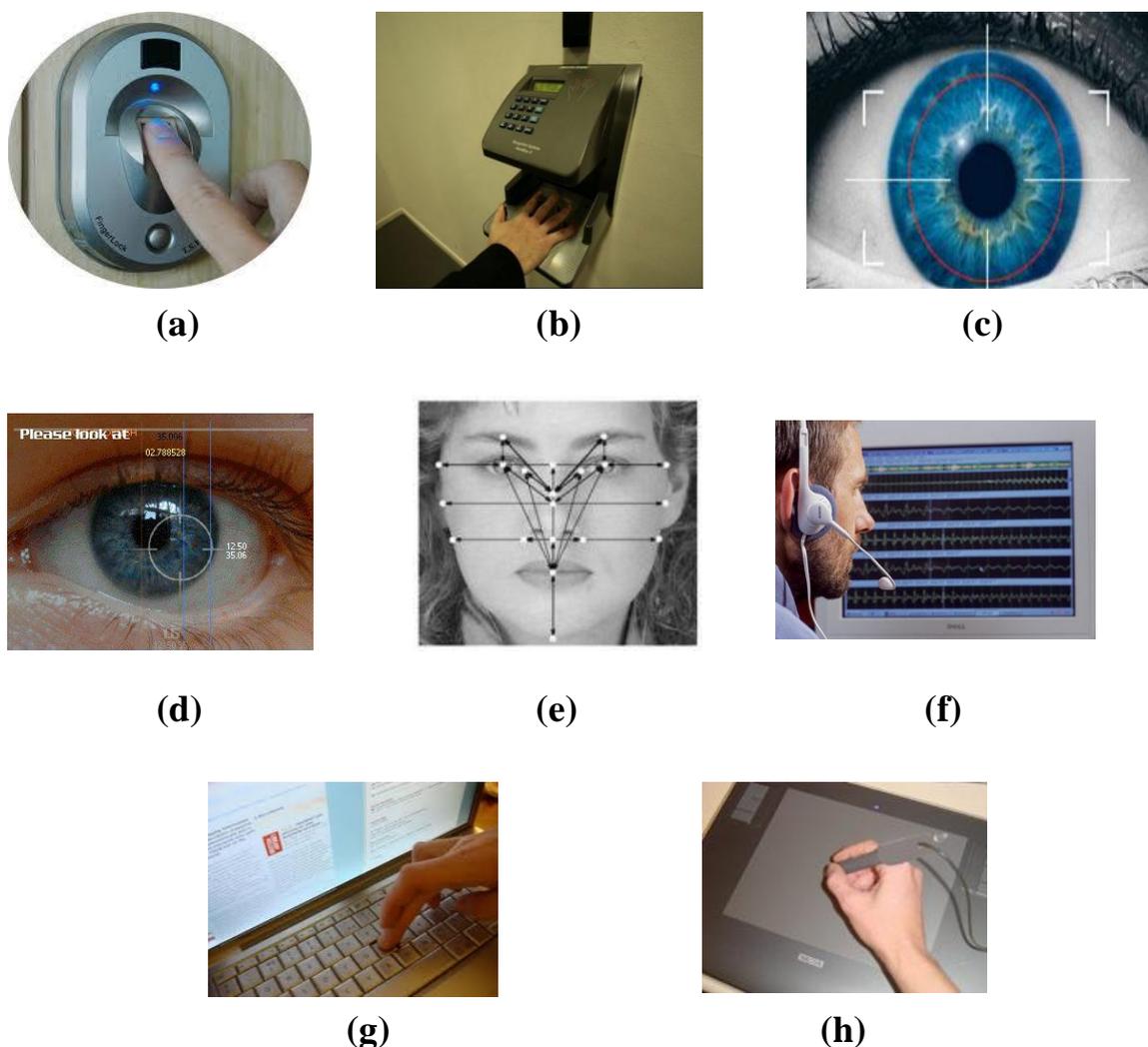


Figure 1 : Les techniques biométriques

I.1 Les systèmes biométriques

Un système biométrique est essentiellement un système de reconnaissance de formes qui utilise les données biométriques d'un individu. Selon le contexte de l'application, un système biométrique peut fonctionner en mode d'enrôlement ou en mode de vérification ou bien en mode d'identification :

Le mode d'enrôlement est une phase d'apprentissage dont le but est de recueillir des informations biométriques sur les personnes à identifier. Plusieurs campagnes d'acquisition de données sont à réalisées pour assurer la robustesse du système de reconnaissance aux variations temporelles des données.

Pendant cette phase, les caractéristiques biométriques des individus sont saisies par un capteur biométrique, puis représentées sous forme numérique (signatures), et enfin stockées dans la base de données. Le traitement lié à l'enrôlement n'a pas de contrainte de temps, puisqu'il s'effectue « hors-ligne ».

Le mode de vérification ou authentification est une comparaison un à un, dans lequel le système valide l'identité d'une personne en comparant les données biométriques saisie avec le modèle biométrique de cette personne stockée dans la base de données du système. Dans un tel mode, le système doit alors répondre à la demande de l'utilisateur du fait qu'il n'y ait pas d'usurpation ou autre préjudice du genre. Actuellement la vérification est réalisée via un numéro d'identification personnel, un nom d'utilisateur, ou bien une carte à puce.

Le mode d'identification est une comparaison "un à N", dans lequel le système reconnaît un individu en l'appariant avec un des modèles de la base de données. La personne peut ne pas être dans la base de données. Ce mode consiste à associer une identité à une personne.

Les différents modules composant un système biométrique et les étapes de leur fonctionnement sont représentés sur la figure 2 ci-dessous.

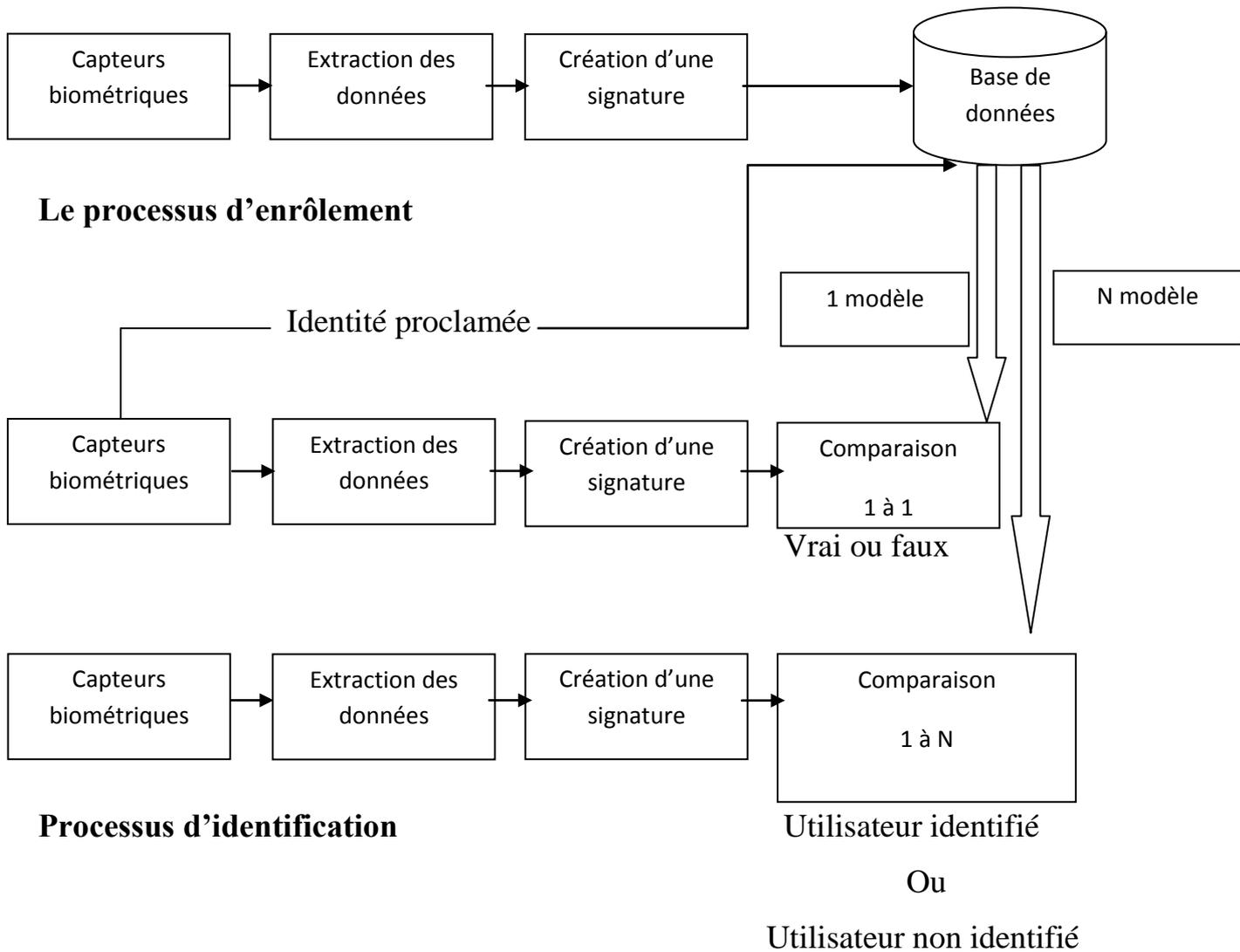


Figure 2 : Principaux modules d'un système biométrique ainsi que ses différents modes

- *Module capteur biométrique* : correspond à la lecture de certaines caractéristiques physiologiques, comportementales ou biologiques d'une personne, au moyen d'un terminal de capture biométrique (ou capteur biométrique).
- *Module extraction des données* : extrait les informations pertinentes à partir des données biométriques brutes, par exemple des images de visage ou des régions caractéristiques de visage.
- *Module création d'une signature* : crée un modèle numérique afin de représenter la donnée biométrique acquise. Ce modèle, appelé aussi signature, sera conservé sur un support portable (puce ou autre) ou dans une base de données.
- *Module comparaison* : compare les caractéristiques biométriques d'une personne soumise à contrôle (volontairement ou à son insu) avec les signatures mémorisées. Ce module fonctionne soit en mode vérification (pour une identité proclamée) ou bien en mode identification (pour une identité recherchée).
- *Module base de données* : stocke les modèles biométriques des utilisateurs enrôlés.

I.2 Les techniques biométriques

Les différentes techniques biométriques énumérées précédemment peuvent être rangées dans deux grandes catégories :

Celles liées à l'analyse morphologique, basée essentiellement sur l'identification des traits physiques qui, pour toute personne, sont uniques et permanents. Cette catégorie regroupe les empreintes digitales, l'iris de l'œil, la forme de la main, les traits du visage, le réseau veineux de la rétine, les veines de la main, etc.

Celles liées à l'analyse comportementale, axée sur l'analyse de certains comportements d'une personne. Cette catégorie regroupe la reconnaissance vocale, la dynamique de frappe au clavier, la dynamique de la signature, l'analyse de la démarche, etc.

Il existe d'autres aussi une autre catégorie de méthodes qui se consacrent à l'étude des caractéristiques biologiques telles que l'ADN, le sang, la salive, l'urine, les veines, etc.

I.3 Présentation sommaire des différentes techniques biométriques

I.3.1 L'empreinte digitale

Une empreinte digitale est constituée d'un ensemble de lignes localement parallèles formant un motif unique pour chaque individu. On distingue les stries (ou crêtes, ce sont les lignes en contact avec une surface au toucher) et les sillons (ce sont les creux entre deux stries). Les stries contiennent en leur centre un ensemble de pores régulièrement espacés.

Chaque empreinte possède un ensemble de points singuliers globaux (les centres et les deltas) et locaux (les minuties). Les centres correspondent à des lieux de convergence des stries tandis que les deltas correspondent à des lieux de divergence. L'acquisition des données est faite par un capteur électronique de type optique, thermique, capacitif ou à ultrasons.

I.3.2 L'iris

L'iris est une technique extrêmement fiable car il contient une infinité de points caractéristiques (ensemble fractal), la fraude étant néanmoins possible en utilisant des lentilles. L'acquisition de l'iris est effectuée au moyen d'une caméra pour pallier aux mouvements inévitables de la pupille. Elle est très sensible (précision, reflet, etc.) et relativement désagréable pour l'utilisateur car l'œil doit rester grand ouvert et il est éclairé par une source lumineuse pour assurer un contraste correct.

I.3.3 La géométrie de la main

Jusqu'à 1990, les caractéristiques de la main sont mesurées (forme de la main et des articulations, longueur et largeur des doigts, longueur inter articulations, etc.). Le taux d'erreur dans la reconnaissance est assez élevé, en particulier pour des personnes appartenant à une même famille en raison d'une forte ressemblance. De plus, la forme de la main évolue beaucoup avec l'âge.

I.3.4 Le visage

Plusieurs parties du visage (joues, yeux, nez, bouche, etc.) sont extraites d'une photo ou d'une vidéo et analysées géométriquement (distance entre différents points, positions, formes, etc.). Le problème de cette méthode vient des possibles perturbations pouvant transformer le visage (maquillage, faible luminosité, présence d'une barbe ou d'une lunette, expression faciale inhabituelle, changement avec l'âge, etc.).

I.3.5 La rétine

Cette technique se base sur le fait que les vaisseaux sanguins d'une rétine sont uniques pour chaque personne. L'utilisateur doit placer son œil face à un orifice de capture situé sur le dispositif d'acquisition. Un faisceau lumineux traverse l'œil jusqu'aux vaisseaux sanguins capillaires de la rétine. Le système localise et capture ainsi environ 400 points de référence. Cette technique requiert une collaboration étroite de la part de l'utilisateur, car il doit placer son œil extrêmement près de la caméra.

I.3.6 La reconnaissance vocale

Les caractéristiques du timbre de la voix et de la prononciation sont analysées. La qualité de l'enregistrement peut poser problème et il est possible de frauder avec un échantillon vocal préenregistré.

I.3.7 La dynamique de frappe au clavier

Un système basé sur la dynamique de frappe au clavier ne nécessite aucun équipement particulier, chaque ordinateur disposant d'un clavier. Il s'agit d'un dispositif logiciel qui calcule le temps où un doigt effectue une pression sur une touche et le temps où un doigt est dans les airs (entre les frappes). Cette mesure est captée environ mille fois par seconde.

La séquence de frappe est prédéterminée sous la forme d'un mot de passe. Initialement l'utilisateur doit composer son mot de passe à quelques reprises afin que soit constitué un gabarit de référence. Ce dispositif biométrique est utilisé comme méthode de vérification pour le commerce électronique et comme mécanisme de contrôle d'accès à des bases de données.

I.3.8 La dynamique de la signature

Il s'agit d'une analyse comportementale où différents éléments (mesure de la vitesse, ordre d'écriture, pression exercée, accélération, etc.) sont mesurés lors de la signature. La falsification est possible en passant par une phase d'apprentissage, la signature pouvant varier selon le stress de l'utilisateur.

I.4 Applications de la biométrie

On distinguera quatre groupes importants d'utilisateurs de ces différentes techniques biométriques. On parlera alors de service public, application de la loi, transaction commerciale et bancaire, accès physique et logique.

a) Service publique : utilisée surtout pour le contrôle automatique des entrées et sorties d'un territoire, le contrôle des flux d'immigrations, dans les aéroports, on notera surtout l'utilisation de techniques telles que : l'iris, l'empreinte digitale, les traits du visage.

b) Application de la loi : dans ce cas précis, la biométrie permet de faciliter certaines opérations comme l'authentification d'identité de criminels par reconnaissance automatique de leurs empreintes digitales.

Cette pratique qui a montré son efficacité se mondialise, du coup, la réalisation d'une base de données mondiale est en cours de réflexion. On trouve aussi d'autres utilisations, comme le suivi des prisonniers à domicile assuré par des systèmes de vérification de la voix dans certains états des Etats Unis.

On trouvera même que certaines de ces techniques ont aidé à identifier des victimes lors de kidnapping ou à retrouver une identité masquée.

c) Transaction commerciale et bancaire : Utilisé aussi dans des opérations de commerce électronique visant à renforcer l'achat d'un bien ou d'un service.

Pour renforcer ces échanges, on a vu l'apparition de machine de retraits automatiques disposant d'un système de vérification par l'iris.

d) Accès physique et logique : On parle de contrôle d'accès physique lorsqu'on cherche à sécuriser l'accès à un lieu (entrée d'un bâtiment), alors que le contrôle d'accès logique concerne l'accès informatique à un terminal, serveur ou réseau informatique ou de télécommunication (ex : ordinateur, téléphone portable, base de données privée).

I.5 Evaluation des performances d'un système biométrique

Il est pratiquement évident que les caractéristiques qui définissent un système biométrique ont soit des forces soit des faiblesses. Leur choix dépendra ainsi de l'application voulue. Du coup, il ne faut pas s'attendre à avoir une réponse efficace à toutes les exigences des applications. Dès lors, le système biométrique optimal n'existe pas.

Pour faire correspondre un système biométrique à une application, il faudra alors, voir le mode opérationnel de cette application, ainsi que les caractéristiques biométriques choisies. De ce fait, plusieurs études ont été menées dans le but de pouvoir évaluer les performances d'un système biométrique en se basant sur des critères d'évaluation, comme par exemple l'IBG (International Biometric Group), une société américaine qui a effectué une étude fondée sur quatre critères d'évaluation qui sont :

I.5.1 L'intrusivité

C'est un critère qui classe les systèmes biométriques en fonction de l'existence d'un contact direct entre le capteur utilisé et l'individu à reconnaître, comme la reconnaissance par l'iris qui est jugée comme étant intrusive.

I.5.2 La fiabilité

Elle dépend de la qualité de l'environnement (éclairage par exemple) dans lequel se trouve l'utilisateur. Ce critère influe sur la reconnaissance de l'utilisateur par le système.

I.5.3 Le coût

Il se doit d'être modéré, c'est-à-dire que la collecte de l'information ne doit pas être relativement coûteuse pour établir une base de données, exemple : pour une reconnaissance de l'iris un appareil photo numérique d'une certaine qualité est nécessaire.

I.5.4 l'effort

Il est requis par l'utilisateur lors de la saisie de mesures biométriques, et il doit être réduit le plus possible.

Il s'ensuit alors une classification des techniques qui pourrait nous amener à juger de la méthode biométrique pouvant être la plus apte à être utilisée. On se situera alors sur une sorte d'échelle sur laquelle on classe les techniques :

Des techniques les moins intrusives aux plus intrusives, la voix, la frappe sur le clavier, la signature, la main, le visage, l'empreinte digitale, l'iris et enfin la rétine.

Des techniques les plus fiables aux moins fiables: l'iris, la rétine, l'empreinte digitale, le visage, la main, la voix, et enfin à un niveau équivalent, la frappe sur le clavier et la signature.

Des techniques les moins coûteuses aux plus coûteuses: la frappe sur le clavier, la voix, la signature, l'empreinte digitale, le visage, la main, la rétine et enfin l'iris.

Des techniques les plus faciles d'utilisation aux plus difficiles: le visage, la signature, l'iris, la frappe sur le clavier, la voix, l'empreinte digitale, la main et enfin la rétine.

I.6 Evaluation de la précision d'un système biométrique

La performance d'un système biométrique peut être mesurée aussi sur la base d'autres critères tels que : la précision, l'efficacité et le volume de données stockées pour chaque locuteur. Cependant, seule la précision fera l'objet de l'évaluation tout en prenant en compte le mode opératoire utilisé, à savoir : l'identification et la vérification. Chacun de ces modes nécessitera des mesures de précision différentes.

I.6.1 Evaluation de l'identification

Le taux d'évaluation est l'une des mesures la plus utilisée couramment, mais elle peut s'avérer insuffisante, en effet, en cas d'erreur, il peut être utile de savoir si le bon choix se trouve dans les N premiers. On trace alors le score cumulé qui représente la probabilité que le bon choix se trouve parmi les N premiers.

La précision est le rapport entre le nombre de modèles correctement retrouvés par le système dans la base de données et le nombre total de modèles retrouvés. Le rappel est le rapport entre le nombre de modèles correctement retrouvés dans la base de données et le nombre total de modèles qui auraient dû être retrouvés. Le type d'erreurs commises par ce genre de système est d'attribuer à l'individu présentant une identité autre que la sienne. Les performances de ce système sont mesurées à l'aide du taux d'identification.

$$\text{Taux d'identification} = \frac{\text{nbre de tests ayant conduit à une identification correcte}}{\text{nbre total de tests}}$$

Ce paramètre dépend du nombre de personnes contenues dans la base de données. En effet, plus le nombre de teste est important, plus le taux d'erreurs risque d'être grand.

I.6.2 Evaluation de la vérification

On apparentera cette étape à un problème de prise de décision formulé de cette façon : Soit H_0 l'hypothèse : « la capture C provenant d'un imposteur » et H_1 l'hypothèse : « la capture C provenant d'un utilisateur légitime ». On choisira l'hypothèse la plus probable, c'est-à-dire, que la capture C provient d'un utilisateur légitime si $P(H_1/C) > P(H_0/C)$.

En appliquant la loi de Bayes on obtient :

$$\frac{P(C/H_1) P(H_1)}{P(C)} > \frac{P(C/H_0) P(H_0)}{P(C)}$$

On aura donc :

$$\frac{P(C/H_1)}{P(C/H_0)} > \frac{P(H_0)}{P(H_1)}$$

On appellera le taux de vraisemblance $S = \frac{P(C/H_1)}{P(C/H_0)}$ qui sera comparé à un seuil de décision appelé θ .

Les valeurs $P(H_0)$ et $P(H_1)$ représentent respectivement la probabilité pour qu'un imposteur ou un utilisateur légitime essayent d'accéder au système sont des valeurs difficiles à estimer.

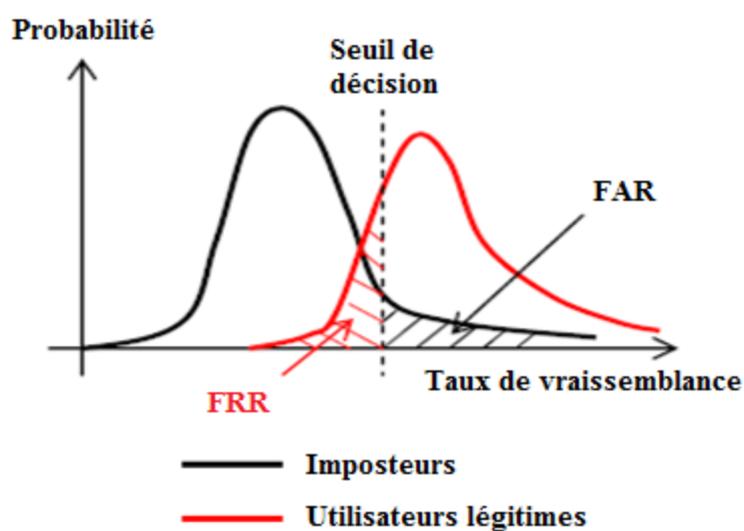


Figure 3 : Distributions des taux de vraisemblance des utilisateurs légitimes et des imposteurs d'un système biométrique.

Cette figure ci-dessus représente la distribution hypothétique des scores de vraisemblance qu'obtiendraient les utilisateurs. En effet, lors de la vérification le taux S est comparé au seuil de décision θ , si S est inférieur à θ alors l'individu est accepté sinon celui-ci est rejeté. Le système peut faire deux types d'erreurs :

- **FA (False Acceptance)** : elle correspond au cas où le système accepte un individu qui a proclamé une identité qui n'est pas la sienne.
- **FR (False Rejection)** : Le faux rejet correspond au cas où le système rejette un client légitime.

Les performances de ce type de système se basent principalement sur le taux de faux rejet et le taux de fausse acceptation.

- Taux de fausse acceptation :

$$FAR = \frac{\text{nbre de fausses acceptations}}{\text{nbre d'imposteurs présentés}}$$

- Taux de faux rejet :

$$FRR = \frac{\text{nbre de faux rejets}}{\text{nbre de clients présentés}}$$

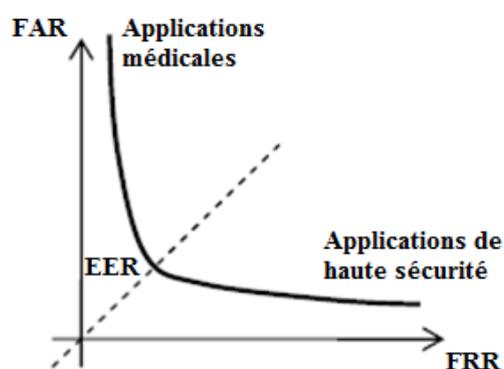


Figure 4 : Courbe ROC (Receiver Operating Characteristics).

On remarque à travers la figure que plus le seuil de décision θ est petit, plus le système acceptera de clients légitimes mais aussi des imposteurs, plus θ est grand, plus le système rejettera d'imposteurs mais aussi des utilisateurs légitimes. Le paramétrage d'un système consiste à trouver le bon équilibre entre ces deux taux. Les performances d'un système biométrique peuvent être présentées graphiquement à l'aide de la courbe ROC (Receiver Operating Characteristics) sur laquelle les FRR sont données en fonction des FAR. Cette courbe est obtenue en calculant un couple (FAR, FRR) pour chaque valeur du seuil de décision, ce dernier varie de la plus petite valeur des taux obtenus en phase de test à la plus grande valeur.

Il existe d'autres critères fréquemment utilisés pour donner un aperçu des performances des systèmes de vérification :

- **EER (Equal Error Rate) :**

Le taux d'erreur égale correspond à l'intersection de la courbe ROC avec la première bissectrice, en d'autres termes, EER correspond au point de fonctionnement pour lequel le taux de faux rejet est égal au taux de fausse acceptation.

- **HTER (Half Total Equal Error):**

Il représente la moyenne du FAR et FRR.

$$HTER = \frac{(FAR + FRR)}{2}$$

- **TER (Total Error Rate) :**

Le taux d'erreur globale correspond au taux d'erreur totale (faux rejet et fausse acceptation) obtenu lors du test.

I.7 Discussion

Nous avons passé en revue quelques techniques biométriques ainsi que l'architecture d'un système biométrique dans ce chapitre. Nous avons aussi relaté les critères de performance et de fiabilité permettant plutôt le choix d'un système biométrique qu'un autre, dans le but d'obtenir plus de performances.

Dans le chapitre suivant, nous verrons de quoi est composé un système d'acquisition d'un système de reconnaissance par l'iris et nous nous étalerons sur l'architecture d'un système de reconnaissance à savoir la segmentation, la normalisation, l'extraction et la mise en correspondance. Puis on citera les principales méthodes développées et existantes dans ce domaine.

Chapitre II

Systemes de vérification de l'iris

II. Préambule :

Cette partie sera consacrée à tout ce qui concerne la biométrie de l'iris, on relatera les étapes constituant un système biométrique de reconnaissance par l'iris, on développera le volet d'acquisition d'une image de l'iris, de l'architecture du système d'acquisition, des obstacles rencontrés lors de l'acquisition d'un iris, puis on fera le point sur les différentes méthodes de segmentation d'iris, on détaillera la méthode Daugman qui est citée comme une référence dans ce domaine et surtout l'une des premières méthodes élaborée et efficace.

En conclusion on terminera ce chapitre on citera les principales bases de données utilisées à travers ces différents travaux et méthodes sans oublier celles qu'on utilisera pour notre travail.

II.1 Acquisition de l'iris

L'acquisition d'une image de l'iris représente un des problèmes majeur en biométrie étant donné que l'iris est petit de taille, sombre et se trouve placé derrière la cornée qui est réfléchissante aux rayons lumineux comme un miroir. Tous ces inconvénients font de l'iris un objet difficilement photographiable.

D'abord, la petite taille de l'iris représente un handicap, du coup, l'utilisation de focales est impérative ou alors, de rapprocher l'iris de l'objectif en encourageant un certain risque à cause de la source d'illumination qui pourrait provoquer des désagréments ou carrément nuire dans d'autres cas.

Etant donné que l'iris est une surface sombre, un éclairage est nécessaire. Mais cette dernière option nous confrontera aux réflexions des rayons lumineux de la part de la cornée, qui joue un rôle de miroir dans ce cas là. Ces deux dernières caractéristiques font que si aucune technique particulière n'est employée, l'iris photographié sera couvert par des reflets de toutes les sources lumineuses présentes dans l'environnement d'acquisition.

D'une autre manière, les longueurs d'ondes de différents types d'illumination ne seront pas sans danger pour l'œil humain. Il sera nécessaire alors d'étudier les longueurs d'ondes et leurs puissances pour trouver l'illumination adéquate et atteindre le meilleur rapport sûreté / taux de pénétration de la cornée.

Si on adopte un dispositif d'illumination en lumière visible sans condition particulière, on constatera qu'avec l'image acquise aucun traitement de reconnaissance n'est possible.

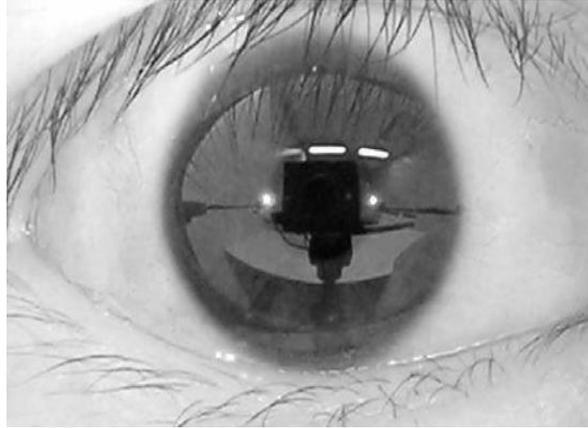


Figure 5 : Image acquise en lumière visible conditions normales d'acquisition

Les réflexions pourraient provenir de toutes les sources lumineuses présentes dans la salle d'acquisition, notamment, d'un tube néon, d'une fenêtre, etc. Afin de couvrir ces réflexions lumineuses, l'utilisation d'une forte source lumineuse doit être observée pour pouvoir récupérer une image de l'iris sans reflets mis à part celui généré par cette source.

Après expérimentation, on remarque que les reflets ont disparu, mais le résultat nous montre une texture pas très riche et donc, pas en mesure d'être utilisée pour un traitement de reconnaissance, surtout dans le cas des iris de couleurs sombre qui constituent la majorité.

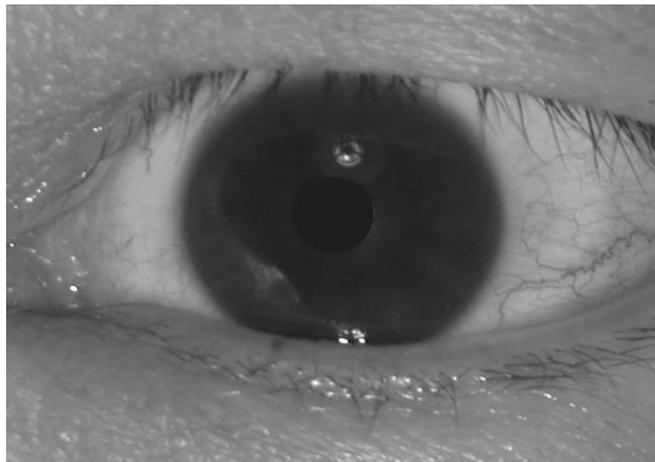


Figure 6 : Image acquise en lumière visible avec l'utilisation d'un flash et d'une lampe de bureau

Pour palier à tous ces problèmes, les industriels de la reconnaissance par l'iris ont opté pour l'utilisation d'une ou plusieurs sources infrarouge comme illumination puissante. Cette avancée sera d'ailleurs considérée comme la norme à suivre dans ce domaine, en effet, l'infrarouge possède deux avantages majeurs sur la lumière visible.

En premier lieu, sa longueur d'onde fait de lui un faisceau invisible à l'œil humain, du coup, l'utilisateur n'aura aucune gêne quand à l'utilisation d'une illumination puissante à l'infrarouge et aucun désagrément ni risque de malaise.

En second lieu, le domaine du proche infrarouge possède un pouvoir de pénétration sur la cornée largement plus grand que celui de la lumière visible permettant ainsi de récupérer une richesse de texture de l'iris surtout ceux de couleur sombre.

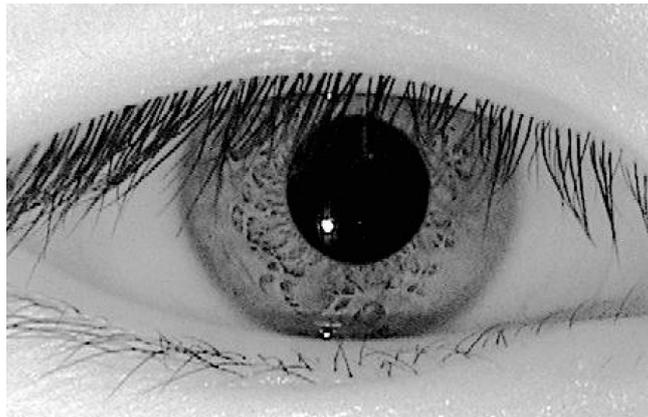


Figure 7 : Image acquise en infrarouge

Le seul inconvénient à relever est l'impact de l'utilisation sur la sécurité de l'œil car une exposition prolongée pourrait provoquer des séquelles irréversibles.

Du coup, des études ont été menées sur ce terrain et elles ont aboutit sur les longueurs d'ondes ainsi que les puissances et le temps d'acquisition nécessaires pour acquérir des images de l'iris de bonne qualité et surtout élaborer un procédé sans conséquence pour la sûreté de l'œil.

En général, les systèmes d'acquisition d'iris acquièrent une image d'iris de 30 à 50 cm, utilisant de une à quatre diodes LED de longueurs d'onde différentes. L'iris obtenu a un diamètre compris entre 100 et 200 pixels. Il a été prouvé récemment que la capture d'une image d'iris de bonne qualité avec une coopération minimale de l'utilisateur était possible.

Les travaux du groupe Sarnoff ont débouché sur la création du produit 'Iris On the Move' où les personnes sont identifiées à la volée jusqu'à 3 m de distance entre eux et la caméra, et cela le long d'un corridor. Une caméra de 5 méga pixels à 15 frames/secondes et une focale de 210 mm sont requises. Des diodes LED à proche infrarouge et à haute puissance sont elles aussi nécessaires.

II.2 Architecture d'un système d'iris

Une fois l'acquisition faite, on retrouvera une autre série d'étapes intermédiaires qui va constituer ce qu'on appellera un système d'iris. Il sera constitué de plusieurs modules parmi lesquels on citera :

II.2.1 La segmentation de l'iris

L'image qui résultera de l'acquisition est constituée de beaucoup d'information en dehors de l'iris, l'objectif principal étant d'extraire ce dernier. Pour cela, il faut segmenter l'iris du reste de l'œil, c'est-à-dire, l'isoler du blanc de l'œil, des paupières, des cils, et détecter la pupille à l'intérieur du reste du disque constituant l'iris.

La plupart du temps, l'iris et la pupille sont approximés par des cercles et les paupières par des ellipses. Nous développerons les différentes méthodes de segmentation de l'iris dans ce chapitre.

II.2.2 La normalisation de l'iris

L'iris est un disque percé à l'intérieur par un autre disque plus petit, la pupille. Les deux cercles que constituent les frontières de l'iris avec le blanc de l'œil, ainsi que les frontières de la pupille avec l'iris ne sont pas parfaitement concentriques.

De plus, avec les contractions et les dilatations de l'iris ainsi que la variation des distances d'acquisition entre les personnes et l'objectif, la taille du disque de l'iris n'est pas toujours constante. Daugman a permis de palier à ce problème en transformant le disque irrégulier de l'iris en une image rectangulaire de taille constante, nous développerons cette méthode par la suite.

II.2.3 L'extraction du gabarit de l'œil

Il s'agit d'extraire de l'image normalisée de l'iris des points, des vecteurs ou des coefficients caractéristiques de la personne.

II.2.4 La mise en correspondance

Cette dernière étape consiste à comparer les gabarits d'iris extraits entre eux pour la prise de décision.

II.3 Les difficultés de la reconnaissance par l'iris

Dans la biométrie de l'iris, on trouve beaucoup d'obstacles à surmonter afin d'arriver à définir un système de reconnaissance fiable. En effet, l'iris est un organe interne du corps qui doit sa visibilité depuis l'extérieur à la cornée qui a comme propriété de réfléchir les rayons de la lumière comme un miroir, entraînant des difficultés de reconnaissance quelque soit le mode d'acquisition utilisé.

Un autre problème risque de surgir avec la texture de l'iris, car des bruits occultes peuvent rendre la tâche plus complexe, on parlera principalement de la présence des paupières qui selon l'ouverture de l'œil, les populations, pourrait changer et donc occulter la texture de l'iris.

Ces bruits peuvent provenir aussi des cils, à cause de leurs formes irrégulières ainsi que de leurs positions aléatoires. Le port de lunettes ou de lentilles entraîne aussi des difficultés de reconnaissance de la texture de l'iris ou carrément fausser l'identification.

En plus de ces bruits occultes, on trouve aussi des bruits flous dont l'origine peut être due à diverses raisons, étant donné la petite taille de l'iris, son acquisition se fait d'une certaine distance nécessitant une focale assez puissante. Du coup, le respect d'une certaine distance est de rigueur sinon les détails de la texture de l'iris auront un aspect de flou si cette condition n'est pas respectée.

Les mouvements brusques de l'œil constituent aussi une autre nature de flou, l'ouverture et la fermeture des paupières ainsi que la dilatation et la contraction des pupilles peuvent engendrer un flou de bougé si le mouvement est supérieur à la sensibilité de la caméra d'acquisition. De ce fait, l'iris acquis dans ces conditions manquera cruellement de détail au niveau de la texture surtout et la reconnaissance sera difficile dans ce cas pour ne pas dire compromise.

II.4 Les méthodes de reconnaissance par l'iris

II.4.1 La méthode Daugman

Le système de Daugman est basé sur une méthode de détection de l'iris dans l'image de l'œil [1]. Détecter l'iris revient à détecter au moins les pixels formants la frontière entre l'iris et la pupille et entre l'iris et le blanc de l'œil.

Il a aussi proposé une méthode pour normaliser la forme de l'iris, une méthode d'extraction de paramètres intrinsèques de l'iris, un moyen de transformer ces paramètres extraits en un code de taille constante et un moyen de prise de décision qui sied autant aux systèmes de vérification qu'à ceux d'identification des individus [2].

II.4.1.1 Normalisation de l'iris : méthode pseudo polaire

L'iris est un disque possédant des irrégularités dues à la contraction et la dilatation 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 concevoir une méthode de normalisation pseudo-polaire du disque de l'iris appelée la méthode « Rubber Sheet » dont une signification imagée pourrait être vu comme une tentative d'étendre le disque de l'iris comme du caoutchouc. Cette méthode est pseudo-polaire car les deux cercles de l'iris et de la pupille ne sont pas concentriques. Le procédé peut être expliqué de la manière suivante :

On assigne à chaque pixel de l'iris dans le domaine cartésien un correspondant dans le domaine pseudo polaire suivant la distance du pixel par rapport aux centres des cercles et l'angle qu'il fait avec ces centres.

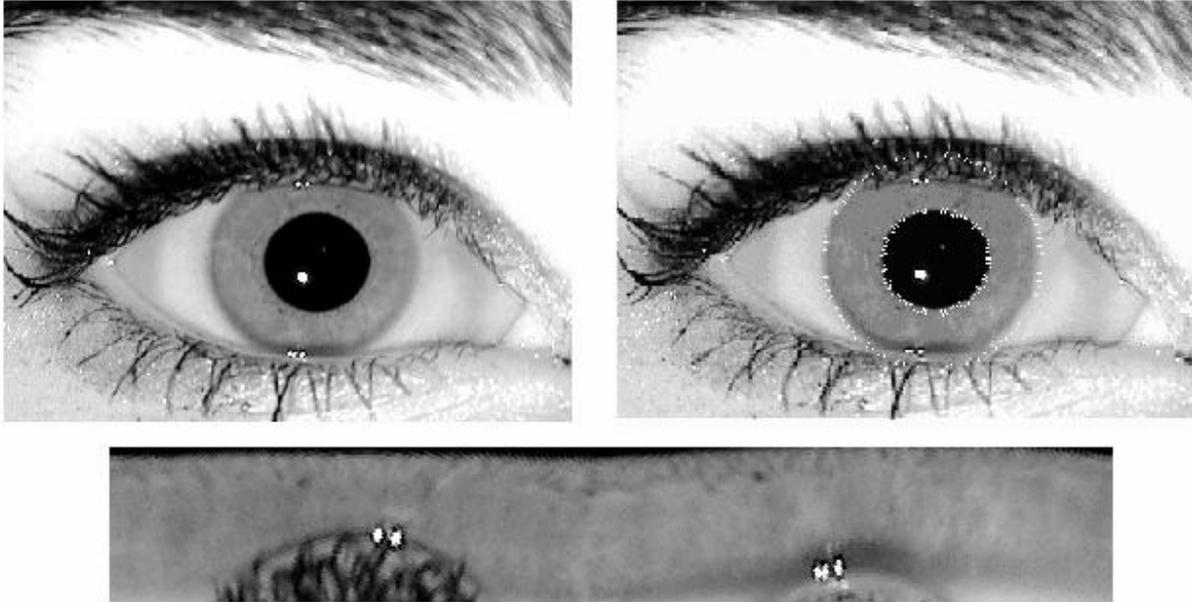
Plus précisément la transformation se fait suivant l'équation suivante :

$$\begin{aligned} x(r, \theta) &= (1 - r)x_P(\theta) + rx_S(\theta) \\ y(r, \theta) &= (1 - r)y_P(\theta) + ry_S(\theta) \end{aligned} \quad (1)$$

où $x_P(\theta)$ représente l'abscisse du point de la frontière détectée de la pupille dont le segment qui passe par ce point et le centre de la pupille fait un angle θ avec une direction choisie.

De même $y_P(\theta)$ représente l'ordonnée de ce même point, alors $x_S(\theta)$ $y_S(\theta)$ représentent les coordonnées des points obtenus par le même principe mais sur le contour de l'iris. La figure II.4 montre une image normalisée obtenue par ce processus.

Comme il est montré l'image normalisée est rectangulaire de taille constante, généralement la taille choisie est de 80*512 pixels. La largeur de l'image représente la variation sur l'axe angulaire alors que la hauteur représente les variations sur l'axe radial.



**Figure 8 : Image de l'œil (en haut à gauche), image d'iris segmenté (en haut à droite)
Image d'iris normalisé (en bas)**

II.4.1.2 Extraction des caractéristiques : utilisation du filtre de Gabor

L'extraction des caractéristiques repose sur l'utilisation des filtres de Gabor 2D que Daugman a adoptés 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 [3].

Cette spécificité a fait des filtres de Gabor un moyen puissant d'analyse de texture et de classification.

Les filtres de Gabor analysent la texture de l'iris suivant différentes résolutions et différents angles, leur forme est donnée par l'équation

$$\iint_{\rho\varphi} e^{-i\omega(\theta_0-\varphi)} e^{-(r_0-\rho)^2/\alpha^2} e^{-\frac{(\theta_0-\varphi)^2}{\beta^2}} I(\rho,\varphi)\rho d\rho d\varphi \quad (2)$$

où $I(\rho, \varphi)$ représente l'image en coordonnées polaires. α et β les paramètres des dimensions de la fenêtre d'analyse de Gabor, ω la fréquence en ondelette de Gabor, couvrant trois octaves en proportion inverse de β . Enfin r_0 et θ_0 représentant les coordonnées des points d'analyse de l'ondelette de Gabor.

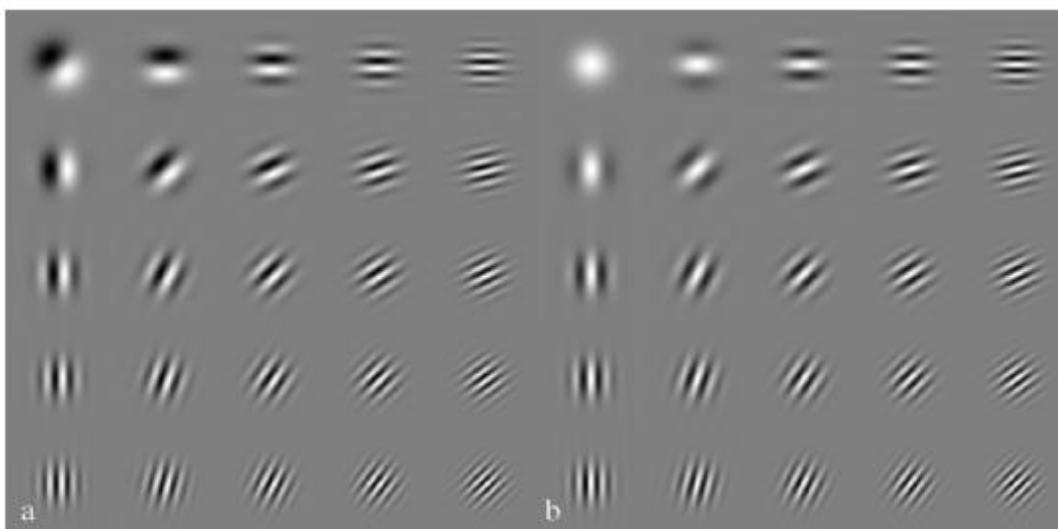


Figure 9 : Banque de filtres de Gabor suivant plusieurs orientations (a) et (b)

Comme on peut le remarquer dans l'équation, les filtres de Gabor ont une forme complexe qu'il est possible d'exploiter. En effet étant en quadrature de phase il est important d'étudier la dépendance entre la partie réelle et la partie imaginaire des coefficients de Gabor.

Deux choix triviaux s'offrent à nous : l'étude de l'amplitude et l'étude de la phase de Gabor.

Il est établi que la phase des analyses multi-résolution est plus informative que les amplitudes qui peuvent souffrir des problèmes d'illumination, d'ailleurs Daugman a choisi de se baser sur la phase de Gabor seulement. En effet chaque phase de Gabor sera codée sur 2 bits suivant le principe du codage à quatre quadrants illustré dans la figure 10 selon l'appartenance de la base à l'un des quatre quadrants du cercle trigonométrique qui sont uniformément découpés.

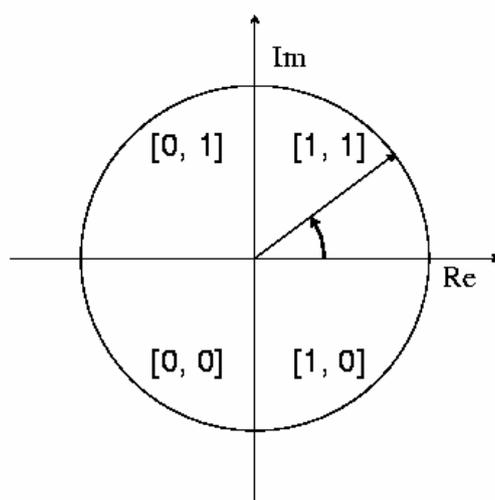


Figure 10 : Principe de codage de phase sur quatre quadrants en 2 bits

Il est à noter que chaque passage entre un quadrant et un quadrant adjacent entraîne 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. 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.

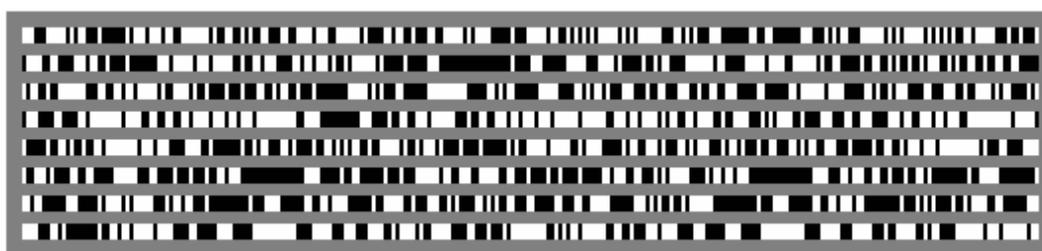


Figure 11 : Exemples d'iriscode générés par la méthode Daugman

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, etc.

II.4.1.3 Calcul des scores : La distance de Hamming

En calculant la distance de Hamming, on pourra ainsi aboutir au calcul du score grâce à la formule suivante :

$$HD = \frac{\|(\text{code } A \otimes \text{code } B) \cap \text{mask } A \cap \text{mask } B\|}{\|\text{mask } A \cap \text{mask } B\|} \quad (3)$$

où *code A* et *code B* sont deux codes calculés à partir de deux images d'iris par le procédé précédemment décrit et *mask A* et *mask B* représentent leurs masques associés. Littéralement la distance de Hamming calcule le nombre de bits différents et valides pour les deux iris entre le *code A* et le *code B*.

Plus la distance de Hamming est faible, plus les deux codes se ressemblent. Une distance 0 correspond à une parfaite correspondance entre les deux images alors que deux images de personnes différentes auront une distance de Hamming proche de 0.5.

Pour pallier aux problèmes de rotations qui sont dus aux positions de l'œil par rapport à la caméra, Daugman génère 7 iriscodes chacun correspondant à un angle particulier de rotation de l'image de référence.

La comparaison entre deux iris revient donc à comparer un iris code avec les 7 iris codes correspondants aux différentes rotations. La distance considérée est la distance minimale normalisée entre les sept comparaisons.

II.4.2 La méthode Wildes

Cette méthode est l'une des seules à proposer une approche complètement différente de celle de Daugman [4], on trouvera des différences dans toutes les phases de traitement, c'est-à-dire, la capture de l'iris, la segmentation, la normalisation et la reconnaissance. Dans le module de segmentation, Wildes a adopté une méthode basée sur la transformée de Hough circulaire et elliptique. La normalisation s'effectue en alignant une image $I_a(x, y)$ avec la référence $I_d(x, y)$.

Elle se fait en utilisant une fonction de transformation des pixels $u(x, y), v(x, y)$ telle que les niveaux de gris apparaissant dans $I_a(x - u, y - v)$ et $I_d(x, y)$ soient les plus proches possible. D'une manière générale les fonctions u et v doivent minimiser l'intégrale suivante :

$$\iint_x \iint_y \left(I_d(x, y) - I_a(x - u, y - v) \right)^2 dx dy \quad (4)$$

En utilisant la contrainte de transformation suivante :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} - sR(\varphi) \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (5)$$

où s et R représentent respectivement le facteur d'échelle et la matrice de rotation par un angle.

En utilisant une méthode de minimisation itérative, il est possible de déduire les valeurs de s et de φ .

Une fois les iris normalisés, ils sont filtrés par les Laplaciens des filtres gaussiens sur quatre résolutions. Une corrélation normalisée est alors calculée pour chaque résolution sur des fenêtres de taille 8*8. La médiane des valeurs de corrélations est considérée pour chaque image filtrée. Une fois les valeurs de corrélations calculées pour chaque résolution, la fusion entre les quatre valeurs s'effectue au moyen d'une analyse en composantes discriminantes.

II.4.3 La méthode Miyazawa

Le concept de la corrélation de phase a été introduit par *Miyazawa et al* [5] pour la vérification par l'iris. Ils ont utilisé une corrélation basée sur la phase de Fourier à bande limitée afin de contrer les problématiques dues aux images de mauvaises qualités. Ils ont proposé un moyen de normaliser les scores de corrélation selon la taille de l'image utilisée après détection des bruits.

II.4.4 L'approche IriTech : l'utilisation de l'ondelette de Haar

La société IriTech a proposé une alternative à la méthode Daugman en utilisant une approche basée sur l'ondelette de Haar comme un moyen d'analyse multi-résolution [6]. Pour cela, un calcul de 1024 coefficients de Haar est effectué sur différentes zones de l'iris puis comparés entre eux en calculant une différence entre les coefficients des hautes fréquences et ceux des basses fréquences qui n'ont pas été générés par des paupières ou des cils.

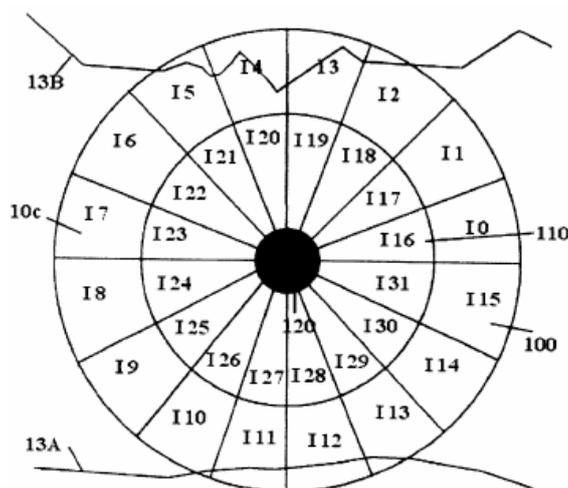


Figure 12 : Découpage de l'iris en secteurs par Iritech

II.4.5 L'approche CASIA : les mesures ordinales

L'équipe de CASIA (Chinese Academy of Science Institute of Automation) a basé sa méthode sur le principe des mesures ordinales [7]. Ce concept est défini comme étant un ordre relatif, c'est-à-dire, dans le cas du traitement d'image, l'information de l'intensité associée à un objet peut varier selon les illuminations. Pourtant, les relations entre des régions voisines présentent une relative stabilité qui reflète la nature intrinsèque de l'objet.

Dans la méthode proposée par CASIA, La comparaison des différentes parties de l'iris est effectuée au moyen de filtres différentiels. Ces filtres différentiels sont des filtres 2D qui ont la forme des filtres de Gabor, mais à la place d'avoir un seul lobe, les filtres différentiels en ont plusieurs dans différentes positions.

Cependant, on trouvera une similarité avec la méthode Daugman au niveau du codage des coefficients obtenus par ces filtres, par conséquent leurs codages se feront sur 2 bits selon leurs signes. Une autre similarité est relevée au niveau de la comparaison qui se fait par la distance de Hamming.

II.4.6 La méthode Masek

C'est un système open-source de reconnaissance des personnes par l'iris [8]. Dans cette méthode, la reconnaissance de l'iris se fait par une segmentation à base de la transformée de Hough, par une localisation circulaire de l'iris et de la pupille tout en éliminant les bruits provoqué par les cils, les paupières et les reflets.

Ensuite, l'iris extrait est normalisé en un bloc rectangulaire pour tenir compte de l'inconsistance de l'image. Après cette étape, les données de phase du filtre log-Gabor 1-D sont extraites et quantifiées en quatre niveaux pour coder le modèle unique de l'iris dans un autre modèle biométrique bit à bit. En dernier lieu, la distance de Hamming est employée pour la prise de décision.

II.4.7 Le système OSIRIS

Ce système est un open-source de reconnaissance des personnes par l'iris écrit en C++ composé de plusieurs modules et il est inspiré des travaux de Daugman [9]. On distinguera deux modules dans ce système.

Le premier module est celui de la segmentation, il utilise la transformée de Hough pour détecter l'iris et la pupille il se rapproche notamment du module développé par Masek. Ce module est appelé non portable car il a été optimisé sur CASIAv1 et donc adapté à la nature des images de cette base.

Le module de classification est basé sur la démodulation de la phase de Gabor et le calcul de la distance de Hamming. Le système de référence possède plusieurs sous-modules, certains portables (utilisables sur toutes les bases de données sans un grand effort d'optimisation) et non portables (utilisés sans effort de réajustement de paramètres sur la nouvelle base de données).

Le système de référence a été pensé de telle façon que les utilisateurs puissent changer facilement les filtres appliqués sur l'image (forme et localisation).

- Lecteur d'images : Lit et formate les images d'entrées. Dans notre cas les images en entrée doivent être au format BMP
- Segmentation d'iris : Isole le disque de l'iris de l'image de l'œil. La localisation des deux cercles de l'iris et de la pupille se fait au moyen de la transformée de Hough.
- Normalisation de l'iris : ce module utilise le modèle de normalisation proposé par Daugman. Une égalisation d'histogramme est aussi utilisée pour une normalisation sur l'illumination.
- Extraction de paramètres : ce module applique les filtres définis par l'utilisateur à des points particuliers de l'image eux même fixés par l'utilisateur.

- Extraction de gabarits : chaque coefficient est codé en un bit selon son signe. Le résultat est un code binaire de taille égale au nombre de points multiplié par le nombre de filtres utilisés.
- Extraction de masque : nous avons aussi défini un code masque en utilisant l'image prétraitée et la position des points d'analyse afin d'indiquer les bits erronés de ceux qui correspondent effectivement à la texture de l'iris analysée.
- Classification : la comparaison entre les deux codes qu'on veut mettre en correspondance ainsi qu'éventuellement leurs masques correspondants.

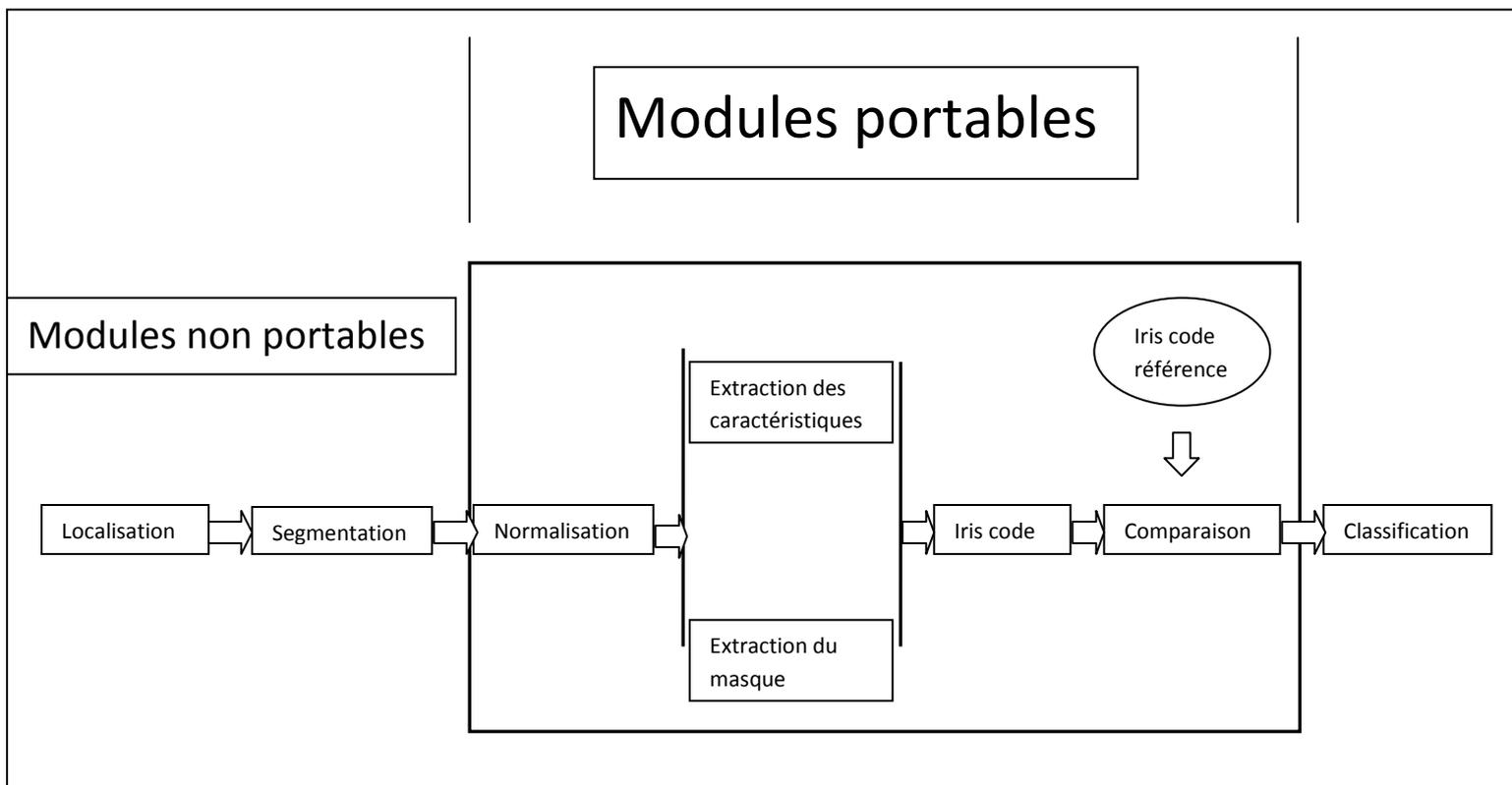


Figure 13 : Module Osiris

II.5 Autres méthodes et approches

II.5.1 La méthode de Boles et Boashash

Dans cette approche, les zéros crossing de la transformée en ondelettes sont calculés sur la base de cercles concentriques de l'iris [10], dans différents niveaux de résolution. Ainsi, les signaux 1-D résultants sont comparés aux caractéristiques du modèle en utilisant des fonctions de dissimilarités. Mais l'efficacité de cette technique n'a toujours pas été démontrée sur deux iris différents.

II.5.2 L'approche de Sanchez-Rellio et al

Cette approche s'est inspirée en grande partie des travaux de Daugman [11]. Dans cette méthode, la texture de l'iris est transformée partiellement en un équivalent rectangulaire et l'extraction du code se fait par la binarisation des résultats de filtrages avec la partie imaginaire des filtres complexe de Gabor. Ensuite, la distance de Hamming est utilisée pour la comparaison entre les deux codes d'iris résultant.

II.5.3 L'approche de Lim et al

Dans cette méthode, l'analyse des motifs de l'iris se fait à l'aide de la transformée en ondelette à partir d'une représentation rectangulaire de l'iris [12]. La texture de l'iris est décomposée sur quatre niveaux et on construit alors un vecteur de 87 caractéristiques en combinant la sous-image du quatrième niveau avec l'intensité moyenne des trois autres sous-images. L'identification se fait grâce à un classificateur basé sur un réseau par quantification vectorielle.

II.5.4 L'approche de Ma et al

La base de cette méthode se situe dans une banque de filtres spatiaux [13], dont les noyaux sont adaptés pour la reconnaissance de l'iris afin de capturer les caractéristiques locales de l'iris pour ainsi reproduire les textures de chacun de ses éléments.

II.5.5 L'approche Sudha

La distance de Hausdorff est utilisée pour la reconnaissance de l'iris en calculant les caractéristiques des points binaires des images normalisées. Pour l'identification, on utilise les dissemblances des valeurs des paramètres de la taille du bloc de la base de données UPOL.

II.5.6 Les bases de données publiques

Le manque de bases de données d'images de l'iris a été un réel handicap dans le domaine de la recherche, étant donné que la plupart des capteurs d'iris étaient développés à des fins commerciales. Le constat était un manque flagrant de méthode de reconnaissance par l'iris.

Le CASIA [13] fut le premier institut à partager sa base de données d'images d'iris collectées, ensuite, s'en est suivi plein d'autres tels que UPOL [14], UBATH [15] et ICE [16]. La base de données de CASIAv1 inclue 756 images de 108 personnes, c'est-à-dire, 7 images acquises par personne dans 2 sessions différentes espacées de quelques semaines, la résolution de ces images est de 320*280. Cette base de données est considérée comme étant propre parce que les images sont nettes et ont subi des prétraitements avant d'être mises à la disposition des chercheurs. Ainsi, les images ont été centrées et les pupilles colorées en noir. Le point faible de cette base de données se situe dans le fait que l'iris soit faiblement couvert par les paupières et les cils. Une deuxième version de cette base de données a été mise à la disposition des chercheurs, composée de 2400 images de 120 classes d'yeux différentes. La CASIAv2 inclut des images floues, avec différentes illuminations et le port des lunettes sont autorisé. La résolution des images est de 640*480.

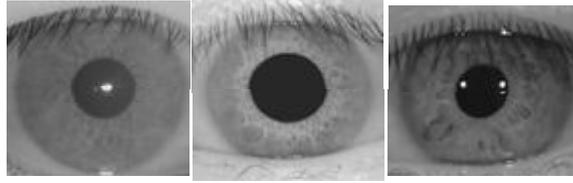


Figure 14 : Exemple tiré de la base de données CASIA v1

Une autre base de données nommé UPOL est composée de 384 images de 64 sujets distincts. La qualité des images est bonne : il n'y a aucune occlusion des paupières ou des cils. Les images sont acquises en couleur sous le format PNG avec une résolution de 768*576.



Figure 15 : Exemple de base de données UPOL

Il existe aussi une base de données développée par l'université de Bath grâce à un système de capture permettant d'acquérir des images de haute qualité. 2000 images d'iris de 50 personnes sont disponibles, la qualité et la résolution des images de la base UBATH dépassent largement celles des autres bases disponibles, la résolution disponible est de 1280*960.

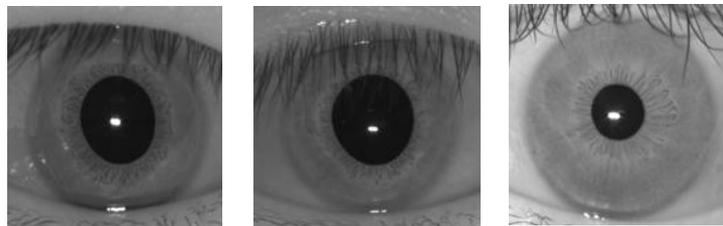


Figure 16 : Exemple de base de données UBATH

UBIRIS est une base de données qui a été pensée pour tester la robustesse des algorithmes de reconnaissance d'iris aux différents types de dégradations de qualité d'images d'iris. Dans ce but, plusieurs variations des conditions d'acquisition et diverses dégradations des images ont été introduites dans cette base de données. Elle contient 1877 images de résolution 400*300 de 241 personnes capturées en deux sessions.

Puisque le mode d'acquisition choisi était la lumière visible, les images sont aussi disponibles en couleur sous deux résolutions possibles : 800*600 et 200*150. Le grand point faible de cette base de données est qu'elle a été acquise en lumière visible et ne peut donc être utilisée pour évaluer des systèmes développés sur des images en infrarouge.

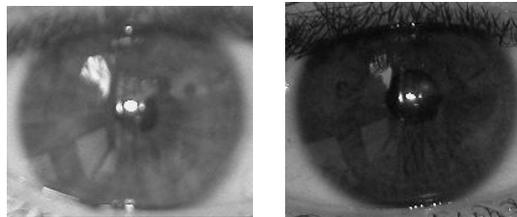


Figure 17 : Exemple de base de données UBIRIS

La base ICE 2005 contenant 2953 images d'iris de 132 personnes a été mise à la disposition des chercheurs par le NIST (National Institut of Standards and Technology). Cette base de données est une sous partie d'une base plus large de plus de 25 094 images. La base contient plusieurs variations intra classe et différents types de dégradation.

En effet les images peuvent être occultées par les paupières et les cils. Le niveau de flou et le niveau de flou de bougé sont largement supérieurs à ceux présents dans les autres bases précédemment citées. On notera aussi que dans la plupart des cas, l'iris gauche et droit sont acquis en même temps.



Figure 18 : Exemple de base de données ICE

II.6 Discussion

Dans le domaine de la reconnaissance par l'iris, on s'aperçoit que la plupart des méthodes proposées que ce soit par la communauté scientifique ou industrielle sont en générale proche de la méthode des « iris code » proposée par Daugman. Malgré toutes ces méthodes disponibles depuis quelques décennies, les bases de données ont été accessibles au public qu'au début de l'année 2001.

Les deux seules bases qui sont aujourd'hui en adéquation avec les défis actuels de la reconnaissance par l'iris sont la base CASIAv2 et plus récemment la base ICE 2005 devenue disponible en juin 2006.

Dans le prochain chapitre, nous nous étalerons sur la méthode retenue en détail, nous présenterons les étapes la constituant afin de comprendre plus l'importance des changements opérés par rapport aux anciennes méthodes.

Chapitre III

Segmentation de l'iris par la théorie des jeux

III. Préambule

On développera ici la méthode retenue dans notre travail à savoir « la segmentation de l'iris par la théorie des jeux » dans ce chapitre, on détaillera les étapes la composant minutieusement, puis, on se penchera sur l'importance de la théorie dans jeux dans la mise en œuvre des méthodes de segmentation des courbes de niveaux en parallèle à une approche région, le tout, pour localiser l'iris d'une manière extrêmement précise et l'extraire du reste de l'œil.

Une fois ce travail accompli, nous montrerons l'efficacité de cette méthode sur des photos d'iris issues de différentes bases de données utilisées dans le domaine.

III.1 Méthode retenue

Plusieurs recherches ont été menées dans ce domaine, on a relaté dans le chapitre précédent différentes méthodes tel que Daugman [1] qui utilise un opérateur intégrodifférentiel pour la segmentation de l'iris, Bole et Boashash [10] qui opèrent par la détection des contours et frontières, Masek [8] qui propose une méthode basée sur la détection des contours à base du filtre de Canny et de la transformée de Hough pour localiser les contours de l'iris. Le tableau ci-dessous nous donne une synthèse des principales méthodes utilisées par les différents auteurs.

Auteurs	Algorithme de segmentation de l'iris
Daugman[1]	Opérateur intégrodifférentiel
Daugman[2]	Contours actifs et coordonnées généralisées, exclusion des cils en utilisant une inférence statistique
Wildes [4]	Gradient d'intensité de l'image et transformée de Hough
Bole&Boashash [10]	Détection des contours et des frontières
Masek[8]	Détection des contours, filtre de Canny et transformée de Hough
Ma et al [17]	Niveau de gris, détection contours filtre de Canny, transformée de Hough
Ma et al [18]	Niveau de gris, détection contours filtre de Canny, transformée de Hough
Proenca et Alexandre [19]	Opérateur intégrodifférentiel

Vatsa et al [20]	Segmentation d'iris non idéal en utilisant la fonction de Mumford-Shah
Miyazawa et al [5]	Model d'iris déformable avec 10 paramètres
He et al [21]	Approche de tirage et de poussée élastique
Liu et al [22]	Transformée de Hough modifiée
Liu et al [23]	Détection de contours, filtre de Canny et transformée de Hough
Schuckers et al [24]	Opérateur intégro-différentiel et model de déformation angulaire
Ross et al [25]	Contours actifs géodésique
Sudha et al [26]	Détection des contours, filtre de Canny et transformée de Hough
Puhan et al [27]	Densité spectrale de Fourier
Approche proposée	Théorie des jeux à stratégie de fusion entre les forces complémentaires de méthodes à approche région et frontière

Figure 19 : Tableau récapitulatif des principales méthodes

Dans la méthode que nous développons ci-après, l'approche proposée pour faire face au problème de la mauvaise localisation de l'iris repose sur la théorie des jeux. Elle a pour but d'extraire l'iris des structures environnantes d'une manière itérative.

III.2 Algorithme de segmentation de l'iris

III.2.1 Suppression de bruit et réduction des reflets spéculaires et cils

Un prétraitement de l'iris doit être opéré et en premier lieu, on doit procéder à un dépistage rigoureux des reflets spéculaires dans la région de la pupille car ils peuvent fausser la détection des frontières intérieures et donc interrompre le processus de croissance des régions.

Pour ce faire, chaque niveau d'intensité des pixels de l'image originale est soustrait de 255, puis, on remplit les trous noirs apparaissant dans la pupille dans l'image de l'iris complémentaires.

Ensuite, on utilisera la connectivité des 4-voisins du pixel. Enfin, on complétera le traitement par un filtre Gaussien pour le lissage de l'image. La précision de la méthode des moindres carrés non linéaires d'ajustement des ellipses permet de palier au problème comme les cils, et d'approximer la frontière de la pupille [28].

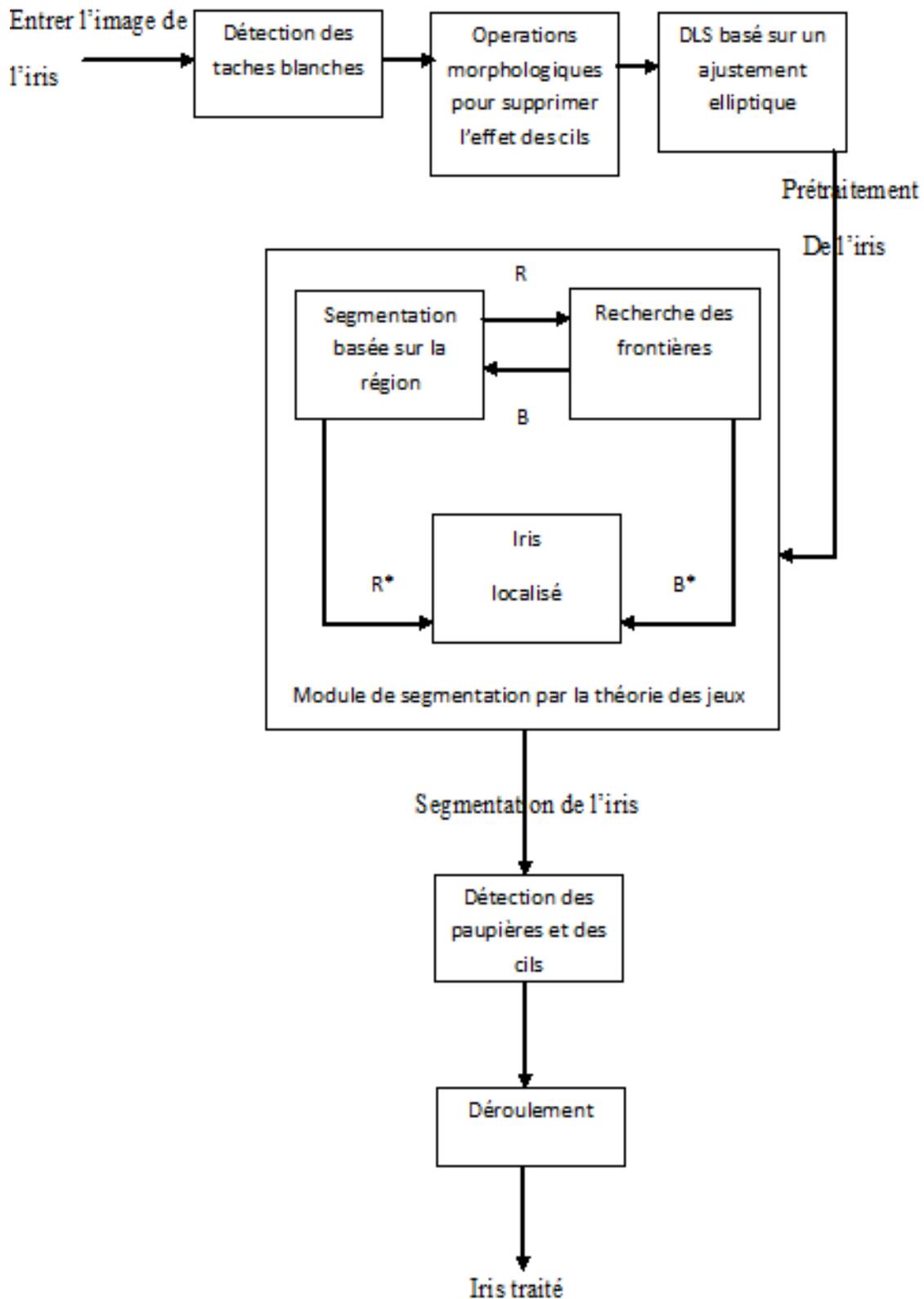


Figure 20 : Algorithme de segmentation de l'iris par la théorie des jeux

III.2.2 Détection de l'iris et de la pupille par la théorie des jeux

On appliquera la prise de décision par la théorie des jeux basée sur une modification de la méthode de Chakraborty et Duncan [29] pour avoir une estimation précise de frontière iris/pupille. Pour cela, on recherchera les frontières tout en utilisant une approche région, c'est-à-dire, les deux étapes fonctionnent en parallèle et ainsi le résultat de chacune d'entre elle sera mis au service de l'autre de telle manière que les itérations mettront à jour réciproquement les résultats de deux méthodes combinées. Le jeu opéré entre les deux méthodes est fini par un set de décision entre elles.

Dans notre cas, la segmentation de l'iris par ces deux méthodes sera assimilée à un jeu entre deux joueurs qui ne sont que l'approche par région et l'approche par frontières ou contours. Considérons p^1 la stratégie de jeu du joueur 1 et p^2 la stratégie de jeu du joueur 2, chaque joueur essaye de réduire la fonction de « récompense » au minimum, $F^1(p^1, p^2)$. L'objectif principal est de trouver l'équilibre de Nash du système (p^{-1}, p^{-2}) :

$$F^1(\bar{p}^1, \bar{p}^2) \leq F^2(p^1, \bar{p}^2), F^2(\bar{p}^1, \bar{p}^2) \leq F^1(\bar{p}^1, p^2) \quad (1)$$

Si nous exprimons l'équilibre de Nash d'une manière itérative en prenant t comme indice du temps, on formulera le jeu de cette manière :

$$P_{t+1}^1 = \arg \min_{p^1 \in P^1} F^1(p^1, p_t^2); P_{t+1}^2 = \operatorname{argmin} F^2(p_t^1, p^2) \quad (2)$$

Chakraborty et Duncan [29] ont prouvé qu'il existe toujours un équilibre de Nash si F^1 et F^2 sont de la forme suivante :

$$\begin{aligned} F^1(p^1, p^2) &= f_1(p^1) + \alpha f_{21}(p^1, p^2) \\ F^2(p^1, p^2) &= f_2(p^2) + \beta f_{12}(p^1, p^2) \end{aligned} \quad (3)$$

Où α et β sont des constantes, F^i est compris dans $p^i \in P^i$

$$\left| \left[\left(\alpha^{-1} \frac{\partial^2}{\partial p^1 \partial p^1} f_1(p^1) + \frac{\partial^2}{\partial p^1 \partial p^1} f_{21}(p^1, p^2) \right)^{-1} \frac{\partial^2}{\partial p^1 \partial p^2} f_{21}(p^1, p^2) \right] \right| \times \beta - 1 < 1 \quad (4)$$

Dans l'approche région, l'image de l'iris est partitionnée en régions connectées entre elles en groupant des pixels voisins ayant un niveau d'intensité similaire.

Les régions adjacentes sont alors fusionnées conformément aux critères impliquant l'homogénéité des frontières de région.

Si on considère que $y_{i,j}$ est l'intensité d'un pixel à (i, j) de l'image originale et $x_{i,j}$ l'intensité d'un pixel à (i, j) de l'image segmentée. Alors l'approche commune consiste à réduire au minimum une fonction objective de la forme :

$$E = \sum_{(i,j)} (y_{i,j} - x_{i,j})^2 + \lambda \left(\sum_{i,j} \sum_{i_s, j_s} (x_{i,j} - x_{i_s, j_s})^2 \right) \quad (5)$$

Où i_s et j_s sont les indices dans le voisinage du pixel $x_{i,j}$ et λ est une constante.

Le premier terme essaye de réduire au minimum la différence entre la classification et l'intensité de pixel. Le second terme minimise la différence entre les classifications et les pixels voisins, pour réduire au maximum la frontière des régions. Pour détecter la frontière intérieure/extérieure de l'iris on utilisera la fonction suivante :

$$F^1(p^1, p^2) = \min_x \left[\sum_{i,j} (y_{i,j} - x_{i,j})^2 + \lambda^2 \left(\sum_{i,j} (x_{i,j} - x_{i-1,j})^2 + \sum_{i,j} (x_{i,j} - x_{i,j-1})^2 + \alpha \sum_{i,j \in A} \beta (x_{i,j} - u)^2 + \gamma \sum_{i,j \in B} \beta (x_{i,j} - v)^2 \right) \right] \quad (6)$$

Où $y_{i,j}$ est l'intensité originale de l'image, $x_{i,j}$ l'intensité de l'image segmentée donné par p^1 , u est l'intensité à l'intérieur du contour donné par p^2 .

$$F^2(p^1, p^2) = \operatorname{argmax}_{\vec{p}} \left[M_{\text{gradient}}(I_g, \vec{p}) + \beta M_{\text{region}}(I_r, \vec{p}) \right] \quad (7)$$

Où \vec{p} dénote le paramétrage du contour donné par p^2 , I_g le gradient de l'image, I_r est l'image segmentée par l'approche région et β est une constante.

III.2.3 Acquisition des données du contour iris/pupille à l'aide des méthodes des level set

Pour obtenir les données relatives au contour interne (pupille), durant la mise en œuvre de la théorie des jeux, nous appliquerons l'approche des contours géométriques actifs fondée sur la fonction d'arrêt de bord avec l'hypothèse que la région pupillaire est la partie la plus noire de l'œil et est séparée de la région de l'iris par un fort gradient.

Soit Ω le domaine image et I l'image bidimensionnelle de l'iris. Considérons la courbe en évolution C dans Ω comme la frontière ou le contour d'un sous-ensemble ω de Ω . L'idée est d'intégrer cette courbe en évolution comme la courbe de niveau zéro d'une fonction de dimension plus élevée ϕ . Nous pouvons alors définir la fonction suivante :

$$\phi(x, y, t = 0) = \pm d \quad (8)$$

Où d est la distance de (x, y) à C au temps $t = 0$. Le signe plus (moins) est choisi si le point (x, y) est à l'extérieur (intérieur) de la courbe C . De la sorte, dans l'approche de la courbe en évolution, pour obtenir les données du contour de la pupille, nous devons résoudre l'équation aux dérivées partielles du type suivant :

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = g(I)(S_1 |\nabla \phi| + S_2 |\nabla \phi|), \phi(x, y, 0) = \phi_0(x, y) \quad (9)$$

Où S_1 est un terme d'advection constant qui force la courbe à s'étendre ou à se contracter uniformément en fonction de son signe, S_2 dépend de la géométrie de la courbe et sert à lisser les régions de forte courbure, l'ensemble $\{(x, y), \phi_0(x, y) = 0\}$ définit le contour initial, tandis que $g(I)$ est la fonction d'arrêt de bord, elle est utilisée pour bloquer l'évolution de la courbe à la frontière intérieure.

Elle peut être définie par :

$$g(I) = \frac{1}{1 + |\nabla G_\sigma(x, y) * I(x, y)|^\rho}, \rho \geq 1 \quad (10)$$

Où $G_\sigma(x, y) * I(x, y)$ est la convolution de I avec la gaussienne $G_\sigma = \sigma^{-\frac{1}{2}} e^{-|x^2 + y^2|/4\sigma}$. Pour discrétiser la fonction ϕ , nous appliquons la méthode des différences finies proposée par [30].

Pour faire évoluer la courbe, nous procédons à la discrétisation et la linéarisation de l'équation aux dérivées partielles ci-dessus comme préconisé par [30] et [31]:

$$\phi_{i,j}^{n+1} = \phi_{i,j}^n - \Delta t [\hat{g}(I)(\hat{s}_1|\nabla\phi| + \hat{s}_2|\nabla\phi|)] \quad (11)$$

Où Δt est l'intervalle de temps, (x_i, y_j) sont les points de la grille pour $1 \leq i, j \leq M$ et $\phi_{i,j}^n = \phi(x_i, y_j, n\delta t)$ se rapproche de $\phi(x, y, t)$ lorsque $n \geq 0$, $\phi^0 = \phi_0$.

Dans [31], un programme est utilisé pour estimer $s_1|\nabla\phi|$, soit :

$$s_1|\nabla\phi| = \left[\max(\Delta^x - \phi_{i,j}^n, 0)^2 + \min(\Delta^x - \phi_{i,j}^n, 0)^2 + \max(\Delta^y - \phi_{i,j}^n, 0)^2 + \min(\Delta^y - \phi_{i,j}^n, 0)^2 \right]^{1/2} \quad (12)$$

Tandis que le terme $s_2|\nabla\phi|$ dépend de la courbure K ($K = \text{div}(\nabla\phi/|\nabla\phi|)$) et peut être estimé par :

$$s_2|\nabla\phi| = -\epsilon K \left[(\phi_{i+1,j}^n - \phi_{i-1,j}^n/2)^2 + (\phi_{i,j+1}^n - \phi_{i,j-1}^n/2)^2 \right] \quad (13)$$

Où ϵ est constant.

Pour acquérir les données du contour pour la frontière extérieure au cours du processus de segmentation par la théorie des jeux, nous utilisons le modèle de segmentation de Mumford-Shah modifié avec des termes de régularisation utilisant l'algorithme de minimisation de l'énergie tel que décrit dans [32] et [33].

L'approche niveau de courbe avec l'algorithme de minimisation de l'énergie donne la frontière extérieure de manière précise au cours de la progression basée sur la théorie des jeux en considérant que l'iris et la sclérotique ne sont pas séparés par un fort gradient. Aussi l'objectif principal est de minimiser la longueur de la courbe et la surface de la région à l'intérieur de la courbe. Nous introduisons alors la fonction énergie suivante :

$$\begin{aligned}
 E(C, c_1, c_2) = & \mu \int_{\Omega} \delta(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy + v \int_{\Omega} H(\phi(x, y)) dx dy \\
 & + \lambda_1 \int_{\Omega} |I(x, y) - c_1|^2 H(\phi(x, y)) dx dy \\
 & + \lambda_2 \int_{\Omega} |I(x, y) - c_2|^2 (1 - H(\phi(x, y))) dx dy \quad (14)
 \end{aligned}$$

Où : $\mu \geq 0$, $v \geq 0$, $\lambda_1 \geq 0$, $\lambda_2 \geq 0$ sont des constantes positives, C est la courbe en évolution, c_1 , c_2 sont les moyennes de l'image I de l'iris à l'intérieur et à l'extérieur de C , respectivement, ϕ représente le niveau de courbe zéro de la fonction distance représentant C avec son signe, H est la fonction de Heaviside et δ la mesure de Dirac.

Le premier et le second terme de E représentent la surface et la longueur à $\phi = 0$ respectivement. Cela étant, le but principal visé est l'estimation des valeurs de C , c_1 et c_2 tels que $E(C, c_1, c_2)$ soit minimisée.

En paramétrisant la direction descendante par $t \geq 0$, on déduit l'équation aux dérivées partielles d'Euler-Lagrange à partir de l'expression précédente de E et on aboutit au modèle de contour actif suivant :

$$\phi'_1 = \delta(\phi) [\mu \operatorname{div}(\nabla_\phi / |\nabla_\phi|) - v - \lambda_1(1 - c_1)^2 + \lambda_2(1 - c_2)^2] \quad (15)$$

A ce niveau, régularisons la fonction de Heaviside H et la mesure de Dirac δ à la suite de [31] :

$$H_\epsilon(\phi(x, y)) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctan\left(\frac{\phi(x, y)}{\epsilon}\right) \quad (16)$$

$$\delta(\phi(x, y)) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\epsilon}{\epsilon^2 + (\phi(x, y))^2}$$

A partir de ces deux expressions, nous pouvons constater que le régime d'évolution a tendance à mesurer le minimiseur global avec les régularisations appliquées. Alors, en discrétisant et en minimisant E, nous obtenons :

$$\frac{\phi_{i,j}^{n+1} - \phi_{i,j}^n}{\Delta t} = \delta_\epsilon(\phi_{i,j}^n) \left[\mu K - v - \lambda_1 (I_{i,j} - c_1(\phi^n))^2 + \lambda_2 (I_{i,j} - c_2(\phi^n))^2 \right] \quad (17)$$

Pour obtenir maintenant les données du contour pour le processus de localisation par la théorie des jeux, nous devons initialiser le contour actif, ϕ juste au-delà de la frontière de la pupille pour obtenir l'information approximative sur le contour de l'iris.

Dans l'implémentation par la théorie des jeux, nous avons simplifié l'approche proposée dans [29] en excluant l'information sur la forme a priori, avec l'hypothèse que les frontières intérieure et extérieure des images de l'iris obtenues à partir des jeux de données sous-jacentes de l'iris non idéal, ne conservent pas une forme particulière.

Pour estimer la frontière exacte de la pupille, nous mettons en œuvre l'algorithme de segmentation avec la théorie des jeux tel que nous l'avons mentionné plus haut et utilisons le centre de la pupille obtenu en utilisant une méthode directe d'ajustement elliptique par moindres carrés comme le point noyau.

III.2.4 Détection de bruit, amélioration et déroulement

La méthode utilisée dans ce cas est un masque basé sur les cils et les paupières extrait afin de détecter la région de l'iris sans le bruit. Pour compenser la déformation élastique dans la texture de l'iris, on fera à la fois un déroulement et une localisation de l'iris par un bloc rectangulaire de la taille de 64x512, tout cela, en opérant par changement de coordonnées cartésiennes vers les coordonnées polaires en utilisant un ajustement de cercle et une approximation par la méthode des moindres carrés.

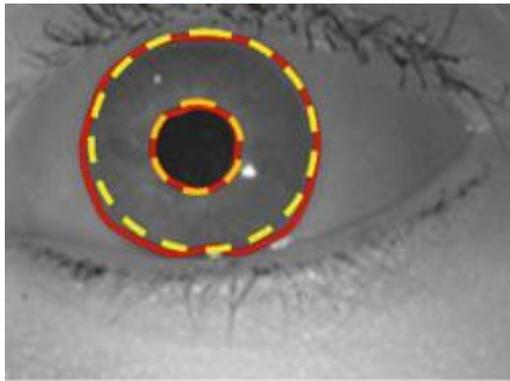


Figure 21 : Frontière estimée iris/pupille

Comme on l'aura indiqué sur la figure 21 une fois les contours de l'iris établie, on opérera en deux étapes l'amélioration de cette image :

Etape 1 : Etant donné que l'image normalisée de l'iris a un contraste relativement faible et peut avoir des valeurs d'intensité non uniforme en raison de la position des sources lumineuses, une méthode d'égalisation d'histogramme fondé sur l'intensité locale est appliquée pour améliorer la qualité du contraste de l'image normalisée de l'iris, ce qui augmente la précision de la reconnaissance qui va suivre.

Dans notre procédé, un histogramme cumulatif locale est appliqué à un sous-bloc d'image de taille 10 x 10 centrée sur le pixel à convertir.

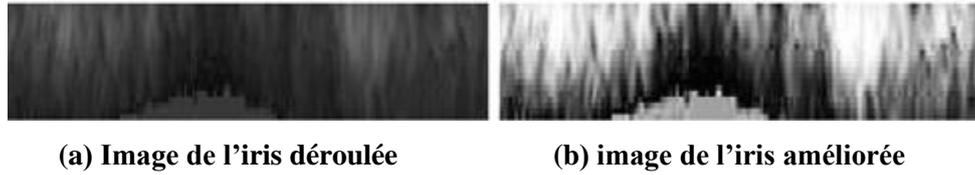


Figure 22 : Déroulement et amélioration de l'image de l'iris

Etape 2 : Afin de réduire l'effet du bruit, nous appliquerons un filtre de Wiener 2D. Etant un filtre passe bas, il est utilisé dans le but d'éliminer le bruit de haute fréquence. Ce filtre se base sur les statistiques estimées à partir d'un quartier η 3x3 de chaque pixel, définie par :

$$WF(n_1, n_2) = \mu + \frac{(\sigma^2 + v^2)}{\sigma^2} * (I(n_1, n_2) - \mu)$$

Ou v^2 représente la variance du bruit, μ et σ^2 sont la moyenne et la variance, I l'intensité du niveau de gris de $n_1, n_2 \in \eta$. Si la variance du bruit n'est pas fournie, on utilisera alors la moyenne de toutes les variances locales estimées. Les figures 22 (a) et (b) montrent les effets de l'amélioration des iris normalisé dans ce cas.

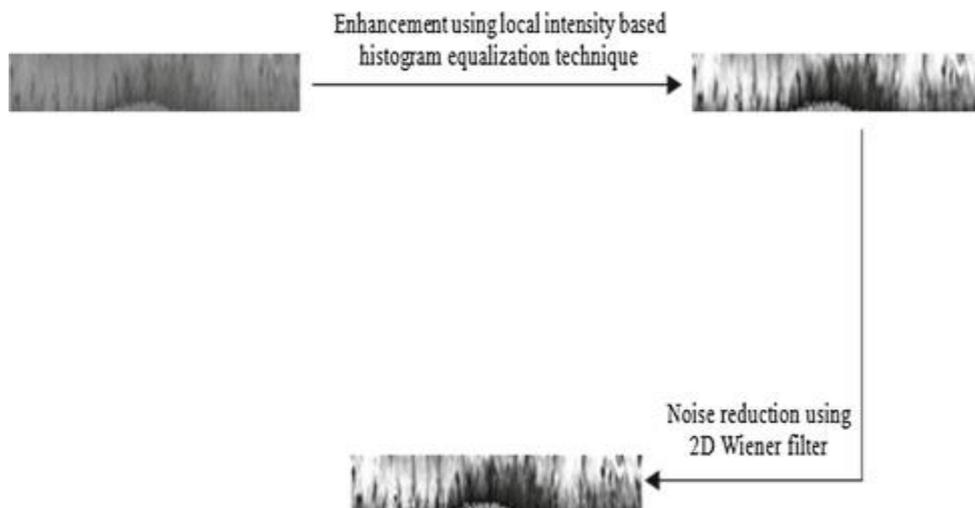


Figure 23 : Amélioration du contraste en utilisant la technique d'égalisation d'histogramme cumulatif local et de réduction de bruit avec filtre de Wiener 2D

III.2.5 Fonctionnement du codage et de la comparaison

Nous appliquerons une transformé à base d'ondelettes de Daubechies, pour extraire les valeurs caractéristiques du bloc d'image normalisé et amélioré de taille 64x512 pixels, car cette technique est mieux adaptée à l'analyse des signaux dans le mode multi-résolution. Ensuite, nous utiliserons la distance de Hausdorff pour ces modèles d'iris. En effet, elle permet de mesurer la similarité entre deux ensembles de points caractéristiques.

Considérons $A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ et $B = \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_n\}$ deux ensembles de points caractéristiques de l'iris, la distance de Hausdorff sera définie par :

$$H(A, B) = \max (h(A, B), h(B, A))$$

Ou h est la distance de Hausdorff relative définie par :

$$h(A, B) = \max_{a_i \in A, b_i \in B} \min \|a_i - b_i\|$$

Ou $\| \cdot \|$ est la norme du vecteur.

III.3 Discussion

Nous avons montré dans ce chapitre la puissance de l'application de la théorie des jeux, il nous appartient maintenant d'évaluer les performances de la méthode développée afin de discuter de son efficacité dans le champ de la biométrie.

Dans le prochain chapitre nous allons mettre en œuvre cette méthode sur des images d'iris issus de la base de données CASIA et WVU.

Chapitre IV :

Tests et résultats

IV. Préambule

Après avoir présenté les phases composant notre système, on portera notre attention sur les tests réalisés ainsi que les résultats obtenus. Nous ferons aussi le point sur le choix technique pour finir avec une discussion des résultats et une évaluation générale de ce travail. Mais auparavant, il est utile de rappeler les bases utilisées comme outil de développement et qui ont servi à la programmation.

IV.1 Outil de développement

Nous avons eu recours à l'utilisation de MATLAB 2010b pour l'élaboration de notre système. Le MATLAB et son environnement interactif est un langage de haut niveau qui permet l'exécution de tâches nécessitant une grande puissance de calcul et dont la mise en œuvre sera bien plus simple et rapide qu'avec des langages de programmation traditionnels tels que le C, C++. Il dispose de plusieurs boites à outils en particulier celle du traitement d'images « ImageProcessing ToolBox » qui propose un ensemble d'algorithmes et d'outils graphiques de référence pour le traitement, l'analyse, la visualisation et le développement d'algorithmes de traitement d'images.

IV.2 Images test

Nous allons montrer à travers notre travail comment fonctionnent les différentes étapes de la segmentation à travers la méthode développée dans le cadre du présent travail sur des images d'iris. On utilisera des images issues des bases de données CASIA ver3 et WVU non-idéal telles que représentées sur la figure 24 et 25.

Les images issues de la base de données CASIA ver 3 sont au nombre de 2655 avec 396 classes d'iris, capturées en format 8 bit de niveau de gris avec une résolution de 320 x 280. En ce qui concerne la base de données WVU, elle contient 800 images correspondant à 200 classes. Chaque classe est représentée par quatre images collectées sous trois angles différents, à savoir, 0°, 15°, 30° et 0° une autre fois. Leurs résolution est de 640 x 480.

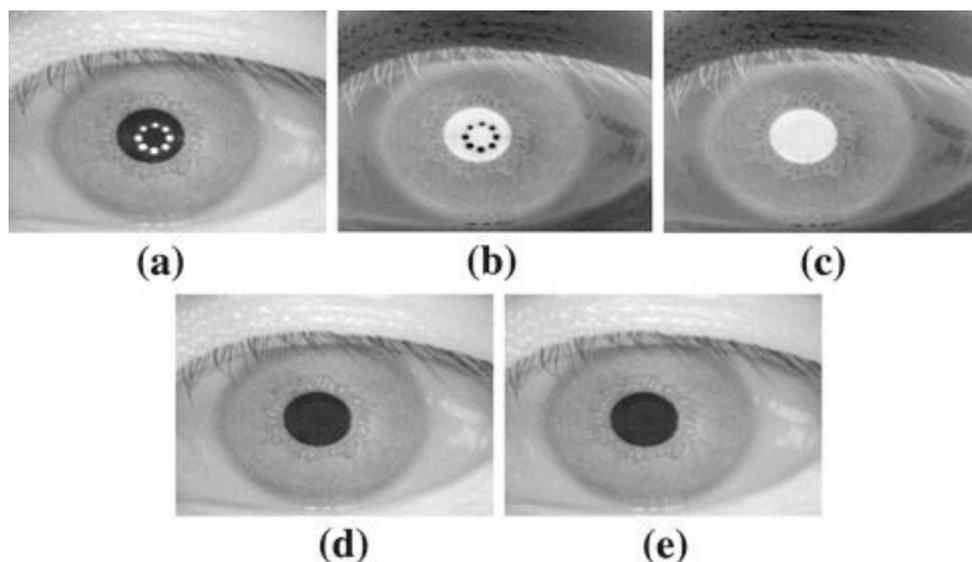


Figure 24 : Images prétraitées de la base de données CASIA

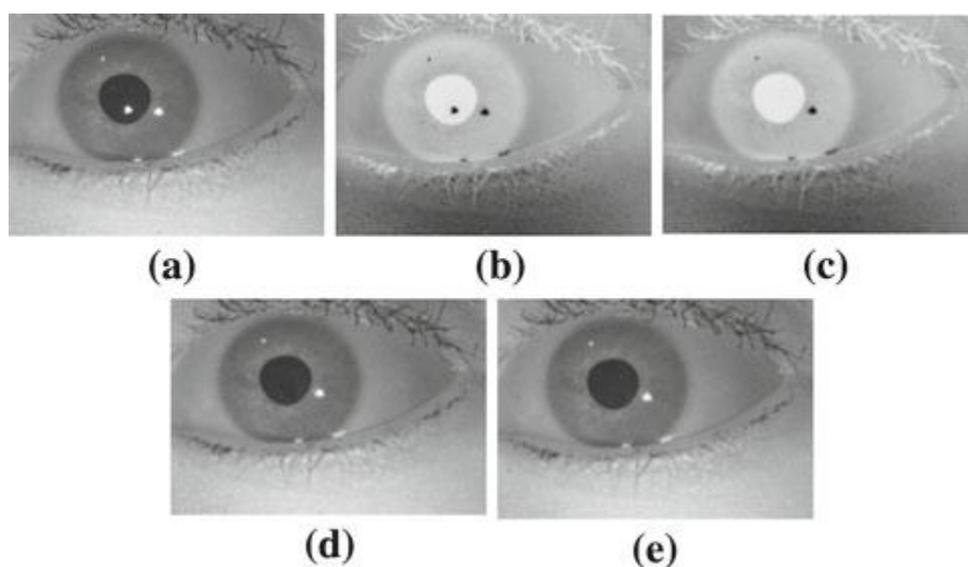


Figure 25 : Images prétraitées de la base de données WVU

Les images des figures 24 (a) et 25 (a) représentent les images originales respectivement des bases de données CASIA ver 3 et WVU, pour ce qui est des figures 24 (b) et 25 (b), elles représentent une inversion de l'image originale. Dans les images des figures 24 (c) et 25 (c), on opérera un remplissage des trous. Dans les figures 24 (d) et 25 (d), on fera une inversion des images 24 (c) et 25 (c). On terminera ce prétraitement par un lissage Gaussien comme le montrent les images 24 (e) et 25 (e).

IV.2.1 Quelques résultats et interprétation

Les images de la figure 26 représentent l'iris pendant l'étape de la segmentation en fusion entre la pupille et le contour interne de l'iris, c'est-à-dire l'extraction progressive à partir d'un point noyau central [b] par élargissement progressif de la zone pupillaire[d] jusqu'à la délimitation totale de la frontière interne de l'iris [e]

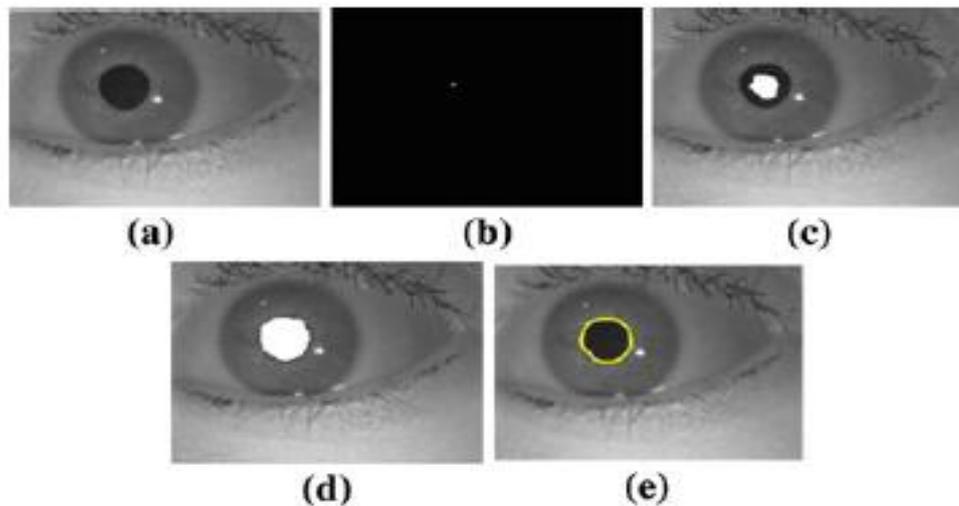


Figure 26 : Segmentation de la pupille en utilisant une approche d'intégration basée sur la théorie des jeux (image CASIA ver3)

La segmentation s'effectue en deux étapes : la première pour la séparation de la pupille et de l'iris figure représentée sur la figure 26, la seconde s'occupera de séparer l'iris du blanc de l'œil comme dans les figures 27 et 28.

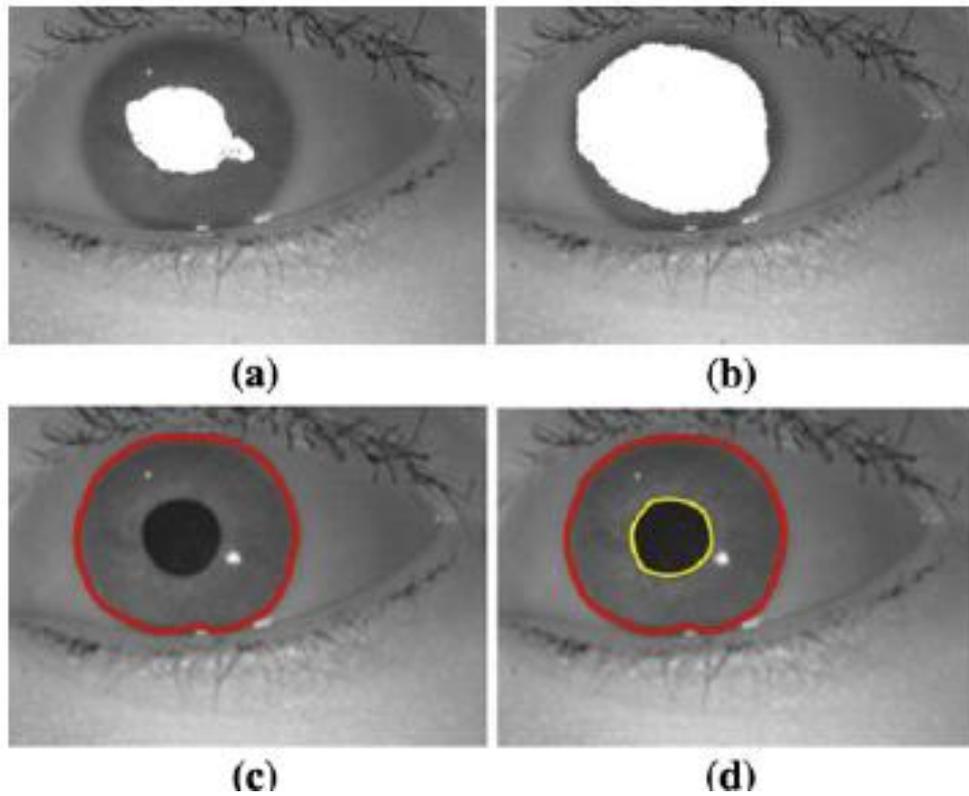


Figure 27 : Segmentation de l’iris utilisant une approche basée sur la théorie des jeux (image CASIA ver3) : (a) la segmentation de l’iris débute juste après l’obtention du contour de la pupille, (b) processus de croissance de la région par application de la théorie des jeux, (c) contour final de l’iris (d) contours finals de la pupille et de l’iris.

Grâce à ces images, nous voyons comment fonctionne graduellement l’évolution de la méthode sur les régions segmentées au cours de l’opération. Sur la base des expérimentations, les coefficients de couplage α et β ont été fixés à 0.27 pour tout l’ensemble des données du module de la théorie des jeux. Afin d’obtenir les contours de l’iris, nous allons fixer les constantes des équations qui concerne le module des level set ou $t = 0.05$ et $\epsilon = 0.015$.

Les valeurs des paramètres de l’équation de minimisation d’énergie (l’équation (14)) seront fixés à $\mu = 0.00001$, $\nu = 0.02$, $\lambda_1 = \lambda_2 = 1$, $t = 0.1$ et la constante $\epsilon = 1$. Quand au coefficient de couplage α et β ils seront mis à 0.

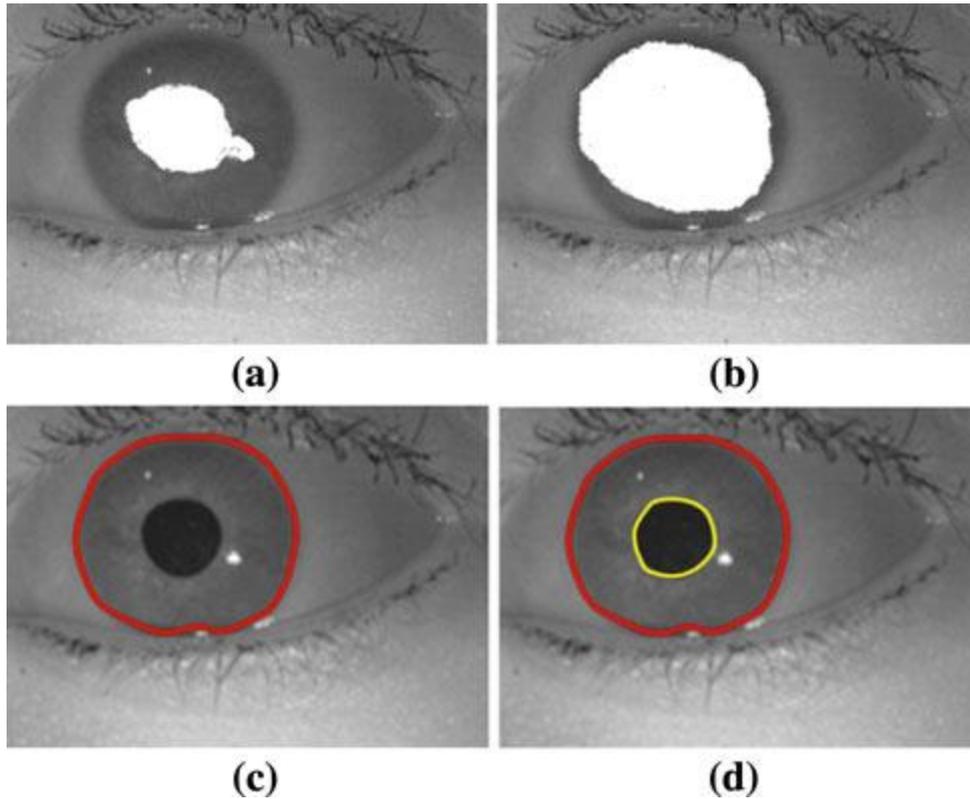


Figure 28 : Segmentation de l'iris utilisant une approche basée sur la théorie des jeux (image WVU) : (a) la segmentation de l'iris débute juste après l'obtention du contour de la pupille, (b) processus de croissance de la région par application de la théorie des jeux, (c) contour final de l'iris (d) contours finals de la pupille et de l'iris.

IV.2.2 Interprétations et discussions

Lors de la première étape, on remarque que la région de la pupille a été segmentée du reste de l'iris, si on suit l'évolution partielle, on voit que dans l'image (c) de la figure 26 l'approche région opérée est coloriée en blanc jusqu'à en différencier totalement la pupille de l'iris, le résultat final est représenté dans l'image (d).

En parallèle à cette procédure, la recherche du contour par level set apparait par le trait jaune qui formera le contour de la pupille ou encore le contour interne de l'iris visible dans l'image (e) de la figure 26.

Dans la seconde étape représentée par les figures 27 et 28, on suit la segmentation du disque de l'iris du blanc de l'œil, on remarquera que l'opération approche région va se propager jusqu'à englober l'iris sur les figure 27 (b) et 28 (b) tout en faisant en même temps une segmentation du contour extérieur de l'iris par les courbes de niveau (level set) jusqu'à le voir se formaliser totalement une fois la procédure bloquée sous forme du contour externe de l'iris représenté sur les figures 27 (c) et 28 (c).

Une fois ces deux étapes terminées, on aura finalement bien individualisé le contour de l'iris du reste de l'œil à travers la délimitation totale de sa couronne par les deux contours interne et externe comme le montre si bien l'image de les figure 27 (d) et 28 (d).

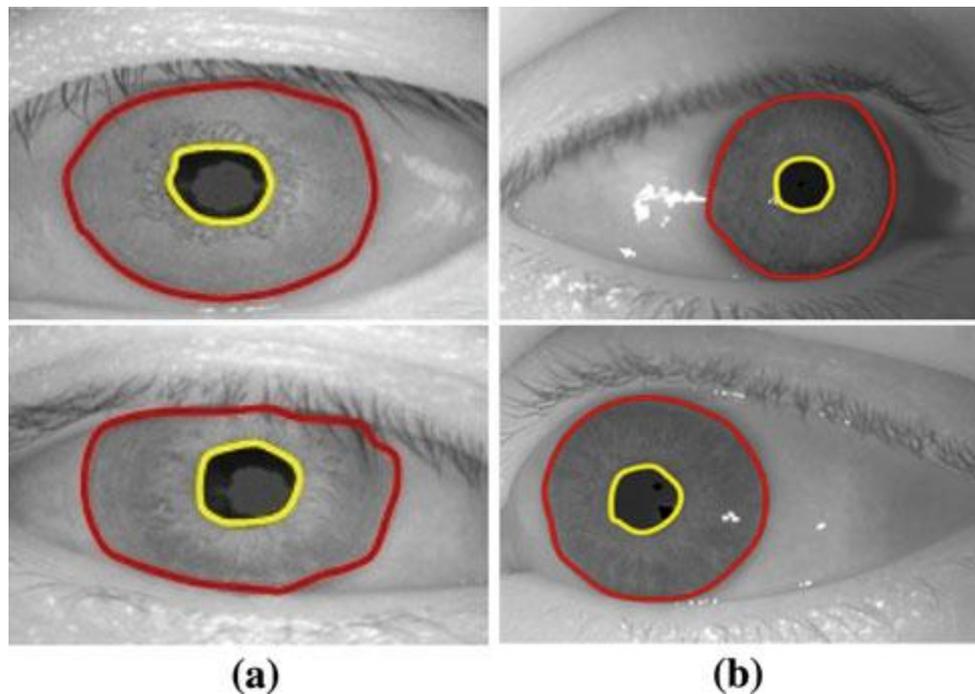


Figure 29 (a) segmentation d'image CASIA ver 3 (b) segmentation d'image WVU

Dans la figure 29, nous avons une représentation des résultats de notre méthode avec des photos prises dans des postures différentes, ou l'œil est rapproché de l'objectif ou bien mal centré dans l'image. Ces images sont issues des deux bases de données utilisées.

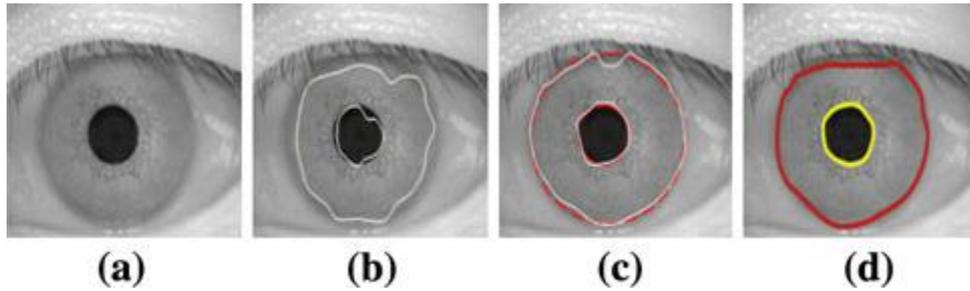


Figure 30 Efficacité de la méthode basée sur la théorie des jeux

Après les testes réalisés, nous avons effectué différentes approches des méthodes utilisées dans notre travail. Comme le montre la figure 30, nous avons opéré sur l'image originale figure 30 (b) l'approche région utilisée dans notre méthode sans le module de théorie des jeux et l'approche contours (level set) aussi sans le module théorie des jeux figure 30 (c). Le résultat de ce test effectué a révélé l'efficacité de la méthode fusion par la théorie des jeux, en effet, si on compare par rapport au résultat de l'image figure 30 (d), on remarque que le contour obtenu dans la figure 30 (d) est nettement meilleur et précis comparé aux deux autres méthodes utilisées séparément.

Si on se penche sur ce cas, on constatera que dans la situation de présence d'un bruit, une variation soudaine du niveau de l'intensité dans l'image de l'iris à cause d'un pixel bruyant et par conséquent le contour final déformé.

Cependant, dans notre cas, les autres points de la frontière continuent de se déplacer, du coup le processus d'évolution de la courbe basé sur la théorie des jeux ne cessent de se propager vers l'intérieur et les limites extérieur.

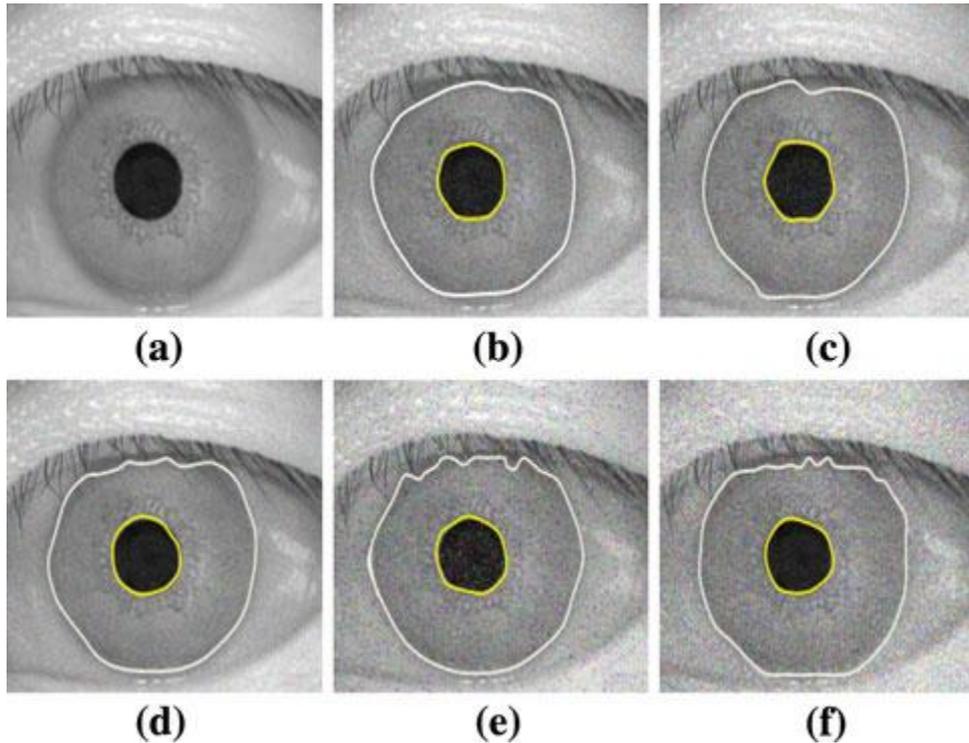


Figure 31 : Performance de la méthode dans différentes situations de bruits.

Nous avons soumis l'image teste de l'iris issue de la base de donnée CASIA ver 3 à différents bruits, ainsi, après avoir appliqué notre méthode nous les résultats obtenus. Dans le cas des figures 31 (b) et (c) les images ont un bruit blanc Gaussien, pour la première les valeurs de la moyenne $m = 0$ et la variance $v = 0.005$, pour la seconde image les valeurs de la moyenne $m = 0$ et la variance $v = 0.007$. En ce qui concerne la figure 31 (d) nous avons le résultat de l'application de notre méthode sur un bruit de poisson.

La figure 31 (e) montre le résultat de la méthode sur un bruit sel et poivre de densité de bruit $d = 0.06$, enfin, dans le cas de la figure 31 (f), nous avons une image ayant subie un bruit multiplicatif de moyenne $m = 0$ et d'une variance $v = 0.07$.

IV.3 Discussion

Les méthodes de segmentations conventionnelles de l'iris se fondent sur les formes prédéfinis (circulaire, elliptique) de la pupille et de l'iris, tandis l'algorithme développé ici, nous permet d'identifier de manière plus réaliste les contours par une approche fusion ou hybride (région + contours).

Ceci nous amène à dire que la méthode mise en œuvre a donné des résultats satisfaisant en ce qui concerne l'approche de segmentation qui est beaucoup plus robuste au bruit croissant ainsi qu'aux mauvaises localisations des pixels et des contours.

Ainsi une amélioration de l'image est apportée grâce aux deux étapes consistant à améliorer la texture de l'image en premier lieu et de réduire l'effet du bruit en second lieu.

Après avoir expérimenté cette méthode sur différentes bases de données, nos résultats ont prouvé son efficacité quelque soit le bruit auquel nous avons soumis l'image, ou comparé aux résultats des autres méthodes existante déjà.

Conclusion générale

Le principal objectif de notre travail était de réaliser une vérification et une identification biométrique à base de l'iris sur des individus, en effet, la précision dans la reconnaissance par l'iris joue un rôle important. La méthode choisie dans le cadre de ce travail a pour but de pouvoir réaliser un compromis entre les différents problèmes posés par ce mode d'identification. Pour cela, nous avons opté pour une fusion entre une approche région et une approche frontière par level set sur la base de la théorie des jeux.

En combinant ces deux méthodes, nous avons plus de chance de cerner le problème principal, à savoir, les mouvements de l'œil en général, que ce soit de la pupille, des paupières, de l'inclinaison de la tête et les différents bruits occultant pouvant provenir de plusieurs sources. Notre approche nous permet d'extraire le disque de l'iris quelque soit les contraintes imposées à l'œil comme le montre si bien les images obtenues par la mise en œuvre de la méthode développée. Comme nous l'avons constaté, cette extraction était progressive et s'opère par l'individualisation de la zone pupillaire à partir d'un point noyau et en parallèle par l'individualisation de la frontière entre l'iris et la sclérotique de l'œil, puis par une amélioration de la qualité d'image et une suppression de bruit. La robustesse de notre méthode permet donc d'appréhender de manière plus réaliste à la fois la forme et l'étendue de l'iris.

La principale perspective de notre travail se tournera vers le test de cette méthode sur beaucoup d'échantillons, afin de pouvoir évaluer les taux d'erreurs à savoir le FAR, FRR et TER. C'est en évaluant ces critères que nous pourrions conclure quant à la performance ou non de la méthode adoptée à grande échelle et à son intégration en tant qu'outil performant dans la reconnaissance biométrique par l'iris. Pour cela, une série de tests sur les différentes bases de données disponibles nous donnera une réponse plus appropriée.

1. Daugman, J.G.: “*High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence*”. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. **15**(11), 1148–1161 (1993).
2. Daugman, J.G.: “*How iris recognition works*”. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. **14**(1), 21–30 (2004).
3. D. Gabor “*Theory of communication*” J. Inst Electrical Engineers, 1946.
4. R.P. Wildes, “*Iris recognition: an emerging biometric technology*”, Proceedings of the IEEE , Volume 85, Issue 9, pp. 1348 -1363, September 1997.
5. K. Miyazawa, K. Ito, H. Nakajima “*A phased-Based Iris Recognition Algorithm*”, pp 356, 365 International Conference in Biometrics. ICB 2006.
6. Kim; Dae Hoon, Ryoo; Jang Soo ‘*Iris identification system and method of identifying a person through iris recognition*’, , US PATENT 6,247,813, June 19, 2001.
7. D. Bhat and S. Nayar: “*Ordinal measures for image correspondence*”, IEEE Trans. on PAMI, Vol.20, No.4 (1998) 415-423.
8. L. Masek, P. Kovesi. “*MATLAB Source Code for a Biometric Identification System based on Iris Patterns.*” The University of Western Australia, 2003.
9. Emine Krichen, Zenan Sun, Anouar Mellakh, Xianchao Qiu, Berndatte Dorizzi, Tieniu Tan, Sonia Salicetti ‘*Technical Report of Iris Working Group on the 1st BioSecure Residential Workshop*’.
10. Boles, W., Boashash, B.: “*A human identification technique using images of the iris and wavelet transform*”. IEEE Trans. Signal Process **46**(4), 1185–1188 (1998).
11. R. Sanchez-Reillo, C. Sanchez –Avila, A. Gonzales-Marcos, « *Improving access control Security using iris identification* », Proc. of the Conf. BMES/EMBS, IEEE Publication, Atlanta, Octobre 1999.

12. S. Lim, K. Lee et T. Kim, « *Efficient iris recognition through improvement of feature vector and classifier* », ETRI Journal, Vol. 23, N° 2, Juin 2001.
13. CASIA Iris Images database, www.sinobiometrics.com
14. Michal Dobes and Libor Machala, UPOL Iris Database, <http://www.inf.upol.cz/iris/>.
15. <http://www.bath.ac.uk/elec-eng/pages/sipg/irisweb/index.htm>
16. National Institute of Standards and Technology. Iris Challenge Evaluation. <http://iris.nist.gov/ice/> .
17. Ma, L., Tan, T., Wang, Y., Zhang, D.: “*Personal identification based on iris texture analysis*”. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. **25**(12), 1519–1533 (2003).
18. Ma, L., Tan, T., Wang, Y., Zhang, D.: “*Efficient iris recognition by characterizing key local variations*”. IEEE Trans. Image Process **13**(6), 739–750 (2004).
19. Proenca, H., Alexandre, L.: Toward “*noncooperative iris recognition: a classification approach using multiple signatures*”. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. **29**(4), 607–612 (2007).
20. Vatsa, M., Singh, R., Noore, A.: “*Improving iris recognition performance using segmentation, quality enhancement, match score fusion, and indexing*”. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. B **38**(4), 1021–1035 (2008).
21. He, Z., Tan, T., Sun, Z., Qiu, X.: Toward “*accurate and fast iris segmentation for iris biometrics*”. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. **31**(9), 1670–1684 (2009).
22. Liu, X., Bowyer, K.W., Flynn, P.J.: “*Experiments with an improved iris segmentation algorithm*”. In: IEEE Workshop on Automatic identification Advanced Technologies, pp. 118–123 (2005).

23. Liu, X., Bowyer, K.W., Flynn, P.J.: “*Experimental evaluation of iris recognition*”. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recogn. **3**, 158–165 (2005).
24. Schuckers, S.A.C., Schmid, N.A., Abhyankar, A., Dorairaj, V., Boyce, C.K., Hornak, L.A.: “*On techniques for angle compensation in nonideal iris recognition*”. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. B **37**(5), 1176–1190 (2007).
25. Ross, A., Shah, S.: “*Segmenting Non-ideal irises using geodesic active contours*”. In: Biometric Consortium Conference of IEEE Biometrics Symposium, pp. 1–6 (2006).
26. Sudha, N., Puhan, N.B., Xia, H., Jiang, X.: “*Iris recognition on edge maps*”. IET Comput. Vis. **3**(1), 1–7 (2009).
27. Puhan, N.B., Sudha, N., Anirudh, S.K.: “*Efficient segmentation Technique for noisy frontal view iris images using Fourier spectral density*”. Signal Image Video Process (2010).
28. Fitzgibbon, A., Pilu, M., Fisher, R.B.: “*Direct least square fitting of ellipses.*” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. **21**, 476–480 (1999).
29. Chakraborty, A., Duncan, J.S.: “*Game-theoretic integration for image segmentation*”. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. **21**(1), 12–30 (1999).
30. Malladi, R., Sethian, J.A., Vemuri, B.C.: “*Shapemodeling with front propagation: a level set approach.*” IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. **17**(2), 158–175 (1995).
31. Sethian, J.A., Strain, J.: Crystal “*growth and dendritic solidification*”. J. Comput. Phys. **98**, 231–253 (1992).
32. Chan, T.F., Vese, L.A.: “*Active contours without edges*”. IEEE Trans. Image Process. **10**(2), 266–277 (2001).
33. Mumford, D., Shah, J.: “*Optimal approximation by piecewise smooth functions and associated variational problems.*” Commun. Pure Appl. Math. **42**(5), 577–685 (1989).

34. Roy, K., Bhattacharya, P., Suen, Ching Y.: “*Recognition of unideal iris images using region-based active contour model and gametheory.*” Int. Conf. Image Process, pp. 1705–1708 (2010).