



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

*Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen*

Faculté de Technologie Département  
de Génie Biomédical

**MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES**

*Pour l'obtention du Diplôme de*

**MASTER en GENIE BIOMEDICAL**

*Spécialité : Imagerie Médicale*

Présenté par : **BENCHEKOUR WALID OUSSAMA & REZKI  
BOUTHAINA**

---

*Traitement des Images Biomédicales pour des applications de  
la biométrie*

---

Soutenu le 27 juin 2021 devant le Jury

Mr. DJEBBARI ABDELGHANI	MCA	Université de Tlemcen	Président
Mme. BENCHAIIB YASMINE	MCA	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mr. HADJ SLIMANE ZINE- EDDINE	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur

*Année universitaire 2020-2021*

*« Celui qui emprunte un chemin menant à l'apprentissage d'une  
Science, Allah lui facilite l'accès au paradis. »*

*Notre prophète Mohammed<sup>^</sup>*

*Cette Mémoire est dédiée à Maman et Papa,  
Sans lesquels je n'aurais jamais vu le jour.*

## *Remerciements*

*Nous remercions avant tout, DIEU le Tout Puissant de nous avoir accordé toutes ses faveurs, innombrables Grâces, de santé, du courage et de la patience pour accomplir ce travail.*

*Nos remerciement et Nos profondes gratitude vont à **Mr .HADJ SLIMANE ZINE-EDDINE** , pour ses précieux conseils et son suivi tout au long de cette période, de nous avoir aidé, soutenu et motivé afin de parvenir à accomplir notre travail.*

*Nos remerciements et notre gratitude vont également aux mesdames et messieurs les membres du jury pour leur précieux temps accordé à l'étude de notre mémoire.*

*Monsieur **Mr. DJEBBARI ABDELGHANI**, Maître de conférences à l'Université Abou bekr Belkaid, pour nous avoir fait l'honneur de présider ce jury.*

*Madame **BENCHAIB YASMINE**, Maître de conférences à l'Université Abou bekr Belkaid , pour avoir accepté de juger ce travail en qualité d'examineur .*

*Les mots ne suffisent pas pour exprimer Nos profonde gratitude Nous remercions également tous les enseignants du département de génie biomédical à l'université Abou bakr belkaid de Tlemcen.*

*Nos derniers mots s'adressent tout particulièrement à ma famille : je remercie du fond de mon cœur mes parents mon père, ma mère, et mes Sœur et frère .et surtout mon cher père dont les encouragements et le soutien ont été indispensables à l'aboutissement de mes études, et que sans elle je n'aurai jamais pu réussir .pour leur soutien inconditionnel. Ils sont ma source inépuisable de motivation, et tous ceux qui ont pu m'aider dans la réalisation de ce travail.*

# Résumé

En effet, des efforts importants sont fournis dans le domaine de la recherche en biométrie et les besoins en sécurité deviennent importants. Les applications biométriques sont nombreuses mais elles doivent apporter un niveau de sécurité supérieur en ce qui concerne des accès logiques et physiques. Ainsi, vu que le réseau vasculaire rétinien se trouve unique pour chaque individu et infalsifiable, il est utilisé comme un trait biométrique. Plusieurs travaux Pratique ont été effectués en ce domaine pour l'identification et l'authentification d'individus. Dans le cadre de notre travail, s'inscrit dans le domaine de « La Biométrie Rétinienne » on propose une méthode Automatique utilise une nouvelle combinaison de techniques puissantes pour l'extraction de caractéristiques basées sur la morphologie mathématique (LPE), pour l'extraction de l'arbres vasculaire rétinien et la Détection des points de bifurcation (pour la construction de La signature biométrique) pour des Cas Pathologiques qui peut répondre aux exigences dans les deux Domaines Biométrie et Imagerie Médicale .

**Mots-clefs:** Biométrie, sécurité, Les applications biométriques, le réseau vasculaire, infalsifiable, modalité biométrique, l'identification, l'authentification, la morphologie mathématique, LPE, points de bifurcation, La signature biométrique, Cas Pathologiques, imagerie médicale.

## Abstract

Indeed, significant efforts are being made in the field of biometric research and security needs are becoming important. There are many biometric applications, but they must provide a higher level of security with regard to logical and physical access. Thus, since the retinal vascular network is unique for each individual and cannot be falsified, it is used as a biometric trait. Several practical works have been carried out in this area for the identification and authentication of individuals. Within the framework of our work, falls within the field of "Retinal Biometry" we propose an Automatic method using a new combination of powerful techniques for the extraction of features based on mathematical morphology (LPE), for the extraction of the retinal vascular trees and the Detection of the bifurcation points (The biometric signature) for Pathological Cases which can meet the requirements in the two fields of Biometrics and Medical Imaging.

**Keywords:** biometric research, Security, biometric applications, retinal vascular network, unique, identification, authentication, Retinal Biometry , Automatic method , mathematical morphology ,LPE, extraction of the retinal vascular trees, bifurcation points, The biometric signature, Pathological Cases , Medical Imaging.

## ملخص

في الواقع ، يُبذل جهود كبيرة في مجال البحث البيومتري وأصبحت الاحتياجات الأمنية مهمة. هناك العديد من تطبيقات القياسات الحيوية ، ولكن يجب أن فرد توفر مستوى أعلى من الأمان فيما يتعلق بالوصول المنطقي والمادي. من وبالتالي ، نظراً أن شبكة الأوعية الدموية في شبكية العين فريدة لكل في وال يمكن تزويرها ، يتم استخدامها كسمة بيومترية. تم تنفيذ العديد الأعمال العملية في هذا المجال لتحديد هوية الأفراد والمصادقة عليهم. إطار عملنا ، يقع ضمن مجال "القياسات الحيوية لشبكية العين" نقترح طريقة تلقائية باستخدام مزيج جديد من التقنيات القوية استخراج الميزات بناءً على التشكل الرياضي (LPE) ، استخراج أشجار الأوعية الدموية في شبكية العين و الكشف عن نقاط التشعب (البصمة البيومترية) للحالات المرضية التي يمكن أن تلبى المتطلبات في مجالي القياسات الحيوية والتصوير الطبي.

**الكلمات المفتاحية:** التوقيع الحيوي، المصادقة، هوية الأفراد، تطبيقات القياسات الحيوية، الأمنية القياسات الحيوية

# *Table des matières*

*Remerciements*

*Résumé*

*Liste des figures*

*Liste des tableaux*

*Liste des acronymes*

*Organisation du Travail*

*Introduction générale*

## **Chapitre I: Les Notions de Base sur Biométrie**

<b>I.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>18</b>
<b>I.2</b>	<b>La Biométrie.....</b>	<b>18</b>
	a) Définition.....	18
	b) Historique.....	18
	c) Usage .....	19
<b>I.3</b>	<b>Les Systèmes biométriques et leurs modes de fonctionnements.....</b>	<b>19</b>
<b>I.4</b>	<b>Les différentes modalités biométriques .....</b>	<b>20</b>
	<b>A) La modalité morphologique .....</b>	<b>21</b>
	• Les empreintes digitales.....	21
	• La Géométrie de la main.....	22
	• La reconnaissance de la rétine .....	22
	• La reconnaissance de l'iris .....	23
	<input type="checkbox"/> La reconnaissance de visage .....	24
	<input type="checkbox"/> La reconnaissance des ongles .....	24
	• La reconnaissance du réseau veineux... ..	24
	<input type="checkbox"/> Rythme cardiaque .....	25
	<b>B) La modalité biologique .....</b>	<b>25</b>
	• L'odeur corporelle .....	25
	• L'A.D.N .....	25
	<input type="checkbox"/> La reconnaissance de la thermographie faciale.....	26
	<b>C) La modalité comportementale .....</b>	<b>26</b>
	<input type="checkbox"/> La reconnaissance vocale.....	27
	• La reconnaissance par la signature.....	27

<input type="checkbox"/> La reconnaissance de la dynamique de la frappe au clavier.....	28
• La reconnaissance de la démarche .....	28
<b>I.5 Les Techniques de La Biométrie.....</b>	<b>29</b>
<b>I.6 Les applications de la Biométrie .....</b>	<b>29</b>
<b>I.7 Les avantages et les limites de la biométrie .....</b>	<b>30</b>
<b>I.8 Evaluation Comparatives des Systèmes Biométriques .....</b>	<b>31</b>
<b>I.9 Multi modalité .....</b>	<b>32</b>
<b>I.10 Mesure des Performances.....</b>	<b>33</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>34</b>

## *Chapitre II : Biométrie Par La rétine*

<b>II.1 Introduction.....</b>	<b>36</b>
<b>II.2 Anatomie de la rétine.....</b>	<b>36</b>
<b>II.3 La biométrie de la rétine .....</b>	<b>39</b>
a) Les points forts de la rétine .....	39
b) Les points faibles de la rétine .....	40
<b>II.4 Pathologies rétiniennes .....</b>	<b>40</b>
<b>II.5 Les techniques d'acquisition des images rétiniennes .....</b>	<b>43</b>
<b>II.6 État de l'art des méthodes existantes portant sur la biométrie par la rétine .....</b>	<b>47</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>50</b>

## *Chapitre III : Méthodes et Résultats*

<b>III.1 Introduction .....</b>	<b>52</b>
<b>III.2 Les images rétiniennes .....</b>	<b>52</b>
<b>III.3 Approche proposée.....</b>	<b>53</b>
<b>III.4 Description des bases de données.....</b>	<b>54</b>
<b>III.5 Détection du réseau vasculaire.....</b>	<b>56</b>
<input type="checkbox"/> Les vaisseaux sanguins.....	56
Algorithme de détection.....	57

<b>III.6 Analyse des Résultats Expérimentaux</b>	
a) Matériel.....	63
b) Analyse des résultats.....	63
<b>III.7 Détection des Points Caractéristiques</b>	
a) Principe .....	64
b) Algorithme de détection.....	65
<b>III.8 Détection de la signature biométrique.....</b>	<b>66</b>
<b>III.9 Détection les points de références .....</b>	<b>66</b>
a) <b>Détection du Disque Optique.....</b>	<b>66</b>
b) Localisation de la région d'intérêt biométrique.....	66
c) <b>Détection de la macula.....</b>	<b>67</b>
<b>III.10 Recalage .....</b>	<b>68</b>
<input type="checkbox"/> Type de Recalage .....	70
• Approche Proposée .....	71
• Recalage guidé par des points de contrôle.....	72
<input type="checkbox"/> Recalage automatique par ICP.....	72
<b>III.11 Classification.....</b>	<b>73</b>
• Caractérisation .....	73
<input type="checkbox"/> Apprentissage et reconnaissance.....	73
<input type="checkbox"/> Phase de test.....	74
<b>III.12 Méthodes d'évaluation des classifieur (Matrice de confusion) .....</b>	<b>74</b>
<input type="checkbox"/> Classification par K-plus proches voisins.....	75
• Classification par Machine à Vecteurs de Support.....	75
• Classification par Réseau de Neurone.....	76
<b>III.13 Évaluation et Interprétations .....</b>	<b>76</b>
<b>III.14 Interface graphique.....</b>	<b>78</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>78</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>79</b>
<b><i>Perspectives.</i> .....</b>	<b>80</b>
<b><i>Bibliographie</i>.....</b>	<b>82</b>
<b><i>ANNEXE</i>.....</b>	<b>83</b>



# *Liste des figures*

## **Chapitre I**

Figure I.1 la croissance de la biométrie

Figure I.2 Architecture d'un système de reconnaissance biométrique

Figure I.3 les différentes modalités biométriques

Figure I.4 L'empreinte digitale

Figure I.5 La reconnaissance de La géométrie de la main

Figure I.6 La reconnaissance de la rétine

Figure I.7 La reconnaissance de l'iris

Figure I.8 La Reconnaissance faciale

Figure I.9 La reconnaissance du réseau veineux

Figure I.10 Rythme cardiaque

Figure I.11 Un chien détecte les odeurs

Figure I.12 la structure de l'ADN

Figure I.13 La reconnaissance de la thermographie faciale

Figure I.14 La reconnaissance vocale La Voix

Figure I.15 La reconnaissance par la signature La signature

Figure I.16 la dynamique de frappe au clavier

Figure I.17 La reconnaissance de la démarche

Figure I.18 les différents Applications biométriques

Figure I.19 courbes représentatives des taux de similitude

Figure I.20 comparaison des techniques biométrique

Figure I.21 Les différents systèmes multimodaux

## Chapitre II

Figure II.1 l'anatomie de la rétine humain

Figure II.2 les photorécepteur de la rétine

Figure II.3 la connexion des cellules ganglionnaire

Figure II.4 la connexion des cellules plexi-forme interne

Figure II.5 la connexion des cellules nucléaires interne

Figure II.6 L'épithélium cornéen

Figure II.7 le DMLA est ces types

Figure II.8 hémorragie a cause de la rétine diabétique

Figure II.9 la rétine hypertensive

Figure II.10 décollement de la rétine

Figure II. 1 Rétinite pigmentaire

Figure II.12 l'examen de l'angiographie

Figure II.13 Schématisation des apports des différents moyens d'imagerie de la rétine et de la choroïde

Figure II.14 les caractéristiques du flux sanguin dans les vaisseaux réiniens et choroïdes

Figure II.15 Composants de la fluorescéine

Figure II.16 l'appareil de tomographie en cohérence optique

Figure II.17 les Images obtenues à partir de OCT

Figure II.18 l'échographie oculaire

Figure II.19 cliché de l'échographie de l'œil

Figure II.20 l'appareil de rétinographe oculaire et rétinographe mobilet la rétinographie d'une rétine sain

Figure II.21 L'ophtalmoscopie au laser

## Chapitre III

Figure III.1 la réfraction des rayons parallèles

Figure III.2 l'image rétinienne de 2 étoiles proches

Figure III.3 la projection de l'image des étoiles

Figure III.4 la division de la lettre E

Figure III.5 Schéma générale de notre approche

Figure III.6 construction des opérateurs de la morphologie mathématique

Figure III.7 La base de données DRIVE

Figure III.8 La base de données MESSIDOR

Figure III.9 La base de données DIARET db1

Figure III.10 vascularisation artérielle

Figure III.11 vascularisation veineuse

Figure III.12 Organigramme de Segmentation du Réseau Vasculaire

Figure III.13 Prétraitements Génération Masque

Figure III.14 Test des couleurs RGB

Figure III.15 égalisation adaptative par CLACHE

Figure III.16 TOP HAT

Figure III.17 Minima locaux, bassin versant et LPE

Figure III.18 Résultats de Segmentation du Réseaux Vasculaire Rétinien Par LPE  
(a, b) LPE superposé sur l'image en NG et Réseaux extrait

Figure III.19 L'extraction du Réseaux Vasculaire Rétinien Par LPE

Figure III.20 L'extraction du Réseaux Vasculaire Rétinien Par LPE

Figure III.21 l'organigramme de la détection de la signature biométrique

Figure III.22 Squelettisation

Figure III.23 Exemple d'un point de bifurcation et Les différentes formes d'intersections vasculaires

Figure III. 24 Les points de bifurcation

Figure III. 25 Exemples d'extraction des points de bifurcation

Figure III.26 Matrice de SB

Figure III.27 Matrice caractéristiques de l'image [03\\_test](#).

Figure III.28 Prétraitement du DO

Figure III.29 Localisation de la région d'intérêt

Figure III.30 Extraction du Disque Optique

Figure III .31 Prétraitement de La macula

Figure III.32 L'extraction de la macula

Figure III.33 Recalage

Figure III.34 Fusion des images médicales

Figure III.35 Exemple recalage IRM cérébrale (voxels) image 3D

Figure III.36 Exemple 1 Recalage monomodal intra-patient : Evolution de lésions (images IRM d'un patient atteint de sclérose en plaque à quelques mois d'intervalle)

Figure III.37 : Recalage multimodal intra-patient

Figure III.38 Exemple 3 Recalage monomodal inter-patients

Figure III.39 Exemple de mesure en utilisant les points comme primitives.

Figure III.40 Organigramme des étapes de Classification

Figure III.41 À gauche, un échantillon correspondant à un problème de classification simple. À droite, la séparation optimale de ce problème

Figure III.42 Apprentissage d'un modèle à partir d'un ensemble d'apprentissage

Figure III.43 Matrice de Confusion

Figure III.44 Machine à Vecteurs de Support

Figure III.45 Exemple des images des Personne Authentifiée et Non Authentifiée

## *Liste des tableaux*

Tableau I.1 comparaison de modalités biométrique donnée par le CLUSIF

# *Liste des acronymes*

- MATLAB** : Matrix Labortory
- RD** : La Rétinopathie Diabétique
- DMLA** : dégénérescence de la macula due à l'âge.
- MLA** : Maculopathie Liée à l'Age
- DRIVE** : « Digital Retinal Images for Vessel Extraction ».
- ARIA** : Analysis Retinal image archive
- MCA** : analyse des composants morphologique
- ISO** : Organisation internationale de normalisation
- IBG** : International Biometric Group
- CLAHE** : Contrast limit AHE
- AHE** : Égalisation adaptative
- HE** : Égalisation d'histogramme
- TOPHAT**: Chapeau haut de forme
- MF** : Filtre adaptative
- FDOG** : filtre dérivée première gaussienne
- OCT** : Tomographie en cohérence optique
- DO** : Disque Optique    **ROI** : Région d'intérêt
- SLO** : Scanning laser ophthalmoscopy
- RM** : Rétinographie mydriatique
- IRM** : L'imagerie par résonance magnétique
- ADN** : Acide désoxyribonucléique
- RNM** : Rétinographie non mydriatique

**LPE** : ligne de partage des eaux.

**N.G.** ; Niveaux de gris.

**RVB** : rouge, vert, bleu.

**HSV** : Hue, Saturation, Value

**FAR** : Taux de fausses acceptations

**FRR** : Taux de faux rejets (*False Reject Rate*).

**FMR** : **False** Match Rate.

**VN** : Vrais Négatifs. **VP** : Vrai Positive

**FN** : **Faux** Négatifs. **FP** : **Faux** Positifs.

**SVM** : Support Vector Machine

**KNN** : K plus proche voisin

**GDF** : la fonction de distance généralisée

**FNMR** : Taux de fausse non-correspondance

**g2NN** : le test du deuxième voisin le plus proche

**FMR** : Taux de fausse correspondance

**ICP** : « Iterative Closest Point ».

**LM** : algorithme d'optimisation de « Levenberg-Marquardt ».

**Se** : Sensibilité      **Sp** : Spécificité

# Organisation du Travail

Notre travail inclue trois chapitres

Le plan de chacun d'eux est ci-dessous :

## Chapitre I : Les Notions de Base sur la biométrie

**Dans ce chapitre**, Nous présentons la Biométrie en général, la Définition, l'historique, leur usage, les caractéristiques de la Biométrie et l'architecture de la structure d'un système biométrique. Ensuite, les différentes Modalités (morphologique, biologique et comportementale), les différentes techniques. De plus, nous détaillons Les performances des systèmes biométriques. En outre, les applications de la Biométrie, Les avantages et les limites du système biométrique suivi par la multi modalité. Enfin, on termine la comparaison entre les différentes modalités et conclusion.

## Chapitre II : La biométrie par la rétine

Ce chapitre est basé sur la biométrie rétinienne. D'abord, nous commençons par une Définition de l'anatomie de la rétine ainsi que leurs points forts et faibles et les techniques d'acquisitions. Ensuite, on s'intéresse aux outils de traitement d'images. Finalement, on se focalise sur l'état de l'art de méthodes existantes dans la littérature de la biométrie par la rétine et on termine par une conclusion.

## Chapitre III : Méthodes et résultats

Est le dernier chapitre et aussi le noyau de notre travail. Nous focalise sur l'évaluation des différentes contributions ainsi que l'approche globale de notre système sur une base de données publique DRIVE, MESSIDOR et Diaret db1et0. Premièrement, on présente notre approche globale du système suivi d'une description des bases de données publiques. En deuxième lieu, on s'intéresse à la détection du réseau vasculaire et ses points de bifurcations pour extraire la signature biométrique. Troisièmement, le recalage des images précédé de détection du deux points de contrôle (centre de la macula et disque optique). Finalement, la comparaison des signatures biométriques et l'interprétation, l'évaluation de notre approche.

Enfin, ce travail se terminera par une conclusion générale dans laquelle nous résumerons les principales contributions et résultats obtenus, et annoncerons quelques perspectives de recherche.

# Introduction générale

Traditionnellement, la reconnaissance d'individus se fait soit par des méthodes classiques la connaissance de mots de passe ou des réponses à des questions secrètes, soit par un badge d'accès ou une carte à puce personnalisés ,la carte d'identité ont vulnérables. Cependant, chacune de ces méthodes souffre de plusieurs problèmes ,sont très facile de falsifier, de pertes, d'oubli et de reproduction, Le recours à la reconnaissance biométrique est devenu de plus en plus une exigence pour faire face à des problèmes d'insécurité, sans cesse croissants, notamment dans les aéroports et aux postes frontaliers. Alors la sécurité est à l'ordre du jour. Aujourd'hui, on assiste à une volonté des états d'installer des équipements biométriques de haute sécurité .La biométrie est donc appelée à connaître un fort développement dans les années à venir.

L'œil qui est une merveille de la nature, offre les deux caractéristiques biométriques les plus fiables qui sont l'iris et la rétine. L'iris a bénéficié d'un grand intérêt et de nombreux systèmes biométriques basées sur l'iris sont installés dans des sites à sécuriser tels que les aéroports. Bien qu'elle soit réputée d'être très fiable et difficile à falsifier, la rétine n'a pas connu un intérêt aussi important à cause de la difficulté d'acquisition de l'image du fond de l'œil. En effet, avec l'avancement des systèmes rétiniens numérisés, il est possible d'analyser de manière automatique les images du fond d'œil, en particulier les images rétiniennes en couleur dont le but de réduire le temps du diagnostic et le traitement des maladies de la rétine pour les ophtalmologues, plusieurs chercheur se sont devenu intéressés à la biométrie par la rétine. La détection et la caractérisation des vaisseaux sanguins sur des images rétiniennes jouent un rôle très important dans le contexte de la Biométrie vu que le réseau vasculaire se trouve unique pour chaque individu et infalsifiable, il est utilisé comme un trait biométrique. Plusieurs travaux Pratique ont été effectués en ce domaine pour l'identification et l'authentification d'individus.

L'objectif de notre travail est l'analyse et le traitement automatique des images médicales. Il touche le domaine médical ainsi que celui du traitement d'image. Parmi toute la modalité biométrique nous nous intéressons plus particulièrement à l'imagerie rétinienne (La biométrie Rétinienne). La Technologie de Reconnaissance de la rétine car elle est la plus fiable et une garantie de confidentialité, et les images de la rétine sont les plus utilisées dans les domaines médicaux, car en surveillant l'évolution des vaisseaux sanguins, de nombreuses maladies peuvent être diagnostiqué. L'imagerie positionnelle de la rétine de l'œil permet d'obtenir une image du fond d'œil, et cette image contient en elle-même une partie des informations jugées insuffisantes pour cela. Un groupe d'images doit être pris pour couvrir complètement le fundus, puis mis ensemble et enregistrés dans la base de données. À l'heure actuelle il n'y a pas beaucoup de programmes capables de collecter des images automatiquement, et notre travail consiste à trouver un algorithme Automatique qu'utilise une nouvelle combinaison de techniques puissantes Permettant d'extraire un ensemble d'attributs l'extraction de caractéristiques pour caractériser la rétine et servir comme signature biométrique, pour l'extraction du système vasculaire rétinien et la Détection des points de bifurcation (La signature biométrique) l'étude est spécialisé pour des Cas Pathologiques et pour la vérification automatique d'identité. Notre approche est basée sur les techniques de la morphologie mathématique LPE.



# *Chapitre I*

## *Les Notions de Base sur la Biométrie*

## I.1 Introduction

La biométrie, appliquée dans un contexte de traitement automatisé des données. De nos jours, peut être mise à contribution pour l'identification des individus et l'authentification grâce à des appareils couplés à des programmes informatiques complexes. L'identification de l'individu est essentielle pour assurer la sécurité des systèmes d'information et des organisations, fait partie de ces nouvelles technologies, Elle correspond à la recherche de l'identité de la personne qui se présente dans une base de données et peut servir à autoriser l'utilisation des services. Pour répondre à ces besoins, la biométrie semble être une solution pratique, efficace et dont le coût en effort et en argent est en constante diminution. Les industriels proposent de plus en plus, pour résoudre les problèmes de sécurité, de mettre en place un système basé sur des combinaisons de différents modalités biométriques afin d'accroître encore la sécurité. Vu que les caractéristiques de la rétine vérifie les quatre conditions, Elle est unique, accessible, universelle et permanente, unique à chaque individu même si chez les vrai jumeaux, elle est qualifiés d'être un trait biométrique de haute sécurité mais n'empêche pas que reste certaines difficultés face a la reconnaissance rétinienne. Notre travail s'inscrit dans le domaine de la biométrie, La biométrie Rétinien, basée sur l'extraction de la signature biométriques à partir des réseaux Vasculaire Rétiniens dans les images atteintes des pathologies qui déforment complètement le disque optique et la macula. La détection et la caractérisation des vaisseaux sanguins sur des images rétinienne Permettent de Montrer le Présences des Maladies Oculaires, et Prévenir de la perte de Vision par Détection précoce. Donc jouent un rôle très important dans le diagnostic de certaines maladies, comme le diabète ou l'hypertension. Ces maladies provoquent des changements dans l'arbre vasculaire de la rétine.

## I.2 La Biométrie

### a) Définition

La biométrie est une science, notion fondamentalement vaste, Elle est également une "Science qui étudie à l'aide de mathématiques (statistiques, probabilités) les variations biologiques à l'intérieur d'un groupe déterminé" selon (*Petit Robert*). Liée à l'anthropométrie ou "La mesure d'éléments de l'homme", définie aussi comme une « science qui a pour objet les mensurations du corps humain » .dont l'objectif vise à la reconnaissance automatique des individus à partir de son comportement ou d'une ou plusieurs caractéristique physique, Cette définition est donnée par la ISO.

- La biométrie est originaire d'une contraction des deux anciens termes grecs « **Bios** » qui signifie : **la vie** et le « **metron** » qui se traduit par : **la mesure** (*Gregory et Simon 2008*).
- Le mot Anglais "**Biometric**", utilisé pour définir "La mesure des éléments morphologiques des humains", est fréquemment traduit en français par "**Biométrie**".

### b) Historique

La reconnaissance anthropométrique est l'origine de La biométrie, l'empreinte digitale était la plus ancien analyse utilisé. Jouent un rôle important dans la détermination de l'identité des personnes et se développe beaucoup pour son utilisation future.il y a 3 mille ans, Les Chinois et les Japonais avaient suivi l'empreinte digitale pour la signature dans les contrats de scellement. La plus ancienne empreinte digitale du Koweït, datant de 7300 ans, a été récemment découverte .Au 19 ème siècle, les Britanniques utilisaient les empreintes digitales lorsqu'ils étaient au Bengale, en Inde, afin de différencier les prisonniers et les travailleurs là-bas. Car ils ont découvert que les empreintes digitales ne sont pas les mêmes ni héritées d'une personne à l'autre, même chez des jumeaux identiques.

# Chapitre I : Les Notions de Base sur la Biométrie

Le physiologiste tchèque *Jan Evangelista Burkin* est l'une des plus anciennes personnes qui à avoir manifesté leur intérêt sur les empreintes digitales. *En 1823*, il a publié un traité contenant la classification des empreintes digitales similaire à la conjonctive utilisée maintenant. *En 1878*, Le scientifique français *Alphonse Bertillon* a réussi à atteindre une méthode scientifique appelée "anthropologie judiciaire" permettait d'identifier les voyous Selon leurs mesures physiologiques. L'Argentine est le premier pays à utiliser une empreinte digitale comme une utilisation officielle dans la détection de la criminalité. *En 1897*, lorsqu'un policier argentin nommé *Joan Fuzdic* a créé un système qui identifie les criminels grâce à leurs empreintes digitales, lorsqu'une femme a tué ses deux enfants et blâmé les Voisins. La science médico-légale des empreintes digitales, Il est divisé en deux parties peut s'agir d'une preuve morale comme un témoignage ou une confession, et cela peut être une preuve physique comme la découverte de l'identité d'une personne. Actuellement, Les intérêts médico-légaux utilise une variété de mécanismes et de technologies ne se contentent plus uniquement d'empreintes digitales Comme avant ex (des empreintes de mains, des empreintes digitales, des empreintes oculaires et auriculaires, ou même des empreintes vocales).

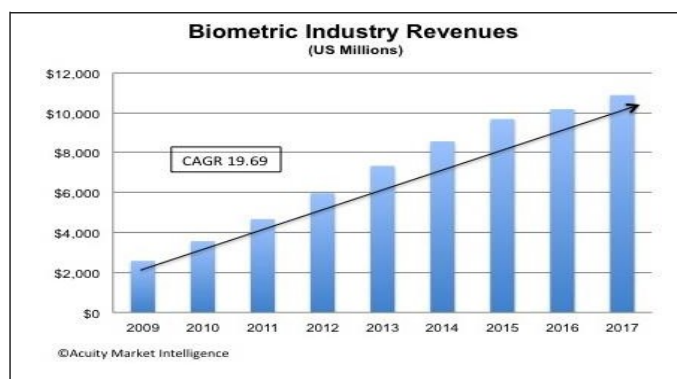


Figure I.1 la croissance de la biométrie

## c) Usage

D'une manière générale, la biométrie une technologie a pour objectif d'établir ou de vérifier l'identité d'un individu de manière irréfutable, permettant l'analyse mathématique des caractéristiques biologiques, morphologiques ou comportementales d'une personne. La biométrie apparie pour combler les manques des systèmes d'accès classiques. La biométrie recouvre l'ensemble des procédés tendant à identifier un individu à partir de la mesure de l'une ou de plusieurs de ces caractéristiques physiques. Physiologiques ou comportementales. C'est la définition donnée par la *CNIL* « Commission Nationale de l'Information et des Libertés » française.

### I.3 Les Systèmes biométriques et leurs modes de fonctionnements

On peut définir les systèmes biométriques comme étant des applications permettant l'identification automatique ou l'éligibilité d'un individu à se voir reconnaître certains droits ou services (notamment l'accès à des zones sécurisées) basés sur la reconnaissance des caractéristiques physiologiques (empreinte digitale, iris, rétine, contour de la main, etc.), des caractéristiques biologiques (ADN, sang, odeurs) ou des caractéristiques comportementales (signature, marche, frappe au clavier). Le principes de Fonctionnement de Systèmes biométriques tel que décrit dans la littérature (*Jain et al, 2007 ; Nanavati , 2002*).

- **Enrôlement** : Etape pour collecter et Enregistrer les Signatures Biométriques pour chaque individu ou utilisateur dans la base de données c a dire sert à créer la base de données de référence.

# Chapitre I : Les Notions de Base sur la Biométrie

- **L'identification** : « Qui suis-je ? » pour rétablir l'identité d'une personne (inconnue), rechercher l'identité d'un individu en comparant ses données biométriques avec d'autres personnes dans une base de données.
- **L'authentification : La vérification (contrôle)** : « Suis-je bien la personne que je prétends être ? ». pour vérifier l'identité prétendue d'une personne, c a dire la vérification de la concordance entre les données biométriques saisies et celles de la même personne.

- **Le module d'acquisition ou module de capture :**

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

- **Le module d'évaluation de qualité et d'extraction de caractéristiques**

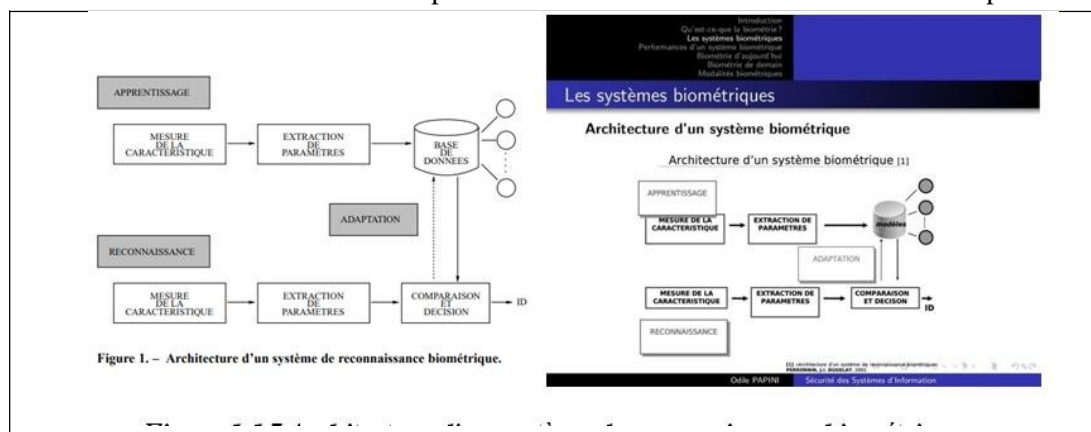
Utilise en entrée les données biométriques acquises par le module d'acquisition et faire l'extraction seulement l'information et les paramètres pertinente pour former une nouvelle représentation des données. En général, cette nouvelle représentation, il faudra être unique pour chaque individu et invariante aux variations intra-classes.

- **Le module de comparaison (matching) et de prise de décision :**

Ou **Le module de correspondance** : permet de faire la comparaison entre l'ensemble des caractéristiques extraites avec le modèle enregistré dans la base de données du système et vérifier le degré de similitude et le point de correspondance ou de divergence entre les deux.

- **Le module de décision :**

Permet de vérifier l'identité affirmée par un utilisateur ou détermine l'identité d'une personne



## 1.4 Les différentes modalités biométriques

Nous ne donnons dans ce point là qu'un rapide aperçu des technologies biométriques les plus courantes. Pour les caractéristiques physiques, nous décrivons la reconnaissance de visage, gramme facial, d'empreintes digitales, de géométrie de la main, de rétine et d'iris. Pour les caractéristiques comportementales, nous décrivons les systèmes basés sur la voix et la signature. Il existe d'autres méthodes biométriques basées sur les veines de la main, l'A.D.N. (acide désoxyribonucléique), l'odeur corporelle, la forme des lèvres, la forme de l'oreille, le rythme de frappe sur un clavier, la démarche, etc. Il existe divers traits présents chez les humains, qui peuvent être utilisés comme modalités biométriques. Ces modalités peuvent être divisées en 2 grandes groupes :



Figure I.3 les différentes modalités biométriques

## A) La modalité morphologique ou physiologique

Elle est beaucoup utilisée en raison de la difficulté de forger, **repose** sur l'extraction de données à partir de mesures anatomiques d'une personne. Se rapporte à la forme du corps comme l'empreinte digitale, le visage, la rétine, l'iris, La géométrie de la main ...

- **L'empreinte digitale**

L'empreinte digitale est une petite bosse dans la peau adjacente aux dépressions, sont formées par les crêtes (ridge) et les vallées (furrow) présentes sur la surface du bout des doigts, de sorte qu'elle facilite le processus de saisie des choses voir figure (1.3). La reconnaissance d'empreintes digitales est la technique biométrique la plus ancienne et c'est l'une des plus matures et les plus utilisées pour révéler l'identité des personnes. Les empreintes digitales sont placées sur les cartes d'identité ou les passeports, après quoi elles sont photographiées et leur image est préservée ou stockée sur un ordinateur dans la base de données afin d'identifier des corps inconnus ou des criminels même après 20 ans (*Mahmoud Al-Harith Al-Basousi*). Les empreintes digitales sont formées chez une personne dans l'utérus de sa mère lorsqu'il est fœtus dans les premiers mois, toutes ses caractéristiques diffèrent au cours du développement, à l'exception de ses empreintes digitales, qui restent constantes et cela conduit l'individu à se distinguer du reste même des jumeaux, donc leurs empreintes digitales diffèrent les unes des autres. La forme de l'empreinte digitale peut être falsifiée, mais des appareils avancés peuvent le détecter en identifiant la peau morte du vivant en examinant l'absorption et la réflexion du spectre, où la longueur d'onde réfléchie de la peau vivante diffère de la peau morte et du sang. L'écoulement dans la peau peut également être examiné.



Figure I.4 L'empreinte digitale

# Chapitre I : Les Notions de Base sur la Biométrie

## • La Géométrie de la main

Cette méthode est largement utilisée dans les domaines où travaillent de nombreux employés car les doigts et les mains de chaque personne ont leurs propres caractéristiques, Cela se fait en insérant la main dans un appareil qui mesure vos doigts et la paume de votre main avec précision, avec l'identification des veines derrière la paume. Voir figure (I.4) Le processus de l'examen prend généralement trois secondes, La première étape est Un individu doit placer sa main sur le scanner. La main doit reposer à plat avec le scanner et les doigts droits. Ensuite, la caméra infrarouge pour obtenir une forme tridimensionnelle de la main prend une photo sous deux angles différents. Ensuite, un numéro d'identification est automatiquement placé pour chaque copie. Lors de la numérisation du badge d'employé (poinçon manuel), le système vérifie que le symbole sur la carte correspond à l'ID de code dans le système. Si le salarié n'utilise pas de carte, il doit saisir son code d'accès personnel (clé à main). Et tout comme les empreintes digitales, les techniques qui utilisent la géométrie de la main vérifient également la température et la pression artérielle de la main.

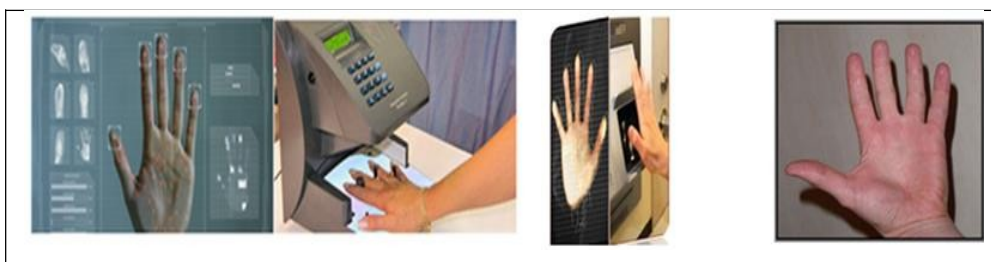


Figure I.5 La reconnaissance de La géométrie de la main

## • La reconnaissance de la rétine

La technologie de reconnaissance Retina est l'une des plus sûres au monde, Il n'y a aucun risque pour la rétine lors de l'examen. La rétine contient plusieurs propriétés uniques qui ne ressemblent à la rétine d'aucun autre personne, et sont différentes même de la rétine de l'autre œil chez la même personne ; Ces propriétés sont statiques et ne changeront pas à vie, et n'ont donc pas besoin d'être mises à jour après leur stockage dans la base de données. L'ophtalmomètre, C'est un test simple qui ne provoque aucune douleur et permet le calcul des mesures oculaires en fonction du comportement des ondes lumineuses ou ultrasonores qui traversent la structure du globe oculaire, Il est également rapide et facile à utiliser, effectué pour découvrir divers paramètres de l'œil, tels que la longueur du globe oculaire, la mesure de la courbure de la cornée, la profondeur de la chambre antérieure et la structure séparant la cornée de l'iris. Cette technique est basée sur l'analyse de la forme des vaisseaux sanguins situés derrière le globe oculaire, qui se caractérise par sa différence entre les personnes de même les vaisseaux sanguins diffèrent entre l'œil gauche et l'œil droit d'une même personne, et l'opération se fait en exposant le globe oculaire à un faisceau de rayons infrarouges qui est absorbé par l'extrémité du sang. Ensuite la forme du vaisseau sanguin et son trajet à l'intérieur de l'œil sont analysés. La personne Doit retirer les lunettes ou les lentilles de contact pendant l'opération, il doit être très proche de l'appareil et regarder directement dans les lentilles de l'appareil avec l'œil bien ouvert, le personne doit rester immobile pendant que la lumière passe à l'intérieur de l'œil jusqu'à la fin du l'opération, l'opération est répétée si le personne bouge.

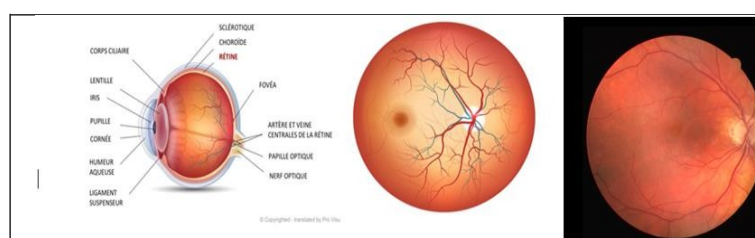


Figure I.6 La reconnaissance de la rétine

# Chapitre I : Les Notions de Base sur la Biométrie

## • La reconnaissance de l'iris

La technologie de reconnaissance de l'iris a connu un grand développement et c'est parce que l'iris contient de nombreuses propriétés qui aident en biométrie par rapport aux empreintes digitales ou au visage, elle est considérée comme l'une des technologies les plus précises au monde car chacun de nous a un iris différent. Il a été utilisé dans les aéroports, les frontières et les centres d'inspection, mais il est devenu largement utilisé dans les endroits où l'entrée non autorisée est interdite. L'iris est le tissu coloré en forme de disque dans l'œil entourant la pupille. Il contrôle la quantité de lumière qui y pénètre en l'étendant et en la contractant. La fonction la plus importante de l'iris est de contrôler la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil par la pupille, dans le but de faciliter la mise au point des objets dans la rétine. Quand on est dans un environnement lumineux, les couleurs de l'iris varient en fonction du pourcentage de mélanine, il y a du bleu, du vert et du marron (Sarah Collins, Université de Cambridge), Dogman a utilisé une caméra infrarouge qui a photographié la distribution de ces fibres musculaires, puis a traité les images avec un ordinateur et les a converties en données numériques. Dogman a effectué 30 millions de comparaisons entre les caractéristiques de ses iris, qu'il a photographiées traduites en données numériques. Pas deux des iris identiques ont été trouvés. (Ala Radwan, Oloummasrah al Jarima 2018), Cette méthode a attiré l'attention de nombreux scientifiques avant est après le professeur Dogman.

- **1936** : L'ophtalmologiste **Frank Burcha** a proposé l'idée de reconnaître les personnes par les motifs de leurs iris, bien avant que la technique ne soit mise en œuvre dans la pratique.
- **1981** : les ophtalmologistes américains **Leonard Flum et Aran Sefer** ont discuté de l'idée d'utiliser la reconnaissance oculaire comme une forme de biosécurité, bien que cette technique ne soit pas encore suffisamment développée.
- **1987** : Deux scientifiques **Flum et Sefer** obtiennent un brevet sur le principe de base du système de reconnaissance de l'iris.
- **1996** : La prison de Lancaster en Pennsylvanie commence à tester une empreinte oculaire comme moyen de vérifier l'identité d'un prisonnier.
- **1999** : Bank United Corporation à Houston, Texas, convertit les guichets automatiques des supermarchés à la technologie biométrique.
- **2000** : L'aéroport international Charlotte Douglas en Caroline du Nord et l'aéroport de Francfort en Allemagne ont utilisé une empreinte d'iris dans les recherches régulières de passagers, étant les premiers aéroports à le faire.
- **2006** : Une empreinte oculaire a été appliquée dans les aéroports britanniques, notamment Heathrow, Gatwick, Birmingham et Stansted. Malgré les problèmes de sécurité, des centaines de milliers de voyageurs ont volontairement choisi d'utiliser des machines pour éviter les longues files d'attente pour vérifier les passeports, (Salwahider 2020). L'empreinte digitale de l'iris peut être reconnue à l'aide d'un appareil photo numérique qui envoie des ondes lumineuses infrarouges placées très près de l'œil afin de prendre une image détaillée de l'iris. Ensuite à travers de nombreux programmes, l'appareil compare des milliers d'images et les analyse en très peu de temps.

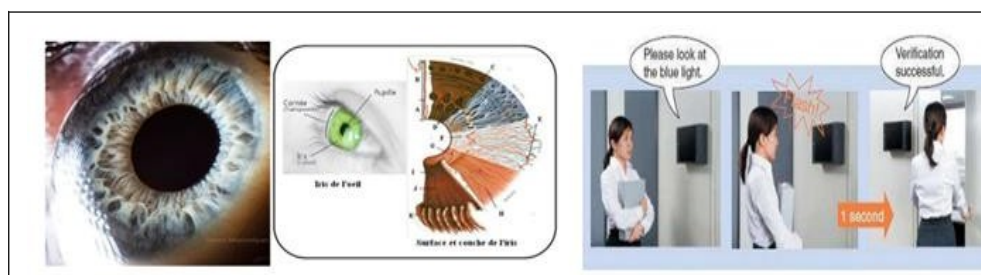


Figure I.7 La reconnaissance de l'iris

- **La reconnaissance de visage**

La biométrie de La reconnaissance faciale, Le visage est certainement la caractéristique biométrique que les humains utilisent le plus naturellement pour s'identifier entre eux, ce qui peut expliquer pourquoi elle est en général très bien acceptée par les utilisateurs. La reconnaissance faciale est une technologie qui combine des techniques biométriques, l'intelligence artificielle, la cartographie 3D et l'apprentissage en profondeur pour comparer et analyser le visage d'une personne pour la reconnaître. Le logiciel actuel de reconnaissance faciale analyse généralement environ 80 traits du visage. Cette technologie n'est pas nouvelle, elle existe depuis l'Antiquité, mais elle n'a pas gagné beaucoup de popularité dans certaines régions du monde jusqu'à présent. En analysant le visage humain dans les images, puis en le convertissant en données numériques en fonction des caractéristiques présentes dans chaque visage. Donc en utilisant des traits du visage également appelés points nodaux. Ces caractéristiques comprennent la distance entre les yeux, la longueur du nez, la forme des joues la profondeur de l'orbite ou la largeur de la mâchoire, la taille des lèvres et du menton voir figure suivante, les relations spatiales entre eux et donner une analyse complète des différentes images du visage pour les représenter, afin d'identifier une personne sur une photo ou un clip vidéo en comparant son visage. Ceux enregistrés dans la base de données, cette technologie a été utilisée par les grandes entreprises comme), dans l'application Google Photos pour les photos de leurs téléphones mobiles. **En 2014**, les scientifiques ont développé un algorithme capable de reconnaître les visages avec un taux de 98,52%, En conséquence, tous les algorithmes utilisés entre 2013 et 2018 ont obtenu de meilleurs résultats par rapport aux algorithmes de la période entre 2010 et 2013.



*Figure I.8 La Reconnaissance faciale*

- **La reconnaissance des ongles**

La technique est basée sur les stries longitudinales des ongles, qui dépendent de la structure de l'épiderme sous-jacent. On peut révéler le relief de l'ongle grâce à un interféromètre, et le cartographier.

- **La reconnaissance du réseau veineux**

La biométrie par la reconnaissance des veines fonctionne assez simplement Prometteuse, cette dernière technique sonde par infrarouge le dessin du réseau de veines soit du doigt soit de la main. C'est un procédé déjà très répandu au Japon. Il est notamment développé par **Hitachi** pour les établissements bancaires. Le motif des veines du doigt ou de la paume de la main sert de critère d'authentification des personnes.



*Figure I.9 La reconnaissance du réseau veineux*



# Chapitre I : Les Notions de Base sur la Biométrie

- Rythme cardiaque

Comme les empreintes digitales, le rythme cardiaque est propre à chaque personne et doit donc permettre de l'identifier. En effet, des chercheurs ont découvert que le rythme cardiaque, et plus précisément la forme des pics d'un électrocardiogramme, sont propres à chaque individu.



Figure I.10 Rythme cardiaque

## B) Les modalités biologiques

- L'odeur corporelle

L'empreinte d'odeur est considérée comme l'une des plus récentes, Il a été proposé il y a plus de 15 ans en Hongrie, en Europe de l'Est, lorsque la justice s'est appuyée sur l'odeur comme preuve pour détecter les criminels. Chaque personne a une odeur distinctive. Et l'odeur corporelle est une très petite molécule que le corps humain sécrète à l'endroit où elle se trouve ou passe (*Ahmed Ibrahim Al-Sharif 2006*). Cette technologie est très différente, car elle n'est pas utiliser des caméras ou du matériel, elle est plutôt fait par des chiens policiers qui ont une forte odeur ,Les odeurs sont analysées avec les étapes suivantes : Au moyen de bandes de tissu spécial, la personne en question recueille des traces d'odeurs qui ont été laissées aux endroits où se trouvait la personne visée, puis cette bande est placée dans un récipient stérile et stockée dans un endroit désigné. L'odeur persiste sur le tissu pendant les dix prochaines années, ce qui permet de comparer ces odeurs avec la signature olfactive du suspect. La personne suspecte est amenée puis on lui demande d'essuyer son corps avec une autre bande de tissu pendant dix ou quinze minutes, puis le chiffon est placé dans un autre récipient stérile selon des procédures scientifiques précises de comparaison. Un chien dressé se voit confier cette tâche pour identifier l'odeur parmi plusieurs bandes de tissu, et dans le cas où le dernier chien atteint le même résultat, la présence du suspect est prouvée sur les lieux du crime.



Figure I.11 Un chien détecte les odeurs

**L'A.D.N** L'empreinte ADN a été inventée en 1984 par le professeur d'université «*Sir Alec Jeffries*» après avoir réalisé que les différences dans l'ADN humain pouvaient être détectées dans les cellules sanguines. Chaque personne a son propre ADN de forme et de structure différente, les vrais jumeaux ont le même ADN. L'ADN est extrait d'un

# Chapitre I : Les Notions de Base sur la Biométrie

Échantillon biologique en utilisant la méthode d'électrophorèse. Puis il l'a soulevé sur un cliché dédié au pétrissage. Cette méthode est considérée comme l'une des méthodes les plus anciennes et les plus utilisées car l'ADN est présent dans chaque cellule du corps humain, les cheveux, le sang, la peau, etc., et elle est largement utilisée dans les scènes de crime pour identifier les criminels à travers les restes à la scène de crime. Les informations sont saisies dans la base de données s'il existait auparavant alors le résultat de la recherche sera positif. Dans ce cas, une correspondance sera établie et la personne visée sera Annoncée Mais s'il est entré dans la base de données pour la première fois, le résultat de la recherche sera négatif. Dans ce cas, il est inclus en tant que prototype dans la base de données pour être utilisé pour rendre possible des correspondances à l'avenir.



Figure I.12 la structure de l'ADN

## • La reconnaissance de la thermographie faciale

L'imagerie thermique est définie comme une technique permettant d'obtenir une image thermique du corps humain, en particulier du visage, à l'aide de caméras infrarouges spéciales. L'imagerie thermique est une méthode de mesure de la température d'un objet à la surface et de le convertir en images visuelles, Les scientifiques ont comparé les résultats et les images obtenues sous lumière visible, puis sous imagerie thermique. Les scientifiques ont utilisé deux types de systèmes, dont l'un détermine l'identité d'une personne par imagerie directe du visage avec des caméras thermiques, et l'autre correspond aux images capturées par des caméras ordinaires. En fin de compte, les chercheurs ont conclu que les premières images créées avec la caméra infrarouge *Flir Therma Cam* donnaient 766 photos de 40 volontaires d'un groupe de 19 hommes et 21 femmes, à qui on a demandé de s'asseoir et de regarder la caméra pendant deux minutes. Les caméras IRIS pour les images visuelles sur «4190 photos ont été collectées avec l'aide de 30 personnes, dont beaucoup bougeaient la tête et utilisaient des expressions faciales différentes». Où la congruence était de 99,5% dans le cas du rayonnement infrarouge, et de 82,14% dans le cas de la caméra IRIS (Geneviève Fournier2020).

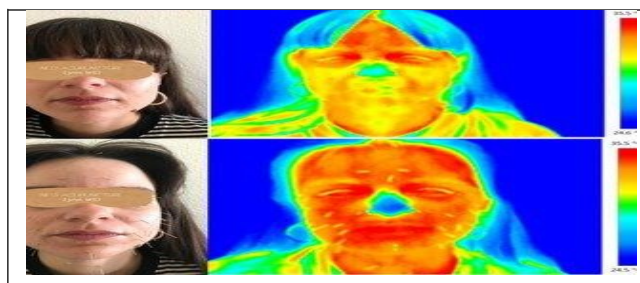


Figure I.13 La reconnaissance de la thermographie faciale

## C) La modalité comportementale

Se rapportent au comportement et aux actions des personnes, comme la signature, la dynamique de frappe au clavier, La reconnaissance vocale... Il change avec le stress ou la faiblesse et est Également

# Chapitre I : Les Notions de Base sur la Biométrie

Moins sûr. Mais il a un avantage sur la première catégorie, car il peut ne pas être clair pour la personne, c'est-à-dire qu'il est possible de déterminer son identité sans savoir qu'elle a subi ce processus.

## • La reconnaissance vocale

Contiennent plus de 100 éléments, Grâce à la technologie et aux équipements modernes, les scientifiques ont pu identifier les personnes avec un taux de 97%. La voix est une forme dynamique de biométrie et n'est pas statique comme une empreinte digitale, il est difficile d'en faire une copie numérique, et la biométrie acoustique qui enregistre et analyse la voix distinctive de chaque personne est l'une des méthodes les plus avancées dans la lutte contre fraude électronique, Et la voix est un facteur important d'identification des personnes car elle reste le premier et principal moyen de communication entre les personnes, La signature vocale peut différencier les jumeaux qui partagent le même ADN, ce qui rend la technologie suffisamment fiable pour être utilisée comme preuve dans l'identification des individus. (*BBC news 2013*) ,Lorsque vous commencez à parler, vous créez des vibrations dans l'air, et l'appareil convertit ces ondes en données numériques que l'ordinateur peut gérer, puis prend certains niveaux d'ondes, puis ce système filtre le son numérique pour supprimer le bruit indésirable, puis il est divisé en différentes bandes de fréquences. En plus de traiter le son et d'ajuster sa vitesse et sa longueur d'onde. Parfois, l'air est retiré de certaines lettres telles que T et P pour obtenir des expressions claires, puis analysé et comparé avec des modèles audio précédemment stockés (*Amal Ahmed et Rafat Fayyad et autres 2018*) voir figure( 1.13), Cette méthode a utilisé les grandes entreprises parmi elles afin de développer leur marque et de vaincre leurs concurrents,

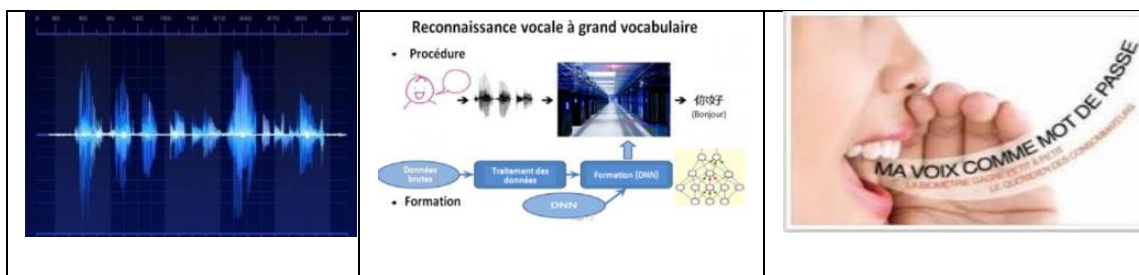


Figure 1.14 La reconnaissance vocale La Voix

## • La reconnaissance par la signature

Une signature est une mise en page du nom ou du prénom de la personne, qui est dessinée sur des documents, des documents et des papiers d'identité afin d'identifier le propriétaire de la personne. Pour cela, les gens conservent une signature distinctive. Les personnes sont identifiées par leur signature selon deux méthodes Le premier est une analyse de la signature elle-même et le second est les caractéristiques distinctives du processus de signature (le mécanisme de signature), Différentes méthodes sont utilisées pour identifier les signatures, Parmi eux la tablette numérique, où la personne signe sur une planche droite voir figure (1.14).et l'appareil analyse les différentes courbes et lignes puis les coupe pour les comparer ultérieurement avec la signature d'une autre personne.



Figure I.15 La reconnaissance par la signature La signature

- **La dynamique de frappe au clavier**

Apparues dans les années 80 est l'une des méthodes les plus anciennes et vise à essayer d'analyser et d'identifier le comportement d'une personne tapant sur un clavier. La technique consiste à noter les temps de clics sur les boutons, le relâchement des touches et le mouvement des doigts de chaque personne lors de la frappe sur le clavier voir figure suivante. Cette technique est utilisée car elle diffère entre les personnes, entre les hommes et les femmes, avec l'âge et entre les jumeaux. Ces informations peuvent être analysées de manière simple par ordinateur, le scientifique **Christoph Rosenberger** est devenu l'un des plus grands scientifiques religieux travaillant actuellement sur le développement de cette technologie (*mark zeffagni 2012*), où il a pu développer un système qui recueille ces données automatiquement, qui est la méthode la plus utilisée, mais il existe d'autres solutions, comme l'étude du son résultant du clic ou l'utilisation d'une caméra pour représenter le mouvement des mains mais elles sont moins fiables.



Figure I.16 la dynamique de frappe au clavier

- **La reconnaissance de la démarche**

Chaque personne a une façon de marcher distincte, grâce à laquelle il est possible d'identifier une personne et d'être considérée comme un indicateur de son humeur et de sa santé. Actuellement, une équipe de chercheurs a développé des capteurs à distance qui analysent les pas en mesurant des vibrations terrestres infinitésimales. Ils ont utilisé ces vibrations pour identifier les personnes et tester une nouvelle façon de surveiller la santé sans examen direct. **«Hai Young Noh ingénieur civil et environnemental à l'Université Carnegie Mellon »**, a déclaré La façon dont quelqu'un marche est comme une empreinte digitale. C'est comme sa signature tout à fait unique car elle peut révéler son identité, sa localisation, les activités qu'il exerce, même voire sa santé et sa condition physique, Pour mesurer cette empreinte unique et riche en données, les chercheurs ont par le passé équipé les marcheurs d'appareils portables ou les ont fait marcher sur des tapis spéciaux ou des sols modifiés pour la biométrie. Mais le chercheur **« Hai Yong Noh »** et l'ingénieur Bi Chang ont créé des capteurs de pied et des étapes qui fonctionnent à distance. Les scientifiques ont profité du fait que les murs et les sols modèles captent même les faibles vibrations de toute activité dans leur espace, surveillant indirectement les humains et l'environnement environnant.

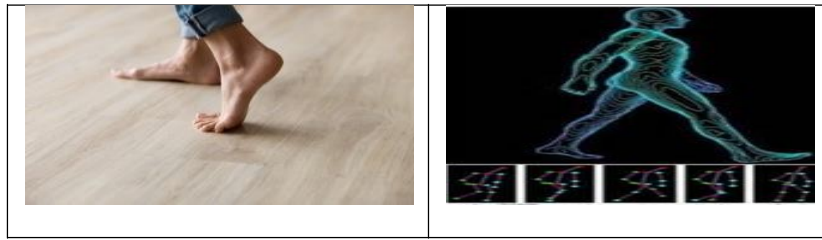


Figure I.17 La reconnaissance de la démarche

## I.5 Les Techniques de La Biométrie

Il existe deux groupes de techniques biométriques selon la coopération ou non de l'individu :

- **Techniques intrusives** : Ces techniques nécessitent un contact physique avec l'individu pour l'identifier, tel que la rétine, l'iris, les empreintes digitales, ou la forme de la main. Leur usage est en général mal accepté.
- **Techniques non intrusives** : Ces techniques ne requièrent pas la coopération de l'individu en question c a dire ne nécessitent pas un contact directe avec l'utilisateur. Leur application peut se faire à distance en utilisant des capteurs tel que (visage, démarche,...).

## I.6 Les applications de la Biométrie

**a) Authentification** : Egalement appelée vérification et comparaison de données distinctes saisies par une personne avec le modèle de référence encapsulé dans la mémoire, afin de déterminer la similitude entre les deux. Afin d'identifier la personne et de vérifier son identité, L'authentification est devenue largement utilisée et s'est généralisée dans divers secteurs, tels que les retraits aux guichets automatiques. Des banques est des cartes bancaires, des transferts d'argent, des achats en ligne et des réservations d'hôtel....,Google a annoncé l'utilisation d'une nouvelle fonctionnalité anti-fraude dans son système d'exploitation pour appareil mobile Android , qui rend les mécanismes d'authentification biométrique plus sécurisés, car les technologies d'authentification biométrique, telles que les empreintes digitales, le lecteur d'iris ou les technologies de reconnaissance faciale, Améliorent le processus de déverrouillage des appareils et applications. En le rendant plus rapide et plus sûr, Même les grandes marques ont adopté cette méthode pour satisfaire et rassurer leurs clients sur le sort de leurs données personnelles et pour offrir un processus d'achat sûr et facile Parce que les mots de passe d'aujourd'hui sont complexes est difficiles à retenir par leurs propriétaires, ou ils sont faibles simples et faciles à déchiffrer.

**b) Contrôle l'accès** : Il est devenu une grande utilisation de ce temps car il allie sécurité et confort l'identification est maintenant utilisée dans de nombreuses entreprises, usines, centres d'État, bureaux principaux et même portes et ascenseurs, et c'est pour désigner les personnes autorisées à entrer, Le contrôle d'accès biométrique reconnaît les individus à travers leurs caractéristiques physiques. Les deux méthodes de biométrie les plus courantes sont les empreintes digitales et l'iris, mais peuvent être utilisées l'autre modalité biométrique.

# Chapitre I : Les Notions de Base sur la Biométrie

**c) Gérer la présence des salariés :** Les excuses diffèrent dans les raisons du retard au travail, et cela peut être répété par certains employés jusqu'à ce que cela devienne une caractéristique D'eux. De plus, le retard du processus de l'employé signifie que sa productivité diminue par rapport au nombre d'heures de travail fixé par l'entreprise, car moins de travail signifie moins de productivité. Un employé négligé provoque et affaiblit ses collègues, Une méthode a été développée qui permet aux entreprises de mesurer le temps de présence de leurs employés. Il sera également fourni par un service GPS bientôt, car l'employeur saura exactement où l'employé a passé son temps dans l'entreprise. Il ne s'agit pas d'espionner les salariés mais plutôt de pouvoir prendre en compte les horaires de travail de ceux qui travaillent en dehors de leur bureau , Grâce au système de présence et de départ vous pourrez gérer les heures de travail de chaque employé, en commençant par déterminer les règles de présence et de départ, les listes de jours fériés, les types de congés, etc., puis en enregistrant les empreintes digitales ou la géométrie de la main de chaque employé.

## d) Machines & Equipements divers:

- Distributeur automatique de billets.
- Lieu sensible (club de tir, police).
- Contrôle des temps de présence.
- Contrôle des adhérents dans les clubs privés.

## e) Etat/Administration:

- Fichier judiciaire.
- Services sociaux (sécurisation des règlements).
- Système de vote électronique.



Figure 1.18 les différents Applications biométriques

## I.7 Les avantages et les limites de la biométrie

Pour l'efficacité des systèmes biométriques, Il doit avoir la capacité d'adaptation aux changements permanents et temporaires de l'utilisateur. Pour réussir, un système biométrique doit présenter une logique de marché, il doit exploiter le même sens que le périphérique auquel il est joint. D'autre part, le **CLUSIF Club** de la Sécurité des systèmes d'Information Français a également proposé une autre comparaison des différentes modalités biométriques basée sur les avantages et les inconvénients de chacune.

# Chapitre I : Les Notions de Base sur la Biométrie

La technique	Les avantages	Les inconvénients
Empreinte digital	-Peu coûteuse -Ergonomie moyenne -Facilité d'utilisation -N'est pas encombrante	-Qualités optimale des appareils de mesure (fiabilité) -Acceptabilité moyenne
Géométrie de la main	-Très ergonomique -Bonne acceptabilité	-Système encombrant -Coûteuse -Perturbation par les blessures
Visage	-Peu coûteuse -Peut encombrant -Bonne acceptabilité	-Jumeaux identiques -Psychologie -Religion et déguisement
Rétine	-Fiabilité -Durabilité	-Coûteuse -Faible acceptabilité
Iris	-Fiabilité -Durabilité	-Coûteuse -Faible acceptabilité -Contraintes d'acquisitions
Voix	-Facilité	-Vulnérabilité aux attaques
Signature	-Ergonomie	-Psychologie
Frappe au clavier	-ergonomie	-Etat psychique et physique

**Tableau I.1 comparaison de modalités biométrique donnée par le CLUSIF**

Chaque modalité ou technologie biométrique basé sur une méthode différente pour attribuer le degré de similitude entre l'échantillon biométrique du candidat et un échantillon biométrique prélevé précédemment. L'échantillon biométrique du candidat doit dépasser une valeur de seuil déterminée pour que l'échantillon soit déclaré correspondant. Cette corrélation est une fonction statistique dépendant du type de technologie biométrique, du matériel et du logiciel, de l'algorithme et des réglages opérationnels du système utilisé.

## 1.8 Evaluation Comparatives des Systèmes Biométriques

**La performance d'un système d'identification** : A l'aide de ses trois critères on peut faire la mesure: la précision, l'efficacité ou (vitesse d'exécution) et le volume de données. Comme nous l'avons vu précédemment, L'identification et l'authentification sont des modes opératoires différents. Elles nécessitent donc des mesures de précision différentes. Le taux d'identification est la mesure la plus couramment utilisée mais il n'est pas toujours suffisant. En effet, il peut être utile de savoir si le bon choix se trouve dans les N premiers, En cas d'erreur. On trace alors le score cumulé (cumulative match score) qui représente la probabilité que le bon choix se trouve parmi les N premiers.

- **La performance d'un système d'authentification** : Lorsqu'un système fonctionne en mode vérification, Existe deux types d'erreurs :
- **faux rejet**: Il peut rejeter un utilisateur légitime (false rejection).
- **fausse acceptation** : Il peut aussi accepter un imposteur (false acceptance) Alors La performance d'un système se mesure donc a` son taux de *faux rejet (False Rejection Rate ou FRR)* et a` son taux de *fausse acceptation (False Acceptance Rate ou FAR)*.

$$FAR(s) = \frac{FA(s)}{NI} \quad FRR(s) = \frac{FR(s)}{NL}$$

# Chapitre I: Les Notions de Base sur la Biométrie

**Le paramétrage d'un système** : consiste à trouver le bon équilibre entre ces deux taux, le FAR augmentant lorsque le FRR diminue, et inversement. Un contrôle d'accès très sécurisé aura un FAR très bas, pour garantir qu'aucune personne non autorisée n'accède au site, mais, en contrepartie le FRR sera élevé, ce qui signifie que des utilisateurs valides se verront refuser l'accès.

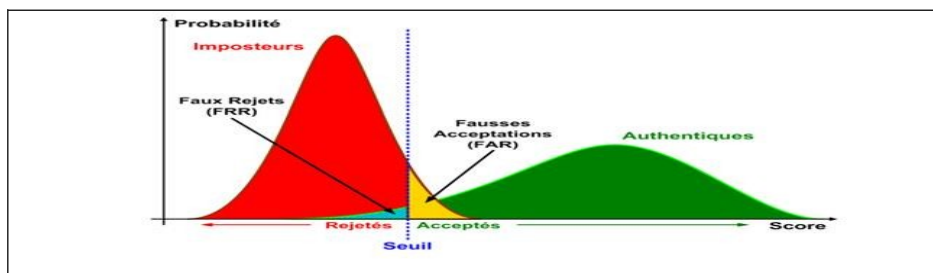


Figure 1.19 courbes représentatives des taux de similitude

## I.9 Multi modalité

Il existe plusieurs modalités biométriques, mais il n'y a pas de système parfait. Malheureusement chaque technologie biométrique présente un certain nombre d'inconvénients parmi eux : le problème de la qualité de l'authentification, par exemple pour des empreintes digitales (mais la même chose s'applique à toute donnée physique), la température des doigts n'est pas régulière. Dans la majorité des cas, les mesures du capteur et du logiciel associé donneront un résultat différent de la mesure initiale de référence. Aussi la géométrie de la main

est si imprécise qu'elle ne peut être utilisée que pour l'authentification et non pour l'identification. La figure suivante présente Les résultats de la comparaison entre des différentes modalités biométriques effectué par Le groupe International de la **Biométrie IBG**.

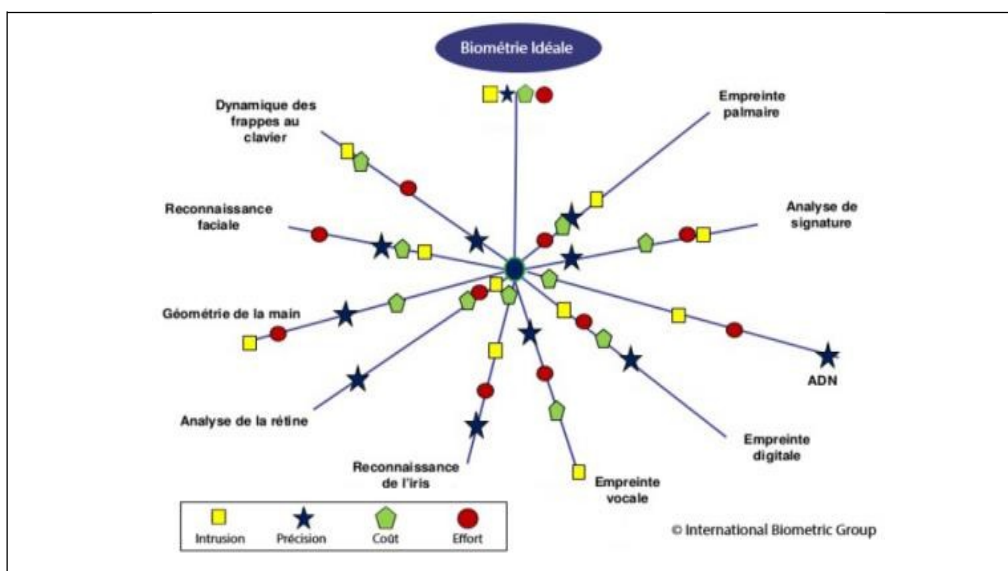


Figure 1.20 comparaison des techniques biométrique

- 1- **L'acceptabilité (Intrusives) ou Intrusion**: décrit l'acceptabilité des individus à donner cette information intrinsèque pour qu'ils s'authentifient c a dire décrit le niveau de perception par l'utilisateur du test comme intrusif.
- 2- **La discrimination(Accuracy) ou précision**: décrit le niveau de précision de la reconnaissance, l'efficacité de la méthode (capacité à identifier quelqu'un).
- 3- **Le coût (Cost)** : coût de la technologie (lecteurs, capteurs, etc.) basé principalement, sur la valeur du capteur de trait.



- 4- **L'effort:** effort requis par l'utilisateur et décrit le niveau de confort des utilisateurs de la modalité.

## 1.10 Mesure des Performances

Il existe des technologies biométriques extrêmement fiables telles que la reconnaissance de la rétine ou de l'iris ne peuvent donc être réservées qu'à des applications de très haute sécurité, mais elles sont coûteuses et, en général, mal acceptées par le grand public. Pour les autres applications, des techniques telles que la reconnaissance du visage ou de la voix sont très bien acceptées par les utilisateurs mais ont des performances encore trop peu satisfaisantes pour être déployées dans des conditions réelles. La multi modalité est une alternative qui permet d'améliorer de manière systématique la performance et la sécurité des systèmes précédents, une première solution consiste à intégrer la biométrie avec l'identification basée sur une connaissance ou une possession. Différentes formes de multi modalité :

- 1. systèmes multiples biométriques ou Multi-biométries:** Combiner entre différentes technologies biométriques par exemple « reconnaissance du visage, reconnaissance des empreintes digitales et reconnaissance du locuteur ».
- 2. systèmes multiples d'acquisition non Multi-capteurs:** Utilisation de plusieurs capteurs pour acquérir la même modalité, association deux scanners différents en même temps pour améliorer les performances par exemple (l'un optique, l'autre thermique) pour la reconnaissance d'empreintes digitales.
- 3. mesures multiples d'une même unité biométrique :** Faire la combinaison entre deux iris ou des dix doigts d'un même individu.
- 4. instances multiples d'une même mesure ou Multi-instances:** Association plusieurs instances à la même biométrie. C à dire faire une capture répétée du même individu biométrique avec le même système d'acquisition.
- 5. algorithmes multiples ou Multi-algorithmes:** traiter la même image acquise par plusieurs algorithmes

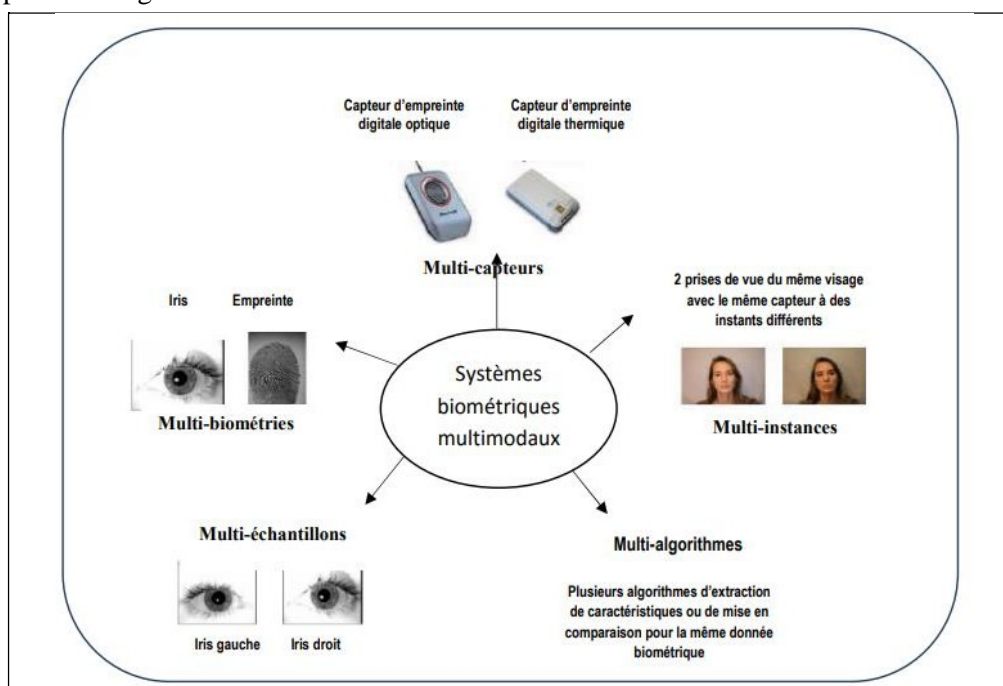


Figure I.21 Les différents systèmes multimodaux

## **Conclusion**

La biométrie contient diverses technologie et modalité Chaque technologie disposant de ses propres spécificités, de nombreux chercheur anatomistes et physiologistes ont exploité les informations biométrique à des fin diverses destinées à établir l'identité d'un individu de manière irréfutable, à partir l'analyse mathématique des caractéristiques biologiques, morphologiques ou comportementales d'une personne. On tiendra compte de certains facteurs pour déterminer s'il est approprié d'utiliser un système plutôt qu'un autre, tel que la l'acceptabilité, la performance et la facilité de contournement .Par ailleurs, la biométrie est donc n'est pas une science exacte il n'existe aucune caractéristique biométrique idéale. À chaque application correspond une ou plusieurs mesures biométriques appropriées car la reconnaissance dans la plupart des systèmes biométriques n'est pas fiable à 100% comme c'était le cas pour les systèmes de reconnaissance classiques (Badge, carte à puce, mot de passe...) mais ils restent bien des avantages qui leurs donnent un intérêt d'une grande importance dans la sécurité des infrastructures et des systèmes informatiques. Dans ce premier chapitre, nous avons présenté notre contexte général à la biométrie. Prés une introduction générale sur la biométrie, Le principe de fonctionnement et l'architecture d'un système biométrique, ses modalités et ses techniques, nous avons détaillés les critères d'évaluation des systèmes biométriques. Nous avons présenté les limitations et les applications des systèmes biométriques et multi modalité. La technologie est en pleine évolution, continue et très rapide en ce qui concerne les instruments d'acquisition. Cette corrélation est une fonction statistique dépendant du type de technologie biométrique, du matériel et du logiciel, de l'algorithme et des réglages opérationnels du système utilisé. Il est très probable que dans un proche avenir. Dans ce travail, nous proposons une modalité biométrique pour une haute de sécurité des données qui est « la rétine » .d'autres techniques d'acquisition des images rétinienne de caractère moins invasif verront le jour et permettront à cette méthode de gagner plus d'ampleur dans le marché de la biométrie, mais cette dernière souffre de quelques faiblesses, dû à certains facteurs. Pour cela, nous aborderons dans le chapitre suivant la notion de base sur « La biométrie par rétine».Nous présentons l'anatomie de la rétine et ses caractéristiques l'architecture générale de notre méthode biométrique basée sur la rétine, ainsi qu'un état de l'art des différentes méthodes biométriques rétinienne existantes.

*Chapitre II*  
***Biométrie Par La rétine***

### II.1 Introduction

La biométrie est une technologie d'intérêt de la reconnaissance et l'identification automatique ou l'authentification de personnes, en fonction de leurs caractéristiques physiques ou comportementales. En effet les techniques classiques d'authentification de personnes basées sur la carte d'identité ou bien le mot de passe sont vulnérables. Il est très facile de falsifier une carte d'identité ou d'imiter une signature, par conséquent le thème de la sécurité est à l'ordre du jour. Dans Nos jours, on assiste à une volonté des états d'installer des équipements biométriques dans les aéroports et les zones de haute sécurité. Le passeport commence à intégrer la signature biométrique de son propriétaire. Dans ce chapitre nous intéressons à l'une des modalités les plus morphologiques, en particulier la biométrie rétinienne. La biométrie par la rétine est une technologie très ancienne, elle est la plus fiable et la plus dure à contrefaire (*Christian, 2001*). Cette technologie est très efficace mais assez contraignante pour les gens qui ont du mal à accepter de se faire examiner le fond de l'œil tant que l'œil est un organe très sensible à la lumière. La biométrie rétinienne procure un haut niveau en matière de reconnaissance. Cette technologie est bien adaptée pour des applications de haute sécurité (sites militaires et nucléaires, salles de coffres forts, etc.). La disposition des veines sous la surface de la rétine sont uniques et stables dans le temps. Donc assure une bonne fiabilité et une haute barrière contre la fraude. Dans ce chapitre on s'intéresse sur l'anatomie de l'œil et plus précis l'anatomie de la rétine, ainsi que les techniques d'acquisition des images rétinienne et les points forts et faibles de la biométrie par la rétine et les pathologies qui la touchent. Et ensuite on va présenter, Les outils de traitement des images rétinienne (couleur du fond d'œil), ensuite un état d'art sur les méthodes existantes sur la biométrie par la rétine. Enfin, on termine par une conclusion.

### II.2 Anatomie de la rétine

La plupart des organismes vivants ont 5 sens, et l'œil est l'un des plus importants et il est difficile de vivre sans eux. L'œil est un organe très complexe qui a nécessité des centaines d'années pour être étudié, L'œil est très précis dans la transmission d'informations au cerveau, et le processus de vision est considéré comme une représentation des formes, des objets et des couleurs qui l'entourent. Le processus de vision chez les créatures vivantes s'incarne en plusieurs étapes. Il se résume en entrant dans la lumière à travers la pupille, en pénétrant profondément dans l'œil jusqu'à ce qu'il atteigne l'arrière de l'œil connu sous le nom de rétine, puis la rétine convertit les signaux lumineux en impulsions électriques, puis ces impulsions sont transmises à travers le nerf optique les fibres au cerveau, qui les analyse et les convertit en images. (*Muhammad Yusef Al-Hashki,2020*).

- L'œil se compose de plusieurs corps, chacun ayant un rôle particulier parmi eux :Préface ,Embryologie de l'œil, L'orbite osseuse, Les paupières ,Les voies, lacrymales ,La cornée Aqueuse ,et la chambre antérieure ,Le cristallin et la zonule , Le vitré, La conjonctive ,La choroïde, La rétine ,Les muscles oculomoteurs ,Le releveur de la paupière supérieure, La capsule de Teno, La papille optique, Le nerf optique, Le chiasma optique, Les voies optiques rétrochiasmiques, Les bandelettes optique, Le Corps Genouillé Latéral ,Les radiations, Le cortex visueloptiques, Les nerfs oculomoteurs, La systématisation des voies optiques, La vascularisation de l'œil et de l'orbite, Le système nerveux central.

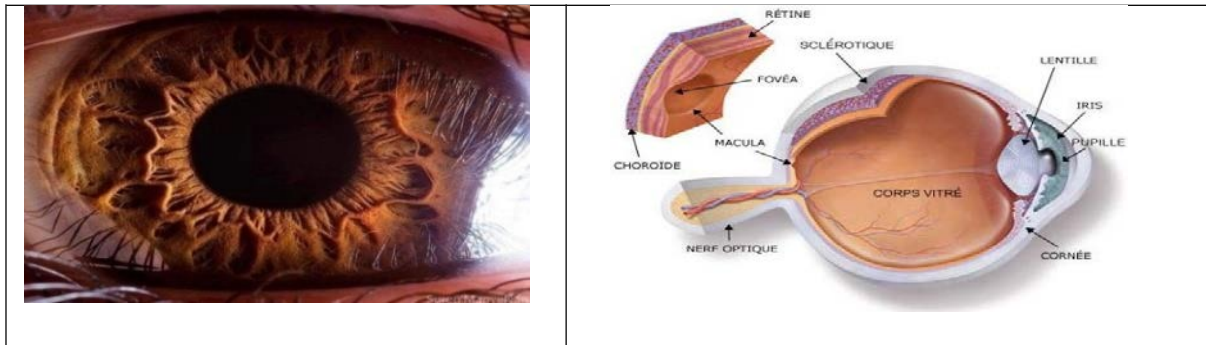


Figure II.1 l'anatomie de l'œil humain

La rétine est la couche interne profonde de l'œil qui est très fine et contient dix couches composées de millions de neurones, de nerfs optiques, de photorécepteurs et de tissus. La rétine fonctionne pour convertir les rayons lumineux réfléchis sur les objets visibles en impulsions nerveuses qui sont transférées par le nerf optique vers les centres cérébraux responsables de cela. Il existe deux types de photorécepteurs dans la rétine : les bâtonnets sont sensibles à la lumière faible (vision nocturne) tandis que les cônes répondent à lumière intense.

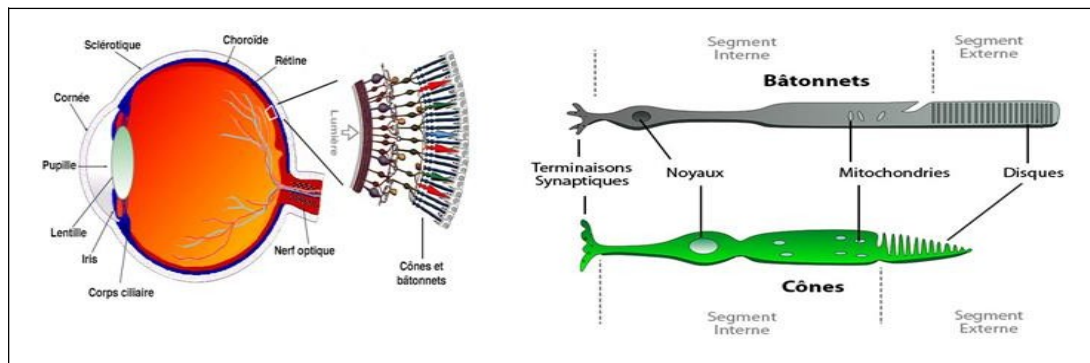


Figure II.2 les photorécepteurs de la rétine

**A) Le membrane limitant interne :** C'est la dernière couche qui sépare la rétine du vitré, cette couche est un liquide visqueux, lourd et clair qui aide à protéger et à purifier le globe oculaire.

**B) La couche fibreuse du nerf optique :** Il se compose d'axones de cellules ganglionnaires, qui sont épais de la périphérie vers l'intérieur, qui est considéré comme le point de rencontre des fibres nerveuses. Cette couche contient les vaisseaux sanguins de la rétine. Le nerf optique principal est divisé en environ 1 million de sous-fibres nerveuses, Ces fibres nerveuses transmettent les impulsions formées dans les cônes et les bâtonnets.

**C) La couche de cellules ganglionnaires (cellules ganglionnaires) :** où elle conduit à la formation des cellules nerveuses optiques. Les cellules ganglionnaires mesurent environ 15  $\mu\text{m}$  de longueur et sont décrites comme le centre de convergence neuronale entre les dendrites entre les cellules bipolaires et les cellules amacrines dans la couche plexide interne. En général, les dendrites des plus petites cellules ganglionnaires rétinienne se ramifient dans la couche plexide interne, tandis que les dendrites des plus grandes cellules ganglionnaires rétinienne se ramifient en d'autres couches voire figure suivante. C'est la troisième couche de photorécepteurs à haute sensibilité à la lumière. Cette couche sert à transmettre des informations visuelles sur les fibres nerveuses, à dilater et réduire la taille de la pupille et à sécréter un pigment de mélatonine.

**D) La Couche plexi-forme interne :** Ces cellules ne sont pas présentes à un niveau, cette couche est le centre de la connexion synaptique entre les cellules bipolaires, amacrines et ganglionnaires. Cette couche est constituée d'un tissu dense et dense en fibres disposé en une bande. Figure suivante

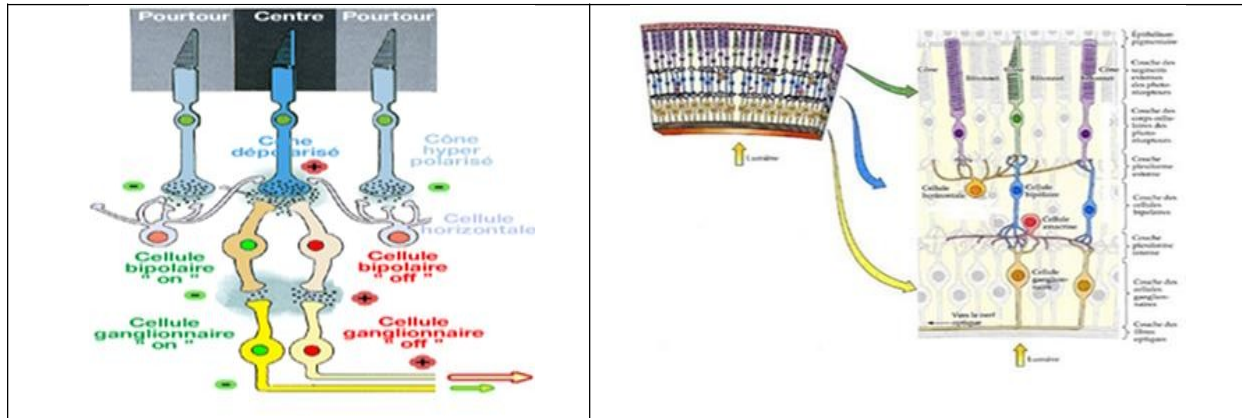


Figure II.3 la connexion des cellules ganglionnaire Figure II.4 la connexion des cellules plexi-forme interne

**E) La Couche nucléaire interne :** Elle est également appelée couche granulaire interne et commence par une variété de cellules. Cellules bipolaires, cellules horizontales, cellules amacrine et cellules Muller. Le rôle des cellules bipolaires est de transmettre les impulsions nerveuses des photorécepteurs aux cellules ganglionnaires. Les cellules horizontales sont responsables de la diffusion et du contrôle de l'influx nerveux. Quant aux cellules Amacrine elles jouent un rôle de liaison entre elles. Les cellules Muller agissent comme cellules de support des neurones afin de maintenir la stabilité structurelle et fonctionnelle des cellules rétiniennes voire figure suivante.

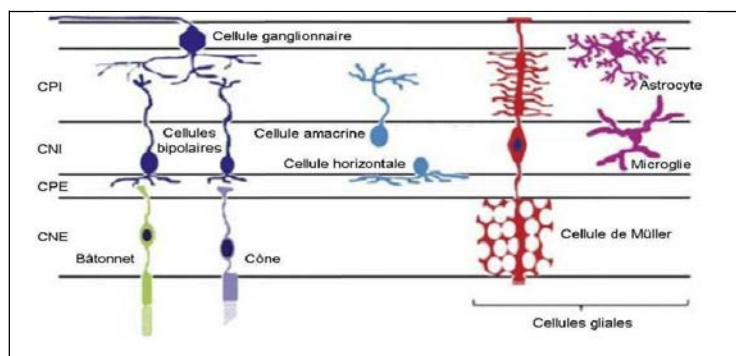


Figure II.5 la connexion des cellules nucléaires interne

**F) La Couche plexi (forme externe) :** C'est le point de rencontre entre les photorécepteurs et les cellules bipolaires. Ils contiennent les extensions cytoplasmiques des cellules de Müller et des cellules horizontales. Cette couche est située au point de vascularité rétinienne.

**G) La Couche nucléaire externe:** Elle est également appelée couche granulaire externe elle est semblable à la couche interne, elle se compose des allongements internes des cellules photoréceptrices. Elle contient aussi un petit nombre de cellules de Müller, La partie interne du photorécepteur se compose de trois types de cellules: Tissus externes, corps cellulaires et tissus internes.

**H) Le membrane limitant externe :** Il se compose d'intersections de fibres internes et externes entre les photorécepteurs et les cellules de Müller qui sont laminées minces et ont de nombreux petits trous. Il sépare les cellules photo-réceptrices des cellules nucléaires.

**I) La Couche des cellules photo-réceptrices :** Il existe deux types de ces cellules: les bâtonnets ou bâtonnets sont responsables de la vision périphérique, et les cônes sont responsables de la différenciation des couleurs ou de l'acuité visuelle.

Cette couche a une épaisseur de 40  $\mu\text{m}$  et contient à peu près 125 millions de bâtonnets et 6 millions de cellules coniques. Ces cellules sont réparties différemment au niveau de la Foveola, où l'on remarque la présence de cônes en grand nombre dans cette région. Puis il diminue à l'extérieur de la Foveola. Ensuite les bâtonnets sont centrés avec un grand tout à l'extérieur de la Foveola.

**J) L'épithélium cornéen :** C'est un tissu épithélial qui recouvre la partie avant de la cornée et est considéré comme la couche externe de la rétine, constituée de cellules contenant des granules de mélanine responsables de la coloration de l'épithélium, dont la concentration et la couleur varient d'une rétine à l'autre.



Figure II.6 L'épithélium cornéen

### II.3 La biométrie de la rétine

La reconnaissance de la rétine est une méthode assez ancienne puisque les premières études remontent aux années 30. La rétine est la couche sensorielle de l'œil qui permet la vision, L'anatomie de la rétine à une structure riche contenant de nombreuses caractéristiques et composants rétiens tels que le disque optique la macula et la fovéa. De plus, la rétine est traversée par des vaisseaux sanguins. De plus, la rétine vérifie donc les quatre conditions pour être qualifiée de biométrique. Elle est « unique » d'après les observations des ophtalmologistes, Ce sont *Carelton S. et al.* Qui eurent l'idée en 1936 d'utiliser la rétine à des fins d'identification après avoir vu une photographie des vaisseaux sanguins d'une rétine (*Carelton S. et al, 1936*). Ils établirent que ces vaisseaux sont uniques pour chaque personne. Et « accessible » puisqu'elle existe chez toute personne, Dans une étude sur les jumeaux identiques, *Dr Tawer P.* confirma cette unicité vingt ans plus tard (*Tawer. P, 1960*). *Dr J. Mattherw et Greg H.* deux experts mondiaux de la médecine et de la technologie optique déposèrent en 2002 un brevet concernant cette technologie (*Mattherw. F, 2001*) Ils ont examiné comment ils pourraient faire une telle technologie accessible et facile à utiliser, Ils ont développé le premier prototype de leur appareil photo optique qui peut scanner la rétine et en obtenir une image lisible, De plus, « universelle » puisqu'on peut acquérir son image grâce à un scanner externe et « permanente » puisque le réseau vasculaire ne change pas durant toute la vie. Donc elle offre un haut niveau de reconnaissance ce qui la rend adaptée aux applications de haute sécurité grâce à son universalité, son invariabilité dans le temps et sa difficulté à falsifier. Pour ces raisons, la reconnaissance de la rétine est actuellement considérée comme une des méthodes biométriques les plus sûres.

#### a) Les points forts de la rétine

**1) facilité :** C'est l'une des méthodes de sécurité les plus simples pour identifier les personnes car elle est facile d'appliquer aux personnes par rapport aux d'autres modalités biométriques, car la personne n'a pas l'impression que son empreinte oculaire est lue par des caméras haute résolution qui fonctionnent à distance sans toucher.

**2) très répandu :** Cette technologie est considérée comme la plus flexible et la plus utilisée dans les aéroports, car tous les pays se préparent à insérer une empreinte oculaire dans les systèmes de sécurité de leurs aéroports, que traversent environ 50 millions de personnes chaque année.

**3) L'unicité :** la rétine se distingue par son caractère unique entre les personnes de sorte que chaque personne a une empreinte oculaire qui diffèrent même entre les jumeaux vrais ainsi que la difficulté à forger car c'est un organe très sensible et reste stable tout au long de la vie et ne change pas avec le temps .

### b) Les points faibles de la rétine

**1) la taille de l'image rétinienne :** Afin de comprendre les facteurs qui limitent l'acuité visuelle et les conséquences de la chirurgie réfractive, il faut se poser une question: quelle est la taille de l'image rétinienne du corps que l'œil voit? Le calcul de la taille de l'image rétinienne est également important pour les problèmes liés à la différence de taille des images de la rétine (aneisoconie) entre l'œil droit et l'œil gauche, ce qui entraîne une vision altérée et un confort visuel réduit. Les photorécepteurs sont responsables de la taille de l'image et de l'amplitude des échantillons prélevés, puisque leur nombre est constant entre l'œil gauche et l'œil droit, donc si les photorécepteurs de la fovéa diffèrent d'un œil à l'autre, c'est clair que l'image prise sera différente entre les deux yeux. C'est ce qui conduit à :

**A) Œil myope :** La myopie est définie comme l'incapacité de la personne touchée à voir clairement les objets éloignés malgré sa capacité à voir clairement les objets proches, et la myopie est un problème très courant, car la myopie est estimée à environ 30% de la population des États-Unis, et il existe un certain nombre de façons Différents traitements pour cette condition

**B)Œil hypermétrope :** L'hypermétropie est moins fréquente que la myopie et est l'incapacité de la personne affectée à voir clairement les objets proches alors qu'elle peut voir clairement les objets éloignés, et la gravité de l'hypermétropie varie en fonction de la capacité de l'œil à se concentrer sur des objets proches, et dans certains cas graves la personne ne peut voir clairement que les objets Très éloigné.l'hypermétropie est la myopie peut être traitée de différentes manières ,Lunettes médicales ou lentilles de contact, comme à travers des opérations de correction de la vue telles que remodeler la forme de la cornée à l'aide d'un laser ou d'une kératectomie sous-épithéliale à l'aide d'un laser ou kératectomie réfractive.

### II.4 Pathologies rétinienne

Les maladies rétinienne varient considérablement, mais la plupart provoquent des symptômes liés à la vision. Les maladies rétinienne peuvent affecter n'importe quelle partie de la rétine, qui est une fine couche de tissu sur la paroi arrière interne de l'œil.

#### A) La Dégénérescence Maculaire Liée à l'Âge (DMLA)

Ou DMLA C'est l'une des maladies courantes de la rétine qui perturbe l'acuité visuelle et la vision centrale. À la suite de la dégénérescence maculaire, cela endommage la macula responsable de la vision centrale aigüe, ce qui vous permet de voir les objets directement devant l'œil. Cette maladie survient avec l'âge, ce qui affecte la capacité d'une personne à pratiquer certaines tâches quotidiennes simples, telles que: lire, conduire une voiture, selon une étude publiée dans le magazine Asia-Pac, environ 9% des personnes souffrent de dégénérescence maculaire liée à l'âge entre 50 et 83 ans.



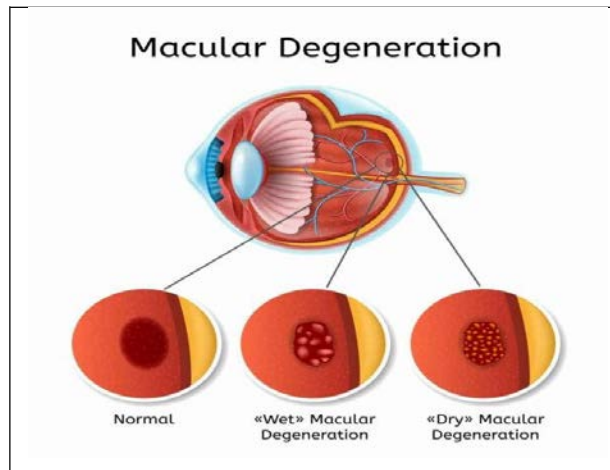


Figure II.7 LE DMLA et ces types

Dans certains cas, la maladie progresse très lentement, et dans d'autres cas, la maladie progresse plus rapidement et peut entraîner une perte de vision dans un ou les deux yeux. La maladie de dégénérescence maculaire liée à l'âge est divisée en deux types principaux :

**DMLA humide:** c'est la croissance anormale des vaisseaux sanguins et leur prolifération rapide derrière la rétine, qui conduit à des saignements à la surface de la rétine dans certains cas, et une fuite de liquide derrière la rétine et la cicatrisation de ces vaisseaux sanguins, qui dans le virage entraîne des lésions de la rétine et une perturbation de la vision centrale.

**DMLA sèche:** ce type de dégénérescence maculaire est plus fréquente que la dégénérescence maculaire humide, et la vitesse de progression est plus lente, et est la fragmentation de la rétine avec l'âge, ce qui conduit à une mauvaise vision centrale. Leur nombre et leur taille augmentent le risque de souffrir de maladie.

**B) La Rétinopathie Diabétique :** La rétine contient un grand nombre de petits vaisseaux sanguins en permanence et liés les uns aux autres, et en cas de diabète et de manque de contrôle du taux de sucre dans le sang et de son élévation à un degré élevé pendant une longue période, cela peut entraîner aux lésions de la rétine et à la perte de vision, et à l'incidence de ce que l'on appelle un trouble Rétinopathie diabétique. Chez les personnes atteintes de diabète permanent qui ne diagnostiquent pas et ne traitent pas la maladie, la rétinopathie diabétique est mieux diagnostiquée avec un examen complet de la vue. Lors de cet examen, des gouttes sont placées dans vos yeux pour dilater la pupille afin de permettre au médecin de mieux voir l'intérieur de vos yeux. Les gouttes oculaires peuvent provoquer une vision floue, mais elles disparaissent après plusieurs heures. Au cours de l'examen, l'ophtalmologiste recherchera les éléments suivants: Vaisseaux sanguins anormaux, Gonflement, sang ou dépôts graisseux dans la rétine, Croissance de nouveaux vaisseaux sanguins et tissu cicatriciel Saignement dans la substance claire et gélatineuse qui remplit le centre de l'œil (vitré), Décollement de la rétine, Troubles du nerf optique. La rétinopathie diabétique se développe en trois étapes différentes, qui peuvent être expliquées ci-dessous :

- **Rétinopathie de fond :** la vision n'est généralement pas affectée à ce stade de la maladie, et ce stade est l'apparition de petits gonflements dans les vaisseaux sanguins rétinien, qui peuvent entraîner des saignements dans certains cas.
- **Rétinopathie pré-proliférative :** la proportion de lésions de la rétine de l'œil augmente au stade de la rétinopathie pré-proliférative, ce qui conduit à une augmentation de la gravité des symptômes due à l'absence d'ischémie de la rétine.

- **Rétinopathie proliférative** : du tissu cicatriciel et des vaisseaux sanguins faibles commencent à se former pendant la phase de rétinopathie proliférative, ce qui peut entraîner davantage de saignements dans la rétine et le début de la perte de vision. (Mohammed Yousef Al-Hashki 2021) .La rétine peut également être traitée avec :Photo coagulation partielle – Photo coagulation rétinienne entière – Vidrecome - Injection de médicament dans l'œil.



Figure II.8 hémorragie à cause de la rétinopathie diabétique

**La Rétinopathie hypertensive** : Causée par des dommages aux vaisseaux sanguins chargés de nourrir la rétine dans le cas où une personne souffre d'un déséquilibre des niveaux de pression artérielle, car l'hypertension artérielle entraîne une augmentation de l'épaisseur des parois de ces vaisseaux sanguins et une diminution du flux sanguin et l'écoulement dans la rétine, et à mesure que la maladie progresse, cela peut entraîner la survenue d'une hémorragie rétinienne et une perte progressive de la vision, en particulier si la macula rétinienne est affectée. Quant au durcissement des vaisseaux, et sa torsion autour du nerf entraîne un gonflement de la tête du nerf optique.

### A) Déchirure rétinienne :

L'âge entraîne une diminution de la viscosité du liquide vitré dans l'œil. Ainsi, après l'âge de 50 ans, un décollement postérieur du vitré peut se produire, ce qui entraîne une déchirure de la rétine. En raison du durcissement de ce fluide et de son mouvement à l'intérieur de l'œil, en plus de la survenue de saignements dans l'œil ou d'une perte de vision en cas de remplissage de l'œil avec du sang et des liquides.

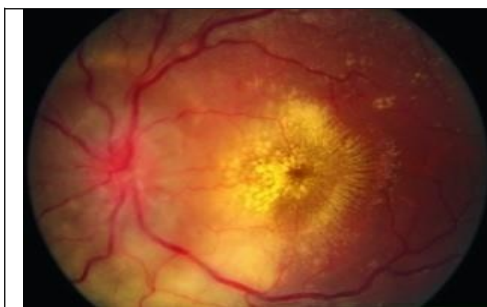


Figure II.9 la rétine hypertensive

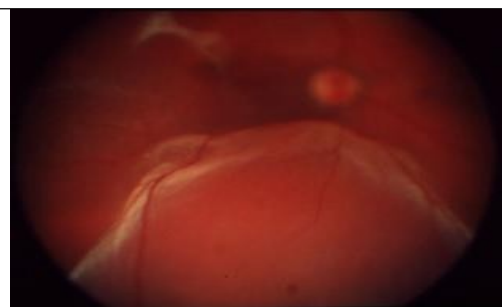


Figure II.10 décollement de la rétine

### E) Rétinite pigmentaire :

Elle est causée par un groupe de maladies génétiques qui peuvent affecter la rétine et entraîner ses dommages, telles que la maladie de Refsum, le syndrome d'Usher, le syndrome de Bardet-Biedl. La pigmentation est plus

Fréquente chez les jeunes et les adolescents, car ces troubles entraînent à la mort progressive des cônes et des bâtonnets dans l'œil et à la perte progressive de la vision. Des changements de la vision pour empêcher le développement du problème de santé, et la cécité nocturne ou la cécité nocturne sont l'un des principaux symptômes de la maladie, et certaines personnes peuvent souffrez de daltonisme et de perte de vision centrale.



Figure II. 11 Rétinite pigmentaire

### II.5 Les techniques d'acquisition des images rétinienne

#### A) Angiographie :

L'angiographie rétinienne est utilisée pour suivre le chemin du sang vers la rétine, ainsi que le réseau neuronal de l'œil. Cette méthode permet la détection et le suivi de nombreuses maladies telles que: la DMLA (Dégénérescence Maculaire liée à l'Age), la rétinopathie associée au diabète, la sténose et saignement.etc Cette méthode nécessite l'utilisation d'un produit colorant, qui permet au praticien d'examiner le fond d'œil et de prendre diverses photos. Cette méthode fiable et rapide d'identification des anomalies vasculaires et rétiniennes permet notamment d'identifier les signes d'uvéite postérieure au début de la séance, le patient devra utiliser des gouttes ophtalmiques avant l'imagerie qui aide à dilater la pupille afin d'examiner le fond d'œil. Le colorant est ensuite injecté au patient sans douleur deux types de colorant sont utilisés a la fluorescéine ou au vert d'indocyanine Chaque colorant a une action différente et permet de prendre différentes images.



Figure II.12 l'examen de l'angiographie

**A.1) Angiographie a fluorescéine :** Il est administré par voie intraveineuse avec de la fluorescéine, une molécule non toxique et hautement fluorescente, destinée à la plupart des gens. La fluorescéine absorbe la lumière bleue (560-480  $\mu\text{m}$ ) et émet une lumière spectrale vert jaunâtre (500-600  $\mu\text{m}$ ). Ainsi, au moyen de l'angiographe, les vaisseaux sanguins à l'arrière de l'œil, en particulier ceux de la rétine. Un examen oculaire à la fluorescéine permet d'étudier les caractéristiques du flux sanguin dans les vaisseaux rétiniens et choroïdes, d'enregistrer les détails de l'épithélium pigmentaire et de la circulation sanguine rétinienne et d'évaluer leur intégrité fonctionnelle (étant donné que les vaisseaux sanguins rétiniens intacts ne sont pas perméables à la fluorescéine). De ce point de vue, cet examen est considéré comme un complément important

Au diagnostic en cas de maladies vasculaires de la rétine, Telles que la rétinopathie diabétique, l'hypertension artérielle, le blocage artériel et la thrombose veineuse, et en cas d'infections ou de maladies au niveau de la rétine et de la choroïde, telles que la dégénérescence maculaire due au vieillissement et l'atrophie rétinienne, en plus de son utilisation dans l'étude des tumeurs oculaires et l'étude du nerf optique, et de nombreuses maladies primaires ou non ophtalmiques Primaires. Cependant, il a ses limites et nécessite parfois un examen supplémentaire qui examine plus profondément les vaisseaux anormaux, sous le pigment rétinien. Il est donc nécessaire d'utiliser un autre type de colorants: le vert d'indocyanine.

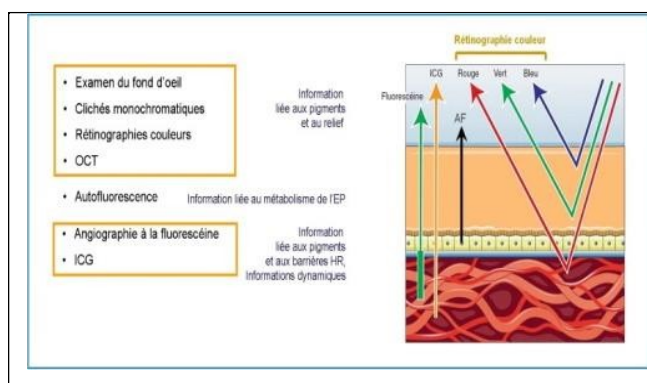


Figure II.13 Schématisation des apports des différents moyens d'imagerie de la rétine et de la choroïde

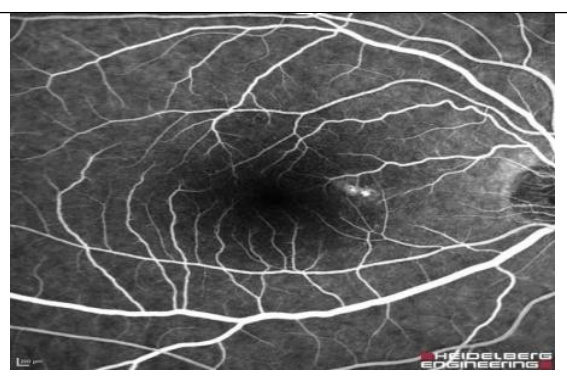


Figure II.14 les caractéristiques du flux sanguin des vaisseaux rétiens et choroïdes

### A.2) Angiographie aux vert d'indocyanine :

Le vert d'indocyanine (ICG) est utilisé pour l'angiographie rétinienne et choroïde depuis plus de 30 ans, cet examen consiste à prendre une série d'images séquentielles de la rétine à l'aide du colorant vert indocyanine, injecté par voie intraveineuse, pour détecter une infiltration ou une lésion des vaisseaux sanguins alimentant la rétine. Il est utilisé pour évaluer le système vasculaire de la choroïde. L'ICG est une molécule de 775 Dalton. La structure de cette perle lui confère des propriétés amphibies uniques, c'est-à-dire hydrophiles et hydrophobes. Cette perle est constituée de deux parties polycycliques relativement hydrophobes (benzoindotricarbocyanine) liées entre elles par une chaîne hydrocarbonée. En revanche ce composé est soluble dans l'eau car il en contient deux groupes soufre portés par chaque partie polycyclique. Au niveau du cycle indole.

### B) La tomographie à cohérence optique ou OCT :



Figure II.15 L'appareil de tomographie en cohérence optique

L'OCT (tomographie par cohérence optique) ou tomographie par cohérence optique est un appareil qui permet l'examen du fond d'œil par rayonnement infrarouge qui permet d'obtenir des coupes anatomiques de la rétine, de la cornée et du nerf optique en quelques secondes. Le test est indolore, il n'y a pas de contact visuel et il ne nécessite pas de chirurgie.

**Le principe de l'OCT** : est d'analyser les longueurs d'onde de l'infrarouge et de la lumière réfléchi par le fond et ses couches constitutives. Il en résulte un contraste dans les images OCT. Les appareils OCT diffèrent selon la longueur d'onde utilisée, celle qui utilise environ 1300 nanomètres: elle est considérée comme la plus utilisée car cette longueur d'onde permet la pénétration de tous les tissus de l'œil. Il existe d'autres appareils OCT spécialisés dans l'imagerie rétinienne, utilisant des longueurs d'onde autour de 850 nm (systèmes de champ spectral) ou d'environ 1050 nm (Swept Source) qui se caractérisent par un balayage très rapide (de 70000 à 100000 balayages / s) et une excellente précision (de l'ordre de 5  $\mu$ m). La nouvelle technologie OCT permet d'obtenir des images tissulaires traditionnelles, telles que le flux sanguin vers les vaisseaux sanguins. Il aide à voir un blocage des vaisseaux sanguins, ou une fuite de sang, sans injecter de produit de contraste car l'appareil suit le mouvement des globules rouges circulant dans les vaisseaux sanguins. Le test est effectué selon les étapes suivantes: le visage est placé à l'endroit désigné qui contient une attelle pour maintenir le menton dans l'appareil, l'œil est largement ouvert, au moyen du scanner, des rayons rouges passent pour scanner l'œil et examiner toutes ses couches La personne ne doit pas bouger pendant le test, qui prend quelques secondes, Les images obtenues sont affichées en couleur sur l'écran puis analysées. Les données extraites sont enregistrées sur l'ordinateur de manière automatique, pour être visualisées ultérieurement et comparées à nouveau.

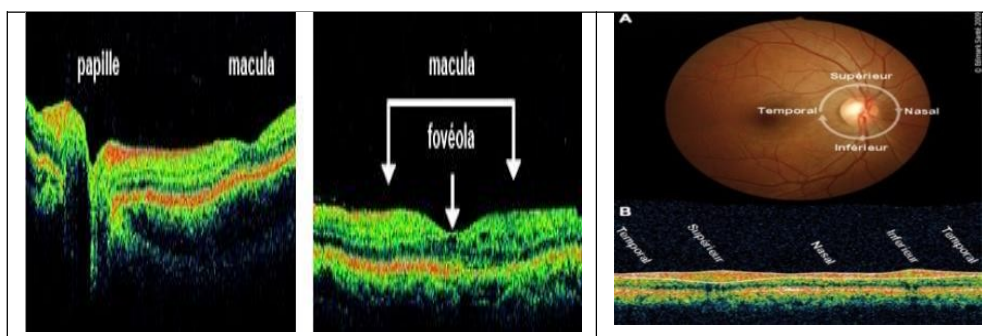


Figure II.16 les Images obtenues à partir de OCT

### C) l'échographie oculaire:



Figure II.17 l'échographie oculaire

Entendre des sons à des fréquences comprises entre environ 20 hertz (soit 20 vibrations par seconde) et 20 kilohertz (soit 20 000 vibrations par seconde). Les sons dont la fréquence est supérieure à 20 000 hertz sont appelés ultrasons et les fréquences inférieures à 20 hertz sont subsoniques. Habituellement, L'échographie est utilisée dans de nombreux domaines médicaux, en particulier l'ophtalmologie, où le balayage du son est utilisé par diverses techniques telles que (A-scan) et (B-scan), qui fournissent une fréquence de 10 millions de Hz (10 MHz). La fréquence permet la pénétration des couches et l'accès à de grandes profondeurs à l'intérieur du corps et offre une grande précision pour les calculs et analyses liés à l'examen des différentes parties du corps, L'échographie permet : l'analyse du segment antérieur de l'œil : **échographie UBM (Ultrasoundbiomicroscopy)** : UBM se spécialise dans la réalisation d'images de l'ouverture angulaire de l'iris et de la cornée pour aider à déterminer le pourcentage de

Fermeture .L'UBM peut également diagnostiquer le syndrome de dispersion pigmentaire et proposer une iridotomie laser périphérique pour éliminer la masse pupillaire. L'UBM est également utilisé après une intervention chirurgicale, pour suivre le rétablissement du patient ou les symptômes qui en résultent, ainsi que pour étudier l'effet des implants rétinien sur l'œil. Il a de nombreuses utilisations parmi elles : L'analyse des néoplasmes iridociliaires tels que naevus, mélanome, kystes, permet d'identifier les caractéristiques d'une tumeur ou d'une lésion (taille, localisation et échogénicité). Dans le cas du mélanome de l'iris ou des corps ciliaires, il permet de calculer le pourcentage de sécrétions. L'appareil (*Compact Touch System*) est le plus récent en cours d'utilisation, et il offre de nombreuses fonctionnalités que d'autres appareils ne peuvent pas fournir Parmi eux :

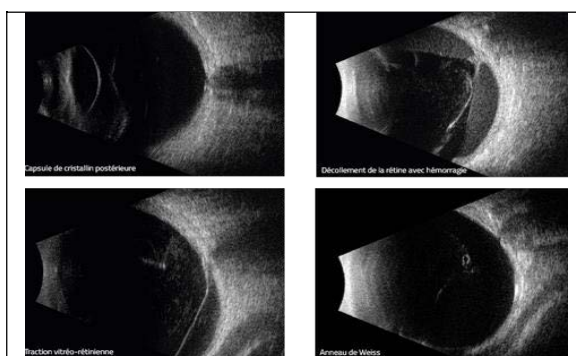


Figure II.18 cliché de l'échographie de l'œil

### D) La rétinographie:

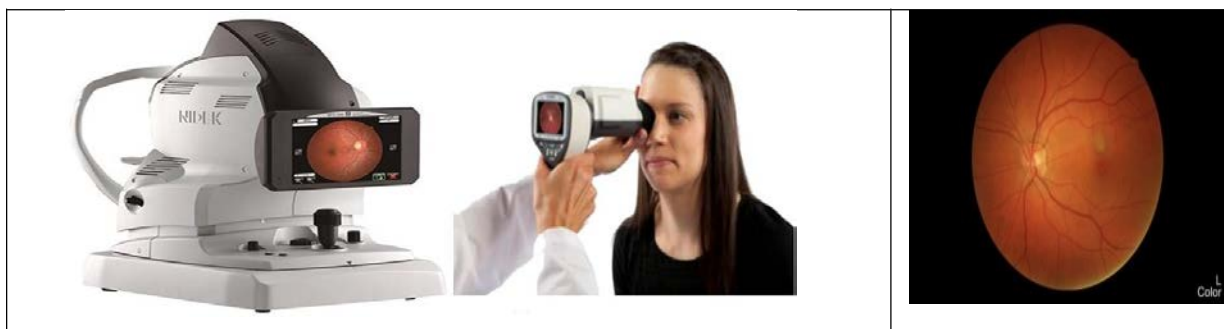


Figure II.19 l'appareil de rétinographie oculaire et rétinographie mobile et la rétinographie d'une rétine saine

Ce test permet de prendre des images du fond d'œil, y compris de la rétine et de la papille. l'appareil utilise des capteurs CCD qui actualisent en permanence la résolution et la largeur du champ. Le champ de vision est amélioré dans ces appareils d'exploration à 180 degrés. Les images sont présentées sous forme photographique colorée, montrant la rétine en orange et les vaisseaux sanguins en rouge, quant aux corps étrangers ou aux cas de maladie, ils apparaissent de différentes couleurs. La rétinographie peut révéler de nombreuses maladies rétinien, dont des anomalies vasculaires telles que la rétinopathie diabétique ou l'occlusion veineuse, mais aussi des signes de vieillissement maculaire dans le cadre de la DMLA (dégénérescence maculaire liée à l'âge), l'imagerie rétinienne focalisée sur la papille auriculaire est très utile pour détecter ou surveiller la progression du glaucome provoquant des piqûres papillaires plus clairement que d'habitude (associée à une hypertension oculaire avec détresse des fibres optiques), ce test peut également être utilisé pour surveiller l'avant du globe oculaire (*Le centres Explore Vision*).

### D) L'ophtalmoscopie a balayage laser :



Figure II.20 L'ophtalmoscopie au laser

**L'ophtalmoscopie au laser (SLO):** Est un test oculaire qui permet d'examiner toutes les couches de l'œil pour donner des images détaillées des structures à l'arrière de l'œil, telles que la rétine, le nerf optique et les vaisseaux sanguins. Les images sont extraites par la lumière laser qui pénètre dans le fond de l'œil, et elle est réfléchi vers l'extérieur après avoir touché la paroi interne de l'œil. Une série d'images peut être créée qui montre les changements qui se produisent dans les couches de l'œil, et des images en trois dimensions peuvent être obtenues. Cet examen permet la détection de nombreuses maladies, y compris le glaucome, une condition caractérisée par une pression élevée à l'intérieur de l'œil, ce qui conduit à des lésions du nerf optique et conduit à une perte de vision. S'il est diagnostiqué tôt, le traitement peut empêcher la progression et préserver la vision résiduelle. Ce test est effectué en injectant deux colorants, dont l'un est le vert d'indocyanine (ICG) et l'autre est la fluorescéine. La colorante fluorescéine brille en réponse à la lumière dans le spectre visible, tandis que l'ICG brille dans la lumière infrarouge.

## II.6 État de l'art des méthodes existantes et les travaux précédents portant sur la biométrie par la rétine

Dans la biométrie rétinienne, la structure générale des méthodes utilisé pour l'identification des individus elle comprend quatre phases principales : **analyse et prétraitement de l'image rétinienne** acquise qui contient l'arbre vasculaire la macula est le disque optique ,qui sert à rehausser et améliorer la qualité d'image afin d'en extraire l'information rétinienne utile, **l'extraction des caractéristiques** contenus dans les images rétiniennes à partir de réseaux rétiniens et les points de références (Disque Optique et la Macula) et l'établir de la signature biométrique et **la mise en correspondance des signatures** a l'aide de base de données est enfin **l'identification ou l'authentification biométrique** .

### A) Analyse et prétraitement de l'image rétinienne

Importer l'image à l'aide d'un scanner ou d'une photographie numérique, puis la convertir en format numérique il l'expose au bruit ainsi que le désalignement de contraste est la différence d'éclairage. Nous franchissons cette étape afin d'améliorer l'image obtenue et de faire des ajustements à l'image pour la rendre plus claire et de haute qualité et la débarrasser des impuretés qui rendent difficile l'identification et l'extraction de la maladie.

**1) La technique d'égalisation d'histogramme** est considérée comme l'une des principales techniques utilisées pour améliorer la qualité des images. Elle représente le nombre de pixels en fonction du niveau de gris. L'objectif de l'optimisation de l'image à l'aide de l'équation d'histogramme est d'obtenir une distribution uniforme et une modification de la densité de niveau de gris. On peut appliquer cette méthode à des images normales, mais il n'est pas possible de risquer dans le cas d'images médicales et ce par peur de perdre certaines informations ou de les déformer, et pour éviter ces risques une méthode a été proposée. C'est la méthode de **CLAHE (Contrast Limit Adaptive Histogram Equalization)**. Cette approche est complète en termes de calcul et est couramment utilisée pour l'amélioration d'image hors ligne. En raison de ses performances, la mise en œuvre matérielle de cet algorithme est requise pour optimiser la séquence d'images en temps réel. Dans cet article, le but de cette réalisation est de réduire la latence sans sacrifier la précision (*Huang Lidong, Zhao Wei 2015*). Ils peuvent être utilisés dans l'étude de la rétine pour améliorer la qualité des images couleur, réduire le bruit de l'image et équilibrer le niveau de gris.

### **B) Extraction de la signature (caractéristique) rétinienne**

Elle est considérée comme l'étape la plus importante et la plus difficile de l'identification des personnes. Son objectif est de caractériser une image de la rétine acquise par des vecteurs uniques, persistants et falsifiables, tâche qui est traitée de différentes manières dans la littérature. Les méthodes Retina peuvent être classées en deux catégories: les méthodes basées sur la caractérisation de l'arbre vasculaire, sensibles aux transformations géométriques, et les méthodes basées sur la caractérisation globale ou locale de l'image rétinienne sans l'étape de découverte de l'arbre vasculaire. Dans nos recherches, nous portons notre attention sur l'art des méthodes actuelles de caractérisation d'images rétinienne basées sur la caractérisation des arbres vasculaires.

#### **1) Détection de l'arbre vasculaire**

- **Méthodes non supervisées :** Les méthodes non supervisées utilisent des opérateurs de la Morphologie mathématique, les filtres adaptatifs, les modèles basés sur un seuillage local Adaptatif et la segmentation par croissance de régions. Les opérateurs de la morphologie mathématique sont très utilisés pour la segmentation non supervisée des vaisseaux rétiens. Se sont basés sur la connexité et la linéarité par morceau du réseau vasculaire.

#### **De nombreuses méthodes ont été utilisées dans les études :**

- *L. Esponaest* autres ils ont utilisé le principe du contour actif pour segmenter l'arbre vasculaire basé sur la croissance de région.
- *Al-Rawi* et autres ils ont utilisé le filtre adaptatif pour la détection des vaisseaux sanguins.
- *Martinez* à proposé La méthode de l'utilisation et la segmentation multi-échelle du réseau vasculaire en faisant varier la résolution de l'image.
- *oinonen* et autres proposée une autres méthode pas très différent de la méthode de *Martinez* Ils ont appliqué un seuillage de l'image rétinienne en différentes échelles. Les méthodes de **segmentation non supervisées** ont donné de bons résultats et ont aidé à résoudre de nombreux problèmes dans des images rétinienne saines avec des caractéristiques de contraste de bonne mais de faible qualité pour des images morbide et un faible contraste (*Aissaoui Nabil et Hamdouche Abderrezak 2020*).
- **Méthodes supervisées :** Les scientifiques ont récemment mis au point plusieurs méthodes supervisées de segmentation de l'arbre vasculaire grâce à la classification des pixels. Cette classification se fait par apprentissage supervisé de données à partir d'images marquées manuellement par des ophtalmologistes.



### 2) Détection de disque optique

La détection du disque optique est une étape essentielle dans la récupération d'une empreinte oculaire, ainsi que dans le dépistage de maladies oculaires telles que la rétinopathie diabétique, le glaucome et la dégénérescence maculaire liée à l'âge. Les scientifiques ont trouvé de nombreuses façons de détecter le disque optique. Selon deux critères, à savoir le taux de détection et le temps d'exécution, respectivement, Les méthodes de détermination du disque optique ont différencié car il est devenu difficile de déterminer une méthode efficace. Notre travail consiste à trouver une méthode permettant de détecter le disque optique en fonction du critère de performance et de la pathologie clinique. Les méthodes modernes n'ont pas été en mesure de détecter l'impair à 100%, en raison de la présence de limitations dans les conditions pathologiques qui ne peuvent pas être contournées lors de la modification de la morphologie de l'image car cela affectera la qualité des images.

- Le scientifique *Poriza et d'autre* ont suggéré que chaque angle a sa propre conversion de radon selon différents angles pour chaque sous-fenêtre pour détecter la rotation et calculer la densité. Le centre de la sous-image est le même que le centre de disque optique.
- *A.Youssif et d'autre* ont utilisé Graphique directionnel du système vasculaire rétinien pour détecter le disque optique.
- *Mahfouz et d'autre* ont pu combiner trois caractéristiques de la luminosité du disque, de la convergence des vaisseaux et de l'orientation vasculaire (*Sofien Ben Sayadia, YaroubElloumi, Rostom Kachouri, Mohamed Hedi Bedoui, Mohamed Akil*).

**3) Détection de la macula** Il existe plusieurs méthodes de détection de la fovéa sur les images rétiniennes. Là où chaque scientifique a proposé une méthode.

- *Sinthanayothin et autre* ont utilisé un modèle synthétique en niveaux de gris de 40x40 pixels qui simulaient une région réelle d'une fovéa, obtenue en utilisant une distribution gaussienne avec un écart-type constant. Afin de découvrir des régions de fovéa candidatent,
- *Narasimha-Lyer et autre* a proposé de localiser la fovéa en deux étapes, qui dépend du diamètre du disque optique, de la région d'intérêt et du seuil d'adaptation.
- *Singh et d'autres* utilisent une méthode basée sur l'apparence pour la détection fovéale. Améliore le contraste local et détecte le scintillement comme une image brun foncé

### c) la mise en correspondance des signatures

On l'appelle aussi l'étape de recalage est une étape essentielle pour les traits rétiniens résultant de la découverte du réseau vasculaire, généralement sensible aux changements affectant l'organisme. Cette étape elle a pour objectif est de garantir que ces transformations géométriques sont invariantes comme (rotation, changement d'échelle). En effet, cette étape vise à régler la non-concentricité de l'image ainsi que le changement d'orientation des images rétiniennes obtenues du fait des variations d'angle de vue (mouvement), des distances variables du sujet devant le scanner, et autres facteurs (*Takwa CHIHAOUI 2018*) . Les scientifiques ont mis au point de nombreuses méthodes:( *Isabel Narra Figueiredo et autre 2016*) ont proposé une méthode biométrique basée sur une nouvelle technique de recalage entre les vaisseaux rétiniens extraits. Cette technique se compose d'un recalage à plusieurs échelles suivi d'un autre recalage élastique multi-échelle.

### d) Comparaison de signatures biométriques

Ce sont les étapes de la méthode qui permettent de calculer le taux de similitude entre deux signatures biométriques. Dans le cas de la vérification d'identité, ce taux peut permettre au système de reconnaissance de faire la distinction entre authentification et rejet d'identité. Il permet également de sélectionner le meilleur taux de similitude sur un ensemble lors de la reconnaissance d'un individu alors une comparaison de la structure géométrique des nuages de points acquis après réajustement sera nécessaire. *(betaouaftalibhicham 2018)*.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par la définition de l'œil humain, son contenu et ses couches, jusqu'à atteindre la rétine, qui est la partie importante de notre étude, en étudiant son anatomie en détail et tout son contenu. Ensuite, nous avons étudié la biométrie de l'œil, son évolution dans le temps et les domaines de son utilisation. Nous avons également découvert les points forts et il est apparu qu'il souffre de certaines faiblesses qui affectent parfois sa mesure, comme les maladies qui l'affligent. Identifié certaines techniques pour obtenir des images rétinienne et les dernières méthodes liées à la biométrie.

*Chapitre III*  
***Méthodes et Résultats***

## III.1 Introduction

Le dernier chapitre comprend le cœur du travail où nous proposons une méthode qui nous aide à extraire les propriétés de la rétine et à former la biométrie et les résultats obtenus, On utilisant les bases de données (DRIVE MESSIDOR DIARET db1 et db0). Cela se fait en extrayant le réseau vasculaire et ses points de bifurcation après la construction de la signature biométrique , puis on passe à l'étape qui se produit entre deux points de contrôle de l'image (le centre de la macula et le disque optique). Ces deux images représentent à peu près les mêmes propriétés physiques tout d'abord, que ces images, ou plutôt ces caractéristiques, soient bien alignées pour pouvoir étudier leur similarité géométrique. Dans le cas des images de fond d'œil, la luminosité peut changer de manière très significative entre des images prises chez un sujet dépendamment des conditions variables de leur acquisition (changement de caméra entre deux acquisitions. La dernière étape est étape ces la comparaison des signatures vitales, en interprétant les résultats obtenus et en évaluant notre approche, est enfin Nous concluons notre travail par une phase de classification pour extraire est représenter les caractéristique visuelle de la rétine. Enfin, on termine par une interface graphique qui résume tout le travail effectuée.

## III.2 Les images rétinienne

L'œil façonne les images visuelles en dissolvant les impulsions lumineuses, quelle que soit leur nature. En optique, où les impulsions lumineuses sont définies comme une représentation du chemin des photons émis par un objet , La rétine crée une image claire et sans défaut , afin de lire et d'analyser les images projetées sur la rétine, les cônes déterminent la quantité d'informations que la rétine peut traiter, la rétine peut être représentée comme un écran, de sorte que plus il y a de pixels dans l'écran, plus la qualité d'image est élevée, car le les surfaces des cônes sont les pixels, qui collectent des échantillons de l'image , Les dimensions de la tâche d'éclairément entre la rétine et le corps sont importantes car les photorécepteurs placent une limite supérieure à la richesse de l'image rétinienne. Pour atteindre cette limite, la tache d'illumination ne doit pas dépasser la surface de collecteur des photorécepteurs. Les techniques de "mesure de diffraction" permettent à l'ophtalmologiste de l'étudier: La tache d'illumination résultant de l'observation d'un point source primaire (comme une étoile) est appelé fonction d'étalement du point (FEP) ou « *Point SpreadFunction* » (*PSF*), Pour illustrer les interférences dans la vision, nous prenons comme exemple deux étoiles proches l'une de l'autre dans le ciel. La rétine ne pourra pas les distinguer car elle ne contient pas la netteté nécessaire pour séparer deux objets en une seule image, alors Pour distinguer chacune des étoiles lumineuses ou des objets, les images de la rétine doivent être divisées.

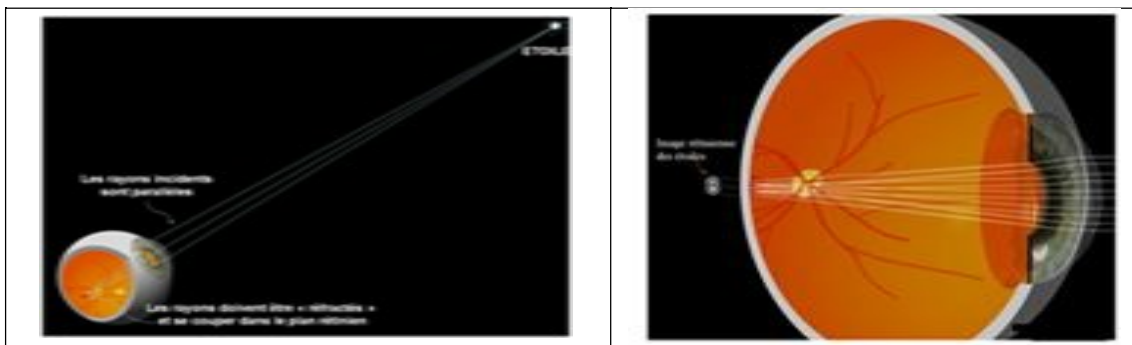


Figure III.1 la réfraction des rayons parallèles

Figure III.2 l'image rétinienne de 2 étoiles

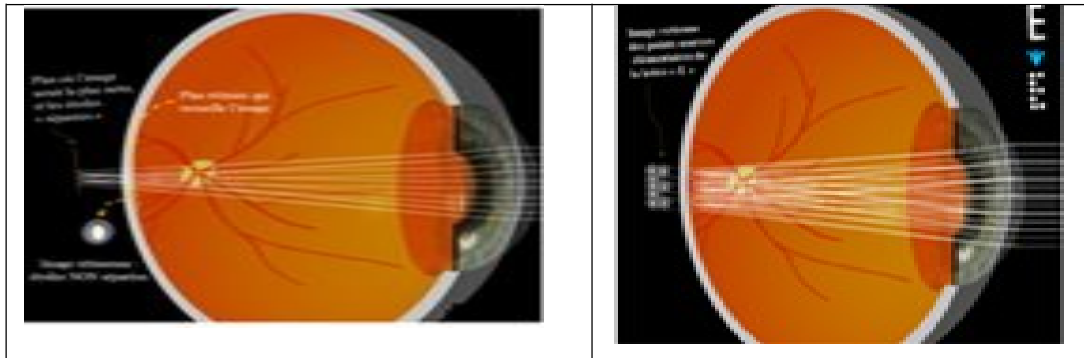


Figure III.3 la projection de l'image des étoiles      Figure III.4 la division de la lettre E

L'image de chaque étoile est projetée par un espace qui s'adapte à la rétine: cet écart dépend de la largeur de chaque spot. Prenons un autre exemple de phrases et de mots, car ils sont constitués d'un groupe de lettres et les lettres elles-mêmes sont un groupe de points proches les uns des autres, la lettre «E» a été divisée sur le côté de la rétine en un grand nombre de points initiaux contigus, Afin de reconnaître cette lettre et d'en créer une image claire, la rétine s'appuie sur la fovéa responsable de la vision fine, de juxtaposer ces points voisins. Ce PSF facilite la construction ou la simulation de toute image complexe, grâce à la simple image rétinienne de points source.

### III.3 Approche proposée

Dans cette section, Nous proposons des approche basée sur une combinaison des méthodes basée sur *la morphologie mathématique\** et le seuillage .La ligne de partage des eaux (LPE) est un outil de segmentation par excellence en morphologie mathématique (*Beucher, 1990; Meyer, 1991; Beucher et Meyer, 1992*), nous permet de détecter l'arbre vasculaire. Les étapes principales de l'approche proposée sont présentées dans l'organigramme suivant. Nous allons détailler chacune de ces étapes dans les sections suivantes.

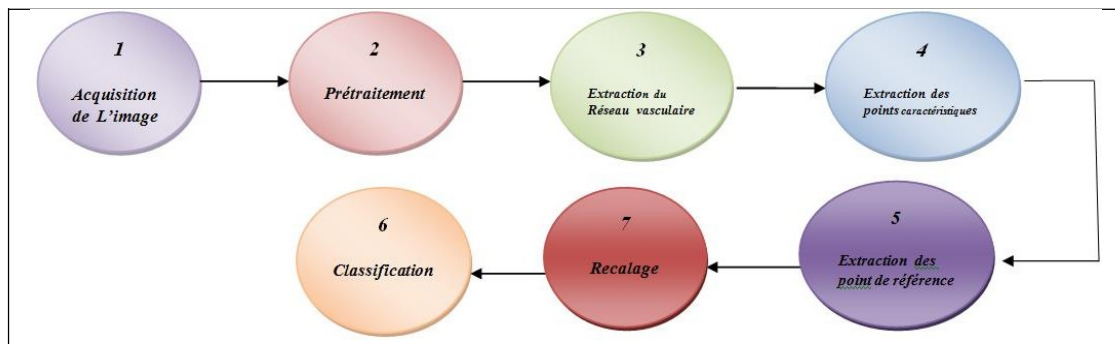


Figure III.5 Schéma générale de notre approche

#### \*La morphologie mathématique

Discipline née en France en 1964 (*G. Matheron, J. Serra*), une théorie non linéaire, fondée sur les ensembles, et treillis. Elle est utilisée en analyse d'images, dans le but d'étude des objets en fonction de leur taille, de leur forme, des relations avec leur voisinage, de leur texture, et de leurs NG ou de leur couleur.

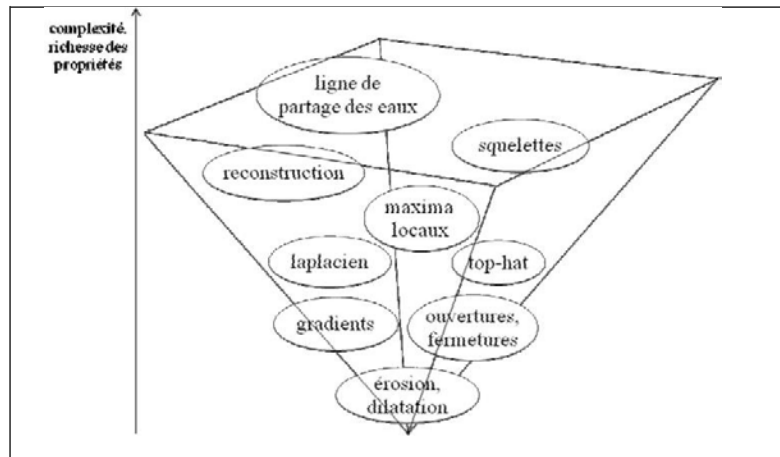


Figure III.6 construction des opérateurs de la morphologie mathématique

### III.4 Description des bases de données

- **La base de données DRIVE**

Les bases de données contiennent ensemble d'images, sont des ressources importantes pour le développement des algorithmes pour le traitement des images rétiniennes, ils aident l'évaluation et de comparaison permet la mise au point de meilleurs algorithmes. Dans notre travail, nous utilisons la base d'images DRIVE, comprend 40 images couleur du fond d'œil, dont 7 présentent des pathologies comme des déformations de la Disque optique et la macula. Les images sont acquises avec une rétinographie non mydriatique (Canon RC5) avec un champ de vision de 45 degré (FOV). Au format JPEG, avec une taille de 768 \*584 pixels. La base d'image est divisée en deux ensembles (20 images pour l'apprentissage et le reste pour le test). La segmentation manuelle du réseau vasculaire est effectuée par deux ophtalmologues expérimentés. Les photographies de la base de données DRIVE ont été obtenues à partir d'un programme de dépistage de la rétinopathie diabétique aux Pays-Bas. La population de dépistage était composée de 400 sujets diabétiques âgés de 25 à 90 ans. Quarante photographies ont été sélectionnées au hasard, 33 ne montrent aucun signe de rétinopathie diabétique et 7 montrent des signes de rétinopathie diabétique précoce légère. Voici une brève description des anomalies dans ces 7 cas:

**25\_training:** modifications de l'épithélium pigmentaire, probablement maculopathie du papillon avec cicatrice pigmentée dans la fovéa, ou choroïdopathie, pas de rétinopathie diabétique ou d'autres anomalies vasculaires.

**26\_training:** rétinopathie diabétique de fond, atrophie épithéliale pigmentaire, atrophie autour du disque optique

**32\_training:** rétinopathie diabétique de fond

**03\_test:** rétinopathie diabétique de fond

**08\_test:** modifications de l'épithélium pigmentaire, cicatrice pigmentée dans la fovéa, ou choroïdopathie, pas de rétinopathie diabétique ou d'autres anomalies vasculaires

**14\_test:** rétinopathie diabétique de fond      **17\_test:** rétinopathie diabétique de fond

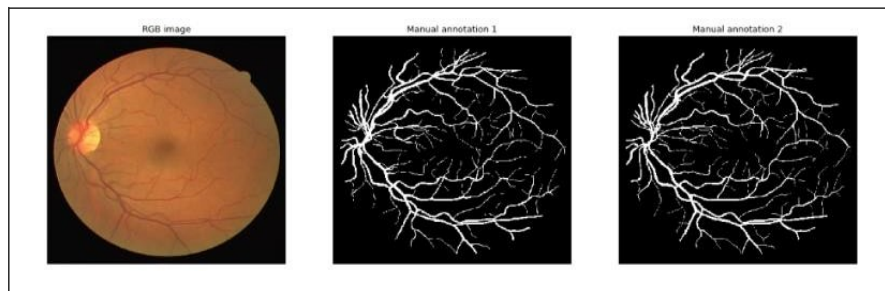


Figure III.7 La base de données DRIVE

- **La base de données MESSIDOR**

La base de données Messidor contient 1200 images couleur du fond d'œil. Ces images ont été acquises par l'Hôpital Lariboisière à Paris, la Faculté de Médecine Saint-Etienne CHU de Brest (France). 800 images sont acquises avec dilatation de la pupille et 400 images sans dilatation ; en utilisant un rétinographe non mydriatique de type Topcon TRC NW6 avec un champ de vision de 45°. Les images ont une taille de 1440 \* 960 en 588 images, 2240 \* 1488 en 400 images et 2304 \* 1536 en 212 images. Toutes les images sont enregistrées en Format TIFF non compressé. Pour chaque image, le grade de la RD et le risque d'œdème maculaire (EM) est fournit par des experts.

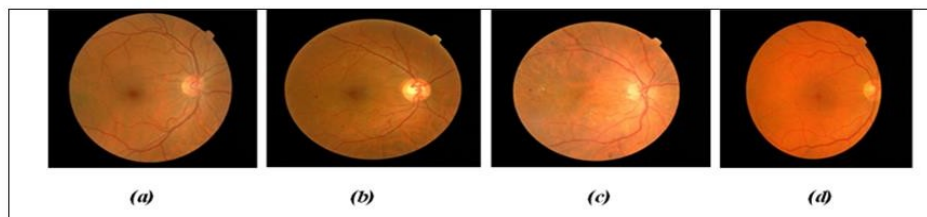
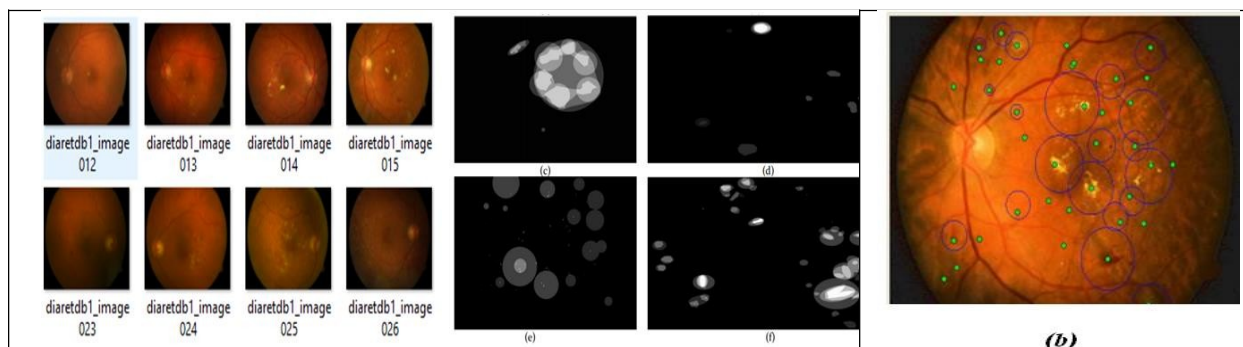


Figure III.8 La base de données MESSIDOR (a) : image sain ;(b):image pathologique avec une RD de stade 3 et aucun risque d'un œdème maculaïre ; (c) : image pathologique avec une RD de stade 3 et risque d'un œdème maculaïre stade 2 ;(d) : image pathologique avec une RD de stade 2 et risque d'un œdème maculaïre stade 2

- **La base de données DiaretDB1**

La base d'images rétiniennes DiaretDB1 (DiabeticRetinopathyDatabase) est composée de 89 images de fond d'œil en couleur, dont 5 images considérées comme saines et 84 images contiennent des signes de la rétinopathie diabétique non proliférante. Les images sont capturées avec un champ de vision de 50 degré avec une haute résolution. La taille des images est de 1500 \* 1152 pixels. Dans chaque image, 4 experts ont marqué les zones des micro-anévrismes, des hémorragies et des exsudats durs et mous.



(b) : segmentation des lésions par un des expert ;(c) : localisation des exsudats durs ; (d) : localisation des exsudats mous ;(e) : localisation des micro-anévrismes ;(f) : localisation des hémorragies.

Figure III.9 Exemples d'images rétiniennes de la base de données DiaretDB1

## Remarque :

Ces bases de données sont généralement utilisées dans un contexte médical et non biométrique. En effet, dans une base biométrique, chaque individu doit être présenté par différentes captures acquises en temps réel, sous différentes conditions (changement d'éclairage, rotation, changement d'échelles, etc.), d'où un manque de bases d'images rétinienne biométriques.

## III.5 Détection du réseau vasculaire

- Les vaisseaux sanguins

### A) la vascularisation rétinienne :

De nombreuses méthodes ont été découvertes pour étudier les vaisseaux sanguins de la rétine, et parmi les méthodes les plus utilisées est la méthode d'angiographie fluorescence. Figure (3.1). Le processus consiste à prendre un groupe d'images des tissus photorécepteurs dans la paroi arrière de l'œil. Pétri en injectant de la fluorescéine sodique dans les veines, qui agit comme un colorant radioactif du sang, le sang radioactif se déplace à travers les vaisseaux sanguins vers la rétine. Le trajet de la fluorescéine est retracé jusqu'au placenta et à la rétine à l'aide de caméras spéciales.

#### A.1) Vascularisation artérielle :

La rétine est alimentée en sang dans toutes ses couches par des artères qui se ramifient de l'extérieur vers l'intérieur. Le placenta et les photorécepteurs sont alimentés en sang dans la couche externe de la rétine par des vaisseaux épais qui se ramifient vers l'intérieur pour former un réseau capillaire qui transporte le sang aux fibres internes de la rétine. L'artère centrale après avoir quitté la papille, se ramifie en deux artères à la première puis se divise en 4 après cela : 2 artères temporales supérieures et inférieures, 2 artères nasales supérieures et inférieures. Figure (3.2).

#### A.2) Vascularisation veineuse :

La rétine contient une veine principale qui évacue le sang vers l'extérieur, Les petites veines de l'aura est regroupé vers la papille pour former 4 gros vaisseaux sanguins, qui sont: les veines temporales supérieures et inférieures, les veines nasales supérieures et inférieures, ensuite ces veines se combinent pour devenir seulement deux veines, l'une supérieure et l'autre inférieure, pour se former après le pétrissage de la veine rétinienne centrale .figure(3.3).

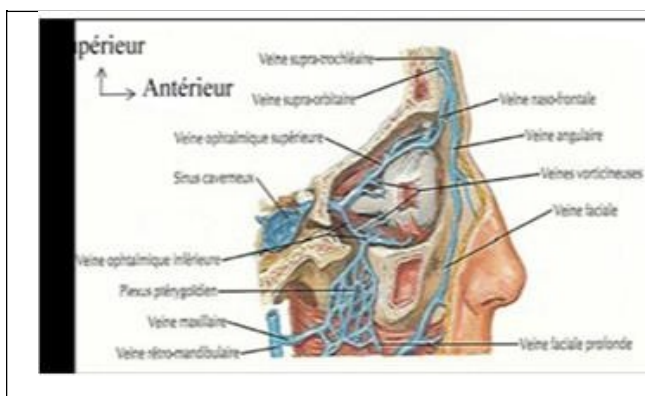


Figure III.11 vascularisation veineuse

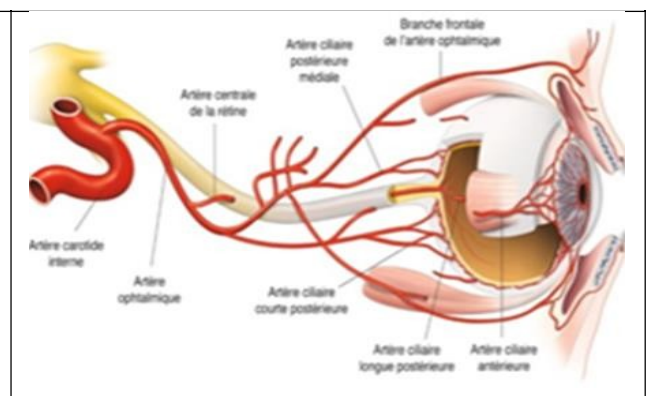


Figure III.10 vascularisation artériel



## • Algorithme de Détection

Les vaisseaux sanguins de la rétine sont des régions lumineuses, linéaires, régulières, connectées et ayant une certaine courbure, de forme allongée, beaucoup plus longues que larges, rouges et plus sombres que le fond, entrent dans la rétine par le disque optique et parcourent la rétine en formant l'arbre vasculaire, il existe de gros vaisseaux et des vaisseaux très minces. Ils portent l'information biométrique, Pour l'extraction des caractéristiques biométriques à partir des vaisseaux (la signature biométrique), il est nécessaire au début d'extraire le réseau vasculaire et de l'isoler par rapport au fond. Les vaisseaux apparaissent plus contrastés dans le canal vert de l'image couleur, nous travaillerons donc exclusivement sur le canal vert. Pour l'extraction de l'arbre vasculaire selon l'organigramme suivant.

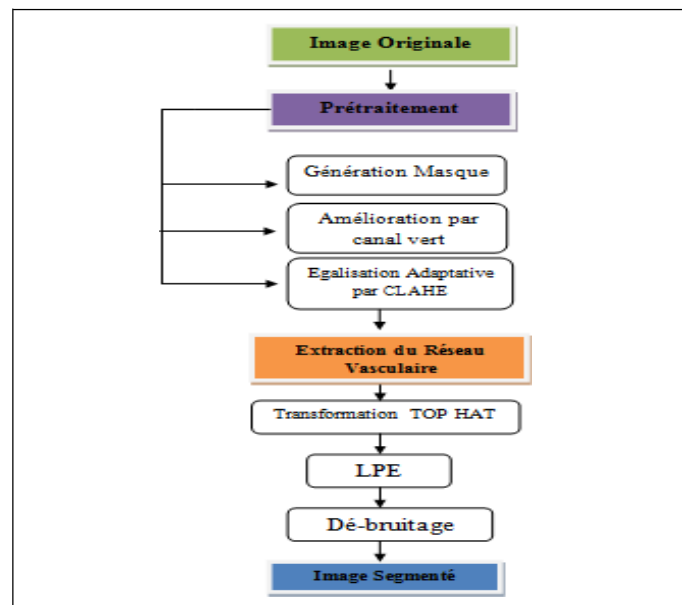


Figure III.12 Organigramme de Segmentation du Réseau Vasculaire

### A) Prétraitement :

Cette phase a lieu juste après l'acquisition des images, Est une discipline de l'informatique et des mathématiques appliquées permettent l'analyse des images numériques et leurs transitions, le traitement d'images est souvent synonyme d'amélioration de la qualité des images en ajoutant du sens par un procédé automatique afin d'obtenir plus de lisibilité. Le prétraitement des images rétinienne a pour objectif, d'enlever du bruit clair et les petits exsudats, s'ils existent, qui pourraient causer des fausses détections, et d'autre part, de connecter des bouts de vaisseaux non connexes. Ces deux cas causent des problèmes pour la détection du réseau vasculaire. Le principe général du traitement d'image, un système reçoit des images, y applique un traitement et produit une information de nature liée à l'application visée c à dire n'y a pas création d'informations, l'information pertinente déjà présente dans l'image, mais juste la mise en évidence.

- **Les techniques de prétraitements les plus couramment utilisées sont :**  
**La réduction du bruit par filtrage. – La modification d'histogramme,**  
En général le traitement d'image décrit en quatre étapes principales :

**1-Acquisition des images** : basé sur la mise en œuvre des processus physiques de formation des images et la mise en forme pour que ces images puissent être traitées par des systèmes informatiques.

**2- Traitement des images** : afin d'améliorer les qualités des images et atténuer le bruit ou des défauts d'acquisition pour la préparer à l'étape suivante.

**3- Segmentation des images** : est une opération de traitement d'images qui a pour but de rassembler des pixels entre eux pour construire une image symbolique en générant des régions homogènes selon un critère défini a priori en utilisant certains opérateurs comme la morphologie mathématique. Il peut s'agir par exemple de séparer les objets du fond.

- **Les techniques de segmentation existantes dans la littérature** : peuvent être regroupées en cinq familles, qui sont : **1. Seuillage**, **2. Segmentation à base de région**, **3. Segmentation à base de contour**, **4. Segmentation à base de graphe**, **5. Segmentation basée sur la classification**.

**4- Analyse des images** : Consiste à extraire des paramètres ou des fonctions représentatives de l'image ou des régions.

### A.1) Génération du masque :

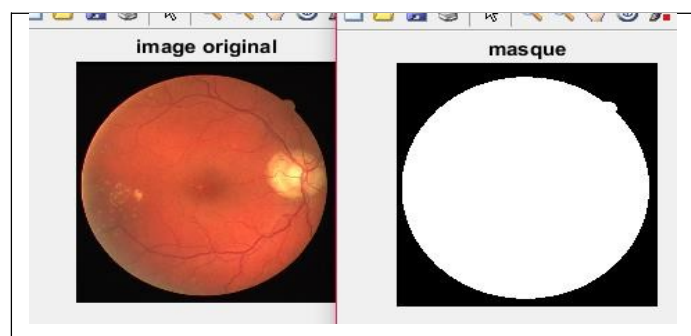


Figure III.13 Prétraitements Génération Masque

### A.2) Extraction du canal vert :

Pour sélectionner le meilleur canal de couleur pour prendre le vaisseau sanguin des images comme objet de cette recherche et pour faciliter les étapes suivantes du travail, D'après la comparaison des trois canaux de couleur dans l'image du fond d'œil en couleur, le **canal rouge**, **vert** et le **canal bleu**. On constate que le meilleur canal est le canal Vert, les avantages de ce canal : de plus haute intensité des images couleur, un meilleur contraste que les autres canaux de couleur et plus clair aussi, le bruit de l'image peut être réduit. L'extraction du canal vert fait la différence entre un vaisseau sanguin et un autre objet de l'image du fond de l'œil, c'est le canal vert qui donne le meilleur résultat au niveau du contraste des vaisseaux sanguins.

✚ **Le canal bleu** : contient très peu d'information et de plus très bruyé, les vaisseaux n'y sont presque pas présents, la dynamique est minime. Les éléments contenant du sang y apparaissent toujours avec un faible contraste.

✚ **le canal rouge** : les vaisseaux clairs apparaissent très flous.

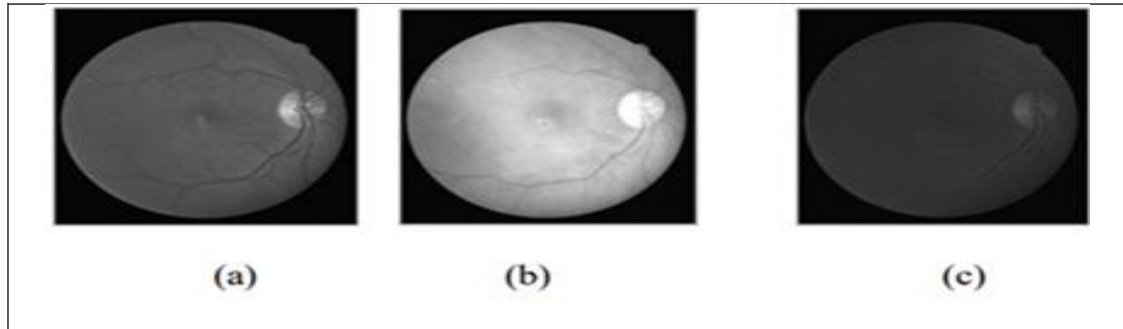


Figure III.14 Test des couleurs RGB (a) : canal vert ;(b) : canal rouge (c) : canal bleu

### A.3) Egalisation Adaptative de l’histogramme par CLAHE :

Afin d’améliorer le contraste de l’image et pour renforcer le contraste des petits vaisseaux dont leur intensité décroît en largeur, nous faisons appel à une technique de l’égali- sation adaptative d’histogramme, la méthode **CLAHE** « *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* » permet d’afficher les vaisseaux sanguins rétiniens plus clairement que les deux autres méthodes HE et AHE. Car cette méthode permet de traiter le problème du bruit d’amplification excessif causé par l’égali- sation adaptative d’histogramme (AHE). Le principe de cet opérateur, l’image est découpée en zones « titres » de taille  $8 \times 8$ , puis le traitement de chaque « titre » est effectué. **CLAHE** utilise un seuil prédéfini pour recadrer l’histogramme afin de limiter l’amplification. En règle générale, l’histogramme recadré est réparti uniformément sur les autres parties de l’histogramme (Setiawan et al., 2013; Zuiderveld, 1994).

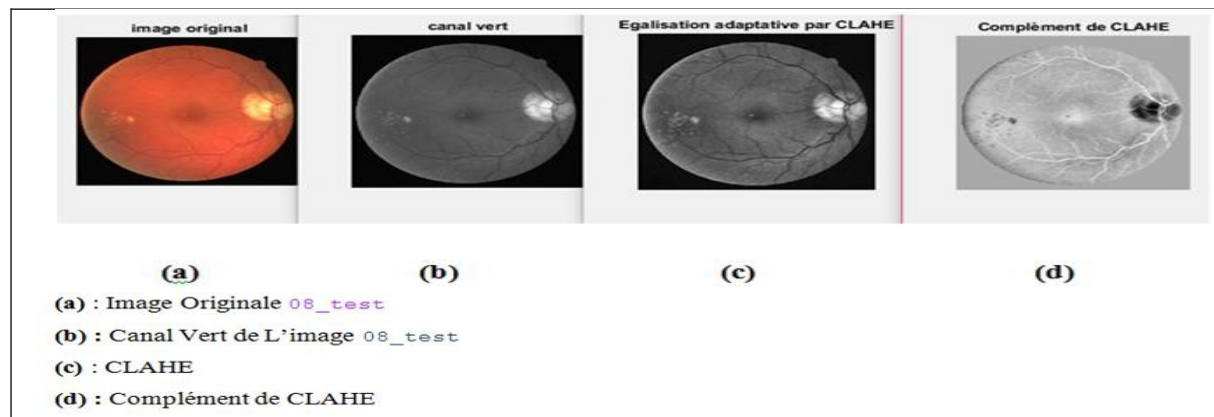


Figure III.15 égalisation adaptative par CLACHE

**TOP HAT** : L’arbre vasculaire se présente sous la forme d’un réseau de lignes à structure arborescente et ayant par endroit différentes épaisseurs et différents niveaux de gris. L’opérateur morphologique, dénommé «**CHAPEAU HAUT DE FORME**» est particulièrement connu pour sa capacité à détecter les maxima locaux dans une image. Cette transformation est utilisée pour localiser des structures dans l’image qui sont plus petites que l’élément structurant. Ils sont en général appliqués seulement aux images à niveaux de gris. Elle consiste à extraire tous les détails d’une image qui ne dépassent pas une certaine taille et qui ont été effacés par le filtrage (l’ouverture ou la fermeture). Il est obtenu en prenant la différence entre l’image source et l’ouvert. Il existe de 2 types :

- a. **Le chapeau haut de forme blanc**: obtenu par la différence entre l’image source et l’ouverture.
- b. **Le chapeau haut de forme noir** : obtenu par la différence entre la fermeture et l’image afin d’extraire les vallées ou les structures sombres de l’image.

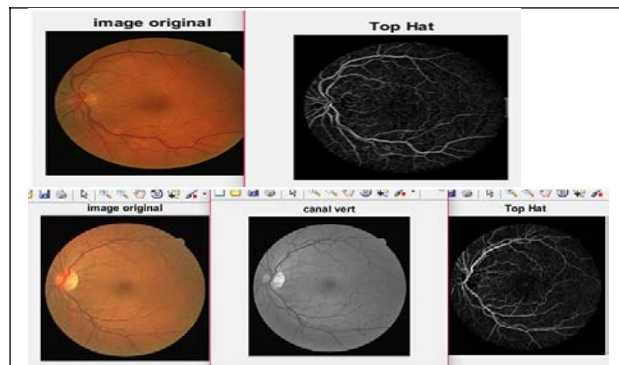


Figure III.16 TOP HAT

La figure montre que La transformation en chapeau haut de forme apparaît les vaisseaux sanguins comme des objets allongés clairs tandis que l'arrière-plan se propage pour être noir. Les détails extraits par cette technique sont séparés, ils ne sont pas connexes et contiennent non seulement des vaisseaux sanguins. Les différences de contraste entre les vaisseaux sur une même image ou entre des images différentes font que des méthodes de seuillage ne sont pas adaptées pour trouver le réseau vasculaire à partir de l'image chapeau haut de forme. Pour résoudre ce problème. Il nécessite les méthodes de seuillage pour détecter l'arbre vasculaire, nous utilisons un outil de segmentation puissant permettant d'extraire le réseau rétinien, il s'agit de la ligne de partage des eaux (water shed) que nous décrivons dans la section suivante.

### C) Segmentation morphologique LPE ( Watershed Segmentation)

La segmentation d'images est l'une des tâches les plus importantes dans le traitement d'images, une fois l'image est améliorée et rehaussée, on se focalise à la détection du réseau vasculaire. Cette tâche s'appuyant sur le concept de l'application de l'opérateur morphologique dénommée LPE « **LIGNE PARTAGE DES EAUX** ». C'est une approche morphologique constituée de la segmentation d'une image en NG. La notion de ligne de partage des eaux n'est pas en elle-même, à proprement parler, une notion purement issue de la morphologie mathématique. Le concept a son origine en topographie et en hydrogéologie. De nombreux auteurs se sont, d'ailleurs, penchés sur cette notion en essayant de définir des algorithmes permettant de la générer à partir des données topographiques (*Collins, 1973; Peucker et Douglas, 1975*) devient intéressante, c'est lorsqu'elle apparaît comme le prolongement naturel des transformations morphologiques ensemblistes comme le squelette par zones d'influence, et surtout lorsqu'on utilise le concept sur des images à teintes de gris.

- **Ligne de partage des eaux** : L'ensemble des points de séparations de deux bassins versants adjacents forme la ligne de partage des eaux (de cette ligne, une goutte d'eau peut s'écouler vers au moins 2 minima locaux distincts).
- **Minimum local** : point ou plateau d'où on ne peut pas atteindre un point plus bas sans être obligé de remonter atteindre un point plus bas sans être obligé de remonter
- **Bassin versant** : c'est la zone d'influence d'un minimum local (une goutte d'eau s'écoulant dans le bassin versant arrive au minimum local) f Ligne de partage des eaux Ligne séparant 2 bassins versants • Limite des zones d'influence des minima locaux.

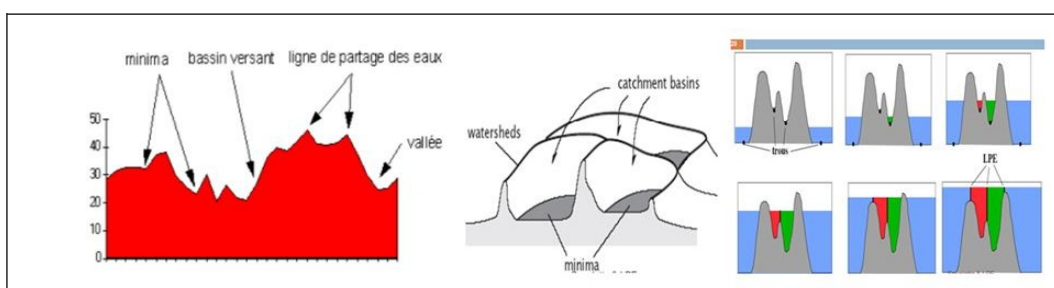


Figure. III.17 Minima locaux, bassin versant et LPE

**C.1) L'application de l'algorithme de la LPE** : Sur des images naturelles produit une sur-segmentation !!! ... **Solution** : utilisation de marqueurs

Le problème majeur de LPE est la sur-segmentation. Ce problème est dû à la présence d'une multitude de minima dans l'image. Afin d'éviter ce problème « *F. Meyer et S. Becheur* » ont proposé une stratégie dite: LPE contrôlée par marqueurs. L'usage de la LPE contrôlée par un marqueur consiste à inonder l'image à partir des minima importants. Des barrages sont construits entre les lacs qui se rencontrent, ces barrages constituent la LPE.

**LPE avec marqueur**: sont des composantes connexes, présentent la première technique pour éviter la sur segmentation est d'utiliser des marqueurs qui ont pour rôle d'imposer la présence de certains bassins versants, c'est-à-dire L'idée en général consiste à sélectionner certains minima pour réduire le nombre de minima à partir desquels l'image est inondée, permettant de localiser les régions devant être segmentées dans l'image. Ils doivent être choisis de manière à ce que la ligne de partage des eaux coïncide avec les vaisseaux, il est donc important de marquer toutes les zones entourées partiellement ou entièrement par les vaisseaux pour que la segmentation soit correcte de manière à contraindre la topologie de la LPE. La question de l'obtention de ces marqueurs, l'ensemble de points d'où l'inondation commence, est un problème central dans tous les algorithmes de segmentation par LPE.

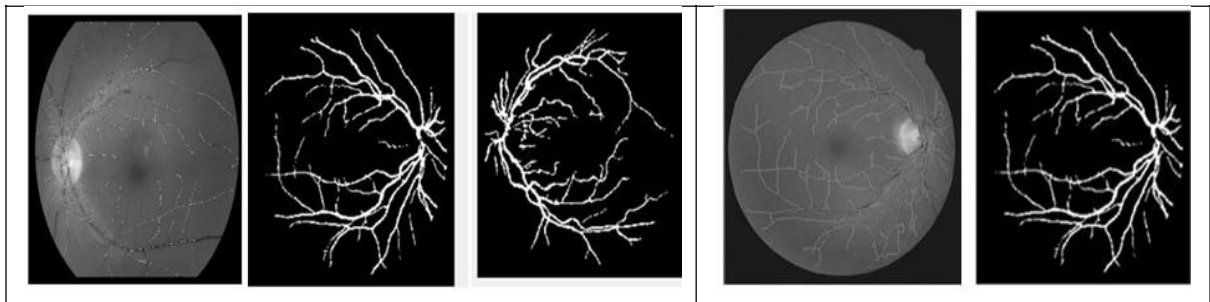
- LPE sur la Fonction distance
- LPE sur Gradient morphologique
- Marqueurs internes et marqueurs externes

Dans notre travail, nous utilisons le Gradient morphologique comme marqueur dans la segmentation par LPE. Possède de fortes valeurs au niveau du contour des objets. Nous pouvons aussi, utiliser une combinaison des deux derniers marqueurs comme marqueurs interne et externe.

**Dé-bruitage** : Pour supprimer les petits objets qu'il a laissé L'algorithme LPE ou les pixels non-vaisseaux nous appliquons une ouverture de zone par une simple commande Matlab « `bwareaopen` ». Par une optimisation supplémentaire des images traitées en fonction des images en niveaux de gris et des seuils.

## III.6 Analyse des Résultats Expérimentaux

Dans cette section, On démontre les performances de la méthode proposée LPE



*Figure III.18 Résultats de Segmentation du Réseaux Vasculaire Rétinien Par LPE  
Et LPE superposé sur l'image en NG et Réseaux extrait*

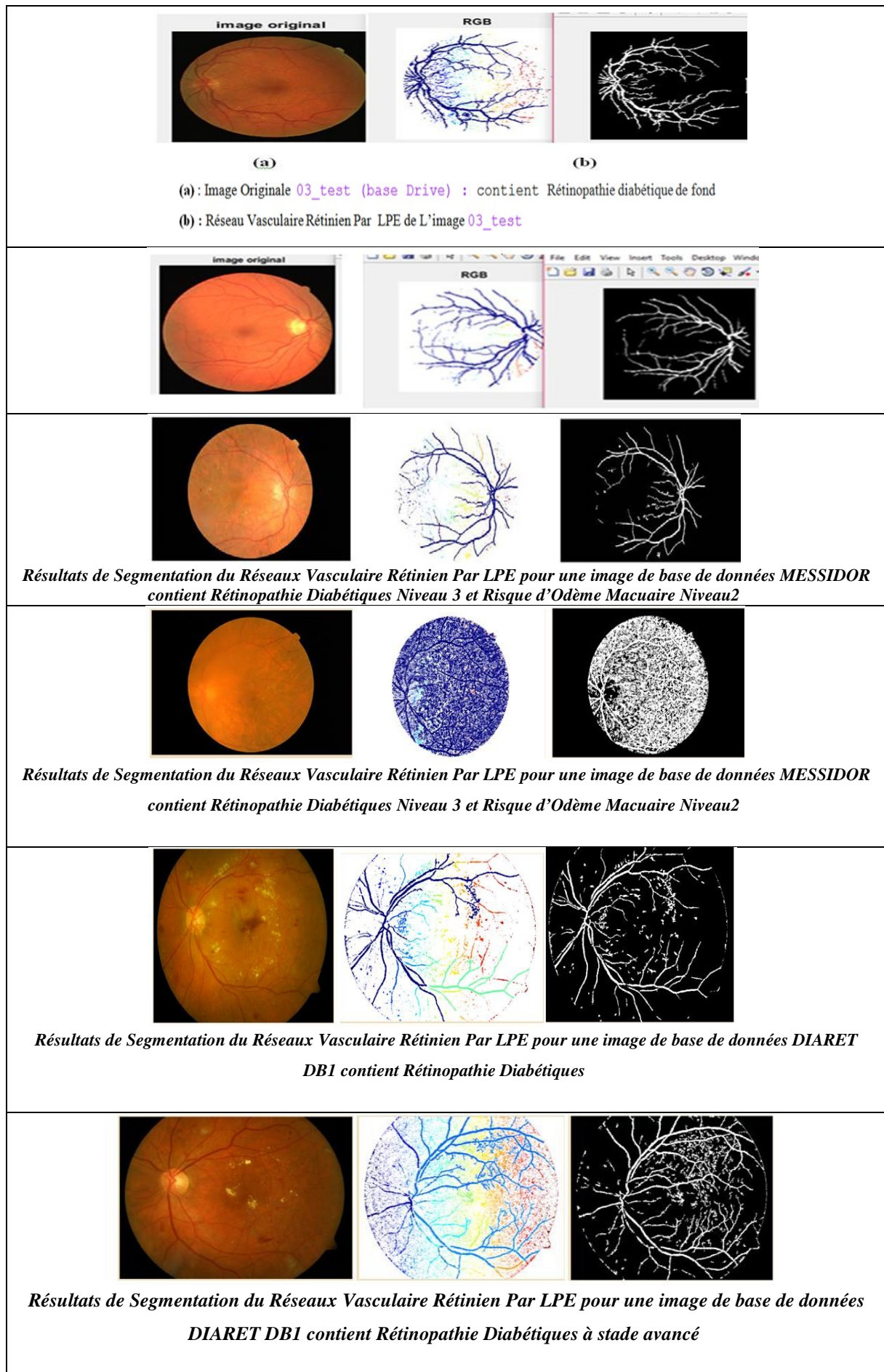


Figure III.19 L'extraction du Réseau Vasculaire Rétinien Par LPE

### a) Matériel

Le procédé de ce Travail est basé sur l'analyse et le traitement des images de la rétine afin d'extraire la signature à partir la Détection des vaisseaux sanguins rétiniens et les points de Bifurcations de l'image du fond d'œil pour des cas pathologiques. Nous avons dans un premier temps, choisi d'utiliser des images rétiniennes de la base DRIVE accessible au public, contient 40 images couleur du fond de l'œil , cas sain et 7 cas pathologiques atteints de diverse maladies oculaires ex : la rétinopathie diabétique , la dégénération de la macula .Afin de pouvoir valider notre système, il nous a fallu le tester sur une autre base, La base d'images rétiniennes DiaretDB1 (**Diabetic Retinopathy Database**) est composée de 89 images de fond d'œil en couleur, dont 84 images contiennent des signes de la rétinopathie diabétique non proliférant et 5 images considérées comme saines. En plus de la base de données MESSIDOR, Le choix de ces bases reposait sur la variété des images (de sujets malades), vis-à-vis de leurs caractéristiques (couleur, contraste, luminance) etc..... La méthode proposée est implémentée en utilisant le **MATLAB 2015a sur le core™ i3 CPU M350 2.27GHZ avec 4Go de RAM**

### b) Analyse des résultats

Pour valider les résultats obtenus par la méthode proposé, nous les avons comparés à ceux obtenus par d'autres algorithmes de travaux précédent .il existe de nombreux algorithmes avec une bonne précision, comme celui de « *Farzin et al. (2008)* » ou les vaisseaux sanguins ont été utilisée comme modèle biométrique, ainsi que leurs diamètres, leurs positions et les angles formés par les branches. « *Ortega et al. (2009)* » ont utilisé la structure vasculaire pour la comparaison des images. « *Oinonen et al. (2010)* » Et « *Latha et al. (2010)* » ont utilisé les attributs de localisation et d'orientation des points de bifurcation. *Dehghani et al. (2013)* ont utilisé les coordonnées polaires des coins de l'image. Dans notre travail, nous avons validé notre algorithme sur toutes les images de test sain et surtout pathologiques et aussi comparé nos résultats avec la première image de segment d'observateur des images de test dans la base DRIVE. D'après les résultats obtenus On remarque que le réseau est bien extrait par LPE. Cette méthode donne une bonne segmentation pour la pluparts des images rétiniennes et se caractérisent par la facilité de la mise en œuvre et l'efficacité en temps réel. La méthode de la ligne de partage des eaux LPE représente l'outil de segmentation par excellence en Morphologie Mathématique (*Beucher, 1990; Meyer, 1991; Beucher et Meyer, 1992*) est parmi les plus importantes dans le traitement d'images, il existe une grande variété de méthodes supervisées et non supervisées , elle est plus performante que les autres méthodes (basées sur le seuillage ou bien sur des transformations morphologiques de base, telles que le chapeau haut de forme, les décompositions morphologiques d'images,...) qui ne sont utilisées que dans des cas spécifiques du fait de leur complexité ou bien de leur extrême simplicité. L'approche morphologique proposée, Ces algorithmes d'extraction ont donnés des résultats très satisfaisants.

Finalement, on peut dire que l'algorithme de détection de l'arbre vasculaire basé sur la LPE contrôlée par marqueur, est un algorithme robuste et donne des résultats fiables. Mais n'empêche Pas que cette approche face a quelque inconvénient, En cas de maladies vasculaires graves attaquent l'arbre vasculaire de la rétine. La forme des vaisseaux peut être modifiée par la maladie (rétinopathie diabétique) ou par l'âge(DMLA), En effet, des changements surviennent au niveau des petits vaisseaux rétiniens. Au stade avancé, des nouveaux vaisseaux anormaux se forment sur la

Surface intérieure de la rétine D'autres peuvent provoquer des lésions ou des hémorragies qui touchent principalement le disque optique en modifiant ses caractéristiques. Toutes ces Imperfections provoquées par les pathologies rétiniennes (glaucome, le diabète, l'hypertension, la cataracte) peuvent rendre complexe les processus de reconnaissance des personnes. Aussi, la Qualité des images rétiniennes obtenues est détériorée. Donc, cette acceptation améliorée a généré le besoin en outils plus puissants pour l'analyse des données rétiniennes.

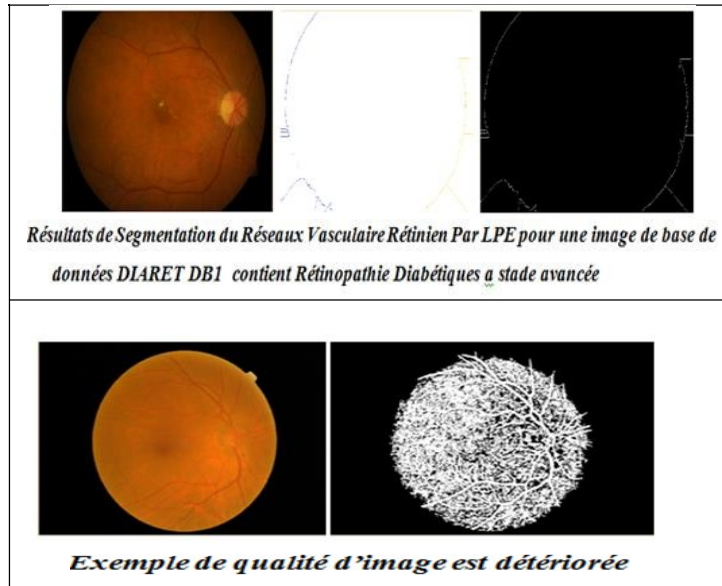


Figure III.20 L'extraction du Réseau Vasculaire Rétinien Par LPE dans des images contient Rétinopathie à stade avancé

Et aussi un autre inconvénient qu'on a trouvé c'est que la plupart des bases d'images rétiniennes à usage public qu'on a utilisée (DRIVE MESSIDOR DIARET db1) ont été collectées pour des études pathologiques (RD DMLA) et ne sont pas adaptées à la biométrie car elles ne contiennent pas assez d'images des mêmes patients à différents moments. Nous verrons, par la suite, comment extraire les points de bifurcation et de croisement des branches, depuis le squelette vasculaire obtenu.

### III.7 Détection des points caractéristiques (point de bifurcation)

#### a) Principe

La signature biométrique rétinienne est composée d'un ensemble de vecteurs. Chaque vecteur correspond à un point de bifurcation et contient en plus des coordonnées du point, Chaque vecteur comprend donc les coordonnées  $(x_i, y_i)$  du point et les points de références (macula et disque optique) (Hajer & Kamel, 2005). La détermination de la signature biométrique nécessite donc la localisation des points de bifurcations et la détermination des points de références. Mais avant, il nécessite une opération de squelettisation. La figure suivante montre l'organigramme de la détection de la signature biométrique.

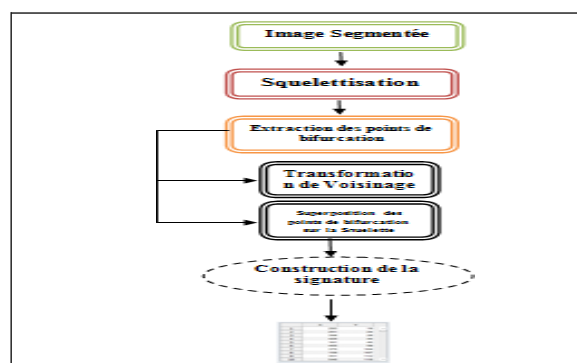


Figure III.21 l'organigramme de la détection de la signature biométrique



## b) Algorithme de détection

**A) Squelettisation :** La squelettisation très utilisée en RDF s'effectue par une succession d'amincissements jusqu'à obtention d'une structure stable dont les éléments sont les lignes d'épaisseur 1 pixel. Afin de représenter un ensemble avec un minimum d'information, sous une forme qui soit à la fois simple à extraire et commode à manipuler.

**A.1) Le squelette morphologique :** Une boule maximale touche la frontière de X en au moins deux points distincts. Le squelette morphologique est la réunion des centres de boules maximales.

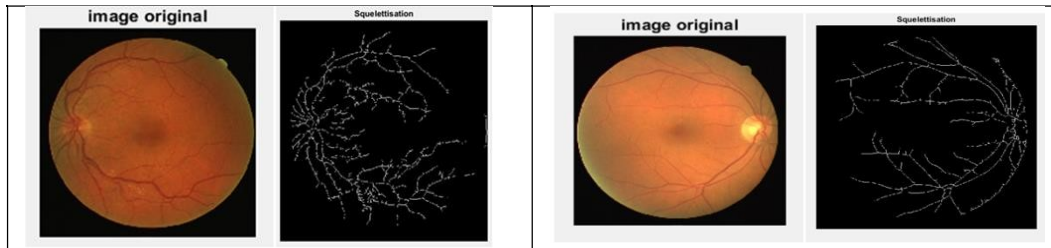


Figure III.22 Squelettisation

**A.2) Détection de point de bifurcation :** Les points d'intersection vasculaire admettent trois formes possibles: forme en Y, forme en X et forme en T. Seules les formes en Y et en T constituent des points de bifurcation. Pour la localisation des points de bifurcation, il suffit d'appliquer la transformation morphologique connue sous le nom « **transformation de voisinage** » définie par :

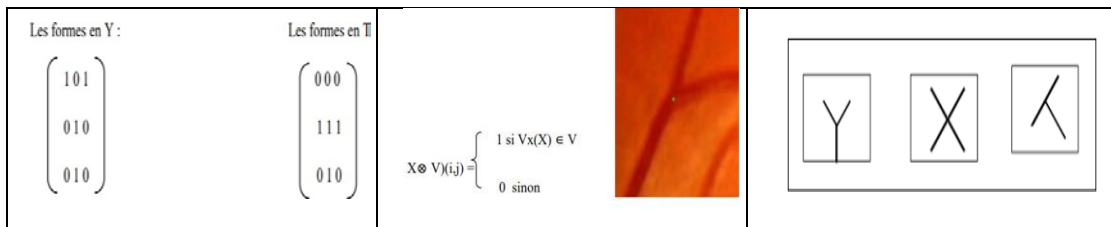


Figure III.23 Exemple d'un point de bifurcation et Les différentes formes d'intersections vasculaires

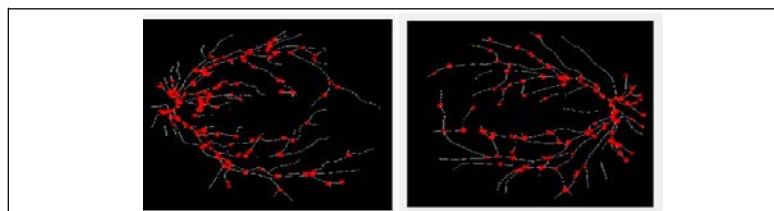


Figure III. 24 Les points de bifurcation

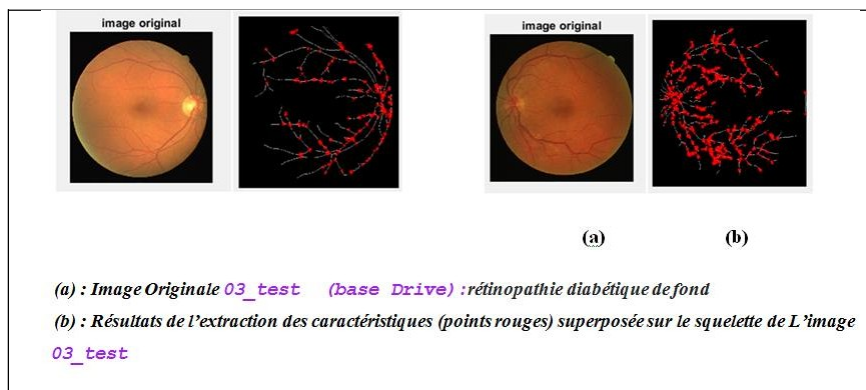


Figure III. 25 Exemples d'extraction des points de bifurcation

## III.8 Détection de la signature biométrique

### A.3) Construction de la signature biométrique

Une fois les caractéristiques extraites, il ne nous reste plus qu'à générer la signature biométrique. Les coordonnées cartésiennes(x, y) de projection sur les axes du plan de l'image sont utilisées pour établir la signature biométrique. En résumé, aux N points de bifurcation est associée une matrice composée de N lignes et de 2 colonnes. Chaque point de bifurcation est représenté par une ligne dans la matrice et les colonnes représentent les coordonnées du point, la taille du vecteur correspond au nombre de points de bifurcations. Donc, la signature va contenir les coordonnées cartésiennes des points bifurcations ainsi, les coordonnées des deux points : fovéa et centre du DO. Dans ce qui suit, on va présenter la détection de ces deux points. La figure montre un exemple de matrice de la signature biométrique.



Figure III.26 Matrice de SB      Figure III.27 Matrice caractéristiques de l'image 03\_test DRIVE.

## III.9 Détection les points de références

- a) Détection du Disque Optique
- b) Localisation de la région d'intérêt biométrique du DO

Le disque optique apparaît comme une grande tache jaunâtre ou blanche de forme circulaire ou elliptique, Le diamètre du disque optique varie d'un patient à un autre, il est comprise entre 80 et 100 pixels. Il est situé dans le côté nasal de la macula et caractérisé par un fort contraste entre le réseau, il est interrompue par les vaisseaux sortant. Comme, il ne contient pas de récepteurs pour la lumière, il est appelé la tache aveugle. La détection du disque optique est une tâche nécessaire pour un système d'analyse et traitement des images rétiniennes, représente un point de départ dans la segmentation de l'arbre vasculaire. De plus, Il agit également comme un point de repère dans le recalage multimodal ou temporel des images. Par conséquent, il permet de réduire les faux positifs. Dans les images couleur de la rétine.

### A) Prétraitement

Afin d'améliorer le contraste du DO et d'ébruiter l'image pour la préparer à l'étape suivante de l'extraction du DO. C'est pour cela, pour avoir une bonne détection de la tête du nerf optique (ONH), nous avons utilisé le canal vert de l'espace RGB car le disque optique apparaît mieux contrasté et même leur contour est bien visible. Après cela, pour augmentation du contraste, on applique une égalisation adaptative de l'histogramme sur le canal vert et on termine par une conversion de cette image prétraitée en niveaux de gris (NG) qui est très nécessaire pour l'étape suivante.

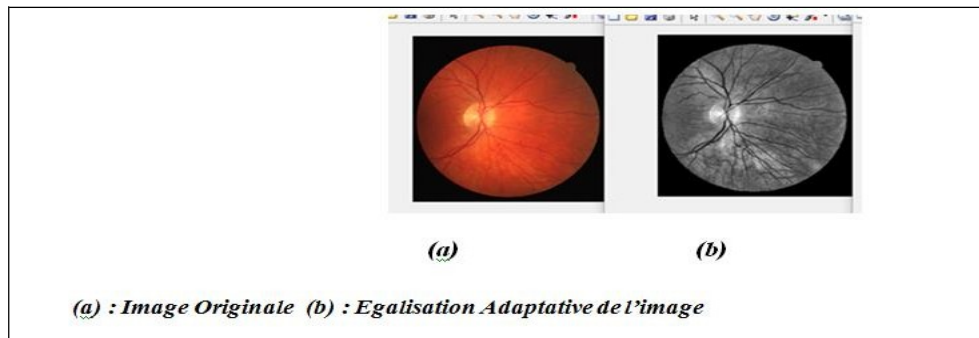


Figure III.28 Prétraitement du DO

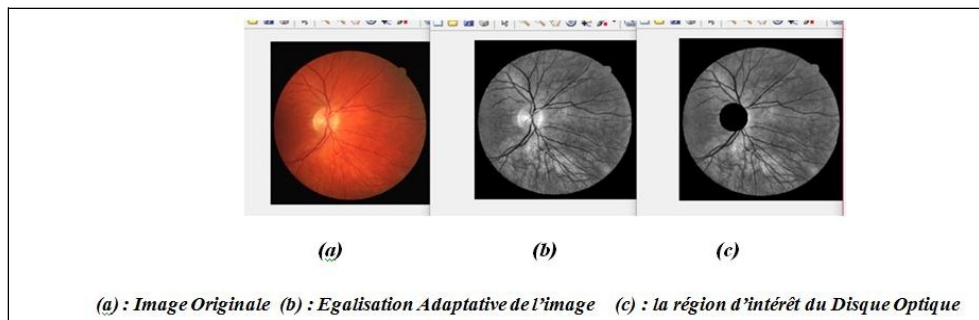


Figure III.29 Localisation de la région d'intérêt

**Algorithme** Les étapes Suivi :

- 1) La création d'une grille maillée
- 2) Recherche des coordonnées x-y qui correspondent aux valeurs d'intensité maximale (car le disque optique a la plus haute intensité d'intensité dans les images rétiniennes).
- 3) La création d'un cercle de rayon 45 autour du point le plus lumineux.
- 4) Seuillage Manuel
- 5) Le code est appliquées pour tous les images des bases DRIVE et Diaretddb1\_v02\_01

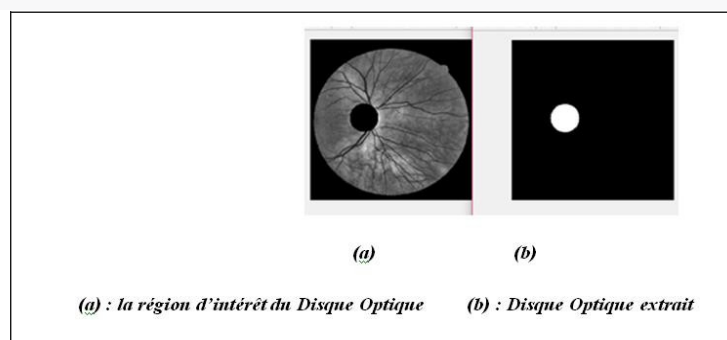


Figure III.30 Extraction du Disque Optique

**Interprétation :** D'après les résultats obtenus, on peut dire que l'algorithme utilisé nous a donné de résultats meilleurs surtout dans le cas des images avec un bon contraste.

### c) Détection de la macula

#### A) Prétraitement:

La macula contient les mêmes caractéristiques que ceux des l'arbre vasculaire, ont un faible contraste. L'opération de l'égalisation adaptative d'histogramme est nécessaire pour augmenter le contraste de l'image et améliorer les performances. Après la fermeture est appliqué sur l'image rehaussée afin de supprimer l'arbre vasculaire et des petites lésions clairs dans la région maculaire.

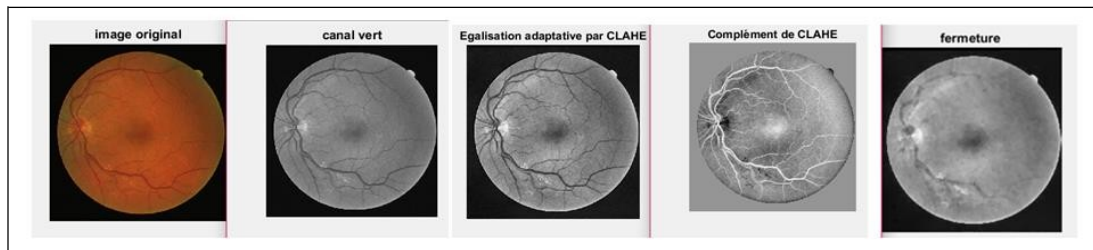


Figure III .31 Prétraitement de La macula

**Pour l'extraction de la Macula** On appliquant sur l'image résultante une segmentation par seuillage manuel pour détecter la macula

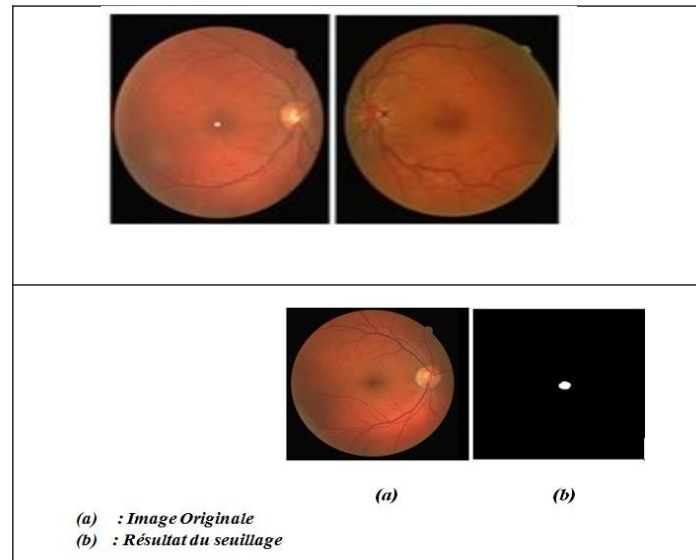


Figure III.32 L'extraction de la macula

**Interprétation** L'algorithme utilisé nous a donné des résultats performants dans la plupart des cas, reste l'inconvénient major qu'on a trouvé est le choix manuel du seuil.

### III.10 Recalage

Après la phase d'extraction de caractéristiques contenues dans les images rétinienne à partir les réseaux rétinien et les points de références (Disque Optique et la Macula) et l'établir de la signature biométrique, la section suivante concerne la comparaison. En d'autres termes, l'étude de correspondance de deux images consiste à mesurer la similarité entre les caractéristiques extraites de chaque image. Pour ce faire, il faudrait, tout d'abord, que ces images, ou plutôt ces caractéristiques, soient bien alignées pour pouvoir étudier leur similarité géométrique. Dans le cas des images de fond d'œil, la luminosité peut changer de manière très significative entre des images prises chez un sujet dépendamment des conditions variables de leur acquisition (changement de caméra entre deux acquisitions, différente luminosité dans la pièce, modification de la taille de la pupille...). Cependant, nous utilisons les méthodes de recalage présentés par la suite afin d'aligner les images rétinienne. L'information contenue dans ces images est essentiellement géométrique, au niveau des structures que sont le réseau vasculaire, le disque optique et la fovéa, le fond de l'image étant peu texturé. Les recalages géométriques sont donc plus adaptés à ce type d'images.

Le recalage en Imagerie Médicale est une étape essentielle dans nombre de chaînes de traitements d'images médicales semble avoir une importance considérable, le recalage est nécessaire pour comparer des images médicales d'un même patient à des instants différents ou avec des modalités différentes. L'objectif est d'estimer une meilleure transformation géométrique appliquée à l'une des images que nous appellerons l'image **source I**, ce qui permet de la

Convertir conformément à l'autre image que nous appellerons **l'image de référence ou image cible X** permettant la superposition spatiale des structures anatomiques ou fonctionnelles présentes dans chacune des images.

**Définition formelle** Trouver une transformation  $T$  telle qu' $I \circ T$  soit similaire à  $J$  au sens d'un certain critère. On cherche la transformation  $T: x \rightarrow T(x)$   $T(x) = x + u(x)$  avec  $u(x)$  le vecteur de déplacement.

$$T = \arg \min_E C(I \circ T, J)$$

$C$ = Critère de similarité

$E$ = Espace  $E$  des transformations (rigide, élastique)

Min= Méthodes d'optimisation

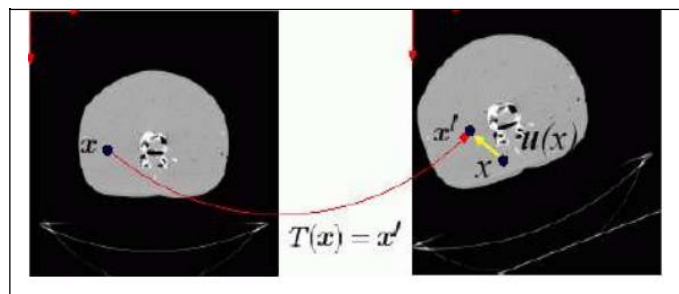


Figure III.33 Recalage

- **La fusion d'information** : le recalage des images complémentaires provenant de modalités différentes du même patient (Structurelles, fonctionnelles).

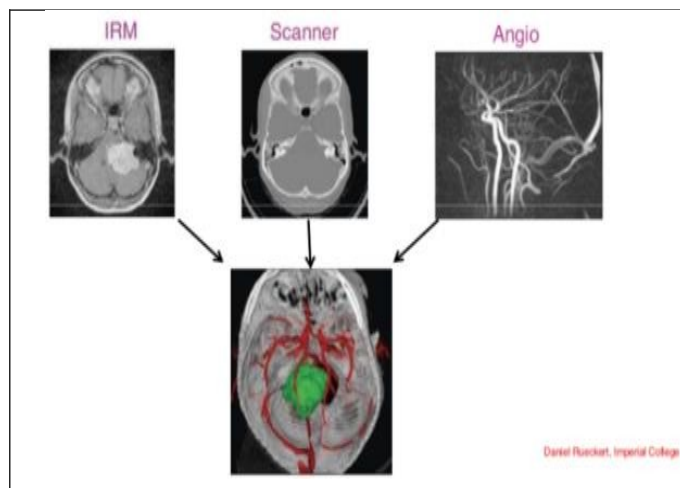


Figure III.34 Fusion des images médicales

- **La mesure d'évolution** : ou le Suivi d'une évolution temporelle, des images de même modalité du même patient, mais acquises à des instants différents doivent être recalées. Par ex :
- différences entre 2 examens mouvement d'un organe dynamique (cœur, poumon), d'une articulation
- **La comparaison d'individus** : le recalage provenant des images de même modalité, mais de sujets différents.
- **La superposition d'atlas** : le recalage des images de modalités différentes de sujets différents.

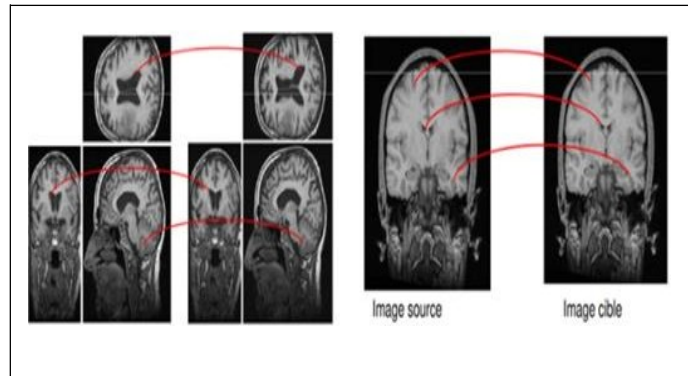


Figure III.35 Exemple recalage IRM cérébrale (voxels) image 3D

- Type de Recalage

**1. Recalage monomodal intra-patient**

Il correspond à un recalage d'images provenant du même patient et de la même modalité. Les images sont alors semblables du point de vue des intensités et ne comportent que peu de différences anatomiques. Ce type de recalage est utilisé pour le suivi des pathologies, des traitements, ou bien pour le contrôle postopératoire.

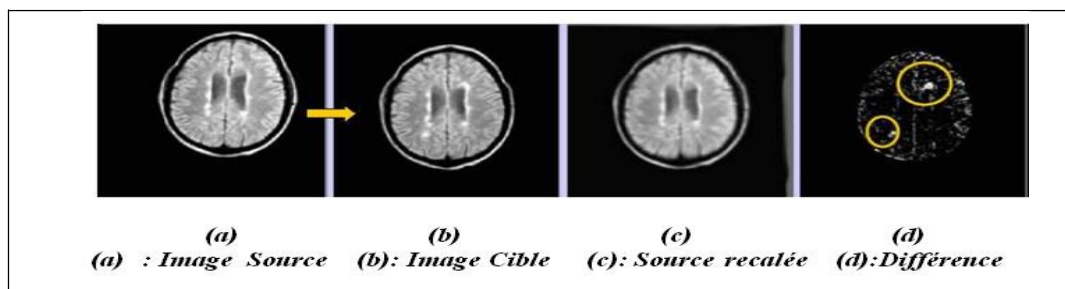


Figure III.36 Exemple 1 Recalage monomodal intra-patient : Evolution de lésions (images IRM d'un patient atteint de sclérose en plaque à quelques mois d'intervalle)

**1. Recalage multimodal intra-patient.**

Il vise à la mise en correspondance d'images de modalités différentes du même patient. Dans ce cas, les images sont alors différentes du point de vue des intensités, mais ne comportent pas de différences anatomiques. Ce recalage est appliqué essentiellement pour la fusion des informations provenant d'examen différents.

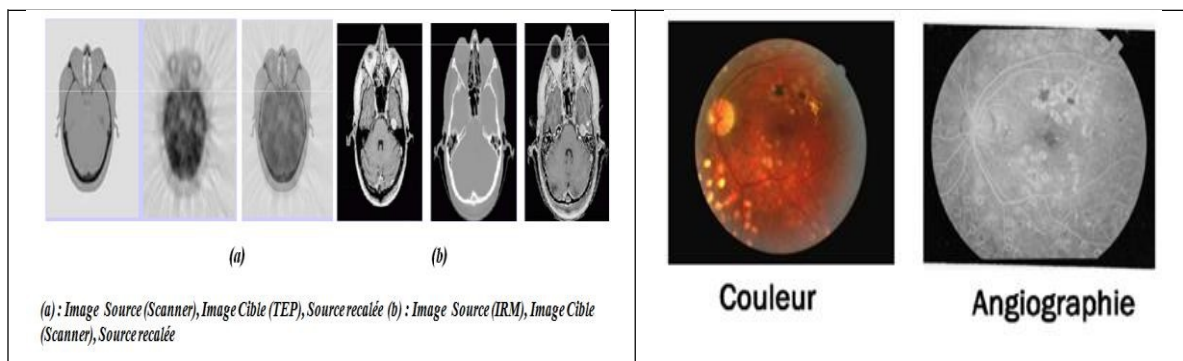


Figure III.37 Recalage multimodal intra-patient

## 2. Recalage monomodal inter-patients

Il concerne le recalage d'images de différents patients mais de même modalité. Dans ce cas, les images sont semblables mais comportent des différences anatomiques importantes. Une telle application pourrait être intéressante dans le cas des statistiques tenant compte de la variabilité anatomique d'une population, dans la construction d'atlas de modèles anatomiques ou même pour l'étude de pathologie au sein d'une population.

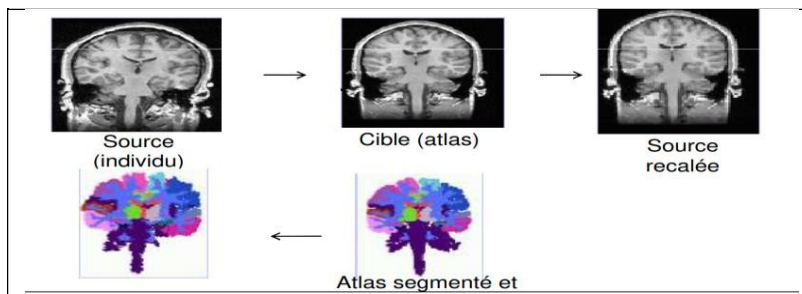


Figure III.38 Exemple 3 Recalage monomodal inter-patients

## 3. Recalage multimodal inter-patients

Cette dernière catégorie comprend les méthodes ayant pour but de mettre en correspondance des images de divers patients acquises selon différentes modalités. Les images sont alors variées en intensité et comportent également des anatomies différentes.

### Algorithme de Recalage

Le principe général d'algorithme de recalage peut être classifié selon quatre (4) critères principaux

- le critère de similarité
  - transformation
1. les attributs (Approches)
  2. **Critère de similarité** : mesure le degré de correspondance entre 2 images
  3. **le modèle de Transformation** : la manière de recalier l'image cible
  4. **la stratégie d'optimisation** : Le processus d'optimisation varie les paramètres du modèle de transformation afin de maximiser le degré de correspondance.
    - **Approche Proposé** Pour estimer la transformation, on peut utiliser l'intensité ou des primitives géométriques.

### a) Approche géométrique :

Elles se fondent sur l'extraction à partir de chacune des images de primitives géométriques (points, surfaces, coins, contours, ...). Par la suite, ces primitives sont appariées afin de déterminer la transformation entre les deux images.

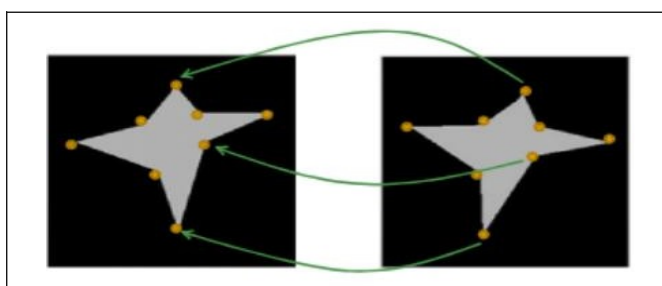


Figure III.39 Exemple de mesure en utilisant les points comme primitives.

### b) Approches iconiques :

Le recalage iconique repose sur l'exploitation de l'intensité des pixels des images. Contrairement aux premières, celles-ci est totalement automatique et ne nécessitent aucune segmentation préalable des images. Elles consistent essentiellement à optimiser un critère de ressemblance ou mesure de similarité fondé uniquement sur des comparaisons locales d'intensités (utilisent l'information intensité attachée en chaque pixel de l'image, soit en comparant directement les niveaux de gris des images, soit en associant à chaque pixel une valeur déterminée à partir des niveaux de gris et en comparant ces ensembles de valeurs. Puis il suffit de recouper ces données avec l'image cible afin de les mettre en correspondance).

### c) Approches hybrides (géométriques et iconiques) :

Les méthodes hybrides cherchent évidemment à combiner les avantages des deux approches sous citées (pour améliorer la robustesse de l'algorithme de recalage), soit en adjoignant des appariements géométriques, Potentiellement à longue distance (et donc une mesure de distance), à une mesure de similarité iconique afin d'en gommer les minima locaux, soit en essayant d'établir une carte d'appariements dense à partir de Caractéristiques iconiques. A partir les différentes approches Nous supposons un algorithme de recalage qui est une méthode automatique performante qui est l'ICP accéléré dans le but de diminuer le temps de calcul et au même temps d'améliorer la qualité visuelle de l'image recalée.

**Norme Euclidienne pour 2 points :** Elle est classiquement utilisée: grâce à ses propriétés analytiques, elle permet, dans le cas du recalage rigide ou affiné, de conduire à une solution analytique pour l'estimation des paramètres de la transformation.

- **Recalage automatique par ICP :**

**Algorithme ICP (Iterative Closest Point) :** Iterative Closest Point Basé sur la Norme Euclidienne mais pour un ensemble de points (de courbes ou de surfaces), il effectue itérativement les étapes suivantes :

- **Correspondance :** pour chaque point de données, le voisin le plus proche du jeu de points de modèle est trouvé.
- **Minimisation :** la métrique d'erreur est minimisée.
- **Transformation :** les points de données sont transformés en utilisant le résultat de minimisation.

L'algorithme est terminé en fonction du nombre d'itérations ou du changement relatif dans la métrique d'erreur. Dans de nombreux cas, l'algorithme converge bien rapidement, cependant plusieurs problèmes peuvent survenir :

- **Moins de minima local dans la métrique d'erreur :** l'algorithme converge vers l'un des minimums locaux au lieu du minimum global.
- **Bruit et valeurs aberrantes :** ceux-ci entraînent l'erreur de la métrique pour ne jamais être nulle. Les liaisons externes peuvent provoquer des résultats défectueux, en particulier à la pondération quadratique des erreurs.
- **Surpeuplement partiel :** les nuages des points peuvent ne pas ressembler aux mêmes parties d'un objet. Un chevauchement partiel doit toutefois être nécessaire.



## III.11 Classification

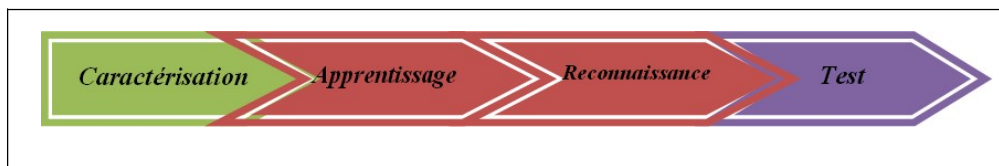


Figure III.40 Organigramme des étapes de Classification

- **Caractérisation**

Appelé aussi extraction de caractéristique ou extraction de variable, qui est la représentation numérique d'une caractéristique visuelle telle que la couleur, la texture ou la forme. C'est l'étape la plus importante dans un processus de reconnaissance automatique, ce procédé est reconnu par l'effet d'extraction de variable. Plusieurs modes de caractérisation sont proposés dans la littérature qui peut être exploités dans de nombreuses applications. Toutefois, le choix des caractéristiques efficaces pour résoudre une problématique bien précise est devenu une question importante. Dans notre travail on a extrait les caractéristiques de la rétine : les points de bifurcation du réseau vasculaire et les points de références : le disque optique et la macula.

- **Apprentissage et reconnaissance**

**Un algorithme d'apprentissage :** C'est un algorithme qui prend en entrée un ensemble de données contenant les informations pertinentes et nécessaires pour caractériser un problème donné et renvoie un modèle qui représente les concepts caractérisant ces données et qui doit être capable de prédire l'étiquette de nouveaux objets en fonction de leurs valeurs d'entrée. Et l'apprentissage peut être supervisé si les différentes étiquettes, ou classes, sont connues et assigné préalablement à chaque élément de la base de données, dont les données sont composées d'une collection de  $N$  objets (variables d'entrée) décrits par  $M$  caractéristiques (attributs). Ces caractéristiques fournissent des informations sur l'étiquette de chaque objet (variable de sortie ou cible). Un ensemble de données peut être défini comme une matrice, où nous notons  $X$  l'espace des vecteurs d'entrée de la dimension  $M$  variables et  $N$  individus. De même,  $Y$  désignera l'espace de sortie. Par exemple, nous considérons le problème bidimensionnel de la figure suivante comme un problème de classification médicale, où chaque point de cet espace peut représenter un patient décrit par deux variables ( $M1$  et  $M2$ ) et supposons que le but de l'apprentissage est de trouver une fonction qui sépare au mieux les données dans deux classes (malade ou en bonne santé). Ici, l'objectif de l'apprentissage supervisé est de fournir une règle qui aide un médecin à prédire la classe d'un nouveau patient.

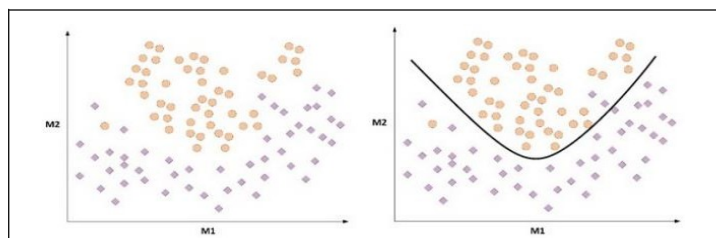


Figure III.41 À gauche, un échantillon correspondant à un problème de classification simple. À droite, la séparation optimale de ce problème

Donc, pour avoir un modèle, nous devons passer par une phase d'apprentissage et pour le valider, une phase de test. Dans cette phase (figure suivante), un algorithme d'apprentissage automatique est entraîné sur une base de données étiquetées (DRIVE MESSIDOR DIARET db1), au cours de cette étape, le modèle peut améliorer ses performances en se guidant avec une sous partie de la base d'apprentissage appelée base de validation.

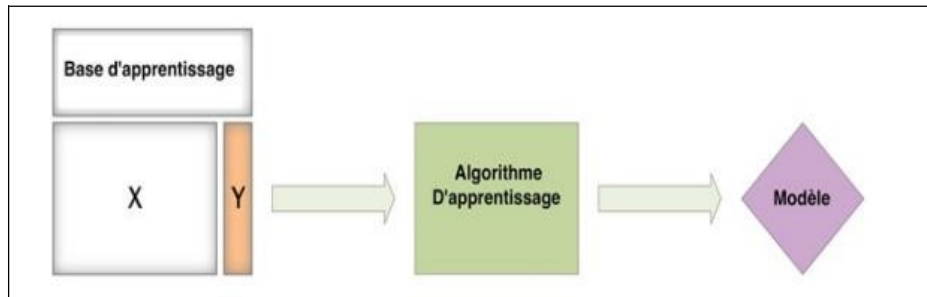


Figure III.42 Apprentissage d'un modèle à partir d'un ensemble d'apprentissage

- **Phase de test :** L'étape du test est importante dans les problèmes de classification, le modèle devrait être en mesure de donner une classe à une instance de test en fonction de sa valeur d'entrée en suivant les règles apprises dans l'étape d'apprentissage.

### III.12 Méthodes d'évaluation des classifieurs (Matrice de confusion)

La matrice de confusion C'est un outil pour mesurer et évaluer la qualité d'un système de classification. Est un paramètre d'évaluation qui prend soin de la bonne classification et de la distribution des différentes classes permet de relier les décisions du classifieur et les étiquettes des échantillons .La matrice sur la diagonale de la matrice de confusion, nous trouvons les exemples bien classés.

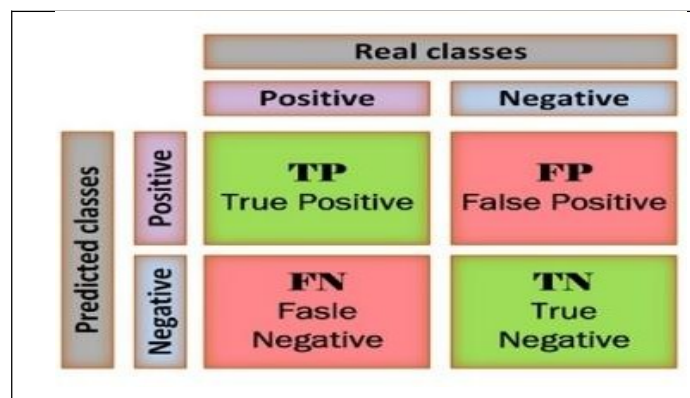


Figure III.43 Matrice de Confusion

Par exemple, dans le problème de diagnostic médical :

- **VP (TP en anglais) :** représente le nombre de personnes malades classifiées malades,
- **FP (FP en anglais) :** représente le nombre d'individus en bonne santé classés comme malades,
- **FN (FN en anglais) :** représente le nombre d'individus malades classés comme patients en bonne santé,
- **VN (TN en anglais) :** représente le nombre d'individus en bonne santé classés en bonne santé.

Les matrices de confusion permettent de donner plus de détails sur la classification des échantillons d'une classe donnée. A partir d'une matrice de confusion, nous pouvons calculer des mesures statistiques telles que le Taux de Classification (TC), c'est une mesure très utilisée pour évaluer les performances des classifieurs.  $TC = (TP + TN) / (TP + FP + FN + TN)$

## • Classification par K-plus proches voisins

Dans la reconnaissance de formes, l'algorithme du k-plus proches voisins (k-Nearest Neighbors en anglais) (ou k-NN) est une méthode non paramétrique utilisée pour la classification supervisée. k-NN est un type d'apprentissage basé sur des instances, où la fonction est seulement approximée localement et tout calcul est différé jusqu'à la classification. L'algorithme k-NN est l'un des plus simples algorithmes d'apprentissage automatique. C'est une méthode qui ne nécessite aucune hypothèse sur les classes. l'idée est simple : elle consiste étant donné un point x représentant une forme à reconnaître ;à déterminer la classe de chacun des k points les plus proches (au sens d'une distance) de x parmi l'ensemble d'apprentissage. la décision est alors d'affecter x à la même classe que celle de son voisin le plus proche.

### Algorithme K-plus proches voisins

- ✓ **Paramètre** : le nombre k de voisins
- ✓ **Donnée** : un échantillon de m exemples et leurs classes
  - La classe d'un exemple X est  $c(X)$
- ✓ **Entrée** : un enregistrement Y
  1. Déterminer les k plus proches exemples de Y en calculant les distances
  2. Combiner les classes de ces k exemples en une classe c
- ✓ **Sortie** : la classe de Y est  $c(Y)=c$

Le choix de la distance est primordial au bon fonctionnement de la méthode.

Les distances les plus simples permettent d'obtenir des résultats satisfaisants

## • Classification par Machine à Vecteurs de Support

Les Support Vector Machines souvent traduit par l'appellation de Séparateur à Vaste Marge (SVM) développées par (*Vapnik, 1999*) sont une classe d'algorithmes d'apprentissage initialement définis pour la discrimination. Leur But est de Trouver un classifieur linéaire (hyperplan) qui va séparer les données et maximiser les distances entre ces 2 classes. Le principe de SVM cherche à séparer deux ou plusieurs groupes d'instances par un hyperplan de marge maximale .Un tel hyperplan est considéré comme un séparateur optimal qui aura une meilleure capacité à généraliser et à classifier les nouveaux exemples inconnus.

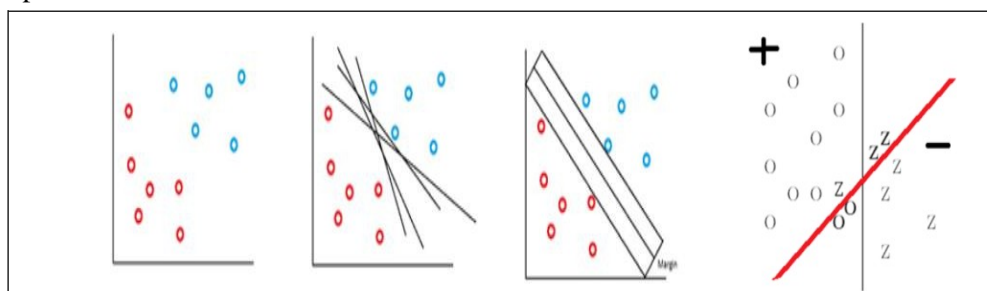


Figure III.44 Machine à Vecteurs de Support

- **Classification par Réseau de Neurone**

Les neurones sont considérés comme le support physique de l'intelligence. Ils fascinent puisque comprendre et savoir utiliser l'intelligence permet de réaliser des buts inimaginables. Ce sont des outils importants du domaine de l'intelligence artificielle. Les réseaux de neurones artificiels sont composés de neurones artificiels simples basant sur des fonctions mathématiques, qui permettent de former des fonctions complexes très utiles. Les neurones artificiels ont pour but de reproduire des raisonnements « intelligents » d'une manière artificielle. Ces neurones peuvent adopter de certaines qualités habituellement propres au biologique.

### **L'algorithme d'apprentissage est le suivant :**

1. Initialisation des poids du réseau
2. Présentation du vecteur d'apprentissage à l'entrée du réseau (couche d'entrée)
3. Calcul du vecteur de sortie S : le système propage les activités neuronales (état excité ou inhibé des neurones) à travers le réseau. Chaque neurone calcule la somme pondérée de ses entrées et transmet le résultat par une fonction de type sigmoïde pour produire sa valeur de sortie. Le vecteur de sortie S est le résultat du calcul de la dernière couche (couche de sortie).
4. Calcul de l'erreur. On compare alors les valeurs de sortie actuelles S avec les valeurs désirées de R appelé vecteur de référence (ou encore vecteur cible).  
On en déduit l'erreur J, définie comme la somme des carrés des différences observée sur chaque unité de la couche de sortie.
5. Rétropropagation de l'erreur : l'algorithme de rétropropagation du gradient permet récursivement de rétropropager l'erreur de la couche de sortie vers les couches cachées jusqu'à la première couche du réseau.
6. Modification des poids : les poids de chaque neurone sont modifiés, soit à chaque présentation d'un vecteur d'apprentissage (méthode du gradient stochastique), soit après cumul de l'erreur pour un certain nombre de vecteurs d'apprentissage (méthode du gradient standard).

### **III.13 Résultat et interprétation**

Dans notre travail, on a appliqué la méthode de **distance euclidien** pour notre système d'authentification, le principe de cette méthode basée sur le calcul de la matrice de transformation à partir de la détection des points caractéristiques, les points correspondants doivent être trouvés. La plupart des vecteurs de points correspondants sont similaires. Ainsi, la distance euclidienne entre deux vecteurs est utilisée pour éliminer les paires de points. Le point, dont la distance à un point est le minimum, est le point correspondant. Cette distance minimale doit être inférieure à un seuil. Alors le point de correspondance est correct c'est à dire la personne est authentifiée. Sinon, c'est faux c'est à dire la personne est non authentifiée. Il est évident qu'il existe de nombreux points de correspondance d'erreur parmi eux.

En théorie, les distances des points correspondants sont similaires. Cette caractéristique pourrait être utilisée pour supprimer des paires de points d'erreur. Tout d'abord, les distances entre chaque point correspondant sont comptées et l'histogramme des distances est obtenu. La distance, qui est le nombre le plus élevé de l'histogramme, est choisie comme seuil. Sélectionne un ensemble de points au hasard pour calculer la matrice de transformation. Si la distance entre le point cible et le point de référence est inférieure à un seuil, elle est appelée point intérieur. Sinon, c'est en dehors du point. Répétez les étapes ci-dessus pour obtenir de nouveaux points intérieurs. Ensuite, la matrice finale de transformation est obtenue par ensemble de points intérieurs. Selon cette matrice de transformation, on peut déterminer que c'est un client authentifié ou bien un imposteur rejeté.

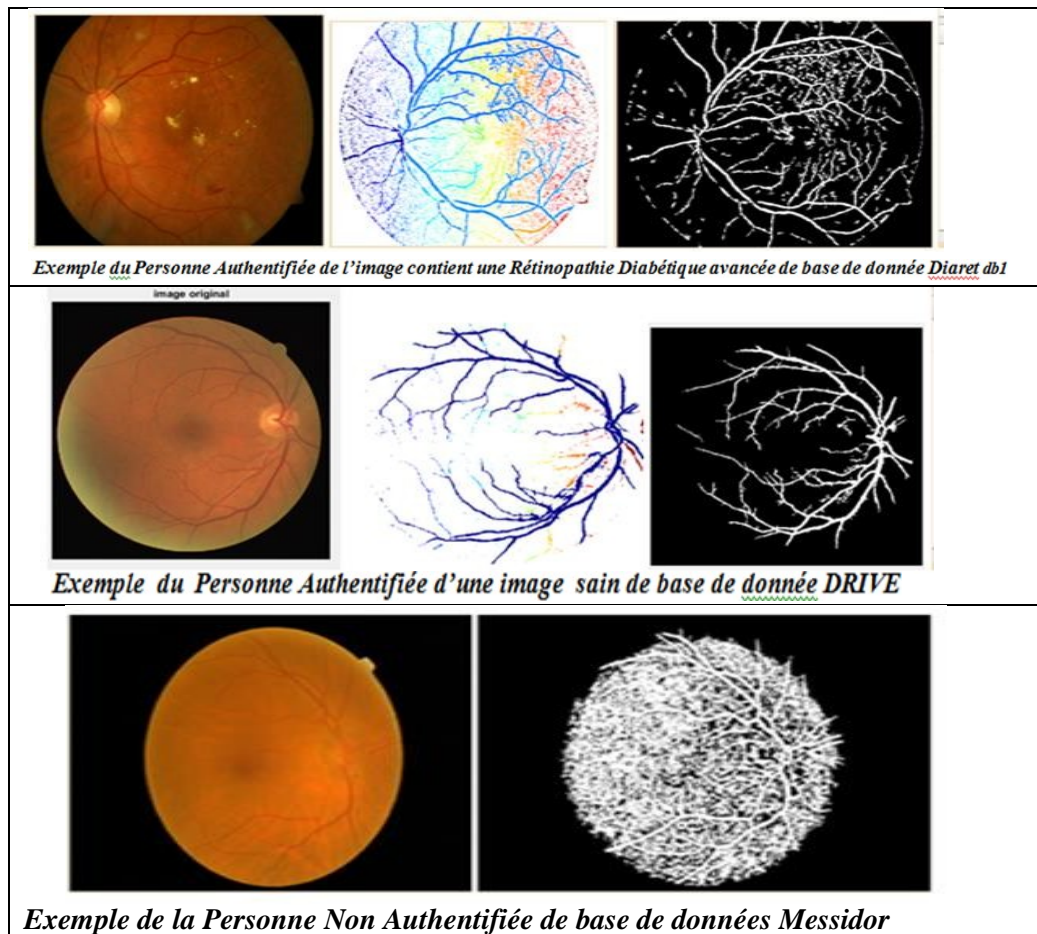


Figure III.45 Exemple des images des Personne Authentifiée et Non Authentifiée

### III.14 Mesure de Performance :

**Taux de Classification**  $Taux_{class1} = (Taux_{class1} / 30) * 10$

Le taux de classification de notre Travail est performant s'approche le 99%

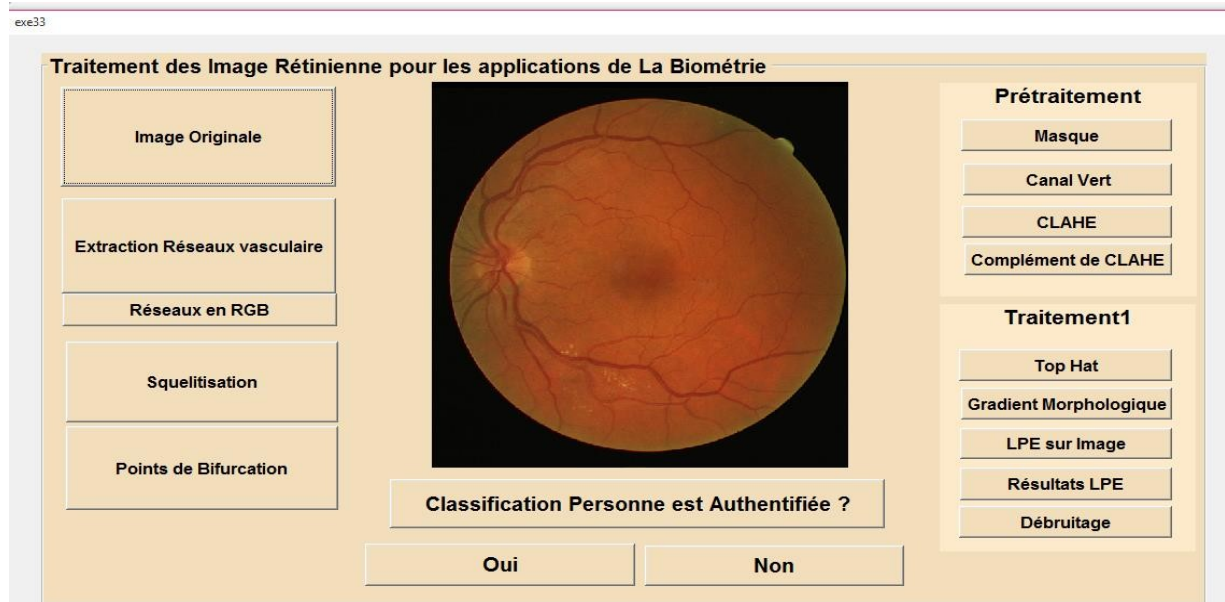
**La sensibilité** : Sensibilité ( $S_n$ ) reflète la capacité de détecter les pixels du réseau vasculaire. La sensibilité d'un algorithme de détection des vaisseaux est une mesure de la façon dont l'algorithme effectue une identification correcte des pixels dans l'image. La sensibilité est exprimée par : sont les résultats du nombre de vrais positifs et du nombre de faux négatifs respectivement. La sensibilité peut également être calculée comme suit :  $S_n = 1 - FNR$

$$S_n = \frac{T_p}{T_p + F_n}$$

**La Spécificité** : La spécificité ( $S_p$ ) est la capacité de détecter les pixels qui n'appartiennent pas au réseau vasculaire. La spécificité d'un algorithme de segmentation des vaisseaux reflète à quel point l'algorithme identifie correctement les pixels des non vaisseaux. Elle est exprimée par la formule suivante : sont les résultats du nombre de vrais négatifs et du nombre de faux positifs respectivement. La spécificité peut également être calculée comme suit :  $S_p = 1 - FPR$

$$S_p = \frac{T_n}{T_n + F_p}$$

**III.15 Interface Graphique :** Nous avons implémenté notre approche sous l'environnement MATLAB (est un outil très puissant dans le traitement d'images et les calculs) sur un PC portable équipé d'un microprocesseur Intel i3 dual core d'une fréquence de 2.27 GHz et d'une mémoire RAM 8GO. Interface graphique est faite pour Faciliter la tâche aux l'utilisateur de l'accès de toutes les étapes de notre approche. Notre interface est divisée en deux processus : Extraction des caractéristiques de la rétine et la classification pour faire authentification comme le montre la figure suivante La description des étapes de notre interface dans l'annexe.



## Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents algorithmes utilisés pour l'extraction des éléments principaux de la rétine, le réseau vasculaire rétinien et les points de références (la papille et la macula), Notre approche proposée combine Deux méthodes de segmentation ont été utilisées par l'une des méthodes basée sur la morphologie mathématiques ( Ligne partage des eaux LPE contrôlée par un marqueur le gradient morphologique) pour l'extraction du réseau vasculaire et le seuillage manuel pour l'extraction de éléments caractéristiques le disque optique et la macula.

### Conclusion générale

Dans ce Travail effectué, Nous avons présenté le résultat de la première étape d'un projet portant sur l'utilisation de la rétine comme un trait biométrique pour l'authentification des personnes afin de résoudre le problème de sécurité. Cette étape inclut sur l'extraction des caractéristiques biométriques (la signature biométrique) qui sont composées sur les réseaux vasculaires rétiniens (les points de bifurcation) et les points de références (la papille et la macula) , Notre approche proposé combine la morphologie mathématiques Une transformation par Ligne partage des eaux LPE contrôlée par un marqueur le gradient morphologique a été utilisée pour l'extraction du squelette vasculaire depuis le pré-filtrage et l'amélioration des images rétiniennes jusqu'à l'établissement de la signature biométrique .on a trouvé que la précision d'extraction est comparable et aussi plus performante que celle d'un certain nombre de systèmes de pointe des méthodes existantes dans la littérature. Puis, une transformation de voisinage a été appliquée sur ce squelette pour la détection des points de bifurcation et de croisement des branches. Finalement, nous avons constitué un vecteur qui servira dans le processus de comparaison (*matching*). Et autre Méthode basée sur le Seuillage Manuel afin de détecter les caractéristiques des centres de la papille et de la macula. Nous avons vu, à maintes reprises dans ce chapitre, que les algorithmes utilisés font face à la majorité de problèmes d'extraction des caractéristiques connus auparavant. Ces algorithmes ont donné des résultats performants pour des images de bonne qualité, et des résultats satisfaisants dans des images de qualité moyenne. La reconnaissance par la rétine, cette technologie assure une haute barrière contre la fraude, elle est infalsifiable, la rétine apparaît comme une très intéressante caractéristique biométrique, De plus, elle reste relativement stable tout au long de la vie. Mais n'empêche pas quelle face a quelque inconvénient.

Certes, les algorithmes d'extraction des caractéristiques ont donné de bons résultats, En cas de maladies vasculaires graves attaquent l'arbre vasculaire de la rétine. La forme des vaisseaux peut être modifiée par la maladie (rétinopathie diabétique) ou par l'âge(DMLA), En effet, des changements surviennent au niveau des petits vaisseaux rétiniens. Au stade avancé, des nouveaux vaisseaux anormaux se forment sur la surface intérieure de la rétine D'autres peuvent provoquer des lésions ou des hémorragies qui touchent principalement le disque optique en modifiant ses caractéristiques. Toutes ces imperfections provoquées par les pathologies rétiniennes (glaucome, le diabète, l'hypertension, la cataracte) peuvent rendre complexe les processus de reconnaissance des personnes. Aussi, la qualité des images rétiniennes obtenues est détériorée. Donc, cette acceptation améliorée a généré le besoin en outils plus puissants pour l'analyse des données rétiniennes. Finalement, la plupart des bases d'images rétiniennes à usage public ont été collectées pour des études pathologiques et ne sont pas adaptées à la biométrie car elles ne contiennent pas assez d'images des mêmes patients à différents moments.

## Perspectives

Nous espérons utiliser et essayer d'autres méthodes de segmentation distinctives qui sont meilleures que notre approche proposée pour la détection des éléments principaux de la rétine et l'extraction des caractéristiques. Nous pouvons aussi développer les algorithmes proposés dans ce mémoire afin de résoudre le problème de recalage et de comparaison entre deux signatures biométriques rétiniens. Une des difficultés réside dans la constitution d'une base d'images de rétines pour pouvoir effectuer l'apprentissage de la méthode et le test. Nous espérons utiliser une base de données riche en informations qui contient des images de même patients à des instants différents en temps réelle pour faire une étude complète car les bases de données qu'on a utilisées (DRIVE, MESSIDOR, DIARET db1) sont des bases d'aspects médicales et non pas biométriques.



## Recherche Bibliographique

[1] Hichem Betaouaf, Abdelhafid Bessaid, «Identification Biométrique Des Individus Par Analyse Des Caractéristiques De La Rétine», article, Laboratoire de génie biomédical, Université Aboubekr Belkaïd de Tlemcen – Algérie, 2018

[2] Chihaoui, T. (2018). *Système d'identification de personnes basé sur la rétine.*

[3] FEROUÏ AMEL, 'ANALYSE DES IMAGES COULEUR DU FOND D'ŒIL POUR L'AIDE AU DIAGNOSTIC EN OPHTALMOLOGIE:APPLICATION A LA DETECTION DES PATHOLOGIES RETINIENNES, thèse 2014.

[4] ABDELBAKI Saliha, « Recalage et fusion d'images de fond d'œil : Application à la rétinopathie diabétique », Mémoire de projet de fin d'étude Pour obtenir le Diplôme de MASTER en Génie Biomédical, Université Abou Bakr-Belkaïd de Tlemcen, juin 2015.

[5] : Chihaoui, T., Kachouri, R., Jlassi, H., Akil, M., & Hamrouni, K. (2015). Human identification system based on the detection of optical Disc Ring in retinal images. 2015 International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA), 263–267.

[5] : Betaouaf, H., & Bessaid, A. (2013). A biometric identification algorithm based on retinal blood vessels segmentation using watershed transformation. 2013 8th International Workshop on Systems, Signal Processing and Their Applications (WoSSPA), 256–261.

[6] Analyse et classification des images médicales, Mme KLOUCHE BADIA, MEMOIRE En vue de l'obtention du Diplôme de Magister, Spécialité Informatique, 2015 / 2016

[7]: Extraction du réseau vasculaire rétinien en vue d'une authentification de la personne, Aissaoui Nabil et Hamdouche Abderrezak, En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie Biomédicale Spécialité Imagerie Médicale, Soutenu le 29 Septembre 2020

[8] Détection automatique du réseau vasculaire rétinien : application à la biométrie, Allaoui Khadidja et Hamek Benaoudan , MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES Pour l'obtention du Diplôme de MASTER en GENIE BIOMEDICALSoutenu, le 26/06/2019

[9] Classification de la rétinopathie non proliférante dans les images de fond d'œil, DAOUDI hadjer, Soutenu le 25/06/2018

[10] Retina based biometric authentication using phase congruency. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 5(6), 933–945

[11]: Etude et mise au point d'un procédé biométrique multimodale pour la reconnaissance des individus, BENCHENNANE Ibtiham, THÈSE En vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences 2015 / 2016

[12]: F.Bookstein, «Principal WARPS: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations», *IEEE Transaction on pattern analysis and le machine Intelligence*, vol II, No, 6 JUNE 1986.

[13] : Caractérisation de la rétine en vue de l'élaboration d'une méthode biométrique d'identification de personnes, Jlassi Hajer, Hamrouni Kamel Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT) BP-37, Le Belvédère 1004 Tunis, SETIT 2005 3rd International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications March 27-31, 2005 – TUNISIA

[14]: Minhua Xu; Yan Sun, «Registration of multimodal and temporal images of the retina using a combines feature-based and statistics-based method », Published in: *Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, 2012 5th International Conference on Date of Conference: 16-18 Oct. 2012 Date

Added to IEEE Xplore: 06 May 2013 ISBN Information: INSPEC Accession Number: 13781280 DOI: 10.1109/BMEI.2012.6513145 Publisher: IEEE

[15]: A.Procházka; O. Vyšata; J. Vavryčuková; P. Cejnar; Z. Pavelek; L. Lhotská , « Registration and analysis of retinal images for diagnosis and treatment monitoring»,Published in: *Computational Intelligence for Multimedia Understanding (IWCIM)*, 2014 International Workshop on Date of Conference: 1-2 Nov. 2014 Date Added to IEEE Xplore: 15 January 2015 ISBN Information: INSPEC Accession Number: 14853608 DOI: 10.1109/IWCIM.2014.7008817 Publisher: IEEE

[16]: Rehena Sultana; S. R. Nirmala , « Registration of retinal images using blood vessel features»,Published in: *Advanced Computing and Communication (ISACC)*, 2015 International Symposium on Date of Conference: 14-15 Sept. 2015 Date Added to IEEE Xplore: 11 January 2016 ISBN Information: INSPEC Accession Number: 15700853 DOI: 10.1109/ISACC.2015.7377346 Publisher: IEEE

[17]: Zafer Yavuz; Cemal Köse, « Retinal fundus image registration using bifurcation and crossover points»,Published in: *Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 2016 24th Date of Conference: 16-19 May 2016 Date Added to IEEE Xplore: 23 June 2016 ISBN Information: INSPEC Accession Number: 16103396 DOI: 10.1109/SIU.2016.7496032 Publisher: IEEE.

[18] : *The automatic detection of the optic disc location in retinal images using optic disc location regression. 2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4432–4435. Adapa, D., Joseph Raj, A. N., Aliseti, S. N., Zhuang, Z., & Naik, G. (2020).*

[19] : Sy Nguyen, Redha Bourouina et al, “Manuel d’anatomie et de physiologie”, EDITIONS LAMARRE, 2011, pp.13-14, 365–366.

[20] : G.Borgefors, «Hierarchical chamfer Matching: A parametric Edge Matching Algorithm», *IEEE Transactions on pattern ANALYSIS AND Machine Intelligente*, vol10, No, 6, November 1988.

[21] : Cédric Meurée, «Recalage des images de fond d’œil pour la construction d’un atlas des structures anatomiques de la rétine », *Mémoire présenté en vue de l’obtention du diplôme de maitrise des Sciences appliquées (Génie Biomédical)*, Université de Montréal, décembre 2013.

[22] W. J. Rucklidge (1996), « Efficient visual recognition using the Hausdorff distance». *Lecture Notes in Computer Science*, no 1173, Springer-Verlag, NY.

[23] Hans Martin Kjer and Jakob Wilm, «Evaluation of surface registration algorithms for PET motion correction», *Bachelor thesis, Kongens Lyngby 2010 IMM-2010-9*

[24] A supervised blood vessel segmentation technique for digital Fundus images using Zernike Moment based features. *Plos One*, 15(3), e0229831. Ahmed, M. I., Amin, M. A., Poon, B., & Yan, H. (2014).

[25] Grégoire Malandain, « Les mesures de similarité pour le recalage des images médicales », *Mémoire pour l’obtention de l’Habilitation à Diriger des Recherches*, Université de Nice Sophia-Antipolis, mars 2006

[26] Christian Barillot, «Fusion de Données et Imagerie 3D en Médecin», *Habilitation à diriger des recherches*, L’Université de Rennes I Institut de Formation Supérieure en Informatique et en Communication, Septembre 1999.

[27] Abdullah, M., Fraz, M. M., & Barman, S. A. (2016). Localization and segmentation of optic disc in retinal images using circular Hough transform and grow-cut algorithm. *PeerJ*, 4, e2003. Abramoff, M. D., & Niemeijer, M. (2006).

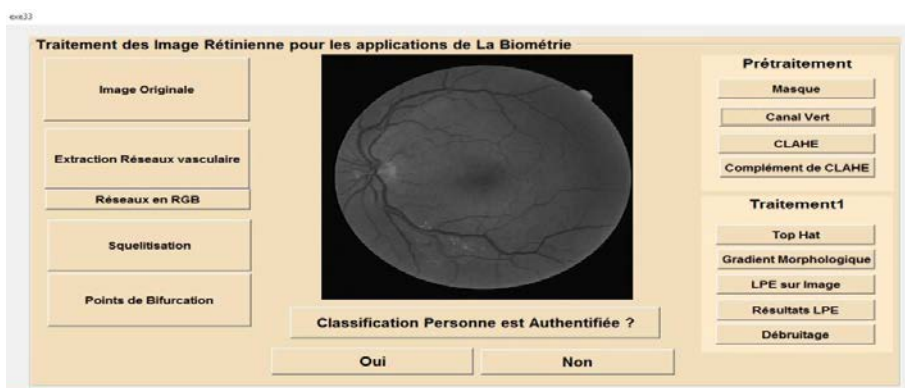
# ANNEXE

## Interface Graphique

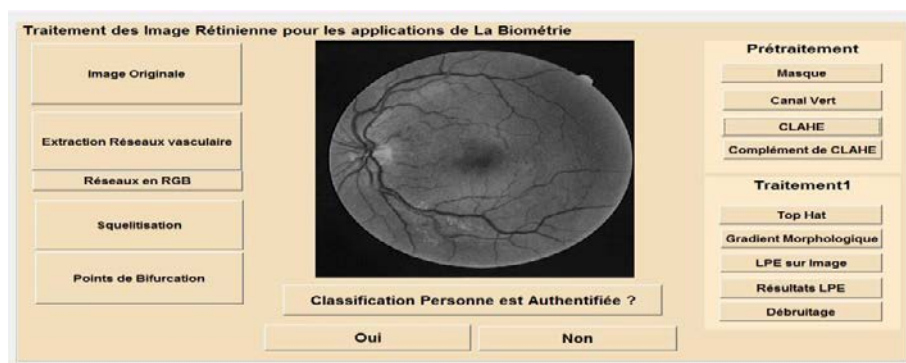
- **L'image Originale pathologique de base de données DRIVE 08\_test** : modifications de l'épithélium pigmentaire, cicatrice pigmentée dans la fovéa, ou choroïdopathie, pas de rétinopathie diabétique ou d'autres anomalies vasculaires



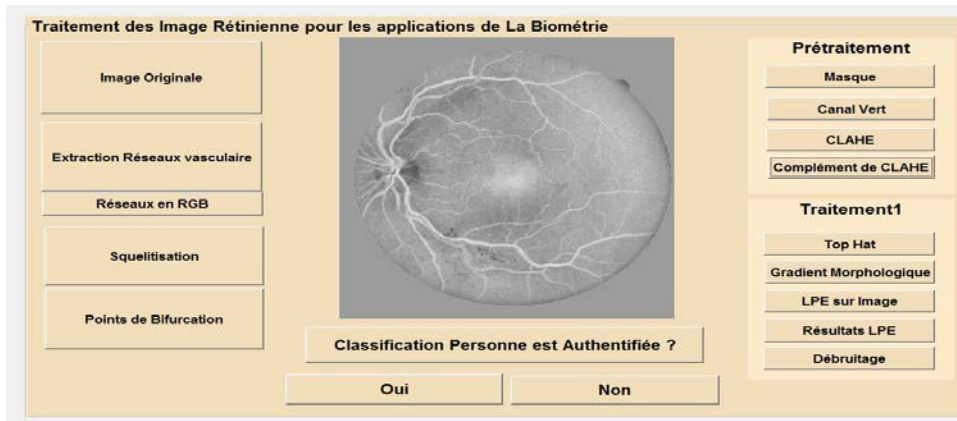
- **Canal Vert de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test** :



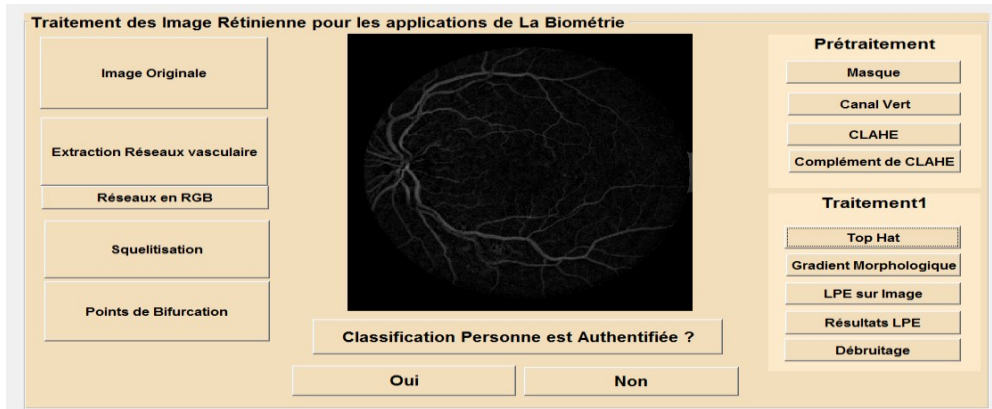
- **Egalisation Adaptative CLAHE de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test** :



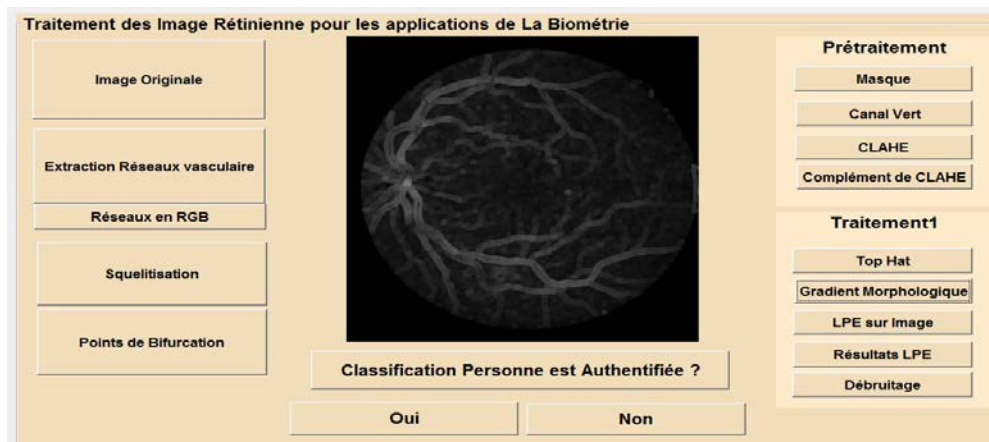
- **Egalisation Adaptative Complément de CLAHE de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test** :



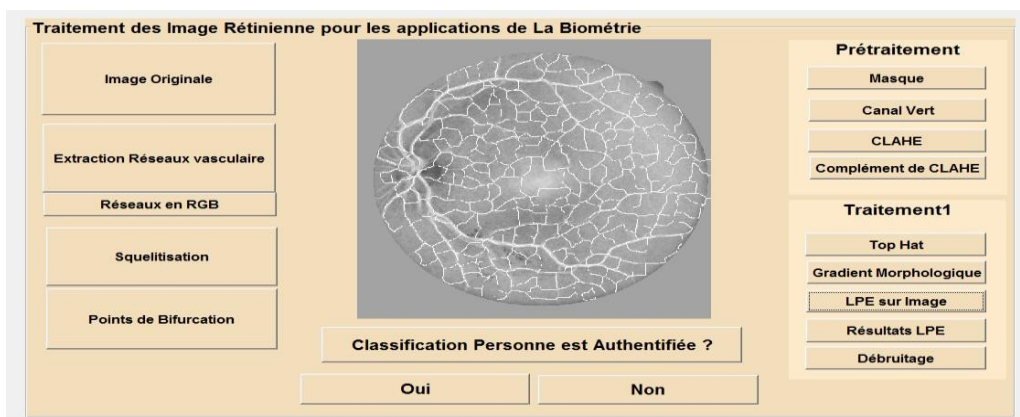
- **TOP HAT de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test :**



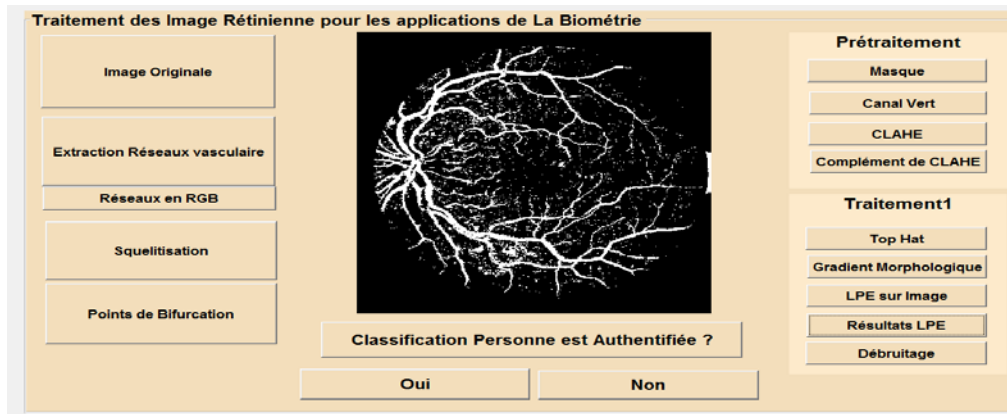
- **Gradient Morphologique de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test :**



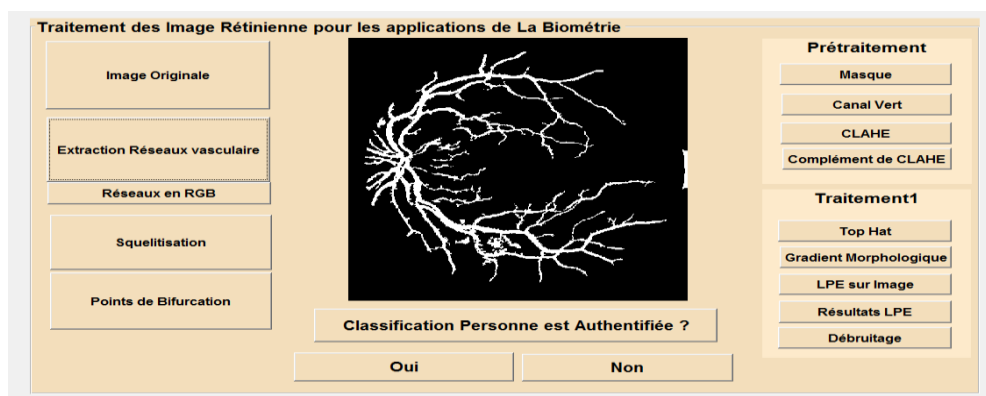
- **LPE sur Image de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test :**



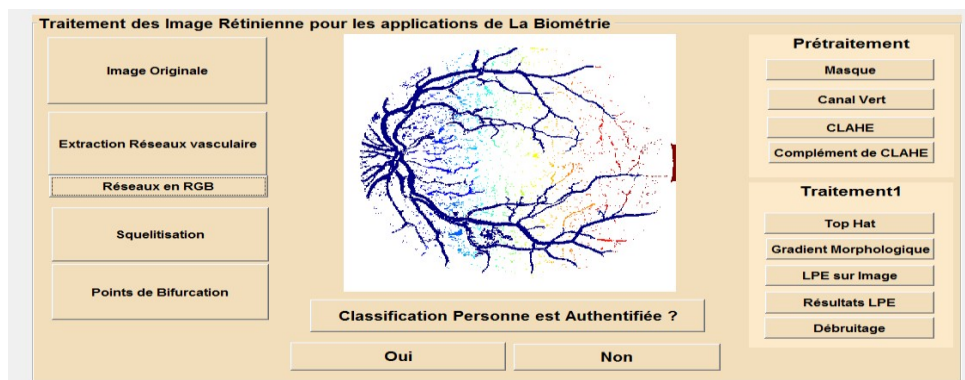
- Résultats de LPE de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test :



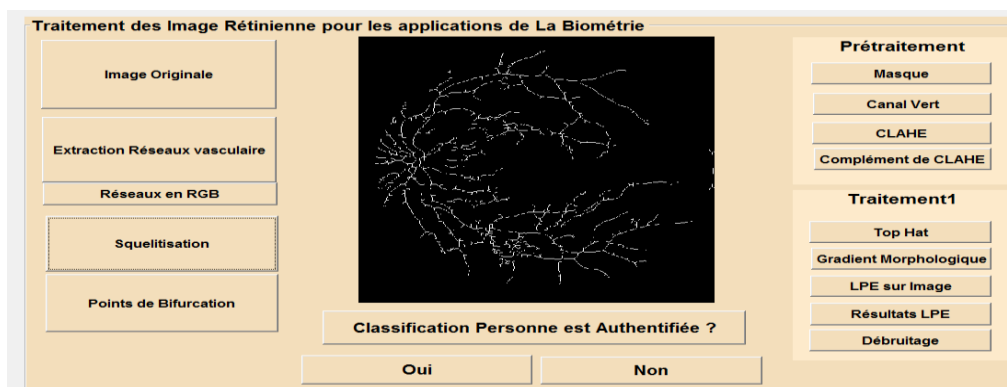
- Extraction Réseau Vasculaire de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test :



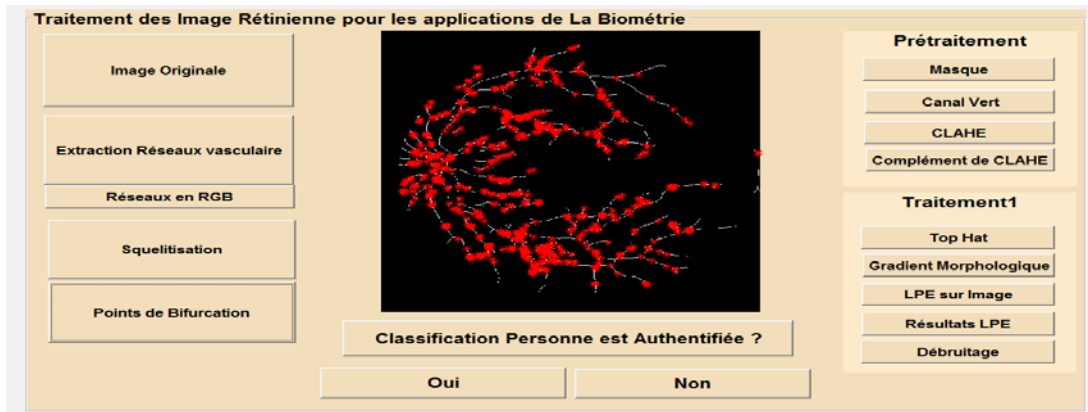
- Réseau Vasculaire en RGB de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test :



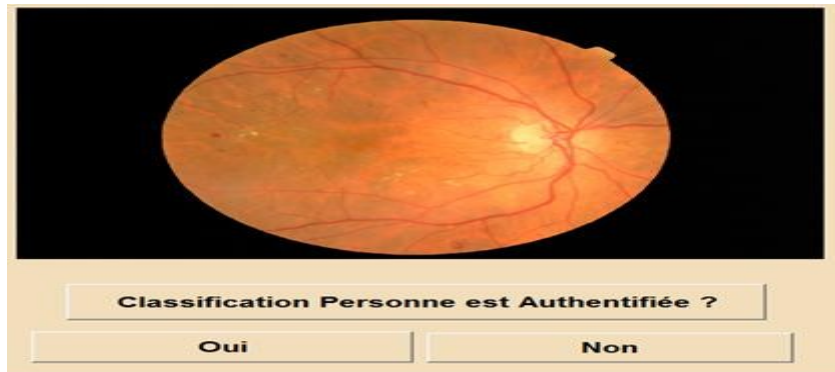
- Squelettisation de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test :



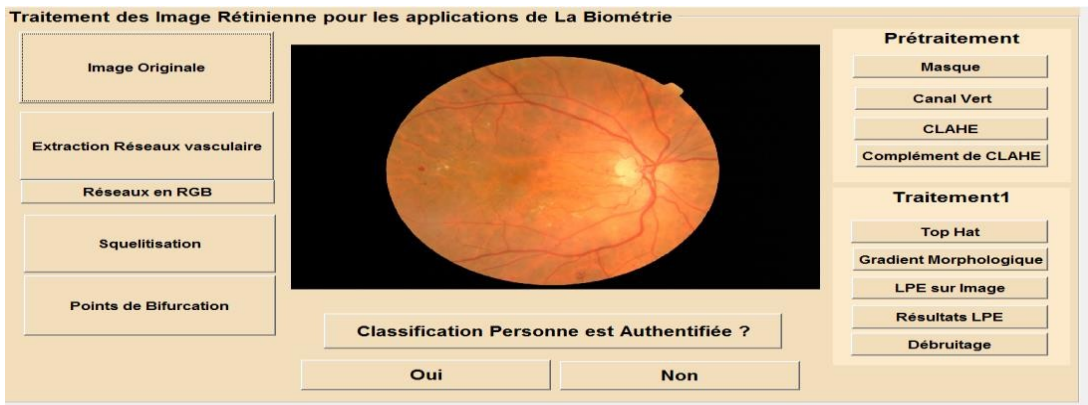
- Point de bifurcation de L'image Originale pathologiques de base de données DRIVE 08\_test :



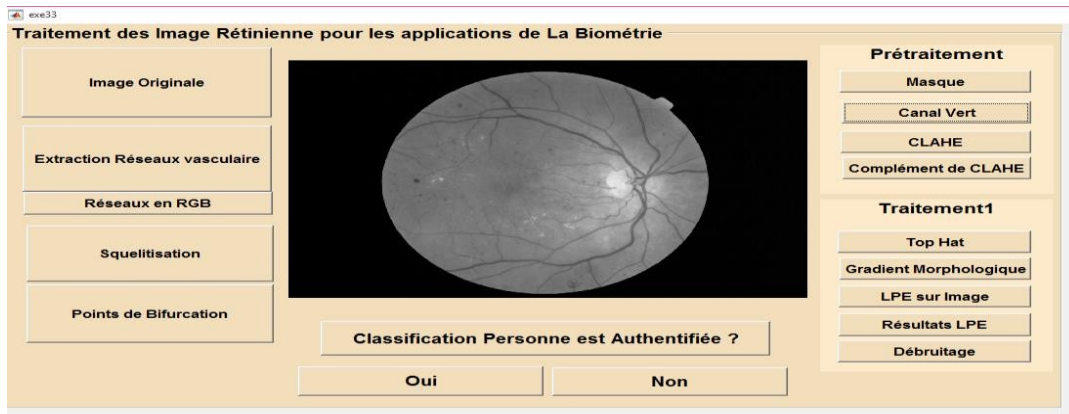
- Classification de personne d'image 08\_test en Personne Authentifiées



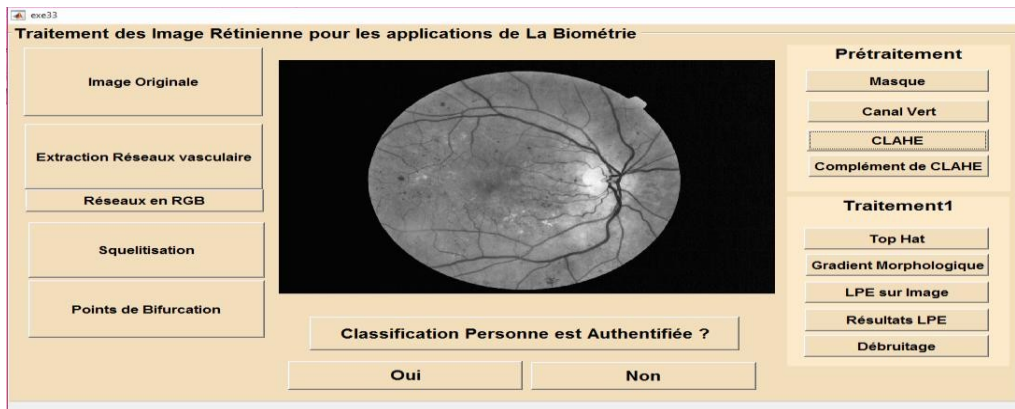
2) L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2



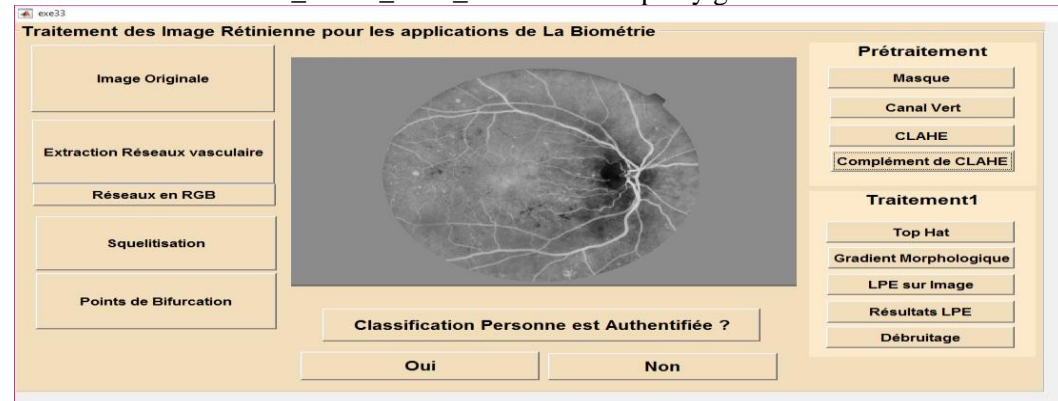
- Canal Vert de L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2



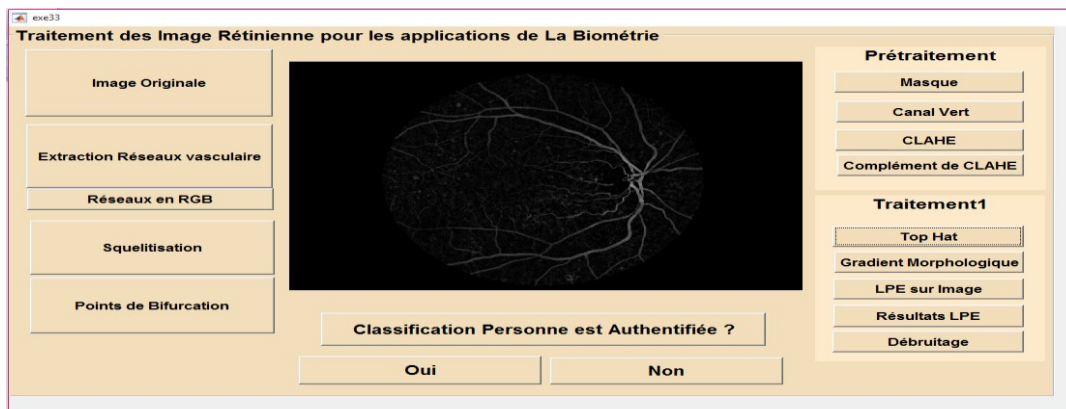
- **CLAHE** de L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2



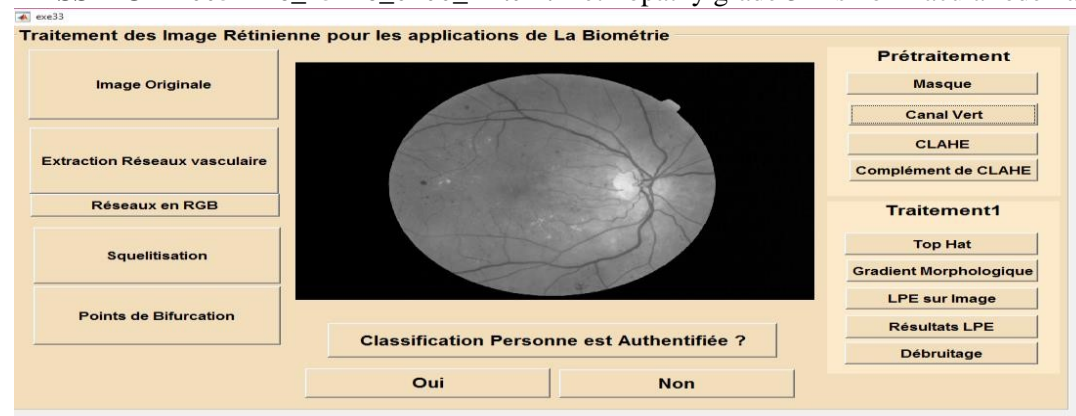
- **Complément de CLAHE** de L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2



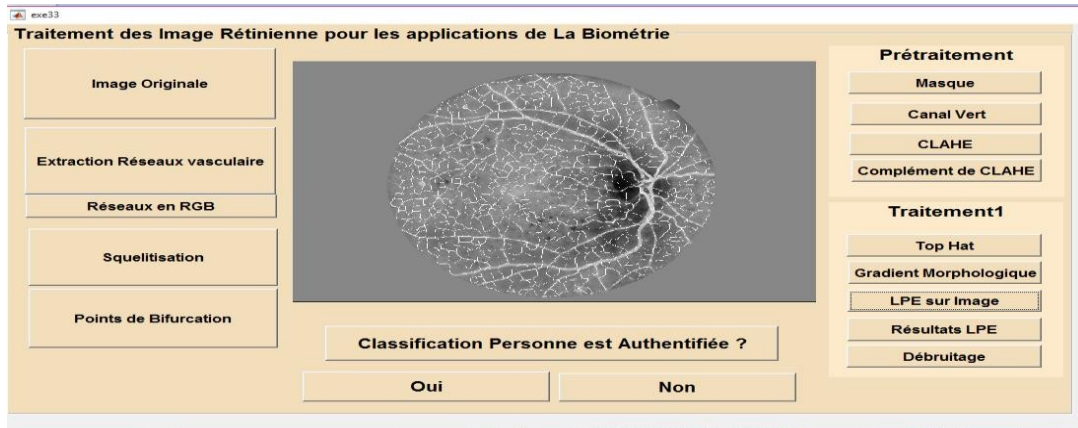
- **TOP HAT** de L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2



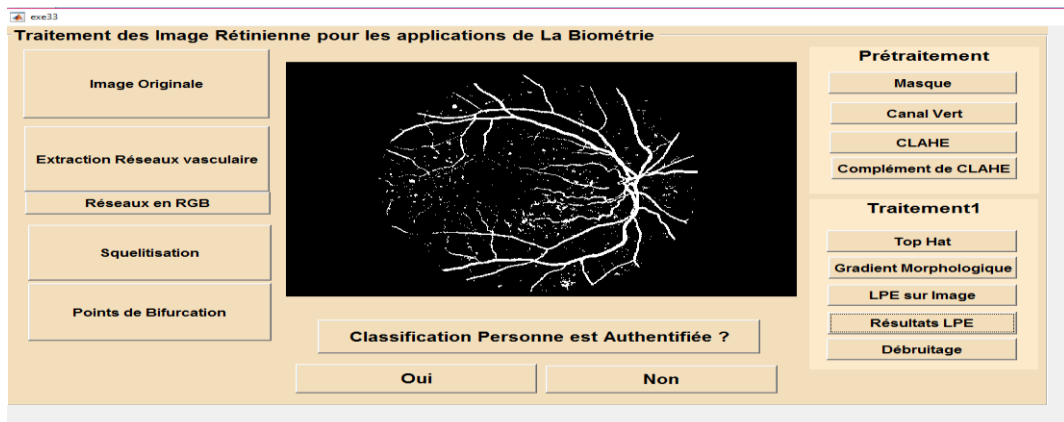
- **Gradient Morphologique** de L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2



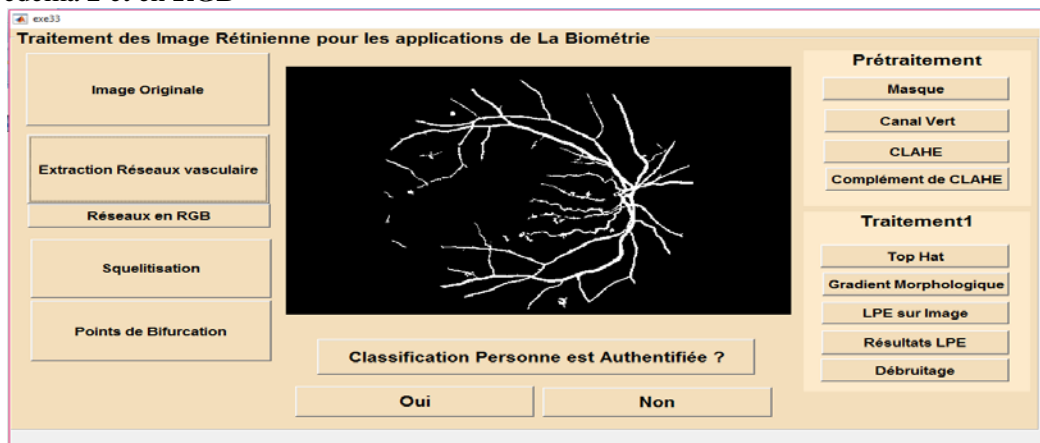
- **LPE Sur Image de L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2**



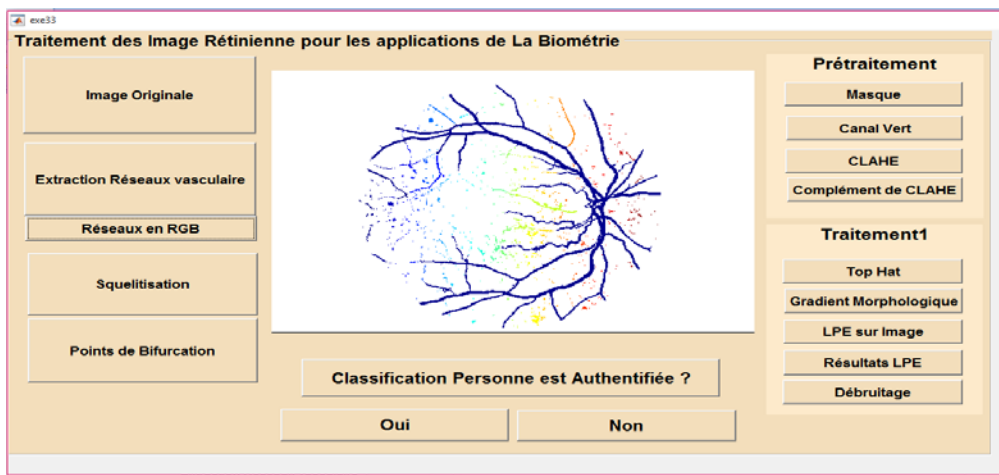
- **Résultat de LPE avant Débruitage L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2**



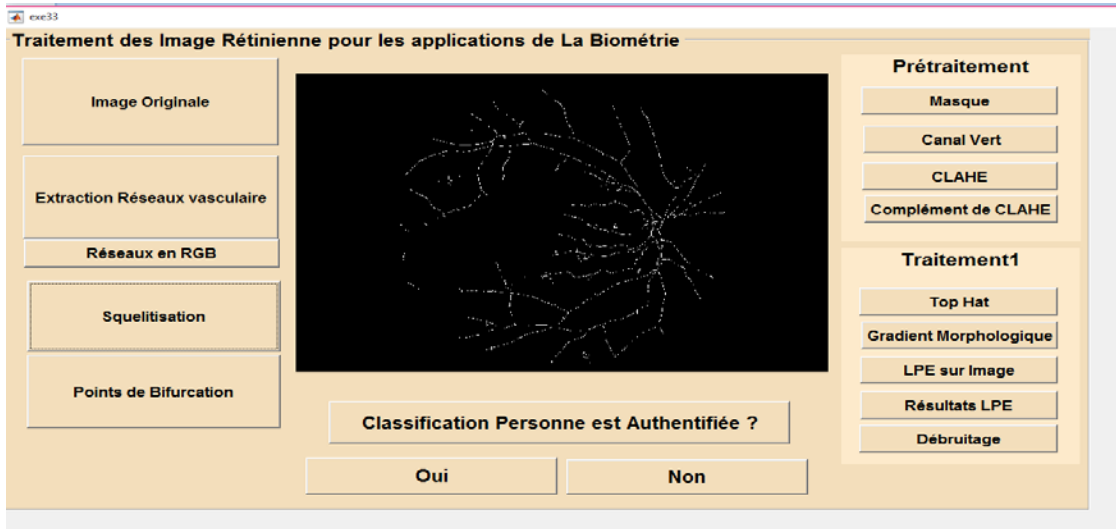
- **Réseau Vasculaire de L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2 et en RGB**







- **Squelettisation de L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2 et en RGB**



- **Point de Bifurcations de L'image Originale pathologique de base de données MESSIDOR 20051216\_45226\_0200\_PP.tif : Retinopathy grade 3 Risk of macular edema 2 et en RGB**

