



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd 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 : Informatique Biomédicale

Présenté par : Debeche Roumaïssa et Brahim iness

**Classification des stades de glaucome
selon l'échelle DDLS**

Soutenu le 20 Septembre 2017 devant le Jury

Mme	Hamza Cherif Souad	<i>MAA</i>	Université de Tlemcen	Présidente
Mr	Lazouni Mohamed Amine	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Examineur
Mr	EL Habib Daho Mostafa	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Encadreur
Mme	Settouti Nesma	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Co-encadreur

Année universitaire 2017-2018

Remerciements

Avant de présenter cette étude nous exprimons notre gratitude et nos vifs remerciements à notre encadreur monsieur El Habib Daho Mostafa, maître de conférences à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen pour la confiance qu'il nous a accordé, son soutien, son suivi de cette étude, son aide et ses conseils.

Nous présentons nos plus vifs remerciements à Madame Hamza Cherif Souad le de l'université Abou Baker Belkaid de Tlemcen pour avoir fait l'honneur de présider cette présentation.

Nous exprimons également notre gratitude et nos vifs remerciements à notre co-encadreur Madame Settouti Nesma de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, qui a acceptée de nous aider pour avoir ce travail et pour la confiance qu'elle nous a accordée.

Nous présentons nos plus vifs remerciements à Monsieur Lazouni Med Amine de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen pour l'intérêt qu'il a bien voulu porté à notre travail et d'être un des membres de jury.

Nous exprimons nos plus vifs remerciements à monsieur Menadi Abd Elkrim et monsieur Bekhouche Salah Eddine de l'université Mohamed Khaider de Biskra pour leurs conseils et l'aide constante qu'ils nous ont apportés.

Ce mémoire est dédié à nos parents qui sans leurs soutien, leurs sacrifices et encouragements rien n'aurait été possible, ainsi que les membres des familles Debeche et Brahimi et nos chères amies Fatima, Warda, kahina, Amina et Sara.

Résumé

Le glaucome est une neuropathie optique causant souvent des troubles visuels sans aucun symptôme précurseur. Il est habituellement provoqué par l'élévation de la pression intra oculaire (PIO) qui peut provoquer la cécité en endommageant le nerf optique.

Ce mémoire propose l'application d'un nouveau système d'estimation du glaucome en utilisant l'échelle de probabilité de dommage de disque optique (DDLS) appliquée sur des images du fond de l'œil .

Les images du fond de l'œil sont segmentées en disque et cup optique et classées selon l'échelle (DDLS) en dix stades en fonction de la classification du disque optique suivant les caractéristiques large, moyen et petit puis le rapport (rim /disque).

Le système proposé peut finalement classifier les cas de glaucome en dix stades.

Mot clefs

Glaucome, cup optique, disque optique, DDLS, rapport (rim /disque),

Abstract

Glaucoma is an optic neuropathy that often causes visual disturbances without any precursor symptoms. It is usually caused by elevated intraocular pressure (IOP) which can cause blindness by damaging the optic nerve.

This paper proposes an application of new system for estimating glaucoma using the Optical Disc Damage Probability Scale (DDLS) applied to images of the back of the eye.

The images of the back of the eye are segmented into optical disc and cup and classified according to the scale (DDLS) in ten stages according to the classification of optical disc as wide, medium and small then the (rim / disc) ratio.

The proposed system can finally classify cases of glaucoma in ten stages.

Keywords

Glaucoma, optical disc, optical cup, DDLS, (rim / disc) ratio,

المخلص

مرض الزرق هو الاعتلال العصبي البصري الذي غالبا ما يسبب اضطرابات بصرية دون أي أعراض سابقة أو ملحوظة وعادة ما يكون سببه ارتفاع ضغط العين حيث يمكن أن تسبب العمى عن طريق إتلاف العصب البصري.

تقترح هذه المذكرة تطبيق نظام جديد لتقدير مراحل هذا المرض باستخدام مقياس الاحتمالية الناجمة عن تلف الأقراص البصرية المطبق على صور الجزء الخلفي من العين.

حيث يتم تقسيم صور الجزء الخلفي من العين إلى قرص وحفرة بصرية و تصنف وفقا للمقياس في عشر مراحل حسب حجم القرص البصري فهناك القرص الواسع , المتوسط والصغير ثم يتم حساب النسبة التالية (الحافة على القرص).

النظام المقترح يمكن أن يصنف في النهاية مختلف حالات الزرق إلى عشر مراحل

Table des matières :

Remerciements	i
Résumé	ii
Abstract	iii
Table des matières	v
Table des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Glossaire	viii
Introduction générale	1
1. Généralités sur le glaucome	3
1. Introduction	4
2. Anatomie de l'œil et physiologie du glaucome	4
3. L'excavation glaucomateuse	5
4. Les différentes formes de glaucomes	7
4.1 Glaucome primaire à angle ouvert (GPAO)	7
4.2 Glaucome à angle fermé	8
4.3 Le Glaucome chez l'enfant	8
5 Classification clinique par stades de gravité du glaucome	9
6 Les facteurs de risque	10
7 L'ampleur du glaucome	10
8 Diagnostic du glaucome	11
8.1 Pression intraoculaire élevée	11
8.2 Atteinte des champs visuels	12
8.3 Altération de la papille optique	12
9 Conclusion	15
2 Historique et état de l'art	16
1 Introduction	17
2 Historique	17
3 Etat de l'art	19
4 Conclusion	45
3 Méthodes et résultats	46
1 Introduction	47
2 Description de la base de données Base-Rim	47
3 Méthodes de travail	48
3.1 Le prétraitement des images	49
3.2 La segmentation	50
3.2.1 Segmentation du disque et cup optique	51
3.2.1.1 Le seuillage	51
3.2.1.2 La morphologie mathématique	52
3.2.1.3 La fonction fit_ellipse	53
4 La classification	54
4.1 Echelle de probabilités de dommage de disque optique (DDL)	55
4.2 La distance euclidienne	56
5 Résultats et discussion	56
5.1 La phase de segmentation	56
5.2 La phase de classification	64
5.3 Comparaison des résultats	67
6 Conclusion	69
Conclusion et perspectives	70
Bibliographie	72

Table des figures

1.1 Anatomie de l'œil [2]	5
1.2 La physiologie du glaucome [5]	5
1.3 Excavation de la tête du nerf optique associée au glaucome [7].....	6
1.4 Le tonomètre à applanation de Goldman [11].....	11
1.5 La périmétrie automatisée à doublage de fréquence [12].....	12
1.6 L'examen du nerf optique en utilisant un rétinographe [13].....	13
2.1 Le diamètre de disque et la largeur de bord neuro-retinien (rim) [16].....	19
2.2 Le rapport (cup/disque).	22
2.3 Relation entre le rapport (cup/disque) et la surface de rim [20].....	23
2.4 Dessin de deux nerfs optiques obtenus avec un rapport (cup/disque) identique mais un diamètre du bord déferent [21].....	23
2.5 les six secteurs du champ visuel [23].....	26
2.6 Dessin de disque et cup optique avec le bord neuro-retinien (rim).....	30
2.7 Dessin de disque et cup optique ou (rim=0) dans un seul point.....	30
2.8 Dessin de l'angle désiré dans le cas ou le (rim =0) dans plusieurs points.....	31
3.1 étapes de segmentation des stades images.....	48
3.2 Les étapes de classification des stades de glaucome selon l'échelle DDLS.....	49
3.3 Représentation de l'image couleur dans l'espace RVB.....	49
3.4 Fermeture de l'image.....	50
3.5 Segmentation de disque optique basée sur la méthode de seuillage.....	52
3.6 Segmentation de disque optique basée sur la méthode de seuillage.....	52
3.7 Application de la fonction fit_ellipse sur le cup optique.....	53
3.8 Application de la fonction fit_ellipse sur le disque optique.....	53
3.9 La forme d'ellipse fittin[46].....	54
3.10 Distance euclidienne [47].....	56
3.11 Histogramme de classification de disque optique (les images segmentées par l'algorithme et les images segmentées par les experts).....	68
3.12 Histogramme de classification DDLS (les images segmentées par l'algorithme et les images segmentées par les experts).....	69

Liste des tableaux

1.1	Classification des glaucomes [8].....	7
1.2	Risque d'évolution vers la cécité en fonction des caractéristiques du glaucome d'après le South East Asia Glaucoma Interest Group, 2004 [9].....	9
2.1	corrélacion entre le score globale de (DDLS) et les paramètres globaux et sectoriels de champ visuel DM [23].....	26
2.2	Corrélacion entre le score globale (DDLS) avec les paramètres globaux et sectoriels de l'HRT [23]	27
2.3	Corrélacion entre les paramètres globaux du champ visuel MD avec les paramètres globaux de l'HRT [23].....	27
2.4	Corrélacion entre les paramètres du champ visuel de MD avec paramètres sectoriels de l'HRT [23].....	28
2.5	Corrélacion entre les paramètres d'HRT et les paramètres sectoriels du champ visuel [23].....	29
2.6	Analyse de régression logistique uni-variable des paramètres cliniques significatifs prédisant un défaut relatif pupillaire afférente [30].....	36
2.7	Association de parenté afférente pupillaire (RAPD) avec les variables continues [30].....	36
2.8	Association de parenté afférente pupillaire (RAPD) avec les variables catégoriels [30].....	38
2.9	Analyse de régression logistique multi-variable des paramètres cliniques significatifs prédisant un défaut pupillaire relatif afférente [30].....	38
2.10	Le point de coupure optimal pour les variables cliniques significatives par rapport au défaut pupillaire afférent relatif [30].....	39
2.11	Les critères de classification des yeux normaux et glaucomateux [36].....	40
2.12	La force de corrélacion entre déférents paramètres [36].....	41
2.13	Résumé des paramètres des coefficients de corrélacion (La valeur P et l'intervalle de confiance) [36].....	41
2.14	Explication des déférentes mesures présentées par le graphe coloré de glaucome (The colored glaucoma graph) [38].....	44
3.1	échelle de probabilités de dommage de disque optique(DDLS) [19].....	55
3.2	Résultats expérimentales de segmentation.....	63
3.3	Exemple d'une image bien et mal segmentée.....	64
3.4	Résultats expérimentales de la classification des images segmentées par des experts.....	66
3.5	Résultats expérimentales de la classification des images segmentées.....	67

Glossaire

DDLS	Disc Damage Likelihood Scale
C/D	Cup-To-Disc
PIO	Intraocular Pressure
CDR	Cup/disc ratio
HRT	Heidelberg retina tomographe
HFA	Humphrey Field Analyser
OCT	Optical coherence tomography
GSAS	Glaucoma Stereo Analysis Study
ONH	Optic Nerve Head
MD	visual field mean deviation
GON	Glaucomatous optic neuropathy
PSD	Pattern Standard Déviation
FI	Focal Ischemic
MY	Myopic glaucomatous
SS	Senile Sclerotic
GE	Generalized Enlargement
HPA	Hodapp-Parrish-Anderson
AUC	Area Under The Curve
RNFL	Retinal nerve fiber layer
GPAO	primary open-angle glaucoma
PEX	Pseudo exfoliation Glaucoma
MRA	Moorfields regression analysis
SD-OCT	Spectral Domain Optic Coherence Tomography
GPS	Glaucoma probability scores
GSAS	Glaucoma Stereo Analysis Study
ST	Super-temporel,
SN	Super-nasal,
IT	Infer-temporel
IN	Infer-nasal.
RAPD	Relative Afferent Analysis Defect
Avg	Average
CI	Confedence interval
SLT	Selective laser trabeculoplasty

Introduction générale

Le glaucome est un problème important de santé publique car il constitue la deuxième cause de cécité dans le monde après la cataracte [1]. C'est une neuropathie optique caractérisée par l'altération du nerf optique, cette maladie aboutit à la perte du champ visuel pouvant à terme aller jusqu'à la cécité [2].

Le glaucome est en développement depuis plusieurs années. Sa prise en charge pathologique a connu des avancées tant au plan diagnostique que thérapeutique, cependant, malgré ces avancées, le diagnostic précoce du glaucome reste un problème majeur en recherche ophtalmologique. Traditionnellement, il est basé sur l'évaluation de la tête du nerf optique et du champ visuel. En effet, il est admis que les changements au niveau de la papille ou du disque optique précèdent génèrent la perte détectable du champ visuel chez les patients atteints de glaucome. Il existe aussi la notion du rapport de l'excavation sur la papille optique (cup/disque). Ce rapport ne décrit pas de manière adéquate la surface de disque car en ne tenant pas en compte la taille de disque, il peut être biaisé et influencer son interprétation clinique.

Notre étude est de nature technique dans l'approche diagnostique du glaucome. Plus précisément, nous proposons d'étudier une nouvelle méthode de classification des stades de glaucome en utilisant l'échelle de probabilités des dommages de disque optique (noté DDLS), qui vient un peu corriger les limites du rapport du cup sur le disque optique. En effet, il tient compte à la fois de la taille de disque optique (petit, moyen et large) et de la perte des fibres du bord neuro-rétinien (noté en anglais rim) causée par le glaucome. Pour atteindre cet objectif, nous avons recours à une base de données composée d'une population subdivisée en deux groupes de diagnostic (suspect et glaucomateux) [40].

L'étude présentée dans ce mémoire s'intègre dans le domaine de traitement et de classification des images rétiniennes obtenues à l'aide d'un rétinographe pour objectif de classification des stades de glaucome.

Ce mémoire comporte trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à des généralités sur cette neuropathie avec une brève explication sur l'anatomie de l'œil.

- Le deuxième chapitre présente clairement l'historique de la prise en charge et les différentes méthodes récentes reportées dans la littérature ainsi que la définition de la nouvelle méthode d'estimation de glaucome ; l'échelle de probabilité de dommage optique (DDL) pour le diagnostic et la classification des stades de glaucome.
- Le dernier chapitre vise à expliquer les différentes méthodes appliquées sur la base de données des images rétiniennes annotées par les experts ophtalmologistes, les résultats de la segmentation et la classification obtenus comparés aux résultats obtenus par les experts. Le manuscrit est finalisé par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre 1 :

Généralités sur le glaucome

1. Introduction

Le glaucome est une maladie du nerf optique (neuropathie optique). Il se caractérise par une perte de cellules nerveuses (cellules ganglionnaires) et de leurs fibres nerveuses (axones) qui constituent le nerf optique [2], il s'agit du nerf partant de la rétine, à l'arrière de l'œil, et transportant les images jusqu'au cerveau. Lorsqu'il est abîmé, le champ visuel est réduit, la vision est altérée et cela peut conduire à la cécité [3].

Dans ce chapitre, nous allons donner un bref aperçu sur la maladie de glaucome, ses causes, ses différents stades ainsi que les méthodes de diagnostic.

2. Anatomie de l'œil et physiologie du glaucome :

Il est utile d'étudier l'anatomie de l'œil pour mieux comprendre les outils de diagnostic du glaucome. La chambre antérieure de l'œil est constituée de la cornée, de l'iris, de la pupille et du cristallin, et est remplie d'un liquide appelé humeur aqueuse. L'humeur aqueuse s'écoule habituellement par le trabéculum et le canal de Schlemm jusqu'aux veines épi sclérales. Lorsque l'écoulement est bloqué, il y a augmentation de la pression dans l'œil. Cette augmentation de la pression intraoculaire (PIO) provoque une excavation du nerf optique, ce qui, en retour endommage les cellules ganglionnaires de la rétine et finit par les tuer, entraînant une perte permanente de la vue [4].

La tête du nerf optique est constituée de nombreux axones (fibres nerveuses) de cellules ganglionnaires ayant pris naissance à l'intérieur de la rétine qui se regroupent à la sortie de l'œil. Au point de sortie, le nerf optique prend une forme arrondie et est appelé papille ou disque optique. Au centre de la papille se trouve l'excavation physiologique ou (cup), petite entaille résultant du passage de l'artère et de la veine centrale de la rétine. Le rapport (cup/disque) normal est de 0,3 [4] (c'est à dire que le diamètre de l'excavation en millimètre correspond environ au tiers de celui de la papille). L'excavation physiologique a été décrite comme un (trou de beigne), le beigne étant constitué par le bord neuro-rétinien (la zone comprise entre l'excavation physiologique et le rebord papillaire). Dans le glaucome, les

fibres nerveuses atteintes se dégradent à l'emplacement du bord neuro-rétinien, entraînant une excavation progressive du nerf optique (voir figure 1.1 et 1.2).

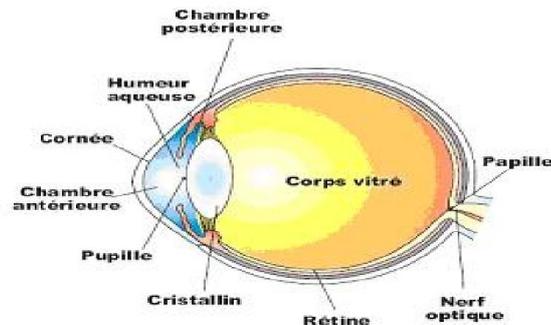


Fig 1.1 : Anatomie de l'œil [2].

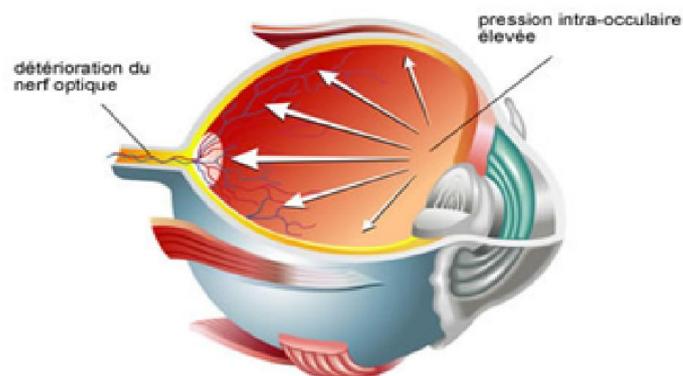


Fig 1.2 : La physiologie du glaucome [5].

3. L'excavation glaucomateuse :

Le glaucome est caractérisé par un amincissement progressif du bord neuro-rétinien. Il existe différents types de pertes en fibres visuelles qui peuvent être diffusées, localisées ou bien alors mixtes. L'élargissement de l'excavation du disque optique survient le plus souvent dans toutes les directions, mais généralement il progresse verticalement : le bord neuro-rétinien s'amincit dans les pôles supérieur et inférieur, créant ainsi une encoche très évocatrice. Cependant cet amincissement, même lorsqu'il apparaît dans tous les secteurs du

disque optique, est généralement plus important au niveau du pôle inférieur qu'au niveau du pôle supérieur, entraînant alors une disparition de l'aspect physiologique et le segment inféro-temporal du bord neuro-rétinien n'est plus alors le segment le plus épais lorsque la papille n'est pas constitutionnellement dysmorphique (voir figure 1.3) [6].

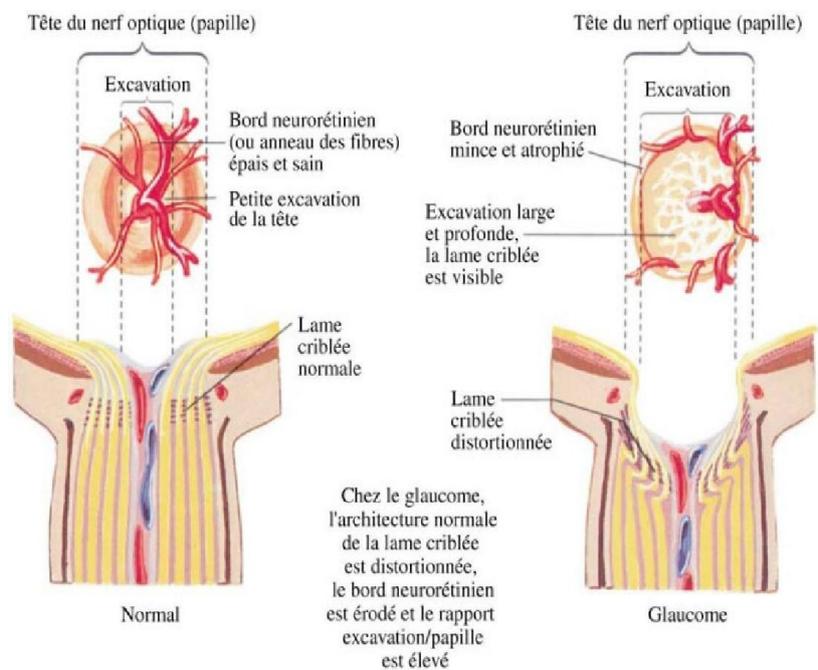


Fig 1.3 : Excavation de la tête du nerf optique associée au glaucome [7].

4. Les différentes formes de glaucomes :

Il existe une multitude de formes de glaucome (voir tableau 1.1):

	Glaucomes primaires	Glaucomes secondaires
Glaucomes à angle ouvert	<ul style="list-style-type: none"> • Glaucome primaire à angle ouvert (à tension élevée) • Glaucome à tension normale 	<ul style="list-style-type: none"> • Glaucome relié à une pression veineuse épi sclérale élevée • Glaucome pigmentaire • Glaucome exfoliatif • Glaucome relié aux stéroïdes • Glaucome relié à une tumeur intraoculaire • Glaucome par traumatisme post-chirurgical ou accidentel
Glaucomes à angle fermé	<ul style="list-style-type: none"> • Glaucome (primaire) à angle fermé à bloc pupillaire • Glaucome (primaire) à angle fermé avec iris en plateau • Glaucome à mécanisme mixte (a aussi une composante à angle ouvert) 	<ul style="list-style-type: none"> • Glaucome relié à un bloc pupillaire secondaire (plusieurs causes) • Glaucome néo vasculaire • Glaucome relié à un flot inversé de l'humeur aqueuse (bloc ciliaire) • Glaucome relié à une tumeur intraoculaire • Glaucome par traumatisme post-chirurgical ou accidentel
Glaucomes congénitaux	<ul style="list-style-type: none"> • Glaucome congénital primaire 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Syndrome d'Axenfeld-Rieger 2) Hypoplasie de l'iris 3) Iridogoniodysgénésie 4) Aniridie 5) Syndrome de Lowe 6) Anomalie de Peters 7) Syndrome de Sturge-Weber

Tab 1.1 : Classification des glaucomes [8].

4.1. Glaucome primaire à angle ouvert (GPAO) :

Le glaucome primaire à angle ouvert, est une forme dans laquelle l'angle caméculaire est (ouvert), c'est-à-dire que l'humeur aqueuse a un accès au trabéculum. Le problème se situe dans le tissu du trabéculum lui-même, qui ne remplit plus correctement ses fonctions [8].

A l'inverse du glaucome secondaire à angle ouvert, dans lequel on assiste, entre autre, à la déposition de matériel en provenance d'autres parties de l'œil, il s'agit ici d'une affection primaire du trabéculum. Il faut encore distinguer deux formes de glaucome à angle ouvert : la première avec élévation de la pression intraoculaire et la seconde sans élévation de la pression intraoculaire, aussi appelé (glaucome à pression normale)[8].

4.2 Glaucome à angle fermé :

Cette forme de glaucome se rencontre souvent chez les asiatiques et chez les hypermétropes. Nous savons aussi qu'elle survient volontiers au sein d'une même famille. Chez les personnes présentant une tendance au glaucome à angle étroit, la chambre antérieure, (espace entre l'iris et la cornée) est moins profonde, respectivement plus plate, que dans la moyenne; comme mentionné ci-dessus le trabéculum se situe à l'angle où l'iris et la cornée se rejoignent. Cet angle mesure 45 ° chez la plupart des gens. Pour que l'humeur aqueuse puisse quitter l'œil, elle doit entrer en contact et passer au travers du trabéculum. Plus l'angle est étroit plus l'humeur aqueuse aura des difficultés à parvenir au trabéculum et à le traverser [8].

4.3 Le glaucome chez l'enfant :

Chez les enfants qui naissent avec un défaut de développement dans l'angle de l'œil, ou qui présentent un manque de maturité dans le développement de l'angle de l'œil, un glaucome peut apparaître dans les premiers jours de vie ou plus tardivement. Selon l'âge auquel le glaucome survient on parle de glaucome infantile précoce chez le nouveau-né, de glaucome infantile chez l'enfant jusqu'à un an et de glaucome juvénile chez les enfants plus âgés et les adolescents [8].

5. Classification clinique par stades de gravité du glaucome :

La revue de synthèse publiée par le South East Asia Glaucoma Interest Group en 2004 [8] précise que l'on peut classer le stade évolutif des glaucomes en 4 niveaux de gravité de risque d'atteinte visuelle (voir tableau 1.2).

Stades de gravité	Risque d'évolution vers la cécité	Caractéristiques du glaucome
Stade 1	Très élevé	- Atteinte du nerf optique + déficit visuel quel que soit le niveau de PIO
Stade 2	important	- Atteinte du nerf optique - PIO modérément augmentée ou une PIO \geq 30 mmHg mais avec un disque optique normal - Fermeture de l'angle avec présence de synéchies ou PIO augmentée - - Néovascularisation
Stade 3	modéré	- Disque optique normal et absence d'altération du champ visuel - PIO augmentée et disque optique subnormal - Œil controlatéral d'un œil dont la neuropathie optique a été confirmée
Stade 4	faible	- PIO augmentée* - Vieillesse* - Fermeture de l'angle - Syndrome pigmentaire - Syndrome pseudo - Exfoliatif - Hémorragie au niveau de la papille - Asymétrie de la papille - Antécédents familiaux de glaucome* - Facteurs de risque génétiques*

(*) = l'association de plusieurs facteurs de risque fait passer un sujet du groupe 4 au groupe 3.

Tab 1.2: Risque d'évolution vers la cécité en fonction des caractéristiques du glaucome d'après le South East Asia Glaucoma Interest Group, 2004[9].

6. Les facteurs de risque :

Les causes du glaucome ne sont pas connues, mais plusieurs facteurs semblent néanmoins favoriser cette maladie du nerf optique :

- **l'augmentation de la pression intraoculaire** : au-delà de 21 mm Hg ; c'est le principal facteur. Cependant, toutes les hypertonies (ou hypertensions) oculaires n'entraînent pas un glaucome et inversement il existe des glaucomes avec une pression intraoculaire dans les limites de la normalité.
- **l'âge** : le glaucome survient en général à partir de 40 ans et sa fréquence augmente avec l'âge.
- **l'hérédité** : le risque de glaucome est augmenté si un parent est atteint .
- une hypertension artérielle, un diabète, une apnée du sommeil ou encore la prise prolongée de corticoïdes peuvent accroître le risque de glaucome [3].
- **la myopie** : Dans le cas d'une très forte myopie (où la vue est spontanément très faible), l'œil est particulièrement fragile et le glaucome retentit plus rapidement sur le champ de vision [10].

7. L'ampleur du glaucome :

L'OMS considère le glaucome comme la troisième cause de cécité dans le monde (responsable de 15% des cécités : 6,7 millions de personne) [2].

Le glaucome touche 1 à 2 % de la population de plus de 40 ans et environ 10 % après 70 ans. Environ 800 000 personnes sont traitées en France mais 400 000 à 500 000 présenteraient la maladie sans le savoir [3].

Le nombre estimé de personnes aveugles en raison d'un glaucome primitif est de 4,5 millions et représente plus de 12% de la cécité mondiale. Les facteurs de risque primaires qui sont liés à l'individu et, au début de la maladie, à son âge et sa prédisposition génétique. L'incidence du GPAO augmente avec l'âge et sa progression est plus fréquente chez les personnes d'origine africaine [1].

8. Diagnostic du glaucome :

Le glaucome ne peut être définitivement diagnostiqué à partir des résultats d'un seul test, ou parfois, même avec une batterie de tests. Les signes cliniques pour poser un diagnostic de GPAO sont classiquement la pression intraoculaire élevée, l'atteinte des champs visuels et l'altération de la papille optique [4].

8.1 Pression intraoculaire élevée :

Dans le passé, l'élévation de la pression intraoculaire a été considérée comme importante pour le diagnostic du glaucome. Il est maintenant reconnu que la pression intraoculaire élevée, bien qu'étant un facteur de risque de glaucome, ne constitue pas le diagnostic du glaucome. De l'autre côté, une basse pression intraoculaire ne signifie pas une absence de glaucome [4].

La mesure de la pression intraoculaire se fait au moyen d'un tonomètre (voir figure 1.4). De plus en plus d'ophtalmologistes optent pour la version sans contact, par l'envoi d'un jet d'air dans l'œil, qui n'oblige plus à utiliser de collyre anesthésiant. Une autre méthode consiste à exercer sur la cornée une pression suffisante pour l'aplanir, à l'aide d'un cône en plastique. Mais cet examen nécessite l'administration d'un collyre anesthésiant [4].



Fig 1.4: Le tonomètre à aplation de Goldman [11].

8.2 Atteinte des champs visuels :

L'atteinte du champ visuel est mise en exergue par la périmétrie manuelle ou standard ou la périmétrie de la technologie à doublage de fréquence (PDF ou frequency doubling technology perimetry ou FDT). La valeur de la périmétrie dépend à la fois de la fiabilité des réponses du patient et de la minutie du personnel qui administre le test, cette mesure consiste à faire fixer un point central dans une coupole tandis que de petits tests lumineux apparaissent brièvement dans les différentes parties du champ visuel. Il faut indiquer au fur et à mesure quelles sont les lumières que l'on perçoit, ce qui permet de se rendre compte s'il y a des zones manquantes. Il existe plusieurs types de périmétries. La périmétrie automatisée standard (SAP, pour Standard Automated Perimetry) est très utilisée. La périmétrie automatisée à doublage de fréquence (FDT ou PDF) détecte un déficit du champ visuel à un stade plus précoce que la périmétrie standard [4].



Fig 1.5:La périmétrie automatisée à doublage de fréquence [12].

8.3 Altération de la papille optique :

L'évaluation de la tête du nerf optique est un des tests les plus importants dans le diagnostic de glaucome. Autrefois, elle dépendait essentiellement de l'expertise de l'observateur. Mais, depuis peu, elle gagne en précision par l'automatisation des mesures. Il existe de nombreuses variations interindividuelles de la morphologie d'une papille optique, tant chez les sujets normaux que glaucomateux [4].

Ces différences dans la distribution de la taille de la papille optique influent sur la sensibilité et la spécificité des tests diagnostiques. L'observation de la papille optique se fait traditionnellement en examinant le fond d'œil par ophtalmoscopie directe. Habituellement, même si cela reste quelque peu controversé, l'évaluation de la surface neuro-rétinienne est faite selon la règle appelée communément ISNT. La règle de l'ISNT est que la largeur du bord neuro-rétinien dans sa portion inférieure (I) est supérieure ou égale à la largeur dans sa portion supérieure (S). Cette dernière est supérieure ou égale à la largeur du bord neuro-rétinien dans sa portion nasale (N) qui, à son tour, est supérieure ou égale à la largeur dans la portion temporale (T) [4].



Fig 1.6: L'examen du nerf optique en utilisant un rétinographe [13].

L'examen du fond d'œil par ophtalmoscopie directe est très subjectif et l'interprétation de l'image peut varier d'un observateur à l'autre. En plus, il est réalisé en mydriase (pupille dilatée) et ne peut donc pas être applicable dans un contexte de dépistage. Les photographies du fond d'œil par des caméras non mydriatiques (c'est-à-dire sans que la pupille soit dilatée préalablement) sont utilisées afin d'évaluer l'altération de la papille et la progression glaucomateuse, demeurant ainsi un outil potentiel de dépistage. Il en est de même pour les nouvelles techniques diagnostiques comme le microscope confocal à balayage laser (MCBL) (Heidelberg Retina Tomograph, ou HRT), le tomographe à cohérence optique (TCO ou OCT) et le polarimètre à balayage laser ou PBL (GDx), qui permettent l'automatisation des mesures du rebord et de l'excavation de la papille et éliminent presque tout aspect subjectif de l'évaluation. Avec le microscope confocal à balayage laser (MCBL), le contour du nerf optique est dessiné à la main. Ce qui constitue une source de variabilité rendant la valeur du test tributaire de la compétence de celui qui l'administre. La

mobilité de l'œil et le plan de référence sont aussi d'autres sources de variabilité. Le MCBL permet une évaluation quantitative de la topographie des structures oculaires et un suivi précis des changements topographiques basé sur cette ligne de contour par rapport à un plan de référence. Ces paramètres sont comparés à une base de données normative comprise dans le logiciel de l'appareil. Une comparaison interindividuelle souffre néanmoins de l'absence de base de référence de valeurs normales et la distribution dans la population est inconnue, Le tomographe à cohérence optique (TCO ou OCT (tomographie par la cohérence optique)) produit des images du pôle postérieur de l'œil à une échelle spatiale très précise (la couche de fibres nerveuses rétiniennes, la tête du nerf optique et la macula) [4].

Le TCO permet de mesurer spécifiquement l'épaisseur de la couche de fibres nerveuses rétiniennes. Le polarimètre à balayage laser étudie aussi l'épaisseur de la couche de fibres nerveuses du nerf optique. Une variante récente de l'appareil, appelée compensation cornéenne variable (CCV ou GDX-VCC), permet la correction des erreurs dues à la réfraction de la cornée [4].

Les dommages typiques de glaucome comprennent l'amincissement focal du bord neuro-rétinien, l'atrophie concentrique, la profondeur de l'excavation, la discontinuité de la pâleur de l'excavation, l'hémorragie du disque optique, la perte de fibres nerveuses péri-papillaires, et la perte d'axones à l'intérieur de la couche de fibres nerveuses rétiniennes [4].

La mesure de l'étendue de l'excavation et la perte des fibres du bord neuro-rétinien est effectuée à l'aide du rapport entre le diamètre de l'excavation et celui de la papille optique. Ce rapport ne décrit pas de manière adéquate la surface de la papille car en ne tenant pas en compte la taille de la papille, il peut être biaisé et influencer son interprétation clinique [4].

Il a été noté que le rapport de l'excavation sur la papille optique aurait tendance à classer les grandes papilles comme étant glaucomateuse du fait que l'excavation paraît plus grande introduisant ainsi les faux positifs donc une diminution de la spécificité de cette mesure [4].

D'un autre côté le rapport de l'excavation sur la papille optique pourrait aussi porter à classer les sujets avec une petite papille et par là un aspect de petite excavation comme les sujets normaux introduisant ainsi des faux négatifs avec en ricochet donc une diminution de sa sensibilité [4].

Aussi, parce qu'il est reconnu qu'un grand rapport de l'excavation sur la papille optique n'est pas nécessairement associé à un diagnostic de glaucome, une attention moindre est placée sur la taille de l'excavation ou de la coupe mais de plus en plus sur l'apparence et la configuration du tissu neuro-rétinien qui se situe entre l'excavation ou la coupe et le rebord de la papille ou du disque optique. En effet, le tissu neuro-rétinien est la surface qui connaît en premier un changement en cas de glaucome et doit par conséquent être bien examiné lors de l'évaluation de la tête du nerf optique. Cette évaluation doit aussi tenir compte des facteurs comme l'âge du patient lors de l'interprétation des résultats [4].

L'échelle de probabilité d'atteinte de la papille optique vient à corriger ces limites du rapport de l'excavation sur la papille optique. En effet, il tient compte à la fois de la taille de la papille optique (petite, moyenne et grande papille) et de la perte des fibres du bord neuro-rétinien causée par le glaucome. Il varie entre 0 et 10; 0 étant le stade où il n'y aucune lésion et 10 étant le stade le plus avancé [4].

9. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur le glaucome avec une brève description de l'anatomie de l'œil et physiopathologie du glaucome ; ses causes, ses différents stades ainsi que les méthodes de diagnostic. Nous avons réservé le deuxième chapitre pour l'historique ainsi que la littérature des méthodes d'estimation utilisées pour le diagnostic et la classification des stades de glaucome.

Chapitre 2 :

Etat de l'art

1. Introduction

Les méthodes de diagnostic ont été développées pour la prise en charge du glaucome afin de proposer des traitements pour stopper l'évolution de la maladie mais ne permettent pas de restaurer la vision. Cependant, malgré ces nouveautés, la prise en charge de cette maladie reste toujours complexe et doit se régler au cas par cas. Devant cette profusion des paramètres cliniques, l'ophtalmologiste peut se sentir perdu et perplexe pour cela un clinicien doit avoir une méthode pour identifier ces changements et les différencier des cas normaux [14].

Ce chapitre présente clairement l'histoire de la prise en charge de glaucome et les différentes méthodes récentes reportées dans la littérature pour le diagnostic et la classification des stades de glaucome.

2. Historique

Depuis des années, le diagnostic du glaucome était basé sur la pression intra oculaire (PIO) ; les physiciens ont pensé que les personnes présentant une $PIO < 21$ mm Hg était normales et ceux ayant une $PIO > 21$ mm Hg étaient anormales, en conséquence le diagnostic du glaucome était très simple.

Mais, après plusieurs observations ils ont trouvés que plusieurs cas de glaucome ne sont pas accompagnés d'une pression intraoculaire (PIO) élevée ; certaines personnes ayant une PIO élevée pendant de nombreuses années sans jamais développer de glaucome. À l'inverse, d'autres personnes ayant une PIO normale ou basse et sont atteintes de glaucome. La pression intraoculaire (PIO) n'est donc pas le seul facteur qui entre en jeu dans le glaucome [15].

En outre, l'élévation de la pression intraoculaire (PIO) peut occasionner des dégâts au niveau du nerf optique, le nerf qui transmet l'information visuelle de l'œil au cerveau; donc ils ont considérés que l'évaluation du champ visuel peut aider l'ophtalmologiste pour savoir si la personne souffre de glaucome ou pas, mais les changements dans le champ visuel n'arrivent qu'aux stades avancés de la maladie où il est trop tard.

Il ya aussi les outils d'imagerie médicale qui sont très utiles et fiables, mais ils sont très chers et souvent indisponibles.

Puisque le glaucome est définit comme un processus ou il y'a une perte progressive des cellules ganglionnaires rétiniennes qui se manifestent cliniquement comme la perte de tissu du bord neuro-rétinien du nerf optique [16], l'examen de la tête du nerf optique (appelé également papille optique) est crucial pour le diagnostic du glaucome ou la prise en charge des patient ayant un glaucome ou bien suspecté d'avoir un glaucome [17].

Donc les cliniciens ont besoin d'un système pour identifier les changements du nerf optique et différencier à ceux qui sont normales, ils ont besoin aussi d'un système de documentation pour enregistrer ces changement utilisés pour déterminer la progression de la maladie dans le temps [17].

Depuis que Armaly décrit le rapport (cup /disque) comme une méthode standard pour la classification de glaucome en 1969 ; elle est devenue la plus utilisée pour évaluer les changements de la tête du nerf optique (ONH), cependant cette méthode a des désavantage, elle ne prend pas en considération l'effet de la taille de disque optique et les changements focaux de rim [17].

L'échelle de probabilités de dommage (DDLs) était conçue en 2002 par Spaeth et Al à l'aide de Dr Jeff Henderer pour le tester ou plusieurs chercheurs ont également assisté. Le (DDLs) est une nouvelle façon de décrire le nerf optique. Au lieu d'un rapport (cup /disque), Le (DDLs) génère le rapport (rim/disque) et fait la mesure de la taille du nerf optique. C'est une meilleure façon pour deux raisons : d'abord, il élimine les effets de la taille du disque (ce qui est variable chez les personnes) et, deuxièmement, il se concentre sur le bord neuro-rétinien, qui est la partie réelle endommagée [18].

Cette échelle été modifier au fil des années pour satisfaire les besoins des médecins et pour fournir la capacité de diagnostic, la capacité de déterminer l'étendue de la maladie et la capacité de surveiller les changements dans le temps. (DDLs)a six étapes pour atteindre ces besoins [18].ces étapes seront citées et expliquées brièvement dans la partie ci-dessous.

3. Etat de l'art

En 2002, Dr George L. Spaeth, Jeffrey Henderer et ses collègues [19] ont développés une nouvelle méthode d'estimation, qui est plus significatif et offre plusieurs avantages que les autres méthodes. Cette nouvelle méthode peut être utile dans tous les domaines où il convient de savoir combien sont les dommages de glaucome, c'est l'échelle de probabilités de dommage de disque optique (DDL).S).

Les auteurs ont traités la reproductibilité d'une mesure pour estimer la quantité de dommage causé à la papille optique par le glaucome ; pour faire ça, il faut déterminer le rapport (cup/disque) et le (DDL), alors ils ont examinés 34 images de yeux de 24 patients(que les yeux atteintes de glaucome) par trois observateurs à l'aide d'une lampe à fente Haag-Strait et une lentille dioptrique 66 Volk ; c'est un outil d'ophtalmologie pour estimer la taille du disque avec des coefficients de correction pour d'autres objectifs sont : Volk 60D $\times 0,88$, 78D , 90D $\times 1,2 \times 1,33$; Nikon 60D $\times 1,03$ 1,63 $\times 90D$.

Le rapport (cup/disque) c'est la méthode habituellement utilisée pour évaluer le stade de glaucome, par contre la nouvelle méthode de l'échelle (DDL) consiste à mesurer la largeur de la partie la plus fine de rim. Ceci force l'examineur d'évaluer le rim sur toute sa circonférence afin d'identifier les zones les plus éclaircie (voir figure 2.1); la mesure est exprimée en (rim/disque).



Fig 2.1 : le diamètre de disque et la largeur de bord neuro-retinien (rim) [16].

Lorsqu' il n'y a pas de bord présent à son point le plus mince, la valeur (largeur de rim = 0) ; et la mesure de la circonférence est alors mesurée en degrés.

Des précautions doivent être prises lors de l'évaluation d'un bord (rim) en pente parce qu'un bord en pente n'est pas un bord absent ; Parce que la largeur du bord est en fonction de la taille de disque, la taille du disque doit être évaluée avant l'attribution d'un stade de (DDL).)

Les auteurs ont trouvé que la fiabilité du rapport (cup/disque) n'est pas assurée parce que certains patients ont des petits rapports (cup/disque) mais ils ont une perte du champ visuel importante, alors que certains ont des grands rapports (cup/disque) avec une faible perte de champ visuel. Par contre le (DDL) est fiable, convivial, et reproductible puisqu'il est fortement corrélé avec la quantité de dommages du champ visuel.

Maintenant le système (DDL) est souvent utilisé dans le cadre de l'examen de disque optique chez les patients atteints de glaucome ou après chaque examen de disque optique, les observations sont enregistrées pour quantifier le taux de dommage du nerf optique.

En 2005 GEORGE et L. SPAETH [20], ont développés la méthode de l'échelle des probabilités de dommages du disque optique (DDL) pour le diagnostic et la prise en charge du glaucome. Cette mesure passe par six étapes pour les deux yeux du patient :

Étape 1 : Faire une dilatation pour permettre une vue claire du fond de l'œil.

Étape 2 : Faire un bref examen bio microscopique pour avoir une idée des deux nerfs optiques du patient et déterminer la taille verticale des disques

Étape 3 : Examiner le disque optique et déterminer la circonférence du bord extérieur.

Étape 4 : Estimer le rapport (rim/disque) en comparant la largeur du bord neuro -rétinien (neuroretinal rim) avec le diamètre de disque sur le même axe à plusieurs positions d'horloge. Si le rapport (rim/disque) est différent à différentes parties du (rim), noter la surface la plus proche du (rim) et calculer le rapport (rim/disque).

Étape 5 : Lorsque l'esquisse du bord neuro-rétinien interne indique une démarcation claire avec une ligne épaisse et une démarcation moins claire avec une ligne hachurée. Noter le cours des vaisseaux sanguins qui aident à déterminer la largeur du bord et les caractéristiques pertinentes, dessiner la forme du disque optique.

Étape 6 : Pour déterminer le (DDL), il faut utiliser le dessin du disque optique, le rapport (rim/disque) le plus proche, la taille du disque et le nomogramme. Si le nerf est plus petit ou

plus large au moyen il faut ajuster le score de (DDLS) de la façon appropriée. Il faut répéter les étapes 3 à 6 pour l'autre œil du patient.

D'après les auteurs, si le disque est classifié du stade 5 ou plus, il est malsain. Il sera presque toujours pathologique, bien qu'il ne soit pas glaucomateux.

Les scores (DDLS) de 1 à 3 sont rarement associés à une perte de champ visuel glaucomateuse, ces scores ne sont pas une preuve que la santé du disque n'a pas empiré, car il aurait pu être un stade 1 ou 2 dans le passé.

L'auteur pense qu'il ya deux raisons pour lesquelles les médecins n'ont pas utilisé le disque optique comme méthode de suivi des patients :

- Parce que le disque est difficile à examiner et on ne peut pas mesurer certains types de disques.
- Dans le passé, il n'y avait pas une méthode fiable pour quantifier les changements optiques, et maintenant avec la méthode (DDLS) on peut savoir si le glaucome a progressé ou pas et on peut calculer son taux de changement.

Pour démontrer que le (DDLS) est supérieur au rapport (cup / disque) comme un moyen pour décrire que le nerf optique est glaucomateux, en 2006, Dr Jeffrey et D Henderer [21] s'appuient sur les résultats d'étude de deux questions : l'influence de la taille du disque sur la taille de (cup) et les changements focal au niveau du bord neuro-rétinien (rim) sont-ils des facteurs pertinents pour le diagnostic du glaucome ?

Pour ce faire, les auteurs nous ont montrés que l'utilisation du rapport (cup / disque) comme un seul critère de dommages n'est pas utile car il pose des problèmes lors du diagnostic de glaucome. Aussi ils ont montrés que les changements dans le bord sont les premiers résultats du glaucome, pour cela il faut mettre en évidence le bord et non pas le (cup) comme unité de mesure.

Finalement ils ont trouvés que l'échelle (DDLS) est plus fiable parce qu'elle utilise la largeur du bord et la taille du disque en même temps pour enregistrer l'information d'une manière précise.

Principe et étude

Depuis la fin des années 1960, la méthode de classification quantitative la plus utilisée c'est : le rapport (cup/disque) = C/D.

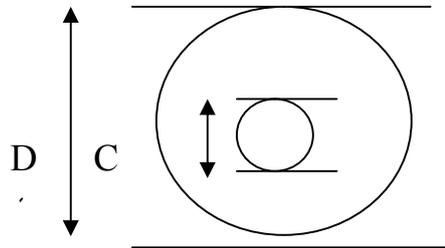


Fig 2.2 : le rapport (cup/disque).

C'est une mesure utilisée pour évaluer la progression du glaucome ou le rapport entre le (cup /disque) c'est la comparaison entre le diamètre du (cup) de disque optique et le diamètre total de disque [22]. Cette méthode décrit le disque optique en utilisant le diamètre du (cup) comme un pourcentage de diamètre global du disque.

Le rapport vertical (cup/disque) est significatif pour la quantification du glaucome.

- **Les avantages de cette méthode sont :** La facilité d'utilisation et le manque d'artefacts d'agrandissement qui sont attrayants.
- **Comme elle a deux problèmes importants qui limitent son exactitude tels que (c'est la première question à étudier) :** La méthode ne tient pas compte de la taille du disque et que le rétrécissement focal du bord neuro-rétinien n'est pas souligné d'une manière adéquate.

L'effet de la taille du disque est important pour comprendre l'apparition attendue du nerf optique, parce qu'il est bien connu que la taille du nerf est très variable chez les individus, tandis que la zone de la bordure neuro-rétinienne est similaire. Si le (la zone de rim) est constante alors la zone de (cup) est proportionnelle à la surface du disque.

Nous pouvons voir les effets de la taille du disque sur la taille de (cup) dans la figure 2.3 :

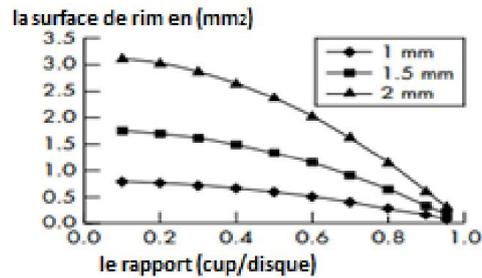


Fig 2.3: Relation entre le rapport (cup/disque) et la surface de rim [20].

Cette figure représente le (la surface de rim) en fonction de (cup/disque) pour trois tailles des nerfs optiques. Nous pouvons remarquer que :

- Lorsque la surface de rim = 0.75 (mm²) donc il s'agit des petits Nerfs (le diamètre de disque est 1 mm) et le rapport (cup/disque) sera d'environ 0.2.
- Si on utilise seulement le rapport (cup/disque) comme un critère de dommages, il est possible que les grands nerfs optiques seront appelés glaucomateux, et les petits nerfs optiques seront appelés normaux de façon incorrecte.

La deuxième question c'est que les changements focal au niveau du bord neuro-rétinien qui sont des caractéristiques du glaucome ne sont pas détectés par le rapport (cup / disque).

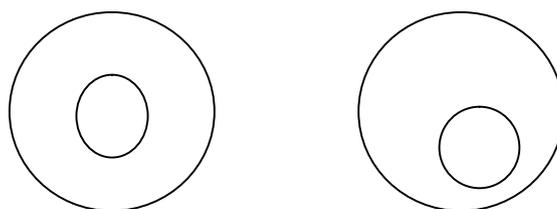


Fig 2.4: Dessin de deux nerfs optiques obtenus avec un rapport (cup/disque) identique mais un diamètre du bord déferent [21].

Malgré que les deux disques et les deux (cup) sont identiques et que le rapport (cup/disque) est le même, personne ne les considérerait identique car le bord (rim) n'apparaît pas d'une manière identique.

- Les ophtalmologues voient que les changements dans le bord (rim) sont les premiers résultats du glaucome, pour cela on doit mettre en évidence le bord (rim) et non pas le (cup) comme unité de mesure.
- Ils ont créés une échelle décrivant du nerf optique parce qu'il repose sur la largeur du bord neuro-rétinien pour un diamètre de disque donné.

Pour cette étude les auteurs ont trouvés que l'échelle de dommage de disque optique (DDL) est supérieure au rapport (cup/disque) et au HRT-2 pour distinguer entre le glaucome normal et glaucome suspects. Ils ont montrés que le (DDL) n'est pas seulement une nouvelle façon d'enregistrer les observations de glaucome qu'ils sont déjà enregistrés mais c'est une méthode excellente et fiable, aussi pour montrer que le (DDL) est un meilleur moyen de décrire que le nerf optique est glaucomateux.

Il n'existe pas des systèmes parfaits pour classer les stades de glaucome et le (DDL) n'est pas une exception car les auteurs ont indiqués que le (DDL) n'est pas capable de bien décrire les nerfs optiques inclinés. Aussi, il ne peut pas détecter facilement de nouvelles zones de dommage si une autre zone a déjà plus de dommage. De ce fait, il est sensible aux artefacts de grossissement. Malgré ces problèmes la majorité des nerfs optiques sera décrite plus précisément à l'aide d'une échelle qui tienne compte aux effets de la taille du disque optique. Maintenant, En utilisant une combinaison de la taille de disque et la largeur du bord, la possibilité d'enregistrement d'information est valide.

En 2006 Danesh-Meyer et ses collègues [23] ont expliqués la nature des relations entre le (DDL) et les paramètres globaux et sectoriels HRT et les différents tests de l'écart moyen de champ visuel puisque les changements morphologiques du nerf optique causés par le glaucome sont associés à des dommages fonctionnels quantifiés comme champ visuel (CV), bien que l'estimation de la quantité de dommage du rim neuro-rétinien se fasse par l'échelle de probabilité des dommages de disque optique et le Heidelberg Retina Tomographe (HRT).

Disque Damage Likelihood Scale :

Pour obtenir le classement (DDL), un spécialiste du glaucome doit examiner les yeux des patients pour faire l'examen clinique. La mesure de la taille du disque se fait à l'aide d'une lampe à fente pour évaluer le bord neuro-retinien alors il faut calculer le rapport (rim/disque) selon l'axe où le rim est le plus fin. Quand le rim est totalement absent, la distance angulaire est mesurée en degrés. Le disque est ensuite classé en 8 stades de 0 (0a 0b) à 7.

Heidelberg Retinal Tomograph :

Le HRT2 repose sur l'acquisition par un laser des multiples plans confocaux en partant de la profondeur de la papille et en remontant jusqu'à la surface, trois séries d'images acquises automatiquement en quelques secondes. L'ophtalmologue doit lui-même tracer le contour du disque optique grâce à un petit outil logiciel et les résultats sont alors édités sous la forme d'un tableau qui résume les paramètres morphologiques globaux.

Les paramètres topographiques globaux et sectoriels générés automatiquement par le logiciel ont été exportés pour l'analyse

Les valeurs ont été définies comme secteurs (super-temporal, super-nasal temporelle, écoulement nasal et le infer-nasal).

Les paramètres évalués sont : la surface de disque, surface de cup, surface de rim, le rapport (cup/ disque), le rapport (rim/ disque), le volume de cup, le volume de rim, la profondeur moyenne de cup, la profondeur maximale de cup, contour de variation de la hauteur, la mesure de la forme du cup, l'épaisseur moyen du RNFL et la surface intersectorielle du RNFL.

Les profondeurs moyennes et maximales du cup sont des paramètres globaux et par conséquent ils n'ont pas été analysés dans les différents secteurs.

Humphrey Visual Field Testing :

L'examen du champ visuel est l'une des nombreuses méthodes utilisées pour diagnostiquer et surveiller la progression du glaucome, chaque CV a été divisé en 6 secteurs basé sur optic disque-CV map d'écrit par Garway-Heath et al. (Voir figure 2.5).

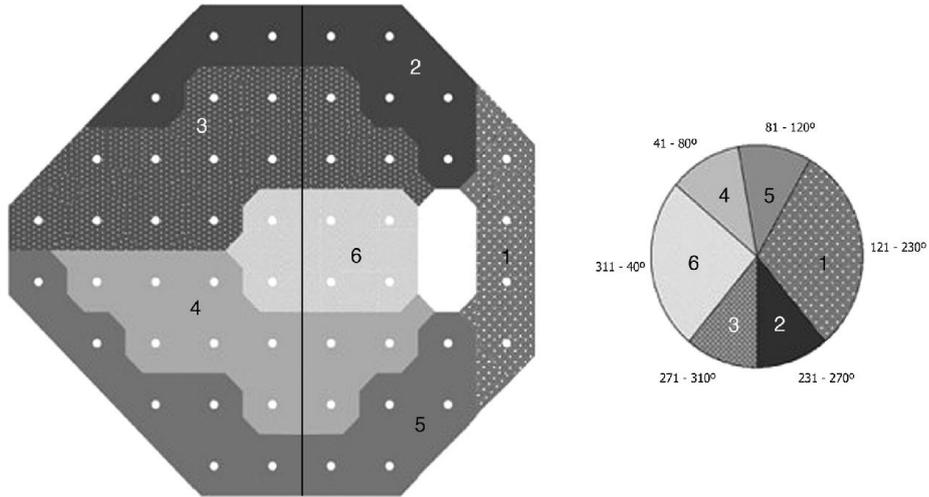


Fig 2.5: les six secteurs du champ visuel [23].

Le (DDLS) a montré une corrélation très significative avec tous les paramètres globaux et sectoriels du champ visuel CV ($r = 0.39$ to 0.62 , tout les $P_s = 0.0001$) (tableau 2.1) et avec les mesures sectorielles du rim de l'HRT ($r = -0.27$ to -0.51 , tout les $P_s = 0.006$) Ainsi, il a donné une très forte corrélation avec les paramètres régionaux supérieurs et inférieurs à partir de la HRT et CV, et non pas bien avec les paramètres temporels et nasals (tableau 2.2).

Champ visuel (Déviation Moyenne (DM))	Coefficient de corrélation (r)	de	La valeur P
Déviatoin moyenne globale	-0.62		<0.0001
Supérieur combiné (moyenne de 2+3)	-0.57		<0.0001
Supérieur (2)	-0.56		<0.0001
Nasal supérieur (3)	-0.55		<0.0001
Inferieur para-centrale (4)	-0.50		<0.0001
Inferieur combiné (moyenne de 2+3)	-0.47		<0.0001
Inferieur (5)	-0.46		<0.0001
Nasal (6)	-0.46		<0.0001
Temporel (1)	-0.39		<0.0001

Tab 2.1 : corrélation entre le score globale de (DDLS) et les paramètres globaux et sectoriels de champs visuel DM [23].

La surface de rim par HRT	Coefficient de corrélation (r)	La valeur P
Globale	-0.45	<0.0001
infer-temporel	-0.51	<0.0001
inferieur combiné	-0.46	<0.0001
supérieur combiné	-0.41	<0.0001
super-nasal	-0.37	0.0002
super-temporel	-0.36	0.0003
Infer-nasal	-0.32	0.0013
Temporel	-0.28	0.0041
Nasal	-0.27	0.0067

Tab 2.2 : Corrélation entre le score globale (DDLS) avec les paramètres globaux et sectoriels de l'HRT [23].

Le tableau (2.3) a montré une corrélation significative entre les deux seuls paramètres d'une HRT qui sont le la zone de rim et le rim volume avec les paramètres globaux de champs visuel CV MD ($r=0.35$, $P=0.0018$, $etr=0.28$, $P=0.0030$).

Les paramètres d'HRT	Coefficient de corrélation (r)	La valeur P
La surface de rim (mm ²)	0.35	0.0018
Le volume de rim (mm ³)	0.28	0.0030
La surface sectorielle croisée de RNFL (mm ²)	0.23	0.018
Le rapport (cup/disque) verticale	-0.23	0.015
L'épaisseur moyenne de RNFL (mm)	0.21	0.033
Le rapport (cup/disque) de la surface	-0.20	0.041
Le rapport (rim/disque) de la surface	0.20	0.041
La mesure de la forme du cup optique	-0.15	0.13
La surface de disque optique (mm ²)	0.13	0.19
Le rapport (cup/disque) horizontale	-0.12	0.23
La variation de l'hauteur de contour (mm)	0.11	0.26
La surface du cup (mm ²)	-0.06	0.51
La profondeur maximale du cup (mm)	0.06	0.56
Le volume du cup (mm ²)	-0.04	0.68
La profondeur moyenne du cup (mm)	-0.02	0.80

Tab 2.3 : Corrélation entre les paramètres globaux du champ visuel MD avec les paramètres globaux de l'HRT [23].

Le HRT sectorielles du rim a été corréliés fortement avec le CV sectoriels correspondants a DM dans les secteurs supérieurs et inférieurs ($r=0.35-0.46$, $P=0.0001-0.04$). Lorsque les paramètres de l'HRT ont été comparés avec les paramètres globaux de CV DM le la zone de

rim et rim volume mesurés dans les secteurs infer-temporels et combinés avec les secteurs anatomiques inférieurs ont donné les plus fortes corrélations avec les paramètres de CV DM (voir tableau 2. 4).

Les secteurs d'HRT	Les paramètres topographiques	Coefficient de corrélation (r)	La valeur P
IT	La surface de rim	0.47	<0.0001
IT+IN combiné	La surface de rim	0.41	0.0004
IT+IN combiné	La surface sectorielle croisée de RNFL	0.28	0.0098
ST	La surface de rim	0.28	0.0029
ST+SN combiné	La surface de rim	0.27	0.0049
IT+IN combiné	L'épaisseur de RNFL	0.27	0.0173
IT+IN combiné	Le volume de rim	0.26	0.0226
IT	Le volume de rim	0.26	0.0063
IN	Le volume de rim	0.22	0.0412
IN	La surface sectorielle croisée de RNFL	0.22	0.0430
IN	La surface de rim	0.21	0.032
ST	Le rapport (rim/disque) de la surface	0.20	0.038
ST	Le rapport (cup/disque) de la surface	-0.20	0.038
SN	La surface de rim	0.21	0.032
ST	Mesure de la forme du cup optique	-0.21	0.0581
Temporel	La surface sectorielle croisée de RNFL	0.20	0.0183
Temporel	L'épaisseur moyenne du RNFL	0.20	0.0294
IT	Le rapport (rim/disque) de la surface	0.19	0.043
IT	Le rapport (cup/disque) de la surface	-0.19	0.044
Nasal	Nil		

Tab 2.4 : Corrélation entre les paramètres du champ visuel de MD avec paramètres sectoriels de l'HRT [23].

Ils ont trouvés aussi que lorsque les paramètres d'HRT ont été comparés avec les secteurs inférieurs de CV MD .il y avait une forte corrélation (voir tableau 2. 5).

Les secteurs d'HRT	Les secteurs du champ visuel	Les paramètres d'HRT significatives	Coefficient de corrélation (r)	La valeur P
IT+IN combiné IT (5)	Superieur combiné (2+3) SN (3)	La surface de rim	0.45	<0.0001
		La surface de rim	0.46	<0.0001
		La surface sectorielle croisée de RNFL	0.31	0.0005
IN (4)	ST (2)	La surface de rim	0.36	0.0001
Quadrant superieur	Quadrant inferieur	Le volume de rim	0.30	0.002
		La surface de rim	0.35	0.0008
		Le volume de rim	0.27	0.001
		Mesure de la forme du cup optique	-0.22	0.0002
		Le rapport (cup/disque) de la surface	-0.25	0.0212
ST	IN (4)	La surface de rim	0.37	0.0001
		Le volume de rim	0.20	0.0631
SN	IT (5)	La surface de rim	0.46	0.0037
SN (3)	Inferieur (5)	Le volume de rim	0.22	0.0359
Nasal	Temporel (1)	La surface de rim	0.18	0.054
Temporal	Nasal para-papillaire (6)	La surface de rim	0.11	0.26

Tab 2.5 : Corrélation entre les paramètres d'HRT et les paramètres sectoriels du champ visuel [23].

En 2014, Dr Caroline Cobb [24] a décrit une la méthode (DDLs) pour déterminer la progression de la maladie de glaucome, en détailions les étapes de cette méthode pour pouvoir l'utiliser sans passer par une expérimentation.

Le glaucome est une maladie oculaire définie comme un processus dans lequel il y a une perte progressive des cellules ganglionnaires de la rétine, elle se manifeste cliniquement par une perte de tissu du bord neuro-rétinien du nerf optique. Pour la détection et la surveillance de la progression de la maladie on peut utiliser plusieurs méthodes. La méthode la plus utilisé était le rapport (cup/disque), elle se focalise sur la largeur du (cup) centrale dans les axes verticales ; elle ne prend pas en considération la taille de disque et les changements focaux observés dans la neuropathie optique glaucomateuse, de ce fait, elle peut produire des résultats erronées. En 2002 Spaeth et al ont proposés une nouvelle méthode (DDLs) qui a incorporée la notion de la taille de disque et la distance entre le (cup) et la largeur du bord neuro-rétinien de disque.

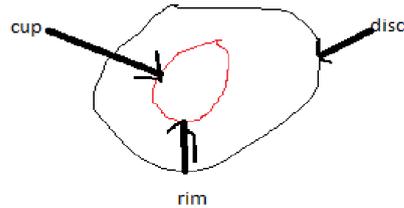


Fig 2.6 : Dessin de disque et cup optique avec le bord neuro-retinien (rim).

Ce système catégorise la taille de disque en petite (<1.5mm), moyenne (1.5-2.0mm) et large (>2.0mm), ce qui permet une bonne classification des stades de la maladie.

L'élaboration de l'échelle (DDL) passe par 3 étapes :

- D'abord il faut mesurer la taille de disque, à l'aide d'une lampe à fente et une lentille de condensation ou bien avec les techniques d'imagerie, ce qui nous intéresse c'est qu'ils mesurent le diamètre vertical de disque.
- la deuxième étape consiste à déterminer la largeur de la partie la plus mince du rim; pour ce faire il faut examiner et évaluer le rim sur toute sa circonférence pour pouvoir déterminer la partie la plus mince.
- La mesure est exprimée en rapport (rim /disque) :
- Si le rim dans le point la plus mince est absent ce qui signifie que le (cup) et le disque sont collés dans un seul point (voir figure 2.7), la valeur du rapport (rim/disque) sera égale à 0.

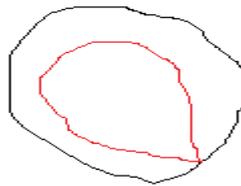


Fig 2.7 : Dessin de disque et cup optique ou (rim=0) dans un seul point.

Si le rim est absent sur une large partie de la circonférence ce signifie que le (cup) est collé au disque dans plusieurs points (voir figure 2.8), dans ce cas on mesure le rapport (rim/disque) en degrés.

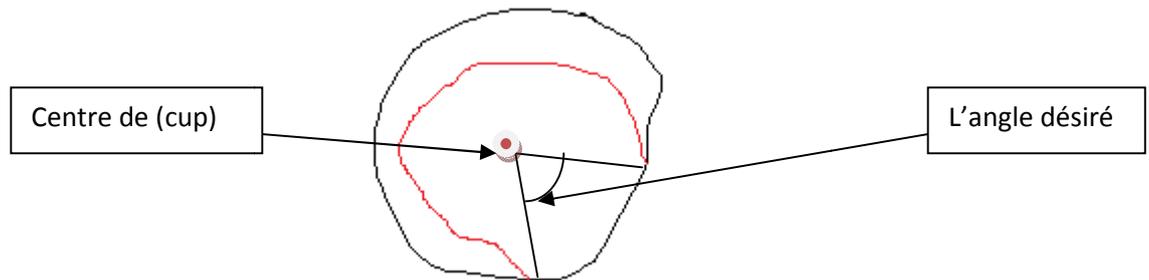


Fig 2.8 : Dessin de l'angle désiré dans le cas ou le (rim =0) dans plusieurs points.

Si le rim est le plus large possible (pas de (cup)) le rapport (rim/disque) sera égal à 0.5 [25]. Maintenant on peut appliquer la classification par (DDL) mais comme toutes méthodes l'échelle (DDL) a des limites :

- Il ne peut pas mesurer certains types de disque, tels que les disques congénitalement anormaux, les disques myopes peuvent être aussi difficiles à classer.
- Puisque le DDL est défini comme le rapport (rim/disque) si le cup représente un élargissement progressif et le rim reste constant le rapport (rim/disque) sera plus significatif.

L'échelle (DDL) reste toujours une excellente technique dans la détection et la surveillance de la progression du glaucome.

En raison des changements au niveau de la tête du nerf optique ONH et de glaucome préperimétrique, des difficultés de diagnostic sont produites. Pour cela des procédures de diagnostic ont été développées pour évaluer objectivement l'ONH, et malgré que le rapport (cup/disque) a déjà pu montrer des dommages glaucomeux de l'ONH, Drs Pahlitzsch M, Torun N, Erb C, Bruenner J, Maier AK, Gonnermann J, Bertelmann E, Klamann MKJ [26] ont fait une étude expérimentale En 2015 pour montrer l'importance de l'échelle (DDL).

Pour évaluer la corrélation entre le (DDL) mesurée objectivement par une caméra non-mydiatique fundus (nonmyd KOWA WX 3D), HRT 3, et la tomographie par cohérence optique dans le glaucome préperimétrique ; les auteurs ont analysés les informations des 125 GPAO et 30 PEX patients atteints de glaucome qui sont mesurés par les trois différentes techniques telles que :

KOWA nonmyd WX 3D fundus camera : c'est un outil indispensable dans le diagnostic et le suivi de glaucome qui permet la visualisation des contours de cup et de disque en 3D elle enregistre simultanément les deux images (stéréométriques) du disque optique, qui sont à un angle de 34° (20° * 17°) par rapport à l'autre œil, Le diamètre de la papille ne doit pas descendre au-dessous d'un diamètre minimum de 4 mm.

La tomographie par cohérence optique (SD-OCT) : elle représente un procédé d'acquisition de signal optique. Il capture micromètre résolution, des images en trois dimensions à partir de supports de diffusion optique. Octobre est une technique interférométrique utilisant une lumière proche de l'infrarouge et un spectre de longueur d'onde, ce qui permettra de pénétrer dans le milieu diffusant.

Le HRT3 (Heidelberg RetinaTomograph 3) : c'est un examen de la tête du nerf optique qui présente un grand intérêt dans l'aide au diagnostic et au suivi des patients glaucomateux ,il repose sur l'acquisition par un laser des multiples plans confocaux en partant de la profondeur de la papille et en remontant jusqu'à la surface, Les images sont construites point par point et reconstruites avec un programme de logiciel pour permettre la formation 3D des objets. Pour cette étude les auteurs ont concentrés sur quelques facteurs (cup/disque) vertical, la surface de disque, et le volume de cup).

L'échelle des probabilités de dommage de disque optique (DDL) : c'est une échelle qui comprend la taille du disque et la largeur radiale du bord neuro-rétinien (rim) pour évaluer la ONH, il divise les disques en trois tailles, petites, moyen et grand, Ce qui permet de réduire le biais de classification.

Le glaucome préperimétric : c'est la présence du glaucome chez les patients (premiers stades) sans avoir des pertes fonctionnels qu'on peut les détectés par le champ visuel (CV) [15].

Les résultats observés par les auteurs sont :

Chez les patients de GPAO : Ils ont trouvés que le rapport (cup/disque) de KOWA comparé au rapport (cup/disque) de l'HRT3 ($r = 0,641, P < 0,001$) et à le rapport (cup/disque) de l'examineur du fond de l'œil ($r = 0,578, P = 0,001$) ont montré une bonne corrélation statistiquement significative, mais le rapport (cup/disque) de l'HRT3 par rapport au rapport

(cup/disque) de l'examineur du fond d'œil a montré une faible corrélation ($r = 0,390$, $P = 0,001$).

Chez les patients atteints de glaucome PEX : Ils ont trouvés que le rapport (cup/disque) de KOWA et le rapport (cup/disque) de l'examineur du fond de l'œil par rapport au rapport (cup/disque) de l' HRT3 n'a pas montré une corrélation statistiquement significative ($r = -0,029$, $P = 0,950$)($r = -0,310$, $P = 0,455$), plus le rapport (cup/disque) de l'KOWA par rapport au rapport (cup/disque) de l'examineur ($r = 0,369$, $P = 0,084$).

Dans le cas de GPAO :

Pour le diagnostic 1 : une corrélation significative a été démontrée entre le (DDL) et l'analyse de régression de Moorfields ($P = 0,022$), alors que l'analyse du système GPS (glaucoma probability scores) ($P = 0,624$) et la couche des fibres optiques ($P = 0,329$) n'a pas montré une corrélation significative.

Pour le diagnostic 2 : le (DDL) n'a pas une corrélation significative avec MRA ($P = 0,190$), aussi avec l'analyse GPS ($P = 0,234$) ou RNFL ($P = 0,814$).

Dans le cas de pseudo exfoliation glaucome : le (DDL) n'a pas de corrélation significative avec HRT3 et l'OCT.

En ce qui concerne la zone sous la courbe de la puissance prédictive (ROC) la plus élevée a été démontrée objectivement par le (DDL) (0,513 à 0,824) par rapport à Burk (0,239 à 0,343) et MIKELBERG (0.093-0.270) coefficients.

En 2016, Yasushi Kitaoka, MasakiTanito, YuYokoyama, Koji Nitta, Maki Katai, KazukoOmodaka, ToruNakazawa [27] ont fait aussi une étude expérimentale pour évaluer les différents paramètres morphologiques de la tête du nerf optique (optic nerve head ONH, appelée également papille optique) pour estimer l'échelle (DDL).

Il s'agit d'une étude expérimentale (Glaucoma Stereo Analysis Study (GSAS)) transversale, multicentrique et collaborative, le GSAS a démontré que des associations négatives significatives ont été observées entre le rapport vertical (cup/disque) et la moyenne de l'écart du champ visuel (MD) (l'indice de déviation moyenne, MD présente un taux de progression variant de zéro à $-2,5$ dB/an en fonction de la sévérité du glaucome, du

traitement et de l'échantillon des patients analysés. L'analyse de tendance prend plus de temps et nécessite [28]), et entre l'angle inclinée du disque et l'erreur de réfraction (myope).

Pour cela ils ont utilisé la technique d'imagerie stéréo Fondus (nonmyd WX) pour évaluer les différents paramètres morphologiques de la papille optique (ONH) chez l'ensemble des patients japonais qui atteints de glaucome aussi ils ont examinés le champ visuel avec l'analyseur de champ visuel Humphrey (HVF) qui fait l'inclusion de sept différents critères supplémentaires.

Enfin, ils ont examinés les associations entre l'échelle de probabilité de dommages aux disques optique (DDLs) et un autre système pour estimer les dommages glaucomateux de l'ONH, et estimer chaque paramètre.

Les paramètres ONH sont :

Le rapport (cup/disque) vertical, le rapport (cup/disque) horizontal, le rapport (rim/disque) minimale , le rapport supérieur (rim/disque) minimale , l'angle du rapport supérieur (rim/disque) minimale, le rapport inférieur (rim/disque) minimal , la largeur supérieure de rim, la largeur inférieure du rim , la zone du rim, la zone du rapport (cup/disque), la zone du rapport (rim/disque) .

Ils ont trouvés qu'il y avait une corrélation positive significative entre le stade (DDLs) et la ligne de base (c'est la moyenne de la pression intra oculaire de 3 visites tant qu'en fixant un traitement oculaire thérapeutique avant le traitement SLT) [28] et une forte corrélation entre le (DDLs) et le rapport vertical (cup/disque) et positivement avec le rapport horizontal (cup/disque) car le (DDLs) est basée sur la largeur du bord neuro-rétinien (neuronal rim) ou sur la circonférence étendue de l'absence du bord neuro-rétinien (neuronal rim) .

Également le stade (DDLs) était inversement (négativement) corrélé d'une manière significative avec la déviation moyenne (MD) et corrélé positivement avec PSD (visual field pattern standard deviation) qui fournit des informations sur perte localisée.

Le stade (DDLs) moyen dans le type de myope glaucomateux a une tendance à être plus élevé que les scores dans les autres types (ischémique focal, sénile sclérotique et sénile généralisé).

En octobre 2016 , Drs Zhang, Alice Y. BS; Lu, Lan MD; Ali, Mohsin MD; Rutnin, Nont MD; Faria, Bruno M. MD; Guzel, Huseyin MD; Liang, Liang MD; Martinez, Patricia MD; Tawfik, Mike MD; Spaeth, George L. MD [30] ont fait une étude pour s'il existe des liens entre le montant de l'asymétrie clinique et l'incidence des DPAR positive.

La présence d'un déficit pupillaire afférent relatif DPAR (appelé aussi signe de Marcus Gunn) signifie qu'il existe une différence entre les deux yeux au niveau de la voie afférente (La voie afférente désigne le message (ou influx nerveux) envoyé au cerveau par la pupille de l'œil éclairé, le long du nerf optique), en raison d'une affection de la rétine ou du nerf optique [31] , la DPAR est en corrélation avec la perte de cellules ganglionnaires estimée, perte de la couche des fibres nerveuses rétiniennes, dommages au nerf optique et une perte du champ visuel . Ainsi, La présence d'un DPAR peut être utilisée pour contrôler les maladies asymétriques impliquant la rétine et/ou le nerf optique tel que le glaucome , dans cet article les chercheurs avait comme but de déterminer s'il existe des liens entre le montant de l'asymétrie clinique et l'incidence des DPAR positive. Pour ce la ils ont utilisé Les données de 672 patients consécutifs qui ont été suivies à Service de glaucome Wills Eye Hospital, ils ont choisis les malades glaucomateux et les malades suspect du glaucome, Les données recueillies comprennent des données démographiques, la présence d'un RAPD évalués par la méthode lampe oscillante (GDF) ou test lampe oscillante (SFT), ils ont collecté les paramètres de l'acuité visuelle (AV), la pression intraoculaire (PIO), DDLS, le rapport (cup/disque), et la déviation moyenne de champs visuel MD.

Les relations sont évaluées par régression logistique et le récepteur (ROC). Puis ils ont imposé certain critère pour choisi les malade Approprié pour cette étude. Après l'application de ces critères ils ont gardée que certains patients ou 409, 175 (42,8 %) patients avaient une DPAR et 234 (57,2 %) n'avait pas de DPAR, puis ils ont fait des statistiques descriptives des paramètres cliniques continue ou ils ont calculé la moyenne et la médiane des variables pour les personnes qui ont un DPAR et ceux qui sont sains ,ainsi que des valeurs p pour tester les différences entre les groupes des malades DPAR et non DPAR, ils ont calculé des séries de régressions logistiques uni variable entre chaque paramètre clinique et DPAR, ils ont calculé

l'odds ratio et les C_statistiques pour les variables.les résultats sont regrouper dans les tableaux si dessous .

Variable	N	(SD) moyenne	Median (range)	Odds Ratio (95% CI)	P	C_statistiques (La surface sous le courbe ROC)
Age (y)	409	(16.0) 68.1	70 (15-98)	1.01 (1-1.03)	0.0290	0.560
Asymetrie de l'acuité visuelle (logMAR)	407	(0.46) 0.22	0.079 (0-2.5)	50.29 (2.61-10.74)	<0.0001	0.65
PIO asymétrie (mm Hg)	405	(4.07) 2.96	2 (0-26)	1.12 (1.06-1.19)	0.0002	0.63
DDSL asymétrie	345	(1.59) 1.31	1 (0-9)	1.91 (1.55-2.35)	<0.0001	0.69
Le rapport(C/D) asymétrie >=0.15	173	(0.34) 0.18	0.1 (0-3)	2.30 (1.21-4.34)	0.0110	0.59
DM asymétrie (dB)						
OCT asymétrie (um)*	213	(3.38) 2.84	1.4 (0-17.9)	1.27 (1.14-1.41)	<0.0001	0.67
HRT (C/D) asymétrie *10	24	(10.78) 10.12	7.5 (0-50)	1.18 (0.99-1.41)	0.0660	0.78
HRT la forme asymétrie de cup *10	58	(1.18) 1.06	0.6 (0-5.4)	1.97 (1.16-3.36)	0.0130	0.75
	58	(1.27) 0.86	0.6 (0-9.4)	1.96 (0.74-5.16)	0.1700	0.63
HRT asymétrie de la surface de rim (mm ²)	58	(0.32) 0.31	0.19 (0.01-1.48)	10.2 (1.44-72.7)	0.0200	0.75
HRT asymétrie du volume de rim (mm ³)	58	(4.78) 0.77	0.1 (0-36.56)	0.92 (0.56-1.51)	0.7400	0.73

Tab 2.6 : Analyse de régression logistique uni-variable des paramètres cliniques significatifs prédisant un défaut relatif pupillaire afférente [30].

Variable	RAPD=Non			RAPD= Oui			
	N	(SD) moyenne	Median (range)	N	(SD) moyenne	Median (range)	P
Age (y)	234	(16.5) 66.6	68 (15-98)	175	(15.2) 70.1	1.01 (1-1.03)	0.028+
Asymetrie de l'acuité visuelle (logMAR)	232	(0.24) 0.11	0 (0-1.80)	175	(0.61) 0.37	50.29 (2.61-10.74)	<0.001+
PIO asymétrie (mm Hg)	230	(3.23) 2.24	1(0-24)	175	(4.81) 3.92	1.12 (1.06-1.19)	<0.001+
DDSL asymétrie	196	(0.89) 0.79	1 (0-5)	149	(2.01) 2	1.91 (1.55-2.35)	<0.001+
Le rapport(C/D) asymétrie >=0.15	91	(0.39) 0.16	0.1 (0-3)	82	(0.28) 0.20	2.30 (1.21-4.34)	0.009+
DM asymétrie (dB)	138	(2.36) 1.97	1.2 (0-17.9)	75	(4.29) 4.45	1.27 (1.14-1.41)	<0.001+
OCT asymétrie (um)*	15	(5.15) 6.27	5 (0-19)	9	(14.60) 16.55	1.18 (0.99-1.41)	0.021+
HRT (C/D) asymétrie *10	46	(0.10) 0.084	0.05 (0-0.34)	12	(0.16) 0.19	1.97 (1.16-3.36)	0.008+
HRT la forme asymétrie de cup *10	46	(0.05) 0.067	0.05 (0-0.22)	12	(0.25) 0.16	1.96 (0.74-5.16)	0.175+
HRT asymétrie de la surface de rim (mm ²)	46	(0.27) 0.26	0.14 (0.01-1.16)	12	(0.41) 0.52	10.2 (1.44-72.7)	0.007+
HRT asymétrie du volume de rim (mm ³)	46	(0.20) 0.14	0.08 (0-0.99)	12	(0.15) 0.18	0.92 (0.56-1.51)	0.094+

Tab 2.7 : Association de parenté afférente pupillaire (RAPD) avec les variables continues

[30].

Régression logistique : La régression logistique est une technique prédictive. Elle vise à construire un modèle permettant de prédire / expliquer les valeurs prises par une variable cible qualitative à partir d'un ensemble de variables explicatives quantitatives ou qualitatives [32].

L'odds ratio : (dont une traduction littérale en français peut être « rapport des cotes ») est le rapport de l'odds de l'événement dans le groupe traité divisé par l'odds de l'événement dans le groupe contrôle. L'odds est égale à $c = r / (1 - r)$ où r est la fréquence de l'événement. Ainsi un odds est le rapport du nombre de patients présentant l'événement, $r \times n$, divisé par le nombre de patients ne présentant pas l'événement, $(1-r) \times n$ [33].

Les valeurs de p : sont souvent utilisées dans les tests d'hypothèse, dans lesquels vous décidez ou non de rejeter une hypothèse nulle [34].

Le C-statistique : est une mesure de la qualité de l'ajustement pour les résultats dans un modèle de régression logistique. Dans les études cliniques, la C-donne la probabilité statistique d'un patients choisis au hasard, qui ont vécu un événement (avaient un risque plus élevé que d'un patient qui n'avait pas connu l'événement) [35].

D'après (tableau 2.6) et (tableau 2.7) :

- L'âge est un facteur très émouvant pour DPAR.
- Les valeurs moyennes indiquant une plus grande asymétrie était systématiquement plus élevé pour les individus avec un DPAR.
- L'âge, le champ visuel, PIO, DDLS, MD et asymétries périmétrie sont tous des paramètres significatifs indicatif d'un DPAR en fonction de leurs odds ratio.
- Le DDLS a eu l'odds ratio le plus élevé, ce qui implique une relation plus forte à la pathologie sous-présentation DPAR.
- la moyenne C/D Ratio d'asymétries entre les patients avec un RAPD et les patients sans RAPD ont été statistiquement différentes ($P = 0,009$), à l'analyse uni variée ,asymétrie C/D n'était pas corrélée avec la présence d'un des marqueurs DPAR ($P = 0,38$), Bien que les C/D sont largement utilisés comme un indicateur clinique des lésions du nerf optique, C/D ne tiennent pas compte de la taille du disque optique ni l'excentricité du cup du nerf optique. Par

conséquent, dans certains cas, C/D peut ne pas refléter avec exactitude la pathologie oculaire qui provoquerait un DPAR.

	RAPD=non n(%)	RAPD=oui n(%)	P
Sexe*			
Femelle	153 (65.4)	96 (54.9)	0.031
Male	81 (34.6)	79(45.1)	
Race*			
Blanc	186 (79.5)	134 (76.7)	0.477
Africain	15 (6.4)	13 (7.4)	
Américain			
Espagnol	2 (0.9)	0 (0)	
Asien	6 (2.6)	6 (3.4)	
Autre	25 (10.7)	22 (12.6)	

Tab 2.8 : Association de parenté afférente pupillaire (RAPD) avec les variables catégoriels [30].

D'après le tableau 2.8 :

- Les femmes sont plus vulnérables à la maladie par rapport aux hommes.
- Les africain et les blanc sont plus vulnérables a la maladie par rapport aux autre races.

Variable	Odds Ratio	P	C-statistique (la surface sous la courbe ROC)
Age (y)	0.99	0.300	0.76
Asymetrie de l'acuité visuelle (logMAR)	5.66	0.110	
PIO asymetrie (mm Hg)	1.12	0.037	
DDLS asymetrie	1.42	0.019	
DM asymetrie (dB)	1.17	0.011	

Tab 2.9 : Analyse de régression logistique multi-variable des paramètres cliniques significatifs prédisant un défaut pupillaire relatif afférente [30].

D'après le tableau 2.9 :

- Il n'ya pas une valeur exact de PIO ou de MD a partir de laquelle on peut confirmer qu'il y'a ou il n'ya pas un DPAR.

- Il y a une relation plus forte entre la gravité de la DDLS et la présence d'un RAPD en comparaison avec les autres paramètres.

Variable	Valeur de coupure	Sensibilité	spécificité	Valeurs de RPAD positif
PIO asymetrie	2	0.4942	0.7336	24 (2 patients)
DDLS asymetrie	2	0.4765	0.8622	5 (9 patients)
MD asymetrie	209	0.5616	0.7813	0*
Score combiné	-0.84	0.7031	0.6870	2.39 (6 patients)

Tab 2.10 : Le point de coupure optimal pour les variables cliniques significatives par rapport au défaut pupillaire afférent relatif [30].

D'après le tableau 2.10 :

- DDLS a le taux de spécificité le plus élevé donc il est le plus précis pour la détection de DPAR.
- La formule de score combiné est moins performante que DDLS.

Selon les résultats obtenue dans cette étude la pression intraoculaire, DDLS, DM sont tous en corrélation donc l'augmentation de leur asymétrie conduit a la présence de DPAR mais il confirme aussi que parmi ces paramètre le DDLS est le plus performant pour la détection de DPAR a la présence ou a l'absence de glaucome.

En 2016, Chandra A, Bandyopadhyay AK, Bhaduri G [36] ont comparées entre deux méthodes d'évaluation de nerf optique en passant par une expérimentation et en disque autant les résultats de l'expérimentation pour mètre en avant la meilleur technique.

Les chercheurs on propose un ensembles d'examens pour déterminer la corrélation entre le rapport (cup /disque) et le (DDLS) avec la couche de fibres nerveuses rétiniennes (RNFL) et les indices analyseurs (MD) et (PSD) de champ Humphrey II (HFA II) ,pour cela ils ont examinées 50 ou 44 étaient diagnostiquer de glaucome et 6 qui reste étaient des cas normaux, le diagnostic est basé sue une évaluation clinique complète, ils ont spécifiés des critères d'inclusion et des critères d'exclusion pour le choix des malades, ils ont classé les patients comme glaucomateux et normaux selon certains critères le tableau suivant récapitules les critères de classification glaucomateux ou non :

Les yeux normaux	Les yeux glaucomateux
<ul style="list-style-type: none"> • Sans antécédents familiaux de Glaucome chez les ancêtres de premier degré. • Aucune histoire avec la chirurgie intraoculaire. • Aucune caractéristique pathologique rétinienne. • La correction de l'acuité visuelle normale de 20/40 ou mieux avec Erreur de réfraction entre +3.00 D et -6.00 D • Apparition normale La tête du nerf optique et les tests VF (champ visuelle) normaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les résultats de champs visuels anormaux • Avec Neuropathie optique glaucomateuse. • L'amincissement de rim. • Asymétrie entre les yeux de 0.2 • Entaillage et excavation ou des imperfections de RNFL.

Tab 2.11 : Les critères de classification des yeux normaux et glaucomateux [36].

Deux spécialistes du glaucome ont évalué indépendamment le disque optique des patient et déterminer le rapport (cup/disque) et le score (DDLs) Les lectures ont été répétées à deux reprises dans un intervalle De deux semaines.

Les champs visuelles était effectuée avec la norme SITA 24-2 et la enregistré (MD) et(PSD) étaient enregistré.

Chaque œil a été examiné avec OCT 3000 Version 4.0.2 Carl Zeiss en utilisant le protocole RNFL rapide Le deuxième jour de l'examen. Les coefficients de corrélation de Pearson sont réalisés en utilisant le SPSS 14.0 Windows. Les corrélations sont comparées par des Tests normaux. Les chercheurs ont utilisé les coefficients de pearson pour les combinaisons suivantes :

(cup/disque)Versus MD, (cup/disque) versus PSD, (cup/disque) versus RNFL moyenne épaisseur, (DDLs) versus MD, (DDLs) versus PSD et (DDLs) versus RNFL moyenne épaisseur (voir tableau 2.12), ils ont utilisé test standard normalisé à l'aide du logiciel disponible sur Internet (SISA) pour déterminera si la différence dans la corrélation entre les paires est significatives ou non significatives (voir tableau 2.13).

Paramètres comparatifs	Coefficient de Pearson	type de relation
C/D MD	0.617829	Fort positif
C/D PSD	0.49484	Faible positif
C/D avg RNFL	0.58918	Faible négatif
DDLS MD	0.74576	Très fort positif
DDLS PSD	0.45896	Faible positif
DDLS avg RNFL	-0.8472	Très fort négatif

Tab 2.12: La force de corrélation entre différents paramètres [36].

Corrélation	95 % CI	r1-r2	La valeur P	Signification
C/D.DDLS MD	-0.539871 -0.193714	-0.0878	0.15893	P>0.05
C/D .DDLS PSD	-0.401617 -0.358001	-0.0189	0.45031	P>0.05
C/D .DDLS avg RNFL	-0.702749 -0.072418	-0.2089	0.0103	P>0.05

Tab 2.13: Résumé des paramètres des coefficients de corrélation (La valeur P et l'intervalle de confiance) [36].

Le coefficient de corrélation linéaire de Bravais-Pearson : Ce coefficient permet de détecter la présence ou l'absence d'une **relation linéaire** entre deux caractères quantitatifs continus [34].

A partir de résultats on observe qu'il ya une forte corrélation positive trouvé entre (DDLS) et MD et une forte corrélation négatif avec le RNFL épaisseur en comparant avec le rapport (cup/disque); les grands disques Qui sont susceptibles d'avoir un rapport (cup/disque) plus élevé (mais qui peuvent avoir un normale Rim) sont plus susceptibles d'être classées comme glaucomateuses Tandis que le faible rapport (cup/disque) est plus susceptible d'être classé comme normal mais ils peuvent t être glaucomateuses.

En suite les recherches de Caprioli et al [37] ont démontré que la zone de bord neuro-rétinien corrèle plus fortement avec l'endommagement de champs visuel par rapport au rapport (cup/disque) et au cup volume. Ils sont trouvé dans cette étude que le (DDLS) possède une forte corrélation avec le MD par rapport au rapport (cup/disque), les travaux d'autres chercheurs confirmes les résultats de cette expérimentation ; par ces expériences ils

ont prouvé que le système de classement (DDLS) est plus performant que le rapport (CUP/DISQUE) comme une approche clinique pour l'évaluation de disque optique.

Cette étude vise à trouver si la perte structurelle du protocole d'épaisseur RNFL rapide de Stratus OCT était mieux corrélée avec le classement (DDLS) que le rapport (cup/disque). Nous avons trouvé une différence entre les corrélations, ces différences prouvant l'échelle (DDLS) supérieure au rapport dans la documentation des dommages structurels.

On peut sortir avec une comparaison de 2 méthodes l'échelle (DDLS) et le rapport (cup/disque)

Le rapport (cup/disque) :

- Ne prend pas en considération le diamètre de disque optique.
- Ne décrit pas directement les changements focaux de rim neuro-rétinien.
- Corrélation faible avec le champ visuel par rapport aux (DDLS).
- Corrélation faible avec le RNFL.

L'échelle (DDLS) :

- Intégré la taille de disque pour faire une classification de disque.
- Intégré la largeur de rim.
- Calcule le rapport (rim/disque) pour faire une classification finale de disque.
- L'échelle contient 10 stades de la maladie ce qui lui rend plus significative.
- Forte corrélation avec les champs visuels par rapport au rapport (cup/disque).
- Forte corrélation avec le RNFL.
- Super instrument pour la documentation des dommages structurels.
- plus performant que le rapport (cup/disque) comme une approche clinique pour l'évaluation de disque optique.

Donc on peut dire que l'échelle (DDLS) est très performante dans la détection de glaucome, la documentation des dommages structurels donc dans la poursuite de progression de la maladie.

George L Spaeth et Aneel Paulus [38] nous introduisent une nouvelle méthode pour le diagnostic des patients glaucomateux et les patients suspects de glaucome c'est le "the colored glaucoma graph " ; c'est un outil extrêmement pertinent pour diagnostiquer les malades glaucomateux et les malades suspects de glaucomes ce graphe fournit des informations sur le stade existant de la maladie et les changements de ce stade dans le temps, ces informations sont essentielles pour plusieurs raisons : elles permettent de donner au patient le traitement approprié, et elles permettent de lui donner des explications systématique, scientifique et quantitative de comportement de la maladie.

Ce graphe est composé de deux axes, l'axe des X représente le temps de progression de la maladie donc l'âge et puisque les symptômes de la maladie n'apparaissent qu'aux derniers stades l'axe des Y était très difficile à représenter, les chercheurs étaient incertains dans le choix de la mesure la plus représentative de stade existant et de changement de la maladie.

Le tableau suivant va récapituler les différentes mesures :

La mesure	Explication
Le champ visuel	<ul style="list-style-type: none"> • C'est une mesure très utilisée vu son importance dans l'évaluation des fonctionnalités visuelles des patients elle a devenu la méthode standard pour estimer la progression de la maladie dans le temps. • les chercheurs ont développé une méthode pour quantifier la quantité des changements dans le champ visuel • tandis que la vitesse de changement elle est la plus importante (Caprioli et ses collègues) [39]. • donc elle reste quasiment significative.
La pression intraoculaire PIO	<ul style="list-style-type: none"> • Facile à mesurer • Mais le glaucome n'est pas une augmentation d'IOP. • L'augmentation d'IOP n'est pas un vrai indicateur de glaucome mais elle est plus un risque de glaucome.
Les cellules ganglionnaires	<ul style="list-style-type: none"> • La mesure la plus significative mais elle n'est faisable actuellement.
Les facteurs de risques	<ul style="list-style-type: none"> • Ce sont des prédicteurs utilisés pour estimer précisément les effets futurs de glaucome les plus valides sont : • Le dommage actuel. • La vitesse de changement de dommage. • La pression intraoculaire. • La pression intraoculaire au-dessus de 40 mmHg • Mais le modèle basé sur ces prédicteurs est fortement suspect.

L'invalidité	<ul style="list-style-type: none"> • Cette mesure est incapable de détecter les premiers stades de glaucome.
Les indicateurs de la qualité de vie	<ul style="list-style-type: none"> • On ne peut pas les utiliser dans les premiers stades de la maladie. • Variable d'une personne à un autre est influencé par la personnalité du patient et autres facteurs subjectives. • Donc c'est une mesure invalide.
Le rapport (cup/disque)	<ul style="list-style-type: none"> • Devenu la méthode standard pour quantifier les changements de disque optique. • Une pauvre corrélation entre le glaucome et la sévérité de glaucome. • Bien documenté la quantité relative aux changements. • Il ne peut pas diagnostiquer ou bien corrélé avec la perte de champ visuel. • Peut être satisfaisant avec certain malades. • Il est invalide pour évaluer le disque optique pour diagnostiquer ou pour quantifier le dommage.
DDLS	<ul style="list-style-type: none"> • Considérer la taille de disque optique. • Considérer la position de cup. • Considérer la largeur de rim ou bien quantifier l'angle de l'absence de rim. • Valide pour mesurer la perte dans le champ visuel. • Il est reproductible. • Il est plus fiable que HRT. • Il est incapable de gradue les disques anormaux et les disques myopes. • L'Ophtalmoscope Disponible et n'est pas coûteux. • Donc c'est la mesure parfaite utilisé dans l'axe des Y.
Outils d'analyse des images topographiques	<ul style="list-style-type: none"> • Utile pour la mesure de dommages dans le nombre des cellules ganglionnaires que le DDLS. • Trop chère et difficile à entretenir.

Tab 2.14 : Explication des différentes mesures présentées par le graphe coloré de glaucome (The colored glaucoma graph) [38].

Ce graphe est utilisé cliniquement pour renforcer la relation médecin_patient, il est considéré comme un pas en avant à partir de "the non-colored glaucoma", l'attribution des couleurs joue un grand rôle pour attirer l'attention du patient. Le graphe utilise trois couleurs pour permettre aux patients de distinguer entre les stades fondamentaux :

Le vert : pas de danger, **le jaune**: prenez votre attention, **le rouge** : vous êtes en danger.

- Il est imprimé et donné aux patients à partir de la première visite ; il représente le stade actuel de la maladie et les futures progressions de la maladie, comme on a dit

précédemment l'axe des Y représente le (DDL) en 10 stades ; et l'axe horizontale représente l'âge du patient de sa naissance à son décès (l'âge de décès est calculé proportionnellement à l'aide de certains critères).

- Ce graphe doit être actualisé dans les prochaines visites.
- il peut prendre plusieurs formes : linéaire, concave, convexe....etc.
- Il ne prend pas en considération les changements d'une unité (DDL) parce qu'ils ne sont pas toujours significatifs.
- Il calcule la progression de la maladie en prend compte le stade actuel; les années restantes ; les facteurs qui affectent la vie de patient.

“The colored glaucoma graph ” sert comme un guide pour le diagnostic et la consultation des malades glaucomateux, sa simplicité et son explicité permettent aux patients de prendre soin de soi-même.

Avantage de “The colored glaucoma graph ” :

- Donne l'opportunité aux médecins et aux malades pour la détection précoce de la maladie.
- Tracer les changements antérieurs dans le temps suffisant pour que la maladie effectue des dommages fonctionnels.
- Permettre de tracer le taux de changement de la maladie.
- la durée de la maladie est mieux représentée.
- Aide le patient à comprendre sa maladie d'une manière précise.
- Évoque une réaction primitive aux couleurs.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents travaux reportés dans la littérature pour le diagnostic de glaucome en utilisant l'échelle (DDL), dans le chapitre suivant nous allons proposer un algorithme qui va automatiser les étapes de l'échelle (DDL).

Chapitre 3 :

Méthodes et résultats

1. Introduction

L'objectif de ce travail est de proposer un système d'aide au diagnostic médical pour la classification des différents stades de glaucome. Pour cela nous avons procédé en deux étapes : la segmentation de disque et cup optique puis la classification en utilisant l'échelle des probabilités de dommages de disque optique (DDLS).

Dans ce chapitre, nous présentons les méthodes utilisées dans ce travail. Nous exposons aussi les résultats de segmentation ainsi que les résultats de classification.

2. Description de la base de données Base-Rim

RIM-ONE release c'est la troisième version de la base de données RIM-ONE. C'est une base de données d'images rétinienne du fond d'œil, qui porte exclusivement sur la segmentation du nerf optique (ONH). La base de données est composée de 159 images du fond d'œil, ces images sont segmentées de manière manuelle par deux différents experts en ophtalmologie pour générer les images de réalité terrain. La segmentation moyenne est également disponible comme segmentation de référence.

Ces images du fond d'œil ont été capturées à partir de différentes sources médicales dans trois hôpitaux espagnols (hospital universitario de canarias, hospital clinico san carlos et l'hospital universitario miguel servet).

La compilation des images provenant de différentes sources médicales garantit l'acquisition d'un ensemble d'images représentant et hétérogène. Les différentes catégories [40]:

- 39 images de patients glaucomateux.
- 35 images de patients avec un glaucome suspect.
- 85 images de patients non-glaucomateux.

3. Méthodes de travail

Notre travail est basé sur les étapes suivantes :

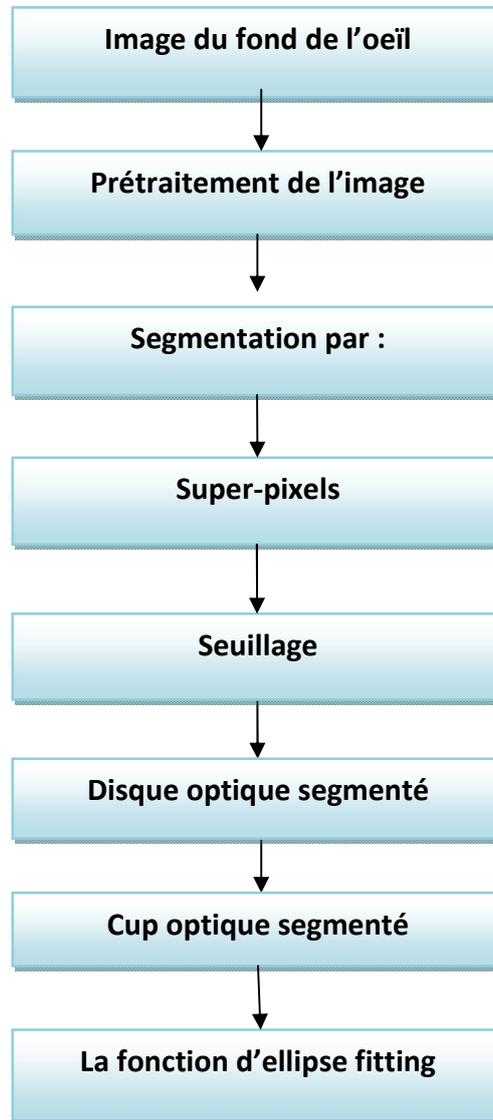


Fig 3.1: Les étapes de segmentation des stades images.

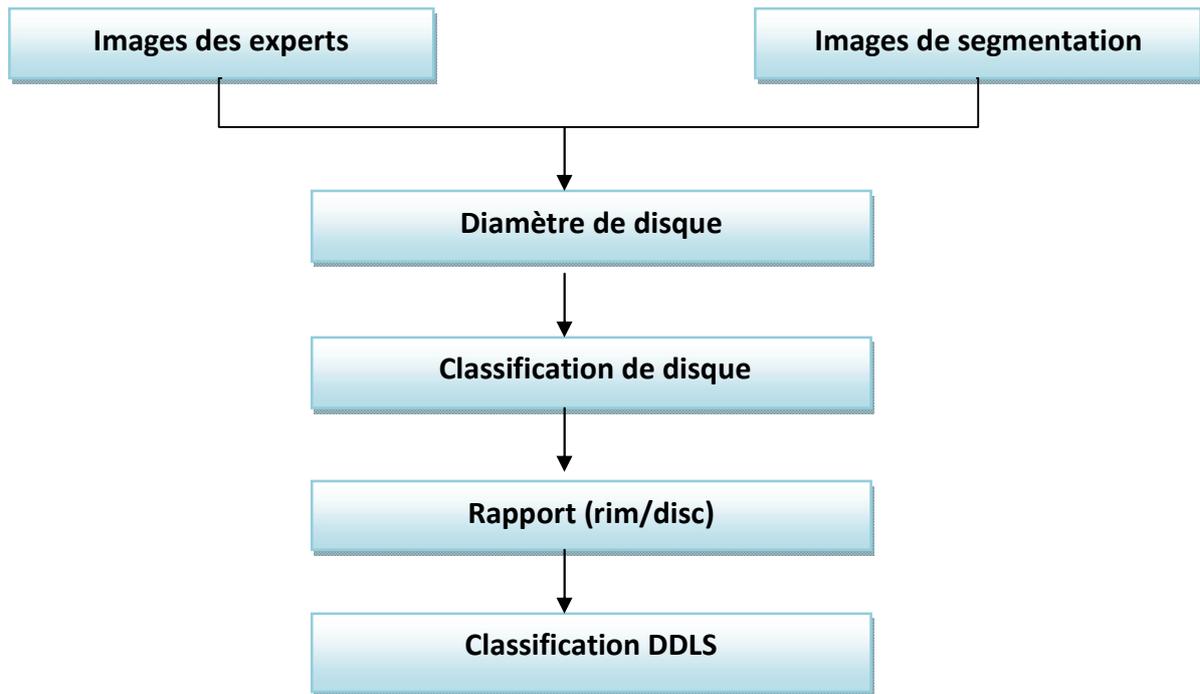


Fig 3.2 : Les étapes de classification des stades de glaucome selon l'échelle DDLS.

3.1 Le prétraitement des images

Le prétraitement des images regroupe les techniques de l'amélioration des images telles que l'amélioration de contraste et l'élimination de bruit.

Dans cette phase nous avons représenté l'image dans l'espace couleur RVB pour étudier chaque canal séparément afin d'améliorer le contraste de l'image.

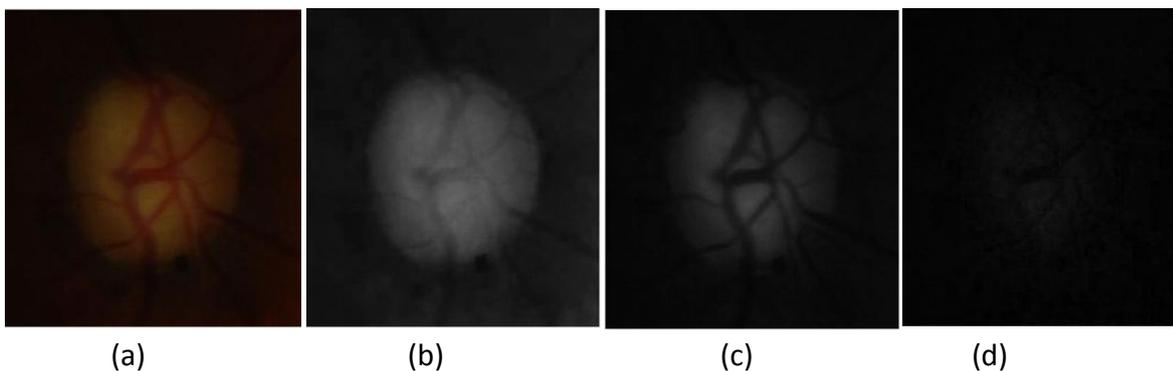


Fig 3. 3: Représentation de l'image couleur dans l'espace RVB ; (a) image couleur ; (b) : le canal rouge ; (c) : le canal vert ; (d) : le canal bleu.

Dans le canal rouge (voir figure3.4), le disque optique apparaisse clairement dans l'image et les vaisseaux rétiniens apparaissent très flous ce nous aide a la segmentation de disque t de cup optique c'est le rouge qui donne le meilleur résultat au niveau du contraste de disque et de cup optique; alors que dans le canal vert (voir figure3.c) ; les vaisseaux rétiniens apparaissent comme les plus contrastés, ce qui pose un problème pour nous au niveau de segmentation de disque et de cup optique, Cependant, le canal bleu (voir figure3.d) contient très peu d'information et de plus, il est très bruité donc elle n'est considéré comme choix pour nous, puis on appliquer un filtre morphologique (fermeture morphologique) pour qu'on puisse éliminer les partie de réseaux vasculaire dans l'image [2].

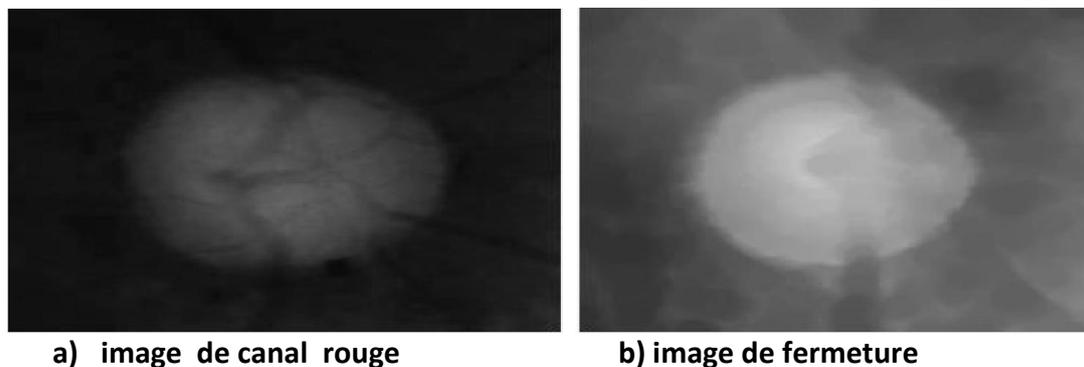


Fig 3.4: Fermeture de l'image.

3.2 La segmentation

Les outils de segmentation proposent des méthodes d'extraction des objets à partir d'images ; ces objets sont des pixels adjacents qui présentent des caractéristiques spectrales similaires qui sont regroupés dans une région de l'image bien que le diagnostic de cette maladie nécessite l'extraction de deux caractéristiques savoir le disque et le cup optique.

Notre segmentation est basée sur la méthode du seuillage avec l'utilisation de la fonction super-pixel qui sert à réduire la complexité de la segmentation.

L'algorithme **SLIC** permet de segmenter l'image en K régions appelés super-pixels en fonction du contenu de l'image et très utile pour la détection d'objets, pour découper des images et alléger la quantité de données a traiter. Plutôt que de faire une simple décimation

sur l'image pour diminuer la quantité d'information, segmenter en super-pixels permet d'avoir un ensemble de régions d'intérêts à traiter, sans pour autant diminuer la quantité d'information brute dans l'image [41].

L'algorithme peut se résumer avec les étapes suivantes :

- 1) Initialisation des centres des super-pixels. Les centres sont équidistants (distance S) et sont en 5 dimensions (x, y, L, a, b) pour leur coordonnées spatiales et la couleur du pixel dans l'espace LAB.
- 2) Initialisation de la carte des super-pixels et de la carte des distances. Les distances sont initialisées à l'infini et les pixels sont attribués au super-pixel 0.
Pour chaque centre, on calcule la distance des pixels se trouvant dans un rayon de $2S$ au centre. Si la distance est plus petite que celle en mémoire pour le pixel, elle est modifiée en mémoire et le pixel fait maintenant partie du pixel.
- 3) Les positions des centres des super-pixels sont mise à jour selon la valeur moyenne de tous les pixels du super-pixel.
- 4) Les étapes 2 et 3 sont re-effectuées jusqu'à ce que l'algorithme converge, c'est à dire que le déplacement moyen des centres entre deux itérations soit plus petit qu'un certain seuil [41].

3.2.1 Segmentation du disque et cup optique :

La segmentation et la localisation du disque et cup optique est une importante étape pour le diagnostic de glaucome. Pour cela nous allons utiliser essentiellement le seuillage, La morphologie mathématique et la fonction d'fit-ellipse.

3.2.1.1 Le seuillage :

Le seuillage c'est la méthode utilisée dans cette étude, elle consiste à déterminer un seuil une fois qu'on aura l'histogramme de l'image pour extraire les objets qui se différencient de l'arrière-fond ; c'est le procédé de segmentation le plus simple. La seule difficulté réside dans l'éclairage non uniforme de la scène, ce qui est très courant en pratique [42].

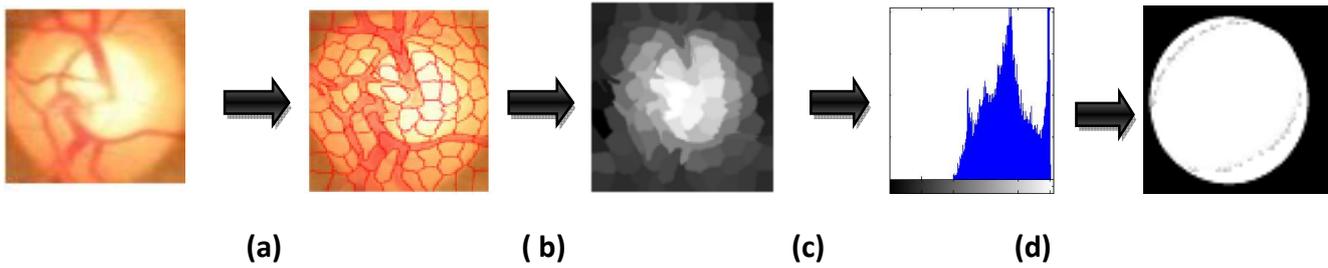


Fig 3.5 : Segmentation de disque optique basée sur la méthode de seuillage ; (a):Génération de la méthode superpixels ;(b) : conversion en NG ;(c) : l’histogramme de l’image ;(d): disque optique segmenté par seuillage.

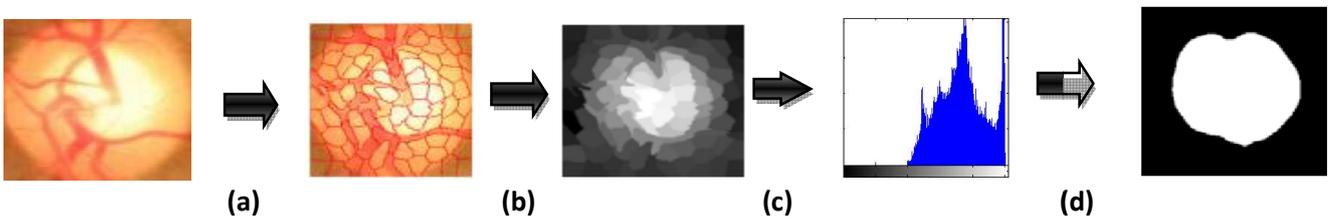


Fig 3.6 : Segmentation de disque optique basée sur la méthode de seuillage;(a): Génération de la méthode Superpixels ;(b) : Conversion de l’image en NG ; (c) : l’histogramme de l’image ;(d): cup segmenté par seuillage.

3.2.1.2 La morphologie mathématique :

Cette méthode est incluse dans la phase de segmentation ; puisque la forme du disque et cup optique obtenus ne sont pas bien segmentés alors que la morphologie mathématique a pour effet de régler les contours. Elle s’appuie sur la théorie des ensembles, des treillis, de la topologie des fermés et des probabilités [43]. L’idée de base de la morphologie mathématique est de comparer l’ensemble à analyser avec un ensemble de géométrie connue appelé élément structurant.

Un élément structurant est un ensemble qui possède une forme (géométrie connue), cette forme à une taille [44].

Les opérateurs morphologiques : sont des filtres non linéaires utilisés pour éliminer les bruits gênants dans l’analyse de scènes [45].

- **Erosion** : élimine des points artéfactuels : $X \ominus B$ (1)
 X : image binaire . B : un élément structurant. \ominus : Erosion.

➤ **Dilatation** : lisse l'intérieur des objets: $X \oplus B$ (2)

X : image binaire . B : un élément structurant. \oplus : Dilatation

➤ **Fermeture** : comble les trous et de connecter les objets proches :

$$\gamma_B(X) = X \circ B = \delta_B(\epsilon_B(X)) = (X \ominus \check{B}) \oplus B \quad (3)$$

δ_B : Dilatation . ϵ_B : Érosion.

➤ **Ouverture** : supprime les petits objets (pixels parasites) :

$$\phi_B(X) = X \bullet B = \epsilon_B(\delta_B(X)) = (X \oplus \check{B}) \ominus B \quad (4)$$

δ_B : Dilatation . ϵ_B : Érosion.

3.2.1.3 La fonction fit_ellipse :

Après la segmentation du disque et cup optique nous avons appliqué une fonction qui permette de trouver le meilleur ajustement de disque et du cup optique en utilisant un ellipse à l'aide d'un ensemble donné de points (un contour fermé).

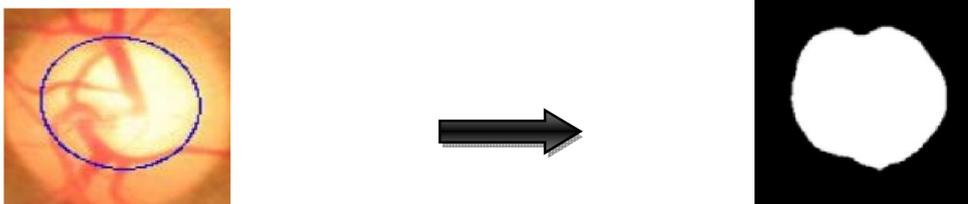


Fig 3.7 : Application de la fonction fit_ellipse sur le cup optique.

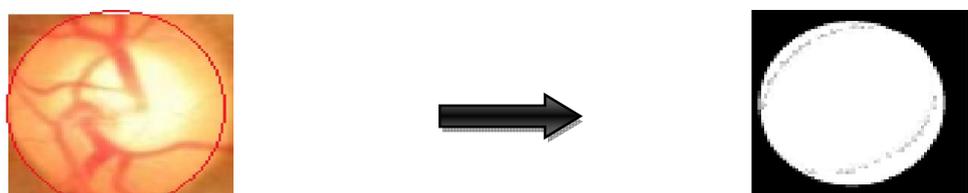


Fig 3.8: Application de la fonction fit_ellipse sur le disque optique.

Cette fonction utilise le critère de référence pour l'estimation de l'ajustement à une ellipse à partir d'un ensemble donné de points (x,y). L'estimation de signal est faite pour la représentation conique d'une ellipse (avec possibilité d'inclinaison).

Représentation d'ellipse conique = $a*x^2 + b*x*y + c*y^2 + d*x + e*y + f = 0$

L'inclinaison et l'orientation de l'ellipse se produit lorsque le terme $(x*y)$ existe (c.-à-d. $b \neq 0$)).

Plus tard, après l'estimation, l'inclinaison est retirée de l'ellipse (en utilisant une matrice de rotation) et puis, le reste des paramètres qui décrivent une ellipse sont extraits de la représentation conique.

Pour des fins de débogage, l'estimation peut être dessinée sur un axe donné [46].

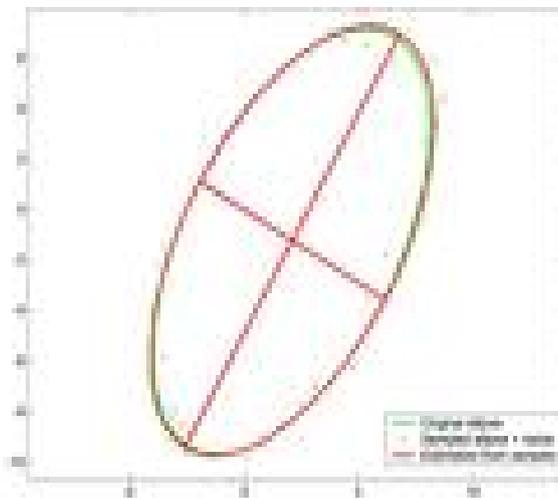


Fig 3.9: La forme d'ellipse fitting [46].

4 La classification :

Dans cette phase nous avons utilisé l'échelle de probabilités de dommage de disque optique (DDL) en calculant la distance euclidienne entre le cup et le disque optique.

La classification des stades de glaucome se fait par le système (DDL); ce système catégorise la taille de disque en petite (<1.5mm), moyenne (1.5-2.0mm) et large (>2.0mm), ce qui permet une bonne classification de la maladie en calculant le diamètre de disque et le rapport (rim /disque) par la mesure de la distance minimale entre le disque et le cup optique avec la distance maximale sur le même axe (voir tableau 3.1) [19]

4.1 Echelle de probabilités de dommage de disque optique (DDLs) :

Le rapport (plus mince rim /diamètre de disque)				Exemples			
Les stades DDLs	Pour un petit disque <1.5 mm	Pour un disque moyen 1.5_2 mm	Pour un grand disque >2mm	Les stades DDLs	1.25mm	1.75	2.25mm
0a	0.5 ou plus	0.4 ou plus	0.3 ou plus	0a			
0b	0.4_0.49	0.3_0.39	0.2_0.29	0b			
1	0.3_0.39	0.2_0.29	0.1_0.19	1			
2	0.2_0.29	0.1_0.19	Inferieur a 1	2			
3	0.1_0.19	Inferieur a 1	0 pour un angle <45°	3			
4	Inferieur a 1	0 pour un angle <45°	0 pour un angle compris entre 46° et 90°	4			
5	0 pour un angle <45°	0 pour un angle compris entre 46° et 90°	0 pour un angle compris entre 91° et 180°	5			
6	0 pour un angle compris entre 46° et 90°	0 pour un angle compris entre 91° et 180°	0 pour un angle compris entre 181° et 270°	6			
7a	0 pour un angle compris entre 91° et 180°	0 pour un angle compris entre 181° et 270°	0 pour un angle supérieur a 270°	7a			
7b	0 pour un angle compris entre 181° et 270°	0 pour un angle supérieur a 270°		7b			

Tab 3.1: échelle de probabilités de dommage de disque optique(DDLs)[19].

4.2 La distance euclidienne :

C'est la distance entre deux points dans le plan 2D ou l'espace tridimensionnel mesure la longueur d'un segment reliant les deux points. C'est le moyen le plus évident de ce qui représente la distance entre deux points.

Le Théorème de Pythagore peut être utilisée pour calculer la distance entre deux points, comme la montre la figure ci-dessous. Si les points et sont en 2 dimensions, puis la distance euclidienne entre eux est : $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ [47].

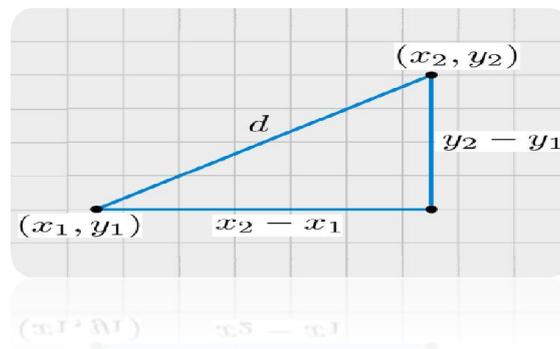


Fig 3.10 : Distance euclidienne [47].

5 Résultats et discussion :

5.1 La phase de segmentation :

Nous présentons les résultats de la phase de segmentation dans le tableau suivant :

Les résultats de segmentation sont comparées avec la moyenne de segmentation des experts.

	Images couleurs	Segmentation experts disque	Segmentation Disque De notre algorithm	Segmentation experts cup	Segmentation cup de notre algorithm
Image 1					
Image 2					

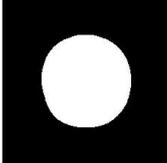
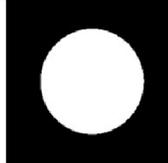
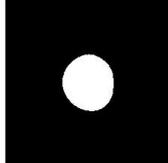
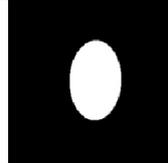
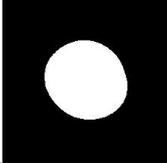
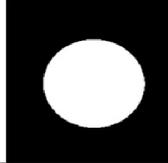
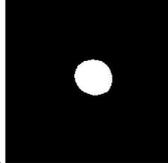
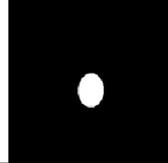
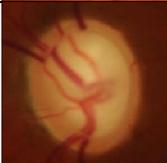
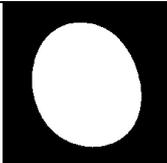
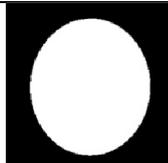
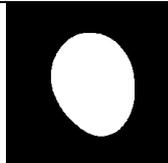
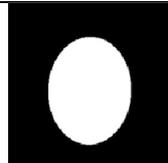
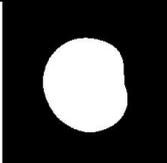
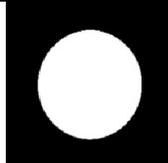
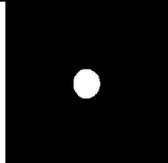
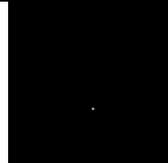
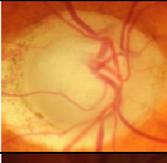
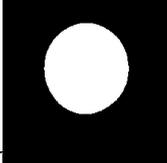
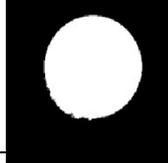
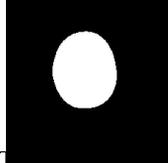
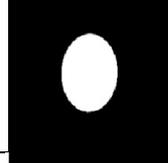
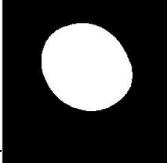
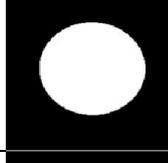
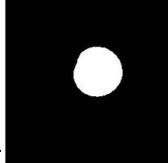
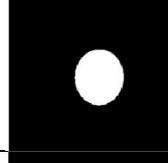
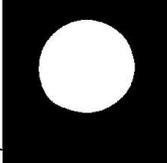
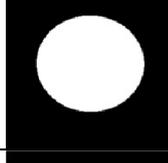
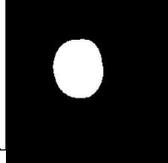
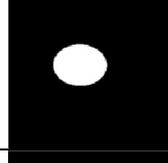
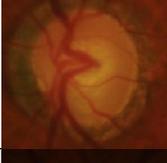
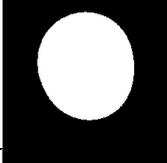
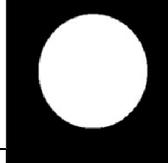
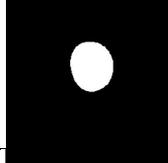
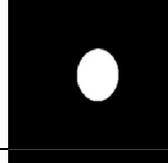
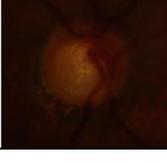
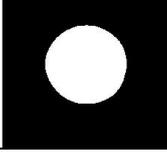
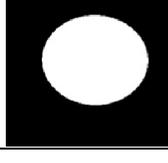
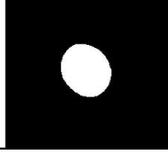
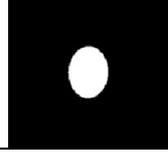
Image 3					
Image 4					
Image 5		/	/	/	/
Image 6					
Image 7					
Image 8		/	/	/	/
Image 9					
Image 10					
Image 11					
Image 12					
Image 13					

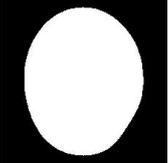
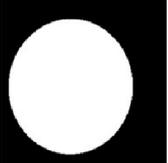
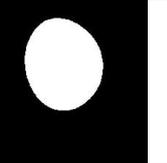
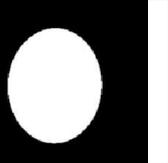
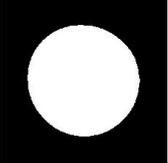
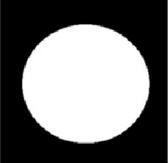
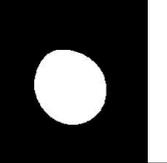
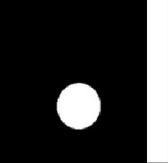
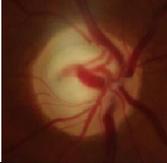
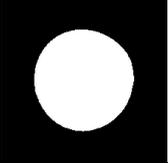
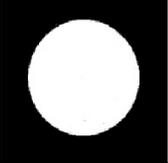
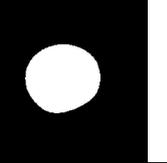
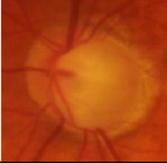
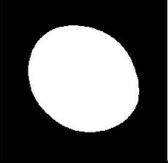
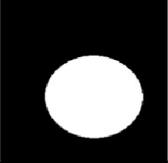
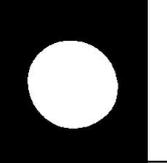
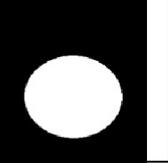
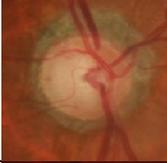
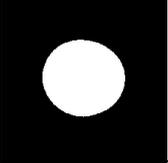
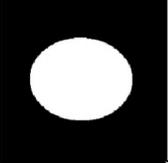
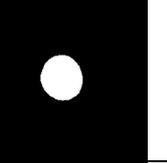
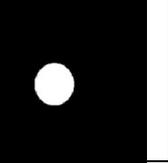
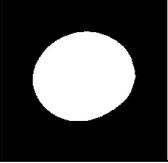
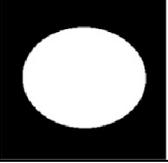
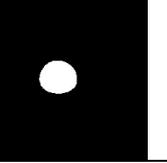
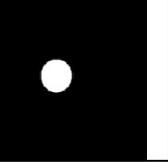
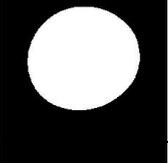
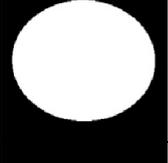
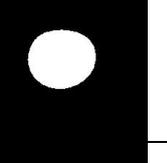
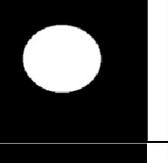
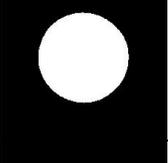
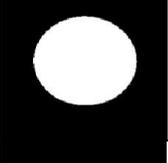
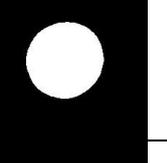
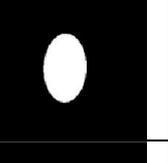
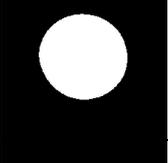
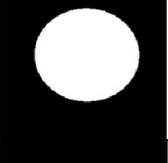
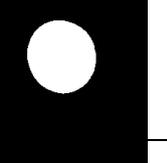
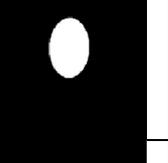
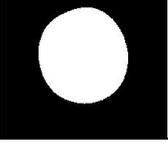
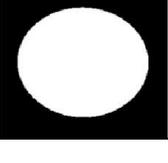
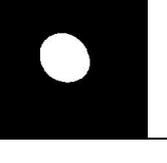
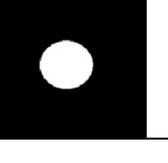
Image 14					
Image 15					
Image 16					
Image 17					
Image 18					
Image 19					
Image 20		/	/	/	/
Image 21					
Image 22					
Image 23					
Image 24					

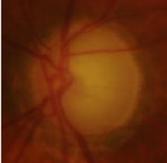
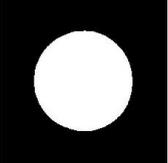
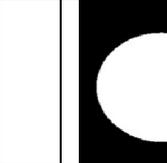
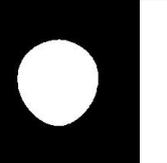
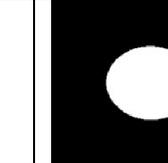
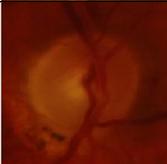
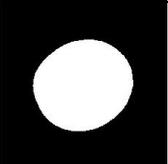
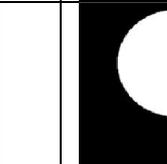
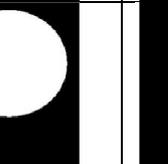
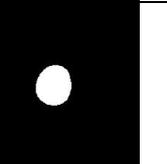
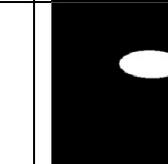
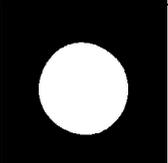
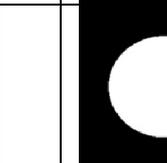
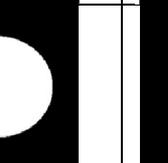
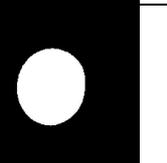
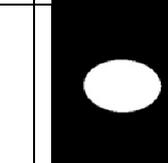
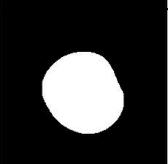
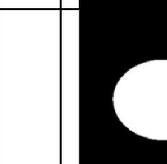
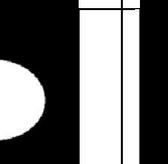
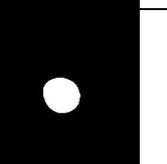
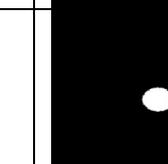
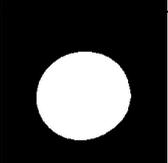
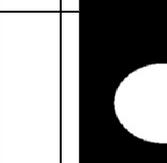
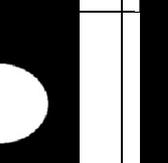
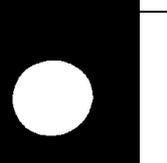
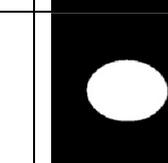
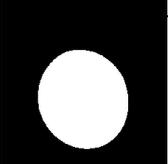
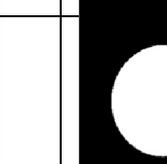
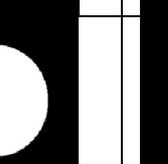
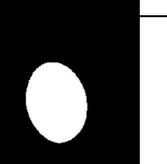
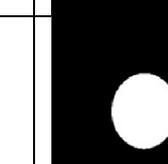
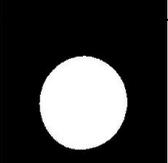
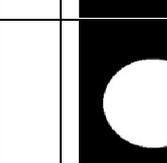
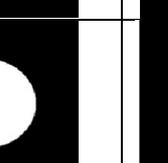
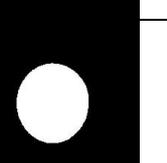
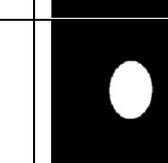
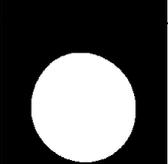
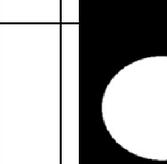
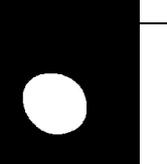
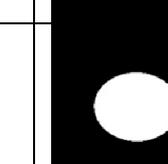
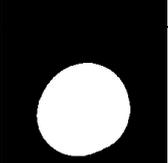
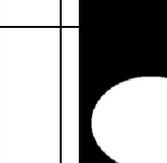
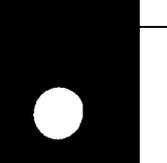
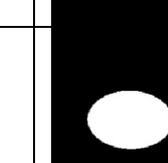
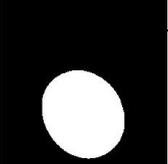
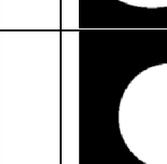
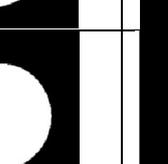
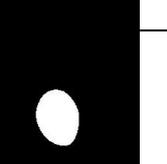
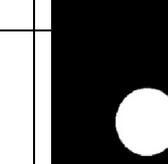
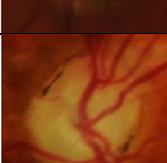
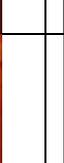
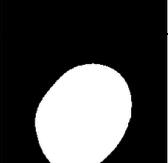
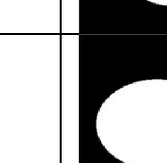
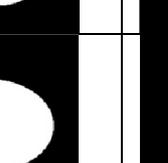
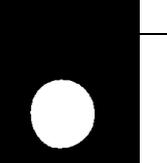
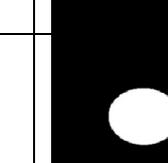
Image 25							
Image 26							
Image 27							
Image 28							
Image 29							
Image 30							
Image 31							
Image 32							
Image 33							
Image 34							
Image 35							

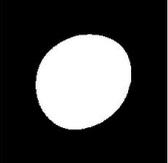
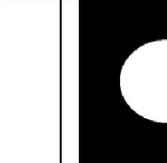
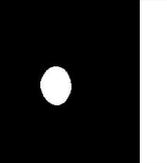
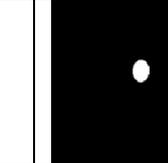
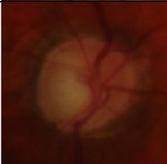
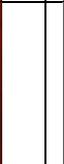
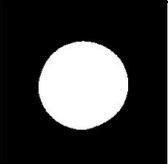
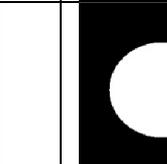
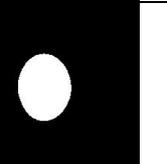
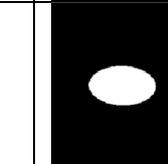
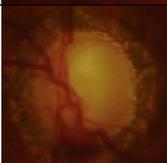
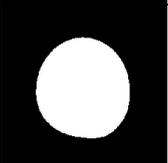
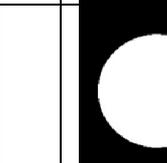
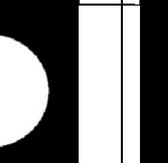
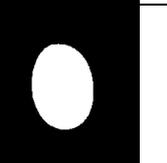
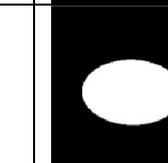
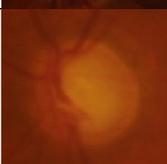
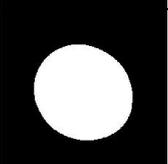
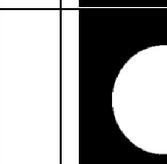
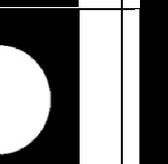
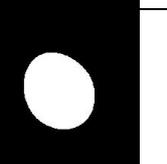
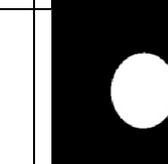
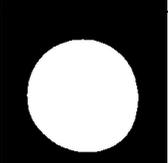
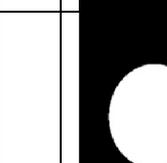
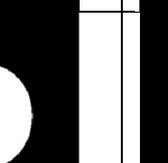
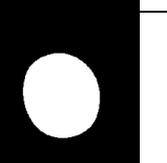
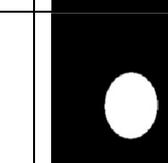
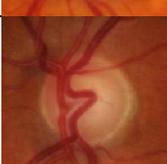
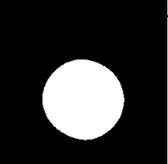
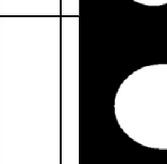
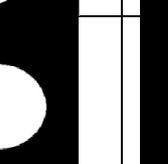
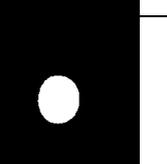
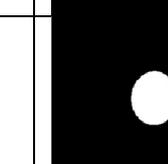
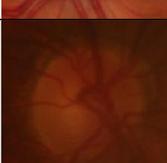
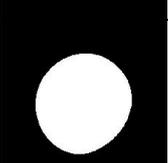
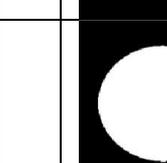
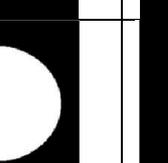
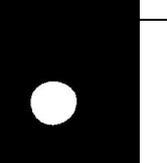
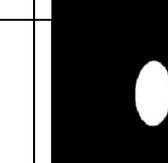
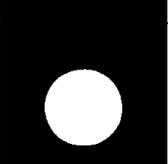
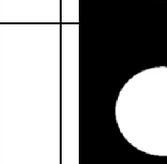
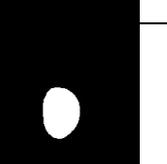
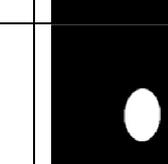
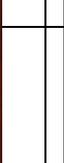
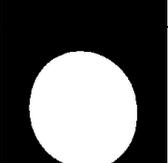
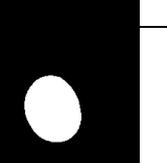
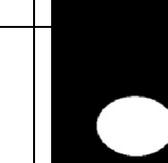
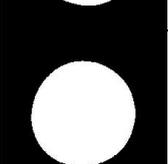
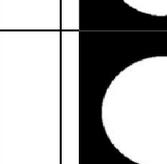
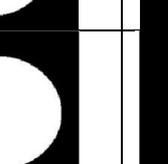
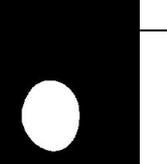
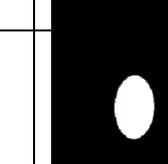
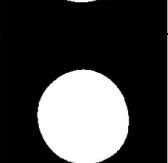
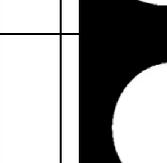
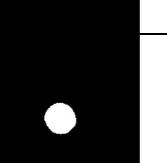
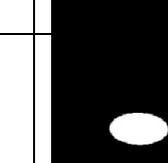
Image 36							
Image 37							
Image 38							
Image 39							
Image 40							
Image 41							
Image 42							
Image 43							
Image 44							
Image 45							
Image 46							

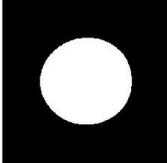
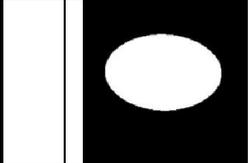
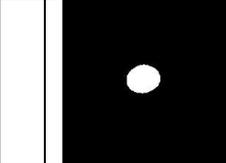
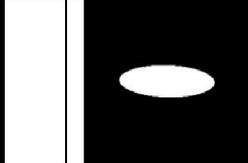
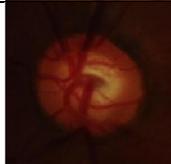
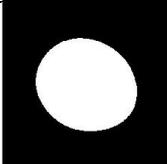
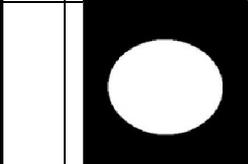
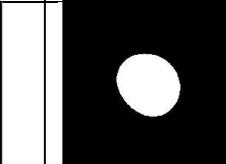
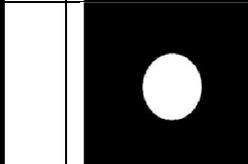
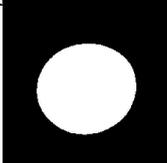
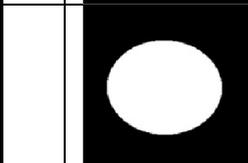
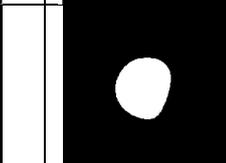
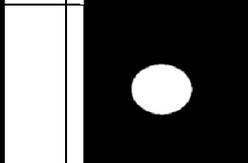
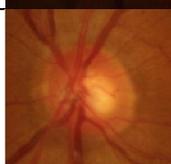
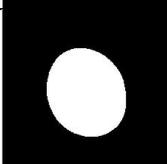
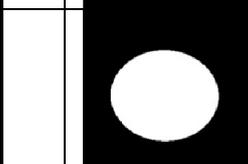
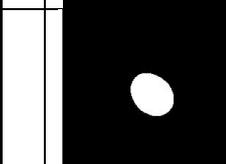
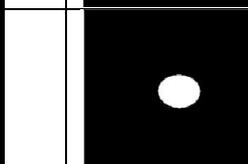
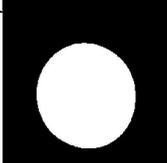
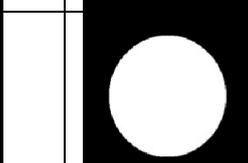
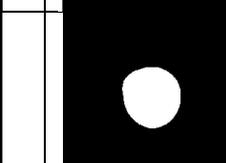
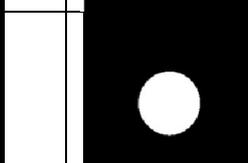
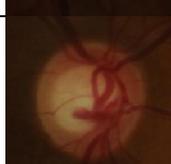
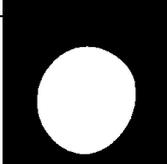
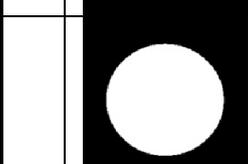
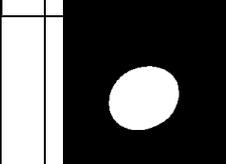
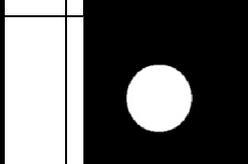
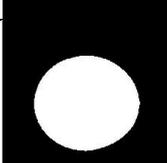
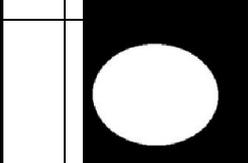
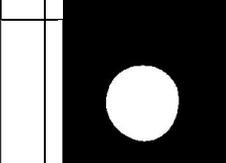
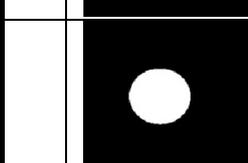
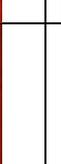
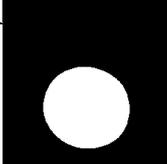
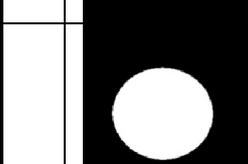
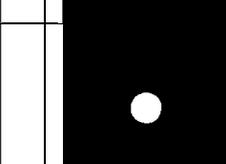
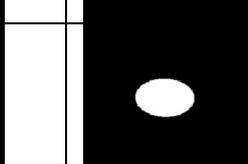
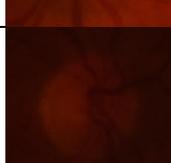
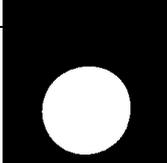
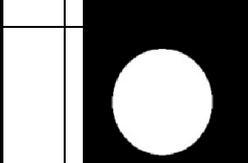
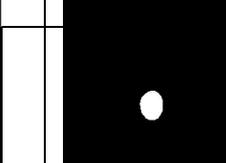
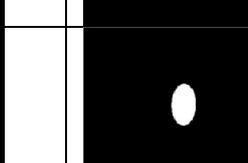
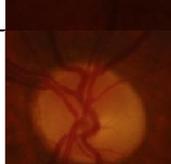
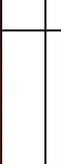
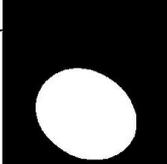
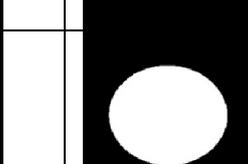
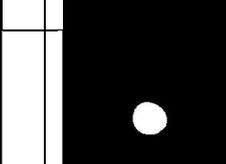
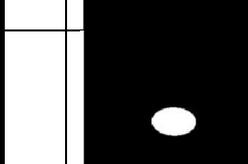
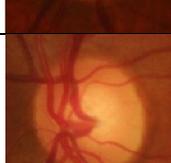
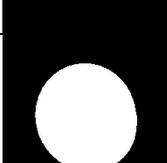
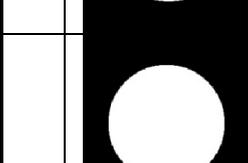
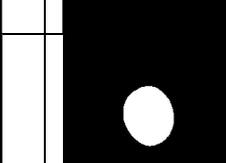
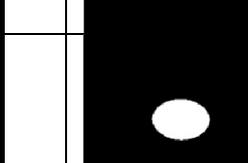
Image 47						
Image 48						
Image 49						
Image 50						
Image 51						
Image 52						
Image 53						
Image 54						
Image 55						
Image 56						
Image 57						

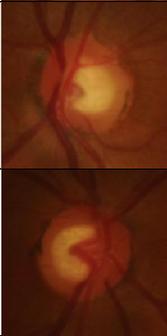
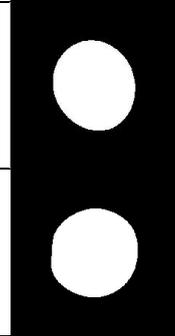
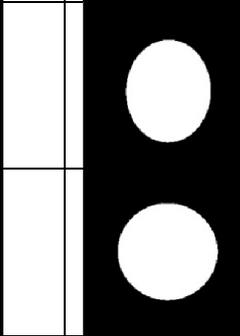
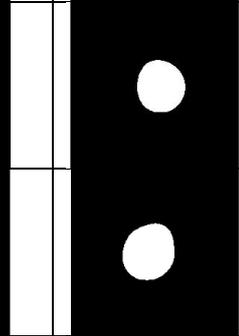
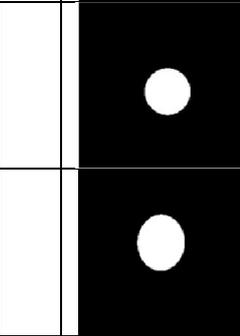
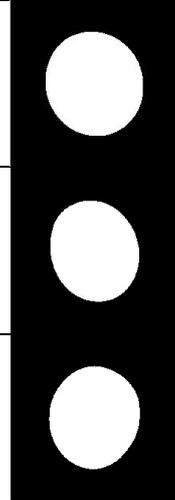
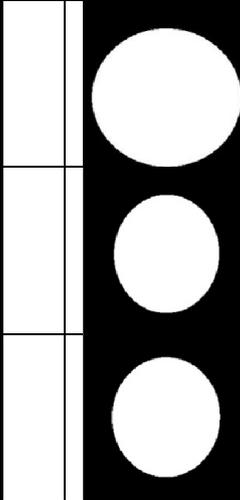
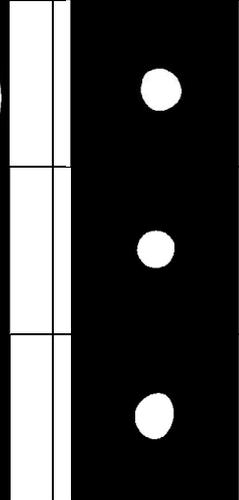
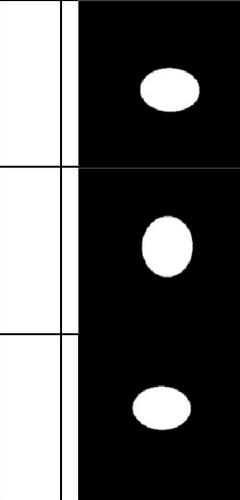
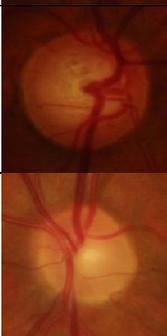
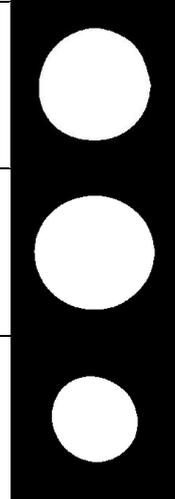
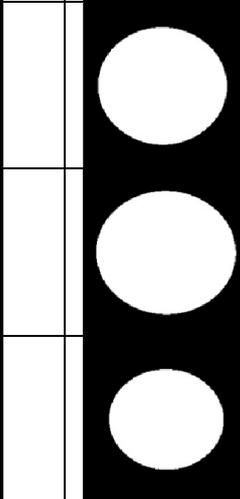
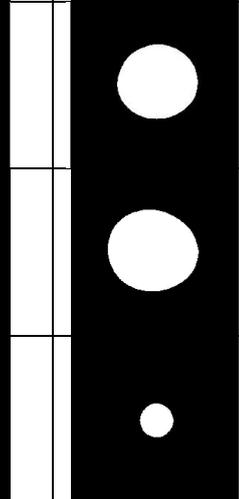
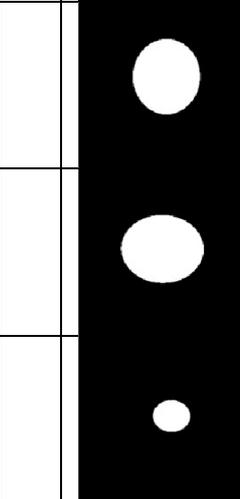
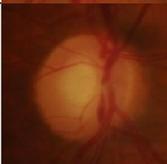
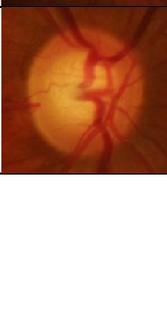
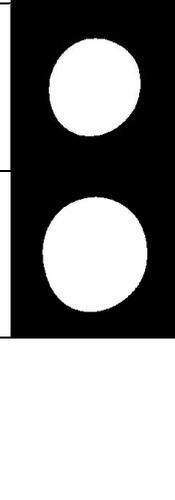
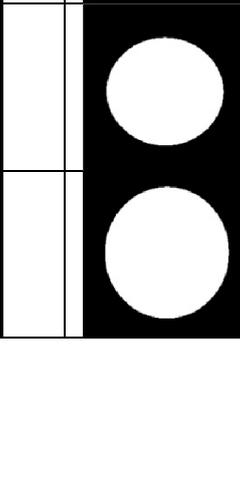
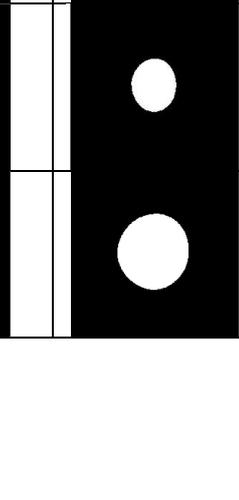
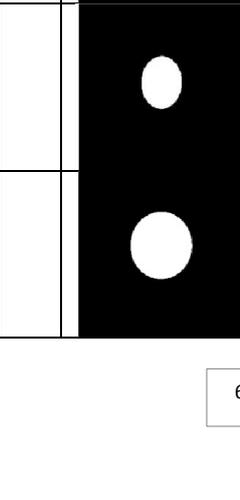
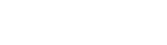
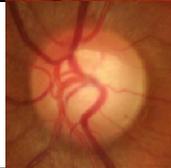
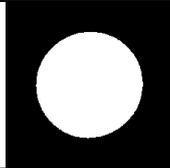
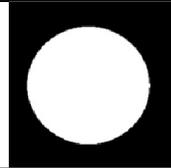
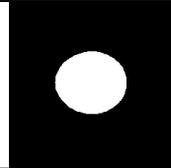
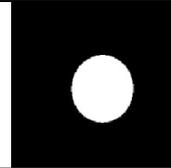
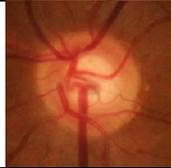
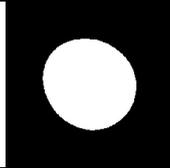
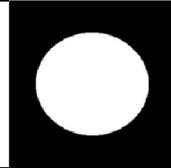
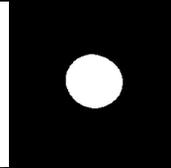
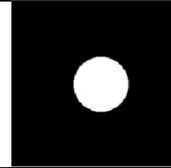
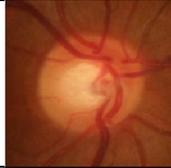
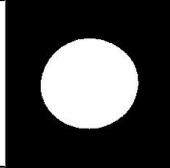
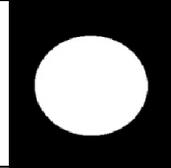
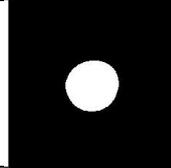
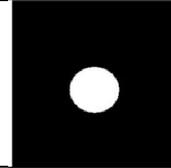
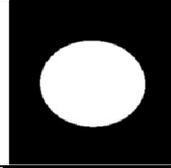
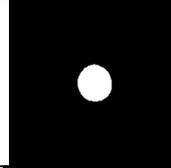
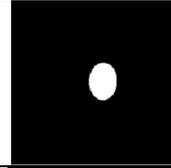
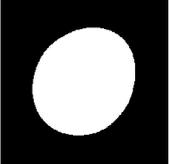
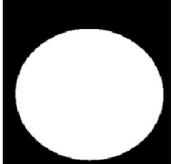
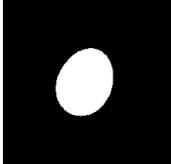
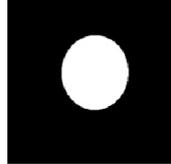
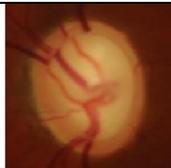
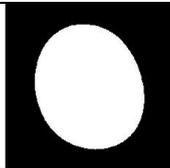
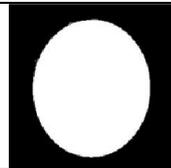
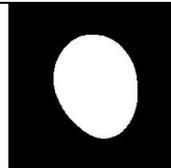
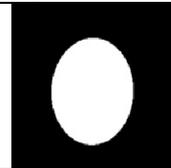
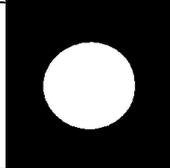
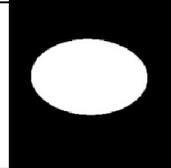
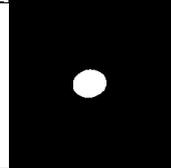
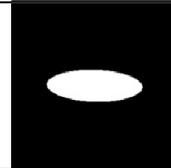
Image 58						
Image 59						
Image 60						
Image 61						
Image 62						
Image 63						
Image 64						
Image 65						
Image 66						
Image 67						
Image 68						

Image 69		/	/	/	/
Image 70					
Image 71					
Image 72					
Image 73					
Image 74					

Tab 3.2: Résultats expérimentales de segmentation.

D'après les résultats obtenus nous remarquons que la majorité des images sont bien segmentées en utilisant les méthodes proposées qui produit des résultats identique a celles obtenus par les experts (Ex. image 6). Comme il y'a des exemples qui présent des images mal segmentées (Ex. image 47) puisqu'elle apparait flou l'algorithme n'a détecté qu'une partie du disque optique; cela est du au mauvais éclairage au niveau de la région papillaire. On a remarquée aussi que la taille de réseau vasculaire empêche l'algorithme de trouver les bons contours de disque et cup optique.

	Images couleurs	Segmentation experts disque	Segmentation Disque de notre algorithme	Segmentation experts cup	Segmentation cup de notre algorithme
Image 6					
Image 47					

Tab 3.3: Exemple d’une image bien et mal segmentée.

Parmi l'ensemble des techniques appliqués dans ce travail nous avons remarqué que l’utilisation de la fonction (SLIC) dans les opérations de traitement de l'image, tels que la segmentation, peut réduire la complexité de cette phase vue que le traitement passe de l’échelle pixelique à l’échelle super pixelique.

Nous avons également constaté que la segmentation par seuillage est une solution relativement simple pour la segmentation du disque et cup optique, mais comme nous le verrons ultérieurement, le choix des différents seuils n'est pas toujours facile ; il faut faire un choix correct du seuil fixé manuellement alors que cette méthode n'est applicable que lorsque les images ne sont pas trop claires(Ex. images 5,8,20,69) puisqu’il Il n’est pas possible de trouver un bon seuil qui segmente que la région requise.

L’application de la fonction fit-ellipse est plus complexe et limité puisqu’elle constitue plus des opérations de prétraitements que des opérations de segmentation.

La comparaison des résultats obtenus montre l’efficacité et la robustesse de notre approche ; avec sa simplicité ce qui la rendre destiné à être intégré dans un système automatique de la détection de glaucome.

5.2 La phase de classification :

Puisque les images de notre base de données sont déjà annotées par les experts d’ophtalmologie comme glaucomateux et suspects, la chose qui nous intéresse dans cette phase c’est la classification des stades de glaucome et non pas la détection de glaucome. Pour cela, nous avons travaillé que sur les 39 premières images qui sont des cas glaucomateux.

Nous avons trouvées cinq cas dans le stade 0A, trois cas dans le stade 0B, dix cas le premier stade, neuf cas dans le deuxième stade, sept cas dans le troisième stade et quatre cas dans le cinquième stade (tab Tab III.3),ses résultats confirme la robustes de l’échelle DDLS dans la classification de glaucome surtout puisqu’il offre la possibilité de détecter les premiers stades de glaucome .

ges	Diamètre de disque	Type de disque	distance min	distance max	Rapport (rim/disc)	Classification DDLS
im1	1.5	moyen	28	134	0.21	1
im2	1.6	moyen	8	151	0.05	3
im3	1.4	petit	47	139	0.34	1
im4	1.21	petit	45	116	0.39	1
im5	1	petit	45	109	0.41	0B
im6	2	large	17	159	0.10	1
im7	1.5	moyen	78	128	0.6	0A
im8	1.8	moyen	20	175	0.11	2
im9	1.41	petit	9	134	0.06	4
im10	1.3	petit	34	125	0.27	2
im11	1.42	petit	31	140	0.22	2
im12	1.6	Moyen	70	145	0.48	0A
im13	1.2	Petit	19	176	0.11	3
im14	2.28	large	26	215	0.12	1
im15	1.7	moyen	23	168	0.14	2
im16	1.5	moyen	30	147	0.19	2
im17	1.6	moyen	2	116	0.01	3
im18	1.1	petit	44	113	0.38	1
im19	1.3	petit	73	137	0.53	0A
im20	1.5	moyen	74	142	0.52	0A
im21	1.5	moyen	56	159	0.35	0B
im22	1.3	petit	10	135	0.07	4
im23	1.3	petit	14	130	0.11	3
im24	1.4	petit	52	134	0.38	1
im25	1.5	moyen	13	149	0.08	3
im26	1.4	petit	72	134	0.54	0A
im27	1.4	petit	13	134	0.09	4
im28	1.2	petit	39	114	0.34	1
im29	1.3	petit	8	139	0.05	4
im30	1.5	moyen	16	147	0.11	2

im31	1.4	petit	12	129	0.09	4
im32	1.6	moyen	48	160	0.29	1
im33	1.4	petit	42	130	0.31	1
im34	1.3	petit	35	134	0.25	2
im35	1.6	moyen	19	138	0.13	2
im36	1.4	petit	64	136	0.46	0B
im37	1.3	petit	14	133	0.10	3
im38	1.5	moyen	15	152	0.10	2
im39	1.4	petit	22	143	0.15	3

Tab 3.4: Résultats expérimentales de la classification des images segmentées par des experts.

Puis nous avons classifiées les images que nous avons segmentées précédemment. Nous avons obtenues alors comme résultats : quatre cas dans le stade 0A, deux cas dans le stade 0B, sept cas dans le stade au premier stade, dix cas au deuxième stade, huit cas au troisième stade et enfin cinq cas au quatrième stade.

	Diam	Classification	Min	Max	Rapport	Ddls classification
im1	1.5	moyen	18	160	0.11	2
IM2	1.9	moyen	14	188	0.07	3
IM3	1.5	moyen	33	157	0.21	1
IM4	1.3	petit	54	133	0.39	1
IM6	2.14	Large	29	204	0.14	1
IM7	1.7	moyen	91	165	0.55	0A
IM9	1.46	petit	11	136	0.08	4
IM10	1.4	petit	28	140	0.2	2
IM11	1.4	petit	58	40	0.24	2
IM12	1.7	moyen	76	170	0.45	0A
IM13	1.4	petit	17	137	0.12	3
IM14	2.44	large	23	197	0.11	1
IM15	1.8	moyen	34	181	0.18	2
IM16	1.6	moyen	25	146	0.16	2
IM17	1.6	moyen	6	265	0.02	3
IM18	1.2	petit	43	126	0.34	1
IM19	1.3	petit	91	155	0.58	0A
IM21	1.8	moyen	72	182	0.37	0B
IM22	1.4	petit	9	204	0.04	4
IM23	1.4	petit	11	211	0.12	3
IM24	1.4	petit	77	255	0.30	1
IM25	1.7	moyen	2	173	0.01	3
IM26	1.6	moyen	81	187	0.45	0A

IM27	1.4	petit	6	165	0.03	4
IM28	1.2	petit	38	151	0.25	2
IM29	1.4	petit	4	170	0.02	4
IM30	1.7	moyen	15	164	0.1	2
IM31	1.4	petit	2	200	0.01	4
IM32	1.8	moyen	41	176	0.23	1
IM33	1.4	petit	23	162	0.2	2
IM34	1.4	petit	29	151	0.2	2
IM35	1.4	petit	18	153	0.11	3
IM36	1.2	petit	58	129	0.45	0B
IM37	1.4	petit	19	154	0.12	3
IM38	1.7	moyen	22	176	0.12	2
IM39	1.4	petit	18	162	0.11	3

Tab 3.5: Résultats expérimentales de la classification des images segmentées.

5.3 Comparaison des résultats :

La comparaison a été menée sur deux classifications qui sont : la classification de disque optique comme petit, moyen et large en calculant le diamètre de disque et la classification basée sur le rapport (rim/disque) pour faire la classification finale selon l'échelle DDLS.

La figure (3.11) présente les résultats de comparaison de la première classification entre les images segmentées par les experts et les images segmentées par notre propre algorithme. Sachant que nous avons éliminé les trois images (5, 8 et 20) que nous n'avons pas pu segmenter.

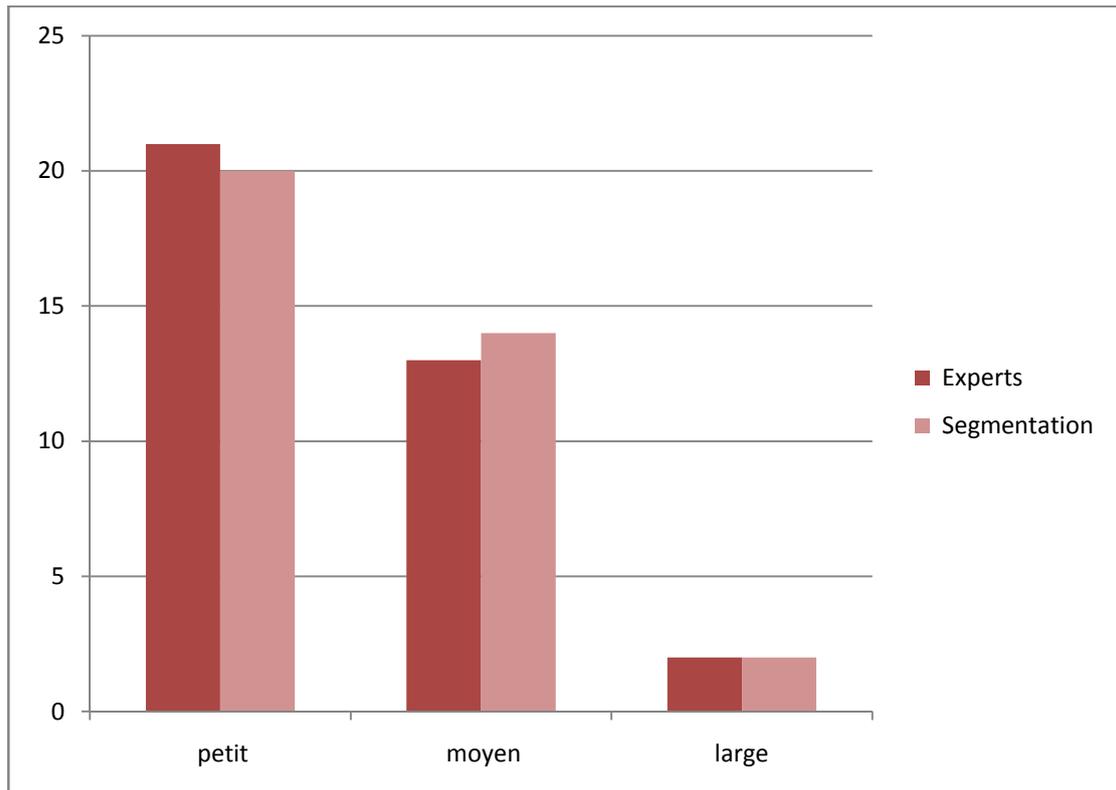


Fig 3.11 : Histogramme de classification de disque optique (les images segmentées par l'algorithme et les images segmentées par les experts).

Cette figure montre qu'il ya deux disques mal classés, nous pouvons dire que c'est une déférence négligeable par rapport aux 34 disques bien classés ce sui confirme la fiabilité de notre algorithme de segmentation pour la partie segmentation de disque.

La figure (3.12) présente les résultats de comparaison de la deuxième classification entre les images segmentées par les experts et les images segmentées par notre propre algorithme.

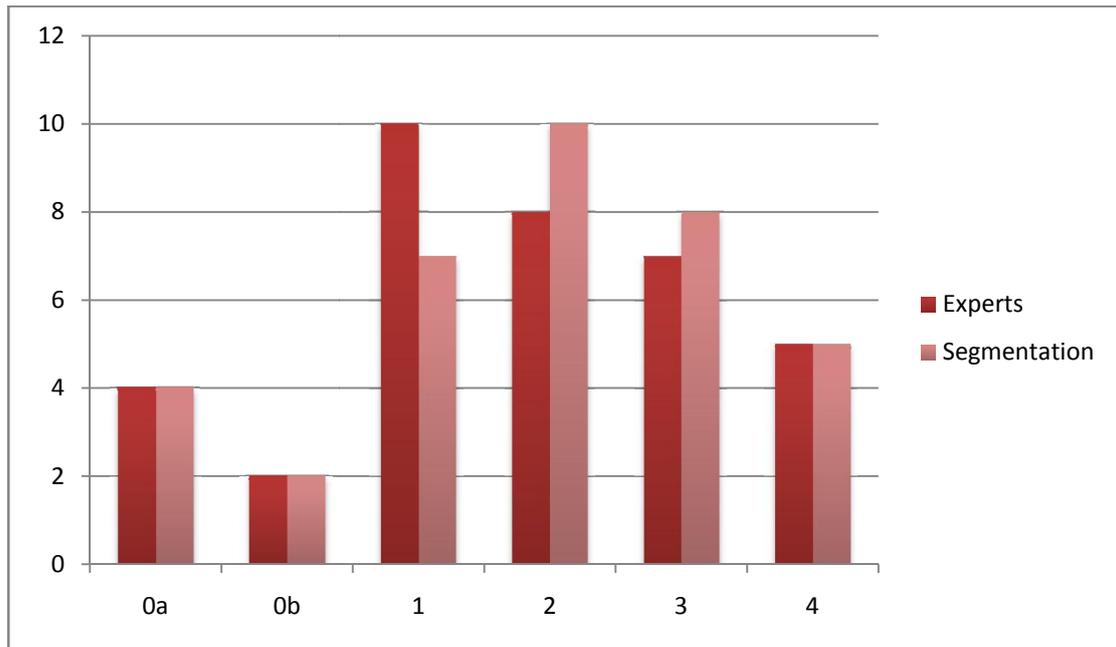


fig 3.12 : Histogramme de classification DDLS (les images segmentées par l'algorithme et les images segmentées par les experts).

Cette figure montre qu'il y a quatre cas mal classés, un cas (im35) dû à la mauvaise segmentation de disque optique et les autres cas (im1, im28 et im33) sont dus à la mauvaise classification du cup ce qui montre que notre algorithme est plus performant dans la partie segmentation de disque.

Nous pouvons également dire que cette étude a réussi à démontrer que la classification des stades de glaucome en appliquant l'échelle de probabilité de dommages de disque optique (DDLS) est significative et robuste par rapport aux autres méthodes de classification citées dans le chapitre précédent.

6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présentée les techniques de traitement d'image utilisées pour la segmentation des images de fond de l'œil. Les approches sont simples et efficaces. Ensuite nous avons appliquée une nouvelle technique d'estimation de glaucome c'est l'échelle de probabilités de disque optique (DDLS), permettant la classification des stades de glaucome d'une manière fiable. Cette technique de classification va être utilisée pour la détection de glaucome.

Conclusion générale

Le glaucome est une neuropathie optique progressive responsable d'une détérioration irréversible du champ visuel qui peut évoluer jusqu'à la cécité. Les anglo-saxons surnomment le glaucome "le voleur de vue silencieux" raison de son caractère insidieux.

Le traitement du glaucome n'a pas pour objectif de guérir cette affection, mais seulement de ralentir au maximum la disparition des fibres optiques (aussi appelées fibres nerveuses rétiniennes) [48].

Malgré l'évolution des traitements, la détection du glaucome dans les premiers stades reste toujours le mot clé pour ralentir la progression de la maladie qui conduit dans la plus part des cas à la cécité.

Notre travail entre dans le cadre du développement d'un système informatique qui peut calculer le DDLS en utilisant des outils de traitement des images rétiniennes. Pour construire ce système, notre étude tourne autour de deux grands axes : le premier, consistait à segmenter le disque et le cup optique, le deuxième, consistait à calculer le rapport (rim\disque) de l'échelle DDLS.

La détection du glaucome se base essentiellement sur la segmentation du disque et cup optique, ce point nous a amené dans un premier lieu à développer des algorithmes de segmentation de ces éléments anatomiques.

Nous avons développé un algorithme basées sur le seuillage et la morphologie mathématique pour les segmenter, en rajoutant la technique la plus récente qui est la segmentation super-pixel pour nous aider a faciliter cette phase compliquée de notre travail.

Grâce à une comparaison des performances obtenues avec celles issues de la segmentation des experts, nous avons pu montrer que nos résultats étaient satisfaisants pour l'algorithme que nous avons développé. Cependant et bien que les méthodes proposées fonctionnent correctement sur la majorité des images de la base de donnée, nous avons noté quelques difficultés comme par exemple :

- La segmentation est difficile et dans quelque cas impossible dans les images très faiblement contrastées et les images fortement contrastées.
- Il est aussi difficile de trouver la bonne position de cup qui nous a conduits à ajouter des techniques pour repositionner ce dernier.

Pour la partie de calcul de l'échelle DDLS nous nous sommes basée sur la distance euclidienne et par comparaison avec la classification des experts nous constatons que notre algorithme fonctionne correctement et que l'échelle DDLS est un moyen robuste dans la détection de glaucome surtout dans les premiers stades.

Le travail a montré des résultats satisfaisants qui indiquent que le système réalisé a permis d'extraire le disque et le cup optique à partir des images de fond d'œil et il a abouti son but de classification du glaucome selon l'échelle DDLS.

Ce système peut être utilisé pour aider le médecin ophtalmologue dans le diagnostic du glaucome comme une deuxième opinion pour vérifier son diagnostic.

Perspectives

Quelques perspectives peuvent être envisagées dans le prolongement de ce travail.

- Enrichir l'algorithme afin de calculer les cas que nous ne possédons pas dans notre base de données (disque et cup collées dans un ou plusieurs points).
- Améliorer le programme de segmentation pour avoir la position exacte du cup optique.
- Regrouper plusieurs techniques de diagnostic de glaucome tel que le rapport (cup\disque) et DDLS dans un seul système pour avoir des résultats plus fiables.
- Le système conçu peut être étendu pour détecter d'autres maladies réiniennes qui touchent le disque et le cup optique.
- La validation des résultats par un médecin ophtalmologue.

Références bibliographiques

- [1] "OMS | Maladies oculaires prioritaires", *Who.int*, <http://www.who.int/blindness/causes/priority/fr/index7.html>, mars 2017.
- [2] Leglaucome.fr. *Qu'est ce que le glaucome ? | Le glaucome*. <http://www.leglaucome.fr/sinformer/quest-ce-que-le-glaucome/>, mars 2017.
- [3] Ameli-sante.fr. *Comprendre le glaucome*. <http://www.ameli-sante.fr/glaucome/quest-ce-que-le-glaucome.html>, mars 2017.
- [4] K. Fansi and A. A, "Une nouvelle méthode de détection du glaucome par la mesure de l'asymétrie interoculaire : l'asymétrie du rapport de la surface neuro-rétinienne sur la surface du disque optique ou rim area to disc area asymmetry ratio (RADAAR)", PHILOSOPHIAE DOCTOR, UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL, 2009.
- [5] https://www.google.dz/search?q=glaucome&rlz=1C1AOHY_frDZ759DZ759&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiX68PAq6LWAhXD0iYKHfn-AbAQ_AUICigB&biw=1366&bih=678#imgrc=Q-Prvj16Dy-bCM, mars 2017.
- [6] *La papille glaucomateuse en pratique*, 1st ed. Montpellier: Laboratoire Chauvin Bausch et Lomb, p. 22, 2004.
- [7] https://www.google.dz/search?q=excavation+papillaire&rlz=1C1AOHY_frDZ759DZ759&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiS1rzQtqLWAhVDWCYKHXRuCUkQ_AUICigB&biw=1366&bih=635#imgrc=Sc56p0IsJe5VqM.
- [8] "Différentes formes", *Swissglaucome.ch*. <http://swissglaucome.ch/CMS/fr-FR/Glaucome/Differentes-formes.aspx?Sel=371,05>- Mar- 2017.
- [9] "DÉPISTAGE ET DIAGNOSTIC PRÉCOCE DU GLAUCOME : PROBLÉMATIQUE ET PERSPECTIVES EN FRANCE", Service évaluation médico-économique et santé publique, France, 2006.
- [10] <http://www.leglaucome.fr/sinformer/les-personnes-atteintes/>, mars 2017.
- [11] <http://medinstrum.com/wp-content/uploads/2017/02/goldmann-applanation-tonometry.png.jpg>
- [12] <http://www.snof.org/encyclopedie/le-fdt-nouveau-champ-visuel>
- [13] <http://www.ledevoir.com/societe/sante/124259/nouvelle-percee-dans-le-depistage-du-glaucome>
- [14] H. HBRESSON-DUMONT, A. LE CALLONNEC, G. PEIGNÉ, P. SANTIAGO and X. ZANLONGH, *Des cas cliniques pour y voir plus clair, Glaucome*. 6, rue de Thann - 75017 Paris: abcmedecine, p. 5.
- [15] C. Zangalli, S. Gupta and G. Spaeth, "The disc as the basis of treatment for glaucoma", *Saudi Journal of Ophthalmology*, vol. 25, no. 4, pp. 381-387, 2011.
- [16] "Disc Damage Likelihood Score (DDLs)", *xuite*, 2011.
- [17] "DDLs- A new approach to optic disc assesment", *glaucoma*, 2009.
- [18] J. Henderer, "Disc Damage Likelihood Scale Chat Highlights", *Glaucoma Service Foundation Web Blog*. 2006.
- [19] G. Spaeth, J. Henderer, C. Liu, B. MugeKesen, U. Altangerel, A. Bayer, L. Katzo, D. Rhee, W. Steinmann and J. Myers, "The disc damage likelihood scale: reproducibility of a new method of estimating the amount of optic nerve damage caused by glaucoma", *Transactions of the American Ophthalmological Society*, vol. 100, pp. 181-186, 2002.
- [20] G. SPAETH, MD and FACS, "The Disc Damage Likelihood Scale Using the optic disc to diagnose and manage glaucoma." *GLAUCOMA TODAY*, pp. 19-21, 2005.

- [21] J. Henderer, "Disc damage likelihood scale", *British Journal of Ophthalmology*, vol. 90, no. 4, pp. 395-396, 2006.
- [22] "What is Cup-to-Disc ratio (CDR)? - Zoomax", *Zoomax.co*. <http://www.zoomax.co/low-vision-information/What-is-Cup-to-Disc-ratio-CDR.html>, avril 2017.
- [23] H. Danesh-Meyer, J. Ku, T. Papchenko, T. Jayasundera, J. Hsiang and G. Gamble, "Regional Correlation of Structure and Function in Glaucoma, Using the Disc Damage Likelihood Scale, Heidelberg Retina Tomograph, and Visual Fields", *Ophthalmology*, vol. 113, no. 4, pp. 603-611, 2006.
- [24] "Disc Damage Likelihood Score (DDLS)", *optic-disc.org*, 2014. <http://www.optic-disc.org/tutorials/DDLS/page14.html>, janvier 2017.
- [25] "C51251: Glaucoma management part 2 - Optic disc assessment in glaucoma", *OPTICIAN*, 2016. <https://www.opticianonline.net/cet-archive/118>, mars 2017.
- [26] M. Pahlitzsch, N. Torun, C. Erb, J. Bruenner, A. Maier, J. Gonnermann, E. Bertelmann and M. Klamann, "Significance of the disc damage likelihood scale objectively measured by a non-mydratic fundus camera in preperimetric glaucoma", *Clinical Ophthalmology*, vol. 9, pp. 2147—2158, 2015.
- [27] Y. Kitaoka, M. Tanito, Y. Yokoyama, K. Nitta, M. Katai, K. Omodaka and T. Nakazawa, "Estimation of the Disc Damage Likelihood Scale in primary open-angle glaucoma: the Glaucoma Stereo Analysis Study", *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, vol. 254, no. 3, pp. 523-528, 2015.
- [28] A. Bron, "Progression du glaucome", in *Réflexions Ophtalmologiques*, p. 10, 2010.
- [29] J. Nussdorf, A. Janot, D. Hanson and P. DeMarco, "Baseline Intraocular Pressure Strongly Predicts Response to Selective Laser Trabeculoplasty for Open Angle Glaucoma", *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 53, 2012.
- [30] A. Zhang, L. Lu, M. Ali, N. Rutnin, B. Faria, H. Guzel, L. Liang, P. Martinez, M. Tawfik and G. Spaeth, "Disc-damage Likelihood Scale (DDLS) as a Clinical Indicator of the Presence of a Relative Afferent Pupillary Defect (RAPD)", *Journal of Glaucoma*, vol. 25, no. 10, pp. e910-e916, 2016..
- [31] D. Broadway, "Comment détecter un déficit pupillaire afférent relatif ou signe de Marcus Gunn", *RSOC*, vol. 11, pp. 11-12, 2014.
- [32] "Cours Régression Logistique", *Eric.univ-lyon2.fr*. http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours_regression_logistique.html, mars 2017.
- [33] M. Cucherat, *La méta-analyse des essais thérapeutiques*. LYON.
- [34] "Qu'est-ce qu'une valeur de p ? - Minitab", *Support.minitab.com*. <http://support.minitab.com/fr-fr/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/p-value-and-significance-level/what-is-pvalue/>, mars 2017.
- [35] "C-Statistic: Definition, Examples, Weighting and Significance", *Statistics How To*. <http://www.statisticshowto.com/c-statistic/>, mars 2017.
- [36] A. Chandra, A. Bandyopadhyay and G. Bhaduri, "A comparative study of two methods of optic disc evaluation in patients of glaucoma", *Oman Journal of Ophthalmology*, vol. 6, no. 2, p. 103, 2013.
- [37] Caprioli J. "Discrimination between normal and glaucomatous eyes". *Invest Ophthalmol Vis Sci*, vol. 33, p. 153-9, 1992
- [38] G. Spaeth and A. Paulus, *The Colored Glaucoma Graph and Its Use in Caring for Patients with Glaucoma: A New System of Management, Presented in Three Parts*,

- Current Journal of Glaucoma Practice with DVD*, pp. 83-90, 2010.
- [39] Caprioli J, Coleman AL. *Intraocular pressure fluctuation a risk factor for visual field progression at low intraocular pressures in the advanced glaucoma intervention study*. *Ophthalmology*, vol.13 Dec 2007.
- [40] F. Fumero, S. Alayon, J. Sanchez, J. Sigut and M. Gonzalez-Hernandez, "RIM-ONE: An Open Retinal Image Database for Optic Nerve Evaluation. Dept. of Systems Engineering", 2011.
- [41] "Segmentation d'images en superpixels via SLIC", *Vision.gel.ulaval.ca*. <http://vision.gel.ulaval.ca/~jflalonde/cours/4105/h17/tps/results/projet/111063028/index.html>, septembre 2017.
- [42] "10.2 Segmentation par seuillage", *Telecom.ulg.ac.be*. http://www.telecom.ulg.ac.be/teaching/notes/totali/elen016/node142_mn.html, juillet 2017.
- [43] I. BLOCH, *Morphologie mathématique*, pp. 95-126.
- [44] L. Brun, "*Morphologie mathématique Erosions et Dilations*". pp. 1-65.
- [45] BESSAID .A, *Morphologie mathématique*. Pp 4-11.2016/2017.
- [46] "fit_ellipse - File Exchange - MATLAB Central", *Mathworks.com* , <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/3215-fit-ellipse?requestedDomain=www.mathworks.com>, aout 2017.
- [47] "ROSALIND | Glossary | Euclidean distance", *Rosalind.info*. <http://rosalind.info/glossary/euclidean-distance/>, aout 2017.
- [48] "Traitement du glaucome", *Glaucome | Site complet d'information sur le glaucome*. <http://www.glaucomes.fr/traitement/>. septembre 2017.

Résumé

Le glaucome est une neuropathie optique causant souvent des troubles visuels sans aucun symptôme précurseur. Il est habituellement provoqué par l'élévation de la pression intra oculaire (PIO) qui peut provoquer la cécité en endommageant le nerf optique.

Ce mémoire propose l'application d'un nouveau système d'estimation du glaucome en utilisant l'échelle de probabilité de dommage de disque optique (DDLS) appliquée sur des images du fond de l'œil.

Les images du fond de l'œil sont segmentées en disque et cup optique et classées selon l'échelle (DDLS) en dix stades en fonction de la classification du disque optique suivant les caractéristiques large, moyen et petit puis le rapport (rim /disque).

Le système proposé peut finalement classifier les cas de glaucome en dix stades.

Abstract

Glaucoma is an optic neuropathy that often causes visual disturbances without any precursor symptoms. It is usually caused by elevated intraocular pressure (IOP) which can cause blindness by damaging the optic nerve.

This paper proposes an application of new system for estimating glaucoma using the Optical Disc Damage Probability Scale (DDLS) applied to images of the back of the eye.

The images of the back of the eye are segmented into optical disc and cup and classified according to the scale (DDLS) in ten stages according to the classification of optical disc as wide, medium and small then the (rim / disc) ratio.

The proposed system can finally classify cases of glaucoma in ten stages.