



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 obtention du Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité: Imagerie Médicale

Présenté par: BENZERGA Mounsif Walid et KHELAIFIA Tallel

Détection et calcul automatique du diamètre pupillaire

Soutenu publiquement, le **20 / 06 / 2022**, devant le jury composé de :

Mme. ILES Amel

Mme. SETTOUTI Nessma

M. LAZOUNI Mohammed El Amine

Mme.LAZOUNI Leila Ryma

Présidente

Examinatrice

Encadreur

CO-Encadreur

Année universitaire 2021-2022

Nous dédions ce travail à nos parents d'avoir toujours été là pour nous à tous nos frères et sœurs, nos familles nos amis et enfin à tous ceux qui aspirent à la connaissance.

Remerciement

Tout d'abord, nous voudrions remercier Dieu Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

À nos encadreurs, Monsieur LAZOUNI Mohammed El Amine & Madame LAZOUNI Leila

Pour nous avoir accompagnés tout au long de notre projet et lors de la rédaction de ce mémoire. Pour leur encadrement exemplaire, Pour leur disponibilité sans faille, Pour le temps qu'ils nous ont reconnu pour la réalisation et l'obtention des objectifs proposés et pour leurs précieux conseils et remarques qu'ils nous ont donné et qui nous ont énormément aidés à améliorer notre travail de recherche et à bien produire notre mémoire. Pour tout cela, et bien plus encore, nous leur en sommes très reconnaissants.

À Mme Iles Amel

Pour nous avoir fait l'honneur de présider ce jury et d'examiner les résultats de notre projet de fin d'études. Veuillez trouver en ce travail le témoignage de notre profonde gratitude.

À Mme Settouti Nessma

Pour avoir accepté d'être parmi notre jury de soutenance et de prendre le temps d'examiner notre travail. Veuillez trouver en ce travail le témoignage de notre profonde gratitude.

Résumé

La dilatation est une étape importante dans la consultation d'ophtalmologie. Les pupilles doivent être dilatées de 4mm à 8mm (à l'aide des gouttes) pour que le médecin ophtalmologue puisse examiner l'ensemble de la rétine et de diagnostiquer certaines maladies oculaires. Cette étape pose des problèmes que ce soit une perte de temps, de matériel ou peut être une sur utilisation des gouttes qui peut causer des problèmes aux patients. Notre travail consiste à réaliser un Framework sur Django (python) qui permet la détection et calcul automatique du diamètre pupillaire en utilisant des images infrarouges pour résoudre tous ces problèmes.

Mots clés : *Django, Framework, maladies oculaires, Python, infrarouges*

Abstract

Dilation Is an important step in the ophthalmology consultation. The pupils must be dilated from 4mm to 8mm (using drops) so that the ophthalmologist can examine the entire retina and diagnose certain eye diseases. This step poses problems whether it is a waste of time, material or perhaps an overuse of the drops which can cause problems for patients. Our work consists in realizing a python framework using Django which allows the Detection and the automatic calculation of the pupillary diameter by using infrared images to solve all these problems.

Keywords : *Django, Framework, eye diseases, Python, infrared*

خلاصة

توسيع حدقة العين خطوة مهمة قبل التشخيص في طب العيون، يجب توسيع الحدقة من 4 مم الى 8 مم (باستعمال قطرات معينة) حتى يتمكن طبيب طب العيون من التفحص كامل للشبكية و تشخيص بعض أمراض العيون، . هاته الخطوة تخلق مشاكل عدة من ضياع للوقت و تبذير الموارد المستعملة كالقطرات أو خطر على صحة المريض عند استعمالهم زيادة عن اللزوم يتمثل عملنا في تصميم برنامج باستعمال **Python** و الذي يسمح بتحديد و حساب قطر الحدقة عن طريق صور بأشعة تحت الحمراء لحل هاته المشاكل.

الكلمات المفتاحية : حدقة العين ,جانغو، أمراض العيون ، *python* ، الأشعة تحت الحمراء

Table des matières

Remerciement.....	I
Résumé	II
Abstract.....	II
خلاصة	II
Table des matières	III
Table des figures	VI
Glossaire.....	VIII
Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 : Aspect Médical	3
1 Introduction	4
2 L'oeil	4
3 Dimensions de l'oeil	5
3.1 Tissus externes du globe oculaire	6
4 Cornée.....	7
5 Iris.....	8
6 Pupille.....	9
6.1 Muscle dilatateur.....	10
7 Dilatation des pupilles en ophtalmologie	11
7.1 Dilatation.....	11
7.2 Déroulement de la dilatation	12
7.3 Les cas qu'on besoin dilater l'œil	13
7.4 Durée de la dilatation des pupilles	13
7.5 Produits médicamenteux prescrits	14
7.6 Personnes autorisées à dilater les yeux des patients.....	15
7.7 Actes opératoires pour lesquels il ne faut pas effectuer de dilatation	16
8 Conclusion	16
Chapitre 2 : État de l'art.....	17
1 Introduction	18
2 Pupillomètre.....	18

2.1	Pupillométrie automatisée.....	18
2.2	Mesure de distance pupillaire en ophtalmologie.....	20
3	Techniques de Deep Learning utilisées pour la prédiction de la taille des pupilles.....	21
3.1	Réseau neuronal convolutif (CNN).....	21
3.2	Architecture du CNN.....	22
3.3	CNN et la taille du pupille.....	22
3.4	Résultat.....	23
4	Méthodes utilisées pour la détection des yeux.....	23
4.1	Algorithme Filtrage des ondelettes de Haar.....	24
4.2	Algorithme génétique.....	25
4.3	Méthode du seuil basée sur les caractéristiques de couleur.....	25
4.4	Algorithme Classificateur Haar.....	26
5	Méthodes utilisées pour la Détection de pupille.....	27
5.1	Algorithme Canny.....	28
5.2	T2FS.....	28
5.3	Algorithme de Sobel.....	29
5.4	Morphologie.....	29
5.5	Algorithme d'étiquetage.....	32
5.6	Seuil binaire.....	32
6	Méthodes utilisées pour la mesure du diamètre de la pupille.....	34
6.1	Algorithme d'ajustement d'ellipse.....	34
6.2	Transformée de Hough.....	34
7	Conclusion.....	36
Chapitre 3 : Approche proposée et résultats.....		37
1	Introduction.....	38
2	Photographie infrarouge.....	38
3	Importance de la photographie infrarouge en imagerie médicale et observation.....	39
4	Équipement nécessaire pour la photographie infrarouge.....	40
4.1	Caméra infrarouge convertie.....	40
4.2	Filtre infrarouge.....	41
4.3	Film infrarouge.....	42
5	Notions informatiques.....	42
5.1	Python.....	42

5.2	OpenCV	42
5.3	Fonctionnalités.....	43
5.4	Traitement d'image	43
6	Interface.....	44
6.1	Première page	45
6.2	Deuxième page.....	45
6.3	Troisième page	47
7	Django	47
8	Explication de l'algorithme.....	48
8.1	Approche proposée.....	50
8.2	Approximation des contours.....	51
9	Base des données et résultats	52
9.1	MRL DATA SET.....	52
9.2	Notre approche sur la base de données	54
10	Résultats	54
10.1	Résultat et discussion sur les images de p1.....	54
10.2	Résultat et discussion sur les images de p2.....	56
11	Critères pour obtenir une valeur de diamètre précise	57
11.1	Transformation de pixels en millimètre.....	58
12	Conclusion	59
	Conclusion générale	60
1	Conclusion Générale	61
	Annexe	62
1	Application Web.....	63
1.1	Fonctionnement d'une application web	63
1.2	Fonctionnement de l'application web	64
	Bibliographies	65

Table des figures

Figure 1. 1 - L'œil humain	5
Figure 1. 2 - les dimensions de l'œil	6
Figure 1.3 - la position de la cornée.....	7
Figure 1. 3 - - les différentes couleurs de l'iris.....	8
Figure 1. 4 - la pupille.....	9
Figure 1. 5 - Muscles involontaires de L'iris.....	10
Figure 1. 6 - syndrome de Claude Bernard-Horner	10
Figure 1. 7 - le mécanisme de mouvement pupillaire	11
Figure 1. 8 - Examen fond d'œil.....	12
Figure 1. 9 - Instillation des collyres	13
Figure 1. 10 - L'œil et la vision avant et après la dilatation	14
Table 1 - Les contre-indications des produits de dilatation	15
Figure 2.1 - Pupillomètre infrarouge automatisé NPi-300 (NeurOptics, Inc.)	19
Figure 2.2 - Écrans de résultats du pupillomètre (NeurOptics, Inc.)	20
Figure 2.3 - Équipement optique HE-710, instrument de mesure de la distance de la pupille.....	21
Figure 2.4 - la structure générale de Réseau neuronal convolutif CNN	21
Table 2.1 - les méthodes utilisés pour la détection de l'œil.....	24
Figure 2.5 - Algorithme génétique.....	26
Figure 2.6 - Illustration de l'architecture de la cascade.....	27
Figure 2.7 - Filtre de Canny	28
Figure 2.8 - Filtre de Sobel	29
Figure 2.9 - des exemples sur la morphologie	30
Table 2 2 - les méthodes utilisés pour la détection de pupille	32
Figure 2.10 - Seuil binaire	33
Table 2 3 - les méthodes utilisés pour la mesure du diamètre de la pupille	36
Figure 3.1 -Différence entre la photographie visible et la photographie infrarouge	39
Figure 3.2 - observation facile de la pupille grâce à l'utilisation de la photographie infrarouge..	40
Figure 3 3 - Les DSLR et les SLR	41
Figure 3 4 - logo de Python.....	42
Diagramme 1- Structure simplifiée de l'interface proposée.....	44
.....	45
Figure 3.5 - page d'accueil.....	45
Figure 3.6 - La deuxième page	46
Figure 3.7 - page de résultat.....	47
Figure 3.8 la liaison entre l'algorithme et l'interface	48
Figure 3 9 - Structure simplifiée de l'algorithme proposé	50
Figure 3.10 - nombre des sujets	53
Figure 3.11 - Résultats sur p1	55

Table 3.1 - Résultats sur p1.....	55
Figure 3.12 - Résultats sur p2	56
Table 3.2 - Résultats sur p2.....	57
Figure 3.13 - Valeur de diamètre en pixels.....	59

Glossaire

OCT : Optical coherence tomography

HTA : Hypertension artérielle

NPI : Neurological pupil index

ECC : Emergency Cardiovascular Care

AHA : American Heart Association

RCP : Réanimation cardiorespiratoire

PD : Distance pupillaire

GA : Algorithme génétique

CV : Computer vision

PSO : Particle Swam Optimization

T2FS : Type- 2 Fuzzy Sets

IT2FS : Interval Type- 2 Fuzzy Sets

OS : operating system

RVB : Rouge - Vert - Blue

BSD : Berkeley Source Distribution

RAM : Random Access Memory

LAB : Lightness-A-B (color model)

IR : Infra rouge

DSLR : Digital single-Lens reflex

SLR : Single-Lens reflex

JPG/JPEG : Joint Photographic Expert Group

PNG : Portable Network Graphics

Introduction Générale

L'œil est la fenêtre du corps. Où d'autres dans le corps pouvons-nous réellement voir un nerf qui est une extension du cerveau ? Ou des vaisseaux sanguins internes dont la santé reflète souvent la santé de vaisseaux sanguins dans d'autres organes ? De nombreuses maladies corporelles provoquent des changements dans les vaisseaux sanguins, nerfs et autres tissus des yeux. Même des changements mineurs qui pourraient bien passer inaperçus dans d'autres organes, se révèlent souvent aux yeux par leur effets sur la vision, et comme la pupille de l'œil est la seule moyenne d'explorer la partie interne de l'œil,

La pupille est généralement dilatée à un certain diamètre pour que le médecin puisse explorer l'intérieur de l'œil, mais cette dilatation prend parfois un temps inutilement long et plus que ce qui est requis pour les gouttes, ce qui signifie des pertes financières inutiles pour les hôpitaux, les cliniques et perte de temps pour les patients car le personnel ne sait pas si le diamètre qu'il a l'intention d'atteindre est acquis.

Dans ce mémoire notre objectif est de minimiser cette perte financière et la perte de temps tant pour les patients que pour le personnel pour plus de fluidité dans le fonctionnement des services d'ophtalmologie.

Notre étude porte sur la réalisation d'une application ou plutôt disons d'un algorithme qui va détecter le diamètre de la pupille après avoir pris une photo de l'œil.

Chapitre 1 : Aspect Médical

1 Introduction

L'œil est la fenêtre du corps, de nombreuses maladies corporelles provoquent des changements dans les vaisseaux, nerfs et autres tissus des yeux. Même des changements mineurs, qui pourraient passer bien inaperçus dans d'autres organes, se révèlent souvent au regard de leurs effets sur la vision. D'autres changements peuvent ne pas causer de symptômes, mais peuvent tout de même être détectés par un médecin compétent et consciencieux.

Dans ce premier chapitre, nous allons d'abord commencer par définir l'œil et ce qu'il consiste d'une manière courte mais compréhensive à la fois, tout cela pour enfin arriver à une compréhension totale de la pupille et son rôle. Cela sera possible en passant par l'œil puis la partie externe de celui-ci où appartient la pupille

Ensuite on va montrer que la dilatation pupillaire est une étape nécessaire dans une clinique d'ophtalmologie et en particulier pour détecter les pathologies du segment postérieur de l'œil, nous avons aussi parlé des causes de dilatation, le déroulement et mentionné les médicaments utilisés pour une dilatation parfaite avec ses contre-indications et les effets secondaires.

2 L'œil

Le globe oculaire peut être considéré comme la fusion d'une petite partie d'une petite sphère fortement incurvée avec une grande partie d'une grande sphère moins fortement incurvée, comme on peut le voir sur la(Figure 1.1) qui suit.

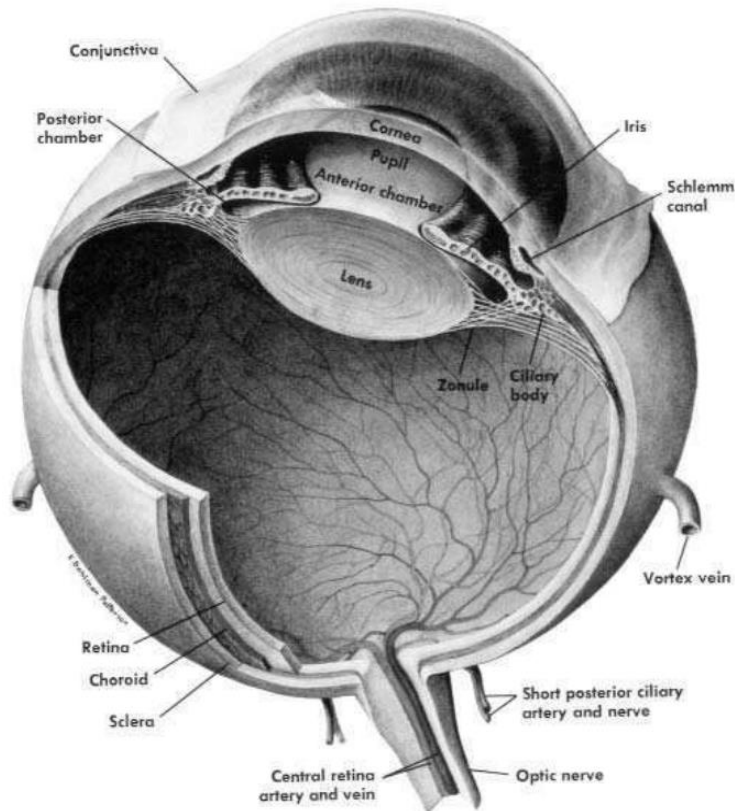


Figure 1. 1 - L'œil humain

Source : « The Human Eye », par C. BohlmanPatterson, dans Ophthalmology Principles and Concepts, 8e édition, 1946, p. ii; réimprimé avec la permission de The C. V. Mosby Entreprise (Harcourt Health Sciences)

L'œil se compose de plusieurs parties qui sont : la cornée, la sclère, l'iris, la pupille ... etc.

Puisque nous ne nous intéressons qu'à la détection automatique du diamètre pupillaire, nous allons passer par la définition des tissus externes du globe oculaire auxquels appartient la pupille.

3 Dimensions de l'oeil

Les dimensions de l'œil sont raisonnablement constantes, ne variant que d'un millimètre ou deux chez les individus en bonne santé ; le diamètre sagittal (vertical) est d'environ 24 mm et est généralement inférieur au diamètre transversal (horizontal).

A la naissance le diamètre sagittal est d'environ 16 à 17 mm ; elle augmente rapidement pour atteindre environ 22,5 à 23 mm à l'âge de 3 ans ; entre 3 et 13 ans, le globe atteint sa pleine taille. Le poids est d'environ 7,5 grammes, et son volume de 6,5 mm³. [1]

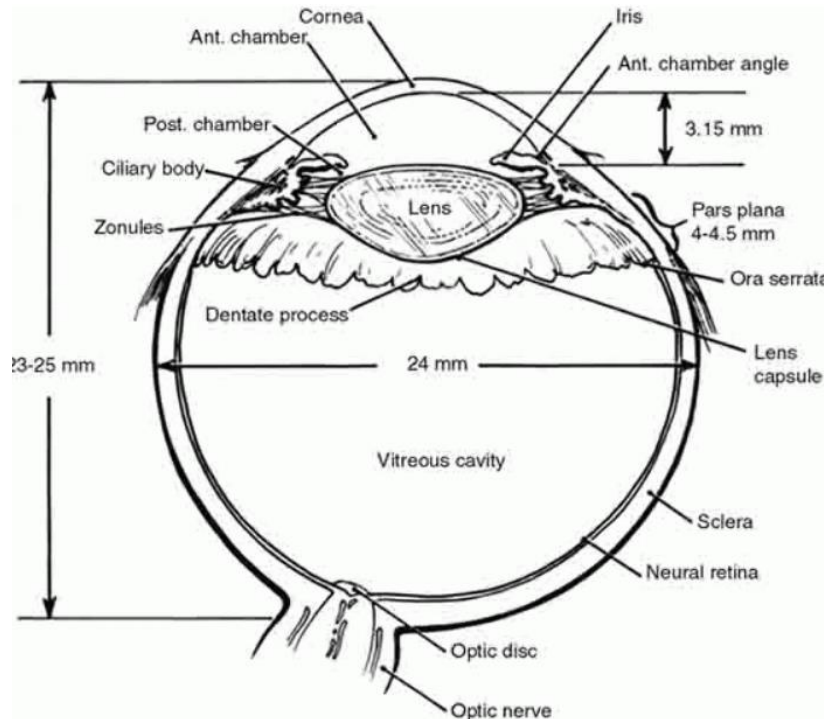


Figure 1. 2 - les dimensions de l'œil

3.1 Tissus externes du globe oculaire

La couche la plus externe de l'œil est constituée de la cornée et de la sclérotique. Bien que ces deux structures soient essentiellement des extensions de la même couche de tissu dans l'œil, elles ont des fonctions distinctes, la cornée jouant un rôle vital dans la focalisation de la lumière pour la photoréception et la sclérotique jouant un rôle important dans la protection du globe oculaire.[4][1]

4 Cornée

La cornée est la fenêtre transparente de l'œil. Elle mesure environ 12 mm (0,5 pouce) de diamètre [2],[3] et à l'exception de ses marges, ne contient aucun vaisseau sanguin. Cependant, elle contient de nombreux nerfs et est très sensible à la douleur ou au toucher.

Elle est nourrie et oxygénée en avant par les larmes et baignée en arrière par l'humeur aqueuse. La cornée protège la pupille, l'iris et l'intérieur de l'œil de la pénétration de corps étrangers et est le premier et le plus puissant élément du système de focalisation de l'œil. Lorsque la lumière traverse la cornée, elle est partiellement réfractée avant d'atteindre le cristallin. La courbure de la cornée, sphérique dans l'enfance mais changeant avec l'âge, lui confère son pouvoir de focalisation ; lorsque la courbe devient irrégulière, elle provoque un défaut de mise au point appelé astigmatisme, dans lequel les images apparaissent allongées ou déformées. [1][5]

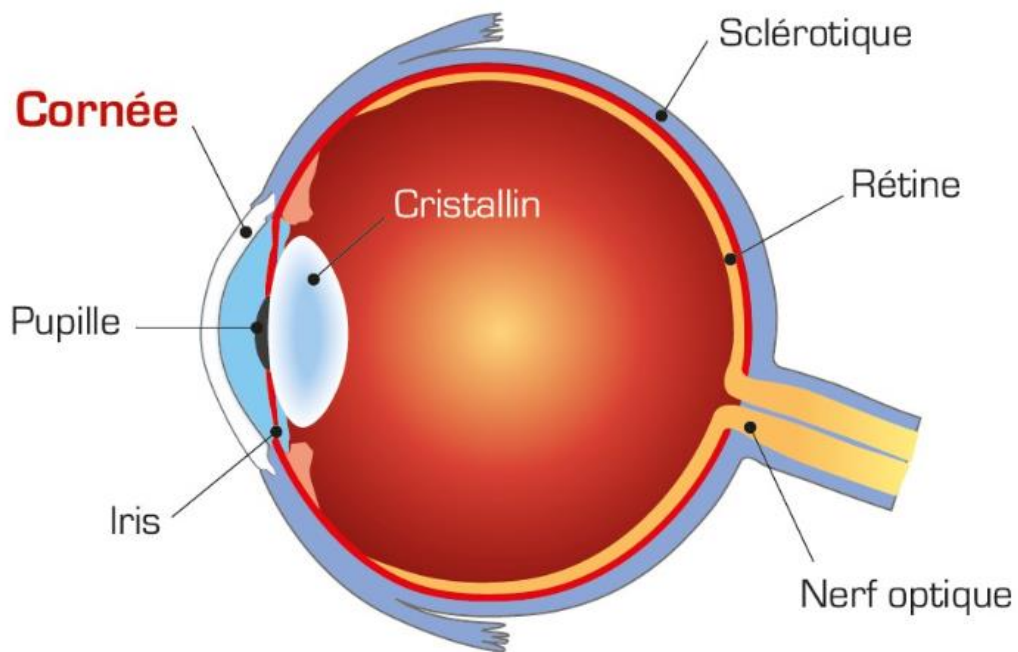


Figure 1.3 - la position de la cornée

5 Iris

La partie la plus antérieure de l'uvée est l'iris. C'est la seule partie visible à l'inspection superficielle, apparaissant comme un disque perforé, la perforation centrale, ou pupille, dont la taille varie en fonction de l'éclairage environnant et d'autres facteurs. Une caractéristique importante est la collerette au bord intérieur, représentant le lieu de fixation de la membrane pupillaire embryonnaire qui, dans la vie embryonnaire, recouvre la pupille. Comme le corps ciliaire, avec lequel il est anatomiquement continu, l'iris est constituée de plusieurs couches : à savoir, une couche antérieure de l'endothélium, le stroma ; et l'épithélium postérieur de l'iris.

Le stroma contient les vaisseaux sanguins et les deux feuilles de muscle lisse, les muscles sphincter et dilatateur, qui contrôlent respectivement la contraction (constriction) et l'expansion (dilatation) de l'iris. De plus, le stroma contient des cellules pigmentaires qui déterminent la couleur de l'œil. [1]



Figure 1. 3 - - les différentes couleurs de l'iris

6 Pupille

La lumière doit traverser la pupille avant de pouvoir atteindre le cristallin et être focalisée sur la rétine. Les fibres nerveuses parasympathiques du troisième nerf crânien (oculomoteur) innervent le muscle de l'iris qui provoque la constriction de la pupille, tandis que les fibres nerveuses sympathiques contrôlent la dilatation.

L'ouverture pupillaire se rétrécit également lors de la mise au point sur des objets proches et se dilate pour une vision plus éloignée. À sa contraction maximale, la pupille adulte peut mesurer moins de 1 mm (0,04 pouce) de diamètre et elle peut augmenter jusqu'à 10 fois son diamètre maximal.

La taille de la pupille humaine peut également varier en raison de l'âge, d'une maladie, d'un traumatisme ou d'autres anomalies du système visuel, y compris un dysfonctionnement des voies contrôlant le mouvement pupillaire. Ainsi, une évaluation minutieuse des pupilles est une partie importante des examens oculaires et neurologiques. [1]

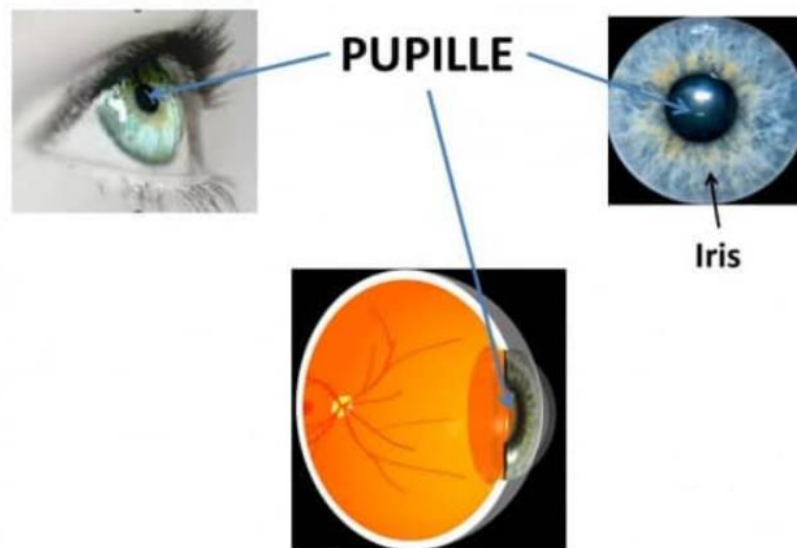


Figure 1. 4 - la pupille

6.1 Muscle dilatateur

Le muscle dilatateur de l'iris se contracte involontairement à mesure que la lumière disponible diminue, dilatant ainsi la pupille. La dilatation pupillaire est contrôlée principalement par le système nerveux sympathique. L'interruption de l'innervation du muscle dilatateur peut provoquer une pupille anormalement petite, une affection considérée comme faisant partie du syndrome de Horner. Le syndrome de Claude Bernard-Horner affecte une partie du visage, provoquant une chute de la paupière, une constriction de la pupille et une augmentation de la transpiration. Il est causé par une perturbation des fibres nerveuses qui relient le cerveau à l'œil [6].

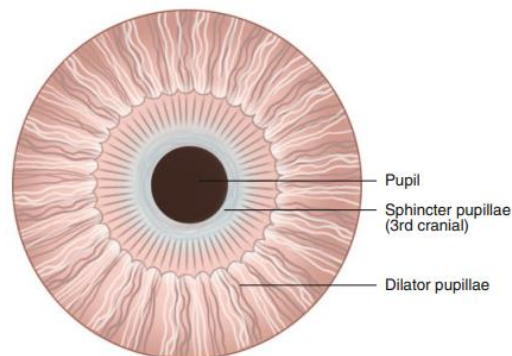


Figure 1. 5 - Muscles involontaires de L'iris

La rupture traumatique des muscles de l'iris peut provoquer une pupille de forme irrégulière. Les muscles dilatateurs peuvent également être trouvés dans d'autres parties du corps telles que le nez, où le muscle dilatateur naris aide à élargir les narines. [1]



Figure 1. 6 - syndrome de Claude Bernard-Horner

7 Dilatation des pupilles en ophtalmologie

7.1 Dilatation

La dilatation est une partie essentielle d'un examen complet de la vue. Il est nécessaire de diagnostiquer et de surveiller de nombreuses conditions médicales.

Essentiellement, la principale raison pour laquelle les ophtalmologistes utilisent des gouttes de dilatation est qu'elles leur permettent d'examiner le segment postérieur des yeux. Plus précisément la rétine. [8]

C'est une méthode thérapeutique qui élargit la pupille. Cette technique (mydriase) permet de voir le fond d'œil. Elle se pratique le plus souvent par l'instillation d'un collyre (en consultation), ou par le placement d'un insert dans le cul de sac palpébral inférieur (préopératoire). [7]

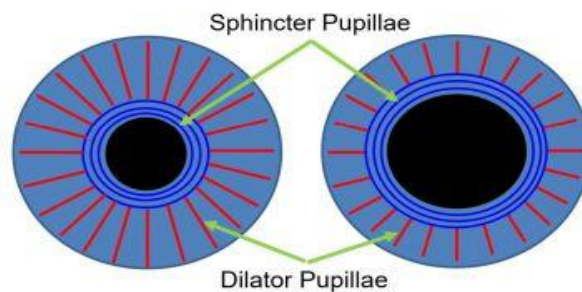


Figure 1. 7 - le mécanisme de mouvement pupillaire

La Figure 1.8 montre la disposition musculaire qui détermine la dilatation et la constriction pupillaire. Les muscles radiaux dilatent la pupille et les muscles du sphincter circulaire la contracte.

Les causes d'une dilatation des pupilles

“De façon physiologique, la pupille se dilate de façon bilatérale et symétrique lorsqu'il n'y a pas assez de luminosité : cet agrandissement permet de faire entrer plus de lumière et d'améliorer la vision” Dr. Christophe Orssaud .

Mais la pénombre n'est pas le seul facteur provoquant la dilatation des pupilles, il y'a :

- L'émotion : différentes émotions peuvent être à l'origine de la pupille dilatée comme la peur et l'attirance sexuelle.
- La prise de médicaments : c'est le cas de certains antidépresseurs, des antihistaminiques, des médicaments contre l'épilepsie, contre la maladie de parkinson.
- Les gouttes de dilatation : des gouttes oculaires appelées collyre mydriatiques (utilisées pour faciliter un examen ophtalmologique, notamment le fond d'œil).
- La consommation de drogues : la consommation d'alcool et de drogues peut réduire la capacité de la pupille à rétrécir son diamètre.
- Certaines pathologies peuvent également entraîner une dilatation bilatérale des pupilles en cas de souffrance cérébrale importante. C'est le cas des comas. [7]

7.2 Déroulement de la dilatation

Le but de la dilatation est de préparer les patients qui vont passer un examen du fond d'œil, un OCT ou une angiographie etc.

L'instillation d'une goutte de Néosynéphrine et 1 goutte de mydriatique suffit à dilater la majorité des patients en 30 min, et suffit pour effectuer un examen du fond d'œil ou un OCT.



Figure 1. 8 - Examen fond d'œil

Cependant pour réaliser les angiographies, des photographies ou des lasers, une dilatation maximale est nécessaire. Il est donc indiqué dans ce cas de répéter les instillations de chaque produit toutes les 10 minutes (3 fois au maximum) jusqu'à la dilatation souhaitée. [7]

7.3 Les cas qu'on a besoin de dilater l'œil

Dans toutes les pathologies du segment postérieur de l'œil lors des contrôles des patients en postopératoire, les infirmiers doivent noter sur la liste des patients lesquels sont à dilater, ainsi que l'œil concerné, et préciser s'il existe une allergie à l'un des collyres, et rassurer le patient, surtout les enfants, que le produit peut piquer les yeux. [7]

L'image suivante (Figure 1.9) montre la technique utilisée par les personnes habilitées pour instiller des collyres pour préparer le patient.



Figure 1. 9 - Instillation des collyres

7.4 Durée de la dilatation des pupilles

En cas de prise médicamenteuse, de drogue ou de collyre, la mydriase persiste jusqu'à l'élimination de la substance active (une vision floue entre trois à cinq heures). En cas de maladie, la mydriase a tendance à s'aggraver puis persister jusqu'au traitement de la cause. [7]

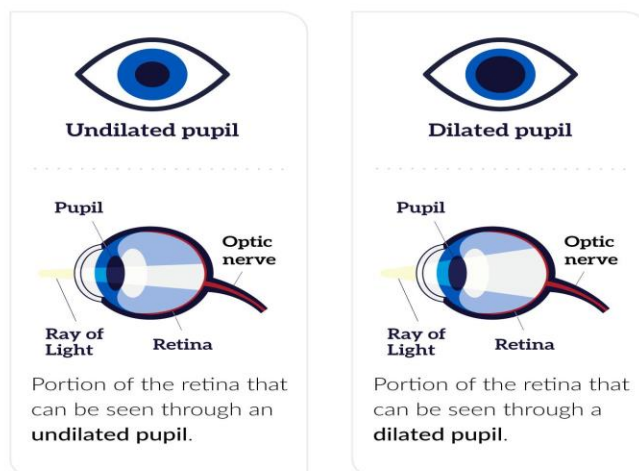


Figure 1. 10 - L'œil et la vision avant et après la dilatation

L'image précédente (Figure 1.10) montre la différence observée au niveau du pupille avant et après l'application des gouttes de dilatation. On remarque que le spécialiste peut voir la rétine bien comme il faut dans l'œil dilaté par contre dans l'œil non dilaté c'est difficile à capter la rétine.

7.5 Produits médicamenteux prescrits

Le produits	Effet secondaire	Durée effet	Les contre-indications
Le Mydriatique® collyre	Sécheresse de la bouche Sensibilité à la lumière	5 à 8 heures	Allergie au produit
La Néosynéphrine® 10% collyre	Possibilité de réactions allergiques Possibilité d'irritation	5 à 7 heures	Les femmes enceintes et allaitement Les allergies à la Néosynéphrine® Les HTA mal contrôlées

Skia col® 0,5 % collyre	Troubles de l'équilibre Céphalée Vertige	Généralement des effets transitoires (cessant en 4 à 6 heures)	Enfant de moins d'un an Injection péri/intra -oculaire Allaitement
Atropine alcyon® 0,3 % collyre	Sensibilité à la lumière Gonflement de la paupière Vertiges, maux de tête,	L'effet de l'atropine peut durer jusqu'à 2 semaines	Hypersensible à l'atropine Allaitement Enfant de moins de 12 an

Table 1 - Les contre-indications des produits de dilatation

La Table 1.1 qui apparaît à la page précédente nous permet de découvrir les médicaments les plus utilisés pour dilater les yeux, les effets secondaires de chaque goutte, la durée effet et les contre-indications de chaque collyre. Ces médicaments sont les plus utilisés par les cliniques algériennes.

Dans les cas suivants :

- Grossesse et allaitement.
- Enfants jusqu'à 10 ans.
- En cas d'allergie à l'un des collyres.

On doit utiliser uniquement le Mydriatique®. [7][9][10][11][12]

7.6 Personnes autorisées à dilater les yeux des patients

L'instillation des gouttes de dilatation ne doit être appliquée que par des personnes qualifiées pour ce processus

- Le médecin.
- Les infirmiers.

- Les aides-soignants.
- Les orthoptistes. [7]

7.7 Actes opératoires pour lesquels il ne faut pas effectuer de dilatation

- Strabisme.
- Iridectomie chirurgicale.
- Iridotomie au laser. [7]

8 Conclusion

Ce chapitre a été une ouverture pour comprendre l'anatomie de l'œil avec plus de détails sur ce qui concerne la pupille, en partant de ce qu'est la pupille jusqu'à ce qui l'affecte et quel rôle joue-t-elle. Ensuite nous avons montré que la dilatation pupillaire est une phase nécessaire dans une clinique d'ophtalmologie pour détecter les pathologies du segment postérieur de l'œil, nous avons aussi parlé des causes de dilatation, le déroulement et mentionné les médicaments utilisés pour une dilatation parfaite avec ses contre-indications et les effets secondaires. Le chapitre suivant va être -l'état de l'art- qui va aborder brièvement les outils et les instruments utilisés en service de médecine pour la pupille et le calcul du diamètre pupillaire, ensuite on va traiter en détails plusieurs méthodes de ce qui concerne la mesure du diamètre pupillaire.

Chapitre 2 : État de l'art

1 Introduction

Précédemment, nous avons discuté sur la pupille et comment sa dilatation peut également être utilisée pour soutenir la décision du médecin. Plusieurs études sur les changements pupillaires ont été menées afin de comprendre les émotions humaines et leur impact sur la taille de la pupille. Nous utiliserons ces études pour atteindre notre objectif qui est de calculer le diamètre afin d'accélérer le déroulement et l'efficacité de la dilatation pupillaire sur les hôpitaux et les cliniques d'ophtalmologie. Toutes ces études ont conclu que trois étapes sont nécessaires pour mesurer le diamètre de la pupille : la détection des yeux, la détection de la pupille et la mesure du diamètre de la pupille.

Ce chapitre abordera brièvement les outils et les instruments utilisés en service de médecine pour la pupille et le calcul du diamètre pupillaire, ensuite le traitement en détail de plusieurs méthodes de détection des yeux, des méthodes de détection de la pupille et des mesures du diamètre de la pupille à l'aide d'algorithmes de traitement d'image pour enfin conclure la méthode la plus simple et la meilleure pour atteindre notre objectif.

2 Pupillomètre

Le pupillomètre est le nom de deux appareils différents,

- L'un utilisé pour mesurer le réflexe lumineux pupillaire
- L'autre utilisé en ophtalmologie, qui mesure la distance entre les pupilles [13].

2.1 Pupillométrie automatisée

Un pupillomètre automatisé est un appareil portatif et portable. Il fournit une mesure fiable et objective de la taille, de la symétrie et de la réactivité pupillaires grâce à la mesure du réflexe lumineux pupillaire.

Indépendamment de l'examineur, un pupillomètre automatisé élimine la variabilité et la subjectivité, exprimant numériquement la réactivité de la pupille afin que la taille et la réactivité de la pupille puissent être orientées pour les changements, tout comme les autres signes vitaux. Un pupillomètre automatisé fournit également un moyen fiable et efficace de classer quantitativement et de déterminer la tendance de la réponse lumineuse de la pupille. [14][15][16][17]



Figure 2.1 - Pupillomètre infrarouge automatisé NPi-300 (NeuroOptics, Inc.)

À l'aide de pupillomètres et d'algorithmes automatisés, l'indice de pupille neurologique (NPi) de NeuroOptics peut offrir une approche paramétrique consolidée pour atténuer la subjectivité.[18] Le NPi et la pupillométrie automatisée ont également été récemment inclus dans les lignes directrices 2020 mises à jour de l'American Heart Association (AHA) pour la réanimation cardiorespiratoire (RCP) et les soins cardiovasculaires d'urgence (ECC) en tant que mesure d'objet soutenant le pronostic des lésions cérébrales chez les patients après un arrêt cardiaque.[19] Des études publiées

dans des revues à comité de lecture continuent de démontrer l'efficacité du NPi de NeurOptics pour aider les cliniciens à améliorer les résultats des patients.

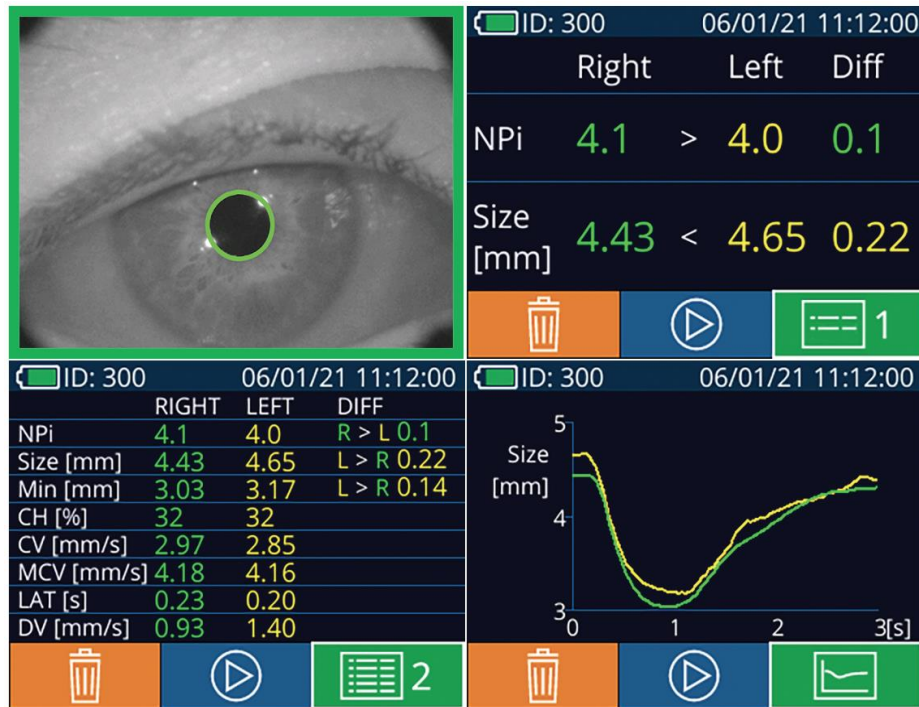


Figure 2.2 - Écrans de résultats du pupillomètre (NeurOptics, Inc.)

2.2 Mesure de distance pupillaire en ophtalmologie

Dans le sens le plus courant, un pupillomètre est un outil de mesure de la distance pupillaire (PD). Il est utilisé pour ajuster les lunettes de manière à ce que les verres soient centrés dans l'axe visuel. C'est la nomenclature la plus courante. Il peut également être utilisé pour vérifier une mesure de PD prise à partir d'une règle millimétrique placée sur l'arête du nez d'un patient pour la distance et la mise au point rapprochée.[42]



Figure 2.3 - Équipement optique HE-710, instrument de mesure de la distance de la pupille

3 Techniques de Deep Learning utilisées pour la prédiction de la taille des pupilles

Quand nous recherchons des articles sur l'AI et la pupille, la plupart des études se concentrent sur le suivi oculaire. Sauf pour la technique Réseau neuronal convolutif qui a touché notre sujet.

3.1 Réseau neuronal convolutif (CNN)

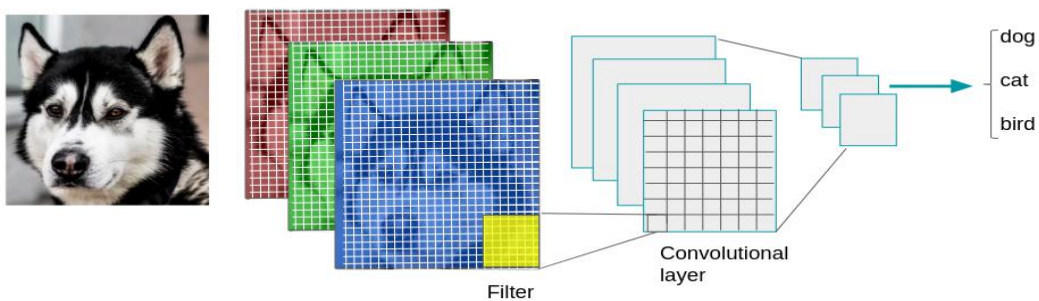


Figure 2.4 - la structure générale de Réseau neuronal convolutif
CNN

Les CNN désignent une sous-catégorie de réseaux de neurones et sont à ce jour un des modèles de classification d'images réputés être les plus performant

Leur mode de fonctionnement est à première vue simple : l'utilisateur fournit en entrée une image sous la forme d'une matrice de pixels.

Celle-ci dispose de 3 dimensions :

- Deux dimensions pour une image en niveaux de gris.
- Une troisième dimension, de profondeur 3 pour représenter les couleurs fondamentales (Rouge, Vert, Bleu).

3.2 Architecture du CNN

L'architecture du Convolutional Neural Network dispose en amont d'une partie convolutive et comporte par conséquent deux parties bien distinctes :

- **Une partie convolutive** : Son objectif final est d'extraire des caractéristiques propres à chaque image en les compressant de façon à réduire leur taille initiale. En résumé, l'image fournie en entrée passe à travers une succession de filtres, créant par la même occasion de nouvelles images appelées cartes de convolutions. Enfin, les cartes de convolutions obtenues sont concaténées dans un vecteur de caractéristiques appelé code CNN.
- **Une partie classification** : Le code CNN obtenu en sortie de la partie convolutive est fourni en entrée dans une deuxième partie, constituée de couches entièrement connectées appelées perceptron multicouche (MLP pour Multi Layers Perceptron). Le rôle de cette partie est de combiner les caractéristiques du code CNN afin de classer l'image. (52)

3.3 CNN et la taille du pupille

Habituellement, la forme de la pupille n'est pas ronde et 50% des pupilles peuvent être calculées en utilisant des ellipses comme les formes les mieux adaptées.

Une recherche faite le 21 Juillet 2021 par le département de génie électronique et informatique (Université Nationale des Sciences Et Technologies De Taiwan) a utilisé les axes majeur et mineur d'une ellipse pour représenter la taille des pupilles et utilise les deux paramètres comme sortie du réseau. En ce qui concerne l'entrée du réseau, la base de données est au format vidéo (images

continues). Prendre chaque image des vidéos et les utiliser pour former le modèle CNN peut entraîner un surajustement car les images sont trop similaires.

Cette étude a utilisé l'augmentation des données et calculé la similarité structurelle pour assurer que les images avaient un certain degré de différence pour éviter ce problème. Pour optimiser la structure du réseau, cette étude a comparé l'erreur moyenne avec les changements dans la profondeur du réseau et le champ de vision (FOV) du filtre de convolution.

3.4 Résultat

Le résultat montre que l'approfondissement du réseau et l'élargissement du FOV de le filtre de convolution peut réduire l'erreur moyenne. Selon les résultats, l'erreur moyenne de la longueur de pupille est de 5,437 % et la surface de la pupille est de 10,57 %. Il peut fonctionner dans des systèmes embarqués mobiles à faible coût à 35 images par seconde, démontrant que des conceptions à faible coût peuvent être utilisées pour la prédiction de la taille de la pupille. (53)

4 Méthodes utilisées pour la détection des yeux

Plusieurs études ont mené la détection des yeux sur des images faciales en utilisant ces algorithmes suivants :

- Classification bayésien basé sur l'ondelette de Haar [20]
- L'algorithme génétique [21],
- La méthode du seuil basée sur les caractéristiques de couleur [22]
- L'algorithme Classificateur Haar [23].

Ce qui vient ensuite est une explication pour chacun d'eux et un tableau qui présente les avantages et les inconvénients de chaque méthode

Algorithme	Performance	Avantage	Inconvénient
Ondelette de Haar avec fonction Discriminant Haar	91.37%	Convient pour capturer des images avec une intensité différente.	Espace de grande dimension, utilisant la fonction Haar discriminante pour un espace de faible dimension
Génétique	96.5%	Haute précision	Long processus
Caractéristique de couleur	98,5%	Avec un seuil approprié, trouver directement l'image avec deux yeux	Utiliser un seuil flexible
Classificateur Haar	95%	Haute précision, processus court, disponibilité du module dans OpenCV	Selon les images des yeux, une image claire donnera un meilleur résultat

Table 2.1 - les méthodes utilisés pour la détection de l'œil

4.1 Algorithme Filtrage des ondelettes de Haar

Cet algorithme compte le nombre de matrices par ligne ou par colonne. Cet algorithme est un groupe de fonctions de base capables de capturer la relation entre l'intensité moyenne dans les régions voisines d'échelle et d'orientation différentes. D'après le tableau 2.1 l'avantage de l'ondelette de Haar est une intensité de différence schématique

Appropriée pour capturer la caractéristique de la structure de l'œil, c'est-à-dire une pupille de couleur sombre entourée d'une sclérotique relativement blanche. [24]

4.2 Algorithme génétique

Mokhayéri et Akashi ont utilisé l'algorithme génétique (GA) pour la détection des yeux. L'algorithme génétique a atteint une précision élevée d'environ 96,5 %, bien que cela prenne du temps [21][25]

4.3 Méthode du seuil basée sur les caractéristiques de couleur

Jomier et Kanchi ont effectué une détection oculaire en observant les caractéristiques de couleur. Il est facile d'obtenir des images des deux yeux. Néanmoins, un seuil flexible affecte les résultats de la détection de l'œil puisque chaque image aura un seuil différent.[22][26]

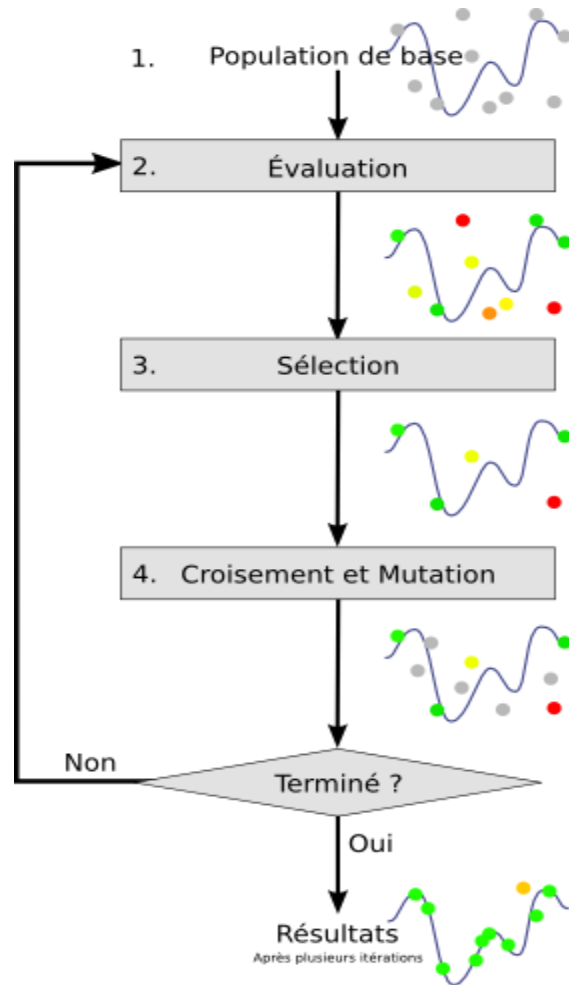


Figure 2.5 - Algorithme génétique

4.4 Algorithme Classificateur Haar

Adachi a utilisé l'algorithme Classificateur Haar qui a été développé de l'algorithme d'ondelettes de Haar [23]. Selon Wilson, Viola et Jones ont conçu le Classificateur Haar pour pouvoir détecter instantanément des objets sur un visage humain, avec AdaBoost Cascades Classifier basé sur des fonctionnalités de type Haar [27]. Intel a développé un logiciel de vision par ordinateur, à savoir OpenCV (Open Computer Vision Library), qui contient également la fonction de classification de Haar.

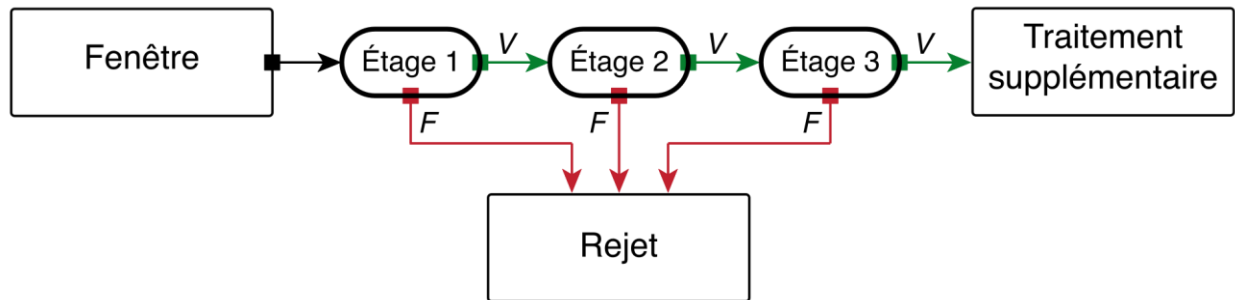


Figure 2.6 - Illustration de l'architecture de la cascade

Dans le tableau 2.1 trois algorithmes viennent avec une grande précision de plus de 95%, à savoir génétique algorithmes, caractéristique de couleur et Haar Classifier. L'algorithme de Génétique nécessite un long processus de calcul, la méthode caractéristique de couleur utilise un seuil flexible, tandis que Haar Classifier ne nécessite pas un long processus de calcul et peut être exécuté sur OpenCV.

5 Méthodes utilisées pour la Détection de pupille

Une fois l'œil détecté, la deuxième étape est la détection de la pupille. La détection de pupille peut être menée avec

- Canny [23]
- Morphologie [22],[29]
- Méthode d'étiquetage [21].
- combinaison d'intervalle Type- 2 Fuzzy Sets (IT2FS) et Particle Swam Optimization (PSO) [21],
- Seuil binaire avec l'algorithme de Sobel [28], ou combiné avec Color Space, ainsi que les combinaisons de lissage et seuil binaire [23].

5.1 Algorithme Canny

Canny est largement utilisé pour détecter les bords. Selon Jayachandra [30], l'algorithme de Canny est très efficace pour améliorer la précision de la détection de la position de l'iris. Cependant, l'algorithme ne peut pas être appliqué à une image couleur [31]. Prudent algorithmes est également faible dans l'équilibre entre l'élimination du bruit et maintenir l'avantage. En plus de cela, l'algorithme Canny a également une limitation dans la détermination du seuil adaptatif.

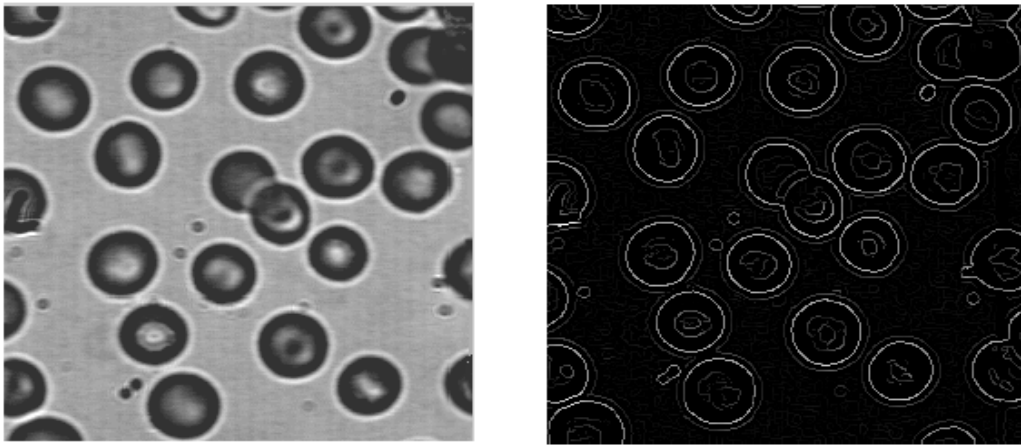


Figure 2.7 - Filtre de Canny

5.2 T2FS

Est développé à partir de T1FS (fonctions floues couramment utilisées). T2FS fournit plus de conception sur les degrés de liberté. Ainsi, il peut être utilisé pour la détection des bords. Mokhayeri [21] a utilisé l'intervalle Type 2 Fuzzy Set (IT2FS) en combinaison avec le PSO (Particle Swarm Optimisation) pour ajuster la variation d'adhésion des fonctions. Castillo [32] a rapporté que dans différents domaines, presque toutes les recherches utilisant la combinaison IT2FS-PSO se sont avérées fructueuses, soit pour le contrôle du renseignement, la prédiction de séries chronologiques ou le modèle reconnaissance. IT2FS dans ces études a été utilisé pour résoudre les incertitudes dans l'estimation, le contrôle et la reconnaissance des formes.

5.3 Algorithme de Sobel

L'algorithme de Sobel est un algorithme de détection de bord qui n'est pas sensible au bruit. Cet algorithme a un petit masque et peut détecter le bord en calculant les dérivées partielles 3x3, et n'est donc pas optimal pour les images complexes [33]. Masi [28] a utilisé le seuil pour créer une image binaire et un algorithme de filtres Sobel pour détecter les bords, pour obtenir la pupille normalisée à la valeur maximale.

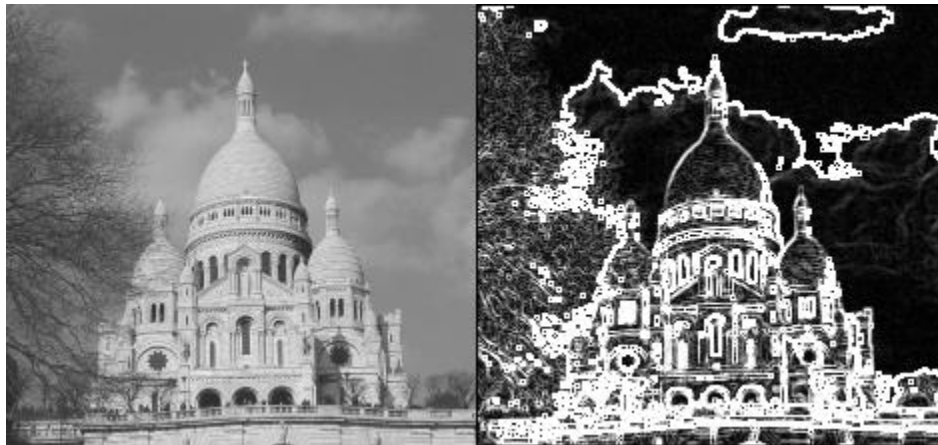


Figure 2.4 - Filtre de Sobel

5.4 Morphologie

La morphologie est une méthode pour améliorer l'image, en utilisant plusieurs opérateurs. Elle détecte la forme d'une image [34]. Jomier [22] a utilisé la morphologie avec des opérations de fermeture pour couvrir le trou dans l'image de la pupille tandis que Giacomitti [29] utilisait la morphologie pour éliminer la lumière réflexion sur la pupille et combiner l'image originale avec l'image de morphologie. Asadifard [35] a amélioré l'image de la pupille en utilisant l'érosion opérateur de morphologie. Selon Poursaberi [34], l'utilisation de la morphologie d'image binaire

accélère le processus de réparation d'image et résulte en de bonnes performances. Pour des résultats optimaux, appropriiez-vous l'opérateur de morphologie doit être sélectionné

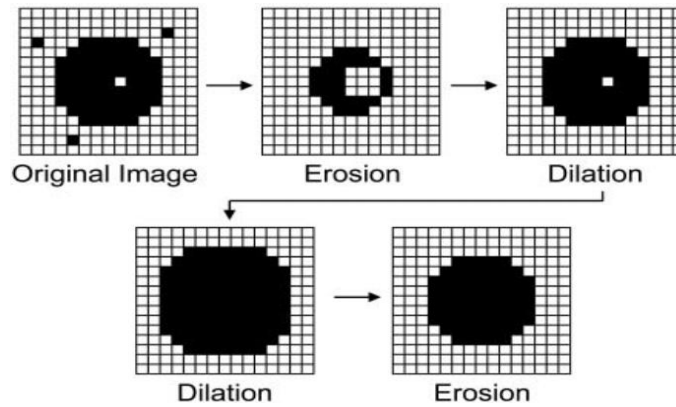


Figure 2.5 - des exemples sur la morphologie

Algorithme	Performance	Avantage	Inconvénient
Canny	Haute précision	Très efficace pour améliorer la précision de la détection de la position de l'iris	Détermination adaptative du seuil
IT2FS + PSO	N/A	Capable de régler variantes adhésion les fonctions. PSO l'algorithme est plus rapide que la génétique et fourni	Algorithme PSO, atteint le résultat Avec une optimisme. La vitesse et précisions de direction peut réduire

		colonie	
Seuil Binaire	N/A	Facile de mettre en œuvre	Pour un résultat optimal. besoin d'un Seuil approprié .
Morphologie	Oeil droit 90% et œil gauche 94%	L'image binaire accélère le processus de réparation d'image et se traduit par des performances positives	Pour un résultat optimal, l'opérateur de morphologie approprié doit être sélectionné
Labelling	N/A	Balayage rapide Algorithme peut détecter toutes les images. simples et facile de mettre en œuvre	Pour un résultat optimal besoin de numérisation de pixels à deux reprises
Sobel	82.4%	Non sensible au bruit et ayant un petit masque et peut détecter les contours en calculant les	Résultat non optimal pour une image complexe

		dérivées partielles 3x3	
Espace colorimétrique	95,18%	Faible coût informatique	Sous la lumière, la couleur est très sensible aux changements

Table 2 2 - les méthodes utilisés pour la détection de pupille

5.5 Algorithme d'étiquetage

Selon He [36], l'algorithme d'étiquetage est une image binaire convertie en une image symbolique où tous les pixels sont connectés, les composants reçoivent des étiquettes uniques. La recherche sur l'étiquetage algorithmes a été mise en œuvre en utilisant un double balayage, connu sous le nom d'Algorithme rapide à deux balayages capables de détecter toutes les images. L'algorithme d'étiquetage est simple et facile à mettre en œuvre, bien qu'il nécessite deux pixels de lecture pour des résultats optimaux. Adachi [23] a utilisé l'espace colorimétrique pour la détection des pupilles. Adachi converti une image originale en Lab espace colorimétrique, puis séparé les composants de couleur RVB en R, G, B et Lab composants séparés en L, a, b. L symbolise la luminance(éclairage), a et b symbolisent les canaux de couleur. Après, ils ont été recombinaés avec la composition (R, a, b), (G, a, b) et (B, a, b). Le processus a été répété jusqu'à ce qu'une image claire de la pupille soit obtenue. L'étape suivante consiste à appliquer le seuil de niveaux de gris, suivi par le positionnement de la pupille.

5.6 Seuil binaire

Seuil binaire est une autre méthode de détection de pupille. Ahmed [37] a indiqué dans chaque valeur une composition de couleur dans chaque pixel d'une image est comparée au seuil. Si la valeur est supérieure au seuil, le pixel de couleur est noté 1 ou blanc. Si la valeur est plus petite que le seuil, le pixel de couleur est noté 0 ou noir. Une fois terminé, le processus continue jusqu'à la détection des bords ou autre processus qui peuvent être appliqués pour détecter la pupille. Jomier [22] a développé le seuil binaire en utilisant les valeurs de seuil, à savoir μ et σ . Masi [28] a utilisé le seuil pour créer une image binaire et un algorithme de filtre de Sobel pour détecter les bords. Giacometti [29] a utilisé un seuil pour créer une image binaire et un processus de morphologie pour éliminer la réflexion de la lumière sur la pupille et combiner image originale avec image de morphologie. Kawai [38] a interprété un seuil binaire suivi d'un étiquetage. D'après Ahmad [37], l'algorithme seuil binaire obtient de bons résultats tant que le seuil est correctement sélectionné. Pour la détection des bords, les autres méthodes sont nécessaires. Ahmad a utilisé un seuil local et global qui peut éliminer le bruit et faire des lignes plus épaisses.

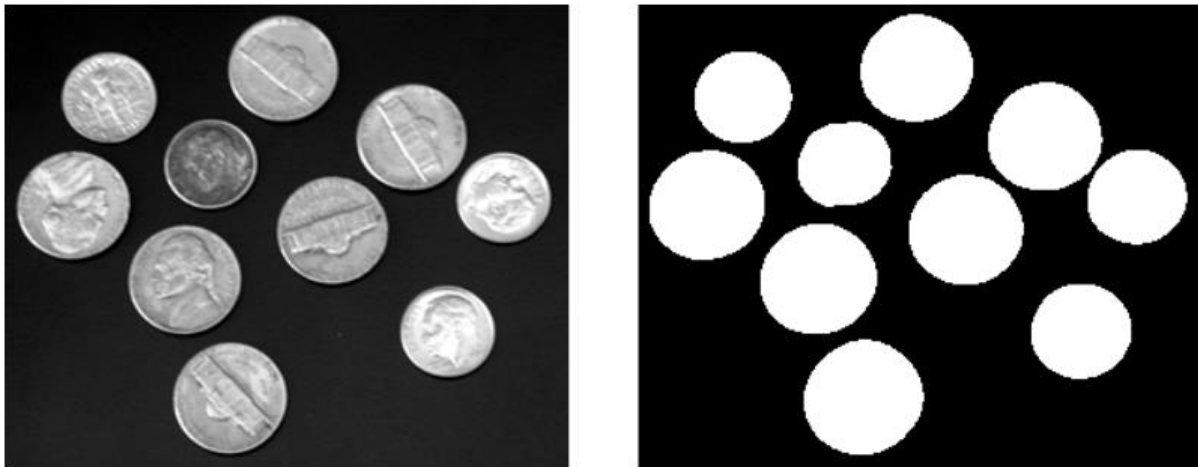


Figure 2.6 - Seuil binaire

Dans le tableau 2.2, sur l'algorithme de détection de pupille, trois algorithmes ont une grande précision de plus de 90%, à savoir les algorithmes de Canny, algorithmes de morphologie et d'espace colorimétrique, bien qu'avec désavantage. Le seuil binaire est facile à appliquer et peut être exécuté sur OpenCV.

6 Méthodes utilisées pour la mesure du diamètre de la pupille

Une fois que l'image de la pupille est visible, le processus suivant consiste à mesurer le diamètre de la pupille. Il existe différentes manières de mesurer diamètre de la pupille, par exemple en utilisant

- un algorithme d'ajustement des caractéristiques géométriques avec la méthode des moindres carrés.[39]
- La mesure du diamètre de la pupille peut également utiliser l'équation d'ellipse. [21]

6.1 Algorithme d'ajustement d'ellipse

Peut être utilisé pour mesurer le diamètre d'ellipse avec des critères d'erreur utilisant les moindres carrés linéaires. Selon Zhu [40], cet algorithme est simple et précis tant que des données suffisantes sont disponibles. Mokhayeri[21] a utilisé cet algorithme pour calculer le diamètre de la pupille en utilisant la formule (1) pour détecter le grand et le petit axe ; (x_0, y_0) est le point central de la ellipse, A, B, C sont des coefficients. La longueur trouvée est considérée comme le diamètre de la pupille.

$$a = \sqrt{\frac{2(Ax_0^2 + Bx_0y_0 + Cy_0^2) - F}{(A+C)^2 - \sqrt{B^2(A-C)^2}}} \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

6.2 Transformée de Hough

Jomier [22] a utilisé la transformée de Hough pour mesurer le diamètre de la pupille. L'algorithme transformée de Hough est largement utilisé pour trouver le cercle car cela peut

améliorer l'efficacité, le stockage et la fiabilité par rapport aux autres méthodes [41]. Sur la détection de pupille, Kawai déclare que la zone S symbolise la zone pupillaire détectée.

Par conséquent, l'équation (2) est utilisée pour trouver le diamètre de la pupille de Kawai (r_p).

Dans le tableau 2.3, l'algorithme de transformation de Hough a une grande précision, à 95 %. Dans OpenCV, l'algorithme transformée de Hough peut également être utilisé pour créer un cercle, bien qu'il soit difficile de trouver la pupille diamètre. Un autre algorithme facile à mettre en œuvre est l'algorithme Least Squares en utilisant l'équation d'ellipse ou l'équation de cercle.

$$r_p = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (2)$$

Algorithme	Performance	Avantage	Inconvénient
Transformée de Hough	95%	Améliorer l'efficacité, le stockage et la fiabilité par rapport à d'autres méthodes	Pour une mise en œuvre simple nécessite des calculs complexes et des tableaux de grande dimension
Équation Ellipse	N/A	Facile de mettre en œuvre et à faible coût de calcul	Faible précision
L' équation de cercle	N/A	Facile de	Faible précision

		mettre en œuvre et à faible coût de calcul	
--	--	--	--

Table 2 3 - les méthodes utilisés pour la mesure du diamètre de la pupille

7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons discuté de tout ce qui concerne la pupille en termes d'instruments et d'algorithmes, ce qui nous a donné une grande compréhension sur ce qui repose sur le chapitre suivant, après avoir compris toutes les techniques et les méthodes disponibles pour atteindre notre objectif, nous pouvons dire que la manière la plus efficace de l'aborder c'est avec

- Le classificateur de haar pour la détection des yeux
- Seuil binaire pour la détection de la pupille
- Moindres carrés (Least squares) ou transformée de hough pour mesurer le diamètre.

Mais quand il s'agit de médecine en général et d'ophtalmologie en particulier nous avons également remarqué que la majorité des instruments d'ophtalmologie utilisent ce qu'on appelle la photographie infrarouge lorsqu'il s'agit de capturer une image ou un vidéo et précisément ils se concentrent uniquement sur l'œil pour plus de précision et de clarté, donc dans notre algorithme que nous aborderons dans le chapitre suivant nous allons sauter l'étape de la détection de l'œil et nous concentrer seulement sur la détection et la mesure du diamètre en utilisant la photographie infrarouge que nous expliquerons dans le prochain chapitre.

Dernièrement, il y a eu de nombreuses approches utilisant le Deep Learning comme outil pour détecter la pupille et son diamètre et montrant d'excellents résultats dans le temps, nous nous en tiendrons à la méthode classique car elle prend moins de temps pour être efficace et précise et il est plus facile de le modifier et d'y ajouter des fonctionnalités

Chapitre 3 : Approche proposée et résultats

1 Introduction

Après avoir présenté l'œil et la pupille de manière anatomique et parcouru tous les algorithmes et techniques utilisés pour détecter et mesurer la pupille. Ce chapitre traitera tout ce qui concerne notre approche depuis les méthodes utilisées en passant par notre objectif principal et but avec quelques normes et critères à respecter jusqu'aux résultats obtenus mais avant cela nous présenterons la photographie infrarouge et pourquoi son utilisation est essentielle dans notre programme, ainsi que tout ce qui touche à la médecine en général et définir quelques notions informatiques utilisées sur notre programme pour enfin arriver à la conclusion.

2 Photographie infrarouge

La photographie infrarouge (ou photographie IR) est un type de photographie qui utilise des films ou des appareils photo spéciaux capables de reconnaître et de reproduire la lumière infrarouge (lumière IR). La lumière infrarouge est une division dans le spectre complet du rayonnement électromagnétique (EMR), qui se déplace dans une longueur d'onde plus longue que le spectre de la lumière visible, autrement dit la division que l'œil humain peut voir. Bien que l'œil humain ne puisse pas non plus percevoir la lumière infrarouge, des caméras infrarouges spécialement conçues et des filtres infrarouges externes peuvent la capturer. Les appareils photo reflex (SLR) et reflex numériques (DSLR) utilisent un miroir et un prisme qui permettent au photographe de voir une image infrarouge.[43]



Figure 3.1 -Différence entre la photographie visible et la photographie infrarouge

3 Importance de la photographie infrarouge en imagerie médicale et observation

Le rayonnement électromagnétique utilisé dans la photographie infrarouge est un moyen non invasif et sans contact d'observer des images à travers la peau. Les professionnels de la santé l'utilisent souvent pour étudier les nerfs, les veines, les tumeurs du sein et les dommages causés par les brûlures. Ses utilisations incluent la capacité d'étudier les conditions impliquant les yeux [43], et pour notre objectif elle permet également de différencier plus facilement la pupille et de la repérer facilement des autres éléments comme on peut le voir sur (Figure 3.2)



Figure 3.2 - observation facile de la pupille grâce à l'utilisation de la photographie infrarouge

4 Équipement nécessaire pour la photographie infrarouge

La photographie infrarouge nécessite un équipement photographique spécifique, ainsi :

4.1 Caméra infrarouge convertie

Les SLR (reflex à objectif unique) ou DSLR (reflex à objectif unique numérique) peuvent prendre des images infrarouges, mais dans la plupart des cas, les longs temps d'exposition nécessaires pour capturer une photo infrarouge entraîneront un flou de mouvement. Vous pouvez convertir les caméras pour prendre des images infrarouges en supprimant le filtre de blocage infrarouge sur le capteur de la caméra et en le remplaçant par un filtre "IR pass", supprimant la lumière visible. La conversion de l'appareil photo permettra à la fois la photographie infrarouge et l'utilisation normale de l'appareil photo. Cependant, le changement est permanent et peut être

difficile (si vous le faites vous-même ou avec des tutoriels) ou coûteux (si vous l'envoyez à une société de conversion infrarouge) [43].



Figure 3 3 - Les DSLR et les SLR

4.2 Filtre infrarouge

Un filtre infrarouge est le moyen le plus économique de prendre des photos infrarouges. Il existe de nombreux filtres infrarouges différents sur le Marsé qui peuvent capturer des éléments du spectre infrarouge. Cependant, de nombreux problèmes liés à la prise de vue de photographies infrarouges sur des appareils photo non convertis sont également présents lors de l'utilisation de filtres, comme le flou de mouvement dû à de longs temps d'exposition et à des vitesses d'obturation plus lentes. Certains peuvent également produire un point chaud - une zone d'une image plus lumineuse que d'autres - qui nécessite un travail de post-traitement important [43].

4.3 Film infrarouge

Vous pouvez utiliser un film infrarouge couleur ou noir et blanc pour capturer une image infrarouge. Cependant, le film infrarouge peut être coûteux et difficile à trouver [43].

5 Notions informatiques

5.1 Python

Python est un langage de programmation informatique souvent utilisé pour créer des sites Web et des logiciels, automatiser des tâches et effectuer des analyses de données. C'est un langage à usage général, ce qui signifie qu'il peut être utilisé pour créer une variété de programmes différents et qu'il n'est pas spécialisé pour des problèmes spécifiques.[44]



Figure 3 4 - logo de Python

5.2 OpenCV

Pour la réalisation de notre projet nous avons utilisé quelques logiciels ainsi que quelques appareils qui vont être utilisés pour le traitement des données visuelles. Cette partie est consacrée à donner une idée générale sur les notions de base de la bibliothèque OpenCV et sa configuration sous Windows 10 avec Spyder 4.1.5 (Anaconda 3).

OpenCV (Open Source Computer Vision) est une librairie de traitement et analyse d'images et vidéos avec des interfaces pour les principaux langages de programmation. On peut traiter des images et des vidéos pour identifier des objets, des visages ou même l'écriture manuscrite d'un humain. Lorsqu'il est intégré à diverses bibliothèques, telles que NumPy, python est capable de traiter la structure du tableau OpenCV à des fins d'analyse. Cette librairie publiée sous une licence BSD est sans frais pour un usage scolaire ou commercial. Son intérêt est de réaliser des traitements sans forcément connaître les algorithmes. La bibliothèque possède plus de 2500 algorithmes optimisés. [45]

Computer Vision est un processus par lequel nous pouvons comprendre les images et les vidéos, comment elles sont stockées et comment nous pouvons les manipuler et en extraire des données. [45]

5.3 Fonctionnalités

La bibliothèque OpenCV met à disposition de nombreuses fonctionnalités très diversifiées permettant de créer des programmes des interfaces graphiques basiques, par exemple :

Image/vidéo I/O, Traitement, exécution, Apprentissage automatique et clustering. [45]

5.4 Traitement d'image

Le traitement d'image est l'analyse et la manipulation d'une image numérisée, notamment dans le but d'en améliorer la qualité.[45]

OpenCV propose plusieurs opérations pour traiter les images comme :

- La manipulation (chargement, sauvegarde, copie, conversion...)
- Filtrage
- Lissage
- Détections de discontinuités,
- Morphologie mathématique
- Analyse d'images
- Calcul de l'histogramme des niveaux de gris ou d'histogrammes couleurs. [45]

6 Interface

L'interface utilisée est développée par Django. Django est un Framework Web côté serveur extrêmement populaire et complet, écrit en Python.

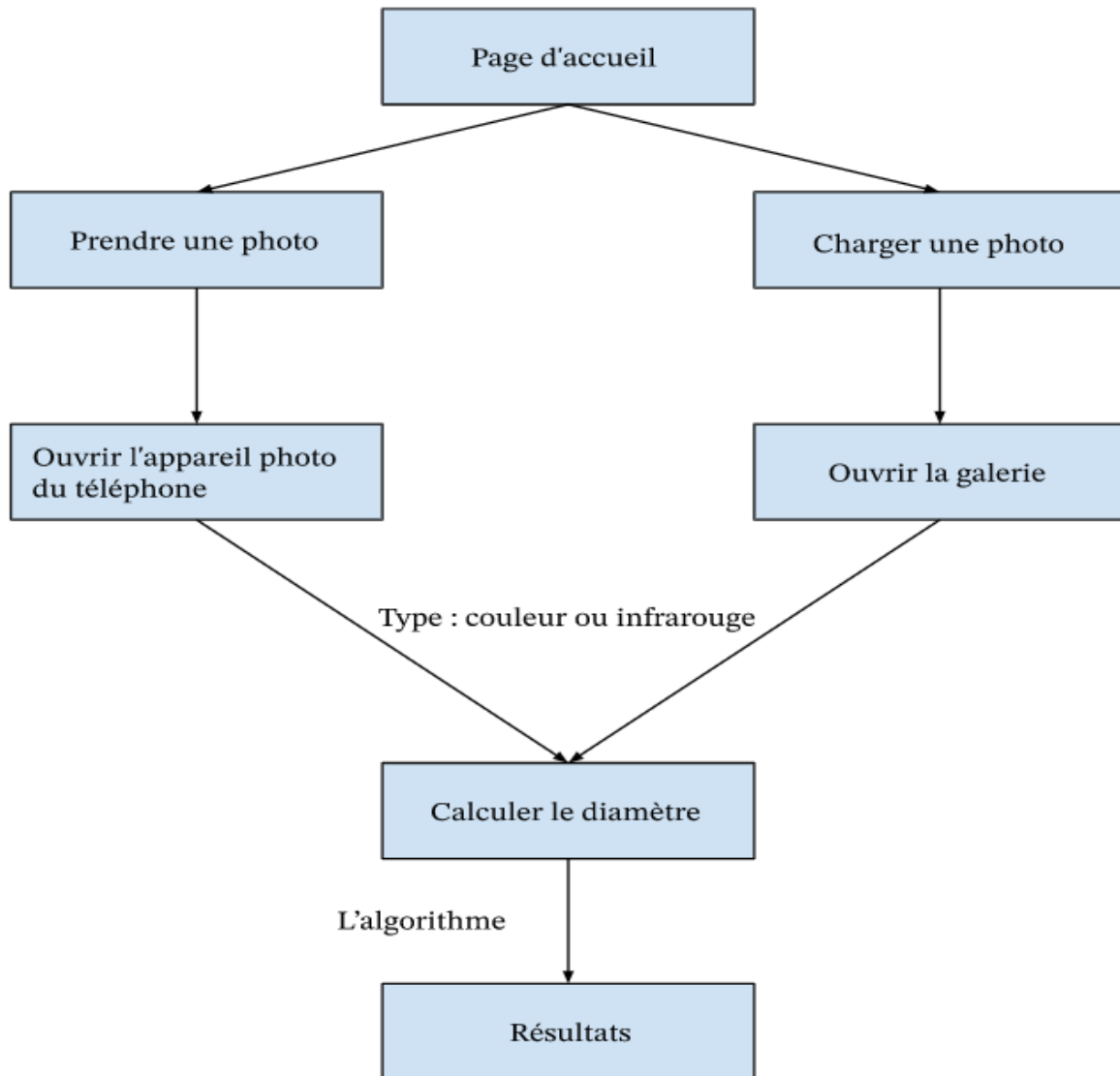


Diagramme 1- Structure simplifiée de l'interface proposée

Notre interface est divisée en 3 pages

6.1 Première page

C'est la page d'accueil, elle est destinée à afficher le logo de l'application et à faire choisir à l'utilisateur de prendre une photo ou d'en choisir une dans la galerie, l'option de prendre la photo n'est pas terminée, nous allons donc continuer avec le choix de la galerie dans cet exemple.

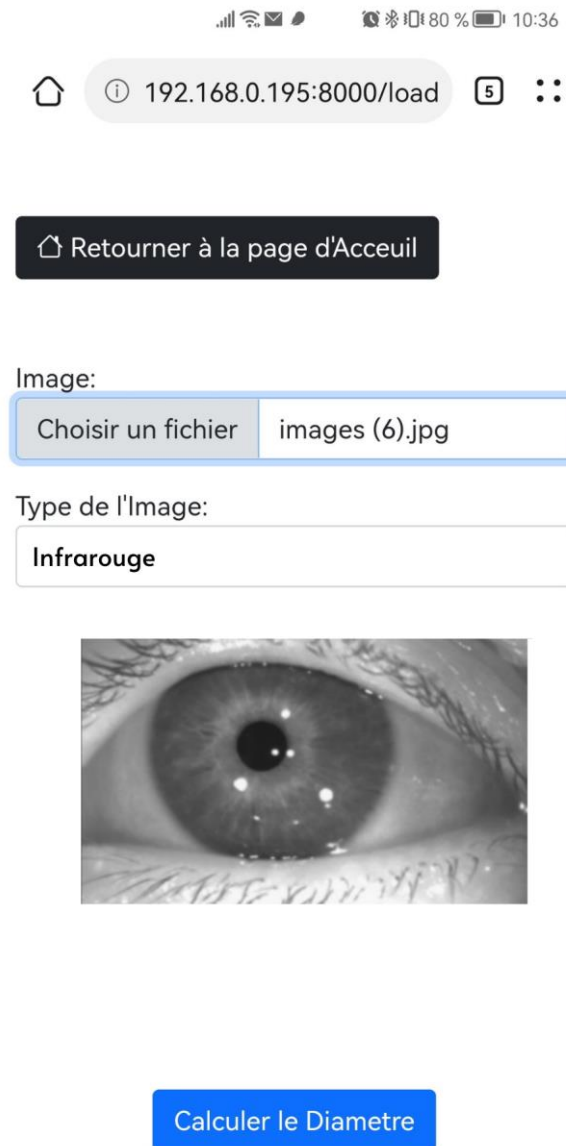


Figure 3.5 - page d'accueil

6.2 Deuxième page

C'est pour choisir le type d'image, qu'elle soit infrarouge ou couleur et l'afficher, au-dessus il y a le nom de notre image et le type d'image (jpg, png.etc).

Le bouton pour calculer le diamètre est en dessous. La raison pour laquelle nous avons inclus le type de l'image parce que nous voulions mettre à jour notre algorithme pour travailler à la fois avec des images couleur et infrarouge bien que le type de couleur des images ne soit pas optimal pour calculer le diamètre.



192.168.0.195:8000/load

Retourner à la page d'Accueil

Image:

Choisir un fichier images (6).jpg

Type de l'Image:

Infrarouge

Calculer le Diametre

Figure 3.6 - La deuxième page

6.3 Troisième page

Montre les résultats

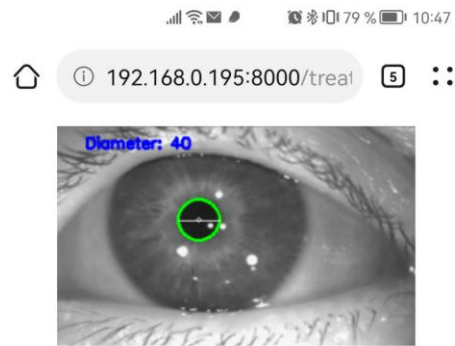


Figure 3.7 - page de résultat

7 Django

Django est un Framework Web Python de haut niveau qui encourage un développement rapide et une conception propre et pragmatique. Construit par des développeurs expérimentés, il prend en charge une grande partie des tracas du développement Web, vous pouvez donc vous concentrer uniquement sur l'écriture de votre application. C'est gratuit et open source. [50]

Ses principaux objectifs sont la simplicité, la flexibilité, la fiabilité et l'évolutivité. [51]

Nous avons utilisé Django parce que L'un des principaux objectifs de Django est de simplifier le travail des développeurs.

Pour ce faire, le Framework Django utilise es principes de développement rapide, ce qui signifie que les développeurs peuvent effectuer plusieurs itérations à la fois sans recommencer tout le programme à partir de zéro. En conséquence, il faut beaucoup moins de temps pour obtenir le projet. [51]

Cette Framework est simple d'utiliser et ne nécessitant pas de serveurs et d'internet uniquement utilisé par l'entreprise destinée cette interface pour être efficace et fonctionnelle il suffit de faire une relation entre ses boutons d'interaction et notre approche proposée par un algorithme médiateur

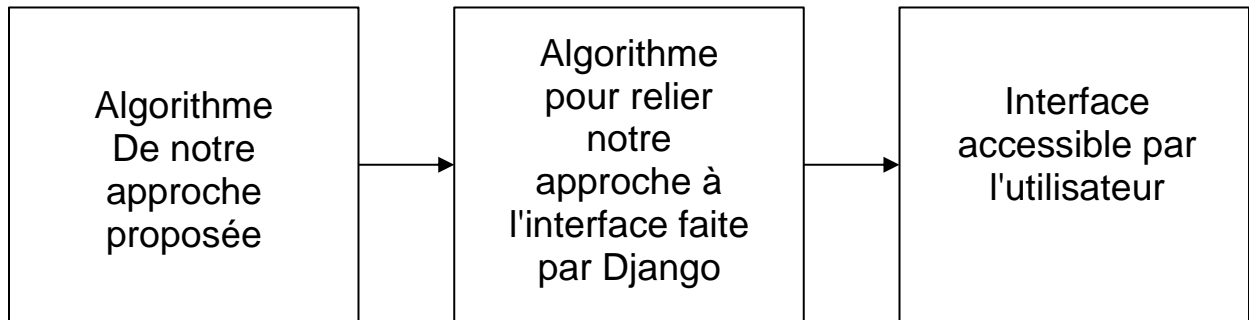


Figure 3.8 la liaison entre l'algorithme et l'interface

8 Explication de l'algorithme

En observant la structure, la première étape requise consiste à transformer l'image infrarouge qui est considérée comme image en couleur à l'échelle de gris suivi

D'un filtre Médian qui sert à remplacer l'élément central de l'image par le médian de tous les pixels de la zone noyau. Cette opération traite les contours tout en supprimant le bruit

Ensuite la détection du contour qui se réalise par Canny Edge détection sert à extraire les bords de l'objet qui est la pupille dans notre cas mais d'abord on transfère l'image de niveaux de gris en binaire à l'aide du seuil binaire avec la morphologie Érosion pour éliminer tous les petits objets considérés comme bruyants ou inutiles sans affecter la taille de la pupille. Une fois le bord détecté, le remplissage est fait pour obtenir une forme presque similaire d'une pupille

Avoir un objet qui a presque la même forme de cercle et toujours la même mesure de la pupille est à mi-chemin pour connaître le diamètre il suffit maintenant de trouver le périmètre du contour avec l'approximation pour englober le contour avec un rectangle qui sera utile pour obtenir toutes les mesures requises, 4 variables qui sont x y w h que nous allons utiliser pour obtenir le diamètre et tracer le dernier.

Le périmètre du contour aussi appelé longueur d'arc. Il peut être trouvé en utilisant la fonction `cv.arcLength()`. Le deuxième argument spécifie si la forme est un contour fermé (s'il est passé à `True`) ou simplement une courbe.

8.1 Approche proposée

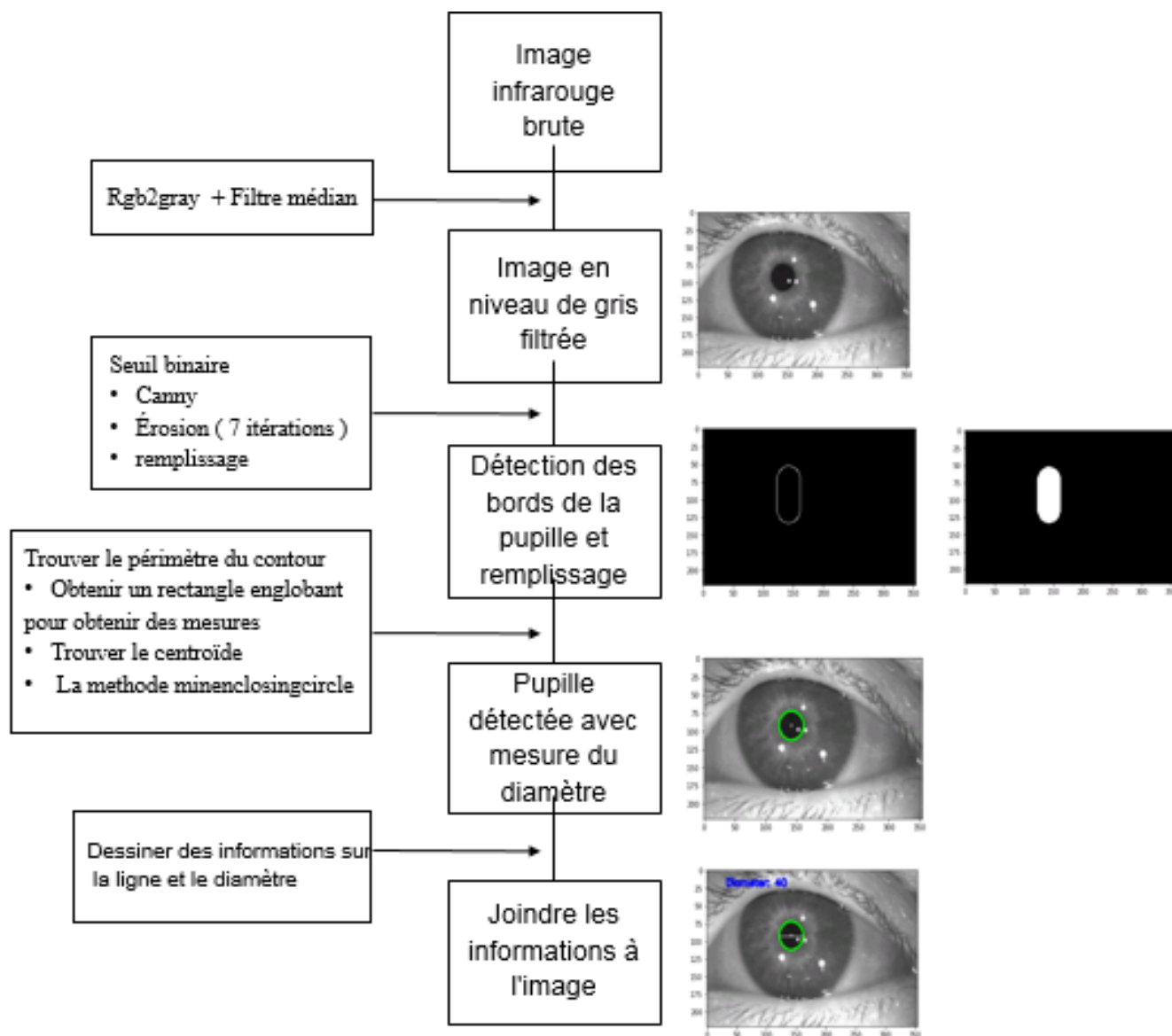


Figure 3 9 - Structure simplifiée de l'algorithme proposé

8.2 Approximation des contours

Il rapproche une forme de contour d'une autre forme avec moins de sommets en fonction de la précision que nous spécifions. C'est une implémentation de l'algorithme de Douglas-Peucker. Pour comprendre cela, supposons que vous essayez de trouver un cercle dans une image, mais en raison de certains problèmes (comme l'érosion par exemple) dans l'image, vous n'avez pas obtenu un cercle parfait, mais une "mauvaise forme". Vous pouvez maintenant utiliser cette fonction pour approximer la forme. Dans ce cas, le deuxième argument est appelé epsilon, qui est la distance maximale du contour au contour approximé. C'est un paramètre de précision. Une sélection judicieuse d'epsilon est nécessaire pour obtenir la sortie correcte.

Après cela, nous pouvons enfin dessiner le rectangle avec la méthode `Bounding Rectangle` pour trouver le diamètre qui va être

- diamètre = w
- rayon = $w/2$

Le centroïde sera trouvé en utilisant la méthode moments qui aide à extraire des données utiles comme la zone, le centroïde, etc. Le centroïde est donné par les relations

$$C_x = \frac{M_{10}}{M_{00}} \text{ and } C_y = \frac{M_{01}}{M_{00}} \quad (3)$$

La méthode **min enclosing circle** sert à trouver le cercle circonscrit d'un objet en utilisant la fonction `cv.minEnclosingCircle()`. C'est un cercle qui recouvre complètement l'objet avec une surface minimale.

Enfin nous utilisons la méthode `cv.line` pour tracer la ligne de diamètre et `cv.putText` pour ajouter des informations de diamètre dans l'image.

9 Base des données et résultats

Pour tester notre programme, nous avons utilisé des images infrarouges aléatoires et des images provenant d'une base de données existant sur Internet sous le nom de <<MRL EYE DATA SET>>[46] .

9.1 MRL DATA SET

C'est l'ensemble de données à grande échelle des images de l'œil humain. Cet ensemble de données contient des images infrarouges en basse et haute résolution, toutes capturées dans diverses conditions d'éclairage et par différents appareils. L'ensemble de données est adapté pour tester plusieurs fonctionnalités ou classificateurs pouvant être entraînés. Afin de simplifier la comparaison des algorithmes, les images sont divisées en plusieurs catégories, ce qui les rend également adaptées à l'entraînement et au test des classificateurs.

L'ensemble de données est accessible au public et peut être téléchargé à partir de http://mrl.cs.vsb.cz/data/eyedataset/mrlEyes_2018_01.zip

La base de données a annoté les propriétés suivantes (les propriétés sont indiquées dans l'ordre suivant) :

Identifiant du sujet : Dans la base de données, ils ont collecté les données de 37 personnes différentes (33 hommes et 4 femmes).

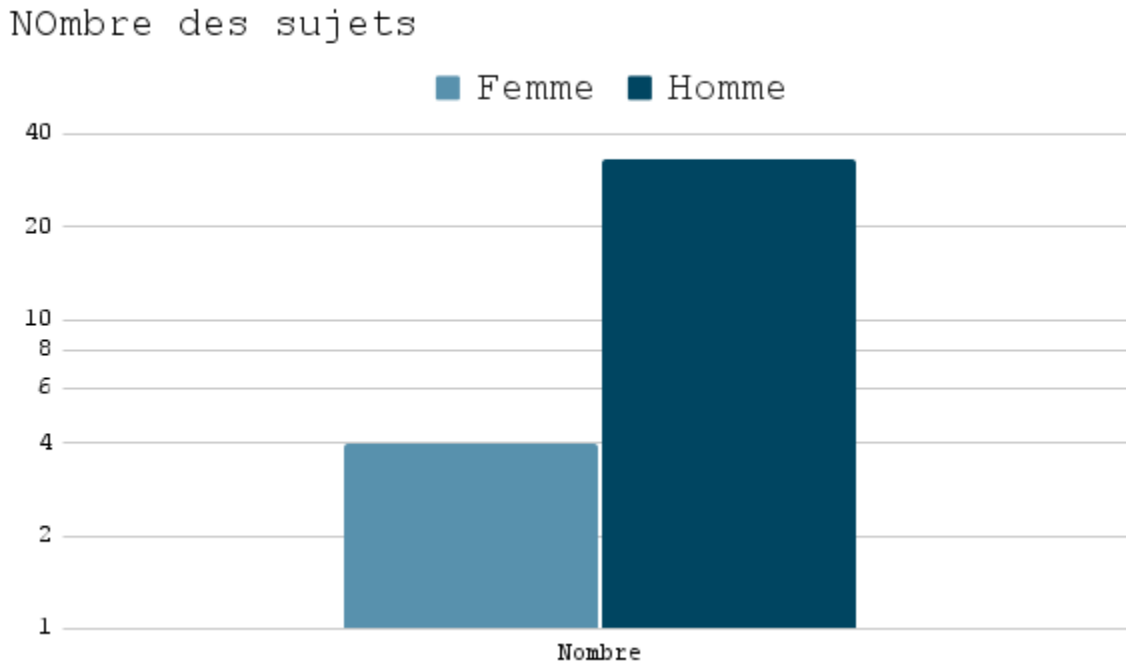


Figure 3.10 - nombre des sujets

Identifiant d'image : l'ensemble de données se compose de 84 898 images

Sexe [0 - homme, 1 - femme] : la base de données contient les informations sur le sexe pour chaque image (homme, femme)

Lunettes [0 - non, 1 - oui] : l'information si l'image de l'œil contient des lunettes est également fournie pour chaque image (avec et sans les lunettes)

État des yeux [0 - fermé, 1 - ouvert] : cette propriété contient les informations sur deux états de l'œil (ouvert, fermé)

Réflexions [0 - aucune, 1 - petite, 2 - grande] : ils ont annoté trois états de réflexion en fonction de la taille des réflexions (aucune, petites et grandes réflexions)

Conditions d'éclairage [0 - mauvais, 1 - bon] : chaque image a deux états (mauvais, bon) en fonction de la quantité de lumière lors de la capture des vidéos

Identifiant du capteur [01 - RealSense, 02 - IDS, 03 - Aptina] : à ce moment, la base de données contient les images capturées par trois capteurs différents (capteur Intel RealSense RS 300 avec une résolution de 640 x 480, capteur IDS Imaging avec une résolution de 1280 x 1024 et capteur Aptina avec une résolution de 752 x 480)[46]

9.2 Notre approche sur la base de données

Nous avons évidemment porté un petit ensemble d'images de deux personnes avec l'état de l'œil qui nous intéresse.

Le nombre que nous avons utilisé est d'environ 80 puisque seules 80 images se sont révélées efficaces pour notre étude comme éviter tout état d'œil complètement fermé et en évitant toutes les images de mauvaise qualité après cela, nous avons simplement séparé ces images par personne sur de nombreux ensembles de données et filtrer toutes les répétitions comme les images qui ont le même but sur notre étude tous les sujets ont été testés mais seuls deux ensembles de données ont suffi pour conclure, nous ne nous en tenons donc qu'à deux petits ensembles de données pour présenter cet algorithme

La première base de données : elle a 4 images la 1ère personne nous appellerons p1 .

La deuxième base de données : elle a 16 images la 2ème personne nous appellerons p2 .

10 Résultats

10.1 Résultat et discussion sur les images de p1

En p1, nous voulions voir si l'état et le côté de l'œil affectait les résultats, nous avons donc testés avec deux images différentes de l'œil gauche de la même personne et deux images de l'œil droit

En observant les résultats sur (Figure 3.6), nous pouvons remarquer que les deux images de l'œil droit avaient la même valeur de diamètre de 23 pixels contrairement aux images de l'œil gauche, elles avaient des valeurs de diamètre différentes, l'une est de 24 et l'autre de 26 pixels, nous pouvons également voir que l'œil gauche n'est pas complètement ouvert, ce qui pourrait affecter les résultats et être la cause de la différence

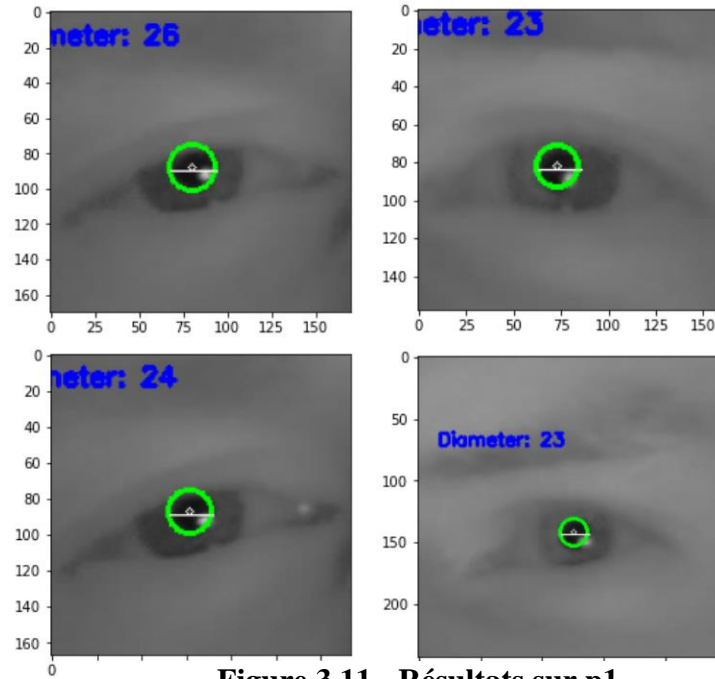


Figure 3.11 - Résultats sur p1

Côté de l'oeil et numéro d'image	Valeur du diamètre	État de l'oeil
1ère images de l'œil droit	23 px	Ouvert
2ème image de l'œil droit	23 px	Ouvert
1ère image de l'œil gauche	26px	à moitié fermé (somnolent)
2ème image de l'œil gauche	24 px	à moitié fermé (somnolent)

Table 3.1 - Résultats sur p1

10.2 Résultat et discussion sur les images de p2

En p2, on a fait un test plus grand uniquement sur l'œil droit de la même personne, les images sont prises sans changer la distance. Cependant, le p2 bouge légèrement, tremble ainsi que celui qui prend la photo, nous voulons donc voir si ces petits comportements vont affecter les résultats

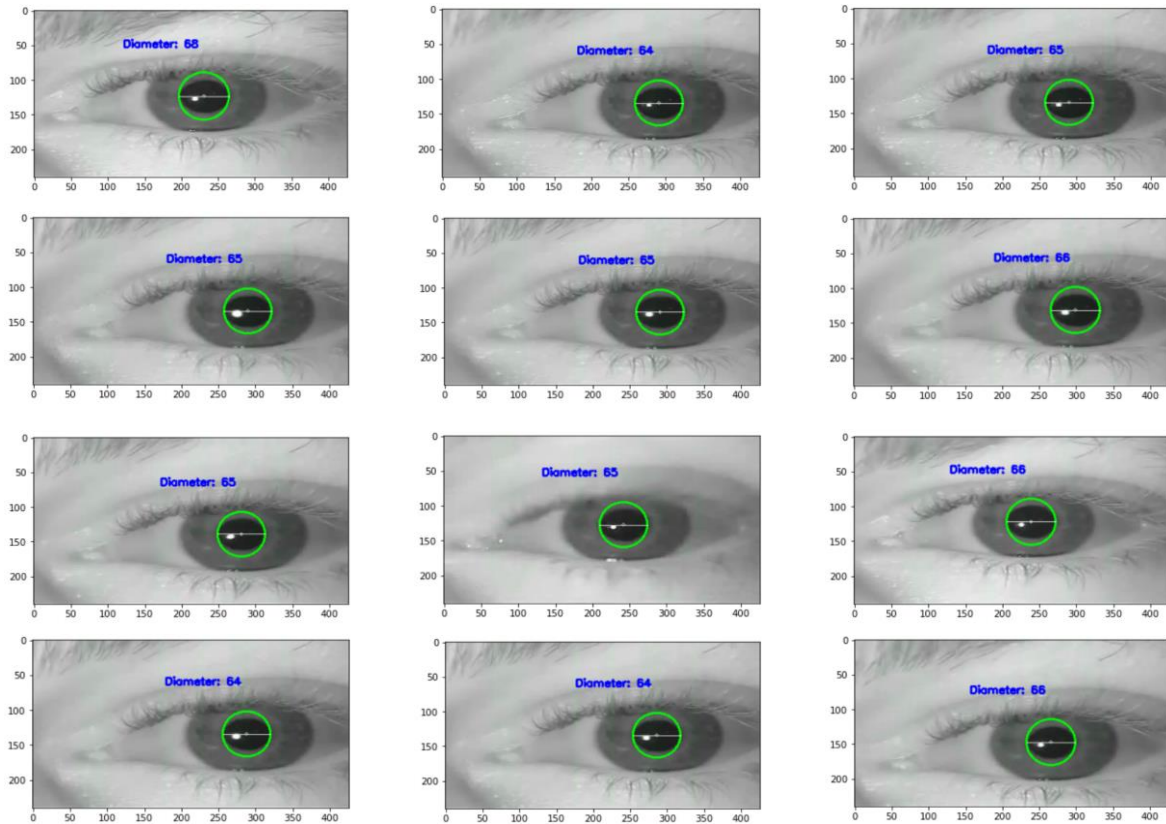


Figure 3.12 - Résultats sur p2

En observant les résultats de p2 on peut voir que le diamètre du même œil et approximativement à la même distance varie entre 64 et 66 ce qui signifie que tout mouvement léger effectué peut affecter la valeur du diamètre (Table 3.2)

Et en comparant également les valeurs de p2 qui sont d'environ 65 px en moyenne et p1 qui sont de 23 en moyenne, nous pouvons voir qu'il y a une énorme différence qui nous fait conclure que la distance et la résolution jouent tous les deux un rôle important dans la détermination de la valeur de diamètre pupillaire

Numéro d'image	Valeur du diamètre
1	66 px
2	64 px
3	65 px
4	65 px
5	65 px
6	66 px
7	65 px
8	65 px
9	66 px
10	64 px
11	64 px
12	66 px

Table 3.2 - Résultats sur p2

11 Critères pour obtenir une valeur de diamètre précise

Selon nos résultats certains critères doivent être respectés pour obtenir les meilleurs résultats et minimiser les erreurs :

- Les yeux ouverts

- Utilisation de la même caméra pour la même distance focale avec une résolution élevée
- La caméra doit être stable ce qui est possible en utilisant des supports de caméra
- Le patient doit avoir la même position et la même distance par rapport à la caméra

11.1 Transformation de pixels en millimètre

Pour transformer la valeur en pixels du diamètre il faut connaître la distance focale de la caméra utilisée qui est une constante par chaque caméra. [47]

$$F = (P \times D) / W \text{ (mm)} \quad (4)$$

Par exemple, disons que nous placerons une pupille de diamètre connu ($W=8\text{mm}$) devant notre appareil photo de distance connu ($D=50\text{mm}$) et que nous prendrons une photo. Lorsqu'on mesure le diamètre de la pupille dans l'image, on remarque que le diamètre perçue du pupille est de

$$P = 65 \text{ pixels.}$$

Donc la constante distance focale de notre appareil photo est de 406.25.

Et en respectant les critères mentionnés ci-dessus D est aussi constant et nous obtenons toujours la valeur en pixels du diamètre après avoir pris une image comme celle-ci (Figure 3.8)

Donc la seule variable est le diamètre en mm (w') et la relation ressemblera à :

$$W' = (P \times D) / F \text{ (mm)} \quad (5)$$

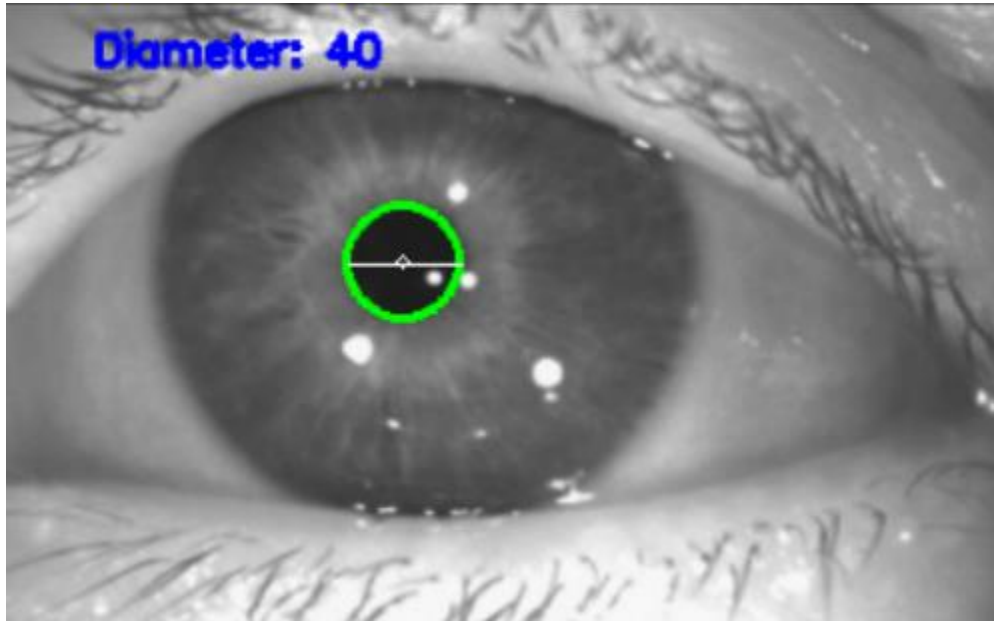


Figure 3.13 - Valeur de diamètre en pixels

12 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons parcouru tout ce que considère notre approche proposée à partir des définitions qui s'y rapportent, suivies de tests et de discussions sur les résultats obtenus pour finalement conclure que des critères et des règles doivent être respectés pour minimiser les erreurs et augmenter la précision en ce qui concerne le diamètre de la pupille et l'image doit être en infrarouge en plus si on connaît pas la distance focale on peut pas déterminé le diamètre pupillaire en millimètres .

Conclusion générale

1 Conclusion Générale

Après avoir vu toute la démarche suivie pour atteindre notre objectif et expliqué chaque aspect de celui-ci, nous pouvons enfin dire que le développement de cet algorithme est une autre preuve que l'informatique joue un rôle énorme dans l'amélioration de la médecine moderne et la rend plus efficace pour le personnel et les patients après avoir présenté notre approche proposée, nous pouvons dire qu'elle jouera un rôle énorme dans les services d'ophtalmologie en termes d'efficacité et de fluidité, surtout que la plupart de tous les diagnostics nécessitent une dilatation de l'œil.

Un algorithme qui peut être utilisé dans n'importe quel appareil comme n'importe quel téléphone à condition d'avoir le filtre infrarouge pour réduire les coûts d'achat d'un appareil orienté très cher auprès de grandes entreprises, mais comme nous l'avons vu dans notre étude il vaut mieux utiliser le même appareil pour la même valeur de distance focale et il vaut mieux avoir une caméra de haute qualité pour un meilleur résultat les patients doivent être dans une position fixe ainsi que le personnel prenant la photo.

Certaines difficultés que nous avons rencontrées sont toutes liées au fait de ne pas avoir de filtre infrarouge dans nos téléphones, nous avons donc basé notre étude sur un ensemble de données, nous ne pouvons donc pas avoir la distance focale, donc on n'a pas pu changer les valeurs de diamètre que nous avons sur les résultats en millimètres.

En ce qui concerne les images, il est possible qu'elles soient en couleur, mais les résultats n'atteindront jamais la même précision que ceux en infrarouge. Chaque smartphone de nos jours a un filtre infrarouge donc ce ne sera pas un problème.

La dernière chose à dire est que si ce programme est inclus dans nos secteurs médicaux algériens, ce sera un grand pas en avant

Annexe

Dans cette annexe nous expliquerons brièvement les principes de l'application web et nous présenterons également notre interface.

1 Application Web

L'application Web est un programme logiciel qui existe sur le serveur et qui s'exécute à l'aide d'un navigateur Web et lance une page Web avec une connexion réseau active. Contrairement aux programmes logiciels informatiques exécutés localement sur le système d'exploitation (OS) de l'appareil. Ces applications sont programmées à l'aide d'un client-serveur. Cela signifie qu'il a un côté client et un côté serveur. Le client désigne ici le programme que l'individu utilise pour exécuter l'application. Il fait partie de l'environnement client-serveur, où de nombreux ordinateurs partagent des informations. Par exemple, dans le cas d'une base de données, le client est le programme par lequel l'utilisateur saisit des données. Le serveur est l'application qui stocke les informations.[17]

Une application Web peut être développée pour de nombreuses raisons différentes et utilisée par des entreprises ou des particuliers. De plus, les employés peuvent collaborer sur des projets et travailler sur des documents partagés avec des applications Web.

Ils peuvent créer des rapports, des fichiers et partager des informations où que vous soyez et avec n'importe quel appareil.[48]

L'application Web est similaire aux applications de bureau, elle est créée à l'aide d'une combinaison de langages de programmation et des cadres d'application Web, il peut utiliser la RAM, permettre l'interactivité des utilisateurs et il est conçu pour de nombreux utilisateurs par exemple : Google mail, Facebook, YouTube.[48]

1.1 Fonctionnement d'une application web

Pour vous connecter à une application Web, vous avez besoin d'Internet et d'un navigateur Web tel que Google Chrome. Nous avons trois éléments pour que l'application Web fonctionne :

- **Web server** : pour traiter la demande du client.
- **Application server**: pour exécuter les tâches demandées.
- **Database**: stocker des informations.

Il y a quelques étapes pour montrer comment l'application fonctionne :

- L'utilisateur crée une demande au serveur Web via l'interface utilisateur de l'application.
- Le serveur Web envoie une demande au serveur d'applications Web.
- Le serveur d'applications Web exécute la tâche demandée après avoir généré les résultats de les données requises
- Le serveur d'applications Web renvoie les résultats au serveur Web.
- Le serveur Web transmet les informations demandées au client.
- Les informations demandées apparaissent sur l'écran de l'utilisateur.[48].

1.2 Fonctionnement de l'application web

- Étape 1 - créez une demande au serveur Web avec une connexion Internet.
- Étape 2 — Le serveur Web reçoit la demande et l'envoie au serveur d'applications Web.
- Étape 3 - Après avoir reçu la demande, le serveur d'applications Web exécute la tâche demandée et génère ensuite le résultat final des informations requises.
- Étape 4 - Le serveur d'applications Web renvoie les résultats au serveur Web qui a demandé les informations
- Étape 5 - Le serveur Web transmet les informations demandées au client (tablette, appareil mobile et ordinateur de bureau)
- Étape 6 — Les informations demandées sont utilisées pour apparaître sur l'écran de l'utilisateur. [49]

Bibliographies

-
- [1] Rogers, K. (2011). The eye: the physiology of human perception. Britannica educational publishing, rosen educational services 1st ed p 26 . Consulté :Mars 2022
- [2] Wolff, E. (1976). Anatomy of the eye and orbit . Philadelphia: Warwick R0 , ed 7, Saunders, p 30. Consulté :Mars 2022
- [3] EM, V. B. (1989). The anatomy of the limbus, Eye 3:101. Consulté :Mars 2022
- [4] Remington, L. A. (Third Edition 2012). Clinical Anatomy And Physiology Of The Visual System ,chapter 1. Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier Inc. Consulté :Mars 2022
- [5] Remington, L. A. (Third Edition 2012). Clinical Anatomy And Physiology Of The Visual System ,chapter 2. Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier Inc. Consulté :Mars 2022
- [6] Lowc, P. (2021, Sept). Atrophie multisystémique (AMS) . Consulté :Mars 2022, from LE MANUEL MSD: <https://www.msmanuals.com/fr/accueil/troubles-du-cerveau,-de-la-moelle-%C3%A9pini%C3%A8re-et-des-nerfs/troubles-du-syst%C3%A8me-nerveux-autonome/atrophie-multisyst%C3%A9mique-ams>
- [7] BARBESANGE, V.-s. C. (2009, july 01). *Dilatation Pupillaire*. Consulté :Mars 2022 from OPHTALMOLOGIE-LARIBOISERIE: <https://www.ophtalmologie-lariboisiere.fr/index.php/fiches-d-information/examens-oculaires/63-fiche-information-dilatation-pupillaire-ophtalmologie/file>
- [8] Easley, C. (2022, Mars). *Eye Dilation – The Key to Healthy Eyes and Stable Vision*. Consulté :Mars 2022 from MILAN EYE CENTER: <https://www.milaneyecenter.com/resources/eye-dilation/>
- [9] Bernard, C. (2021, Mars 21). *SKIACOL 0,5 % Collyre boîte de 1 flacon unidose de ½ mL*. Consulté :Mars 2022, from DOCYISSIMO: <https://www.doctissimo.fr/medicament-SKIACOL.htm#summary-precautions>
- [10] Open Health. (2021, November 23). *Atropine Alcon : prix, posologie, effets secondaires*. Consulté :Mars 2022, from LE JOURNAL DES FEMMES: <https://sante.journaldesfemmes.fr/medicaments/atropine-alcon/medicament-8426>
- [11] MEDICAMENTS, B. D. (2022, Mars). *BASE DE DONNES PUBLICS DES MEDICAMENTS*. Consulté :Mars 2022 from BASE DE DONNES PUBLICS DES

MEDICAMENTS:

<https://basedonneespublique.medicaments.gouv.fr/affichageDoc.php?specid=61146920&typedoc=R>

- [12] VIDAL. (2022, April 15). *Gamme de médicaments ATROPINE ALCON*. Consulté :Mai 2022, from VIDAL: <https://www.vidal.fr/medicaments/gammes/atropine-alcon-766.html>
- [13] Lussier, B. L. (December). Distributions and Reference Ranges for Automated Pupillometer Values in Neurocritical Care Patients. *The Journal of Neuroscience Nursing*. Consulté :Mai 2022
- [14] Olson D, F. M., & 28(2016):101-107. (2015). *The use of automated pupillometry in critical care*. North America: Critical Care Nursing Clinics. Consulté :Mai 2022
- [15] Meeker M, D. R. (2005). *Pupil examination: validity and clinical utility of an automated pupillometer*. J Neurosci Nurs. Consulté :Mai 2022
- [16] Rogers, K. (2011). *The eye: the physiology of human perception*. Britannica educational publishing, rosen educational services 1st ed p 26 . Consulté :Mai 2022
- [17] Meeker M, D. R. (2005). *Pupil examination: validity and clinical utility of an automated pupillometer*. J Neurosci Nurs. Consulté :Mai 2022
- [18] Olson, D., Stutzman, S., Saju, C., Wilson, M., Zhao, W, & Aiyagari. (2016). *Interrater Reliability of Pupillary Assessments*. Consulté :Mai 2022
- [19] Panchal, A. R., Bartos, J. A., Cabañas, J. G., Donnino, M. W., Drennan, I. R., Hirsch, K. G. O'Neil, B. J. (2020). Consulté :Mai 2022
- [20] P. K. Rhee, M. Y. (2010). *Pupil location and movement measurement for efficient emotional sensibility analysis*. IEEE Int. Symp. Signal Process. Inf. Technol. ISSPIT . Consulté :Mai 2022
- [21] F. Mokhayeri and S. Toosizadeh. (2011). *A Novel Approach for Pupil Diameter Measurement Based on Soft Computing Techniques*. Consulté :Mai 2022
- [22] Jomier, E. R. (n.d.). *AUTOMATIC QUANTIFICATION OF PUPIL DILATION UNDER STRESS*. Consulté :Mai 2022

-
- [23] Y. Adachi, K. K. (2013). *Development of an automatic measurement system of diameter of pupil - As an indicator of comprehension among web-based learners* (vol. 22 ed.). Procedia Comput. Sci. Consulté :Mai 2022
- [24] Liu, S. C. (n.d.). *Discriminant Analysis of Haar Features for Accurate Eye Detection*. Consulté :Mai 2022
- [25] T. Akashi, Y. W. (n.d.). *Using Genetic Algorithm for Eye Detection and Tracking in Video Sequence* (vol. 5, no. 2 ed.). Consulté :Mai 2022
- [26] J. A. N. J., S. K. (2008). *Eye Detection Algorithm on Facial Color Images*. Consulté :Mai 2022
- [27] Fernandez, P. I. (2006). *Facial feature detection using Haarclassifiers* (vol 21 ed.) p.127-133, 2006. J. Comput. Sci. Coll. Consulté :Mars 2022
- [28] M. G. Masi, L. P. (2009). *Measurement of the pupil diameter under different light stimula*. p.1652–1656. IEEE Instrumentation Meas. Technol. Conf. I2MTC. Consulté :Mars 2022
- [29] A. Giacomitti, G. L. (2008). *Preliminary evaluation of a SmartCam-based system for real-time pupil light reflex analysis* (vol. 18 ed.) p. 365–369. IFMBE Proc. Consulté :Juin 2022
- [30] Reddy, J. C. (2013). *Iris Recognition based on Pupil using Canny edge detection and K-Means Algorithm* (vol. 2 ed.) p. 1– 5. Consulté :Juin 2022
- [31] G. Xin, C. K. (2012). *An improved Canny edge detection algorithm for color image*. p. 113–117. Consulté :Juin 2022
- [32] Melin, O. C. (2012). *Optimization of type-2 fuzzy systems based on bio-inspired methods: A concise review* (vol. 205 ed.) p. 1–19. Inf. Sci. (Ny). Consulté :Juin 2022
- [33] Q. Ying-Dong, C. C.-S.-B.-Q. (2005). *A fast subpixel edge detection method using Sobel-Zernike moments operator* (vol. 23 ed.) p. 11–17. Image Vis. Comput. Consulté :Juin 2022
- [34] Araabi, A. Poursaberi. (2005). *A Novel Iris Recognition System Using Morphological Edge Detector and Wavelet Phase Features* (vol. 5 ed.) p. 9–15. Int. J. Graph. Vis. Image Process. Consulté :Juin 2022

-
- [35] Shanbezadeh, M. A. (2010). *Automatic Adaptive Center of Pupil Detection Using Face Detection and CDF Analysis* (vol. 1 ed.) p. 17–20. Proc. Int. MultiConference Eng. Comput. Sci. Consulté :Juin 2022
- [36] L. He, Y. Chao. (2009). *Fast connected-component labeling* (vol. 42 ed.) p. 1977–1987. Pattern Recognit. Consulté :Juin 2022
- [37] T.-S. Choi, M. B. Ahmad (1999). “*Local threshold and Boolean function based edge detection* (vol. 45, no. 1 ed.) p. 674–679. IEEE Trans. Consum. Electron. Consulté :Juin 2022
- [38] S. Kawai, H. Takano. and K. Nakamura. (2013). *Pupil diameter variation in positive and negative emotions with visual stimulus* (SMC 2013 ed.) p. 4179–4183. IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern. Consulté :Juin 2022
- [39] S. J. Ahn, W. Rauh, and H. J. Warnecke. (2001). *Least-squares orthogonal distances fitting of circle, sphere, ellipse, hyperbola, and parabola* (vol. 34 ed.) p. 2283–2303. Consulté :Juin 2022
- [40] D. Zhu, S. T. Moore, and T. Raphan (1999). *Robust pupil center detection using a curvature algorithm* (vol. 59 ed.) p. 145–157. Consulté :Juin 2022
- [41] J. Illingworth and J. Kittler, (1988). *A survey of the hough transform - Comput. Vision, Graph. Image Process.* (vol. 44 ed.) p. 87–116. Consulté :Juin 2022
- [42] Dr. Wolfgang Wesemann. (2015). *Moderne Videozentriersysteme und Pupilometer im Vergleich, Teil 1, PD.* Consulté :Juin 2022
- [43] MASTERCLASS. (2021, 08 05). *Infrared Photography Guide: How to Create Infrared Images.* Consulté :Juin 2022, from MASTERCLASS: <https://www.masterclass.com/articles/infrared-photography-guide#a-brief-history-of-infrared-photography>
- [44] COURSERA. (2021). *what is python used for a beginners guide to using python.* Consulté :Juin 2022, from COURSERA: <https://www.coursera.org/articles/what-is-python-used-for-a-beginners-guide-to-using-python>

- [45] GEEKSFORGEEEKS. (2021, 08 05). *OpenCV – Overview*. Consulté :Juin 2022, from GEEKSFORGEEEKS: <https://www.geeksforgeeks.org/opencv-overview/>
- [46] MRL. (2021). *MRL eye dataset*. Consulté :Juin 2022, from MRL dataset: <http://mrl.cs.vsb.cz/eyedataset>
- [47] Rosebrock, A. (2015). *Computer Vision, Deep Learning, and OpenCV*. Consulté :Juin 2022, from pyimagesearch: pyimagesearch.com
- [48] INDEED. (2021, 11 10). *What Is a Web Application? How It Works, Benefits and Examples*. Consulté :Juin 2022, from INDEED: <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/what-is-web-application>
- [49] Charles, L. (2020, 11 10). *Know All About Web Applications including its benefits and working*. Consulté :Juin 2022, from MEDIUM: <https://lenac1884.medium.com/know-all-about-web-applications-including-its-benefits-and-working-230f513641f2>
- [50] DJANGO. (n.d.). *DJANGO PROJECT*. Consulté :Juin 2022, from DJANGO PROJECT: <https://www.djangoproject.com/>
- [51] DJANGO. (2016, 01 25). *Why We Use Django Framework & What Is Django Used For*. Consulté :Juin 2022, from DJANGO PROJECT: <https://djangostars.com/blog/why-we-use-django-framework/>
- [52] Datascientest blog. (2020). *Convolutional neural network*. From Data scientest: <https://datascientest.com/convolutional-neural-network>
- [53] Allen Jong-Woei Whang (2021). Pupil Size Prediction Techniques Based on CNN. *Sensors*, p 1-13.