



Université Mouloud Mammeri  
Faculté de génie biomédicale  
Département de Génie Biomédicale

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER  
en Génie Biomédicale

### Thème

Étude et conception d'un système de vision  
artificiel pour personne non-voyantes

Présenté par : M<sup>elle</sup> AIT OUMEZIANE Lidia  
Et M<sup>r</sup> BOURENANE Hamiche Samy

Devant le jury composé de :

Président	M <sup>e</sup> . BOUALLAG	Samira	MCB	UMMTO
Examineur	M <sup>r</sup> . OULD OUALI	Hassani Samy	MCB	UMMTO
Rapporteur	M <sup>r</sup> . MEDDOUR	Cherif	MAA	UMMTO

## ✧ Remerciements ✧

*Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire de Master.*

*Je tiens d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Dieu, sans qui tout serait aléatoire dans ce parcours que j'ai suivi. Les mots ne suffisent pas pour exprimer ma reconnaissance, mais ce que je peux dire que « Alhamdulillah » pour toutes les coïncidences et les bénédictions placées sur mon chemin.*

*Je remercie sincèrement mon directeur de mémoire, Mr. Meddour Cherif, pour sa précieuse orientation, ses conseils avisés et son soutien tout au long de ce projet. Son expertise et son dévouement ont été essentiels pour mener à bien cette recherche.*

*Je souhaite également remercier l'ensemble des enseignants du département de Génie Biomédicale à l'Université Mouloud Mammeri. Leur enseignement de qualité et leur disponibilité ont grandement enrichi mes connaissances et compétences au cours de ces années de formation.*

*Un grand merci à ma binôme Lidia AIT OUM'EZIANE, pour sa détermination et son esprit d'équipe ont été encourageant dans notre réussite. J'ai apprécié chaque instant de notre collaboration et suis reconnaissant d'avoir eu une partenaire aussi dévoué.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance à mes collègues et amis, pour leur soutien moral, leurs encouragements et leur aide précieuse tout au long de cette aventure académique. Votre amitié et votre présence m'ont été d'un grand réconfort.*

*Je remercie également ma famille, qui a toujours cru en moi et m'a soutenu dans toutes mes entreprises, Je souhaite exprimer ma profonde gratitude à mes parents pour leur soutien inconditionnel et leur amour tout au long de mon parcours. Merci d'avoir toujours cru en moi et d'avoir été là à chaque étape. Votre encouragement a été ma plus grande force, Je veux remercier mon frère Bilal BOURENANE pour son soutien et sa camaraderie tout au long de mon parcours, ta détermination et ton encouragement m'ont poussé à aller de l'avant. Je suis vraiment chanceux de t'avoir dans ma vie. Ma tante pour son soutien inestimable et sa présence constante tout au long de mon parcours, ta bienveillance et ton aide dans les moments difficiles ont fait toute la différence. Sans votre amour, vos encouragements constants, et votre soutien inconditionnel, ce travail n'aurait pas été possible.*

## ✧ Remerciements ✧

*Ce mémoire est l'aboutissement de plusieurs années de travail, de recherches et de persévérance. Il n'aurait pas pu voir le jour sans le soutien, les conseils, et l'encouragement de nombreuses personnes, que je tiens à remercier chaleureusement.*

*En premier lieu, je remercie ALLAH, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce mémoire. C'est grâce à Sa miséricorde que j'ai pu accomplir ce travail. Merci Dieu*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de mémoire M. MEDDOUR Cherif, pour sa bienveillance, sa patience, et sa disponibilité. Ses remarques constructives et ses orientations précieuses ont grandement contribué à la réussite de ce travail.*

*Je remercie également les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire. Leurs observations et critiques sont essentielles pour parfaire cette recherche.*

*Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants de la filière Instrumentation Biomédicale, pour la qualité de leur enseignement et pour avoir éveillé ma curiosité scientifique. Leur savoir-faire et leur passion ont été une source d'inspiration tout au long de mes études.*

*Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à mon binôme BOURNANE Hamiche Samy, pour sa collaboration et sa créativité ont été essentiels à notre réussite. Travailler ensemble a été une expérience enrichissante, et je suis reconnaissante d'avoir partagé ce parcours avec lui.*

*Je suis particulièrement reconnaissante envers mes camarades de promotion, avec qui j'ai partagé des moments intenses de travail et de camaraderie. Leur soutien et leurs encouragements ont été indispensables, et je leur en suis profondément reconnaissant.*

*Je tiens à remercier profondément Lydia BELLABIOD, ma copine et véritable sœur de cœur. Ta présence a été une lumière dans mon parcours, et ton soutien indéfectible m'a permis de surmonter chaque obstacle. Tu représentes une partie essentielle dans ma vie, et je suis infiniment reconnaissant de partager ces moments avec toi. Merci d'être toujours là, de m'encourager et de me comprendre comme personne d'autre.*

*Un grand merci également à ma famille, à mes parents, merci pour votre confiance en mes capacités, et pour m'avoir toujours encouragé à poursuivre mes rêves. Je souhaite exprimer ma gratitude à ma sœur Maya AIT OUMEZIANE pour son soutien constant et sa présence. Ta confiance en moi et ta force m'ont inspiré à donner le meilleur de moi-même. Merci d'être une part essentielle de ma vie ! à mes chers oncles maternel Kamel GUERBAS et paternel Salah AIT OUMEZIANE pour l'amour et le soutien indéfectible qu'ils m'ont apporté tout au long de ce parcours.*

## ✧ *Dédicaces* ✧

*Dédicace*

*À mes parents,*

*Pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices, et votre soutien constant tout au long de mon parcours. Ce travail est le fruit de votre confiance en moi et de vos encouragements sans faille.*

*À ma famille,*

*Pour votre présence rassurante, votre affection, et vos encouragements. Vous avez toujours été là pour moi, et je vous en suis infiniment reconnaissante.*

*À mes amis,*

*Pour leur amitié sincère, leur soutien et leurs mots réconfortants dans les moments de doute. Vous avez rendu ce parcours plus agréable et moins solitaire.*

*À tous ceux qui ont cru en moi,*

*Ce mémoire vous est dédié. Merci pour votre confiance et votre soutien.*

## *✧ Dédicaces ✧*

*À mes parents,*

*Pour votre soutien inconditionnel, votre amour et vos sacrifices tout au long de mon parcours académique. Vous avez été mes piliers et ma source constante d'inspiration.*

*Pour votre patience et votre compréhension pendant ces années de travail acharné. Votre encouragement et votre soutien m'ont été précieux à chaque étape.*

*À mes enseignants,*

*Pour leur guidance précieuse, leur passion pour l'enseignement, et leur dévouement. Vous avez joué un rôle crucial dans la réalisation de ce mémoire.*

*À mes amis et collègues,*

*Pour leur camaraderie, leur aide et leurs conseils. Vous avez enrichi cette expérience et l'avez rendue plus agréable.*

*À toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce projet,  
Merci pour votre soutien, votre confiance et votre encouragement.*

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>i</b>
<b>Table des figures</b>	<b>iii</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Anatomie de l'œil</b>	<b>2</b>
1.1 Introduction . . . . .	2
1.2 Anatomie de l'œil . . . . .	2
1.2.1 Généralités . . . . .	2
1.2.2 La conjonctive : « peau » de l'œil . . . . .	3
1.2.3 La sclère : « coque » de l'œil . . . . .	4
1.2.4 La cornée : « hublot » de l'œil . . . . .	4
1.2.5 L'iris et la pupille : « diaphragme » de l'œil . . . . .	4
1.2.6 L'angle irido-cornéen : « égouts » de l'œil . . . . .	5
1.2.7 L'humeur aqueuse . . . . .	5
1.2.8 Le cristallin : « auto-focus » de l'œil . . . . .	6
1.2.9 Le corps ciliaire : « moteur » de l'œil . . . . .	6
1.2.10 Le vitré : « chambre noire » de l'œil . . . . .	7
1.2.11 La rétine : « pellicule » de l'œil . . . . .	7
1.2.12 La macula : rétine centrale . . . . .	8
1.2.13 Photorecepteurs . . . . .	8
1.2.14 La choroïde . . . . .	10
1.2.15 Le nerf optique : « câblage » de l'œil . . . . .	11
1.2.16 Chiasma optique . . . . .	11
1.2.17 Tractus optique et thalamus . . . . .	12
1.2.18 Cortex cérébral . . . . .	12
1.3 Conclusion . . . . .	13
<b>2 Système d'aide à la vision</b>	<b>14</b>
2.1 Introduction . . . . .	14
2.2 Principales causes de cécité et leurs prévalences . . . . .	14
2.2.1 La dégénérescence maculaire liée à l'âge : DMLA . . . . .	14

2.2.2	l'opacité cornéenne . . . . .	15
2.2.3	Rétinopathie Diabétique . . . . .	15
2.2.4	Trachome . . . . .	16
2.2.5	La cataracte . . . . .	16
2.2.6	Glaucome . . . . .	17
2.2.7	Autres Causes . . . . .	18
2.3	Les dispositifs destinés aux personnes malvoyantes et non-voyantes . . . . .	19
2.3.1	Canne blanche . . . . .	19
2.3.2	Chiens guides . . . . .	19
2.3.3	Les lunettes électroniques . . . . .	20
2.3.4	The voice . . . . .	22
2.3.5	The vibe . . . . .	22
2.3.6	Substitution oculaire . . . . .	23
2.3.7	Le boîtier BuzzClip . . . . .	24
2.3.8	Le boîtier GPS Sherpa . . . . .	24
2.3.9	Casquette Radar-Pendentif radar . . . . .	25
2.3.10	Paul Bach-Y-Rita « Le père de la substitution sensorielle ». . . . .	25
2.4	Conclusion . . . . .	29
<b>3</b>	<b>Principe de fonctionnement et réalisation du projet</b>	<b>30</b>
3.1	Introduction . . . . .	30
3.2	Matériels utilisés . . . . .	30
3.2.1	Raspberry Pi Zero 2 W . . . . .	30
3.2.2	Capteur ultrasons HC-SR04 . . . . .	32
3.2.3	Capteur de distance VL53L0X . . . . .	33
3.2.4	Capteur TOF400C-VL53L1X . . . . .	35
3.2.5	Arduino UNO . . . . .	36
3.2.6	Arduino mega2560 . . . . .	37
3.2.7	Le servomoteur MG90S . . . . .	38
3.2.8	Le servomoteur SG90 . . . . .	39
3.2.9	Ventilo Brushless dc fan . . . . .	40
3.2.10	Moteur Pas à Pas 28BYJ-48-08 5 Vcc . . . . .	40
3.2.11	Chargeur 5V 5A . . . . .	41
	<b>Bibliographie</b>	<b>43</b>

# Table des figures

1	L'œil et la vision . . . . .	1
1.1	Anatomie de l'œil . . . . .	3
1.2	La conjonctive de l'œil (représenté en bleu foncé) . . . . .	3
1.3	Image montrant la sclère de l'œil . . . . .	4
1.4	La corné, le tissus transparent et première lentille de l'œil . . . . .	4
1.5	Représentation visuelle de l'iris et de la pupille de l'œil . . . . .	5
1.6	L'angle irido-coréen, entre la cornée et l'iris . . . . .	5
1.7	Circulation de l'humeur aqueuse entre le cristallin et la cornée . . . . .	6
1.8	Présentation du cristallin, la lentille transparente de l'œil . . . . .	6
1.9	Le Corps Ciliaire de l'Œil . . . . .	7
1.10	Le corps vitré . . . . .	7
1.11	La rétine de l'œil . . . . .	8
1.12	Bâtonnets et cônes de l'oeil . . . . .	9
1.13	Le fonctionnement des photorécepteurs dans l'œil . . . . .	10
1.14	Structure de la Choroïde de l'oeil . . . . .	11
1.15	Le nerf optique et le cerveau . . . . .	11
2.1	La dégénérescence maculaire liée à l'âge . . . . .	15
2.2	Opacité cornéenne . . . . .	15
2.3	Rétinopathie Diabétique . . . . .	16
2.4	La cataracte . . . . .	17
2.5	Glaucome . . . . .	18
2.6	Une canne blanche . . . . .	19
2.7	Chien guide . . . . .	20
2.8	Lunettes électroniques . . . . .	21
2.9	OrCam My Eye . . . . .	21
2.10	The Voice . . . . .	22
2.11	The Vibe . . . . .	23
2.12	Système de substitution oculaire . . . . .	23
2.13	Le boîtier BuzzClip . . . . .	24
2.14	Le boîtier GPS Sherpa . . . . .	24
2.15	Casquette de la société bestpluton par dominique ICART . . . . .	25
2.16	Tactile de la langue . . . . .	26

---

2.17 Photographie extraite de Brain Mechanisms in Sensory Substitution . . . . .	27
2.18 Le tactile sur le ventre . . . . .	27
3.1 Raspberry Pi 2 . . . . .	31
3.2 Capteur ultrason . . . . .	32
3.3 Le fonctionnement du capteur ultrason . . . . .	33
3.4 Capteur de distance VL53L0X . . . . .	34
3.5 Capteur de distance VL53L0X . . . . .	35
3.6 Capteur 400CVL53L1X . . . . .	35
3.7 Arduino uno . . . . .	36
3.8 Arduino mega2560 . . . . .	37
3.9 Servomoteur MG90S . . . . .	38
3.10 Servomoteur MG90 . . . . .	39
3.11 Ventilateur-Brushless DC FAN . . . . .	40
3.12 Chargeur 5V 5A . . . . .	42

# Liste des abréviations

**2 W** : (en référence au Raspberry Pi Zero 2 W) indique la présence du Wi-Fi et du Bluetooth intégrés.

**ABS** : Acrylonitrile butadiène styrène.

**AC** : Courant alternatif (Alternating Current).

**AON** : All Or Nothing (Tout ou rien).

**ARM** : Advanced RISC Machine (architecture de processeur).

**BLE** : Bluetooth Low Energy (Bluetooth à basse consommation).

**DC** : Courant continu (Direct Current).

**DMLA** : Dégénérescence maculaire liée à l'âge.

**FDM** : Fused Deposition Modeling (Modélisation par dépôt de fil fondu).

**GPS** : Global Positioning System (Système de positionnement global).

**GPRS** : General Packet Radio Service (Service général de radiocommunication par paquets).

**GSM** : Global System for Mobile Communications (Système mondial de communications mobiles).

**HC-SR04** : Capteur de distance à ultrasons.

**I2C** : Inter-Integrated Circuit (bus de communication série).

**IAPB** : Agence internationale pour la prévention de la cécité (International Agency for the Prevention of Blindness).

**IDE** : Integrated Development Environment (Environnement de développement intégré).

**LiDAR** : Light Detection and Ranging (Détection et télémétrie par la lumière).

**LPDDR2** : Low Power Double Data Rate 2 (type de mémoire vive).

**MB** : Mégaoctets.

**PCA9685** : Circuit intégré de contrôle de servomoteur PWM.

**PETG** : Polyéthylène téréphtalate glycolisé.

**PLA** : Acide polylactique (PolyLactic Acid).

**PWM** : Pulse Width Modulation (Modulation de largeur d'impulsion).

**ROI** : Region of Interest (Région d'intérêt).

**SSH** : Secure Shell (protocole de communication sécurisé).

**TI MSP 430G2553** : Microcontrôleur de Texas Instruments.

**TPU** : Polyuréthane thermoplastique (Thermoplastic polyurethane).

**USB** : Universal Serial Bus.

**VIP** : Visually Impaired Person (Personne malvoyante) - Abréviation utilisée dans le contexte de l'article cité.

**VCSEL** : Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser (Laser à émission de surface à cavité verticale).

**VL53L0X** : Capteur de distance laser.

**VL53L1X** : Capteur de distance laser.

**OMS** : Organisation mondiale de la Santé.

**ToF** : Time-of-Flight (Temps de vol).

# Introduction générale



FIGURE 1 – L'œil et la vision  
[1]

L'œil est un organe qui permet aux êtres humains de percevoir et d'interagir avec leur environnement. Cependant, de nombreuses personnes à travers le monde souffrent de déficiences visuelles, allant de la vision réduite à la cécité totale. Selon les estimations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de l'Agence Internationale pour la Prévention de la Cécité (International Agency for the Prevention of Blindness "IAPB"), environ 2,2 milliards de personnes sont malvoyantes. En Algérie, bien que les statistiques soient moins précises, il est estimé qu'environ 200 000 personnes sont aveugles.[6] [8] [7]

La cécité représente un défi majeur, non seulement pour les individus affectés, mais aussi pour la société dans son ensemble. Les personnes non-voyantes font face à des obstacles considérables dans leur vie quotidienne, ce qui limite leur autonomie et leur qualité de vie. Dans ce contexte, il est essentiel de développer des solutions innovantes pour améliorer leur indépendance et leur intégration sociale.[6]

# Anatomie de l'œil

## 1.1 Introduction

Cette étude abordera une analyse approfondie des divers organes impliqués dans le processus de la vision. Nous examinerons le rôle de chaque membrane de l'œil, et le fonctionnement du système optique.

## 1.2 Anatomie de l'œil

### 1.2.1 Généralités

Organe sensoriel [68] complexe constituant l'un des 5 sens de notre organisme, l'œil est composé de plusieurs structures, et chacune d'elles avec sa fonction ( figure 1.1 ), comme suite :

- Le segment antérieur, constitué de la cornée, humeur aqueuse, de l'iris et du cristallin.
- Le segment postérieur, constitué de l'humeur vitré, de la rétine et du nerf optique.
- Des annexes constituées des paupières, du système lacrymal et de 6 muscles oculomoteurs dont les contractions vont permettre les mouvements oculaires.

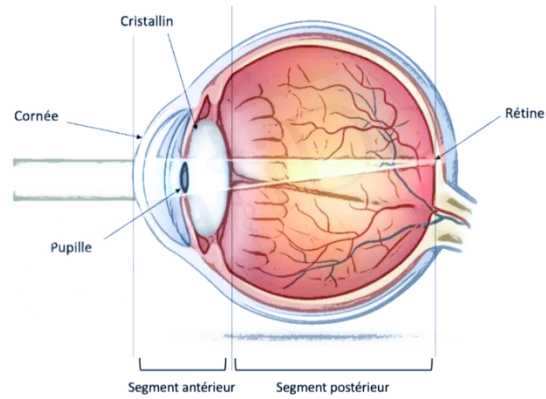


FIGURE 1.1 – Anatomie de l'œil  
[68]

### 1.2.1.1 Dimensions de l'œil

L'organe responsable de la vue est l'œil. D'un volume modeste d'environ 6,5 cm<sup>3</sup> et d'un poids léger de 7 grammes, il présente une forme sphérique d'un diamètre approximatif de 24 mm. À l'avant, il est complété par une demi-sphère de 8 mm de rayon, connue sous le nom de cornée.[9]

### 1.2.2 La conjonctive : « peau » de l'œil

La conjonctive, une mince membrane transparente recouvrant l'œil (représenté en bleu foncé sur la figure 1.2), agit comme une barrière protectrice, semblable à une peau. Elle assure la protection de la surface de l'œil. Pour ses pathologies, la conjonctivite se manifeste par une inflammation ou une infection de cette membrane.[68]

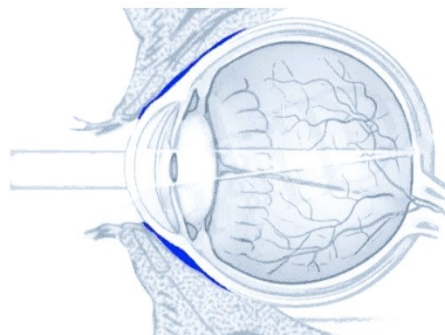


FIGURE 1.2 – La conjonctive de l'œil (représenté en bleu foncé)  
[68].

### 1.2.3 La sclère : « coque » de l'œil

Anatomie de la sclère constitue l'enveloppe externe de l'œil, une membrane blanche, robuste et épaisse. Sur sa face antérieure, elle est recouverte par la conjonctive. Sa texture tendineuse assure le maintien de la forme et la protection de l'œil. La sclérite se manifeste par une inflammation de la sclère.[68]

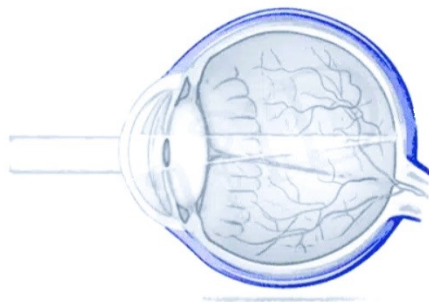


FIGURE 1.3 – Image montrant la sclère de l'œil [68].

### 1.2.4 La cornée : « hublot » de l'œil

Structure de la cornée est hautement innervée, c'est une extension de la sclère située à l'avant de l'œil. Transparente, elle permet le passage de la lumière vers la rétine. Pour sa fonction qui est Agissant comme une lentille, la cornée concentre la lumière sur la rétine. Les troubles de la cornée sont variés et souvent douloureux en raison de sa forte innervation. L'inflammation de la cornée est appelée kératite.[68]

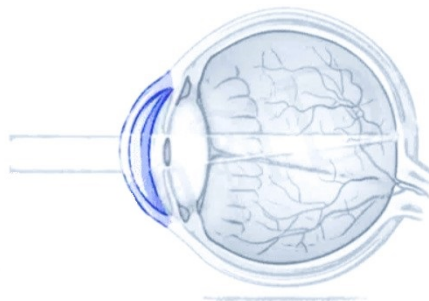


FIGURE 1.4 – La corné, le tissus transparent et première lentille de l'œil [68].

### 1.2.5 L'iris et la pupille : « diaphragme » de l'œil

L'iris détermine la couleur des yeux, qui varie en fonction de l'épaisseur et de la quantité de mélanine dans ses lamelles pigmentaires. Plus il y a de mélanine, plus la couleur est foncée.

L'iris est fin et régule la dilatation de la pupille. Il est nourri par l'humeur aqueuse et des artérioles.[1]

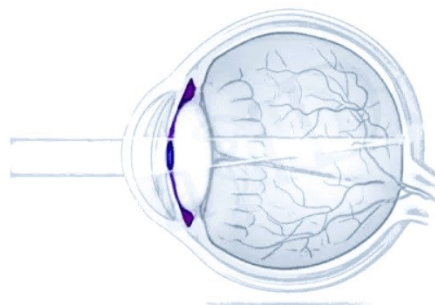


FIGURE 1.5 – Représentation visuelle de l'iris et de la pupille de l'œil [68].

### 1.2.6 L'angle irido-cornéen : « égouts » de l'œil

L'angle irido-cornéen est formé par la face avant de l'iris et la face arrière de la cornée, et il contient le trabéculum. Il agit principalement comme un filtre et un système de drainage pour l'humeur aqueuse dans l'œil. Les problèmes liés à l'angle irido-cornéen peuvent entraîner des complications graves, telles que le glaucome.[68]

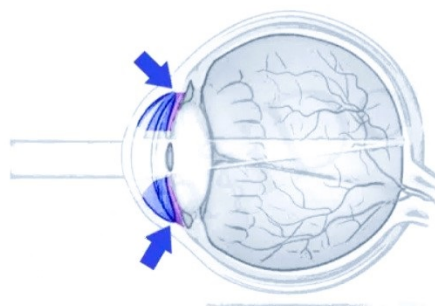


FIGURE 1.6 – L'angle irido-cornéen, entre la cornée et l'iris [68].

### 1.2.7 L'humeur aqueuse

L'humeur aqueuse est un liquide clair et transparent qui, avec le corps vitré, aide à maintenir la pression et la forme de l'œil. Elle est composée principalement d'eau, mais contient également de la vitamine C, du glucose, de l'acide lactique et des protéines. Elle est continuellement filtrée et renouvelée, avec un cycle de renouvellement complet toutes les 2 à 3 heures.[1]

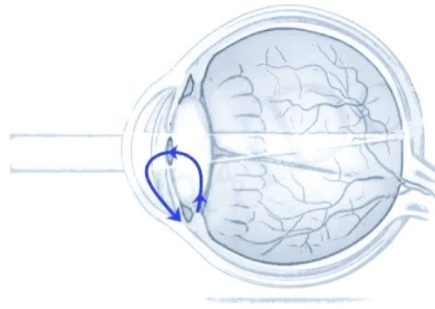


FIGURE 1.7 – Circulation de l'humeur aqueuse entre le cristallin et la cornée [68].

### 1.2.8 Le cristallin : « auto-focus » de l'œil

Le cristallin est limpide, mais il peut devenir opaque en cas de cataracte. Il est responsable d'environ un tiers de la puissance de vision totale de l'œil, joue un rôle crucial dans l'ajustement de la mise au point pour une vision nette, et absorbe une partie des rayons UV nocifs. [10]

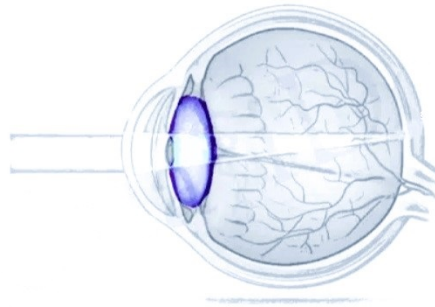


FIGURE 1.8 – Présentation du cristallin, la lentille transparente de l'œil [68].

### 1.2.9 Le corps ciliaire : « moteur » de l'œil

Le corps ciliaire est relié au cristallin par des fibres appelées Zonule de Zinn. Il est constitué de deux structures qui remplissent des fonctions cruciales. Pour sa fonction, le muscle ciliaire du corps ciliaire contrôle la forme du cristallin, tandis que ses processus ciliaires, riches en vaisseaux sanguins, sécrètent l'humeur aqueuse. Les anomalies du corps ciliaire sont souvent impliquées dans les troubles du glaucome. [68]

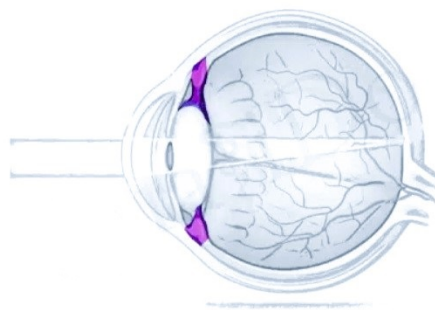


FIGURE 1.9 – Le Corps Ciliaire de l'Œil [68].

### 1.2.10 Le vitré : « chambre noire » de l'œil

L'humeur vitrée, également appelée corps vitré, est un gel qui remplit la partie postérieure de l'œil, située derrière le cristallin. Il occupe une proportion significative du volume oculaire. En plus de son rôle de support et de protection, le vitré participe aux échanges nutritifs et à l'élimination des déchets. Il remplit la partie postérieure de l'œil, créant une sorte de chambre noire. Parfois, le vitré se condense, créant des "corps flottants" qui peuvent être associés à un risque de décollement de la rétine. [68]

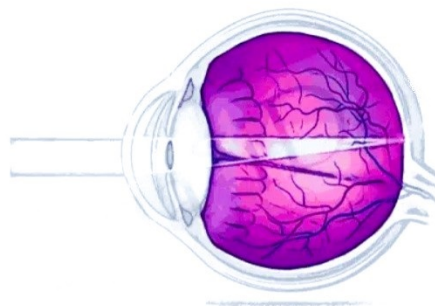


FIGURE 1.10 – Le corps vitré [68].

### 1.2.11 La rétine : « pellicule » de l'œil

La rétine est composée de photo-récepteurs, avec les cônes au centre responsables de la vision diurne détaillée et de la perception des couleurs, et les bâtonnets en périphérie, assurant la vision nocturne en noir et blanc ainsi que le champ visuel. Pour sa fonction, elle tapisse le fond de l'œil, la rétine agit comme l'organe sensible de la vision, convertissant les signaux lumineux en impulsions nerveuses, telles des cellules photo-voltaïques. [68]

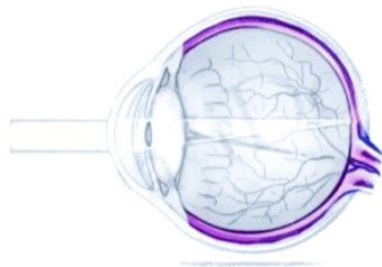


FIGURE 1.11 – La rétine de l'œil [9].

### 1.2.12 La macula : rétine centrale

La macula est une petite zone de la rétine, située au centre, qui est responsable de notre vision centrale et nous permet de voir les détails fins avec clarté. Elle contient une forte concentration de cônes, les cellules photo-réceptrices responsables de la vision des couleurs et de la vision détaillée. Les dommages à la macula, tels que la dégénérescence maculaire liée à l'âge, peuvent entraîner une perte significative de la vision centrale. La rétine périphérique quant à elle contient d'autres types de cellules visuelles : les bâtonnets, qui interviennent dans la vision nocturne. Elle détecte d'autres informations qui vont concerner le champ visuel, les mouvements, etc. [70]

### 1.2.13 Photorecepteurs

#### 1.2.13.1 Cônes

Les cônes sont responsables de la vision des couleurs et fonctionnent mieux dans des conditions de lumière élevée (vision photopique). Ils permettent la vision fine des détails, ce qui est essentiel pour des tâches comme la lecture ou la reconnaissance des visages.[71] [11]

- Types de cônes : Il existe trois types de cônes, chacun sensible à différentes longueurs d'onde de lumière correspondant approximativement aux couleurs rouges, verte et bleue. Ces distinctions permettent la perception des couleurs par le cerveau à partir des signaux combinés de ces trois types de cônes.[71]
- Distribution : Les cônes sont principalement concentrés dans la fovéa, le centre de la rétine, où ils sont très densément packés. Cette concentration élevée contribue à la haute acuité visuelle dans la vision centrale.[11]

### 1.2.13.2 Bâtonnets

Les bâtonnets sont beaucoup plus sensibles à la lumière que les cônes et sont donc essentiels pour la vision dans des conditions de faible luminosité (vision scotopique). Ils ne détectent pas les couleurs, mais sont très sensibles aux variations de luminosité.[11]

- Sensibilité : Les bâtonnets sont extrêmement sensibles aux faibles intensités lumineuses, ce qui les rend cruciaux pour la vision nocturne. Cependant, ils saturent rapidement et ne fonctionnent pas bien en lumière vive.[71]
- Distribution : Les bâtonnets sont absents de la fovéa et sont plus nombreux dans la périphérie de la rétine. Cette distribution aide à la vision périphérique et à la détection du mouvement en périphérie de notre champ visuel.[11]

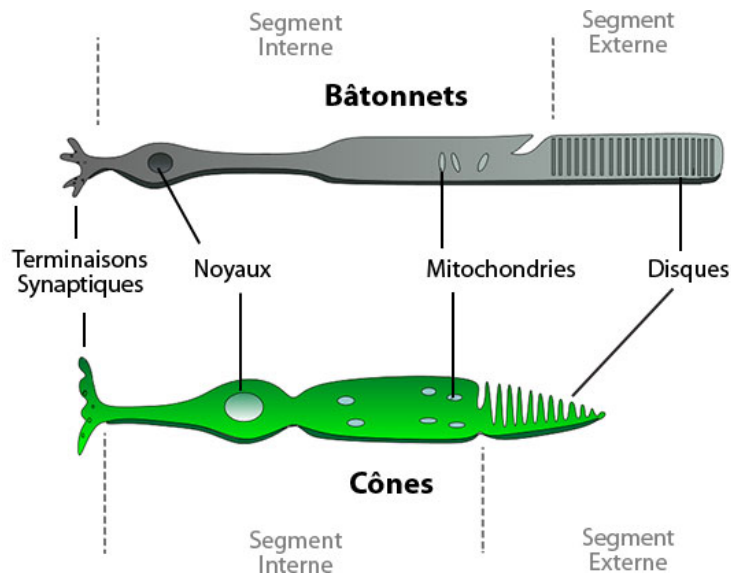


FIGURE 1.12 – Bâtonnets et cônes de l'œil [11].

### 1.2.13.3 Fonctionnement des photorécepteurs

Le processus de phototransduction dans les cônes et les bâtonnets implique la conversion de la lumière en un signal électrique :

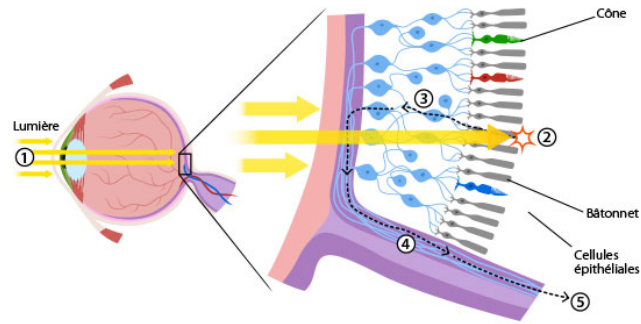


FIGURE 1.13 – Le fonctionnement des photorécepteurs dans l'œil [11].

1. La lumière traverse la cornée et le cristallin pour finalement atteindre la rétine, qui est composée de millions de bâtonnets et de cônes.
2. Lorsque la lumière frappe les disques des segments extérieurs des photorécepteurs, les photons les activent. Les bâtonnets sont capables de détecter de très faibles quantités de lumière, mais les cônes ont besoin d'une lumière plus intense (c'est-à-dire plus de photons) pour être activés. La plupart de la lumière qui n'est pas absorbée par les bâtonnets et les cônes est absorbée par les cellules épithéliales situées derrière eux.[11]

Les disques des bâtonnets contiennent de la rhodopsine et les disques des cônes contiennent des opsines, qui sont des protéines spéciales qui changent de forme lorsqu'elles sont exposées à la lumière. Cela entraîne l'activation d'une autre protéine, qui à son tour provoque d'autres changements et la transmission d'un signal visuel. Pour qu'un signal soit transmis par un cône ou un bâtonnet, des ions (molécules chargées) entrent et sortent de ces cellules, créant ainsi un potentiel d'action.[71][11]

3. Lorsque le signal atteint le segment interne d'un bâtonnet ou d'un cône, il est transmis à des cellules nerveuses.[11]
4. Le signal se propage ensuite dans les cellules nerveuses du nerf optique pour atteindre le cerveau.[11]
5. Le nerf optique transmet les signaux visuels au cerveau, où ils sont intégrés et combinés pour former une image complète.[11]

### 1.2.14 La choroïde

Nichée entre la rétine et la sclère, la choroïde est une membrane abritant une multitude de vaisseaux sanguins et de nerfs. S'étendant de la papille optique au corps ciliaire, elle est souvent comparée à une éponge vasculaire. La choroïde joue un rôle crucial dans l'alimentation de la rétine, entre autres fonctions. Les inflammations de la choroïde sont désignées sous le terme de "choroïdites". [68]



### 1.2.17 Tractus optique et thalamus

Après le chiasma, les fibres forment les tractus optiques qui se terminent dans le corps géniculé latéral du thalamus.[13]

### 1.2.18 Cortex cérébral

Le traitement des informations visuelles dans le cerveau humain est principalement assuré par le cortex visuel, situé dans le lobe occipital. Après avoir traversé le nerf optique, les signaux visuels atteignent le chiasma optique, où les fibres nerveuses se croisent partiellement. Ces signaux sont ensuite relayés vers le corps genouillé latéral du thalamus avant d'être projetés sur le cortex visuel primaire (V1). Le cortex visuel primaire est responsable de la réception initiale des informations visuelles. À partir de là, les données sont transmises à d'autres aires visuelles (V2, V3, V4, MT, etc.) qui traitent divers aspects de l'image tels que la forme, la couleur et le mouvement [12]. Ces aires visuelles sont interconnectées et travaillent de concert pour permettre une perception visuelle cohérente et détaillée.[14]

## 1.3 Conclusion

Pour finir, ce chapitre a exploré l'anatomie fascinante et complexe de l'œil humain, mettant en lumière les mécanismes précis qui permettent la vision. De la cornée à la rétine, chaque composant joue un rôle crucial dans la transformation des stimuli lumineux en images compréhensibles par notre cerveau. Cette compréhension approfondie de l'œil est essentielle non seulement pour la médecine et la biologie, mais aussi pour le développement de technologies innovantes destinées à assister les personnes atteintes de cécité.

Dans la section suivante, nous allons passer en revue les maladies pouvant provoquer la malvoyance ou la cécité, ainsi que les différentes solutions disponibles sur le marché.

# Systeme d'aide à la vision

## 2.1 Introduction

Comprendre les principales maladies responsables de la cécité est essentiel pour appréhender l'ampleur de ce défi et orienter les efforts de recherche et de développement technologique vers des solutions efficaces.

Ce chapitre se divise en deux sections principales. La première partie est consacrée à la présentation et descriptions des maladies les plus importante causant la cécité, La seconde partie du chapitre explore les divers outils et appareils actuellement utilisés par les personnes aveugles ou malvoyantes.

## 2.2 Principales causes de cécité et leurs prévalences

Nous rencontrons plusieurs cas de personnes malvoyantes ou aveugles. De là, nous décrirons quelques maladies courantes :

### 2.2.1 La dégénérescence maculaire liée à l'âge : DMLA

La dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) est une maladie affectant la macula, la partie centrale de la rétine, responsable de la vision fine et des détails. Elle touche principalement les personnes de plus de 50 ans et peut causer une perte progressive de la vision centrale, rendant difficile des activités comme la lecture ou la reconnaissance des visages. Il existe deux formes : la DMLA sèche, plus fréquente et évoluant lentement, et la DMLA humide, plus rare mais plus rapide et sévère. Bien qu'il n'y ait pas de traitement curatif, des thérapies peuvent ralentir la progression de la maladie.[17] [69] [67]

Pourcentage de cécité mondiale : Environ 8% [21]

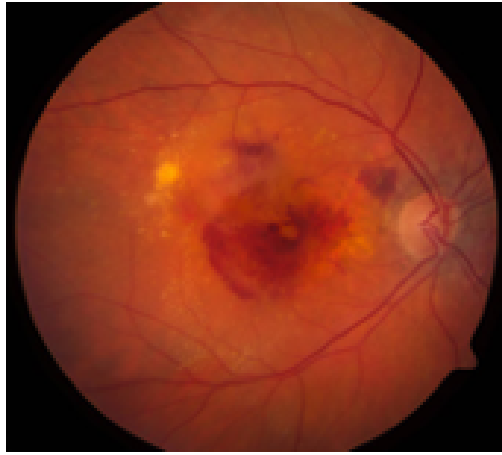


FIGURE 2.1 – La dégénérescence maculaire liée à l'âge  
[22]

### 2.2.2 l'opacité cornéenne

L'opacité cornéenne est une perte de transparence de la cornée, la partie avant claire de l'œil. Elle peut être causée par des infections, des traumatismes, des inflammations, ou des maladies dégénératives, tel que la kératocône, la Kératite, l'ichthyose, le syndrome de l'œil sec traumatisme, l'ulcère cornéen, les brûlures. Cette opacification entraîne une vision floue ou réduite, et dans les cas graves, elle peut provoquer une cécité partielle ou totale.[18] [69] [67]

Pourcentage de cécité mondiale : Environ 5% [21]

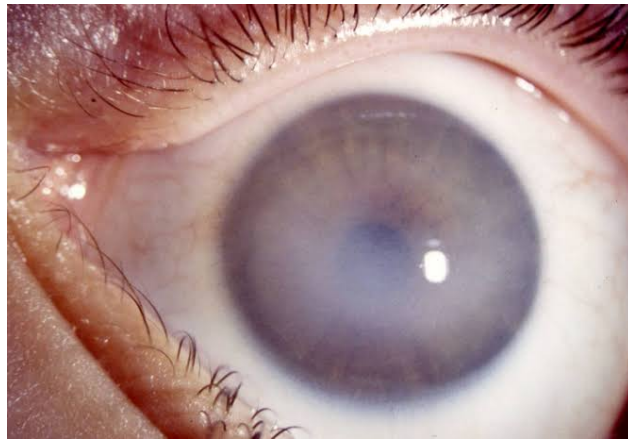


FIGURE 2.2 – Opacité cornéenne  
[5]

### 2.2.3 Rétinopathie Diabétique

Progressivement, de larges zones de la rétine cessent d'être correctement oxygénées. En réponse, la rétine génère de nouveaux vaisseaux sanguins, encore plus fragiles. Ce processus s'intensifie et s'étend jusqu'à la macula, située au centre de la rétine, où se trouve le point

central de la vision. La macula s'épaissit, provoquant un œdème maculaire (gonflement), ce qui entraîne une baisse significative de l'acuité visuelle, parfois irréversible.[19] [69] [67] En outre, ces néovaisseaux peuvent saigner dans le vitré, la substance gélatineuse située devant la rétine, entraînant une perte de vision temporaire jusqu'à la résorption de l'hémorragie. Toutefois, l'hémorragie peut persister, nécessitant une intervention chirurgicale (vitrectomie). Ces complications peuvent également conduire à la formation d'une fibrose, causant une traction sur la rétine, ce qui augmente le risque de déchirure et de décollement rétinien, aboutissant à une perte définitive de la vision.[19] [69] [67]

Pourcentage de cécité mondiale : Environ 4% [21]



FIGURE 2.3 – Rétinopathie Diabétique [3].

#### 2.2.4 Trachome

Le trachome est une infection oculaire bactérienne causée par *Chlamydia trachomatis*. Cette maladie est très contagieuse et peut entraîner la cécité si elle n'est pas traitée. Elle se manifeste par une inflammation de la conjonctive, des paupières gonflées, et une sensibilité à la lumière. La transmission se fait par contact direct avec les sécrétions oculaires ou nasales d'une personne infectée, ou par des objets contaminés. Le traitement repose principalement sur des antibiotiques, et dans les cas avancés, une intervention chirurgicale peut être nécessaire. La prévention inclut l'amélioration de l'hygiène et l'accès à l'eau potable.[20] [69] [67]

Pourcentage de cécité mondiale : Environ 3% [21]

#### 2.2.5 La cataracte

La cataracte est une affection oculaire caractérisée par une opacification partielle ou totale du cristallin, ce qui altère la vision et réduit la qualité de vie. Elle peut se manifester dans un seul œil, mais elle affecte généralement les deux yeux. On diagnostique une cataracte lorsque la correction optique par des lunettes ne suffit plus à améliorer la vision. Si elle n'est

pas traitée chirurgicalement, la cataracte peut entraîner une perte de vision progressive et irréversible.[23] [69] [67]

Pourcentage de cécité mondiale : Environ 51% [21]



FIGURE 2.4 – La cataracte [24].

## 2.2.6 Glaucome

Le glaucome est une maladie progressive du nerf optique souvent associée à une pression intraoculaire élevée, qui peut endommager les fibres nerveuses. On site deux types de glaucome :

### 2.2.6.1 Glaucome à angle ouvert

Le type le plus courant, où la dégradation de la vision est tellement graduelle que de nombreux patients ne remarquent pas les premiers stades de la maladie.[16]

### 2.2.6.2 Glaucome à angle fermé

Un cas médical d'urgence caractérisé par une augmentation soudaine et sévère de la pression intraoculaire, douleur oculaire intense, vision brouillée, et parfois nausées et vomissements.[16]

Pourcentage de cécité mondiale : Environ 12% [21]



FIGURE 2.5 – Glaucome  
[16].

### 2.2.7 Autres Causes

Comprend les erreurs de réfraction non corrigées (myopie, hypermétropie, astigmatisme), les anomalies congénitales, les traumatismes oculaires, les accidents, et d'autres conditions moins fréquentes. [21] [69] [67]

Pourcentage de cécité mondiale : Environ 17% [21]

Bien que des maladies puissent entraîner la cécité, il est possible de détecter certains troubles visuels chez les individus dès leur naissance ou à la suite d'un accident. La technologie joue un rôle important en proposant des solutions permettant à ces personnes de surmonter leurs handicaps.

## 2.3 Les dispositifs destinés aux personnes malvoyantes et non-voyantes

### 2.3.1 Canne blanche



FIGURE 2.6 – Une canne blanche [25].

La canne d'aveugle est un outil de mobilité pour les personnes non-voyantes ou malvoyantes, leur permettant de se déplacer en toute sécurité en effectuant un balayage de leur environnement. Elle permet également de signaler leur handicap visuel aux autres, améliorant ainsi leur sécurité et leur confort lors de leurs déplacements.[26] La canne d'aveugle aide également l'utilisateur à détecter les irrégularités du sol, telles que les trous, les bosses, les textures et les bordures, ainsi qu'à évaluer la hauteur des marches. Cela permet à la personne de se déplacer plus facilement et en toute sécurité.[26]

### 2.3.2 Chiens guides

Les chiens guides sont des chiens spécialement entraînés pour aider les personnes aveugles ou malvoyantes dans leurs déplacements quotidiens. Ils offrent une autonomie accrue, contournent les obstacles, et assurent la sécurité de leur maître. En plus de guider, ils apportent une présence rassurante et facilitent les interactions sociales.[28]



FIGURE 2.7 – Chien guide  
[30].

Bien qu'extrêmement bénéfiques pour les personnes aveugles ou malvoyantes, ils présentent quelques inconvénients. Ils nécessitent des soins réguliers et coûteux, comme la nourriture et les visites chez le vétérinaire. La formation de ces chiens est longue et coûteuse, et il faut du temps pour que le chien et son maître s'adaptent l'un à l'autre. De plus, bien que généralement autorisés dans les lieux publics, il peut y avoir des restrictions d'accès. Avoir un chien guide implique également une grande responsabilité, car il faut s'occuper de l'animal en plus de compter sur lui pour la mobilité. Enfin, certaines personnes peuvent être allergiques aux poils chiens ou en avoir peur, ce qui peut poser des problèmes dans les environnements partagés.[28]

### 2.3.3 Les lunettes électroniques

Les lunettes électroniques pour malvoyants améliorent l'acuité visuelle et fonctionnent comme une loupe mobile pour aider à retrouver de l'autonomie. Elles permettent de profiter à nouveau de certaines activités quotidiennes tout en libérant les mains. Il existe des lunettes liseuses équipées d'une caméra pour lire différents textes, offrant ainsi une solution mobile et pratique.[27]



FIGURE 2.8 – Lunettes électroniques [27].

Ces lunettes révolutionnaires qui redonnent (presque) la vue aux personnes malvoyantes, grâce à un système innovant qui permet de lire des textes à la maison ou en déplacement, de reconnaître des visages, d'identifier des produits, des billets de banque et des couleurs, ainsi que de lire les textes des journaux, etc. Ces lunettes sont faciles à utiliser, il suffit d'un geste simple et intuitif, comme pointer du doigt ou appuyer sur un bouton.

Il existe une autre sorte de lunette appelé OrCam My Eye qui est destiné aux aveugles, capable de lire du texte imprimé.

OrCam My Eye est capable de lire du texte imprimé en temps réel à partir de n'importe quelle surface, ce qui permet à une personne de lire des livres, des journaux, des pancartes, des étiquettes, des menus et même du texte sur un smartphone ou un écran d'ordinateur. Il s'agit en somme de lunettes pour aveugles qui leur permettent de "voir" le monde qui les entoure et de reprendre ainsi leurs activités quotidiennes.[72]



FIGURE 2.9 – OrCam My Eye [29].

### 2.3.4 The voice

Le système The VOICE est une technologie d'assistance pour les personnes malvoyantes ou non-voyantes. Il utilise une caméra pour capturer des images de l'environnement, qui sont ensuite converties en niveaux de gris et en sons. Ces sons sont diffusés à travers des écouteurs pour aider les utilisateurs à percevoir leur environnement et à se déplacer de manière plus autonome.[31]

Le système The VOICE convertit l'image aux niveaux de gris et à une résolution de 64x64 pixels. Bien que certains prototypes utilisent une caméra montée sur un casque, ce design futuriste n'est pas bien accueilli par la communauté des non-voyants pour un usage quotidien. Ils préfèrent généralement un équipement plus discret et neutre, comme des lunettes équipées d'une petite caméra centrale et d'écouteurs classiques connectés à un mini-PC. Récemment, une version Android de l'application a été développée, permettant l'utilisation de The VOICE sur la plupart des téléphones actuels et sur les Google Glass.[31]

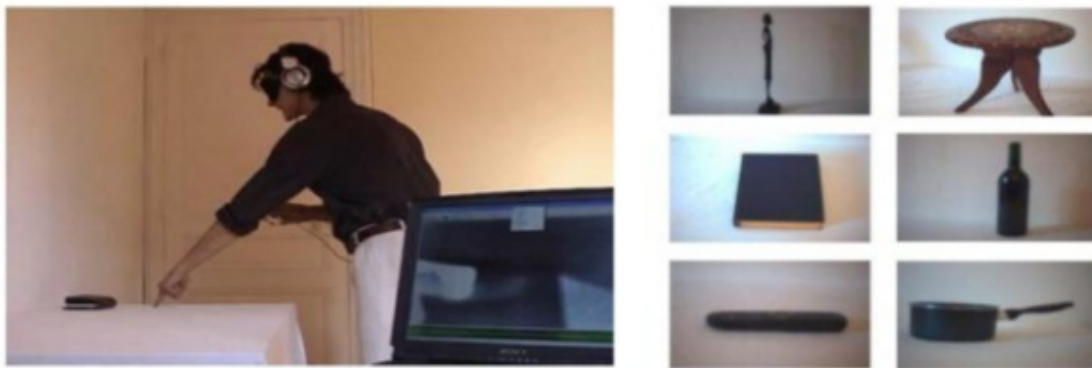


FIGURE 2.10 – The Voice  
[31].

### 2.3.5 The vibe

The Vibe a été créé en 2004 à l'Université René Descartes par le laboratoire de Neurophysique et Physiologie du Système Moteur et le laboratoire de Psychologie Expérimentale. Il fonctionne de manière similaire au système The Voice en encodant la position verticale d'un pixel en fréquence sonore, qui augmente avec la position verticale du pixel, et les niveaux de gris en intensité sonore. Cependant, The Vibe encode la position horizontale d'un pixel en utilisant la disparité binaurale, c'est-à-dire en créant des différences de temps et d'intensité sonore entre les deux oreilles.[31]



FIGURE 2.11 – The Vibe  
[31].

### 2.3.6 Substitution oculaire

Bharambe a développé un dispositif intégré pour remplacer les yeux des malvoyants(VIP) afin de faciliter la navigation et le pilotage, comme le montre la figure2.12. L'appareil intègre principalement un microcontrôleur TI MSP 430G2553 pour gérer le système et communiquer avec les applications Android. Le but de cette application est d'utiliser le GPS, le GSM amélioré et le GPRS pour obtenir l'emplacement d'une personne et générer de meilleures directions.[32]

L'équipement intégré comprend deux moteurs à ultrasons HC-SR04 et trois moteurs à vibrations. La conception de l'appareil est légère et très pratique. En outre, le système utilise deux capteurs pour résoudre le problème du cône étroit. Ainsi, au lieu de couvrir deux plages, les dispositifs à ultrasons couvrent trois plages. Cela permet non seulement de détecter les obstacles, mais aussi à les localiser. Toutefois, la conception pourrait être meilleure car les autres n'utilisaient pas la base en bois (canne). Le système sera généralement porté par l'utilisateur.[32]

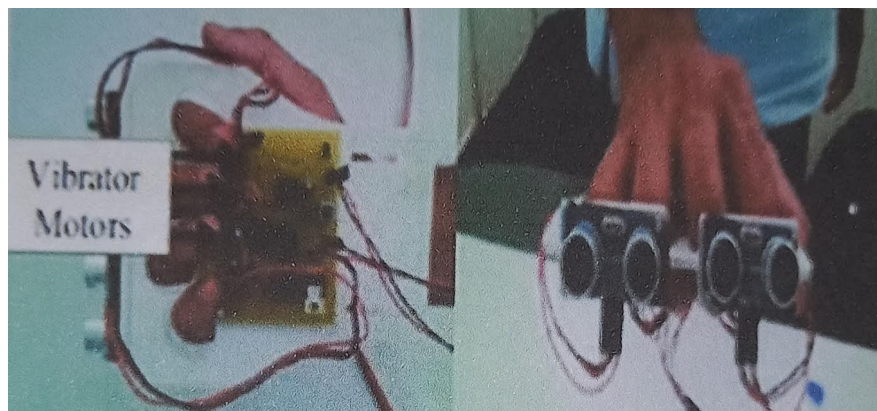


FIGURE 2.12 – Système de substitution oculaire  
[33].

### 2.3.7 Le boîtier BuzzClip

Comme la canne électronique, le box BuzzClip utilise les ultrasons pour les obstacles. BuzzClip avertit les utilisateurs en temps réel grâce à des vibrations intuitives. Il permet de se déplacer en toute sécurité. C'est un petit appareil de vibration, portable et dissimulé, qui peut être clipsé sur des vêtements ou tenu à la main.[34]



FIGURE 2.13 – Le boîtier BuzzClip [35].

### 2.3.8 Le boîtier GPS Sherpa

Le Sherpa est un boîtier électronique qui se fixe sur une canne blanche classique ou un harnais de chien guide. Il ne remplace pas un outil complet de déplacement, car il ne détecte pas les obstacles, mais apporte des fonctionnalités supplémentaires à ces outils. Cet appareil permet d'accéder à des fonctionnalités de navigation GPS.[34]

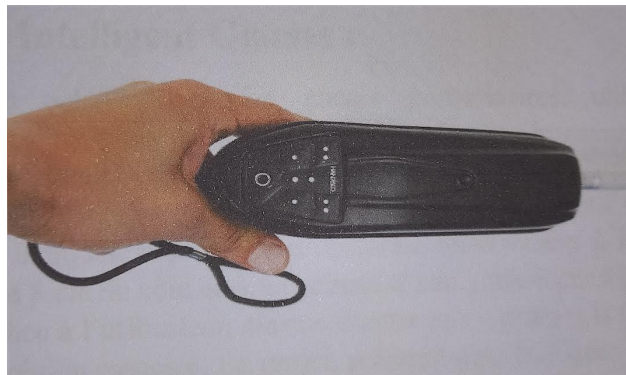


FIGURE 2.14 – Le boîtier GPS Sherpa [36].

### 2.3.9 Casquette Radar-Pendentif radar

Dominique ICART expose le projet de casquette et de pendentif radar de la société Bestpluton. Ces systèmes permettent de détecter les obstacles en hauteur. La 1ère casquette radar, très légère, s'est révélée satisfaisante en termes d'efficacité, mais peu discrète.[37]



FIGURE 2.15 – Casquette de la société bestpluton par dominique ICART [37].

### 2.3.10 Paul Bach-Y-Rita « Le père de la substitution sensorielle ».

Paul Bach-y-Rita (4 avril 1934 – 20 novembre 2006) était un neuroscientifique américain, reconnu pour ses contributions significatives à l'étude de la neuroplasticité. Il a été parmi les premiers à explorer sérieusement ce concept et à proposer la substitution sensorielle comme méthode pour traiter les troubles neurologiques.[38]

Parmi les Prototypes dont Bach-Y-Rita avait démontré, on cite quelques unes :

#### 2.3.10.1 Dispositif tactile sur la langue

À chaque instant, l'outil que nous utilisons redéfinit nos possibilités. Toutefois, son impact sur notre corps et notre cerveau se manifeste aussi sur le long terme[39]. Pour illustrer cela, revenons à une autre expérience de Bach-y-Rita. Prenons le sens de l'équilibre, essentiel mais souvent négligé. Les cellules responsables de la perception des mouvements et de la position du corps par rapport à la verticale se trouvent dans l'oreille interne. La perte de ces cellules provoque une sensation de chute constante, rendant difficile la station debout. C'est ce qu'a vécu Cheryl Schiltz avant de participer à une autre expérience de Bach-y-Rita. L'idée était de recréer le sens de l'équilibre via le toucher. En utilisant une méthode similaire à celle employée pour la perception de l'espace, l'équipe de Bach-y-Rita a mis au point un dispositif tactile sur la langue, relié à un accéléromètre fixé sur la tête.[39]

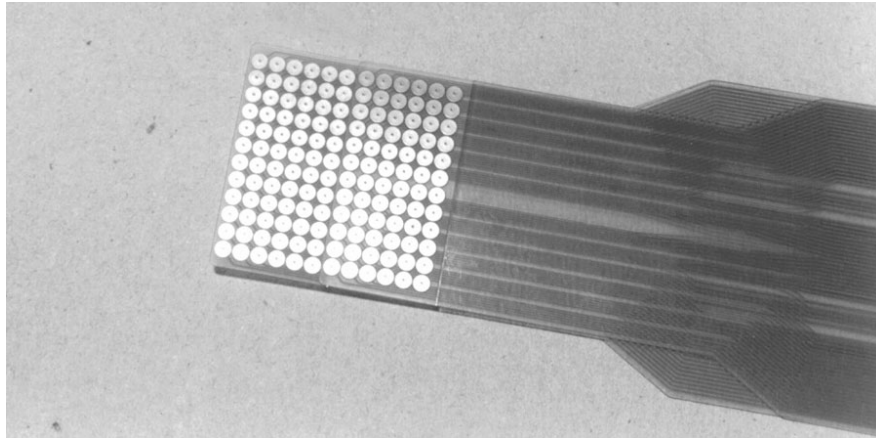


FIGURE 2.16 – Tactile de la langue [39].

Si Cheryl Schiltz se penche vers l'avant, le stimulus tactile se déplace vers l'avant de la langue. À l'inverse, si elle penche vers l'arrière, le stimulus se déplacera vers l'arrière, ce qui lui permet d'adapter la position de son corps. Là encore, les résultats sont spectaculaires et dès la première séance Cheryl Schiltz peut de nouveau marcher seule. Mais ce qui est encore plus intéressant ici, c'est qu'il lui est également possible de poser le dispositif et de continuer à bénéficier de son effet. Et le processus se renforce même au fil du temps. Après quelques mois d'entraînement, elle marche sans problème et peut maintenant se passer de son dispositif pendant des mois. L'effet de reconfiguration du cerveau par l'objet est donc durable et tend à s'accroître avec l'utilisation prolongée du dispositif.[39]

### 2.3.10.2 Vision de l'espace

Ils peuvent alors oublier les sensations tactiles sur le ventre au profit d'une véritable « vision » de l'espace. Mieux encore, même avec une matrice très rudimentaire, ils parviennent à reconnaître des visages[39]. Cette expérience a été une preuve éclatante pour la science, montrant que le cerveau est un système extrêmement dynamique, en constante évolution. Cela a eu deux conséquences majeures : d'une part, il est possible de reconfigurer le cerveau à tout moment de sa vie, et d'autre part, contrairement à l'idée largement acceptée auparavant, le cerveau n'est pas rigidement divisé en aires distinctes contrôlant chacune une compétence spécifique. Au lieu de cela, des connexions peuvent se former aisément, permettant ainsi au toucher d'accéder à la perception de l'espace.[39]



FIGURE 2.17 – Photographie extraite de Brain Mechanisms in Sensory Substitution [39].

### 2.3.10.3 La tactile sur le ventre

Le dispositif se compose d'une matrice de petits picots connectés à une caméra. L'image capturée par la caméra est convertie en valeurs de noir et de blanc, les picots agissant comme des pixels tactiles : noirs, ils sont sortis ; blancs, ils restent rentrés. Étonnamment, même chez les aveugles de naissance, le cerveau apprend rapidement à transformer ces petits stimuli reçus sur la peau en une véritable perception de l'espace.[39]

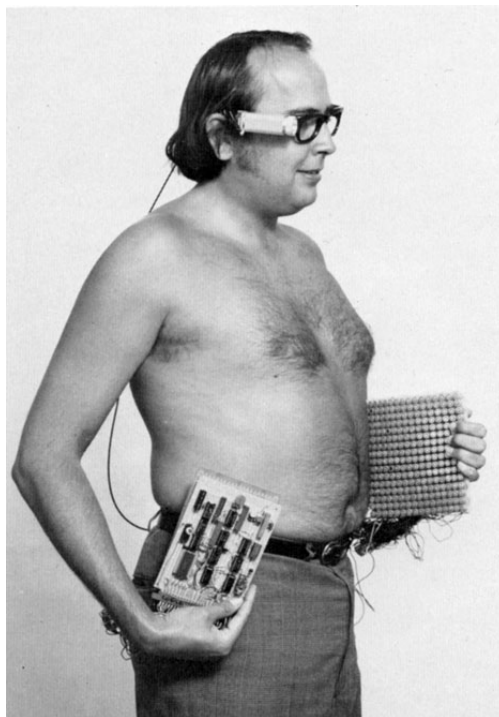


FIGURE 2.18 – Le tactile sur le ventre [39].

Cela nécessite un entraînement cérébral, mais surtout, il est crucial que la personne puisse manipuler et contrôler la caméra. Cette interaction est essentielle pour que les utilisateurs puissent relier leurs actions à leurs sensations.[39]

Parmi ces solutions, nous proposons notre projet qui est l'étude et la conception d'un système artificielle pour aveugle.

## 2.4 Conclusion

En conclusion, les progrès technologiques offrent des solutions prometteuses pour surmonter la cécité. Les dispositifs assistés par capteurs, et interfaces tactiles améliorent l'autonomie et la qualité de vie des personnes aveugles, favorisant leur intégration sociale.

# Principe de fonctionnement et réalisation du projet

## 3.1 Introduction

Nous détaillons dans ce qui suit les composants électroniques sélectionnés.

## 3.2 Matériels utilisés

Pour la réalisation de notre système on dispose d'un ensemble de composants et de logiciels :

### 3.2.1 Raspberry Pi Zero 2 W

#### 3.2.1.1 Description

Le Raspberry Pi Zero 2 W est le modèle le plus récent de la série Pi Zero, reconnue pour être la gamme la plus économique des ordinateurs Raspberry Pi.[44]

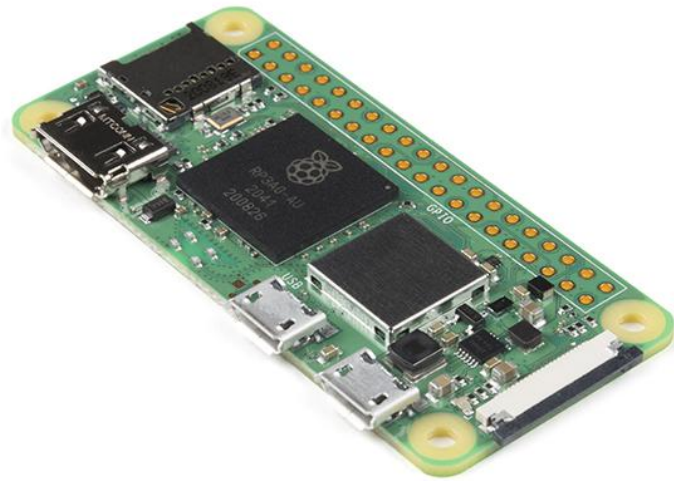


FIGURE 3.1 – Raspberry Pi 2  
[45].

Ce nouveau micro-ordinateur est équipé de la puce BCM2710A1, déjà utilisée dans le Raspberry Pi 3, et est doté de 512 Mo de mémoire vive.[44]

### 3.2.1.2 Fiche technique[46]

- Alimentation à prévoir : 5 Vcc/2,5 A via micro-USB (adaptateur secteur non inclus, voir 14406)
- Consommation : 600 mA maxi sans périphérique externe
- Microcontrôleur : BCM2710A1
- Microprocesseur : ARM Cortex-A53 quad-core 64 bits à 1 GHz
- GPU : Broadcom VideoCore IV
- WiFi : 2,4 GHz, 802.11 b/g/n
- Bluetooth 4.2 et BLE (Bluetooth Low Energy)
- Mémoire RAM : 512 MB LPDDR2
- Language utilisé : Python
- Température de service : -20 à 70 °C

- Dimensions : 65 x 30 x mm
- Poids : 10 g
- Version : Raspberry Pi Zero W 2 (W : avec puce Wifi et Bluetooth)

### 3.2.2 Capteur ultrasons HC-SR04

#### 3.2.2.1 Description

Le capteur ultrasonique HC-SR04 est un dispositif couramment utilisé pour mesurer des distances, les systèmes d'évitement d'obstacles et les applications de mesure de distance.[47]

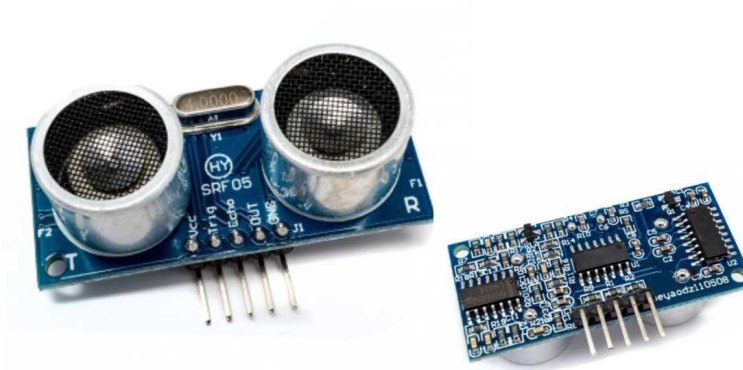


FIGURE 3.2 – Capteur ultrason [40].

#### 3.2.2.2 Fiche technique[48]

- Tension de fonctionnement : 5V DC
- Courant de fonctionnement : 15 mA
- Angle de détection : 15 degrés
- Plage de mesure : 2 cm à 400 cm
- Précision :  $\pm 3$  mm
- Fréquence d'émission : 40 kHz
- Dimensions : 45 mm x 20 mm x 15 mm

### 3.2.2.3 Principe de fonctionnement[41]

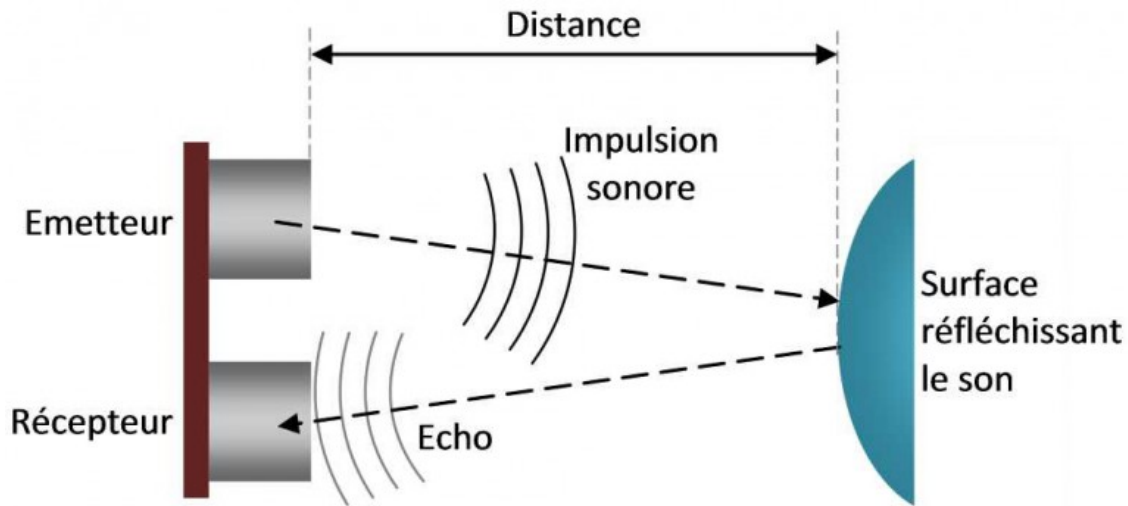


FIGURE 3.3 – Le fonctionnement du capteur ultrason [42].

1. **Émission d'un Signal Ultrasonore** : Le capteur envoie une série d'ondes ultrasonores à une fréquence de 40 kHz via son émetteur (Transmitter).
2. **Réflexion du signal** : Les ondes se déplacent dans l'air et se réfléchissent lorsqu'elles rencontrent un objet.
3. **Réception du signal** : Les ondes réfléchies sont captées par le récepteur (Receiver) du capteur.
4. **Calcul de la distance** : Le capteur mesure le temps écoulé entre l'émission et la réception du signal (appelé "temps de vol" ou time of flight).

La distance est calculée en utilisant la formule :

$$\text{distance} = \frac{\text{temps de vol} \times \text{vitesse du son}}{2} \quad (3.1)$$

La vitesse du son dans l'air est d'environ 343 m/s à 20°C.

## 3.2.3 Capteur de distance VL53L0X

### 3.2.3.1 Description [73]

Le VL53L0X est un capteur de distance basé sur la technologie Time-of-Flight (ToF) développé par STMicroelectronics. Il mesure la distance en émettant une impulsion laser infrarouge et en calculant le temps que met cette impulsion à revenir après avoir été réfléchi par un objet. Ce capteur est populaire pour sa précision, sa taille compacte et sa facilité d'intégration dans divers projets d'électronique.

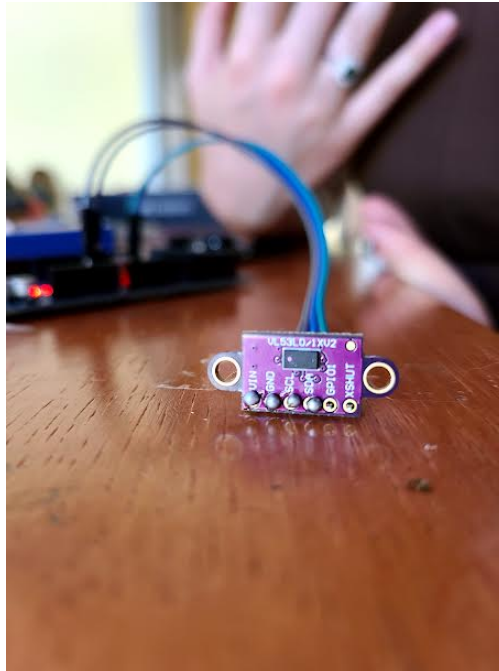


FIGURE 3.4 – Capteur de distance VL53L0X

### 3.2.3.2 Caractéristiques techniques [49]

- Technologie : Time-of-Flight (ToF)
- Plage de mesure : 30 mm à 2000 mm (2 m)
- Précision :  $\pm 3\%$  à  $\pm 10\%$  selon la distance
- Fréquence de mesure : Jusqu'à 50 Hz
- longueur d'onde : Laser 940 nm VCSEL (laser à émission de surface à cavité verticale)
- Champ de vision :  $25^\circ$
- Interface : I<sup>2</sup>C
- Tension de fonctionnement : 2.6V à 3.5V
- Dimensions : 4.4 mm x 2.4 mm x 1.0 mm

### 3.2.3.3 Les étapes du fonctionnement d'un capteur de distance VL53L0X [73]

1. **Émission d'un signal lumineux** : Le capteur TOF envoie une impulsion lumineuse (généralement un faisceau infrarouge ou laser). Ce signal est émis vers l'objet cible dont on veut mesurer la distance.
2. **Réflexion du signal** : La lumière se propage dans l'air jusqu'à rencontrer un objet. Lorsque le signal atteint la surface de l'objet, une partie de celui-ci est réfléchi dans toutes les directions.

3. **Réception du signal réfléchi** : Le capteur contient un détecteur qui reçoit la lumière réfléchie par l'objet.
4. **Mesure du temps de vol** : Le capteur mesure précisément le temps écoulé entre l'émission du faisceau lumineux et la réception du faisceau réfléchi.
5. **Calcul de la distance** : Grâce à la formule suivante, le capteur calcule la distance entre le capteur et l'objet.

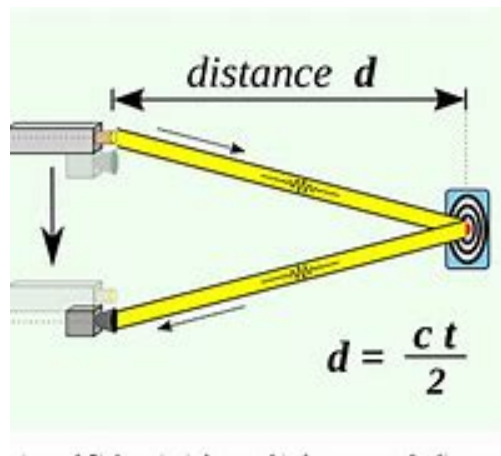


FIGURE 3.5 – Capteur de distance VL53L0X [73].

### 3.2.4 Capteur TOF400C-VL53L1X

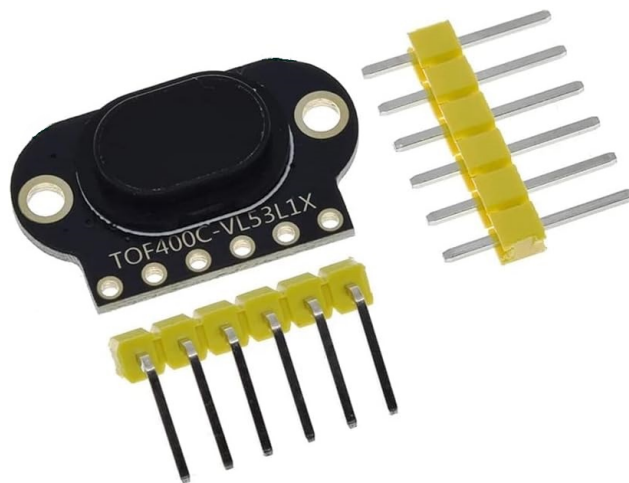


FIGURE 3.6 – Capteur 400CVL53L1X [43].

#### 3.2.4.1 Fiche technique [50]

- Technologie : Time-of-Flight (ToF)

- Plage de Mesure : Jusqu'à 4 mètres
- Fréquence de Mesure : Jusqu'à 50 Hz
- Dimensions : 4.9 x 2.5 x 1.56 mm
- Laser : Émetteur laser invisible 940 nm (Classe 1)
- Interface : I<sup>2</sup>C (jusqu'à 400 kHz)
- Alimentation : 2.8V
- Fonctionnalités : Taille et position de la zone d'intérêt (ROI) programmables, détection multi-zones, faible consommation d'énergie.

### 3.2.5 Arduino UNO

#### 3.2.5.1 Description [52]

La carte arduino UNO est un microcontrôleur ATmega328 programmable permettant de faire fonctionner des composants (moteur et led..).Elle possède des ports permettant par exemple de se connecter à un ordinateur ou de s'alimenter.

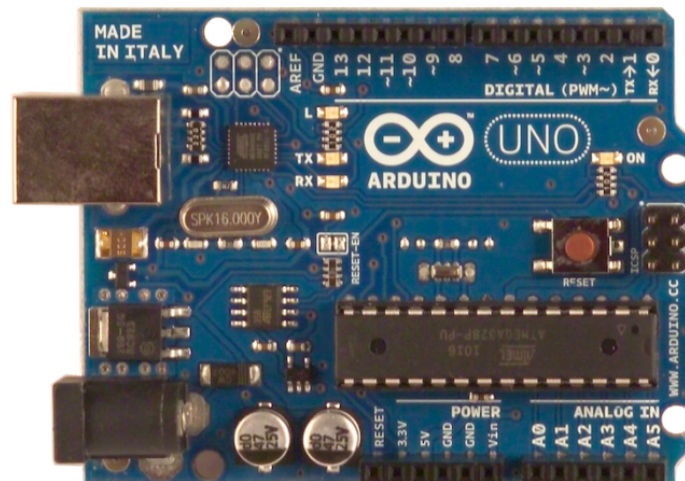


FIGURE 3.7 – Arduino uno [53].

#### 3.2.5.2 Fiche technique [52]

- Microcontrôleur : ATmega328P
- Tension de fonctionnement : 5V
- Tension d'alimentation (recommandée) : 7-12V

- Tension d'alimentation (limites) : 6-20V
- Broches E/S numériques : 14 (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM)
- Broches d'entrées analogiques : 6
- Courant maximum par broche E/S : 40 mA
- Mémoire Flash : 32 KB (ATmega328P) dont 0.5 KB utilisés par le bootloader
- Language utilisé : C++
- SRAM : 2 KB (ATmega328P)
- EEPROM : 1 KB (ATmega328P)
- Vitesse d'horloge : 16 MHz

### 3.2.6 Arduino mega2560

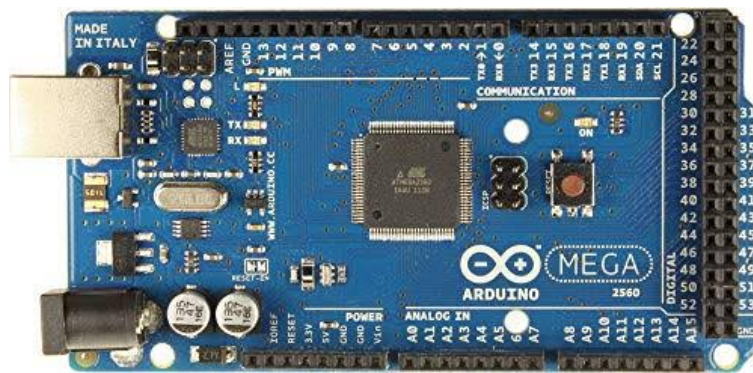


FIGURE 3.8 – Arduino mega2560  
[2]

#### 3.2.6.1 Description [54]

L'Arduino Mega 2560 est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega2560, conçue pour des projets nécessitant plus de lignes d'E/S, plus de mémoire pour les sketches et plus de RAM12.

#### 3.2.6.2 Fiche technique [54]

- Microcontrôleur : ATmega2560
- Tension de fonctionnement : 5V
- Tension d'alimentation (recommandée) : 7-12V
- Tension d'alimentation (limites) : 6-20V

- Broches E/S numériques : 54 (dont 15 peuvent être utilisées comme sorties PWM)
- Broches d'entrées analogiques : 16
- Ports série (UART) : 4
- Mémoire Flash : 256 KB (dont 8 KB utilisés par le bootloader)
- Langage utilisé : C++
- SRAM : 8 KB
- EEPROM : 4 KB
- Vitesse d'horloge : 16 MHz
- Connecteurs : USB, alimentation, ICSP, et bouton de réinitialisation

### 3.2.7 Le servomoteur MG90S

#### 3.2.7.1 Description [55]

Le servomoteur MG90S est un micro servomoteur à engrenages métalliques, connu pour sa petite taille et sa haute performance.



FIGURE 3.9 – Servomoteur MG90S [62].

#### 3.2.7.2 Fiche technique [55]

- Tension de fonctionnement : 4.8V à 6V (typiquement 5V)

- Couple de blocage : 1.8 kg/cm (4.8V) à 2.2 kg/cm (6V)
- Vitesse de fonctionnement : 0.1s/60° (4.8V)
- Type d'engrenage : Métal
- Rotation : 0° à 180°
- Poids : 13.4g
- Dimensions : 22.8 x 22.4 x 12 mm

### 3.2.8 Le servomoteur SG90

#### 3.2.8.1 Description [56]

Le servomoteur SG90 est un micro servomoteur populaire, souvent utilisé dans des projets de robotique et d'électronique en raison de sa petite taille et de sa facilité d'utilisation.



FIGURE 3.10 – Servomoteur MG90 [63].

#### 3.2.8.2 Fiche technique [56]

- Tension de fonctionnement : 4.8V à 6V
- Couple de blocage : 1.2 kg/cm (4.8V)
- Vitesse de fonctionnement : 0.12s/60° (4.8V)
- Type d'engrenage : Plastique

- Rotation : 0° à 180°
- Poids : 9g
- Dimensions : 22 x 11.5 x 27 mm

### 3.2.9 Ventilateur Brushless dc fan



FIGURE 3.11 – Ventilateur-Brushless DC FAN [64].

#### 3.2.9.1 Description [57]

Ce modèle est équipé d'un moteur sans balais, qui marche avec une alimentation de 5V ce qui le rend particulièrement silencieux, durable et économe en énergie. L'utilisation des fans s'est avérée cruciale vu l'échauffement important de notre carte Raspberry. Notre première solution c'est porté sur l'utilisation d'une patte thermique, qui s'est avérée inefficace à cause de son état liquide permanent, nous laissant pas la possibilité d'y ajouter un dissipateur thermique. donc, grâce à ses performances fiables et son faible niveau de bruit, il a été un choix idéal pour assurer un refroidissement de la carte Raspberry Pi Zero 2 W efficace tout au long de notre projet.

### 3.2.10 Moteur Pas à Pas 28BYJ-48-08 5 Vcc

#### 3.2.10.1 Description [58]

Le moteur pas à pas 28BYJ-48-08 est un moteur unipolaire compact et économique, idéal pour des applications nécessitant un contrôle précis de la position et de la vitesse.

Fonctionnant à une tension nominale de 5 Vcc, il offre un couple de maintien de 300 g·cm et un angle de pas de  $5.625^\circ/64$ , ce qui permet une rotation fine et contrôlée. Ce moteur est souvent utilisé dans les imprimantes 3D, les scanners, les machines-outils et la robotique.

### 3.2.10.2 Fiche technique [58]

- Alimentation : 5 Vcc
- Résistance : 21 ohms
- Intensité : 25 mA
- Réduction : 1/64
- Nombre de pas par tour : 64 (réduction de 4096 en sortie d'axe)
- Entraxe de fixation : 35 mm
- Axe :  $\varnothing 5$  mm avec double méplat (épaisseur 3 mm)
- Longueur de l'axe : 12 mm

## 3.2.11 Chargeur 5V 5A

### 3.2.11.1 Description [59]

Le chargeur 5V 5A est un adaptateur secteur conçu pour convertir le courant alternatif (AC) de 220V en courant continu (DC) de 5V avec une capacité de 5 ampères. Il est couramment utilisé pour alimenter des dispositifs électroniques nécessitant une tension stable et un courant relativement élevé, comme des micro-contrôleurs, des modules de contrôle de moteurs, des systèmes embarqués, ou encore des périphériques USB.



FIGURE 3.12 – Chargeur 5V 5A

### 3.2.11.2 Fiche Technique [59]

- Tension d'entrée : 220V AC (tension standard des prises domestiques).
- Tension de sortie : 5V DC, adapté pour alimenter de nombreux composants électroniques sensibles.
- Courant de sortie : 5A, fournissant une puissance suffisante pour des dispositifs gourmands en énergie.
- Connecteur : Souvent équipé d'un connecteur DC (barrel jack) de type 5.5mm x 2.1mm.

# Bibliographie

- [1] <https://dr-leininger.fr/loeil-et-la-vision/anatomie-de-loeil>. Consulté le : 06/04/2024 à 9 :40.
- [2] <https://www.arduino-france.com/review/arduino-mega-utilisation-et-fonctionnement/>. Consulté le : 08/04/2024 à 12 :50.
- [3] <https://www.centreophtalmologiejeanjaures.fr/pathologies-ophtalmologiques/pathologies-retine-et-vitre/traitement-retinopathie->. Consulté le : 06/04/2024 à 9 :59.
- [4] <https://www.creality.com/fr/products/ender-2-pro-3d-printer>. Consulté le : 10/04/2024 à 21 :59.
- [5] <https://areaoftalmologica.com/fr/corn%C3%A9e/opacit%C3%A9-corn%C3%A9enne/>. Consulté le : 06/04/2024 à 9 :59.
- [6] <https://www.nature.com/articles/s41433-024-02995-5.pdf>. Consulté le : 10/04/2024 à 21 :59.
- [7] <https://www.who.int/fr/news/item/08-10-2019-who-launches-first-world-report-on-vision>. Consulté le : 06/04/2024 à 17 :20.
- [8] <https://www.iapb.org/learn/vision-atlas/magnitude-and-projections/countries/algeria>. Consulté le : 09/04/2024 à 14 :08.
- [9] <https://www.bioinformatics.org/oeil-couleur/dossier/anatomie.html>. Consulté le : 10/04/2024 à 10 :47.
- [10] <https://www.guide-vue.fr/l-anatomie-l-oeil#:~:text=Directement%20reli%C3%A9%20au%20cerveau%20%20l,%20%20iris%20%20corn%C3%A9e%20%20crystallin%E2%80%A6>. Consulté le : 10/04/2024 à 12 :08.
- [11] <https://askabiologist.asu.edu/batonnets-et-cones>. Consulté le : 09/04/2024 à 14 :12.

- [12] <https://tpe-les-illusions-d-optique.webnode.fr/fonctionnement-de-notre-vision/liaison-avec-le-cerveau/>. Consulté le : 01/05/2024 à 14 :30.
- [13] <https://blog.ophtalmique.ch/2022/08/30/information-visuelle-cerveau/>. Consulté le : 09/05/2024 à 14 :43.
- [14] <https://www.maxicours.com/se/cours/aires-cerebrales-impliquees-dans-le-processus-de-> Consulté le : 09/05/2024 à 15 :10.
- [15] <https://weillcornell.org/mrubin>. Consulté le : 09/05/2024 à 15 :10.
- [16] <https://www.elsan.care/fr/pathologie-et-traitement/maladies-des-yeux/glaucome-symptomes-traitements>. Consulté le : 15/05/2024 à 13 :02.
- [17] <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/age-related-macular-degeneration>. Consulté le : 18/05/2024 à 13 :01.
- [18] <https://www.humanitas.net/fr/wiki/symptomes/opacite-corneenne/>. Consulté le : 29/07/2024 à 14 :17.
- [19] <https://www.federationdesdiabetiques.org/information/complications-diabete/retinopathie>. Consulté le : 20/07/2024 à 17 :15.
- [20] <https://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-oculaires/troubles-conjonctivaux-et-scl%C3%A9raux/trachome>. Consulté le : 30/07/2024 à 14 :21.
- [21] <https://globaleyehhealthcommission.org/app/uploads/2021/03/French-translation-1.pdf>. Consulté le : 30/07/2024 à 20 :21.
- [22] <https://www.inserm.fr/dossier/degenerescence-maculaire-liee-age-dmla/>. Consulté le : 28/06/2024 à 23 :30.
- [23] <https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/cataracte/comprendre-cataracte#:~:text=Qu%20est%20ce%20que%20la,elle%20affecte%20les%20deux%20yeux>. Consulté le : 28/06/2024 à 10 :33.
- [24] <https://www.coss-ophtalmologie.paris/pathologies/cataracte/#:~:text=La%20cataracte%20correspond%20%C3%A0%20l, chirurgical%20et%20est%20rarement%20urgent>. Consulté le : 26/07/2024 à 10 :37.
- [25] <https://www.braille.be/fr/services/la-canne-blanche>. Consulté le : 26/07/2024 à 12 :47.
- [26] <https://www.oplusmedical.fr/canne-de-marche/canne-aveugle/>. Consulté le : 27/07/2024 à 14 :11.

- [27] <https://www.cfloou.com/183-lunettes-pour-malvoyant>. Consulté le : 27/07/2024 à 14 :38.
- [28] [https://www.google.com/search?sca\\_esv=3d5ed972a4208e78&sca\\_upv=1&rlz=1C10NGR\\_enDZ1119DZ1119&q=chien+guide+d+aveugle&uds=ADvngMjcH0KdF7qGwtwTBrP0nt7dye3jNdJhH0zxNnysEMR\\_zBe0eYfrSiMNvyx9EdZXSA0YTztIQQskAmyuDeoGCmqElhPJ\\_thqkfXHSwXZ2AJEE-q95L2\\_RIa8fM6x5WDVwMgZu\\_dJMhxQoRbc3ou05Dm0AY58oA1d9Fst-x5j-e3pXPY047xVDBMi4ugeHH0JysfJVmyeN1-eoKeOSII497obWxsi52TrYLil-70ddRXB\\_VYJ&udm=2&sa=X&ved=2ahUKEWjim5mp79yIAxWeUqQEHzSONhkQxKsJegQICxAB&ictx=0&biw=1280&bih=551&dpr=1.25](https://www.google.com/search?sca_esv=3d5ed972a4208e78&sca_upv=1&rlz=1C10NGR_enDZ1119DZ1119&q=chien+guide+d+aveugle&uds=ADvngMjcH0KdF7qGwtwTBrP0nt7dye3jNdJhH0zxNnysEMR_zBe0eYfrSiMNvyx9EdZXSA0YTztIQQskAmyuDeoGCmqElhPJ_thqkfXHSwXZ2AJEE-q95L2_RIa8fM6x5WDVwMgZu_dJMhxQoRbc3ou05Dm0AY58oA1d9Fst-x5j-e3pXPY047xVDBMi4ugeHH0JysfJVmyeN1-eoKeOSII497obWxsi52TrYLil-70ddRXB_VYJ&udm=2&sa=X&ved=2ahUKEWjim5mp79yIAxWeUqQEHzSONhkQxKsJegQICxAB&ictx=0&biw=1280&bih=551&dpr=1.25). Consulté le : 25/09/2024 à 7 :50.
- [29] <https://www.visiole.fr/basse-vision/lecture-vocale/machine-a-lire/orcam-myeye/>. Consulté le : 29/07/2024 à 17 :18.
- [30] <https://www.chiensguides.fr/personne-deficiente-visuelle/laccessibilite-chiens-daveugles>. Consulté le : 27/07/2024 à 21 :18.
- [31] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/15718/1/Ms.Gbm.Reffas%2BDaoud.pdf>. Consulté le : 27/07/2024 à 21 :18.
- [32] <https://www.lesoir.be/>. Consulté le : 29/07/2024 à 20 :19.
- [33] <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/565/htm>. Consulté le : 29/07/2024 à 21 :07.
- [34] <https://blog.cecuaa.com/2018/10/24/choisir-une-aide-au-deplacement-pour-aveugle-ou-m>  
Consulté le : 30/07/2024 à 13 :04.
- [35] <https://certam-avh.com/fr/fiche-d-evaluation/detecteur-d-obstacles-buzzclip-de-la-s>  
Consulté le : 30/07/2024 à 13 :59.
- [36] <https://certam-avh.com/fr/fiche-d-evaluation/sherpa-un-navigateur-gsp-connecte>.  
Consulté le : 30/07/2024 à 14 :21.
- [37] <https://di.univ-blida.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/2400/1/Unitled.pdf>. Consulté le : 30/07/2024 à 14 :38.
- [38] [https://en.wikipedia.org/wiki/Paul\\_Bach-y-Rita](https://en.wikipedia.org/wiki/Paul_Bach-y-Rita). Consulté le : 30/07/2024 à 16 :11.
- [39] <https://strabic.fr/Bach-y-Rita>. Consulté le : 30/07/2024 à 16 :19.
- [40] <https://a2itronic.ma/product/capteur-ir-d-evitement-d-obstacle-2/>.  
Consulté le : 30/07/2024 à 19 :04.
- [41] <https://www.microsonic.de/fr/support/capteurs-Å-ultrasons/principe.htm>.  
Consulté le : 30/07/2024 à 19 :04.

- [42] <https://arduino.blaiseascal.fr/capteur-de-distance-a-ultrasons/>.  
Consulté le : 30/07/2024 à 22 :01.
- [43] <https://powertech-dz.net/products/single/capteur-de-distance-vl53l0x-vente-composant>  
Consulté le : 31/07/2024 à 08 :14.
- [44] <https://www.kubii.com/fr/cartes-nano-ordinateurs/3455-raspberry-pi-zero-2-w-3272496319363.html>. Consulté le : 31/07/2024 à 09 :32.
- [45] <https://www.mindkits.co.nz/Raspberry-Pi-Zero-2-W.aspx>. Consulté le : 31/07/2024 à 09 :28.
- [46] <https://www.gotronic.fr/art-carte-raspberry-pi-zero-2-w-34463.htm>.  
Consulté le : 31/07/2024 à 09 :43.
- [47] <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>.
- [48] <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/1979760/0/0/1/hc-sr04.html>.
- [49] <https://letmeknow.fr/fr/mouvements-et-positions/1323-capteur-de-distance-vl53l0x-tof-791954231335.html>. Consulté le : 31/07/2024 à 16 :50.
- [50] <https://letmeknow.fr/fr/mouvements-et-positions/2568-capteur-de-distance-vl53l1x-tof-5904422308520.html>. Consulté le : 31/07/2024 à 16 :50.
- [51] <https://www.nxp.com/products/power-management/lighting-driver-and-controller-ics/led-drivers/16-channel-12-bit-pwm-fm-plus-ic-bus-led-controller:PCA9685>.  
Consulté le : 18/07/2024 à 12 :53.
- [52] <https://arduino-france.site/description-arduino-uno/>. Consulté le : 31/07/2024 à 13 :43.
- [53] <https://besomi.com/product/a000066-arduino-uno-r1/>. Consulté le : 31/07/2024 à 20 :50.
- [54] <https://arduino-france.site/description-arduino-mega/>. Consulté le : 31/07/2024 à 13 :43.
- [55] <https://components101.com/motors/mg90s-metal-gear-servo-motor>. Consulté le : 02/08/2024 à 16 :43.
- [56] <https://www.hwlibre.com/fr/servomoteur-sg90/>. Consulté le : 02/08/2024 à 16 :43.

- [57] <https://www.fruugo.be/50mm-ventilateur-de-refroidissement-silencieux-12v-3pin-5010-c-e2%80%99ordinateur-xxf/p-251532290-544495101?language=fr>. Consulté le : 02/08/2024 à 23 :43.
- [58] <https://www.gotronic.fr/art-moteur-28byj-48-08-5-vcc-21213.htm>. Consulté le : 05/08/2024 à 10 :33.
- [59] <https://powertech-dz.net/products/single/chargeur-adaptateur-power-adapter-5v-2a-3a-> Consulté le : 31/07/2024 à 11 :15.
- [60] <https://www.creality.com/fr/products/ender-2-pro-3d-printer>. Consulté le : 31/07/2024 à 12 :30.
- [61] <https://www.powerplanetonline.com/fr/imprimante-3d-creality-ender-2-pro?srsId=AfmB0orKRWII9eNuQiFWbqx0ojytxvU4bguJ1Luswe2pq0I0vAE1Arf2>. Consulté le : 31/07/2024 à 12 :30.
- [62] <https://youpilab.com/components/product/micro-servomoteur-mg90s>. Consulté le : 31/07/2024 à 10 :01.
- [63] <https://youpilab.com/components/product/micro-servomoteur-sg90-3600-9g>. Consulté le : 31/07/2024 à 10 :26.
- [64] <https://www.fruugo.be/50mm-ventilateur-de-refroidissement-silencieux-12v-3pin-5010-c-e2%80%99ordinateur-xxf/p-251532290-544495101?language=fr>. Consulté le : 31/07/2024 à 11 :07.
- [65] <https://osoyoo.com/2017/07/18/pca9685-16-channel-12-bit-pwm-servo-driver/>. Consulté le : 31/07/2024 à 11 :35.
- [66] Revue neurologique. 175(Supplement 1) :S25, 2019.
- [67] Allan Banarous. *Ophthalmologie*. Jean-François Roulad, 2018.
- [68] Collège des Ophtalmologistes Universitaires de France (COUF). *Livre d'ophtalmologie*. Elsevier Masson, 4ème edition, 2017.
- [69] Sébastien Joachim. *Un regard différent*. Éditions de l'Atelier, 2021.
- [70] Jean-François Korobelink. *La macula, anatomie, physiologie et pathologie*. PhD thesis, Université de Paris, 2015.
- [71] S.L. Polyak. *The Retina*. University of Chicago Press, 1941.
- [72] Kheira Reffas and Houda Daoud. Étude et réalisation d'une lunette intelligente destinée aux aveugles et les malvoyants. Master's thesis, Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen, 2020.

- [73] Bokeun Song, Jeonghee Kim, and Hyeokjae Kwon. Smartphones-based lidar application for easy and accurate wound size measurement. *Preprints*, 202309 :1045, 2023.