



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

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

Pour l'obtention du Diplôme de

**MASTER en GENIE BIOMEDICAL**

**Spécialité : Instrumentation Biomédicale**

Présenté par : BENFREDJ Sarra et BELAKERMI Mounira

---

**Réalisation d'un dispositif de commande d'un  
fauteuil roulant destiné aux handicapés moteur**

---

Soutenu le : 27 juin 2018 devant le Jury

Mr	DJEBARIA	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Président
Mr	BENALI .R	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Examineur
Melle	Habibes Naima	<i>MAA</i>	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr	BELAID.B	<i>Doctorant</i>	Université de Tlemcen	Co-encadreur

Année universitaire 2017-2018

## Dédicaces

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes frères et mes sœurs, mes nièces et mes neveux, je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et sœurs de cœur, toi rabab, karima , ikram, zahra, sara, chatim, fatima.

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon fiancé Djaber et bien sûr A mes beaux-parents que j'aime.

A toute ma famille, et mes amis,

A ma binôme mounira.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce Projet soit possible, je vous dis merci.

Sarra

## *Dedicate*

*First of all; alhamdou li Allah in the beginning and the end*

*We live our life in everyone we know even if we denied it; bad or good people they all made who you are, they all reflect your life somehow. But it stays your choice to be whoever you want to be and I'm thankful for knowing each one of you. And I can tell that you make me who I am.*

*I dedicate this, for my **family**; I'm so lucky to be one of you. The woman like no other, **mother** you gave me life, nurtured me, taught me, fought for me, but most importantly loved me unconditionally. Thank you for being here all the way, **Dad** I can't thank you enough, I hope one day I will make you proud and show you that I appreciate everything you did for me.*

*For my second Mum, my sweet sister **Nadia**; you are one of greatest gifts my heart will ever know. If I never had you I never lived life.*

*To the one who makes me proud, who believed in me when nobody did. To the brilliant **doctor Karima**. I'm so lucky to be your sister you are simply amazing and I just couldn't imagine my life without you.*

*A person who is there when you need him; someone who picks you up when you fall; a person who sticks up for you when no one else will; a brother is always a friend **Hafidh**.*

*For my old brother **Mohamed** and his family specially **Abdurrahman***

*The combination of warmth and kindness; laughter and love my grandmother **hnaynti Amra**.*

*There is no better friend than a sister and there is no better sister than you **Nadouche**.*

*To the one who walked this path with me, **Sarrah** I wish you the best.*

*For my second family: **Nabila; Khadidja; Fatima; Ikram; Karima; Djihad; Houda; Asma; Hadjer; Nour** and all my friends you are in my heart not my mind.*

*A special one for **Djamila** and **Houda** you are my dearest friend; my deepest love you are the best of me.*

*Mounira*

## Remerciements

---

Ce mémoire est le résultat d'un travail de recherche effectué au laboratoire de Génie Biomédical de l'université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.

En préambule, nous voulons adresser tous nos remerciements aux personnes avec lesquelles nous avons pu échanger et qui nous ont aidés pour la rédaction de ce mémoire.

En commençant par remercier tout d'abord Mademoiselle Habibes Naima, notre encadreur pour ce projet de fin d'études, pour son aide précieuse et pour le temps qu'elle nous a consacré.

Nous remercions également Monsieur Belaid Boumedien pour sa disponibilité, son aide et ses conseils.

Merci à Monsieur Kerai Salim, responsable de la filière Génie Biomédicale qui nous a guidés vers les bons choix et qui était toujours prêts à nous aider le long de notre cursus.

Merci à Monsieur Bereksi Fethi, responsable de la spécialité Instrumentation Biomédicale, pour son soutien et surtout son écoute.

Nos vifs et sincères remerciements à Monsieur djebari A qui nous a fait l'honneur de présider ce jury.

Nous remercions aussi Monsieur Ben Ali R pour avoir accepté de juger ce travail en qualité d'examineur.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à toutes les personnes de près ou de loin qui nous ont accompagnés, aidés, soutenus et encouragés tout au long de notre cursus et surtout à la réalisation de ce mémoire.

## Table des matières

Introduction générale	1
<b>Chapitre I</b>	
I.1 Introduction	2
I.2 Anatomie de l'œil	2
I.2.1 La cornée	2
I.2.2 Le cristallin	2
I.2.3 L'iris	3
I.2.4 Pupille	3
I.2.5 La choroïde	3
I.2.6 Le corps ciliaire	3
I.2.7 La couche visuelle (ou couche interne)	3
I.2.7.1 la rétine	3
I.2.7.2 Le nerf optique	4
I.2.8 La macula et la fovéa	4
I.2.9 Contenu de l'œil	5
I.3 Muscles de l'œil	5
I.3.1 Les mouvements des yeux	6
I.4 Handicap	6
I.4.1 Origine des déficiences	7
I.4.2 Familles d'handicap	7
I.4.2.1 Handicap moteur	7
I.4.2.2 Handicap visuel	8
I.4.2.3 Handicap auditif	8
I.4.2.4 Handicap psychique	8
I.4.2.5 Déficience intellectuelle	8
I.4.2.6 Maladies invalidantes	8
I.5 Historique des recherches dans le domaine de l'enregistrement des mouvements oculomoteurs	8
I.5.1 Technique électro-oculographique (MARG 1951)	9
I.5.2 Technique du Limbe	10
I.5.3 Techniques basées sur le principe de HIRSCHBERG(1985)	10
I.6 Etat de l'art sur les techniques de commande d'un fauteuil roulant intelligent	11
I.6.1 Fauteuil roulant contrôlé à l'aide de mouvement oculaire	12
I.6.2 Réalisation d'un dispositif de contrôle d'un fauteuil roulant électrique par oculométrie	12
I.7 Conclusion	14

## Chapitre II

II.1 Introduction.....	16
II.2 Problématique.....	16
II.3 Solution proposée.....	16
II.4 Principe de fonctionnement.....	17
II.5 Schéma bloc.....	17
II.6 Explication du schéma bloc.....	18
1. Mesure des mouvements oculaires.....	18
2. Capteur à ultrason HC-SR04.....	19
3. Capteur de mouvement.....	20
4. Unité de traitement et acquisition de l'image.....	21
4.1 La camera OV7670.....	21
4.2 Carte Arduino UNO.....	22
4.3 Raspberry Pi 3.....	23
4.4 Caméra de Rspberry pi.....	24
II.7 conclusion.....	27

## Chapitre III

III.1 Introduction.....	29
III.2 Traitement d'image.....	29
2.1 OpenCV.....	29
2.2 Présentation du langage Python.....	29
2.3 Objectif du traitement d'image.....	29
III.3 Organigramme.....	35
3.1 fonctionnement du dispositif.....	36
III.4 Conclusion .....	38
Conclusion général	

## Liste des figures

---

<b>Figure I.1</b> : Schéma en coupe de l'œil humain.	2
<b>Figure I.2</b> : Schéma de la rétine.	4
<b>Figure I.3</b> : muscles de l'œil humain.	5
<b>Figure I.4</b> : l'origine des handicaps.	7
<b>Figure I.5</b> : principe(a) et exemple de résultat (b) du traceur de mouvement oculaires horizontaux mis au point par Edmund Hury an 1900 [11]	9
<b>Figure I.6</b> : Le système cyclope de l'université de Valenciennes (Kaczmarek, 1992) [12]	9
<b>Figure I.7</b> : Le système vision key (Eye Can ; Canada)	10
<b>Figure II.1</b> : Schéma bloc de la solution proposée	17
<b>Figure II.2</b> : Module tcr5000	18
<b>Figure II.3</b> : Schéma électronique de module tcr5000	18
<b>Figure II.4</b> : Signal à la sortie de capteur tcr5000	19
<b>Figure II.5</b> : Capteur à ultrason HC-SR04	19
<b>Figure II.6</b> : Illustration du signal TRIGGER et ECHO	19
<b>Figure II.7</b> : Capteur de mouvement	20
<b>Figure II.8</b> : Caméra OV7670	21
<b>Figure II.9</b> : Branchement d'OV7670 avec l'Arduino	21
<b>Figure II.10</b> : La carte Arduino UNO	22
<b>Figure II.11</b> : Raspberry pi 3 model B	23
<b>Figure II.12</b> : Module caméra de Raspberry pi	24
<b>Figure II.13</b> : Schéma du montage complet	25
<b>Figure II.14</b> : image de montage complet (différentes vues)	25
<b>Figure III.1</b> : image complet de l'œil	30
<b>Figure III.2</b> : image divisée horizontalement	30
<b>Figure III.3</b> : image divisée verticalement	30
<b>Figure III.4</b> : organigramme de commande	36
<b>Figure III.5</b> : position des capteurs infrarouges	37

# Introduction générale

---

Le nombre des handicaps moteurs augmente de plus en plus, à cause des accidents ou des maladies dès la naissance. Cette catégorie de société a un grand problème pour s'adapter et surtout communiquer avec son entourage. Pour pouvoir les aider, il faut se baser sur les autres organes fonctionnels, et si le sujet a aussi un problème d'incapacité de parler, le degré d'handicap augmente et ça devient plus dur pour lui. L'être humain possède cinq sens qui lui permettent de percevoir le monde qui l'entoure : la vue, l'ouïe, l'odorat, le toucher et le goût. La vision est la plus puissante.

Le mouvement des yeux joue un rôle important dans la façon dont notre cerveau interprète et analyse ce que nous voyons. Les recherches sur les mouvements des yeux ont permis aux scientifiques de comprendre la commande du mouvement oculaire et la capacité du cerveau à traiter les perceptions sensorielles.

Les personnes atteintes de certains troubles neurologiques sont souvent incapables d'empêcher les mouvements involontaires des yeux, ce qui a permis d'établir des diagnostics dans divers cas : maladie de Parkinson, maladie d'Alzheimer, autisme, et autres pathologies comme le trouble d'hyperactivité avec déficit de l'attention, le syndrome de Balint ou encore la prosopagnosie.

L'observation des mouvements oculaires permet également une meilleure compréhension et donc un usage plus performant de certains outils intervenant dans la conduite de véhicules, dans l'analyse de radiographie ou même dans la lecture des sites web.

Pour une personne qui souffre d'un handicap moteur, les yeux sont les seuls organes qui peuvent bouger, alors des systèmes sont réalisés à base du pointage à l'œil, consistent à capturer et à mesurer la direction du regard, ces systèmes doivent répondre aux plusieurs exigences, car un dispositif de pointage doit être fiable, facile à calibrer, à paramétrer et simple à utiliser.

Des systèmes de pointage de l'œil classique comportent un écran et des capteurs de mouvement.

Ces systèmes possèdent plusieurs inconvénients, parmi lesquels le grand appareillage des techniques invasives. Le contact des électrodes avec la peau peut provoquer à long terme des irritations.

Notre projet a pour but de réaliser un dispositif de commande d'un fauteuil roulant destiné aux handicapés moteur. Afin de réaliser ce dispositif, nous avons subdivisé le travail en deux parties majeures. La première partie traite la réalisation du circuit électronique, alors que la seconde partie est consacrée à la programmation de la carte pour l'obtention de la commande.

Ce mémoire est composé de trois parties, nous commençons tout d'abord par des généralités concernant l'œil et la vision, ensuite nous abordons la partie étude et réalisation du système. Le troisième chapitre détail la partie traitement des images et des signaux obtenus en chapitre précédent, par la suite nous présentons l'interprétation des résultats et nous terminons par une conclusion.

# Généralites

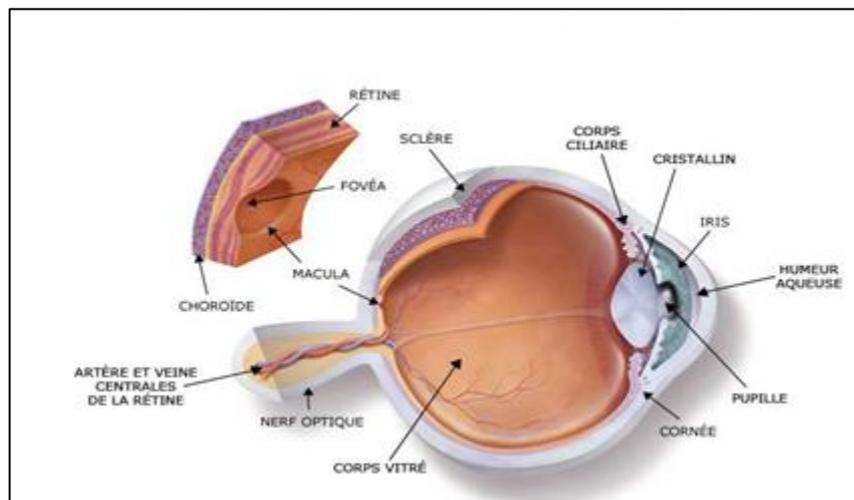
## I.1 Introduction

Le sens le plus développé chez l'être humain est la vision. Parmi les récepteurs sensoriels que comporte le corps humain 70 % sont situés dans les yeux. Le traitement de l'information visuelle active près de 50% du cortex cérébral. [1]

## I.2 Anatomie de l'œil

Les images de notre entourage sont captées par l'œil qui transforme l'information visuelle en un signal électrique vers le nerf optique. Ce signal une fois atteint le cortex visuel au niveau du cerveau nous renvoie l'image interceptée et permet ainsi l'interprétation de notre environnement. [2]

L'œil est un organe ultra-perfectionné, considéré comme une caméra. Il est constitué de plusieurs éléments telle que présenté par la figure I.1. Chaque élément constituant l'œil a un rôle important.



*Figure I.1 : Schéma en coupe de l'œil humain. [2]*

### I.2.1 La cornée :

La cornée est l'élément responsable de l'éclairage dans l'œil et permet la pénétration de la lumière vers le cristallin et la rétine. Elle est constituée d'un tissu conjonctif transparent.

### I.2.2 Le cristallin :

La principale tâche du cristallin est de permettre les ajustements nécessaires à la focalisation des objets à toutes les distances. Cette focalisation a lieu grâce à un changement de courbure, qui s'effectue soit par une mise sous tension, soit par un relâchement des tendons qui fixent le cristallin à la paroi interne

# Chapitre I : Généralité

---

du globe oculaire. Le cristallin se bombe pour focaliser les objets de près et devient plus plat (position de repos) pour rendre nets ceux situés au loin. [2]

## **I.2.3 L'iris :**

L'iris donne la couleur aux yeux. Cette couleur dépend de l'épaisseur de l'éventail formé par les lamelles pigmentaires et de sa concentration en mélanine. [2]

Est un véritable diaphragme situé en avant du cristallin. Il limite une entrée de taille variable : la pupille. [3]

## **I.2.4 Pupille :**

Est l'ouverture centrale de l'œil ; son diamètre est modifié par l'action de muscles de l'iris (l'un composé de fibres radiales et l'autre comportant des fibres circulaires) ce qui régule la quantité de la lumière entrant dans l'œil.

## **I.2.5 La choroïde :**

Est l'un des 3 feuillets qui tapissent l'œil, elle occupe les 2/3 postérieurs du globe situé entre la sclère et la rétine, riche en vaisseaux et nerfs.

## **I.2.6 Le corps ciliaire :**

C'est la partie intermédiaire entre l'iris et la choroïde, ce corps est composé de deux éléments : les procès ciliaires, structures vasculaires qui jouent un rôle fondamental dans l'accommodation et la sécrétion de l'humeur aqueuse, et le muscle ciliaire, relié au cristallin, qui en modifie la courbure, permettant ainsi l'accommodation.

## **I.2.7 La couche visuelle (ou couche interne) :**

C'est la couche la plus interne des couches qui constituent le globe oculaire. Elle comprend la rétine et le nerf optique. [4]

### **I.2.7.1 la rétine :**

Est une membrane épaisse d'un quart de millimètre seulement, placée au fond de l'œil, sur sa paroi interne. Hypersensible, elle nous permet de distinguer une lumière très faible à une distance de 10 kilomètres, même dans l'obscurité totale. [2]

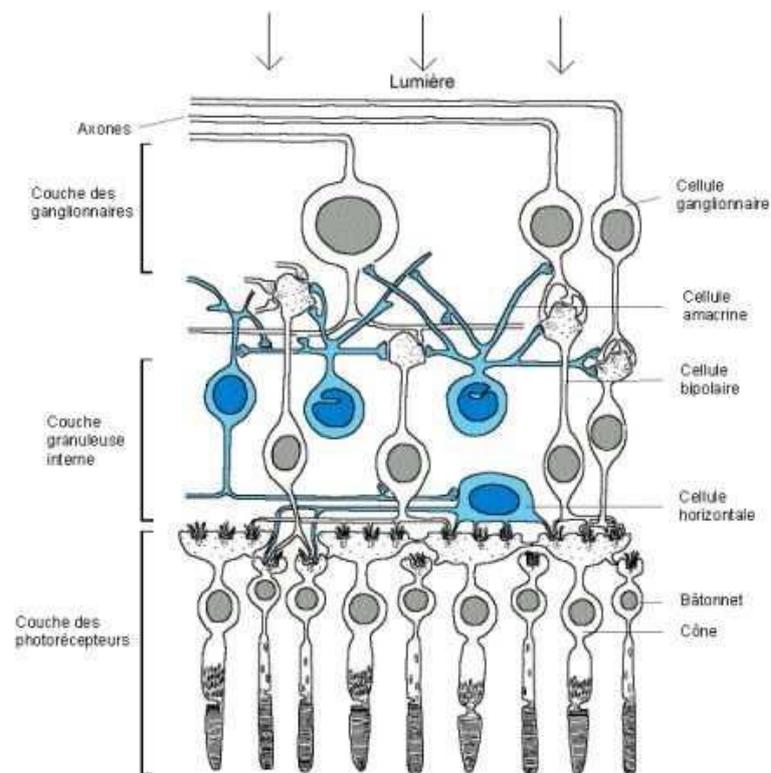
Elle est constituée de centaines de millions de cellules nerveuses photo-réceptrices :

# Chapitre I : Généralité

- Les cônes (environ 6-7 millions) : ces cellules interprètent les couleurs d'une image en la décomposant en 3 couleurs primaires : le rouge, le bleu et le vert.
- Les bâtonnets (environ 130 millions) : ces cellules analysent la lumière.

La couche la plus externe de la rétine comporte des photorécepteurs contenant un pigment photosensible, qui réagit à la lumière par une modification chimique transformant l'énergie lumineuse en énergie électrique. [2]

Ce signal électrique est ensuite transmis au cerveau, via les cellules ganglionnaires contenues dans la couche la plus interne. L'information visuelle est ensuite régénérée par un processus complexe, nécessitant l'aide d'autres cellules. [2]



*Figure I.2 : Schéma de la rétine.[2]*

## I.1.7.2 Le nerf optique :

Il mesure 4 mm de diamètre et 5 cm de long. Il y a un nerf optique par œil, les 2 nerfs se croisent dans une zone appelée **chiasma optique**. Leur rôle est la transmission des informations vers le cerveau.

Toutes les fibres optiques issues des cellules visuelles convergent vers un point précis de la rétine : **la papille**. Ce point ne contient donc pas de cellules visuelles mais seulement les fibres nerveuses.

La papille est donc un point de l'œil qui ne voit pas. On l'appelle aussi la tache aveugle.

## I.2.8 La macula et la fovéa

La macula, tâche jaune, apparaît située au centre du pôle postérieur comme une fine excavation. La **fovéa** est une région de la rétine située dans la macula, près de l'axe optique de l'œil, dans la partie

# Chapitre I : Généralité

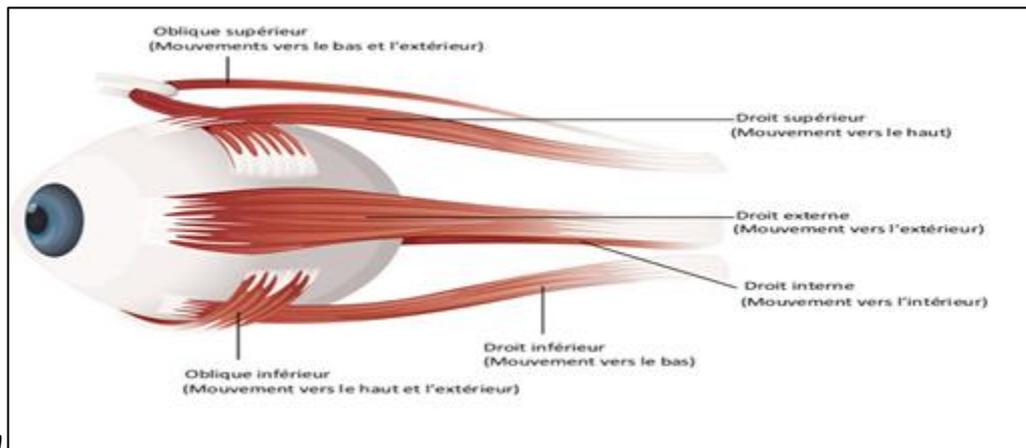
centrale de cette dernière. Cette région est de la plus haute importance pour la vision. C'est elle qui donne la vision la plus précise, en éclairage diurne. [4]

## I.2.9 Contenu de l'œil :

Est constitué d'avant en arrière par :

- **L'humeur aqueuse** : est un liquide transparent composé de 99,6 % d'eau, de vitamine C, de glucose, d'acide lactique, de Na et de Cl en majorité ; constamment renouvelé responsable du maintien de la pression intraoculaire.
- **Le cristallin** : est une lentille biconvexe transparente, avasculaire, entouré d'une capsule dont les faces antérieure et postérieure se réunissent au niveau de l'équateur où s'insèrent les fibres zonulaires qui amarrent le cristallin au corps ciliaire. [4]
- **Le corps vitré** : C'est un tissu conjonctif transparent, entouré par une membrane appelée membrane hyaloïdienne. Il représente 90% du volume de l'œil. Il est formé de 95% d'eau.

## I.3 Muscles de l'œil :



**Figure I.3 : muscles de l'œil humain**

Au niveau musculaire, chaque œil est entouré par 3 paires de muscles servant à le faire tourner dans son orbite. Deux paires de muscles principales (les muscles droits supérieur et inférieur, ainsi que les muscles droits médian et latéral) s'attachent sur les côtés du globe oculaire. Les muscles droits supérieur et droit inférieur sont situés respectivement sur le dessus et le dessous de l'œil et permettent une rotation dans le plan sagittal. Les muscles droits médian et latéral sont positionnés sur le globe oculaire respectivement du côté du nez et des oreilles et permettent une rotation dans le plan horizontal. Deux muscles sont encore attachés à chaque œil. Il s'agit des muscles obliques supérieur et inférieur, attachés aux globes oculaires respectivement sur le dessus et le dessous mais se dirigeant vers le nez. [5]

## I.3.1 Les mouvements des yeux :

Avant de s'intéresser aux mouvements oculaires fonctionnels, Sekuler & Blake (1990) décrivent deux types de mouvements des yeux. Les mouvements conjonctifs sont effectués lorsque les deux yeux se déplacent ensemble dans la même direction. Les mouvements de vergence se produisent quand les yeux se déplacent dans des directions opposées (on distingue convergence et divergence selon que les yeux se dirigent vers le nez ou vers les oreilles). [5]

Les mouvements de l'œil peuvent être de deux types :

- Mouvements volontaires :

**Convergence** : il s'agit d'un mouvement opposé des deux globes oculaires visant à se focaliser sur un objet;

**Saccades** : Il est nécessaire pour examiner une scène. Il consiste à bouger rapidement l'œil d'une partie de la scène à une autre. Il s'agit du principal mouvement qui doit être reconnu par notre système.

- Mouvements involontaires :

**Torsion** : rotation de l'œil selon un axe passant par le centre de la pupille.

**Poursuite** : mouvement plus lent et plus fluide que les saccades. Il sert à suivre un objet qui se déplace et est initié involontairement lorsqu'un objet se déplaçant est dans le champ visuel;

**Nystagmus** : ce mouvement apparaît lorsque l'on tourne la tête en continuant à fixer un objet immobile. Également nommé réflexe vestibulo-oculaire (vestibulo-ocular reflex, VOR).

**Dérive et micro-saccades** : apparaissent durant les périodes de fixations. Consistent en une lente dérive suivie de petites saccades destinées probablement à corriger la dérive;

**Nystagmus physiologique** : oscillations hautes fréquences de l'œil destiné à bouger l'image affichée sur la rétine de manière continue (moins de 1°). Il apparaît en effet que si une image reste de manière fixe sur la rétine, elle disparaît.

## I.4 Handicap

Le handicap reste aujourd'hui encore une notion très subjective, souvent mal utilisée et presque toujours connotée de façon négative. Dans la représentation collective, il est systématiquement associé à l'image stéréotypée de la personne en fauteuil roulant ou de la canne blanche. Pourtant, selon une enquête de l'Insee, publiée en 2002 [6], 12 millions de Français (soit plus d'une personne sur quatre) se déclarent victimes d'une déficience. Sur 38 millions d'actifs, près de 13% indiquent une limitation

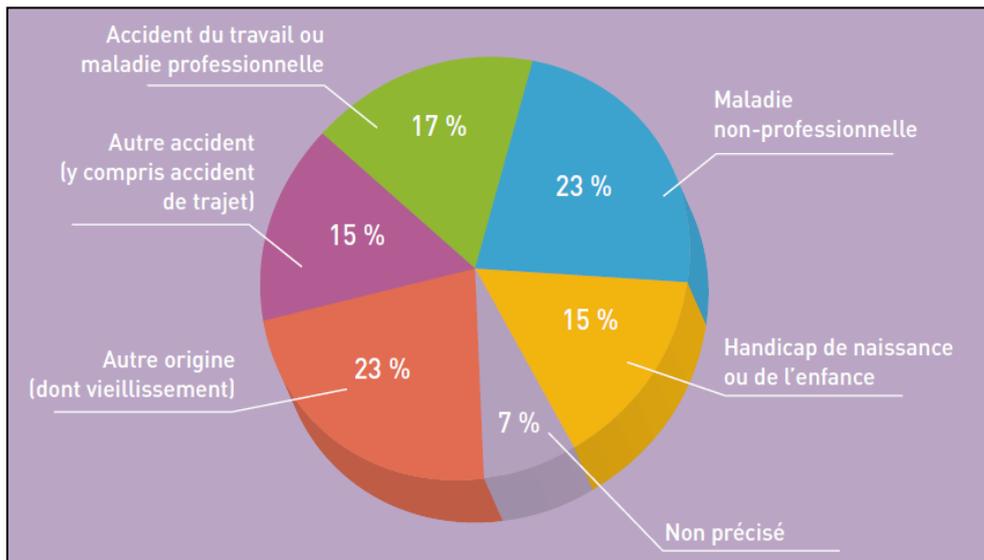
# Chapitre I : Généralité

de leur capacité de travail. Autant dire que la notion d'handicap recouvre une très grande diversité de situations.

Selon la loi de février 2005, le handicap est défini de la manière suivante :

« Constitue un handicap, au sens de la loi, toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement par une personne en raison d'une altération substantielle, durable ou définitive d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques d'un poly-handicap ou d'un trouble de la santé invalidant. »

## I.4.1 Origine des déficiences



*Figure I.4 : l'origine des handicaps*

## I.4.2 Familles d'handicap

La tentation d'établir une typologie des différentes déficiences est forcément réductrice, mais elle permet de donner un premier éclairage sur la diversité des manifestations du handicap. [7]

### I.4.2.1 Handicap moteur

Il recouvre l'ensemble des troubles pouvant entraîner une atteinte partielle ou totale de la motricité, notamment des membres supérieurs et/ou inférieurs (difficultés pour se déplacer, conserver ou changer une position, prendre et manipuler, effectuer certains gestes). Certaines déficiences motrices d'origine cérébrale peuvent également provoquer des difficultés pour s'exprimer, sans altération des capacités intellectuelles. En France, plus de 8 millions de personnes sont touchées par une déficience motrice, de la plus légère (rhumatisme, arthrose) à la plus lourde (hémiplégie, paraplégie, tétraplégie). Environ 600 000 personnes sont para-, tétra-ou hémiplegiques. Seules 370 000 personnes utilisent un fauteuil roulant.

## Chapitre I : Généralité

---

En Algérie, près de 2 millions de personnes vivent avec un handicap selon les statistiques de l'organisation nationale de la santé **ONS** présentés le 30/11/2010. Le nombre des personnes handicapées en Algérie est de 1975084 personnes, dont 284073 handicapés moteurs. [7]

### **I.4.2.2 Handicap visuel**

Il concerne les personnes aveugles, mais aussi, dans la majorité des cas, les personnes malvoyantes.

Dans certains métiers, une personne daltonienne peut-être reconnue comme handicapée.

En France, 1 500 000 personnes sont malvoyantes, 60 000 sont aveugles. En Algérie, 173 362 personnes. [7]

### **I.4.2.3 Handicap auditif**

La perte auditive totale est rare. Comme pour le handicap visuel, la plupart des déficients auditifs possèdent « des restes auditifs » pour lesquels les prothèses auditives apportent une réelle amplification. Selon les cas, ce handicap s'accompagne ou non, d'une difficulté à oraliser. Un certain nombre de personnes sourdes utilisent la langue des signes et d'autres la lecture sur les lèvres pour communiquer. Sur 6 millions de personnes sourdes et malentendantes, seulement 100 000 utilisent le langage gestuel. [7]

### **I.4.2.4 Handicap psychique**

Aucune définition exhaustive n'est possible, d'autant que la terminologie psychiatrique (névrose, psychose...) est seulement maîtrisée par les psychiatres. Néanmoins on peut retenir que les personnes atteintes de difficultés d'ordre psychique souffrent d'un malaise qui peut se traduire, à certains moments, par des comportements déroutants pour les autres, car éloignés des conduites convenues et habituelles. [7]

### **I.4.2.5 Déficience intellectuelle**

C'est une difficulté à comprendre et une limitation dans la rapidité des fonctions mentales sur le plan de la compréhension, des connaissances et de la cognition. Les incapacités qui en découlent peuvent avoir des degrés différents et perturber l'acquisition de la mémorisation des connaissances, l'attention, la communication, l'autonomie sociale et professionnelle, la stabilité émotionnelle et le comportement. [7]

### **I.4.2.6 Maladies invalidantes**

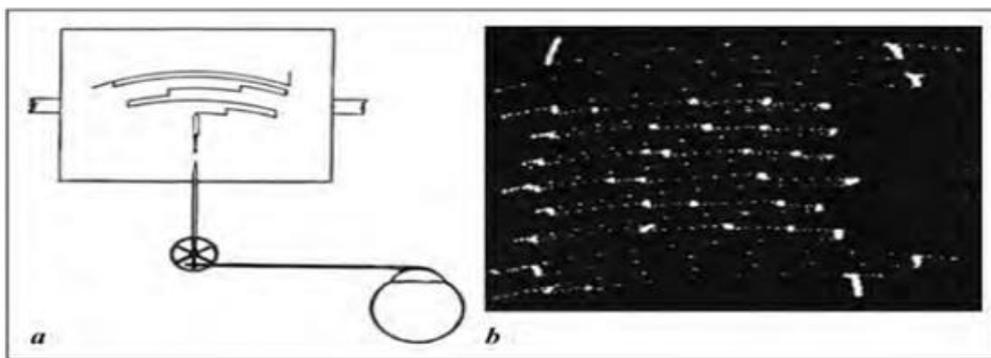
Toutes les maladies respiratoires, digestives, parasitaires, infectieuses (diabète, hémophilie, sida, cancer, hyperthyroïdie...) peuvent entraîner des déficiences ou des contraintes plus ou moins

importantes. Elles peuvent être momentanées, permanentes ou évolutives. Près de la moitié des maladies invalidantes sont d'origine respiratoire ou cardio-vasculaire. [7]

### I.5 Historique des recherches dans le domaine de l'enregistrement des mouvements oculomoteurs

Les premiers essais historiques d'enregistrement des mouvements oculaires datent de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Les méthodes contact sont envisagées à l'époque, basées sur un système de traceur en lien mécanique direct avec la surface oculaire illustrée dans la figure 1.5 [8] [9] [10].

A partir de ce principe, Javal [8] et Lamar [9] décriront le mécanisme des saccades visuelles pendant la lecture. Le caractère invasif de l'examen le fera abandonner au profit de techniques moins risquées.

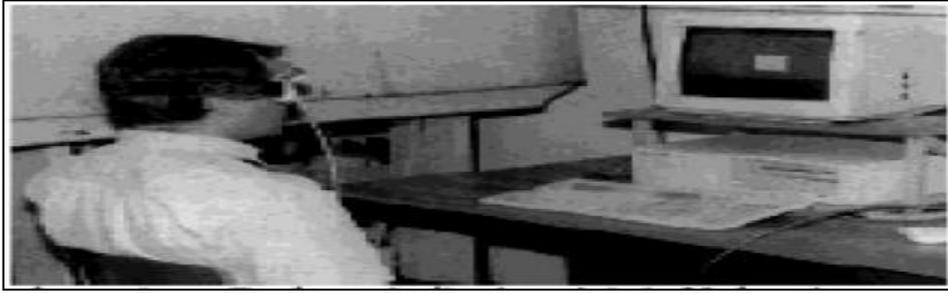


**Figure 1.5** : *principe(a) et exemple de résultat (b) du traceur de mouvement oculaires horizontaux mis au point par Edmund Hury an 1900 [11]*

#### I.5.1 Technique électro-oculographique (MARG 1951)

Le principe de cette technique est de mesurer les différences de potentiel bioélectrique qui résultent du champ bioélectrique rétino-cornéen modulé par les rotations de l'œil dans son orbite. Des électro-oculogrammes (étude des modifications du potentiel électrique recueilli au niveau de l'œil lors des mouvements oculaires) sont réalisés à l'aide de deux électrodes de surface (en contact avec la peau), posées au-dessus et sur le côté de l'œil, et d'une électrode de référence située sur le lobe de l'oreille. Les différences de potentiel sont alors amplifiées, de manière à négliger les variations dues à l'environnement, ou à un mouvement oculaire involontaire. [12]

Cette technique est l'une des premières techniques utilisées en clinique pour enregistrer la mobilité oculaire et a fait l'objet de plusieurs applications dans le domaine du handicap. L'avantage principal de cette technique qu'elle est peu coûteuse, l'enregistrement peut s'effectuer les yeux fermés ou semi-ouverts.



**Figure I.6 :** *Le système cyclope de l'université de Valenciennes (Kaczmarek, 1992) [12]*

Cette technique possède plusieurs inconvénients parmi lesquels [12] :

- Le contact des électrodes avec la peau peut provoquer à la longue des irritations et un inconfort
- Les dérives des potentiels d'électrode et les hétérogénéités du champ électrique empêchent la réalisation de mesures absolues et rendent peu fiable la mesure des mouvements verticaux
- La tête doit être maintenue immobile pour avoir une indication précise de la direction du regard
- L'utilisateur a besoin d'une tierce personne pour l'installation
- Gros problèmes de fonctionnement pour les patients souffrant d'un nystagmus.

### I.5.2 Technique du Limbe

Si on éclaire le limbe (séparation entre la sclère, c'est à dire le blanc de l'œil, et l'iris, la partie sombre), la quantité de lumière réfléchié dépend de la surface relative de la sclère et de l'iris dans le champ de mesure, et donc permet d'identifier la position de l'œil.

Cette technique a suscité plusieurs applications dans le domaine d'handicap. [12]



**Figure I.7 :** *Le système vision key (Eye Can ; Canada)*

Malgré que cette technique a connu une grande évolution dans ce domaine grâce à ces avantages :

- Peu coûteuse ;
- Une simple source de lumière et un détecteur élémentaire suffisent, le tout pouvant être fixé sur une monture de lunette comme présenté en figure I.7.

Elle représente plusieurs inconvénients tel que :

- L'alignement du capteur par rapport au globe oculaire n'est pas toujours évident (il n'y a pas d'image de l'œil pour repérer le bon positionnement)

- Les mouvements de la tête perturbent facilement les mesures
- Seuls les mouvements horizontaux sont fiables tandis que les mouvements verticaux sont perturbés par les paupières supérieures.
- Fonctionne mal avec des yeux très clairs
- Particulièrement sensible aux variations brutales de luminosité.

### **I.5.3 Techniques basées sur le principe de HIRSCHBERG(1985)**

Hirschberg (à la fin du XIXème siècle) a montré que l'on peut déterminer l'orientation du regard en repérant la position du reflet d'une source de lumière sur la cornée de l'œil (reflet cornéen) par rapport à la pupille : une caméra infrarouge détecte ainsi le mouvement de l'œil explorant une image [13]. Une analyse quantitative du mouvement oculaire peut ensuite être effectuée (nombre et durée des fixations du regard, nombre et amplitude des saccades...).

Cette méthode permet des mesures absolues des différentes positions de l'œil indépendamment des mouvements de la tête.

Cette technique assez précise ; sans calibration, on peut obtenir des désignations fiables sur un écran comprenant 6 cases et avec une calibration simplifiée (5 point à fixer préalablement), on peut obtenir une désignation fiable sur un tableau de 30 cases. [13]

Les inconvénients sont les suivants :

- Le prix élevé
- Souvent la tête doit rester immobile, pour que les yeux ne sortent pas du champ de la caméra
- Nécessite beaucoup de calculs informatiques et donc une machine puissante, c'est pourquoi dans certains cas deux machines sont utilisées une pour les calculs et l'autre pour l'environnement informatique.

Cette technique a fait l'objet de plusieurs produits ou projets :

- Eye tracker Communication System (Friedman & al, 1981)
- Eye Typer de SST (USA)
- Eye Gaze de LC Technologies (USA)
- Visioboard de la société Métro vision et l'association Delta 7 (France)

Ces produits peuvent être différenciés par leurs référentiels de mesure. La majorité de ces appareils utilisent un référentiel externe : l'écran de désignation et le capteur de mouvements oculaires sont solidaires et placés devant le patient. Ceci impose que l'œil soit maintenu dans le champ de la caméra ; la tête doit donc être immobile. En revanche, d'autres, tels Visioboard, ou Eye Command, disposent d'un système de recherche et de suivi des mouvements de la tête. [14]

### **I.6 Etat de l'art sur les techniques de commande d'un fauteuil roulant intelligent**

Le système de pointage à l'œil a suscité de nombreux projets de recherche ces dernières années, de manière à favoriser la communication des personnes en situation de handicap moteur. Pourtant, peu de personnes susceptibles de l'utiliser en bénéficient. Plusieurs problèmes se posent encore aujourd'hui sur l'adaptation de ces nouvelles technologies aux différentes situations de handicap auxquelles ces patients sont confrontés. [12]

Il est essentiel que le système de pointage à l'œil réponde à différentes exigences : il doit être le moins encombrant possible, facile à calibrer et à paramétrer, simple d'utilisation, fiable et à un prix abordable. D'autre part, la personne doit pouvoir être indépendante dans l'utilisation du système de pointage à l'œil devant son ordinateur. Plusieurs techniques de capture et de mesure de la direction du regard ont été développées. [12]

### **I.6.1 Fauteuil roulant contrôlé à l'aide de mouvement oculaire [15]**

Dans le but de donner aux gens paralysés et handicapés plus de liberté ; un inventeur souffrant d'une maladie du motoneurone a mis au point un fauteuil roulant qu'il contrôle en utilisant seulement ses yeux.

Le 24 Décembre 2015 ; M. Patrick Joyce 46 ans a créé la technologie « Eye drivomatic » après avoir commandé à perdre l'usage de ses muscles en raison de sa maladie.

L'appareil utilise la technologie 'eye-tracking' pour lui permette d'émettre des commandes à un ordinateur et à une 'main' imprimée en 3D qui peut s'adapter sur le joystick d'un fauteuil roulant électrique ordinaire.

Les chercheurs ont récemment démontré comment des patients atteints de la SLA peuvent utiliser la technologie pour déplacer un curseur d'ordinateur d'un endroit à l'autre de l'écran simplement en pensant à lui.

Des capteurs des minuscules signaux électriques du cerveau ont été utilisés pour aider les patients à peindre sur un ordinateur à l'aide de leurs pensées.

D'autres chercheurs ont tenté de développer des fauteuils roulants et même des voitures qui obéissent aux changements dans les schémas électriques produits par le cerveau.

L'adaptation à la technologie 'Eyedrivomatic' utilise un ordinateur de bord (infographie) pour permettre à l'utilisateur d'émettre des commandes à l'appareil. Ce dispositif contrôle ensuite le levier de commande du fauteuil électrique. Il fait appel à une 'main' imprimée en 3D qui peut être montée sur le joystick d'un fauteuil électrique conventionnel. Cela signifie que les personnes qui ont perdu la capacité de bouger leurs membres peuvent contrôler leur fauteuil avec leurs yeux.

Le système combine la technologie existante 'Eyegaze' au système de contrôle d'un fauteuil roulant électrique.

### **I.6.2 Réalisation d'un dispositif de contrôle d'un fauteuil roulant électrique par oculométrie**

Le but du projet de mémoire présenté par **DAMIEN DEPANNEMAECCKER** le 28 février 2017 est de développer un système de commande pour un fauteuil roulant électrique permettant de trouver une alternative au traditionnel joystick et il se base sur l'oculométrie et sur des techniques d'interface cerveau machine [16] [17] [18]. L'objectif est d'obtenir un système qui soit réellement ergonomique et utilisable par tous et chacun avec ses spécificités. Un système d'oculométrie a été développé, ainsi qu'un boîtier d'interface basé sur un microcontrôleur permettant le contrôle des moteurs par des commandes envoyées via le port série d'un ordinateur. [19]

Ce mémoire inclus aussi la présentation des travaux en cours sur le contrôle par une interface cerveau machine basé sur les potentiels évoqués en régime permanent et les possibilités des systèmes hybrides.

## **I.7 Conclusion**

En fin de ce chapitre ; on conclut que l'œil est l'organe de la vision de l'être humain, il lui permet de capter des images pour ensuite les analyser afin d'interagir avec l'environnement.

Ce chapitre nous a permis de savoir les différentes techniques d'enregistrement des mouvements oculaires dans le but d'avoir et après traitement la commande d'un fauteuil roulant.

Dans le second chapitre, on va entamer l'étude et la réalisation de la partie électronique du système réalisé. Celui-ci permet de commander un fauteuil roulant destiné aux personnes souffrant d'un handicap moteur et une incapacité de parler.



## Chapitre II : étude et réalisation du dispositif

## II.1 Introduction

Le système de pointage à l'œil a suscité de nombreux projets de recherche ces dernières années, de manière à favoriser la communication des personnes en situation d'handicap moteur.

Dans ce chapitre, nous avons décrit la problématique d'une part et d'une autre part on a proposé un schéma bloc avec une explication de chaque bloc.

## II.2 Problématique

Le problème majeur pour un sujet qui présente un handicap moteur est le déplacement, ce problème s'aggrave lorsque cette personne souffre d'un autre handicap tel que l'incapacité à parler. Dans ces conditions le seul organe fonctionnel est l'œil. L'utilisation de l'information provenant de cet organe nous permet d'aider la personne handicapée afin de lui faciliter la vie. Sur ce principe là qu'on a eu l'idée de réaliser un système basé sur les mouvements oculaires afin de contrôler un fauteuil roulant. Il existe plusieurs techniques qui nous permettent d'enregistrer les mouvements oculaires parmi ces techniques on a l'électro-oculogramme (EOG) qui est basé sur l'acquisition d'un signal à l'aide des électrodes placés au niveau du visage, cette technique possède plusieurs inconvénients parmi lesquels le contact des électrodes avec la peau peut provoquer à long terme des irritations et inconfort, et la perturbation par le signal EMG. D'autres techniques utilisent l'image de reflet cornéen.

Notre idée repose sur la réalisation d'un système combinant les deux techniques, qui permet la commande d'un fauteuil roulant, ce système doit être: non invasif ; rapide en temps de réponse.

## II.3 Solution proposée

Notre solution proposée repose sur l'utilisation de la lumière réfléchiée pour mesurer les mouvements oculaires. Cette technique présente un avantage d'être une technique non invasive, facile à utiliser, et nécessite un simple capteur infra rouge.

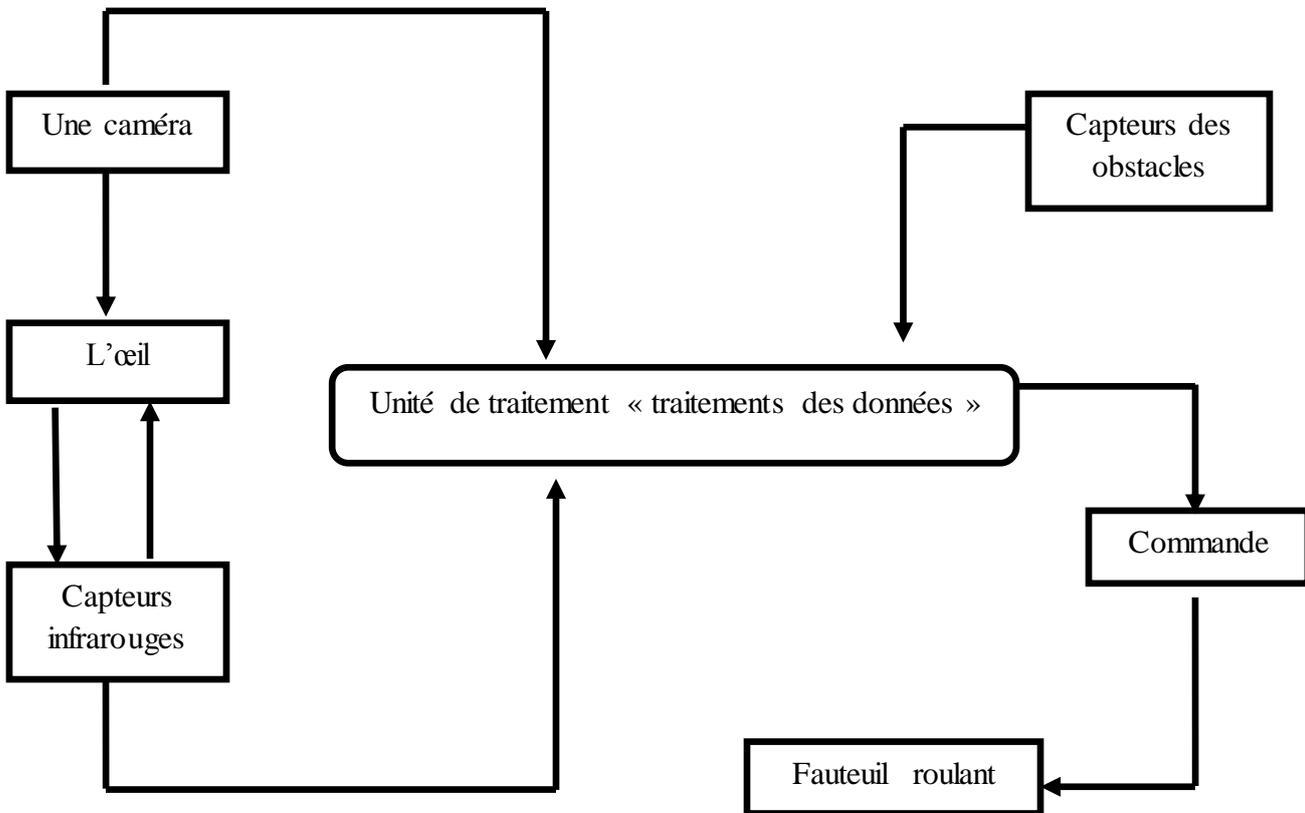
Notre dispositif utilise la technique du reflet cornéen et l'acquisition d'image de l'œil par une caméra afin de mesurer et détecter les mouvements oculaires, un traitement de ces signaux et images est nécessaire pour calculer des différents paramètres caractérisant les images des différents mouvements. La commande du fauteuil roulant est obtenue en utilisant les paramètres extraits de ces deux signaux.

## II.4 Principe de fonctionnement

Le concept de base consiste à utiliser une source lumineuse infrarouge émise par une diode ou un ensemble de diodes. Le reflet infrarouge renvoyé par la cornée de l'œil est ensuite détecté et ce sont les variations d'intensité de ce reflet qui permettent, après calcul, de repérer le centre de la pupille et de connaître la position de l'œil. Cette technique se prête facilement à des tests ergonomiques car il n'y a aucune contrainte physiologique du sujet, et une caméra qui capture une image des yeux avec ce reflet,

la caméra étant placée en face du sujet afin de prendre des images de l'œil à des différentes positions du regard.

### II.5 Schéma bloc



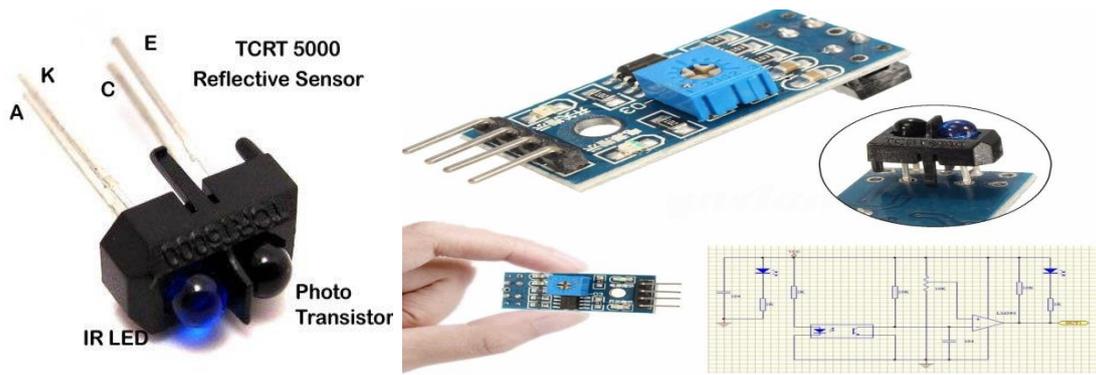
*Figure II.1 : Schéma bloc de la solution proposée*

### II.6 Explication du schéma bloc

La figure précédente présente un schéma bloc du système proposé, celui-ci est constitué d'un capteur infrarouge pour la mesure des mouvements oculaires et d'une caméra pour la prise des images. Le système utilise aussi des capteurs d'obstacles pour aider la personne handicapée dans son déplacement et le prévenir en cas de présence d'obstacle en route. Le système est piloté par une unité de traitement. Par la suite on va détailler chaque bloc ainsi que le choix des différents capteurs.

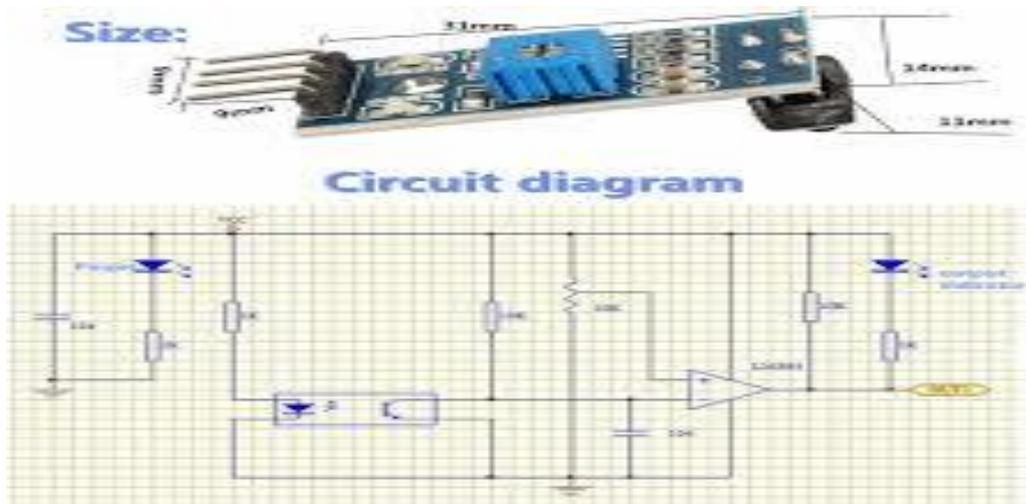
#### II.6.1 Mesure des mouvements oculaires

Pour la mesure des mouvements oculaires on a choisi la technique du reflet cornéen détaillée ci-dessus. Le capteur utilisé dans notre cas est le TCRT5000 [23]. Ce module est un suiveur de ligne à canal unique comprend un émetteur infrarouge et un phototransistor. Bien qu'il soit conçu pour être utilisé avec des robots pour le suivi de ligne, il peut être utilisé pour la mesure du reflet cornéen.



**Figure II.2 : Module tcr5000**

Le schéma électronique de module tcr5000 est présenté en figure suivant :

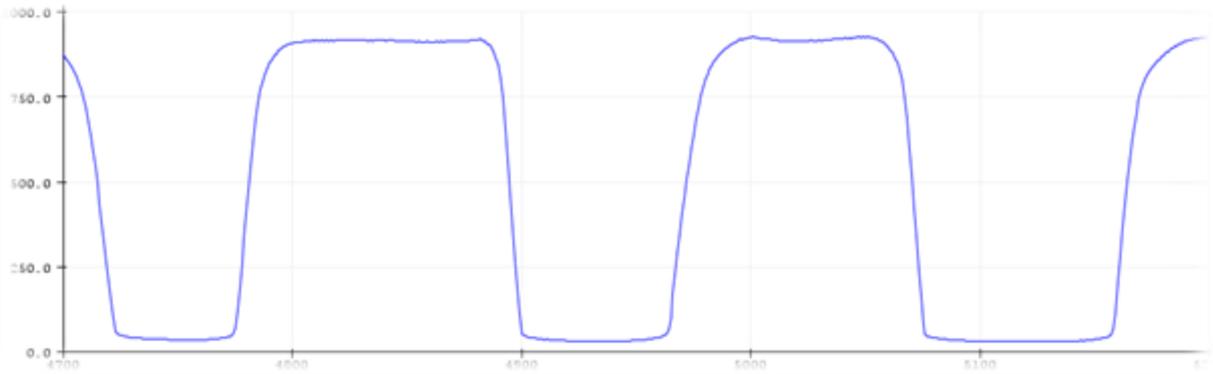


**Figure II.3 : Schéma électronique de module tcr5000**

### Les caractéristiques du module tcr5000 :

Le module de tcr5000 est caractérisé par : [24]

1. Distance de réflexion d'essai: 1mm à 25mm
3. Potentiomètre de précision réglable pour régler la sensibilité
4. La tension de travail de 3.3v à 5v
5. Forme de sortie: sortie de commutation numérique (0 et 1)
6. Petite taille de circuit imprimé: 3.1cm x 1.4cm
7. Détection de ligne en noir et blanc



**Figure II.4 :** *Signal à la sortie de capteur tcr5000*

La figure II.4 présente le signal à la sortie du capteur tcr5000 où le niveau haut est obtenu lorsque la pupille se déplace vers le signal émit du capteur infrarouge.

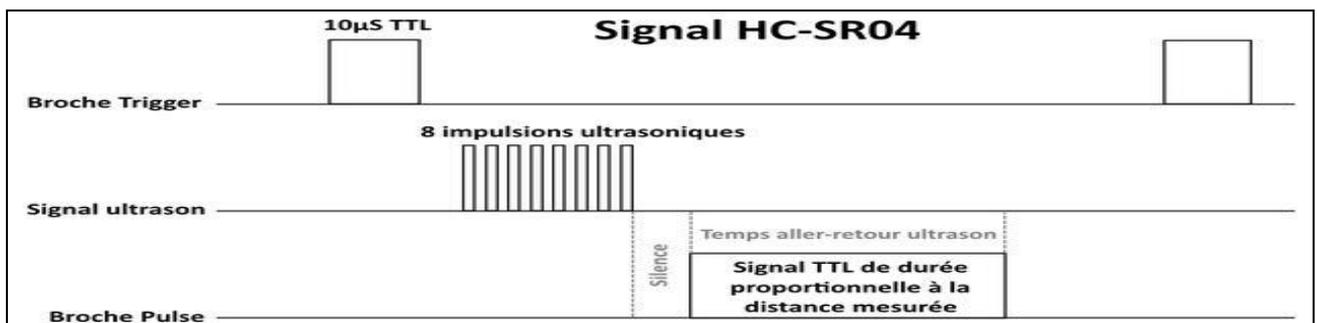
### II.6.2 Capteur à ultrason HC-SR04



**Figure II.5 :** *Capteur à ultrason HC-SR04*

Le capteur HC-SR04 est un capteur à ultrason à faible coût. Ce capteur fonctionne avec une tension d'alimentation de 5 volts, dispose d'un angle de mesure de 15° environ et permet de faire des mesures de distance entre 2 centimètres et 4 mètres. [25]

#### Principe de fonctionnement du capteur :



**Figure II.6 :** *Illustration du signal TRIGGER et ECHO*

## Chapitre II : Etude et réalisation du dispositif

Le principe de fonctionnement du capteur est entièrement basé sur la vitesse du son. [25]

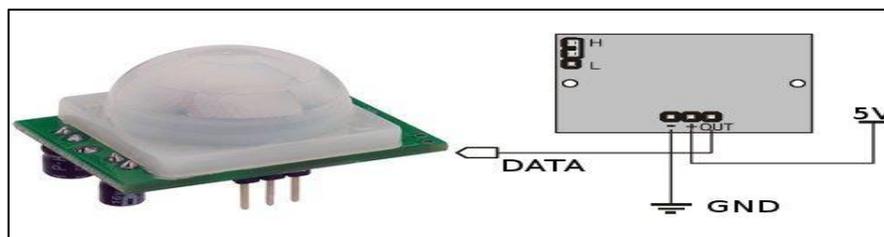
Voilà comment se déroule une prise de mesure :

1. On envoie une impulsion HIGH de 10 $\mu$ s sur la broche TRIGGER du capteur.
2. Le capteur envoie alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40KHz.
3. Les ultrasons se propagent dans l'air jusqu'à toucher un obstacle et retourne dans l'autre sens vers le capteur.
4. Le capteur détecte l'écho et clôture la prise de mesure.

Le signal sur la broche ECHO du capteur reste à HIGH durant les étapes 3 et 4, ce qui permet de mesurer la durée de l'aller-retour des ultrasons et donc de déterminer la distance.

### 3. Capteur de mouvement

Le détecteur de mouvement est un dispositif qui permet la détection de mouvement dans une pièce ou à l'air libre, celui-ci utilise la technologie de détection infrarouge. [26]



*Figure II.7 : Capteur de mouvement*

#### Les caractéristiques du capteur de mouvement :

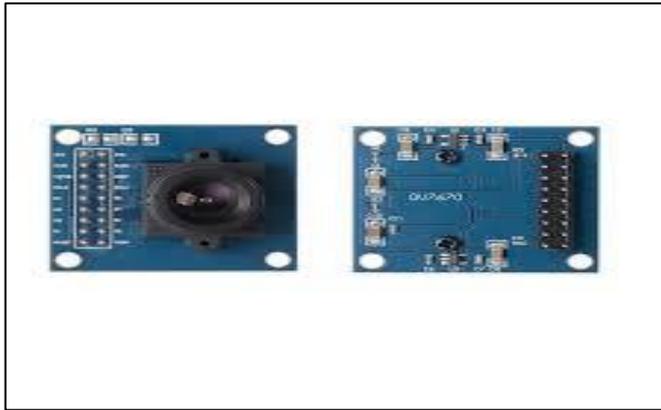
Le capteur de mouvement est caractérisé par : [27]

- 1- simple à utiliser
- 2- il ne requiert qu'une entrée numérique d'un microcontrôleur
- 3- Il accepte des alimentations de 4.5 à 20V
- 4- Le signal de sortie est de 3.3V
- 5- Compatible avec Raspberry Pi et esp8266 et Arduino
- 6- Permet de capter des mouvements jusqu'à 7m dans un angle de 120° environ.

### 4. Unité de traitement et acquisition de l'image

#### 4.1 La camera OV7670

Pour l'acquisition de l'image on a essayé en premier la camera OV7670 comme le montre la figure suivante. Cette caméra est un capteur d'image de petite taille avec une faible tension de fonctionnement qui offre toutes les fonctions de la caméra mono-puce VGA et du processor d'image, compatible avec l'Arduino et raspberry pi. [28]

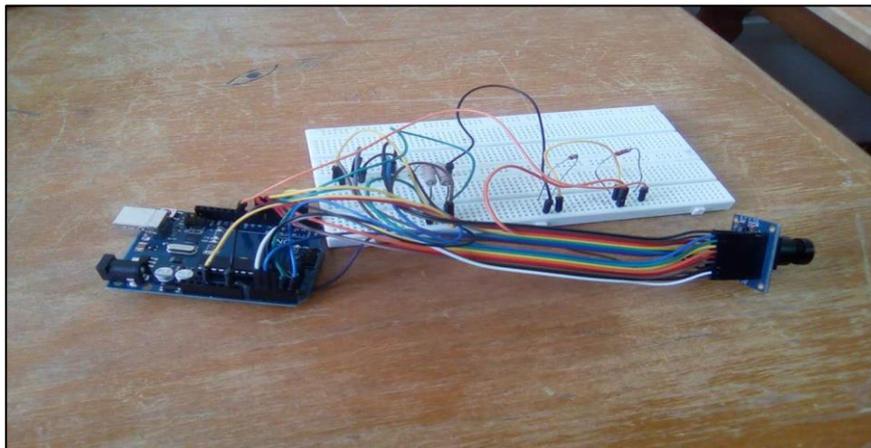


***Figure II.8 : Caméra OV7670***

### **Caractéristique d'OV7670 :**

L'OV7670 est caractérisé par :[29]

- 1- Haute sensibilité convenant aux applications d'éclairage
- 2- Basse tension appropriée pour les applications embarquées
- 3- Interface SCCB standard compatible avec une interface I2C
- 4- Détection automatique 50/60



***Figure II.9 : Branchement d'OV7670 avec l'Arduino***

### **4.2 Carte Arduino UNO**

C'est une plate-forme open-source d'électronique programmée qui est basée sur une simple carte à microcontrôleur (de la famille AVR), et un logiciel, véritable environnement de développement intégré, pour écrire, compiler et transférer le programme vers la carte à microcontrôleur.

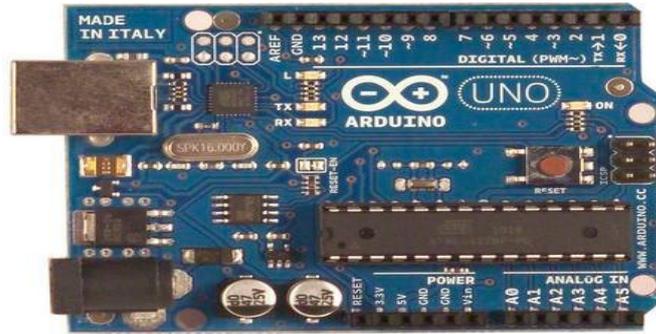
Arduino peut être utilisé pour développer des objets interactifs, pouvant recevoir des entrées d'une grande variété d'interrupteurs ou de capteurs, et pouvant contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou toutes autres sorties matérielles. Les projets Arduino peuvent être autonomes, ou bien ils peuvent communiquer avec des logiciels tournant sur votre ordinateur (tels que Flash, Processing ou

## Chapitre II : Etude et réalisation du dispositif

MaxMSP). Les cartes électroniques peuvent être fabriquées manuellement ou bien être achetées pré-assemblées ; le logiciel de développement open-source peut être téléchargé gratuitement.

Le langage de programmation Arduino est une implémentation de Wiring, une plate-forme de développement similaire, qui est basée sur l'environnement multimédia de programmation Processing.

La carte Arduino UNO est un microcontrôleur ATmega328 programmable permettant de faire fonctionner des composants (moteur, LED...). Elle possède des «ports» permettant par exemple de se connecter à un ordinateur ou de s'alimenter. [30]



*Figure II.10 : La carte Arduino UNO*

Le problème majeur rencontré lors de l'utilisation de la caméra avec la carte Arduino est le nombre d'entrée sortie utilisées, et le temps d'acquisition de l'image qui est très grand (7 secondes pour une image) ainsi que la qualité d'image.

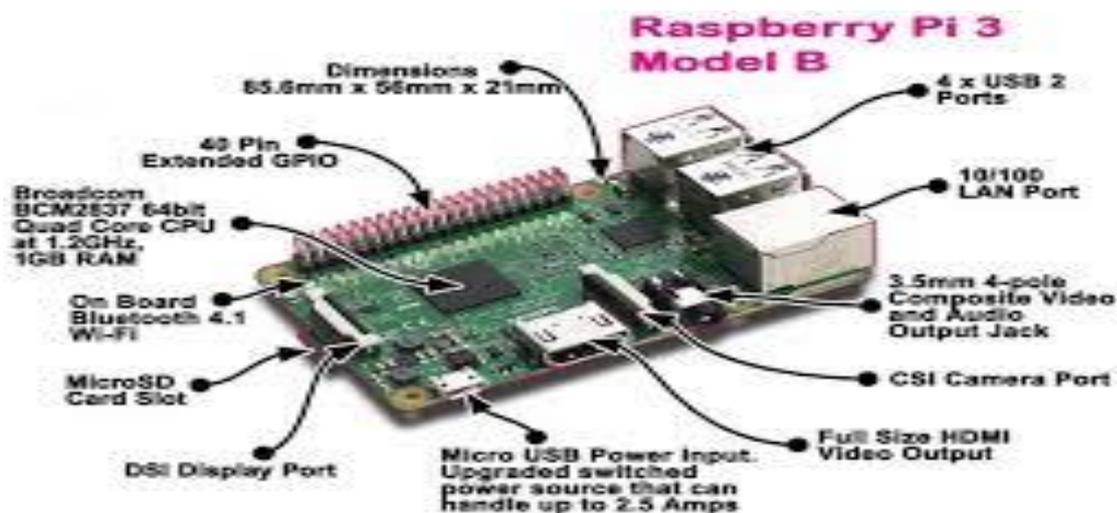
Afin résoudre ce problème nous avons changé la caméra et même l'unité de traitement. Nous avons choisi une carte Raspberry pi 3 (détaillé par la suite) et sa caméra .

### 4.3 Raspberry Pi 3

Le Raspberry pi est un nano ordinateur de la taille d'une carte de crédit que l'on peut brancher à un écran et utilisé comme un ordinateur standard. Sa petite taille, et son prix intéressant fait du Raspberry pi un produit idéal pour tester différentes choses. [31]

Le Raspberry Pi 3 Model B est la troisième génération de Raspberry Pi, il peut être utilisé pour de nombreuses applications et remplace le Raspberry Pi modèle B + et le Raspberry Pi 2 modèle B, il offre un processeur plus puissant 10 fois plus rapide que le Raspberry Pi de première génération.

En outre, il ajoute la connectivité LAN sans fil et Bluetooth, ce qui en fait la solution idéale pour les conceptions connectées puissantes. [32]



*Figure II.11: Raspberry pi 3 model B*

### Fonctionnement de Raspberry pi :

Le Raspberry pi ne dispose pas d'un disque dur interne (cela augmenterait grandement sa taille) et on stockera les données sur une carte SD. Pour pouvoir l'utiliser on devra donc avoir

- Une carte micro SD compatible avec le modèle Raspberry pi
- Un câble d'alimentation micro USB standard
- Un câble RJ45 pour se connecter au réseau
- Un câble HDMI afin de connecter le Raspberry pi un écran ou une télévision.
- Un clavier pour taper les commandes

La première étape sera donc de préparer la carte micro SD en y installant un système d'exploitation.

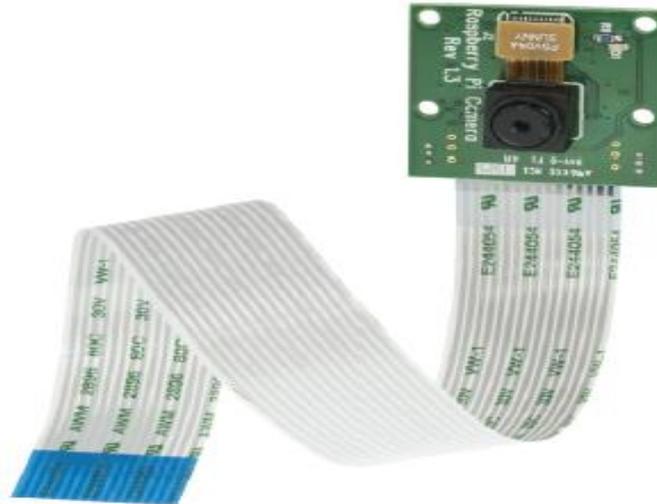
On peut installer différentes systèmes, la plus connue étant Raspbian (Debian pour RPi) que l'on peut télécharger directement depuis le site Internet de Raspberry pi.

Le Raspberry pi est un très bon moyen d'expérimenter de nouvelles choses et de découvrir un petit peu plus en profondeur l'univers de Linux.

### 4.4 Caméra de Rspberry pi

La caméra de raspberry pi v2 est un capteur d'images de haute qualité conçu par Sony ImX219, 8 méga pixels, conçu pour Raspberry Pi, avec un objectif à focale fixe.

Il est capable de capter des images statiques et de la vidéo. Il se fixe à Raspberry Pi par l'intermédiaire de l'une des petites prises sur la face supérieure et utilise l'interface CSi dédiée, spécialement conçue pour l'interfaçage avec les caméras. [33]



***Figure II.12 : Module caméra de Raspberry pi***

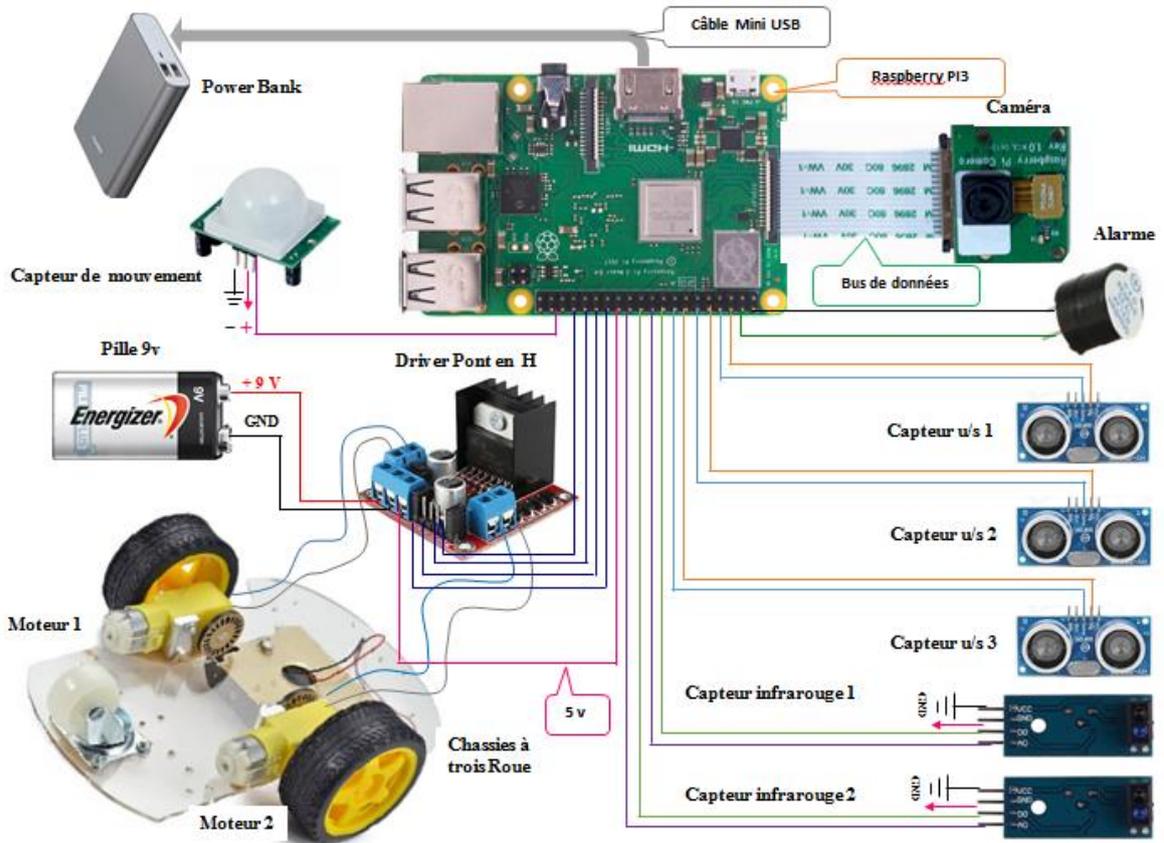
### **Caractéristiques de la caméra du raspberry pi:**

La caméra de raspberry pi est caractérisée par [33] :

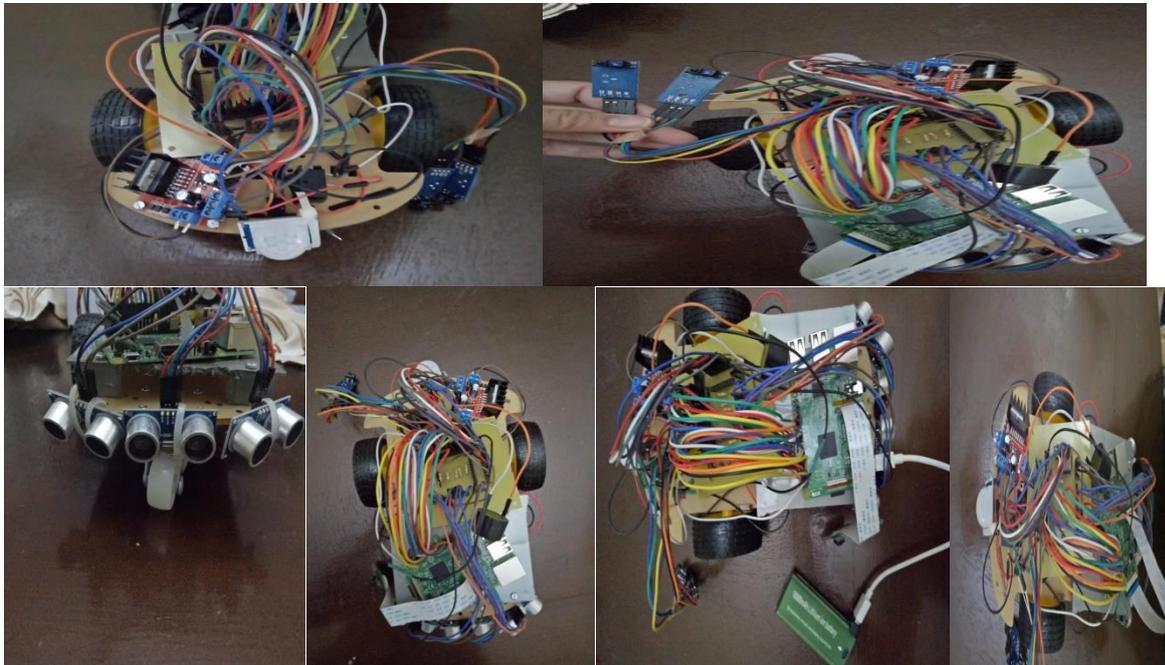
- Objectif à focale fixe intégré
- Capteur de résolution native de 8 méga pixels capable de capter des images statiques de 3280 x 2464 pixels
- Prend en charge la vidéo 1080p30, 720p60 et 640x480p90
- Taille 25mm x 23mm x 9mm
- Poids un peu plus de 3g
- Se connecte à la carte Raspberry Pi via un câble Flex plat court (fourni avec la caméra)

L'unité de traitement permet de traiter les informations acquises des différents capteurs et commander le fauteuil roulant.

## Chapitre II : Etude et réalisation du dispositif



*Figure II.13 : Schéma du montage complet*



*Figure II.14: image de montage complet(différentes vues)*

### **II.7 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons cité en détail les différents étages du schéma bloc proposé pour la commande d'un fauteuil roulant. La commande est obtenue en utilisant un circuit de détection de mouvement oculaire par infrarouge et l'image de l'œil. Afin de sécuriser le mouvement du fauteuil nous avons ajouté des capteurs pour la détection d'objet et arrêter le fauteuil roulant en cas de présence d'objet non détecté par l'utilisateur du fauteuil roulant. Le prochain chapitre est consacré au traitement des données.

# Chapitre III : traitement des données

## III.1 Introduction

Après avoir présenté les étages de notre schéma bloc dans le chapitre précédent, nous exposerons dans ce chapitre les résultats de notre travail.

Le présent chapitre est composé de deux parties : Une partie concernant le traitement d'image pour la détection du globe oculaire et une deuxième partie concernant la programmation de la carte Raspberry pi afin de commander le fauteuil roulant.

## III.2 Traitement d'image

Le traitement d'image est une discipline de l'informatique et des mathématiques appliquées qui étudie les images et leurs transformations.

L'acquisition de l'image captée par la caméra nécessite l'utilisation d'un langage de programmation installé sur la carte SD. Nous avons utilisé le langage python et la bibliothèque Opencv (détaillée par la suite). Cette dernière est destinée spécialement aux l'opération de traitement d'images.

### 2.1 OpenCV

OpenCV (Open Source Computer Vision) est une bibliothèque graphique libre, initialement développée par Intel, spécialisée dans le traitement d'images en temps réel, elle propose un ensemble de plus de 2500 algorithmes de vision par ordinateur, accessibles au travers d'API pour les langages C, C++, et Python. Elle est distribuée sous une licence BSD (libre) pour les plateformes Windows, GNU/Linux, Android et MacOS. [34]

### 2.2 Présentation du langage Python

Python est un langage portable, dynamique, extensible, gratuit, qui permet une approche modulaire et orientée objet de la programmation. Python est développé depuis 1989 par Guido van Rossum et de nombreux contributeurs bénévoles. [35]

### 2.3 Objectif du traitement d'image

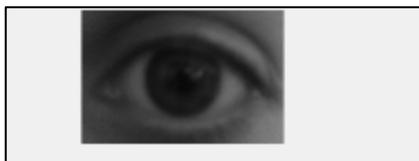
L'objectif d'utiliser le traitement d'image est pour la détection de la position de globe oculaire (haut ou bas) à partir de l'image captée par la caméra.

Avant de faire le traitement d'image avec Opencv, on a utilisé l'environnement Matlab afin d'extraire les paramètres caractérisant les différentes images. Cette caractérisation nous permet de différencier par exemple une image avec un regard vers le haut et celle du regard vers le bas.

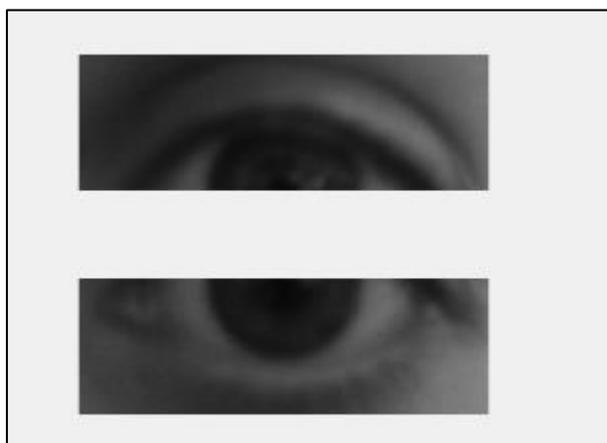
Nous avons construit une base de donnée de 22 sujets, contenant des images avec différents regards. Nous avons calculé les paramètres suivant : moyenne, maximum d'histogramme et la moyenne de la partie blanche de l'histogramme.

## Chapitre III : Traitement des données

Ces derniers sont obtenus pour chaque images après avoir être divisée de la manière suivante:



**Figure III.1** : image complet de l'œil



**Figure III.2** : image divisée horizontalement



**Figure III.3** : image divisée verticalement

Les calculs sont représentés dans les tableaux suivants :

**Tableau n°1 : Image de l'œil avec un Regard à droite**

Part D	M	Max	M B	Part G	M	max	M B	Part H	M	Max	M B	Part B	M	max	M B
S1	96,52	13006	3,30E+03	S1	149,2	8150	1,01E+03	S1	127,77	8283	/	S1	117,83	14331	/
S2	44,79	12425	6,75E+03	S2	67,86	10919	3,34E+03	S2	62,19	16707	/	S2	50,44	13820	/
S3	50,86	11514	7,01E+03	S3	43,3	11958	5,46E+03	S3	39,64	12882	/	S3	54,57	12830	/
S4	94,27	9107	2,34E+03	S4	87,56	9833	951,28	S4	75,01	10857	/	S4	106,94	11363	/
S5	52,88	7156	5,92E+03	S5	53,33	9743	2,18E+03	S5	36,29	12554	/	S5	69,99	11510	/
S6	86,15	7734	3,44E+03	S6	94,89	8233	1129	S6	74,32	11745	/	S6	106,81	8303	/
S7	49,59	26871	1,23E+04	S7	58,58	28091	1,05E+04	S7	51,73	25723	/	S7	56,45	30379	/
S8	73,01	15610	1,37E+04	S8	73,43	18631	3,20E+03	S8	47,55	23344	/	S8	98,93	17361	/
S9	74,54	16636	4,84E+03	S9	69,52	17407	1,87E+03	S9	58,15	19365	/	S9	86,02	14453	/
S10	24,87	25052	1,05E+04	S10	32,74	25977	1,03E+04	S10	21,63	27978	/	S10	36,02	20086	/

## Chapitre III : Traitement des données

S11	55,06	49326	1,68E+04	S11	40,59	34334	8785	S11	27,94	48667	/	S11	68,01	20163	/
S12	46,53	19818	1,35E+04	S12	61,9	16835	4,81E+03	S12	33,08	30439	/	S12	75,44	12078	/
S13	88,1	17949	8,93E+03	S13	96,46	15557	1,10E+03	S13	65,42	20097	/	S13	119,2	15994	/
S14	43,68	21439	6,92E+03	S14	60,05	10521	7,30E+03	S14	51,83	12042	/	S14	51,89	18313	/
S15	109,6	11951	4,36E+03	S15	132,91	10185	545,45	S15	105,8	9974	/	S15	136,76	14540	/
S16	97,93	10784	7,22E+03	S16	114,77	13004	2,35E+03	S16	84,53	13927	/	S16	128,17	17081	/
S17	74,47	20746	5,47E+03	S17	118,95	15348	4,75E+03	S17	101,71	14607	/	S17	91,69	22375	/
S18	71,6	9148	1,04E+03	S18	30,57	26820	8,95E+03	S18	41,63	21614	/	S18	60,54	20911	/
S19	114,92	7627	1,59E+03	S19	110,93	9283	1,20E+03	S19	116,1	7431	/	S19	109,8	11958	/
S20	97,81	18231	6,82E+03	S20	96,62	13842	4,66E+03	S20	79,62	12894	/	S20	114,83	15856	/
S21	53,46	23762	2,05E+04	S21	67,64	28860	5,74E+03	S21	41,62	35022	/	S21	79,49	24698	/
S22	88,59	24539	8,40E+03	S22	91,44	31905	2,46E+02	S22	69,62	45009	/	S22	110,53	28921	/

**Tableau I : Paramètres calculés pour les images du Regard à droite**

M= moyenne

Max=maximum de l'histogramme

M B= moyenne de la partie blanche de l'histogramme

Part D = partie droite de l'image de l'œil, Part G = partie gauche de l'image de l'œil, Part H = partie haute de l'image de l'œil, Part B= partie basse de l'image de l'œil

**Tableau n°2 : Image de l'œil avec un Regard à gauche**

Part D	M	Max	M B	Part G	M	Max	M B	Part H	M	Max	M B	Part B	M	Max	M B
S1	97,76	14641	2,84E+03	S1	92,5	26230	2,41E+03	S1	86,61	21837	/	S1	103,67	17878	/
S2	47,73	25498	1,05E+04	S2	25,06	31173	7,70E+03	S2	28,37	29877	/	S2	44,54	35335	/
S3	48	12364	5,12E+03	S3	51,41	11770	4,98E+03	S3	43,64	12192	/	S3	55,86	7586	/
S4	71,81	7436	5,08E+03	S4	60,45	10152	2,60E+03	S4	77,04	14728	/	S4	55,27	6725	/
S5	29,32	25973	8,57E+03	S5	37,31	15202	6,43E+03	S5	42,04	22617	/	S5	24,62	14663	/
S6	89,72	7923	1,01E+03	S6	91,3	9109	3,23E+03	S6	79,24	12129	/	S6	98,92	7540	/
S7	64,69	15942	2,96E+03	S7	72,21	15593	5,21E+03	S7	71,41	18624	/	S7	65,53	16964	/
S8	66,43	15140	7,44E+03	S8	70,18	20192	4,82E+03	S8	58,66	18055	/	S8	78,07	11649	/

## Chapitre III : Traitement des données

S9	72,92	42079	2,28E+03	S9	92,72	31145	8,09E+03	S9	84,41	39518	/	S9	79,26	22632	/
S10	22,88	68719	2,34E+04	S10	29,67	110688	2,63E+04	S10	24,82	120360	/	S10	27,73	61513	/
S11	60,81	50271	1,65E+04	S11	54,44	36477	9,12E+03	S11	40,56	46689	/	S11	74,71	20229	/
S12	37,89	28914	1,35E+04	S12	57,94	25583	7,44E+03	S12	32,23	46165	/	S12	63,63	12498	/
S13	93,99	12684	5,96E+03	S13	91,31	20970	4,57E+03	S13	76,05	24597	/	S13	109,3	11970	/
S14	58,27	15389	3,52E+03	S14	71,3	10185	1,14E+04	S14	88,22	14999	/	S14	41,4	20287	/
S15	107,03	15757	66,86	S15	132,14	17449	5,22E+03	S15	140,5	18572	/	S15	98,74	13158	/
S16	118,5	15435	2,81E+03	S16	92,59	19251	2,43E+03	S16	97,54	14372	/	S16	113,61	12497	/
S17	64,23	41222	7,29E+03	S17	90,8	15538	1,19E+04	S17	89,16	32221	/	S17	65,85	19276	/
S18	63,72	10691	1,07E+04	S18	30,4	30293	1,09E+04	S18	45,55	26809	/	S18	48,57	19678	/
S19	117,58	7848	134,6	S19	118,98	9280	2,09E+03	S19	142,66	6211	/	S19	93,98	10434	/
S20	104,48	13429	8,79E+03	S20	77,1	24492	8,70E+03	S20	77,99	24840	/	S20	103,59	16566	/
S21	33,29	46825	1,68E+04	S21	41,25	54347	1,11E+04	S21	22,69	73263	/	S21	51,88	18941	/
S22	68,01	42410	1,24E+04	S22	81,04	45690	9,98E+03	S22	69,02	68803	/	S22	80,05	25816	/

**Tableau II : Paramètres calculés pour les images du Regard à gauche**

**Tableau n°3 : Image de l'œil avec un Regard haut**

Part D	M	Max	M B	Part G	M	Max	M B	Part H	M	Max	M B	Part B	M	Max	M B
S1	65,24	9345	/	S1	36,52	27833	/	S1	40,7	28176	6,15E+03	S1	61,1	17497	9,63E+03
S2	62,97	6089	/	S2	48,97	14647	/	S2	66,69	10083	2,91E+03	S2	45,25	9538	5,52E+03
S3	40,41	12216	/	S3	72,78	14759	/	S3	61	14215	7,29E+03	S3	52,26	13684	3,54E+03
S4	53,5	10553	/	S4	79,5	9006	/	S4	56,93	10462	5,26E+03	S4	76,18	9664	2,57E+03
S5	47,16	9328	/	S5	82,22	7935	/	S5	52,8	11695	6,24E+03	S5	76,64	5526	2,67E+03
S6	73,89	9429	/	S6	120,51	10315	/	S6	95,62	15444	5,27E+03	S6	98,91	11137	646,02
S7	57,53	15193	/	S7	84,97	17472	/	S7	69,2	16884	7,18E+03	S7	73,34	9088	2,10E+03
S8	62,61	23110	/	S8	84,55	27579	/	S8	61,5	29015	1,16E+04	S8	85,73	16017	5,46E+03
S9	58,47	28092	/	S9	106,62	42032	/	S9	79,36	54014	1,50E+04	S9	85,76	19791	1,41E+03
S10	26,11	40887	/	S10	37,19	61154	/	S10	28,66	73628	1,51E+04	S10	34,67	30047	1,48E+04
S11	43,28	42612	/	S11	92,83	29611	/	S11	53,09	35945	2,02E+04	S11	83,02	28976	7,02E+03
S12	42,73	25544	/	S12	65,26	24313	/	S12	41,61	38494	1,12E+04	S12	66,44	15208	7,49E+03
S13	69	20272	/	S13	105,69	22348	/	S13	68,62	26702	1,11E+04	S13	106,14	12883	1,93E+03

## Chapitre III : Traitement des données

S14	42,25	24074	/	S14	58,86	25286	/	S14	42,52	24762	1,24E+04	S14	58,61	16034	9,47E+03
S15	76,86	27465	/	S15	109,99	17139	/	S15	110,49	18795	1,04E+04	S15	76,39	34709	4,23E+03
S16	105,76	18090	/	S16	126,92	11981	/	S16	104,09	22046	2,52E+03	S16	128,62	14628	1,43E+03
S17	53,59	24850	/	S17	107,92	19769	/	S17	85,88	24144	1,24E+04	S17	75,62	21710	2,06E+03
S18	81,4	12652	/	S18	44,63	30878	/	S18	55,63	21222	8,54E+03	S18	70,47	21440	1,45E+04
S19	97,88	12090	/	S19	119,24	11913	/	S19	116,38	12149	2,96E+03	S19	100,84	13832	0,2833
S20	99,06	15076	/	S20	79,38	33021	/	S20	85,29	21763	6,95E+03	S20	93,15	33210	9,10E+03
S21	31,83	62841	/	S21	49,36	47156	/	S21	26,43	76372	1,89E+04	S21	54,8	33794	1,57E+04
S22	57,03	35024	/	S22	87	27959	/	S22	69,15	33508	1,65E+04	S22	84,93	19673	5,76E+03

**Tableau III : Paramètres calculés pour les images du Regard haut**

**Tableau n°4: Image de l'œil avec un Regard bas**

Part D	M	Max	M B	Part G	M	Max	M B	Part H	M	Max	M B	Part B	M	Max	M B
S1	108,96	18052	/	S1	99,43	19726	/	S1	90,52	13744	1,56E+03	S1	118,03	24017	1,00E+03
S2	78,07	7064	/	S2	64,83	9359	/	S2	63,13	8515	2,39E+03	S2	79,89	6696	1,80E+03
S3	49,17	8915	/	S3	49,53	5920	/	S3	48,9	7494	3,02E+06	S3	49,8	8251	2,74E+03
S4	81,46	11556	/	S4	75,27	7686	/	S4	67,39	12587	3,63E+03	S4	89,41	9450	2,38E+03
S5	56,97	5313	/	S5	51,9	7439	/	S5	35,08	10945	4,26E+03	S5	73,79	3569	1,61E+03
S6	110,08	6742	/	S6	67,75	6537	/	S6	85,66	6182	2,24E+03	S6	92,21	9146	2,37E+03
S7	58,68	10814	/	S7	78,55	14576	/	S7	63,26	10887	5,15E+03	S7	74,03	9628	4,08E+03
S8	89,08	13204	/	S8	77,8	14090	/	S8	57,62	18663	9,20E+03	S8	109,35	18828	3,44E+03
S9	85,58	19674	/	S9	67,15	21065	/	S9	62,61	22664	5,29E+03	S9	90,23	7855	3,37E+03
S10	33,89	16013	/	S10	37,86	18409	/	S10	31,14	20639	8,63E+03	S10	40,65	15914	6,97E+03
S11	67,74	21294	/	S11	72,15	24674	/	S11	50	28698	1,25E+04	S11	89,95	13108	6,24E+03
S12	54,27	13776	/	S12	52,89	13031	/	S12	35,56	17938	8,93E+03	S12	71,61	7811	3,75E+03
S13	69,36	10316	/	S13	93,11	11123	/	S13	69,65	12332	6,99E+03	S13	119,92	13500	2,47E+03
S14	59	16571	/	S14	67,14	27633	/	S14	61,19	24053	8,00E+03	S14	64,96	18668	6,05E+03
S15	84,23	8970	/	S15	99,64	11814	/	S15	95,05	13447	2,37E+03	S15	88,77	11283	5,39E+03
S16	131,4	20946	/	S16	149,52	17960	/	S16	149,33	12497	1,56E+03	S16	140,58	12825	1,38E+03
S17	81,48	31135	/	S17	77,1	19562	/	S17	89,7	26319	6,95E+03	S17	68,84	18686	1,11E+04
S18	104,06	10631	/	S18	65,08	22198	/	S18	75,63	20316	3,21E+03	S18	93,6	12813	2,05E+03
S19	98,62	10016	/	S19	104,07	8091	/	S19	107,62	10019	1,61E+03	S19	95,1	11193	1,32E+03
S20	133,02	9478	/	S20	99,08	19455	/	S20	92,97	23104	5,32E+03	S20	139,73	12394	2,83E+03
S21	42,68	46520	/	S21	59,06	25084	/	S21	28,83	41274	1,20E+04	S21	72,98	26408	6,97E+03
S22	83,4	28364	/	S22	89,48	18498	/	S22	65,99	23369	1,00E+04	S22	106,92	32417	3,11E+03

**Tableau IV : Paramètres calculés pour les images du Regard**

## Chapitre III : Traitement des données

**Tableau n°5: Image de l'œil avec un Regard centrée**

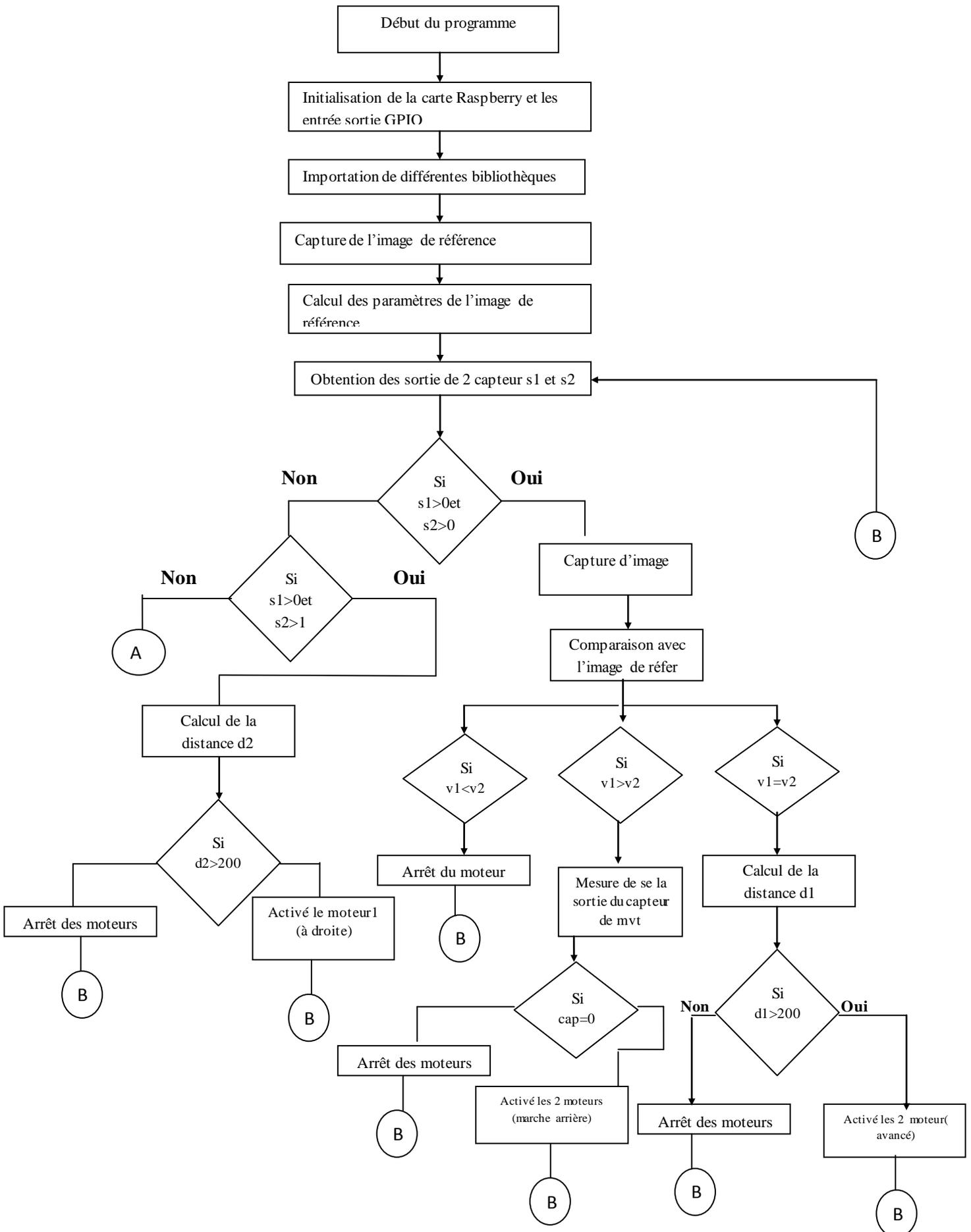
Part D	M	max	M B	Part G	M	Max	M B	Part H	M	max	M B	Part B	M	Max	M B
S1	63,03	8840	4,68E+03	S1	28,32	31346	1,00E+04	S1	35,72	22152	8,76E+03	S1	55,65	13932	6,00E+03
S2	64,89	6859	2,03E+03	S2	39,97	10852	4,71E+03	S2	58,43	8292	3,21E+03	S2	46,43	11374	3,42E+03
S3	39,68	13399	6,32E+03	S3	46,05	11775	6,04E+03	S3	47,77	13487	6,10E+03	S3	38,06	10636	6,27E+03
S4	72,91	7348	2,59E+03	S4	72,07	9194	2,89E+03	S4	61,75	11250	3,17E+03	S4	83,31	6323	2,32E+03
S5	69,58	8385	4,29E+03	S5	83,06	5265	2,31E+03	S5	56,06	10415	4,49E+03	S5	96,75	3840	2,12E+03
S6	78,84	4918	2,19E+03	S6	82,38	6778	1,46E+03	S6	98,18	6869	1,08E+03	S6	63,27	6910	2,57E+03
S7	41,53	20872	1,31E+04	S7	68,74	24665	5,31E+03	S7	50,99	23235	1,05E+04	S7	59,31	20092	7,89E+03
S8	45,72	28317	1,29E+04	S8	63,09	31888	1,15E+04	S8	45,45	34416	1,51E+04	S8	63,4	16299	9,37E+03
S9	33,36	31053	1,77E+04	S9	48,86	47994	1,44E+04	S9	34,12	59448	18741	S9	48,13	29642	1,33E+04
S10	24,32	38737	1,54E+04	S10	34,05	57271	1,53E+04	S10	26,92	64043	1,60E+04	S10	31,44	35763	1,48E+04
S11	91,74	21863	1,09E+04	S11	70,01	26593	1,30E+04	S11	61,7	23526	1,56E+04	S11	100,05	15785	8,37E+03
S12	45,19	18944	1,00E+04	S12	64,67	24435	7,67E+03	S12	35,13	36322	1,21E+04	S12	74,81	11137	5,57E+03
S13	85,65	15813	5,25E+03	S13	104,09	20324	1,57E+03	S13	74,1	27686	4,26E+03	S13	115,72	11244	2,56E+03
S14	27,65	24729	1,32E+04	S14	44,53	21442	1,01E+04	S14	29,04	29155	1,27E+04	S14	43,18	19548	1,06E+04
S15	79,92	15859	5,25E+03	S15	94,22	11474	3,92E+03	S15	103,08	12136	2,00E+03	S15	71,05	19801	7,19E+03
S16	127,67	22948	2,17E+03	S16	142,16	16296	1,07E+03	S16	120,42	30372	1,62E+03	S16	149,42	21211	1,62E+03
S17	62,93	39647	1,45E+04	S17	86,15	24851	5,85E+03	S17	86,01	30959	8,09E+03	S17	63,06	25127	1,23E+04
S18	64,7	14190	7,25E+03	S18	35,82	28337	1,31E+04	S18	40,15	21000	1,13E+04	S18	60,39	19427	9,07E+03
S19	111,55	6862	2,48E+03	S19	122,85	14444	212,25	S19	127,74	11868	392,133	S19	106,73	10629	2,30E+03
S20	103,85	10056	5,21E+03	S20	110,22	9249	3,04E+03	S20	97,43	11008	3,94E+03	S20	110,68	9459	4,31E+03
S21	35,7	43532	1,75E+03	S21	50,37	44646	1,40E+04	S21	25,95	67153	1,91E+05	S21	60,17	17832	1,24E+04
S22	52,9	34516	1,64E+04	S22	62,81	30463	1,15E+04	S22	44,69	38713	1,94E+04	S22	71,06	22487	8,53E+03

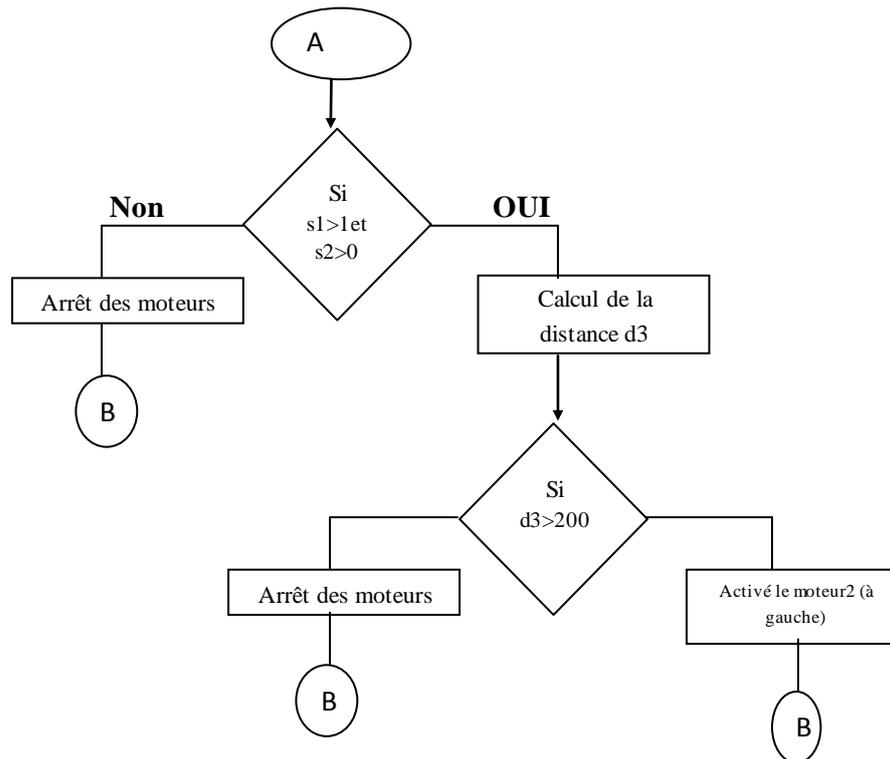
*Tableau V : Paramètres calculés pour les images du Regard centrée*

Le paramètre que nous avons appliqué en Opencv c'est le maximum de l'histogramme car il nous donne la meilleure différenciation entre une image qui présente un regard vers le haut et une autre sur laquelle le sujet regarde vers le bas.

Ce paramètre ainsi que les sorties des différents capteurs sont utilisés pour la commande selon l'organigramme suivant.

## Organigramme





**Figure III.4 : organigramme de commande**

### Fonctionnement du dispositif :

Avant de lancer le programme présenté dans l'organigramme précédant premièrement il faut alimenter le dispositif a savoir le module raspberry ainsi que les différents capteurs

Après cette étape on fait l'initialisation de la carte et l'importation des bibliothèques nécessaires ensuite on demande au sujet de centré son regard afin de prendre une capture d'image (image de référence) puis on calcul ces paramètres.

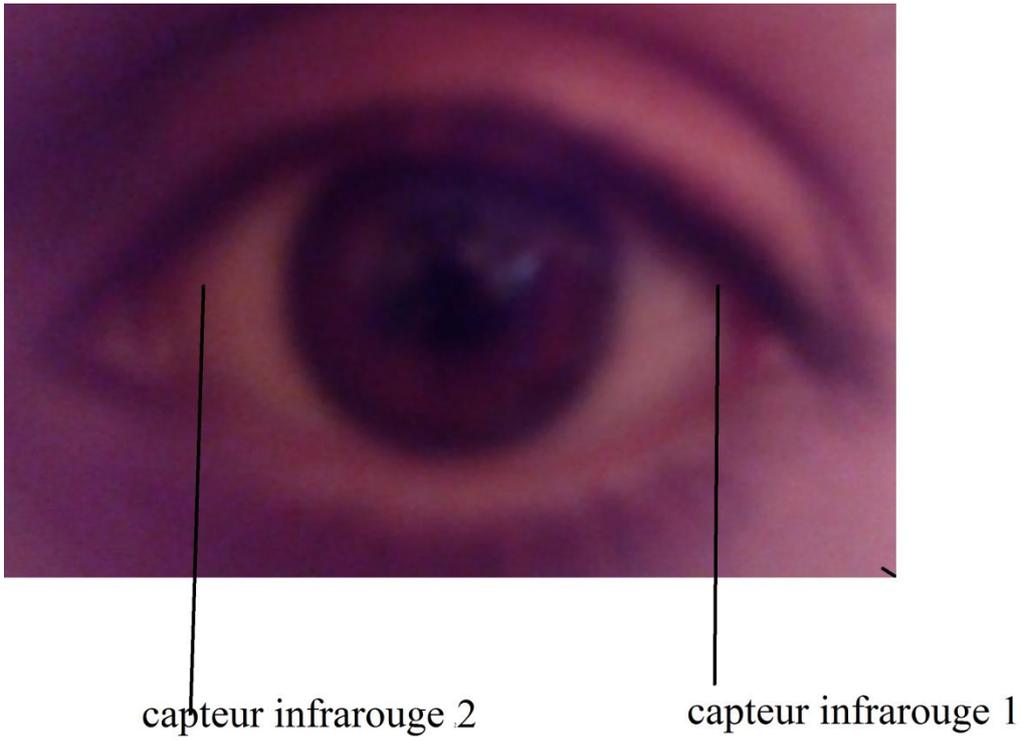
L'activation ou l'arrêt des différents moteurs est obtenue en fonction des sorties des capteurs et les résultats du traitement d'image telle que présenté en organigramme.

S1 et s2 sont les sorties des deux capteurs infrarouge. Selon l'emplacement que nous avons choisi (voir la figure III.5 pour un regard centré les deux sorties sont à l'état bas. Les sorties basculent vers l'état haut selon le mouvement de l'œil.

D1, d2, d3 sont les sorties des différents capteurs d'obstacles placé en devant du châssis

Cap est un capteur de mouvement placé sur la partie arrière du châssis. Ce capteur est utilisé pour la protection en cas où le sujet décide de revenir en arrière. (Voir la figure II.14 en chapitre 2)

V1 et V2 sont le résultat obtenu après traitement de l'image capturée. V2 est le paramètre extrait à partir de l'image de référence, celui-ci est comparé avec le paramètre V1 calculé pour chaque capture d'image en cas où le sujet décide de faire marche arrière ou s'arrête.



*figureIII.5 : position des capteurs infrarouges*

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons traité les données des différents capteurs ainsi que les données de la caméra afin de commander un châssis qu'on a utilisé pour simuler un fauteuil roulant.

Ce châssis nous a permis de tester notre programme de commande.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

---

Les handicapés appartiennent à une partie de notre société, ils souffrent d'une limitation de mobilité importante ce qui rend la pratique de la vie quotidienne très difficile (ce qui les empêche d'avoir une vie quotidienne simple). Les personnes dans ces situations apprennent des stratégies et s'adaptent à leur environnement aux prix d'efforts et de patience, mais leur environnement doit donc lui aussi s'adapter pour permettre une autonomie et un confort de vie les meilleurs possibles. A travers nos différentes recherches, nous avons pu constater que l'œil est un organe très complexe formé de différentes membranes et lentilles permettant la réfraction de la lumière. Cet organe peut aider les handicapés moteurs qui souffrent d'incapacité de parler à communiquer avec leurs entourages. Pour cela nous nous sommes intéressés au domaine de pointage de l'œil afin de réaliser un système facilitant le déplacement destiné aux handicapés.

Notre système permet d'enregistrer les mouvements oculaires basé sur l'utilisation du principe de réflexion cornéenne et sur l'image acquise par une caméra. Après traitement de ces données le résultat est utilisé pour commander un châssis.

### **Perspective :**

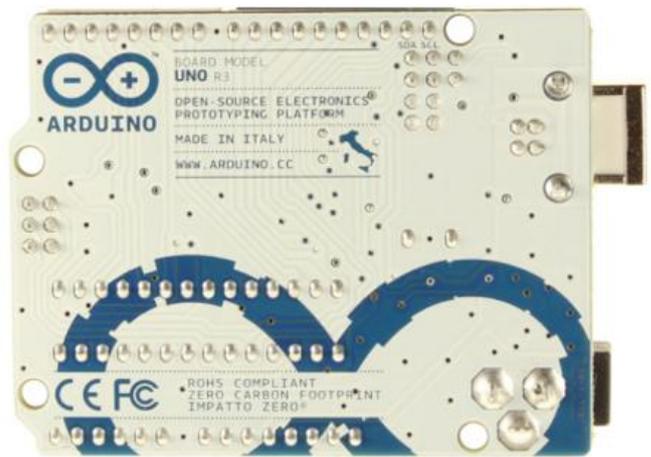
- Limitation de la position de la caméra de Raspberry pi dû au câble flex.
- L'ajout d'une commande pour le démarrage automatique et l'arrêt définitif du système par le sujet.
- L'intégration du dispositif sur un fauteuil roulant réel.

# Datasheet des composants

# Arduino Uno



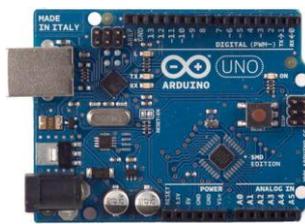
Arduino Uno R3 Front



Arduino Uno R3 Back



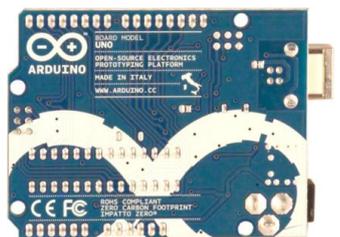
Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

## Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

| [Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

| [Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

## Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

## Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

**Note:** The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

## Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

## Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

## Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available . The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

## Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

## **USB Overcurrent Protection**

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

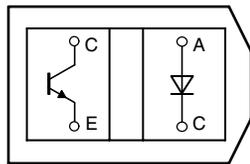
## **Physical Characteristics**

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

## Reflective Optical Sensor with Transistor Output



19156\_2



Top view

19156\_1

### FEATURES

- Package type: leaded
- Detector type: phototransistor
- Dimensions (L x W x H in mm): 10.2 x 5.8 x 7
- Peak operating distance: 2.5 mm
- Operating range within > 20 % relative collector current: 0.2 mm to 15 mm
- Typical output current under test:  $I_C = 1$  mA
- Daylight blocking filter
- Emitter wavelength: 950 nm
- Lead (Pb)-free soldering released
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



**RoHS**  
COMPLIANT

### DESCRIPTION

The TCRT5000 and TCRT5000L are reflective sensors which include an infrared emitter and phototransistor in a leaded package which blocks visible light. The package includes two mounting clips. TCRT5000L is the long lead version.

### APPLICATIONS

- Position sensor for shaft encoder
- Detection of reflective material such as paper, IBM cards, magnetic tapes etc.
- Limit switch for mechanical motions in VCR
- General purpose - wherever the space is limited

### PRODUCT SUMMARY

PART NUMBER	DISTANCE FOR MAXIMUM CTR <sub>rel</sub> (1) (mm)	DISTANCE RANGE FOR RELATIVE I <sub>out</sub> > 20 % (mm)	TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST (2) (mA)	DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED
TCRT5000	2.5	0.2 to 15	1	Yes
TCRT5000L	2.5	0.2 to 15	1	Yes

#### Notes

(1) CTR: current transfere ratio,  $I_{out}/I_{in}$

(2) Conditions like in table basic characteristics/sensors

### ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	VOLUME (1)	REMARKS
TCRT5000	Tube	MOQ: 4500 pcs, 50 pcs/tube	3.5 mm lead length
TCRT5000L	Tube	MOQ: 2400 pcs, 48 pcs/tube	15 mm lead length

#### Note

(1) MOQ: minimum order quantity

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT (EMITTER)</b>				
Reverse voltage		$V_R$	5	V
Forward current		$I_F$	60	mA
Forward surge current	$t_p \leq 10 \mu s$	$I_{FSM}$	3	A
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ C$	$P_V$	100	mW
Junction temperature		$T_j$	100	$^\circ C$

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>OUTPUT (DETECTOR)</b>				
Collector emitter voltage		$V_{CEO}$	70	V
Emitter collector voltage		$V_{ECO}$	5	V
Collector current		$I_C$	100	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 55\text{ }^\circ\text{C}$	$P_V$	100	mW
Junction temperature		$T_j$	100	$^\circ\text{C}$
<b>SENSOR</b>				
Total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	$P_{tot}$	200	mW
Ambient temperature range		$T_{amb}$	- 25 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		$T_{stg}$	- 25 to + 100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	2 mm from case, $t \leq 10\text{ s}$	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$

**Note**

(1)  $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

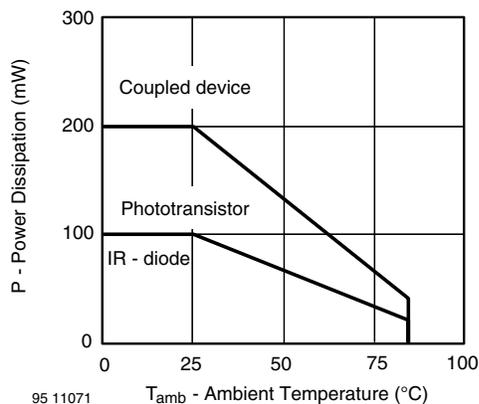


Fig. 1 - Power Dissipation Limit vs. Ambient Temperature

BASIC CHARACTERISTICS (1)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>INPUT (EMITTER)</b>						
Forward voltage	$I_F = 60\text{ mA}$	$V_F$		1.25	1.5	V
Junction capacitance	$V_R = 0\text{ V}$ , $f = 1\text{ MHz}$	$C_j$		17		pF
Radiant intensity	$I_F = 60\text{ mA}$ , $t_p = 20\text{ ms}$	$I_e$			21	mW/sr
Peak wavelength	$I_F = 100\text{ mA}$	$\lambda_P$	940			nm
Virtual source diameter	Method: 63 % encircled energy	$d$		2.1		mm
<b>OUTPUT (DETECTOR)</b>						
Collector emitter voltage	$I_C = 1\text{ mA}$	$V_{CEO}$	70			V
Emitter collector voltage	$I_e = 100\text{ }\mu\text{A}$	$V_{ECO}$	7			V
Collector dark current	$V_{CE} = 20\text{ V}$ , $I_F = 0\text{ A}$ , $E = 0\text{ lx}$	$I_{CEO}$		10	200	nA
<b>SENSOR</b>						
Collector current	$V_{CE} = 5\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ , $D = 12\text{ mm}$	$I_C^{(2)(3)}$	0.5	1	2.1	mA
Collector emitter saturation voltage	$I_F = 10\text{ mA}$ , $I_C = 0.1\text{ mA}$ , $D = 12\text{ mm}$	$V_{CEsat}^{(2)(3)}$			0.4	V

**Note**

(1)  $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

(2) See figure 3

(3) Test surface: mirror (Mfr. Spindler a. Hoyer, Part No. 340005)

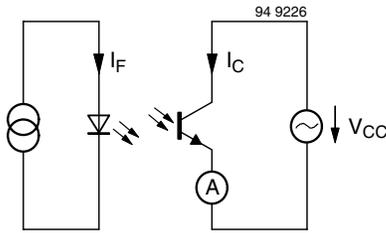


Fig. 2 - Test Circuit

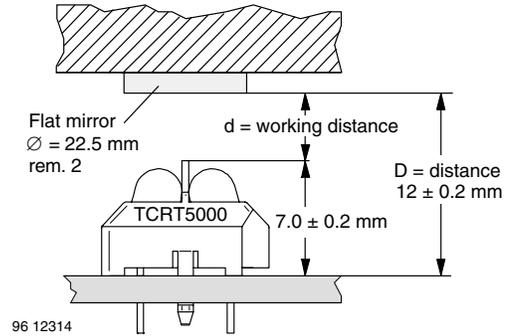
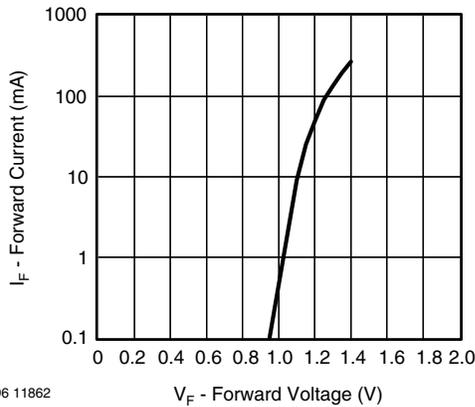


Fig. 3 - Test Circuit

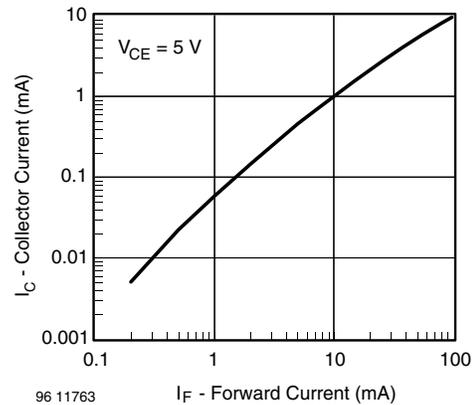
### BASIC CHARACTERISTICS

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified



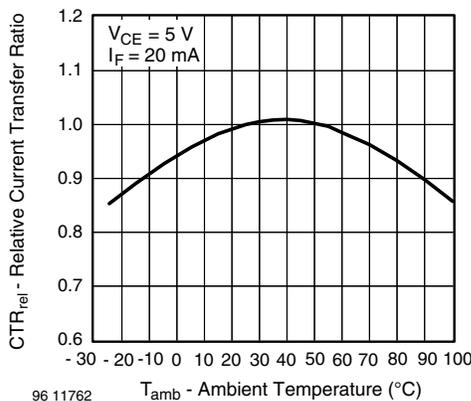
96 11862

Fig. 4 - Forward Current vs. Forward Voltage



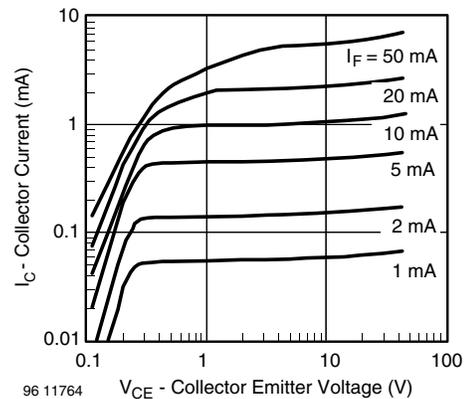
96 11763

Fig. 6 - Collector Current vs. Forward Current



96 11762

Fig. 5 - Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature



96 11764

Fig. 7 - Collector Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current

# TCRT5000, TCRT5000L



Vishay Semiconductors

Reflective Optical Sensor with Transistor Output

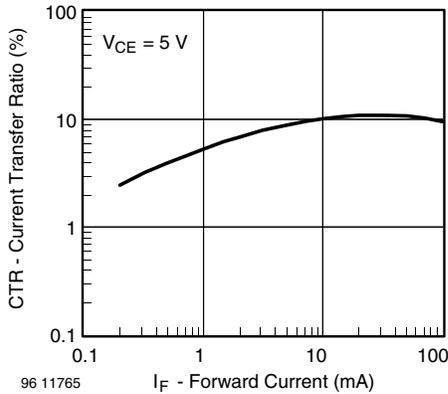


Fig. 8 - Current Transfer Ratio vs. Forward Current

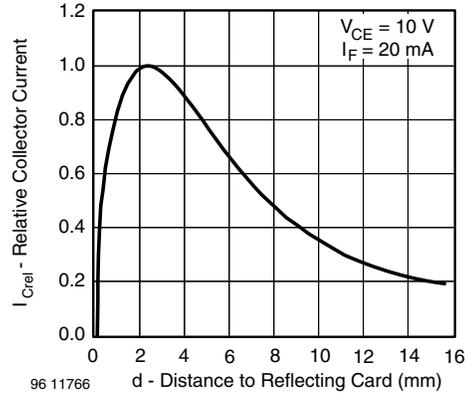
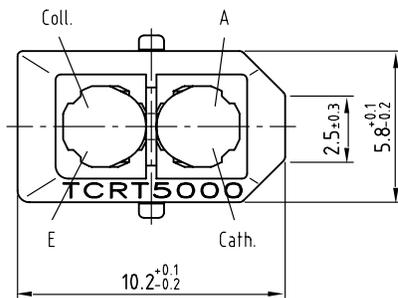
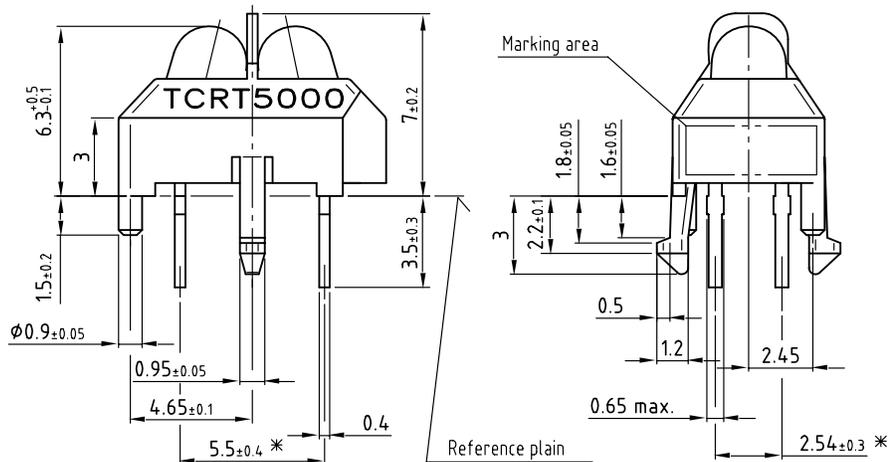


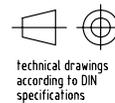
Fig. 9 - Relative Collector Current vs. Distance

## PACKAGE DIMENSIONS in millimeters, TCRT5000

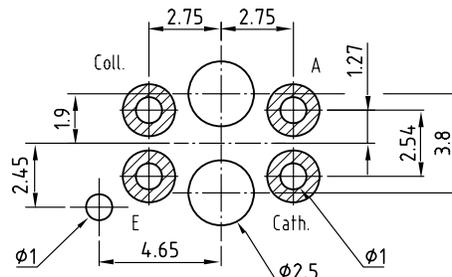


\* Tolerances related to reference plain

weight: ca. 0.23g



Footprint Top View



Drawing-No.: 6.550-5096.01-4

Issue: 4; 11.04.02

96 12073

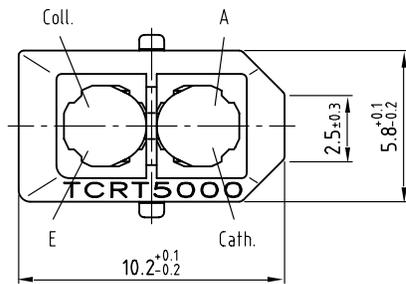
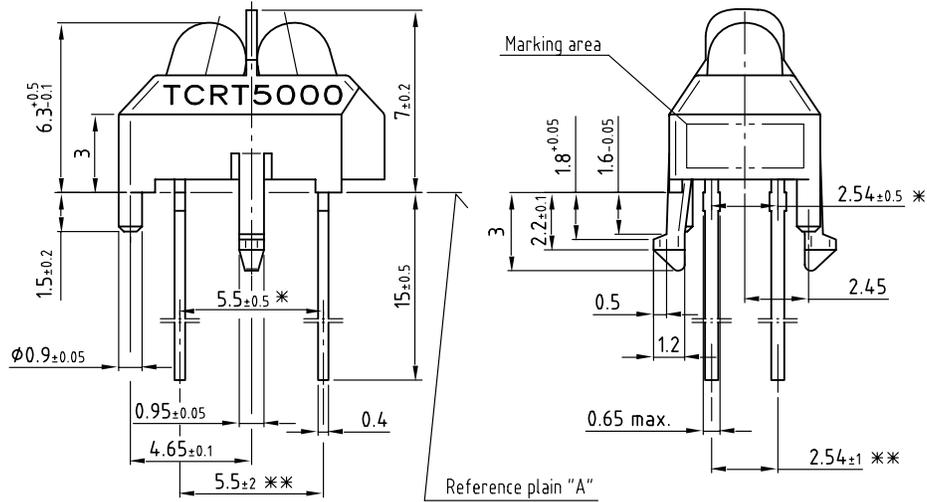


# TCRT5000, TCRT5000L

Reflective Optical Sensor with Transistor Output

Vishay Semiconductors

## PACKAGE DIMENSIONS in millimeters, TCRT5000L

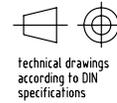


weight: ca. 0.23g

Drawing-No.: 6.550-5146.01-4  
Issue: 4; 11.04.02  
95 11267

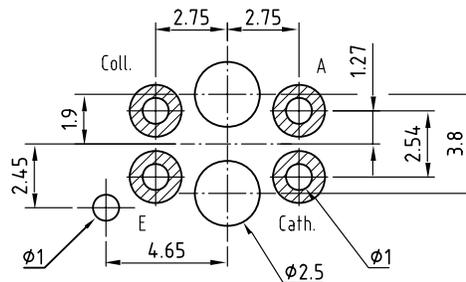
\* Tolerances related to reference plain "A"

\*\* Tolerances related on lead end



technical drawings according to DIN specifications

Footprint Top View



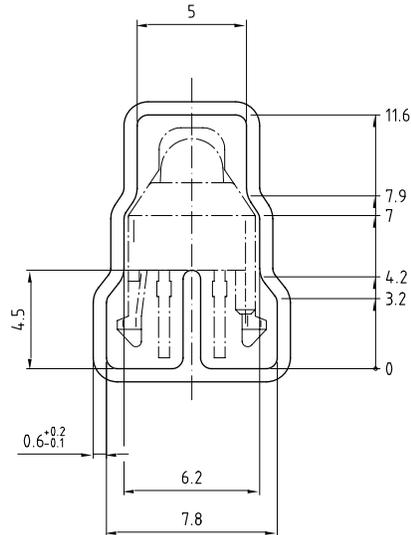
# TCRT5000, TCRT5000L



Vishay Semiconductors

Reflective Optical Sensor with Transistor Output

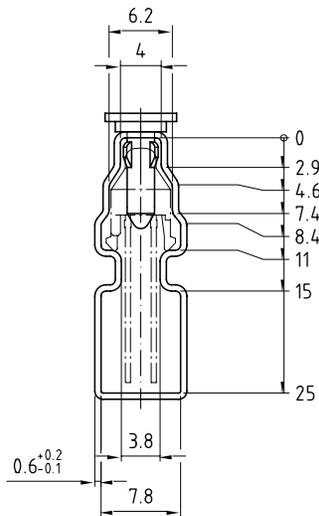
## TUBE DIMENSIONS in millimeters, TCRT5000



With rubber stopper  
Tolerance:  $\pm 0.5\text{mm}$   
Length:  $575 \pm 1\text{mm}$

Drawing-No.: 9.700-5139.01-4  
Issue: 1; 10.05.00  
20298

## TUBE DIMENSIONS in millimeters, TCRT5000L



With stopper pins  
Tolerance:  $\pm 0.5\text{mm}$   
Length:  $575 \pm 1\text{mm}$

Drawing-No.: 9.700-5178.01-4  
Issue: 1; 25.02.00  
20298



## Disclaimer

All product specifications and data are subject to change without notice.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained herein or in any other disclosure relating to any product.

Vishay disclaims any and all liability arising out of the use or application of any product described herein or of any information provided herein to the maximum extent permitted by law. The product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein, which apply to these products.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay.

The products shown herein are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications unless otherwise expressly indicated. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so entirely at their own risk and agree to fully indemnify Vishay for any damages arising or resulting from such use or sale. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

## Capteur à Ultrasons HC-SR04

### Caractéristiques du capteur Ultrasons HC-SR04

Le capteur à ultrasons HC-SR04 est capable de mesurer la distance des objets situés de 2cm à 400cm du capteur avec une précision de 3mm. Le capteur est composé d'un émetteur d'ultrasons, d'un récepteur et du circuit de commande.

Le principe de fonctionnement :

- (1) Envoyer un signal numérique à l'état haut sur l'émetteur pendant 10  $\mu$ s.
- (2) Le capteur envoie automatiquement 8 impulsions d'ultrasons à 40 kHz et détecte les signaux qui reviennent.
- (3) Si le signal revient, la durée de l'état haut du signal reçu correspond au temps entre l'émission des ultrasons et leur réception.

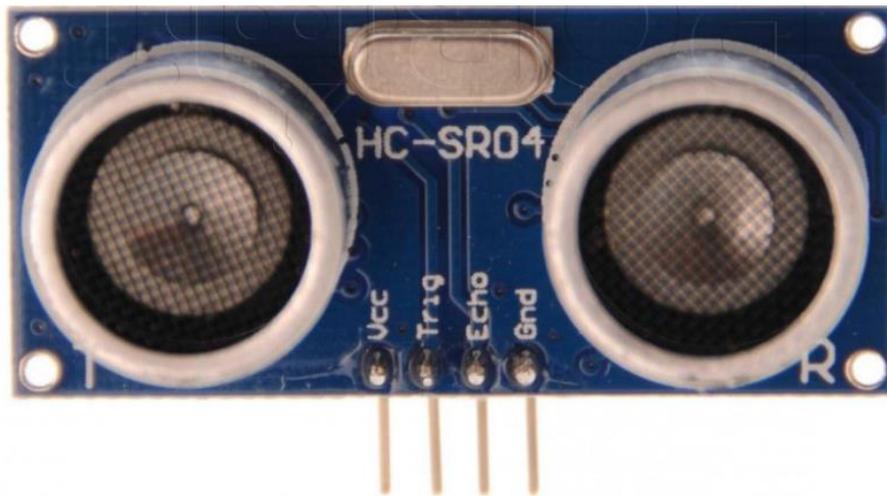
Calcul de la distance : Distance = (temps à l'état haut signal reçu \* vitesse du son)/2  
(vitesse du son dans l'air : 340 m/s).

### Connecteur du capteur

- Alimentation 5V
- Entrée émetteur d'impulsion d'ultrasons
- Sortie récepteur d'impulsion d'ultrasons
- Masse 0V

### Paramètres électriques

Tension d'alimentation	5V DC
Courant d'alimentation	15mA
Fréquence de travail	40Hz
Distance maximale de détection	4m
Distance minimale de détection	2cm
Angle de détection	15 degrés
Signal d'entrée de l'émetteur	Impulsion à l'état haut de 10 $\mu$ s
Signal de sortie du récepteur	Signal numérique à l'état haut et la distance proportionnellement
Dimension	45*20*15mm

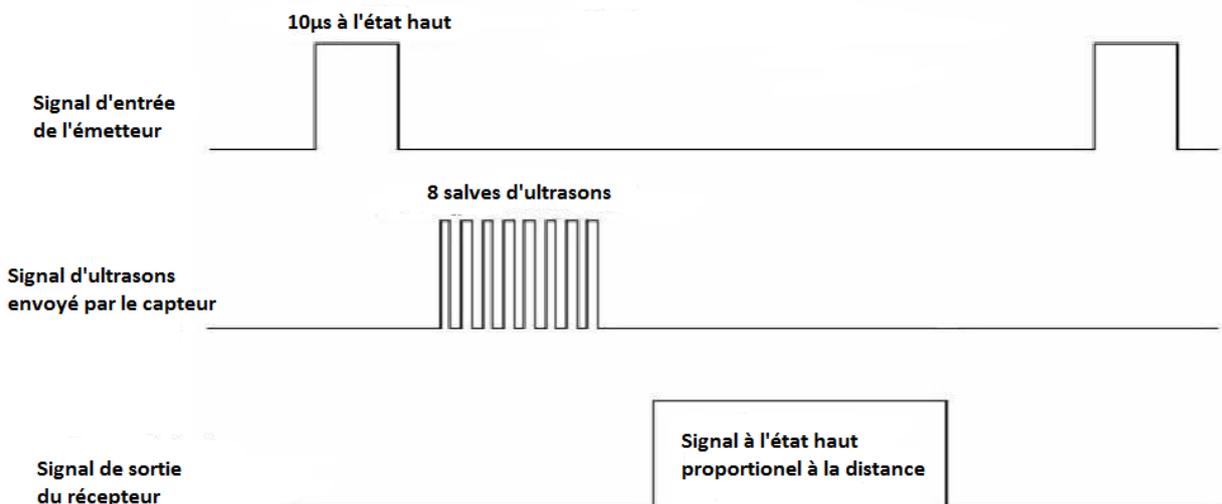


VCC Trig Echo GND

### Diagramme temporels :

Le diagramme temporel est affiché ci-dessous. Il faut fournir un signal à l'état haut pendant  $10\mu\text{s}$  à l'entrée de l'émetteur pour déclencher la salve d'ultrasons. Le module envoie ensuite 8 cycles d'ultrasons à 40 kHz et attend le signal reçu. Le récepteur reçoit un signal à l'état haut dont la durée est proportionnelle à la distance de l'objet perçu. Le calcul de la distance peut se faire grâce au temps mesuré entre le signal émis et le signal reçu (voir formule dans les caractéristiques).

Nous vous suggérons de laisser au moins 60ms entre chaque mesure pour laisser le temps au signal reflété par l'objet d'atteindre le récepteur du capteur.



**Attention :**

- Il n'est pas suggérer de brancher le capteur directement sur une source électrique. Si c'est le cas, la masse doit être connectée en première sinon cela affectera le bon fonctionnement du capteur.
- Les objets détectés doivent avoir une superficie supérieur à 0.5 m<sup>2</sup> et doivent être plutôt plats sinon cela affectera la mesure de distance.

[www.robot-maker.com](http://www.robot-maker.com)





# Raspberry Pi Camera Module

## 1/4-Inch 5-Megapixel Module Datasheet

Rev 1.0, Feb 2015

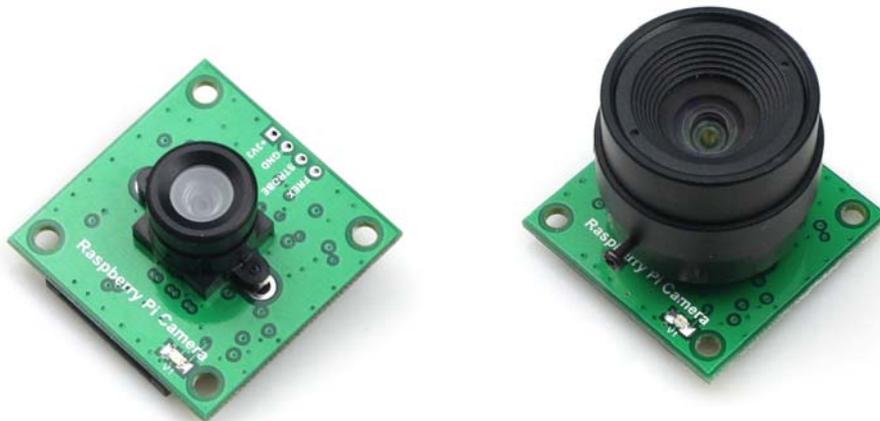


Table of Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Block Diagram</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Features</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Key Specifications</b> .....	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Application</b> .....	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Pin Definition</b> .....	<b>4</b>
<b>7</b>	<b>Lens Options</b> .....	<b>5</b>
<b>8</b>	<b>Mechanical Dimension</b> .....	<b>6</b>

# 1 Introduction

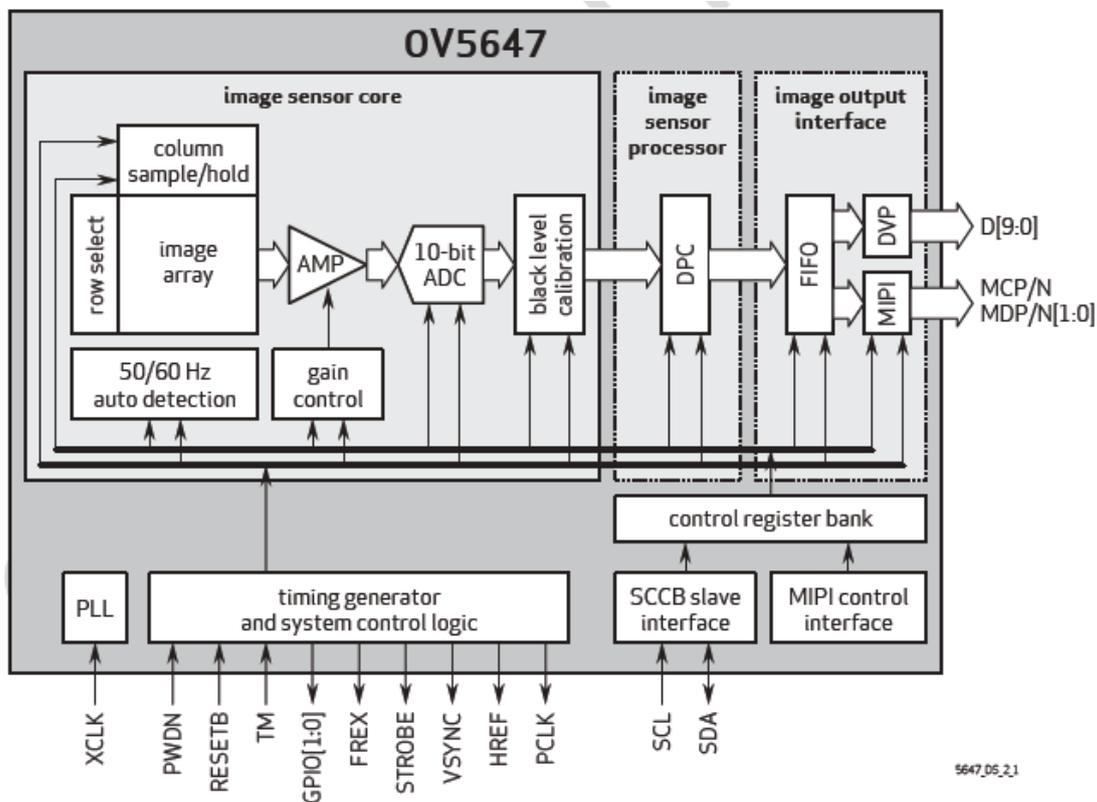
In order to meet the increasing need of Raspberry Pi compatible camera modules. The ArduCAM team now released a revision C add-on camera module for Raspberry Pi which is fully compatible with official one. It optimizes the optical performance than the previous Pi cameras, and give user a much clear and sharp image. Also it provides the FREX and STROBE signals which can be used for multi-camera synchronize capture with proper camera driver firmware.

It attaches to Raspberry Pi by way of one of the two small sockets on the board upper surface. This interface uses the dedicated CSI interface, which was designed especially for interfacing to cameras. The CSI bus is capable of extremely high data rates, and it exclusively carries pixel data. The camera is supported in the latest version of Raspbian, Raspberry Pi's preferred operating system

The board itself is tiny, at around 36mm x 36mm. The highlight of our module is that the Lens is replaceable compared to official one, making it perfect for mobile or other applications where size and image quality are important. It connects to Raspberry Pi by way of a short ribbon cable. The camera is connected to the BCM2835/BCM2836 processor on the Pi via the CSI bus, a higher bandwidth link which carries pixel data from the camera back to the processor. This bus travels along the ribbon cable that attaches the camera board to the Pi.

The sensor itself has a native resolution of 5 megapixel, and has a fixed focus lens onboard. In terms of still images, the camera is capable of 2592 x 1944 pixel static images, and also supports 1080p30, 720p60 and 640x480p60/90 video.

# 2 Block Diagram



Note: Raspberry Pi camera module only support MIPI interface, it doesn't support DVP interface..

### 3 Features

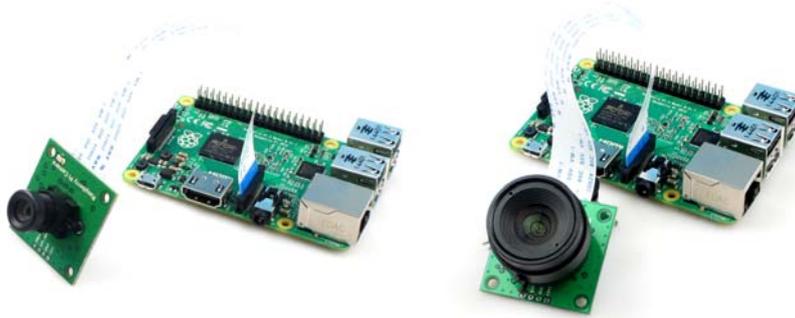
- High-Definition video camera for Raspberry Pi Model A/B/B+ and Raspberry Pi 2
- Omnivision OV5647 sensor in a fixed-focus module with replaceable Lens
- Lens holder: M12x0.5 , CS mount or C mount
- 5MPixel sensor
- Integral IR filter
- Still picture resolution: 2592 x 1944
- Max video resolution: 1080p
- Max frame rate: 30fps
- Support FREX/ STROBE feature
- Size: 36 x 36 mm
- 15 cm flat ribbon cable to 15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI) connector

### 4 Key Specifications

- **active array size:** 2592 x 1944
- **power supply:**
  - core: 1.5V  $\pm$  5% (with embedded 1.5V regulator)
  - analog: 2.6 ~ 3.0V (2.8V typical)
  - I/O: 1.7V ~ 3.0V
- **power requirements:**
  - active: TBD
  - standby: TBD
- **temperature range:**
  - operating: -30°C to 70°C (see [table 8-2](#))
  - stable image: 0°C to 50°C (see [table 8-2](#))
- **output formats:** 8-/10-bit RGB RAW output
- **lens size:** 1/4"
- **lens chief ray angle:** 24° (see [figure 10-2](#))
- **input clock frequency:** 6~27 MHz
- **S/N ratio:** TBD
- **dynamic range:** TBD
- **maximum image transfer rate:**
  - QSXGA (2592 x 1944): 15 fps
  - 1080p: 30 fps
  - 960p: 45 fps
  - 720p: 60 fps
  - VGA (640 x 480): 90 fps
  - QVGA (320 x 240): 120 fps
- **sensitivity:** TBD
- **shutter:** rolling shutter / global shutter
- **maximum exposure interval:** 1968 x  $t_{ROW}$
- **pixel size:** 1.4  $\mu$ m x 1.4  $\mu$ m
- **well capacity:** TBD
- **dark current:** TBD
- **fixed pattern noise (FPN):** TBD
- **image area:** 3673.6  $\mu$ m x 2738.4  $\mu$ m
- **die dimensions:** 5520  $\mu$ m x 4700  $\mu$ m

## 5 Application

- Cellular phones
- PDAs
- Toys
- Other battery-powered products
- Can be used in Raspberry Pi, ARM, DSP, FPGA platforms



## 6 Pin Definition

Table 1 P1 Connector Pin Definition

Pin No.	PIN NAME	TYPE	DESCRIPTION
1	DGND	Ground	Power ground
2	CAM_D0_N	Output	MIPI data lane0 negative output
3	CAM_D0_P	Output	MIPI data lane0 positive output
4	DGND	Ground	Power ground
5	CAM_D1_N	Output	MIPI data lane1 negative output
6	CAM_D1_P	Output	MIPI data lane1 positive output
7	DGND	Ground	Power ground
8	CAM_C_N	Output	MIPI clock negative output
9	CAM_C_P	Output	MIPI clock positive output
10	DGND	Ground	Power ground
11	POWER_EN	Input	Camera module power enable active high
12	LED_EN	Input	Reserved
13	SCL	Input	Two-Wire Serial Interface Clock
14	SDA	Bi-directional	Two-Wire Serial Interface Data I/O
15	+3.3V	POWER	3.3v Power supply

Table 2 P2 Connector Pin Definition

Pin No.	PIN NAME	TYPE	DESCRIPTION
1	+3.3V	POWER	3.3v Power supply
2	DGND	Ground	Power ground
3	STROBE	Output	Strobe output
4	FREX	input	Frame exposure control

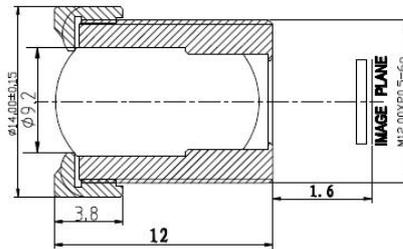
## 7 Lens Options

The Raspberry Pi camera shipped with default LS-40136 (M12x0.5 mount) and LS-6018 (CS mount), Lenses specification list as follows. Please contact us [admin@arducam.com](mailto:admin@arducam.com) for more lens options.

### LS-40136 Lens Specification

- A. Specification: **LS-40136**
1. sensor size: 1/4"
  2. focal length(EFL): **3.2** mm
  3. F/NO(infinity): **2.0**
  4. back focal length: **1.6** mm
  6. Field of view:
    - Diagonal, **85°**;
    - Horzongtal: **63.7°**;
    - Vertical: **70°**;
  7. Thread size: **M12\*P0.5**
  8. Element: **5E+IR**

B. Layout

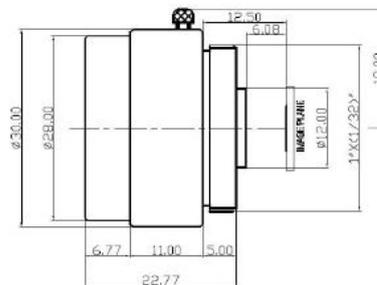


### LS-6018 Lens Specification

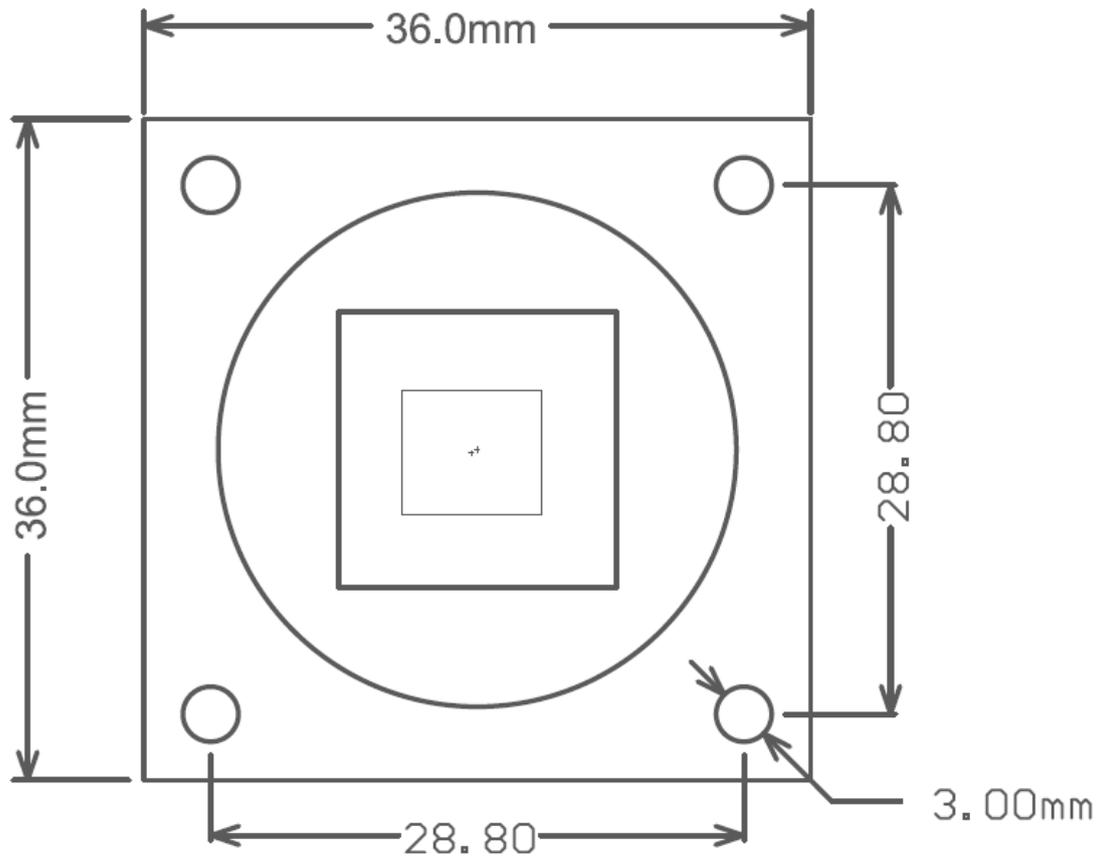
## 技术参数

Technical parameters

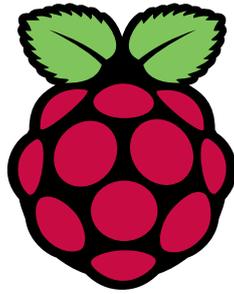
型号 Model No.	LS-6018CS	视场角 Field of View	68°
焦距 Focal Length	6.0MM	外型尺寸 Dimensions	Φ28*24.2mm
通光口径 Aperture(F)	1.4	近摄距离 M.O.D(m)	0.1
接口 Mount	CS	净重 Weight(g)	29.0
靶面尺寸 Format	1/2.7"	备注 Remarks	<b>Metal</b>



## 8 Mechanical Dimension



# **DATASHEET**



**Raspberry Pi Compute Module (CM1)**

**Raspberry Pi Compute Module 3 (CM3)**

**Raspberry Pi Compute Module 3 Lite (CM3L)**

**Version 1.0, October 2016**

**Copyright 2016 Raspberry Pi (Trading) Ltd. All rights reserved.**



Table 1: Revision History

<b>Revision</b>	<b>Date</b>	<b>Description</b>
1.0	13/10/2016	First release



## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Features</b>	<b>6</b>
2.1	Hardware . . . . .	6
2.2	Peripherals . . . . .	6
2.3	Software . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Block Diagram</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Mechanical Specification</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Pin Assignments</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Electrical Specification</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Power Supplies</b>	<b>14</b>
7.1	Supply Sequencing . . . . .	15
7.2	Power Requirements . . . . .	15
<b>8</b>	<b>Booting</b>	<b>16</b>
<b>9</b>	<b>Peripherals</b>	<b>17</b>
9.1	GPIO . . . . .	17
9.1.1	GPIO Alternate Functions . . . . .	18
9.1.2	Secondary Memory Interface (SMI) . . . . .	19
9.1.3	Display Parallel Interface (DPI) . . . . .	19
9.1.4	SD/SDIO Interface . . . . .	20
9.2	CSI (MIPI Serial Camera) . . . . .	20
9.3	DSI (MIPI Serial Display) . . . . .	20
9.4	USB . . . . .	20
9.5	HDMI . . . . .	20
9.6	Composite (TV Out) . . . . .	21
<b>10</b>	<b>Thermals</b>	<b>21</b>
10.1	Temperature Range . . . . .	21
<b>11</b>	<b>Availability</b>	<b>21</b>
<b>12</b>	<b>Support</b>	<b>21</b>



## List of Figures

1	CM1 Block Diagram . . . . .	7
2	CM3/CM3L Block Diagram . . . . .	8
3	CM1 Mechanical Dimensions . . . . .	9
4	CM3 and CM3L Mechanical Dimensions . . . . .	10
5	Digital IO Characteristics . . . . .	14



## List of Tables

1	Revision History . . . . .	1
2	Compute Module SODIMM Connector Pinout . . . . .	11
3	Pin Functions . . . . .	12
4	Absolute Maximum Ratings . . . . .	13
5	DC Characteristics . . . . .	13
6	Digital I/O Pin AC Characteristics . . . . .	14
7	Power Supply Operating Ranges . . . . .	15
8	Mimimum Power Supply Requirements . . . . .	16
9	GPIO Bank0 Alternate Functions . . . . .	18
10	GPIO Bank1 Alternate Functions . . . . .	19



## 1 Introduction

The Raspberry Pi Compute Module (CM1), Compute Module 3 (CM3) and Compute Module 3 Lite (CM3L) are DDR2-SODIMM-mechanically-compatible System on Modules (SoMs) containing processor, memory, eMMC Flash (for CM1 and CM3) and supporting power circuitry. These modules allow a designer to leverage the Raspberry Pi hardware and software stack in their own custom systems and form factors. In addition these module have extra IO interfaces over and above what is available on the Raspberry Pi model A/B boards opening up more options for the designer.

The CM1 contains a BCM2835 processor (as used on the original Raspberry Pi and Raspberry Pi B+ models), 512MByte LPDDR2 RAM and 4Gbytes eMMC Flash. The CM3 contains a BCM2837 processor (as used on the Raspberry Pi 3), 1Gbyte LPDDR2 RAM and 4Gbytes eMMC Flash. Finally the CM3L product is the same as CM3 except the eMMC Flash is not fitted, and the SD/eMMC interface pins are available for the user to connect their own SD/eMMC device.

Note that the BCM2837 processor is an evolution of the BCM2835 processor. The only real differences are that the BCM2837 can address more RAM (up to 1Gbyte) and the ARM CPU complex has been upgraded from a single core ARM11 in BCM2835 to a Quad core Cortex A53 with dedicated 512Kbyte L2 cache in BCM2837. All IO interfaces and peripherals stay the same and hence the two chips are largely software and hardware compatible.

The pinout of CM1 and CM3 are identical. Apart from the CPU upgrade and increase in RAM the other significant hardware differences to be aware of are that CM3 has grown from 30mm to 31mm in height, the VBAT supply can now draw significantly more power under heavy CPU load, and the HDMI\_HPD\_N\_1V8 (GPIO46\_1V8 on CM1) and EMMC\_EN\_N\_1V8 (GPIO47\_1V8 on CM1) are now driven from an IO expander rather than the processor. If a designer of a CM1 product has a suitably specified VBAT, can accommodate the extra 1mm module height increase and has followed the design rules with respect to GPIO46\_1V8 and GPIO47\_1V8 then a CM3 should work fine in a board designed for a CM1.



## 2 Features

### 2.1 Hardware

- Low cost
- Low power
- High availability
- High reliability
  - Tested over millions of Raspberry Pis Produced to date
  - Module IO pins have 35u hard gold plating

### 2.2 Peripherals

- 48x GPIO
- 2x I2C
- 2x SPI
- 2x UART
- 2x SD/SDIO
- 1x HDMI 1.3a
- 1x USB2 HOST/OTG
- 1x DPI (Parallel RGB Display)
- 1x NAND interface (SMI)
- 1x 4-lane CSI Camera Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 2-lane CSI Camera Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 4-lane DSI Display Interface (up to 1Gbps per lane)
- 1x 2-lane DSI Display Interface (up to 1Gbps per lane)

### 2.3 Software

- ARMv6 (CM1) or ARMv7 (CM3, CM3L) Instruction Set
- Mature and stable Linux software stack
  - Latest Linux Kernel support
  - Many drivers upstreamed
  - Stable and well supported userland
  - Full availability of GPU functions using standard APIs



### 3 Block Diagram

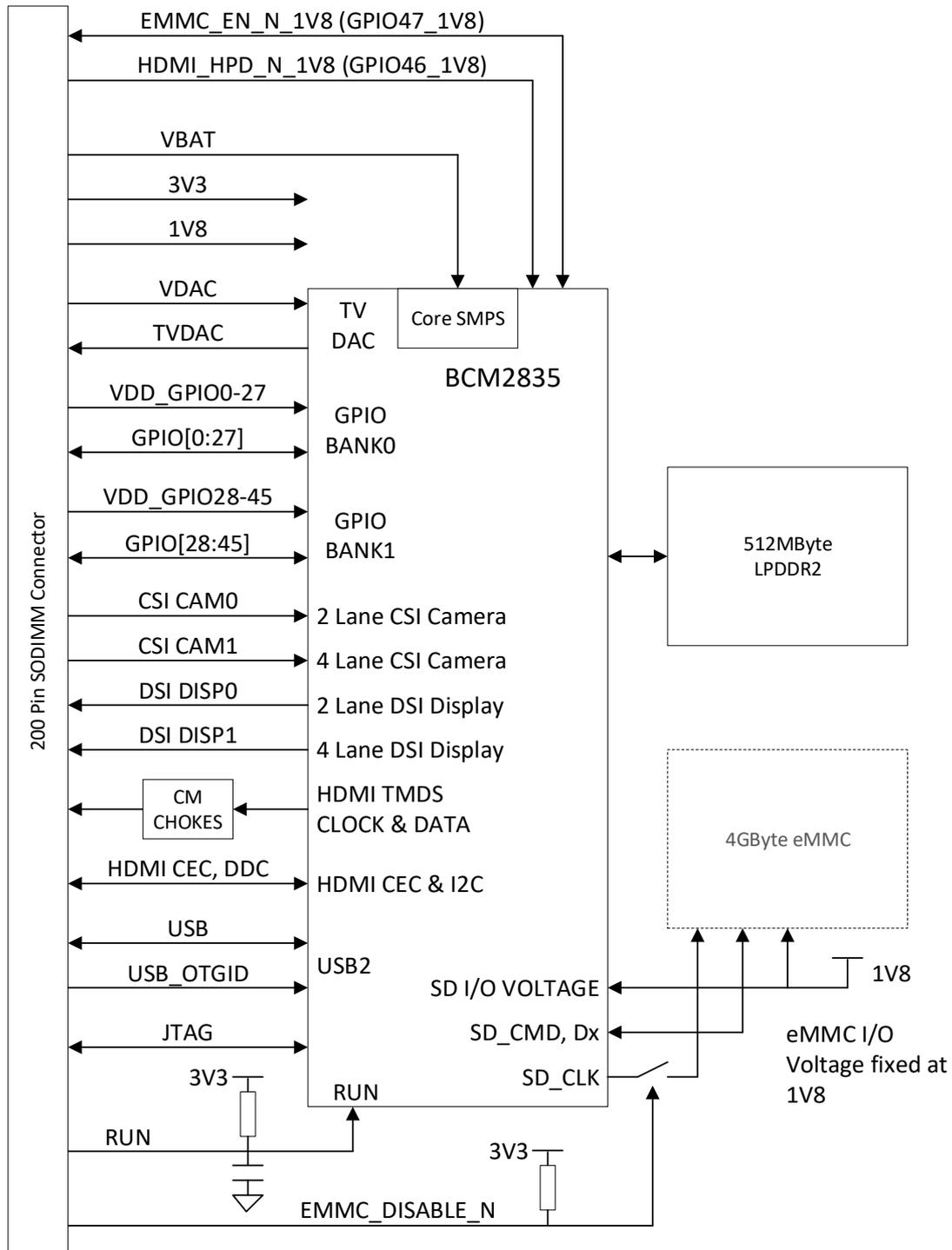


Figure 1: CM1 Block Diagram

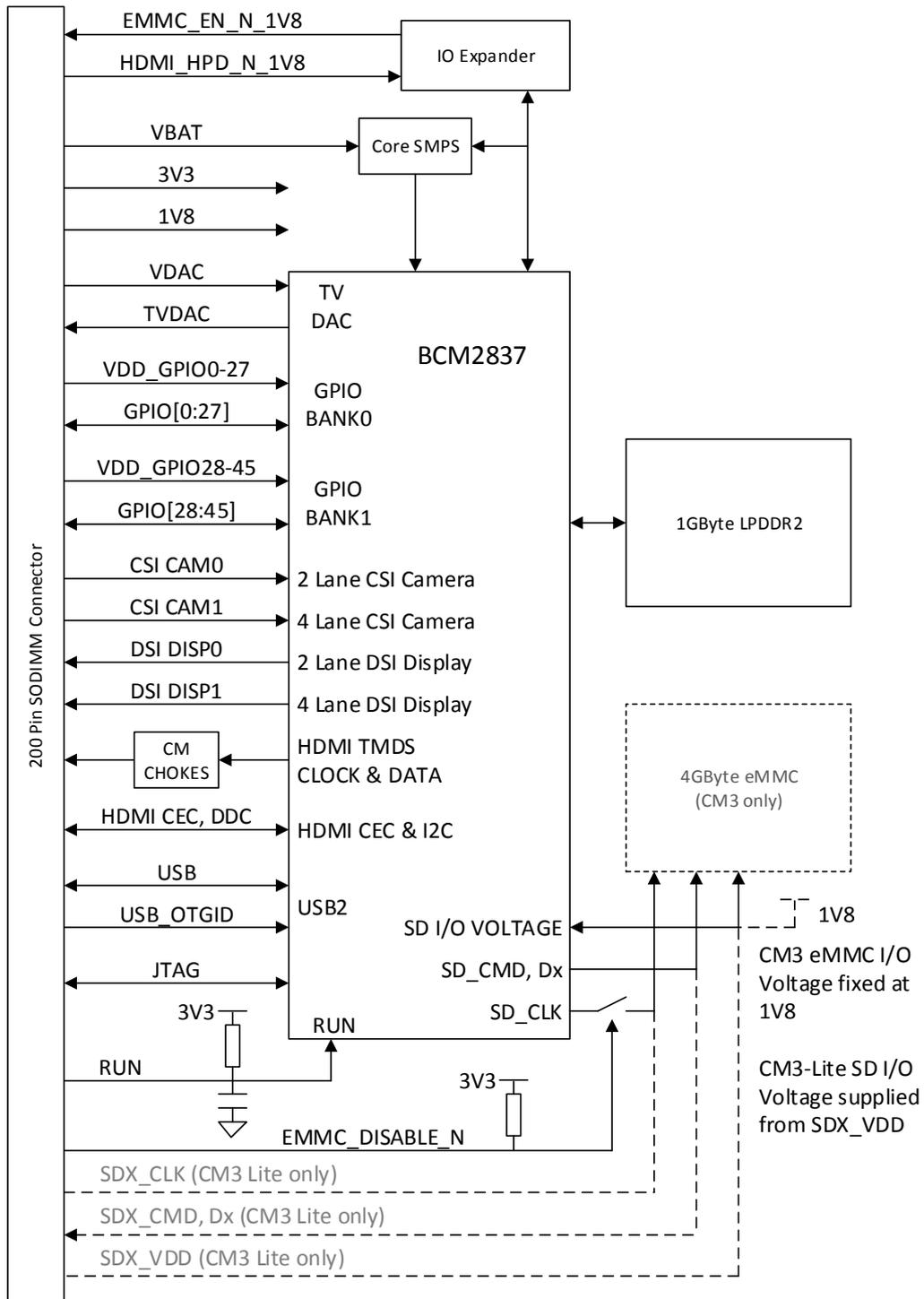


Figure 2: CM3/CM3L Block Diagram



## 4 Mechanical Specification

The Compute Modules conform to JEDEC MO-224 mechanical specification for 200 pin DDR2 (1.8V) SODIMM modules (with the exception that the CM3, CM3L modules are 31mm in height rather than 30mm of CM1) and therefore should work with the many DDR2 SODIMM sockets available on the market. **(Please note that the pinout of the Compute Module is not the same as a DDR2 SODIMM module; they are not electrically compatible.)**

The SODIMM form factor was chosen as a way to provide the 200 pin connections using a standard, readily available and low cost connector compatible with low cost PCB manufacture.

The maximum component height on the underside of the Compute Module is 1.2mm.

The maximum component height on the top side of the Compute Module is 1.5mm.

The Compute Module PCB thickness is 1.0mm +/- 0.1mm.

Note that the location and arrangement of components on the Compute Module may change slightly over time due to revisions for cost and manufacturing considerations; however, maximum component heights and PCB thickness will be kept as specified.

Figure 3 gives the CM1 mechanical dimensions. Figure 4 gives the CM3 and CM3L mechanical dimensions.

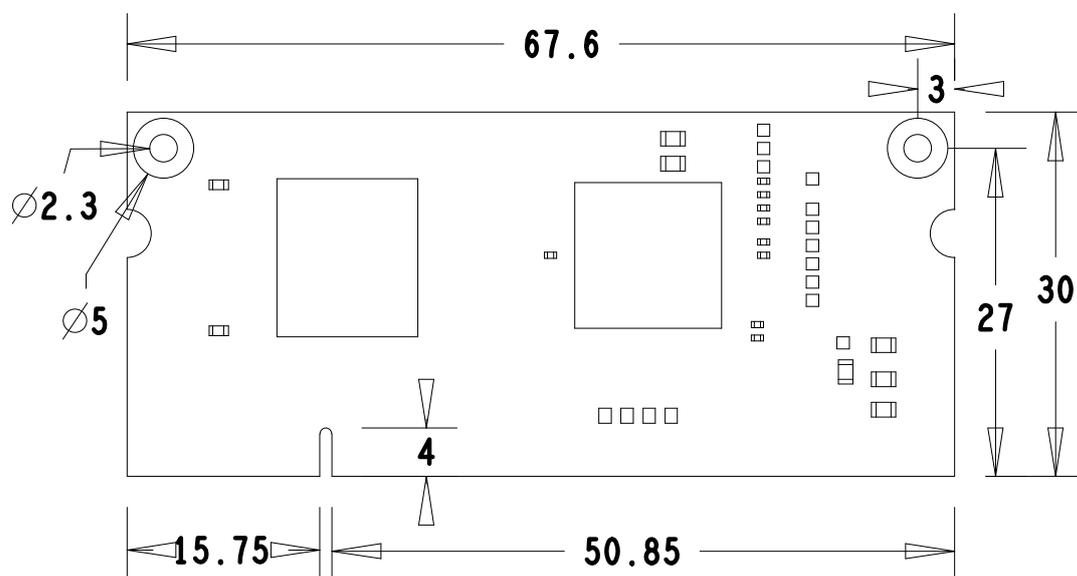


Figure 3: CM1 Mechanical Dimensions

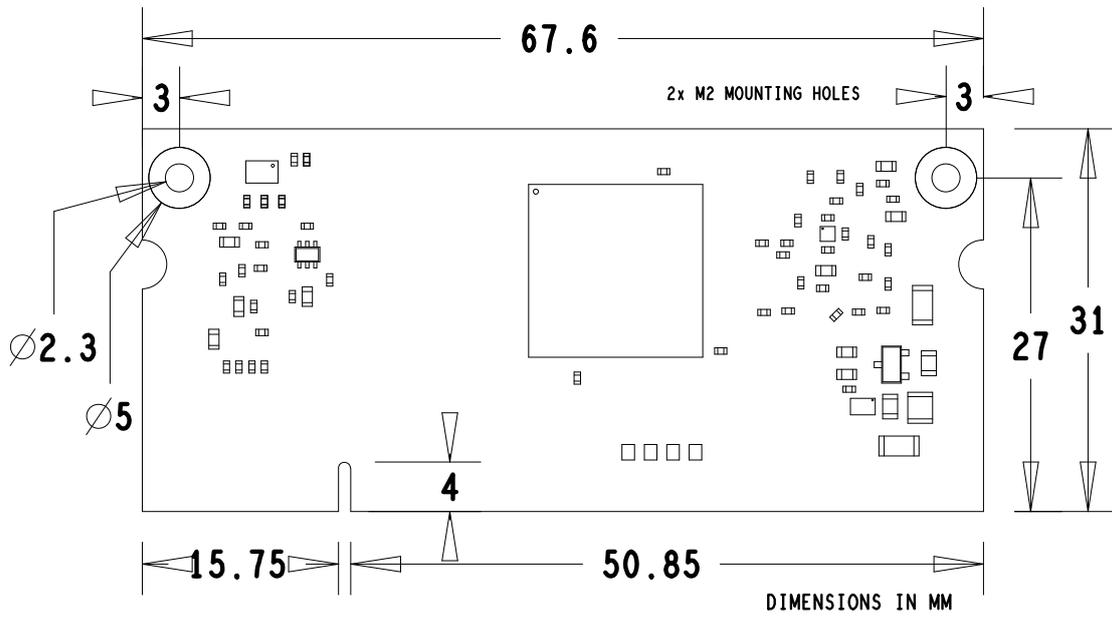


Figure 4: CM3 and CM3L Mechanical Dimensions



## 5 Pin Assignments

CM1	CM3-Lite	CM3	PIN	PIN	CM3	CM3-Lite	CM1
	GND		1	2	EMMC_DISABLE_N		
	GPIO0		3	4	NC	SDX_VDD	NC
	GPIO1		5	6	NC	SDX_VDD	NC
	GND		7	8	GND		NC
	GPIO2		9	10	NC	SDX_CLK	NC
	GPIO3		11	12	NC	SDX_CMD	NC
	GND		13	14	GND		NC
	GPIO4		15	16	NC	SDX_D0	NC
	GPIO5		17	18	NC	SDX_D1	NC
	GND		19	20	GND		NC
	GPIO6		21	22	NC	SDX_D2	NC
	GPIO7		23	24	NC	SDX_D3	NC
	GND		25	26	GND		
	GPIO8		27	28	GPIO28		
	GPIO9		29	30	GPIO29		
	GND		31	32	GND		
	GPIO10		33	34	GPIO30		
	GPIO11		35	36	GPIO31		
	GND		37	38	GND		
	GPIO0-27_VDD		39	40	GPIO0-27_VDD		
					KEY		
	GPIO28-45_VDD		41	42	GPIO28-45_VDD		
	GND		43	44	GND		
	GPIO12		45	46	GPIO32		
	GPIO13		47	48	GPIO33		
	GND		49	50	GND		
	GPIO14		51	52	GPIO34		
	GPIO15		53	54	GPIO35		
	GND		55	56	GND		
	GPIO16		57	58	GPIO36		
	GPIO17		59	60	GPIO37		
	GND		61	62	GND		
	GPIO18		63	64	GPIO38		
	GPIO19		65	66	GPIO39		
	GND		67	68	GND		
	GPIO20		69	70	GPIO40		
	GPIO21		71	72	GPIO41		
	GND		73	74	GND		
	GPIO22		75	76	GPIO42		
	GPIO23		77	78	GPIO43		
	GND		79	80	GND		
	GPIO24		81	82	GPIO44		
	GPIO25		83	84	GPIO45		
	GND		85	86	GND		
	GPIO26		87	88	HDMI_HPD_N_1V8	GPIO46_1V8	
	GPIO27		89	90	EMMC_EN_N_1V8	GPIO47_1V8	
	GND		91	92	GND		
	DSIO_DN1		93	94	DSI1_DP0		
	DSIO_DP1		95	96	DSI1_DN0		
	GND		97	98	GND		
	DSIO_DN0		99	100	DSI1_CP		
	DSIO_DP0		101	102	DSI1_CN		
	GND		103	104	GND		
	DSIO_CN		105	106	DSI1_DP3		
	DSIO_CP		107	108	DSI1_DN3		
	GND		109	110	GND		
	HDMI_CLK_N		111	112	DSI1_DP2		
	HDMI_CLK_P		113	114	DSI1_DN2		
	GND		115	116	GND		
	HDMI_D0_N		117	118	DSI1_DP1		
	HDMI_D0_P		119	120	DSI1_DN1		
	GND		121	122	GND		
	HDMI_D1_N		123	124	NC		
	HDMI_D1_P		125	126	NC		
	GND		127	128	NC		
	HDMI_D2_N		129	130	NC		
	HDMI_D2_P		131	132	NC		
	GND		133	134	GND		
	CAM1_DP3		135	136	CAM0_DP0		
	CAM1_DN3		137	138	CAM0_DN0		
	GND		139	140	GND		
	CAM1_DP2		141	142	CAM0_CP		
	CAM1_DN2		143	144	CAM0_CN		
	GND		145	146	GND		
	CAM1_CP		147	148	CAM0_DP1		
	CAM1_CN		149	150	CAM0_DN1		
	GND		151	152	GND		
	CAM1_DP1		153	154	NC		
	CAM1_DN1		155	156	NC		
	GND		157	158	NC		
	CAM1_DP0		159	160	NC		
	CAM1_DN0		161	162	NC		
	GND		163	164	GND		
	USB_DP		165	166	TVDAC		
	USB_DM		167	168	USB_OTGID		
	GND		169	170	GND		
	HDMI_CEC		171	172	VC_TRST_N		
	HDMI_SDA		173	174	VC_TDI		
	HDMI_SCL		175	176	VC_TMS		
	RUN		177	178	VC_TDO		
	VDD_CORE (DO NOT CONNECT)		179	180	VC_TCK		
	GND		181	182	GND		
	1V8		183	184	1V8		
	1V8		185	186	1V8		
	GND		187	188	GND		
	VDAC		189	190	VDAC		
	3V3		191	192	3V3		
	3V3		193	194	3V3		
	GND		195	196	GND		
	VBAT		197	198	VBAT		
	VBAT		199	200	VBAT		

Table 2: Compute Module SODIMM Connector Pinout

Table 2 gives the Compute Module pinout and Table 3 gives the Compute Module pin functions.



Pin Name	DIR	Voltage Ref	PDN <sup>a</sup> State	If Unused	Description/Notes
<b><i>RUN and Boot Control (see text for usage guide)</i></b>					
RUN	I	3V3 <sup>b</sup>	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_DISABLE_N	I	3V3 <sup>b</sup>	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_EN_N_1V8	O	1V8	Pull High	Leave open	Has internal 2k2 pull up
<b><i>GPIO</i></b>					
GPIO[27:0]	I/O	GPIO0-27_VDD	Pull or Hi-Z <sup>c</sup>	Leave open	GPIO Bank 0
GPIO[45:28]	I/O	GPIO28-45_VDD	Pull or Hi-Z <sup>c</sup>	Leave open	GPIO Bank 1
<b><i>Primary SD Interface<sup>d,e</sup></i></b>					
SDX_CLK	O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CLK
SDX_CMD	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CMD
SDX_Dx	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface DATA
<b><i>USB Interface</i></b>					
USB_Dx	I/O	-	Z	Leave open	Serial interface
USB_OTGID	I	3V3		Tie to GND	OTG pin detect
<b><i>HDMI Interface</i></b>					
HDMI_SCL	I/O	3V3 <sup>b</sup>	Z <sup>f</sup>	Leave open	DDC Clock (5.5V tolerant)
HDMI_SDA	I/O	3V3 <sup>b</sup>	Z <sup>f</sup>	Leave open	DDC Data (5.5V tolerant)
HDMI_CEC	I/O	3V3	Z	Leave open	CEC (has internal 27k pull up)
HDMI_CLKx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial clock
HDMI_Dx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial data
HDMI_HPD_N_1V8	I	1V8	Pull High	Leave open	HDMI hotplug detect
<b><i>CAM0 (CSI0) 2-lane Interface</i></b>					
CAM0_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM0_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
<b><i>CAM1 (CSI1) 4-lane Interface</i></b>					
CAM1_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM1_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
<b><i>DSI0 (Display 0) 2-lane Interface</i></b>					
DSI0_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI0_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
<b><i>DSI1 (Display 1) 4-lane Interface</i></b>					
DSI1_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI1_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
<b><i>TV Out</i></b>					
TVDAC	O	-	Z	Leave open	Composite video DAC output
<b><i>JTAG Interface</i></b>					
TMS	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TRST_N	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TCK	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDI	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDO	O	3V3	O	Leave open	Has internal 50k pull up

<sup>a</sup> The PDN column indicates power-down state (when RUN pin LOW)

<sup>b</sup> Must be driven by an open-collector driver

<sup>c</sup> GPIO have software enabled pulls which keep state over power-down

<sup>d</sup> Only available on Lite variants

<sup>e</sup> The CM will always try to boot from this interface first

<sup>f</sup> Requires external pull-up resistor to 5V as per HDMI spec

Table 3: Pin Functions



## 6 Electrical Specification

**Caution!** Stresses above those listed in Table 4 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
V <sub>BAT</sub>	Core SMPS Supply	-0.5	6.0	V
3V3	3V3 Supply Voltage	-0.5	4.10	V
1V8	1V8 Supply Voltage	-0.5	2.10	V
V <sub>DAC</sub>	TV DAC Supply	-0.5	4.10	V
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	V
GPIO28-45_VDD	GPIO28-27 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	V
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	-0.5	4.10	V

Table 4: Absolute Maximum Ratings

DC Characteristics are defined in Table 5

Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
$V_{IL}$	Input low voltage <sup>a</sup>	VDD_IO = 1.8V	-	-	0.6	V
		VDD_IO = 2.7V	-	-	0.8	V
$V_{IH}$	Input high voltage <sup>a</sup>	VDD_IO = 1.8V	1.0	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V	1.3	-	-	V
$I_{IL}$	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	5	μA
$C_{IN}$	Input capacitance	-	-	5	-	pF
$V_{OL}$	Output low voltage <sup>b</sup>	VDD_IO = 1.8V, I <sub>OL</sub> = -2mA	-	-	0.2	V
		VDD_IO = 2.7V, I <sub>OL</sub> = -2mA	-	-	0.15	V
$V_{OH}$	Output high voltage <sup>b</sup>	VDD_IO = 1.8V, I <sub>OH</sub> = 2mA	1.6	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V, I <sub>OH</sub> = 2mA	2.5	-	-	V
$I_{OL}$	Output low current <sup>c</sup>	VDD_IO = 1.8V, V <sub>O</sub> = 0.4V	12	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, V <sub>O</sub> = 0.4V	17	-	-	mA
$I_{OH}$	Output high current <sup>c</sup>	VDD_IO = 1.8V, V <sub>O</sub> = 1.4V	10	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, V <sub>O</sub> = 2.3V	16	-	-	mA
$R_{PU}$	Pullup resistor	-	50	-	65	kΩ
$R_{PD}$	Pulldown resistor	-	50	-	65	kΩ

<sup>a</sup> Hysteresis enabled

<sup>b</sup> Default drive strength (8mA)

<sup>c</sup> Maximum drive strength (16mA)

Table 5: DC Characteristics



AC Characteristics are defined in Table 6 and Fig. 5.

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	$t_{rise}$	10-90% rise time <sup>a</sup>	-	1.6	-	ns
Digital outputs	$t_{fall}$	90-10% fall time <sup>a</sup>	-	1.7	-	ns
GPCLK	$t_{JOSC}$	Oscillator-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	20	ps
GPCLK	$t_{JPLL}$	PLL-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	48	ps

<sup>a</sup> Default drive strength, CL = 5pF, VDD\_IOx = 3.3V

Table 6: Digital I/O Pin AC Characteristics

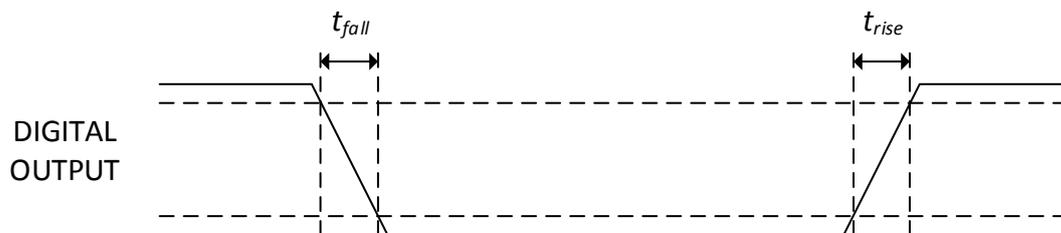


Figure 5: Digital IO Characteristics

## 7 Power Supplies

The Compute Module has six separate supplies that must be present and powered at all times; you cannot leave any of them unpowered, even if a specific interface or GPIO bank is unused. The six supplies are as follows:

1. VBAT is used to power the BCM283x processor core. It feeds the SMPS that generates the chip core voltage.
2. 3V3 powers various BCM283x PHYs, IO and the eMMC Flash.
3. 1V8 powers various BCM283x PHYs, IO and SDRAM.
4. VDAC powers the composite (TV-out) DAC.
5. GPIO0-27\_VREF powers the GPIO 0-27 IO bank.
6. GPIO28-45\_VREF powers the GPIO 28-45 IO bank.



Supply	Description	Minimum	Typical	Maximum	Unit
VBAT	Core SMPS Supply	2.5	-	5.0 + 5%	V
3V3	3V3 Supply Voltage	3.3 - 5%	3.3	3.3 + 5%	V
1V8	1V8 Supply Voltage	1.8 - 5%	1.8	1.8 + 5%	V
VDAC	TV DAC Supply <sup>a</sup>	2.5 - 5%	2.8	3.3 + 5%	V
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V
GPIO28-45_VDD	GPIO28-27 I/O Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V

<sup>a</sup> Requires a clean 2.5-2.8V supply if TV DAC is used, else connect to 3V3

Table 7: Power Supply Operating Ranges

## 7.1 Supply Sequencing

Supplies should be staggered so that the highest voltage comes up first, then the remaining voltages in descending order. This is to avoid forward biasing internal (on-chip) diodes between supplies, and causing latch-up. Alternatively supplies can be synchronised to come up at exactly the same time as long as at no point a lower voltage supply rail voltage exceeds a higher voltage supply rail voltage.

## 7.2 Power Requirements

Exact power requirements will be heavily dependent upon the individual use case. If an on-chip subsystem is unused, it is usually in a low power state or completely turned off. For instance, if your application does not use 3D graphics then a large part of the core digital logic will never turn on and need power. This is also the case for camera and display interfaces, HDMI, USB interfaces, video encoders and decoders, and so on.

Powerchain design is critical for stable and reliable operation of the Compute Module. We strongly recommend that designers spend time measuring and verifying power requirements for their particular use case and application, as well as paying careful attention to power supply sequencing and maximum supply voltage tolerance.

Table 8 specifies the recommended minimum power supply outputs required to power the Compute Module.



Supply	Minimum Requirement	Unit
VBAT (CM1)	2000 <sup>a</sup>	mW
VBAT (CM3,3L)	3500 <sup>a</sup>	mW
3V3	250	mA
1V8	250	mA
VDAC	25	mA
GPIO0-27_VDD	50 <sup>b</sup>	mA
GPIO28-45_VDD	50 <sup>b</sup>	mA
SDX_VDD	50 <sup>b</sup>	mA

<sup>a</sup> Recommended minimum. Actual power drawn is very dependent on use-case

<sup>b</sup> Each GPIO can supply up to 16mA, aggregate current per bank must not exceed 50mA

Table 8: Minimum Power Supply Requirements

## 8 Booting

The 4GB eMMC Flash device on CM3 is directly connected to the primary BCM2837 SD/eMMC interface. These connections are not accessible on the module pins. On CM3L this SD interface is available on the SDX\_ pins.

When initially powered on, or after the RUN pin has been held low and then released, the BCM2837 will try to access the primary SD/eMMC interface. It will then look for a file called bootcode.bin on the primary partition (which must be FAT) to start booting the system. If it cannot access the SD/eMMC device or the boot code cannot be found, it will fall back to waiting for boot code to be written to it over USB; in other words, its USB port is in slave mode waiting to accept boot code from a suitable host.

A USB boot tool is available on Github which allows a host PC running Linux to write the BCM2837 boot code over USB to the module. That boot code then runs and provides access to the SD/eMMC as a USB mass storage device, which can then be read and written using the host PC. Note that a Raspberry Pi can be used as the host machine. For those using Windows a precompiled and packaged tool is available. For more information see [here](#).

The Compute Module has a pin called EMMC\_DISABLE\_N which when shorted to GND will disable the SD/eMMC interface (by physically disconnecting the SD\_CMD pin), forcing BCM2837 to boot from USB. Note that when the eMMC is disabled in this way, it takes a couple of seconds from powering up for the processor to stop attempting to talk to the SD/eMMC device and fall back to booting from USB.

Note that once booted over USB, BCM2837 needs to re-enable the SD/eMMC device (by releasing EMMC\_DISABLE\_N) to allow access to it as mass storage. It expects to be able to do this by driving the EMMC\_EN\_N\_1V8 pin LOW, which at boot is initially an input with a pull up to 1V8. If an end user wishes to add the ability to access the SD/eMMC over USB in their product, similar circuitry to that used on the Compute Module IO Board to enable/disable the USB boot and SD/eMMC must be used; that is, EMMC\_DISABLE\_N pulled low via MOSFET(s) and released again by MOSFET, with the gate controlled by EMMC\_EN\_N\_1V8. Ensure you use MOSFETs suitable for switching at 1.8V (i.e. use a device with gate threshold voltage,  $V_t$ , suitable for 1.8V switching).



## 9 Peripherals

### 9.1 GPIO

BCM283x has in total 54 GPIO lines in 3 separate voltage banks. All GPIO pins have at least two alternative functions within the SoC. When not used for the alternate peripheral function, each GPIO pin may be set as an input (optionally as an interrupt) or an output. The alternate functions are usually peripheral I/Os, and most peripherals appear twice to allow flexibility on the choice of I/O voltage.

On CM1, CM3 and CM3L bank2 is used on the module to connect to the eMMC device and, on CM3 and CM3L, for an on-board I2C bus (to talk to the core SMPS and control the special function pins). On CM3L most of bank 2 is exposed to allow a user to connect their choice of SD card or eMMC device (if required).

Bank0 and 1 GPIOs are available for general use. GPIO0 to GPIO27 are bank 0 and GPIO28-45 make up bank1. GPIO0-27\_VDD is the power supply for bank0 and GPIO28-45\_VDD is the power supply for bank1. SDX\_VDD is the supply for bank2 on CM3L. These supplies can be in the range 1.8V-3.3V (see Table 7) and are not optional; each bank must be powered, even when none of the GPIOs for that bank are used.

**Note that the HDMI\_HPD\_N\_1V8 and EMMC\_EN\_N\_1V8 pins (on CM1 these were called GPIO46\_1V8 and GPIO47\_1V8 respectively) are 1.8V IO and are used for special functions (HDMI hot plug detect and boot control respectively). Please do not use these pins for any other purpose, as the software for the Compute Module will always expect these pins to have these special functions. If they are unused please leave them unconnected.**

All GPIOs except GPIO28, 29, 44 and 45 have weak in-pad pull-ups or pull-downs enabled when the device is powered on. It is recommended to add off-chip pulls to GPIO28, 29, 44 and 45 to make sure they never float during power on and initial boot.



### 9.1.1 GPIO Alternate Functions

GPIO	Default						
	Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
0	High	SDA0	SA5	PCLK	-	-	-
1	High	SCL0	SA4	DE	-	-	-
2	High	SDA1	SA3	LCD_VSYNC	-	-	-
3	High	SCL1	SA2	LCD_HSYNC	-	-	-
4	High	GPCLK0	SA1	DPI.D0	-	-	ARM_TDI
5	High	GPCLK1	SA0	DPI.D1	-	-	ARM_TDO
6	High	GPCLK2	SOE_N	DPI.D2	-	-	ARM_RTCK
7	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	DPI.D3	-	-	-
8	High	SPI0_CE0_N	SD0	DPI.D4	-	-	-
9	Low	SPI0_MISO	SD1	DPI.D5	-	-	-
10	Low	SPI0_MOSI	SD2	DPI.D6	-	-	-
11	Low	SPI0_SCLK	SD3	DPI.D7	-	-	-
12	Low	PWM0	SD4	DPI.D8	-	-	ARM_TMS
13	Low	PWM1	SD5	DPI.D9	-	-	ARM_TCK
14	Low	TXD0	SD6	DPI.D10	-	-	TXD1
15	Low	RXD0	SD7	DPI.D11	-	-	RXD1
16	Low	FL0	SD8	DPI.D12	CTS0	SPI1_CE2_N	CTS1
17	Low	FL1	SD9	DPI.D13	RTS0	SPI1_CE1_N	RTS1
18	Low	PCM_CLK	SD10	DPI.D14	-	SPI1_CE0_N	PWM0
19	Low	PCM_FS	SD11	DPI.D15	-	SPI1_MISO	PWM1
20	Low	PCM_DIN	SD12	DPI.D16	-	SPI1_MOSI	GPCLK0
21	Low	PCM_DOUT	SD13	DPI.D17	-	SPI1_SCLK	GPCLK1
22	Low	SD0_CLK	SD14	DPI.D18	SD1_CLK	ARM_TRST	-
23	Low	SD0_CMD	SD15	DPI.D19	SD1_CMD	ARM_RTCK	-
24	Low	SD0_DAT0	SD16	DPI.D20	SD1_DAT0	ARM_TDO	-
25	Low	SD0_DAT1	SD17	DPI.D21	SD1_DAT1	ARM_TCK	-
26	Low	SD0_DAT2	TE0	DPI.D22	SD1_DAT2	ARM_TDI	-
27	Low	SD0_DAT3	TE1	DPI.D23	SD1_DAT3	ARM_TMS	-

Table 9: GPIO Bank0 Alternate Functions



GPIO	Default						
	Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
28	None	SDA0	SA5	PCM_CLK	FL0	-	-
29	None	SCL0	SA4	PCM_FS	FL1	-	-
30	Low	TE0	SA3	PCM_DIN	CTS0	-	CTS1
31	Low	FL0	SA2	PCM_DOUT	RTS0	-	RTS1
32	Low	GPCLK0	SA1	RING_OCLK	TXD0	-	TXD1
33	Low	FL1	SA0	TE1	RXD0	-	RXD1
34	High	GPCLK0	SOE_N	TE2	SD1_CLK	-	-
35	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	-	SD1_CMD	-	-
36	High	SPI0_CE0_N	SD0	TXD0	SD1_DAT0	-	-
37	Low	SPI0_MISO	SD1	RXD0	SD1_DAT1	-	-
38	Low	SPI0_MOSI	SD2	RTS0	SD1_DAT2	-	-
39	Low	SPI0_SCLK	SD3	CTS0	SD1_DAT3	-	-
40	Low	PWM0	SD4	-	SD1_DAT4	SPI2_MISO	TXD1
41	Low	PWM1	SD5	TE0	SD1_DAT5	SPI2_MOSI	RXD1
42	Low	GPCLK1	SD6	TE1	SD1_DAT6	SPI2_SCLK	RTS1
43	Low	GPCLK2	SD7	TE2	SD1_DAT7	SPI2_CE0_N	CTS1
44	None	GPCLK1	SDA0	SDA1	TE0	SPI2_CE1_N	-
45	None	PWM1	SCL0	SCL1	TE1	SPI2_CE2_N	-

Table 10: GPIO Bank1 Alternate Functions

Table 9 and Table 10 detail the default pin pull state and available alternate GPIO functions. Most of these alternate peripheral functions are described in detail in the Broadcom Peripherals Specification document and have Linux drivers available.

### 9.1.2 Secondary Memory Interface (SMI)

The SMI peripheral is an asynchronous NAND type bus supporting Intel mode80 type transfers at 8 or 16 bit widths and available in the ALT1 positions on GPIO banks 0 and 1 (see Table 9 and Table 10). It is not publicly documented in the Broadcom Peripherals Specification but a Linux driver is available in the Raspberry Pi Github Linux repository (`bcm2835_smi.c` in `linux/drivers/misc`).

### 9.1.3 Display Parallel Interface (DPI)

A standard parallel RGB (DPI) interface is available on bank 0 GPIOs. This up-to-24-bit parallel interface can support a secondary display. Again this interface is not documented in the Broadcom Peripherals Specification but documentation can be found [here](#).



#### 9.1.4 SD/SDIO Interface

The BCM283x supports two SD card interfaces, SD0 and SD1.

The first (SD0) is a proprietary Broadcom controller that does not support SDIO and is the primary interface used to boot and talk to the eMMC or SDX\_x signals.

The second interface (SD1) is standards compliant and can interface to SD, SDIO and eMMC devices; for example on a Raspberry Pi 3 it is used to talk to the on-board BCM43438 WiFi device in SDIO mode.

Both interfaces can support speeds up to 50MHz single ended (SD High Speed Mode).

### 9.2 CSI (MIPI Serial Camera)

Currently the CSI interface is not openly documented and only CSI camera sensors supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface. Supported sensors are the OmniVision OV5647 and Sony IMX219.

It is recommended to attach other cameras via USB.

### 9.3 DSI (MIPI Serial Display)

Currently the DSI interface is not openly documented and only DSI displays supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface.

Displays can also be added via the parallel DPI interface which is available as a GPIO alternate function - see Table 9 and Section 9.1.3

### 9.4 USB

The BCM283x USB port is On-The-Go (OTG) capable. If using either as a fixed slave or fixed master, please tie the USB\_OTGID pin to ground.

The USB port (Pins USB\_DP and USB\_DM) must be routed as 90 ohm differential PCB traces.

Note that the port is capable of being used as a true OTG port however there is no official documentation. Some users have had success making this work.

### 9.5 HDMI

BCM283x supports HDMI V1.3a.

It is recommended that users follow a similar arrangement to the Compute Module IO Board circuitry for HDMI output.

The HDMI CK\_P/N (clock) and D0-D2\_P/N (data) pins must each be routed as matched length 100 ohm differential PCB traces. It is also important to make sure that each differential pair is closely phase matched. Finally, keep HDMI traces well away from other noise sources and as short as possible.

Failure to observe these design rules is likely to result in EMC failure.



## 9.6 Composite (TV Out)

The TVDAC pin can be used to output composite video (PAL or NTSC). Please route this signal away from noise sources and use a 75 ohm PCB trace.

Note that the TV DAC is powered from the VDAC supply which must be a clean supply of 2.5-2.8V. It is recommended users generate this supply from 3V3 using a low noise LDO.

If the TVDAC output is not used VDAC can be connected to 3V3, but it must be powered even if the TV-out functionality is unused.

## 10 Thermals

The BCM283x SoC employs DVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling) on the core voltage. When the processor is idle (low CPU utilisation), it will reduce the core frequency and voltage to reduce current draw and heat output. When the core utilisation exceeds a certain threshold the core voltage is increased and the core frequency is boosted to the maximum working frequency. The voltage and frequency are throttled back when the CPU load reduces back to an 'idle' level OR when the silicon temperature as measured by the on-chip temperature sensor exceeds 85C (thermal throttling).

A designer must pay careful attention to the thermal design of products using the CM3/CM3L so that performance is not artificially curtailed due to the processor thermal throttling, as the Quad ARM complex in the BCM2837 can generate significant heat output.

### 10.1 Temperature Range

The operating temperature range of the module is set by the lowest maximum and highest minimum of any of the components used.

The eMMC and LPDDR2 have the narrowest range, these are rated for -25 to +80 degrees Celsius. Therefore the nominal range for the CM3 and CM3L is -25C to +80C.

However, this range is the maximum for the silicon die; therefore, users would have to take into account the heat generated when in use and make sure this does not cause the temperature to exceed 80 degrees Celsius.

## 11 Availability

Raspberry Pi guarantee availability of CM1, CM3 and CM3 Lite until at least January 2023.

## 12 Support

For support please see the hardware documentation section of the Raspberry Pi website and post questions to the Raspberry Pi forum.

## Résumé

L'être humain a une tendance naturelle à faire appel à ses yeux pour communiquer avec les autres. C'est pourquoi la technique de la commande oculaire ou le balayage visuel constitue le meilleur mode d'accès à un dispositif de communication pour les personnes handicapées motrices et qui souffrent d'une incapacité de parler.

Ce projet a pour objet de développer un système de mesures de suivi oculaire permettant d'enregistrer les mouvements des yeux par l'utilisation de capteur à réflexion cornéenne, une caméra et une carte d'acquisition.

L'acquisition des signaux et des images sont faites par la carte Raspberry pi 3. Cette dernière est programmée par le logiciel python qui permet de faire le traitement du signal et d'images obtenues par les différents capteurs. Les résultats du traitement sont la commande du fauteuil roulant.

## Abstract

The human being has a natural tendency to call on his eyes to communicate with others. This is why the technique of eye control or visual scanning is the best way to access a communication device for people with motor disabilities and who suffer from an inability to speak.

The purpose of this project is to develop a system of eye tracking measurements to record eye movements through the use of a corneal reflection sensor, a camera and an acquisition card.

The acquisition of the signals and images are made by the Raspberry pi 3 card. This card is programmed by the python software which allows to process the signal and images obtained by the different sensors. The results of the treatment are the control of the wheelchair.

## المخلص

الانسان لديه ميل طبيعي لاستعمال عينيه للتواصل مع الاخرين . ما جعل تقنية التحكم بالعين أو المسح البصري هي أفضل طريقة للوصول إلى جهاز اتصال للأشخاص ذوي الإعاقة الحركية والذين يعانون من عدم القدرة على الكلام.

يهدف هذا المشروع إلى تطوير نظام لقياسات تتبع العين لتسجيل حركات العين من خلال استخدام مستشعر انعكاس القرنية وكاميرا وبطاقة معالجة. يتم الحصول على الإشارات والصور بواسطة بطاقة الازبيري باي 3. حيث تتم برمجة هذه الاخيرة بواسطة برنامج بايثون الذي يسمح بمعالجة الإشارات والصور التي تم الحصول عليها بواسطة أجهزة الاستشعار المختلفة. النتيجة هي التحكم في الكرسي المتحرك .