



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

Laboratoire de Recherche 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 : ZAHY Amel et CHETITAH Imane

**ETUDE ET REALISATION DU CIRCUIT DE MISE
EN FORME DU SIGNAL EOG**

Soutenu le 14 juin 2016 devant le Jury

M.	SOULIMANE Sofiane	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Président
M.	DIB Nabil	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Encadreur
M.	HAMZA CHERIF Lotfi	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Co-Encadreur
Melle	HABIBES Naïma	<i>MAA</i>	Université de Tlemcen	Examinatrice

Année universitaire 2015-2016

Remerciement

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH le tout puissant qui nous a donné la patience et le courage durant ces années d'étude.

Nous tenons à remercier notre encadreur DIB Nabil professeur à l'Université d'Abou Bakr BELKAID, de nous avoir accueillie dans son équipe et d'avoir accepté de diriger ce travail. Sa rigueur scientifique, sa disponibilité et ses qualités humaines nous ont profondément touchée.

Notre gratitude s'adresse aussi à Mr. BEREKSI REGUIEG Fethi, Chef Filière du Génie Biomédical et Responsable du Laboratoire de Recherche à l'Université de Tlemcen, et Mr KERAI Salim Chef Département du Génie Biomédical. Merci à vous pour vos encouragements, vos conseils précieux et vos enseignements.

Nous tenons à remercier sincèrement les membres du jury qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail Mr SOULIMANE Sofiane, M^{elle} HABIBES Naima et le Co-Encadrent Mr HAMZA CHERIF Lotfi.

Nous remercions tous les étudiants de la promo d'INB pour leurs encouragements, pour l'ambiance agréable tout au long de ce travail et pour son présence dans les moments difficiles.

Nous n'oublions pas dans nos remerciements tout le personnel de département de Génie Biomédical.

Merci à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

Et enfin, nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace:

A mes très chers parents

Aucun mot, aucune dédicace ne peut exprimer mon respect et l'amour éternel pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être.

Votre générosité et votre bonneté ont toujours été un exemple pour nous tous.

Trouvez en ce travail le fruit de votre dévouement, de votre patience et l'expression de ma gratitude et mon profond amour. Je t'aime papa, je t'aime maman et sachez que je vous suis très reconnaissant.

A mes très chères sœur Amira et Wiaam, vous m'avez toujours soutenu toutes mes études, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de réussite.

A mon frère Mohammed Aymen, le fils de ma sœur Mouad Que Dieu, le tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie.

Imane, la personne avec laquelle j'ai partagé cette expérience et qui n'a cessé d'être pour moi un exemple de persévérance, de courage et de générosité.

A tous mes amies d'étude à l'université spécialement Soumia, Chahra et Hanane ainsi que les amies d'enfance Malika, Amina, Khaoula, Hafsa, hadjer et Souad.

A la mémoire de ma cousine Assia qui m'a quitté à l'âge de 21 ans, tu me manque bcp.



A toute ma famille,

A mes professeurs,

A mes chers amis,

A tous ceux qui m'aiment,

A tous ceux que j'aime,

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, Je dédie ce travail avec hommage.

AMEL

Dédicace:

Au nom d'Allah le tout puissant qui m'a donné la volonté et le courage pour réaliser ce que j'ai toujours espérer.

Je dédie ce modeste travail :

A mon père, qui a toujours cru en moi et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études.

A ma mère, Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté et la volonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

A mes chers frères Youssef, Ismail, Said, Oussama et Abd Rahman et mes chères sœurs Inchirah et Ftouma.

Que Dieu, le tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur et longue vie.

Amel, la personne avec laquelle j'ai partagé cette expérience et qui n'a cessé d'être pour moi un exemple de persévérance, de courage et de générosité.

A ma chère Nour qui a été toujours à mes côtés avec son précieux encouragement.

A tous mes chères amies et en particulier Soumia, Merci pour les bons moments qu'on a passé ensemble, de votre soutien et de votre serviabilité.

A toute ma famille et à Hafsa et Maroua.

A tous mes enseignants durant mon cursus.

A tous mes collègues de la filière du Génie Biomédicale.



IMANE

TABLE DES MATIERES :

Liste des figure	6
Introduction Générale	10

CHAPITRE 1 : ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE DE L'ŒIL

INTRODUCTION.....	12
I. ANATOMIE DE L'ŒIL	12
I.1. Œil	12
I.2. Structure De l'œil	13
I.3. Tuniques De l'œil	13
I.3.1. Tunique Fibreuse	13
I.3.2. Tunique Vasculaire (Uvée)	14
I.3.3. Tunique Sensitive (Rétine)	16
I.4. Chambres Et Liquides De l'œil	19
I.5. Cristallin	21
II. LA PERCEPTION VISUELLE : DE LA RETINE AU CERVEAU.....	22
II.1. Comment les messages nerveux sont-ils générés ?.....	22
II.2. Les caractéristiques de la vision	23
II.3. L'organisation des voies nerveuses qui conduisent les messages nerveux au cerveau	23
II.4. Les zones du cerveau mobilisées par la vision	24
III. PATHOLOGIES DE L'ŒIL.....	25
III.1. Yeux secs	25
III.2. Blépharite	26

III.3. Astigmatisme	26
III.4. Glaucome	27
III.5. Cataracte	28
III.6. Déchirure et décollement de la rétine	28
CONCLUSION.....	29

CHAPITRE 2 : ETUDE DE L'ELECTRO-OCULOGRAMME

INTRODUCTION.....	31
I. L'ELECTRO-OCULOGRAMMES	31
I.1. Définition	31
I.2. Déroulement de l'examen	32
I.3. Exemples d'application	34
I.4. Maladie de Best	34
I.5. Maladie de Stargardt.....	35
II. LE SCHEMA BLOC DE L'EOG	35
II.1. L'œil.....	36
II.2. Les électrodes	36
II.2.1. Critères de sélection d'une électrode.....	36
II.2.2. Electrodes pour les électro-oculogrammes	36
II.2.3. Electrodes de référence	36
II.2.4. Placement des électrodes de l'EOG	37
II.2.5. Les électrodes utilisées	37
II.3. Etage d'amplification	38

II.3.1.	L'amplificateur opérationnel	38
II.3.1.1.	Structure d'un amplificateur opérationnel.....	39
II.3.1.2.	Caractéristiques de l'amplificateur opérationnel	39
II.3.2.	L'amplificateur d'instrumentation	40
II.3.3.	Description de l'AD620	40
II.4.	Etage de filtrage.....	41
II.4.1.	Le filtre	41
II.4.2.	Les filtres passifs	41
II.4.2.1.	Les avantages.....	41
II.4.2.2.	Les inconvénients	42
II.4.3.	Filtre passe haut	42
II.4.4.	Les filtres Actifs	43
II.4.4.1.	Les avantages	43
II.4.4.2.	L'inconvénient	43
II.4.5.	Le filtre passe bas : Filtre de SALLEN ET KAY	44
II.5.	Présentation de l'ARDUINO.....	45
II.5.1.	Définition.....	45
II.5.2.	Les composants.....	46
II.5.3.	Les avantages	46
II.5.4.	Caractéristiques	46
II.5.5.	Alimentation.....	47
II.5.7.	La force de la carte Arduino provient du fait qu'elle.....	47

II.5.7. Les entrées analogiques	48
II.5.8. La conversion analogique-numérique.....	48
CONCLUSION	49

CHAPITRE 3 : ETUDE PRATIQUE DE L'EOG

INTRODUCTION	51
I. REALISATION DU CIRCUIT DE L'EOG.....	51
I.1. Proteus (ISIS et ARES).....	51
I.3. Logiciel ISIS.....	51
I.1.2. Logiciel ARES	52
I.2. Le circuit imprimé.....	53
II. RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	55
II.1. Etage de pré-amplification.....	55
II.2. Filtrage.....	56
II.2.1. Filtre passe haut.	56
II.2.2. Le filtre passe bas : Filtre de Sallen et Key.....	57
II.3. Etage d'amplification.....	58
II. APPLICATION DE L'EXAMEN D'ELECTRO-OCULOGRAPHIE SUR LES PATIENTS.....	60
III.1. Les Résultats.....	62
III.2. Offset.....	63
IV. PROGRAMMER ARDUINO UNO.....	63

IV.1.	Le langage de programmation.....	63
IV.2.	La structure du programme.....	64
IV.3.	La programmation sur Arduino est présentée dans la figure suivante.....	64
IV.4.	Coloration syntaxique.....	65
IV.6.	La syntaxe du langage	65
IV.6.1.	Ponctuation	65
IV.6.2.	Les variables	66
	Conclusion	67
	Conclusion générale	68
	Bibliographie	69
	Glossaire	71

liste des figures :

Chapitre I :

Figure I.1. Anatomie de surface de l'œil et de ses.....	12
Figure I.2. Structure interne de l'œil (coupe sagittale).....	13
Figure I.3. Photomicrographie a balayage électronique de la face postérieure d'une partie du cristallin, de son ligament suspenseur et du corps ciliaire.....	15
Figure I.4. Schéma des trois principaux types de neurones (photorécepteurs, cellules bipolaires et cellules ganglionnaires) de La couche nerveuse de la rétine.....	17
Figure I.5. Parois postérieure (fond) de la rétine vue à l'ophtalmoscope.....	18
Figure I.6. Structure révélées par une coupe transversale de la partie antérieure de l'œil...20	
Figure I.7. La maladie des yeux secs.....	26
Figure I.8. La maladie de la blépharite.....	26
Figure I.9. La maladie de l'astigmatisme.	27
Figure I.10. La maladie du glaucome.....	27
Figure I.11. La maladie de la cataracte.....	28
Figure I.12. La maladie de la déchirure et décollement de la rétine.....	29

Chapitre II :

Figure II.1. La courbe de l'EOG.....	31
Figure II.2. Potentiel électrique induit par les mouvements de la cornée.....	32
Figure II.3. Tracé d'électro-oculogramme normal.....	33
Figure II.4. Schéma bloc de l'électro-oculogramme.....	35

Figure II.5.Emplacement des électrodes de l’EOG.....	37
Figure II.6.Les électrodes de surface.....	38
Figure II.7.Symbole de l’amplificateur opérationnel.....	38
Figure II.8.Schéma de principe de l’amplificateur opérationnel.....	39
Figure II.9.Configuration de l’AD620.....	41
Figure II.10.Le schéma électrique du filtre passe haut.....	42
Figure II.11.La courbe du filtre passe haut.....	43
Figure II.12.Le schéma électrique du filtre SALLEN et KAY.....	44
Figure II.13.La carte Arduino Uno.....	45
Figure II.14. Emplacement des entrées analogiques d'une carte Arduino UNO.....	48
Figure II.15. Echantillonnage d’un signal analogique.....	48
Figure II.16. Signal analogique versus signal numérisé.....	49

Chapitre III :

Figure III.1. Le schéma électrique de l’EOG réalisé par ISIS.....	52
Figure III.2.Le circuit de l’EOG réalisé par ARES.....	53
Figure III.3. Le circuit imprimé de l’EOG sur le papier calque.....	54
Figure III.4.Le circuit électronique de l’EOG.....	54
Figure III.5. Le schéma électrique du préamplificateur.....	55
Figure III.6. Le signal EOG à la sortie de l’amplificateur d’instrumentation	56
Figure III.7. Le schéma électrique du filtre passe haut.....	56
Figure III.8. Le signal EOG à la sortie du filtre passe haut.....	57

Figure III.9. Le schéma électrique du filtre passe bas.....	58
Figure III.10. Le signal EOG à la sortie du filtre passe bas.....	58
Figure III.11. Le schéma électrique de l'amplificateur.....	59
Figure III.12. Le signal EOG à la sortie de l'amplificateur d'instrumentation (mouvement de l'œil à droite et à gauche).....	59
Figure III.13. Le schéma du circuit Offset présenté par ISIS.....	63
Figure III.14. Le programme de l'EOG sur Arduino Uno.....	64
Figure III.15. Le signal EOG affiché sur écran par la carte Arduino Uno lors des mouvements de l'œil à droite et à gauche.....	66

Introduction Générale

La vision recouvre l'ensemble des processus physiologiques et psychologiques par lesquels la lumière émise ou réfléchiée par l'environnement détermine les détails des sensorielles, comme les formes, les couleurs, les textures, le mouvement, la distance. Ces processus cognitifs complexes font intervenir l'œil, organe récepteur de la vue, mais aussi des zones spécialisées du cerveau.

Les examens électro physiologiques visuels explorent un aspect du fonctionnement du système visuel initié par les réponses des photorécepteurs à la lumière, ces réponses déclenchent des signaux simultanément vers l'épithélium pigmentaire et les voies visuelles.

L'Electro-Oculographie est une méthode globale d'investigation électro physiologique oculaire. Son principe repose sur l'existence d'un potentiel de repos entre les couches externes électronégatives et les couches internes électropositives de la rétine, la cornée héritant de l'électropositivité de ces structures internes.

Ce mémoire comporte une description détaillée des étapes essentielles permettant l'étude et la réalisation du circuit de mise en forme du signal EOG, elle est structurée en trois chapitres :

Le premier chapitre est une présentation de l'anatomie et la physiologie de l'œil en citant les constitutions de l'œil, la perception visuelle et quelques pathologies de l'œil.

Le deuxième chapitre repose sur l'étude de l'Electro-Oculogramme présentée par une description détaillée d'un schéma bloc.

Le troisième chapitre est une étude pratique du signal EOG à travers la réalisation de son circuit électronique et l'interprétation des résultats obtenus.

Enfin, une conclusion générale et des perspectives seront présentées pour clôturer ce travail.

CHAPITRE 1 :

ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE

DE L'OEIL

INTRODUCTION :

L'œil est un récepteur sensoriel qui fonctionne pratiquement comme un appareil photo. Il focalise la lumière photosensible (la rétine) en se servant d'une lentille, d'un obturateur ou d'un orifice (la pupille), dont le diamètre peut être ajusté aux variations de quantité de la lumière entrant dans l'œil.

La vision, le processus par lequel la lumière réfléchiée par les objets de l'environnement est convertie en images mentales, peut être divisée en trois étapes :

- a. La lumière entre dans l'œil et elle est focalisée par la lentille sur la rétine.
- b. Les photorécepteurs de la rétine convertissent l'énergie de la lumière en un signal électrique.
- c. Les signaux électriques sont traités dans les voies nerveuses. [1]

I. ANATOMIE DE L'ŒIL :

I.1. Œil :

L'œil adulte est une sphère d'un diamètre d'environ 2.5 cm. Seul le sixième antérieur de la surface de l'œil est visible ; le reste est entouré et protégé par un coussin de graisse et par les parois osseuses de l'orbite. Le coussin de graisse occupe presque tout le volume de l'orbite laissé libre par l'œil lui-même. L'œil est une structure complexe et une petite partie seulement de ses tissus est consacrée à la photo réception. [2]

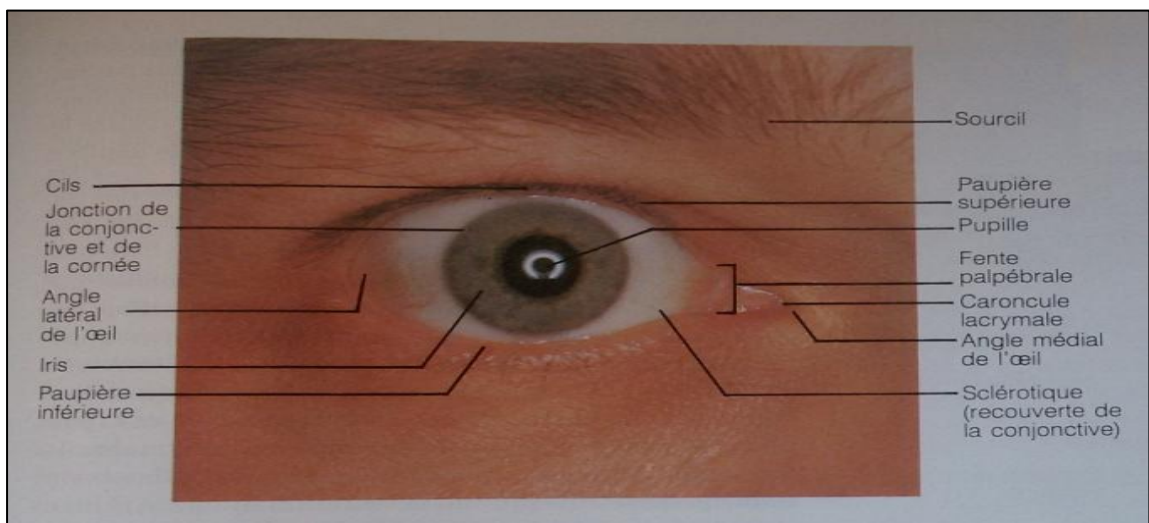


Figure I.1. Anatomie de surface de l'œil et de ses

I.2. Structure de l'œil :

L'œil proprement dit, appelé globe oculaire ou bulbe de l'œil, est une sphère creuse légèrement irrégulière.

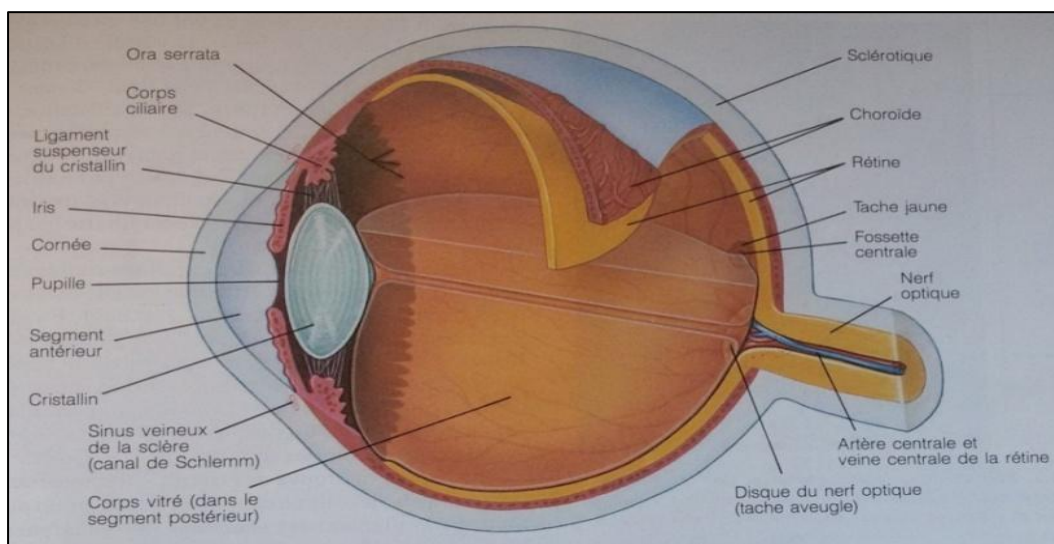


Figure I.2. Structure interne de l'œil (coupe sagittale)

Sa paroi est composée d'une tunique fibreuse, d'une tunique vasculaire et d'une tunique sensitive. Il est rempli de liquides qui concourent à lui donner sa forme. Le cristallin, la « lentille » de l'œil, est soutenu verticalement à l'intérieur de l'œil, et il le divise en un segment antérieur et un segment postérieur. Le segment antérieur contient l'humeur aqueuse, tandis que le segment postérieur est rempli d'une substance gélatineuse appelée corps vitré (voir la figure I.2).

I.3. Tuniques de l'œil :

I.3.1. Tunique fibreuse :

L'enveloppe externe de l'œil, la tunique fibreuse, est composée d'un tissu conjonctif dense et peu vascularisé. Elle comprend deux parties bien définies, la sclérotique et la cornée. La sclérotique (aussi appelée sclère), qui forme la partie postérieure et l'essentiel de la tunique fibreuse, est d'un blanc brillant et opaque. Se présentant sur la face antérieure comme le « blanc de l'œil », la sclérotique, résistante et de texture tendineuse (skleros = dur), protège et façonne le globe oculaire, tout en fournissant un ancrage solide aux muscles extrinsèques de l'œil. A l'arrière, à l'endroit où le nerf optique la perce, la sclérotique est réunie à la dure-mère. [2]

Le sixième antérieur de la tunique fibreuse se modifie et forme la cornée, qui fait saillie vers l'avant. La disposition régulière des fibres collagènes donne à la cornée sa transparence et en fait une fenêtre qui laisse pénétrer la lumière dans l'œil. Comme nous l'expliquerons ultérieurement, la cornée fait aussi partie de l'appareil de réfraction de la lumière. Les deux faces de la cornée sont recouvertes par des feuillets épithéliaux (voir la figure I.6). Le feuillet externe, un épithélium pavimenteux stratifié non kératinisé, s'unit à la conjonctive bulbaire à la jonction de la sclérotique et de la cornée, et protège celle-ci de toute abrasion. Un épithélium pavimenteux simple, aussi appelé endothélium cornéen, tapisse la face interne de la cornée. Ses cellules sont dotées de pompes à sodium actives qui préservent la transparence de la cornée en rejetant continuellement les ions sodium dans les liquides du globe oculaire. L'eau suit le même chemin (dans le sens de ses gradients osmotiques), et les fibres collagènes serrées de la cornée demeurent ainsi à l'abri des accumulations de liquide interstitiel qui pourraient les séparer. [2]

La cornée est riche en terminaisons nerveuses, pour la plupart des neurofibres nociceptives ; le contact d'un objet avec la cornée provoque le réflexe du clignement et accroît la sécrétion lacrymale. La cornée demeure cependant la partie la plus exposée de l'œil, et elle subit très souvent des lésions causées par la poussière, les éclats...etc. Fort heureusement, sa capacité de régénération et de guérison est remarquable, et elle peut être remplacée chirurgicalement. La cornée est le seul tissu qu'on peut transplanter sans risque de rejet. En effet, elle ne contient aucun vaisseau sanguin et se trouve donc hors de portée des cellules du système immunitaire.

I.3.2. Tunique vasculaire (Uvée) :

La tunique vasculaire du bulbe, l'enveloppe moyenne du globe oculaire, est aussi appelée uvée (uva = raisin). Cette tunique pigmentée comprend trois éléments distincts : la choroïde, le corps ciliaire et l'iris (voir la figure I.2).

La choroïde est une membrane (khorion = membrane) fortement vascularisée, de couleur brun foncé, qui forme les cinq sixièmes postérieurs de la tunique vasculaire.

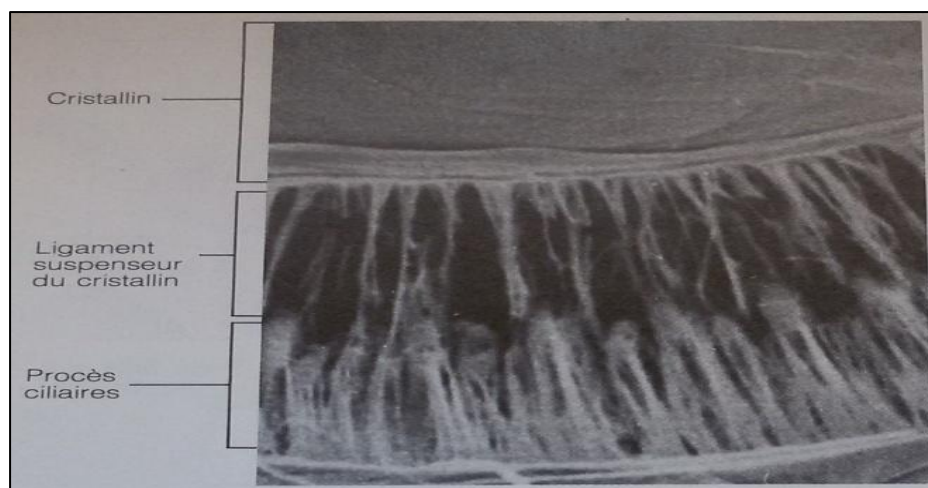


Figure I.3. Photomicrographie a balayage électronique de la face postérieure d'une partie du cristallin, de son ligament suspenseur et du corps ciliaire

Ses vaisseaux sanguins fournissent de nutriments à toutes les tuniques de l'œil. Son pigment brun, produit par des mélanocytes, absorbe la lumière, l'empêchant de se diffuser et de se réfléchir à l'intérieur de l'œil (ce qui brouillerait la vision). La choroïde s'interrompt à l'arrière, à l'endroit où le nerf optique quitte l'œil. A l'avant, elle s'unit au corps ciliaire par une jonction en dents de scie appelée ora serrata (littéralement « bouche en dents de scie »). Le corps ciliaire, un anneau de tissu épais et richement irrigué entourant le cristallin, est formé principalement de faisceaux musculaires lisses entrecroisés qui constituent le muscle ciliaire et régissent la forme du cristallin. La surface du corps ciliaire est parcourue de plis appelés procès ciliaires, dont les capillaires sécrètent l'humeur aqueuse qui remplit la cavité du segment antérieur du globe oculaire. Le ligament suspenseur du cristallin, ou zone ciliaire, s'étend du corps ciliaire au cristallin. Ce halo de fibres délicates encercle le cristallin et le maintient à la verticale dans l'œil (voir la figure I.3).

L'iris, la partie colorée et visible de l'œil, est la partie la plus antérieure de la tunique vasculaire du bulbe. De la forme d'un beigne aplati, il est situé entre la cornée et le cristallin et sa partie postérieure est unie au corps ciliaire. Son ouverture centrale, la pupille, est ronde et laisse pénétrer la lumière dans l'œil. L'iris est composé de fibres musculaires lisses disposées en rayon (qui constituent le muscle dilatateur de la pupille) et en cercle (qui forment le muscle sphincter de la pupille) ; par son action réflexe sur le diamètre de la pupille, l'iris joue le rôle d'un diaphragme. Lorsque l'œil fixe un objet rapproché et lorsque la lumière est abondante, le muscle sphincter de la pupille se contracte et la pupille se resserre. [2]

A l'inverse, lorsque l'œil fixe un objet éloigné et lorsque la lumière est faible, le muscle dilatateur de la pupille se contracte et la pupille se dilate, ce qui laisse entrer un surcroît de lumière dans l'œil. Comme la dilatation et la contraction de la pupille sont régies respectivement par des neurofibres sympathiques et parasympathiques. La contraction rapide des pupilles qui se produit lorsque les yeux sont exposés à une lumière vive (potentiellement nuisible), est appelée réflexe pupillaire (ou réflexe photomoteur).

Les variations du diamètre pupillaire sont également liées à l'intérêt porté aux stimuli visuels ou aux réactions émotionnelles que ceux-ci suscitent. En effet, il arrive fréquemment que les pupilles se dilatent pendant l'étude d'un sujet intéressant ou pendant la résolution de problèmes.

Par ailleurs, l'ennui ou l'image désagréable entraînent la contraction des pupilles. Bien que l'on trouve des iris de différentes couleurs (iris = arc-en-ciel), ils ne contiennent tous qu'un pigment brun. Si le pigment est abondant, les yeux paraissent bruns ou noirs. Si le pigment est peu abondant et circonscrit à la face postérieure des iris, les parties non pigmentées diffusent les longueurs d'ondes les plus courtes de la lumière et les yeux paraissent bleus, verts ou gris. Ce phénomène de diffusion est semblable à celui qui donne au ciel sa couleur bleue. La plupart des nouveau-nés ont les yeux bleus ou gris foncé parce que la pigmentation de leur iris n'est pas encore développée. [2]

I.3.3. Tunique sensitive (Rétine) :

La tunique interne de l'œil, la rétine, est délicate et formée de deux couches. La couche pigmentaire (externe) est contiguë à la choroïde et, à l'avant, elle couvre le corps ciliaire et la face postérieure de l'iris. Ses cellules épithéliales pigmentées (cellules pigmentaires), comme celles de la choroïde, absorbent la lumière et l'empêchent de se diffuser dans l'œil. Elles jouent également le rôle de phagocytes et de réserves de vitamine A pour les neurones photorécepteurs. La couche nerveuse (interne) de la rétine est transparente, et elle ne s'étend vers l'avant que jusqu'à l'ora serrata (voir la figure I.2) Elle équivaut en fait à une émergence des cellules nerveuses du cerveau, et elle contient les millions de neurones photorécepteurs réalisant la traduction de l'énergie lumineuse (photons) en influx nerveux de même que les autres neurones participant au traitement et à la propagation des stimulus lumineux dans les nerfs optiques. Les deux couches de la rétine sont très rapprochées, mais non pas fusionnées (elles sont séparées par

l'espace rétinien). Bien que l'on désigne la rétine par le terme tunique sensitive, seule sa couche nerveuse joue un rôle direct dans la vision.

La couche nerveuse de la rétine comprend trois principaux types de neurones : des photorécepteurs, des cellules bipolaires et des cellules ganglionnaires (voir la figure I.4). Les potentiels récepteurs produits sous l'effet de la lumière dans les photorécepteurs (contigus au feuillet externe) sont conduits aux neurones bipolaires puis aux cellules ganglionnaires, où sont engendrés les potentiels d'action qui transportent les informations sensorielles jusqu'aux aires visuelles du cortex occipital. [2]

Les axones des cellules ganglionnaires forment un angle droit sur la face interne de la rétine, puis ils quittent la partie postérieure de l'œil en formant le nerf optique. Les autres types de neurones de la rétine, les cellules horizontales et les cellules amacrines, sont indiqués dans (voir la figure I.4). Le disque du nerf optique, l'endroit où le nerf optique sort de l'œil, est un point faible du fond (paroi postérieure) de l'œil, car il est privé du soutien de la sclérotique. Le disque du nerf optique est aussi appelé tache aveugle, car il est dépourvu de photorécepteurs.

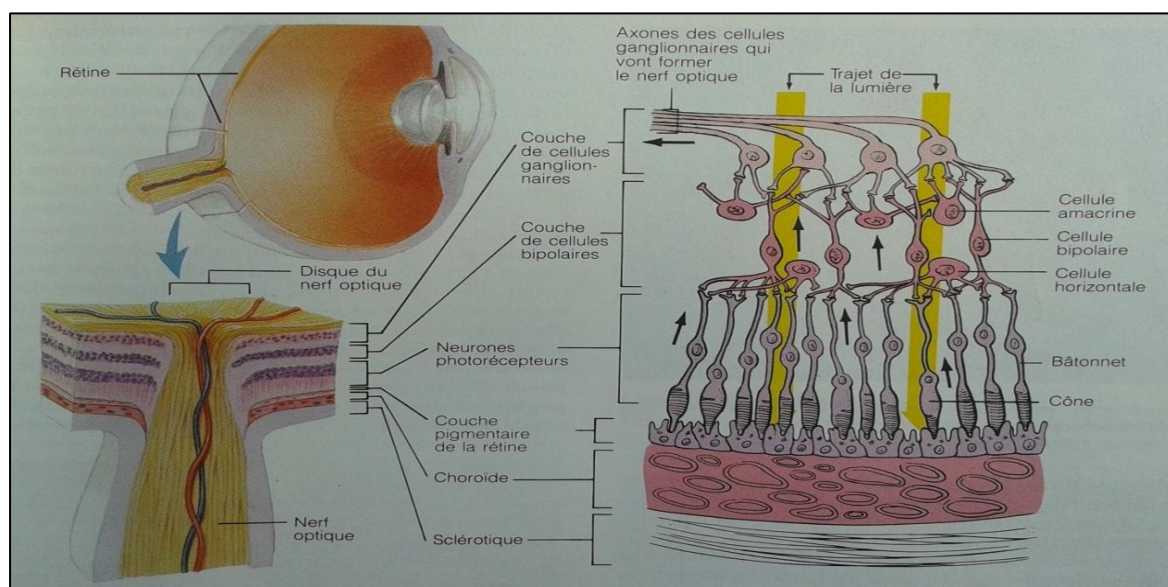


Figure I.4. Schéma des trois principaux types de neurones (photorécepteurs, cellules bipolaires et cellules ganglionnaires) de La couche nerveuse de la rétine

Les 250 millions de photorécepteurs de la couche nerveuse de la rétine se répartissent en deux types, soit les bâtonnets et les cônes. Les premiers, plus nombreux que les seconds, sont à l'origine de la vision périphérique et de la vision crépusculaire.

Ils sont plus sensibles à la lumière que les cônes, ils fournissent des images floues et incolores. C'est pourquoi les couleurs et les contours des objets sont indistincts dans la pénombre et à la périphérie du champ visuel. Les cônes, en revanche, s'activent en pleine lumière et fournissent une vision très précise des couleurs. A côté du disque du nerf optique de chaque œil se trouve une zone ovale appelée tache jaune dont le centre est creusé d'une minuscule dépression, la fossette centrale (ou fovéa centralis) (voir la figure I.2). Dans cette région, les structures rétiniennes contiguës au corps vitré sont déplacées vers les cotés. La lumière peut ainsi atteindre presque directement les photorécepteurs (des cônes pour la plupart) plutôt que de traverser les couches de la rétine, ce qui améliore considérablement l'acuité visuelle. Les cônes sont les seuls photorécepteurs de la fossette centrale, et ils sont majoritaires dans la tache jaune ; puis, du bord de la tâche jaune à la périphérie de la rétine, la densité des cônes décroît graduellement. La périphérie de la rétine contient seulement des bâtonnets, dont la densité décroît constamment à mesure que l'on s'approche de la tâche jaune. [2]

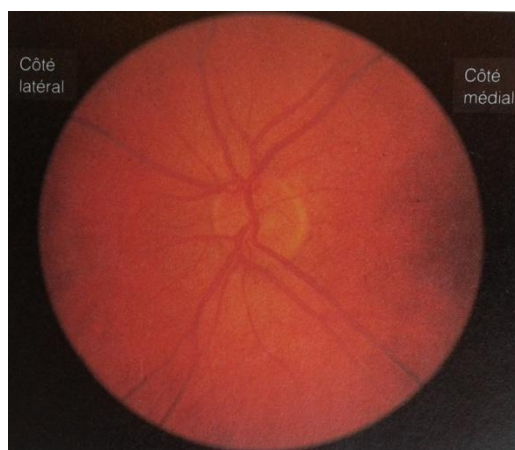


Figure I.5. Parois postérieure (fond) de la rétine vue à l'ophtalmoscope

Seule la fossette centrale est assez densément pourvue de cônes pour fournir une vision détaillée des couleurs, et c'est pourquoi l'image des objets que nous observons attentivement se forme à son niveau. Comme chaque fossette centrale n'est pas plus grande qu'une tête d'épingle, un millième seulement du champ visuel converge à tout moment vers elle. Par conséquent, si nous voulons capter une scène animée (lorsque nous conduisons à une heure de pointe par exemple), nos yeux doivent se porter successivement sur différentes parties du champ visuel par des mouvements saccadés rapides. La couche nerveuse de la rétine est irriguée par deux sources. Son tiers externe (qui contient les photorécepteurs) est alimenté par des vaisseaux de la choroïde. Ses deux tiers internes sont desservis par l'artère centrale (une ramification de l'artère ophtalmique) et par la veine centrale, qui entrent dans l'œil et en sortent par le centre du nerf

optique. Rayonnant à partir du disque du nerf optique, ces vaisseaux donnent naissance à un riche réseau vasculaire qui parcourt la face interne de la rétine (Rétina = filet) et que l'on distingue clairement en examinant l'intérieur du globe oculaire à l'aide d'un ophtalmoscope (voir la figure I.5). Le fond de l'œil est le seul endroit du corps où l'on peut observer directement de petits vaisseaux sanguins chez un sujet vivant.

A cause de la structure et de la disposition des vaisseaux sanguins de la rétine, ses deux couches sont prédisposées à une lésion qui peut causer la cécité permanente, le décollement de la rétine. Ce trouble survient généralement à la suite d'un coup à la tête qui provoque une déchirure de la rétine et un écoulement de corps vitré dans l'espace rétinien qui sépare ses deux couches. La plupart des personnes atteintes disent qu'elles ont l'impression qu'« un rideau est tiré devant leur œil », mais d'autres voient des taches noirâtres ou des éclats de lumière. Si le décollement est diagnostiqué sans retard, il est souvent possible de corriger chirurgicalement ou au moyen du laser avant que les dommages infligés aux cellules nerveuses photoréceptrices ne deviennent permanents. [2]

I.4. Chambres et liquides de l'œil :

Comme nous l'avant déjà mentionné, le cristallin et son ligament suspenseur circulaire divisent l'œil en un segment antérieur et un segment postérieur (voir la figure I.6).

Ce dernier, la chambre vitrée, est rempli d'une substance gélatineuse transparente, appelé corps vitré, composée d'une trame de fibrilles collagènes prises dans un liquide visqueux qui se lie à une énorme quantité d'eau. Le corps vitré assure plusieurs fonctions : il transmet la lumière ; il soutient la face postérieure du cristallin et presse fermement la couche nerveuse de la rétine contre sa couche pigmentaire ; il contribue à la pression intra-oculaire, contrant ainsi la traction exercée sur la partie externe du globe oculaire par les muscles extrinsèques de l'œil.

L'iris subdivise partiellement le segment antérieur (voir la figure I.6). En une chambre antérieure (située entre la cornée et l'iris) et une chambre postérieure (située entre l'iris et le cristallin). Le segment antérieur est entièrement rempli d'humeur aqueuse, un liquide transparent dont la composition est semblable à celle du plasma sanguin. [2]

Contrairement au corps vitré, qui se forme dans l'embryon et qui dure toute la vie, l'humeur aqueuse est continuellement agitée et renouvelée.

Elle filtre des capillaires des procès ciliaires dans la chambre postérieure, traverse la pupille, pénètre dans la chambre antérieure et s'écoule vers le sang veineux par l'intermédiaire du sinus veineux de la sclère (ou canal de Schlemm). Ce canal singulier encercle l'œil et est situé dans l'angle formé par la jonction de la sclérotique et de la cornée. Normalement, la production et l'écoulement de l'humeur aqueuse s'effectuent au même rythme. Par conséquent, la pression intraoculaire demeure constante, ce qui contribue à soutenir le globe oculaire par l'intérieur. [2]

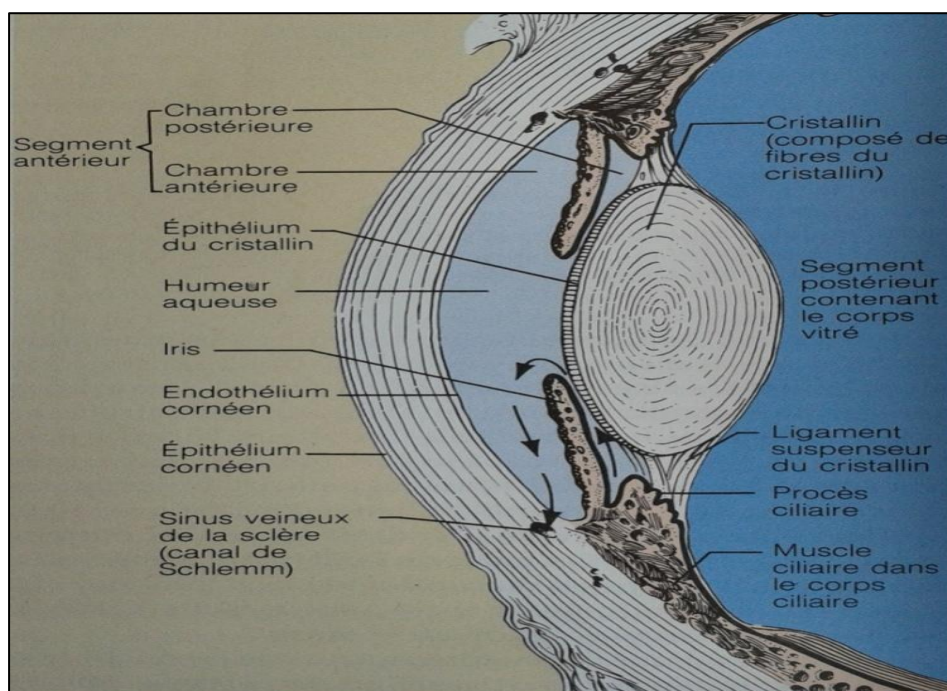


Figure I.6. Structure révélées par une coupe transversale de la partie antérieure de l'Œil

L'humeur aqueuse fournit des nutriments et de l'oxygène au cristallin et à la cornée, et les débarrasse de leurs déchets métaboliques.

Si l'écoulement de l'humeur aqueuse est entravé, la pression intra-oculaire peut atteindre un niveau dangereux et comprimer la rétine et le nerf optique ; cette affection est appelée glaucome. Si le glaucome n'est pas diagnostiqué à temps, la destruction des structures nerveuses aboutit à la cécité (glaukos = verdâtre). Malheureusement, plusieurs formes de glaucome évoluent si lentement et de manière si insidieuse que les personnes atteintes se rendent compte trop tard du problème. Les signes tardifs comprennent la vision de halos autour des lumières, des maux de tête et une vision trouble.

L'examen visant à détecter le glaucome est simple. Il consiste à anesthésier la cornée et à mesurer la déformation qu'elle présente sous une légère pression appliquée à l'aide d'un instrument appelé tonomètre. Les personnes de plus de 40 ans devraient subir cet examen annuellement. On traite le glaucome dans ses stades initiaux au moyen de collyres (médicaments appliqués sur la conjonctive) myotiques qui accroissent la vitesse d'écoulement de l'humeur aqueuse. [2]

I.5. Cristallin :

Le cristallin est une « lentille » biconvexe, transparente et flexible qui peut changer de forme de manière à focaliser précisément la lumière sur la rétine. Il est enfermé dans une capsule mince et élastique et maintenu juste à l'arrière de l'iris par le ligament suspenseur du cristallin (voir la figure I.3 et la figure I.6). Comme la cornée, le cristallin n'est pas vascularisé, car les vaisseaux sanguins nuisent à la transparence.

Le cristallin comprend deux éléments : l'épithélium du cristallin et les fibres du cristallin (voir la figure I.6).

L'épithélium, cantonné à la surface antérieure, est composé de cellules cubiques qui se différencient pour former les fibres du cristallin, un type de fibres anucléées qui constituent l'essentiel de la masse du cristallin. Les fibres sont superposées comme les couches d'un oignon ; elles contiennent des protéines au pli précis appelées cristallines, dont la fonction est double. La structure des cristallines les rend transparentes. D'autre part, leurs propriétés enzymatiques leur permettent de convertir le glucose en énergie destinée au cristallin. Comme des fibres ne cessent de s'ajouter au cristallin, celle-ci grossit au cours de la vie. Il devient donc plus dense, plus convexe et moins souple et perd peu à peu sa capacité d'accommodation. [2]

Une cataracte est une opacité du cristallin qui embrouille la vision. Certaines cataractes sont congénitales, mais la plupart résultent d'un durcissement et d'un épaissement du cristallin dus au vieillissement, ou sont causés par le diabète sucré. D'autre part, des études récentes tendent à montrer que l'usage du tabac et l'exposition fréquente au soleil (particulièrement aux rayons ultraviolets B) prédisposent aux cataractes. Mais quels que soient les facteurs prédisposants, la cause immédiate des cataractes est probablement un apport insuffisant de nutriments aux fibres profondes du cristallin.

On pense que les changements métaboliques qui s'ensuivent favorisent l'oxydation et l'agglomération des cristallines. Fort heureusement, on peut exciser chirurgicalement le cristallin touché et le remplacer par un cristallin artificiel. En portant des chapeaux à larges bords, en utilisant des filtres solaires, en évitant de fumer et en mangeant des aliments riches en vitamines C et E (des antioxydants qui empêchent l'oxydation des cristallines), on peut retarder d'environ 10 ans la formation des cataractes.[2]

II. LA PERCEPTION VISUELLE : DE LA RETINE AU CERVEAU

C'est par le sens de la vue que nous percevons la lumière, les formes et les couleurs, que nous apprécions les détails des objets, leur distance et leur relief.

Les informations visuelles recueillies par l'œil sont transformées en messages nerveux au niveau de la rétine, puis véhiculées par les nerfs optiques jusqu'au cerveau. C'est alors le cortex visuel qui analyse le stimulus reçu, élabore la perception visuelle et répond de façon appropriée.

II.1. Comment les messages nerveux sont-ils générés ?

La rétine joue un rôle essentiel dans la vision : elle convertit le stimulus visuel en message nerveux. Cette conversion de l'énergie lumineuse se fait par des cellules sensibles à la lumière, appelées photorécepteurs : les cônes et les bâtonnets.

Les cônes et les bâtonnets sont des neurones très courts qui se distinguent par leur forme et par la nature des pigments photosensibles qu'ils contiennent.

- Les **cônes** ont une résolution spatiale très élevée et sont sensibles aux formes et aux couleurs des objets ; ce sont les cellules de la vision diurne. Il en existe près de 7 millions et sont particulièrement concentrés dans la partie centrale de la rétine, appelée fovéa ou macula.
- Les **bâtonnets**, au nombre de 130 millions, sont quant à eux extrêmement sensibles à la lumière (100 fois plus sensibles que les cônes) mais aussi au mouvement ; ce sont les cellules de la vision nocturne.

L'absorption de lumière par les pigments photosensibles des cônes et des bâtonnets modifie leurs propriétés électriques et conduit à la naissance d'un message nerveux.

En effet, si la stimulation visuelle est suffisante, un message nerveux, constitué d'une succession de signaux électriques, est généré dans les fibres du nerf optique. Une variation de l'intensité du stimulus visuel se traduit alors par une variation de la fréquence des signaux électriques.

Le message nerveux ne naît pas au niveau des photorécepteurs mais au niveau des neurones ganglionnaires dont les prolongements se regroupent pour former les centaines de fibres du nerf optique. Les neurones ganglionnaires sont reliés aux photorécepteurs par les neurones bipolaires.

II.2. Les caractéristiques de la vision :

La sensation visuelle peut durer plus longtemps que le stimulus qui l'a engendrée. En effet, les pigments photorécepteurs, décomposés par la lumière, mettent un certain temps pour se reconstituer. On parle alors de persistance rétinienne.

La vision en couleur s'explique par l'existence de trois types de cônes, permettant chacun de voir une des couleurs fondamentales : le bleu, le vert et le rouge. Notre vision est ainsi trichromatique. Puisque ces cellules visuelles présentent un maximum de densité au centre de la rétine, c'est dans la partie centrale de la vision que la sensation colorée est la meilleure. Il existe de nombreuses anomalies de la vision. L'absence d'un des types de cônes – le rouge ou le vert le plus souvent – conduit par exemple au daltonisme.

Le champ visuel de chaque œil est plus étendu du côté temporal que du côté nasal. En outre, l'amplitude du champ visuel dépend des longueurs d'onde reçues car les différents types de cônes ne sont pas disposés au même endroit sur la rétine. Par exemple, le champ visuel pour la lumière verte est peu étendu car les cônes sensibles au vert sont dans la partie centrale de la rétine.

C'est juste en face de soi, au niveau du point de fixation, que l'acuité visuelle – c'est-à-dire l'aptitude à distinguer les détails des objets – est optimale. Dans le champ visuel périphérique, l'acuité diminue mais la perception du mouvement reste bonne.

La vision dans des conditions de très faible éclairément est possible grâce aux bâtonnets. Cette perception, floue et grisâtre, est la vision scotopique.

Pour des éclaircissements plus importants, les bâtonnets saturés sont relayés par les cônes. L'acuité est alors optimale et la vision est en couleur ; la vision est dite phototique.

II.3. L'organisation des voies nerveuses qui conduisent les messages nerveux au cerveau :

Les messages nerveux visuels générés par la rétine sont acheminés par les nerfs optiques jusqu'au cerveau.

Le nerf optique de l'œil droit et celui de l'œil gauche se croisent au niveau du chiasma optique. À cet endroit, la moitié des fibres de chacun des nerfs optiques s'entrecroisent et passent dans l'hémisphère opposé. Les autres fibres rejoignent directement le lobe occipital du cerveau, où se trouvent les centres d'interprétation de la vision. Ainsi, chaque hémisphère reçoit des informations visuelles issues des deux yeux.

Il existe une zone de relais située entre le chiasma optique et le cortex visuel dans laquelle toutes les fibres des nerfs optiques sont en connexion synaptique avec d'autres neurones qui conduisent les messages jusqu'au cortex visuel. La transmission du message nerveux se fait alors par l'intermédiaire de substances chimiques, les neurotransmetteurs. Ainsi, certaines substances hallucinogènes, en se fixant sur les récepteurs de ces neurotransmetteurs, modifient la perception visuelle.

II.4. Les zones du cerveau mobilisées par la vision :

Différentes régions du cerveau sont impliquées dans le processus de la vision : le cortex visuel primaire mais aussi différentes aires cérébrales spécialisées.

Après avoir franchi la zone de relais, la plupart des messages nerveux visuels arrivent dans une aire située à l'arrière du cortex occipital de chacun des deux hémisphères. Ces deux aires cérébrales forment le cortex visuel primaire. Chacune d'entre elles reçoit des informations provenant des deux yeux. Ainsi, toute lésion située dans cette zone provoque une cécité plus ou moins prononcée.

Parallèlement, certaines informations visuelles arrivent directement dans différentes aires visuelles spécialisées dans le traitement de la couleur, des formes ou encore des mouvements.

Ainsi, toutes les informations concernant une image sont traitées en parallèle. Leur intégration et les échanges entre l'ensemble de ces aires permettent ensuite d'avoir une perception globale et unifiée. [3]

III. PATHOLOGIES DE L'ŒIL :

Il existe de nombreuses maladies de l'œil. Chaque partie anatomique de cet organe peut présenter un désordre et causer un trouble oculaire. Il est important pour le patient de bien comprendre la nature de son trouble oculaire afin de prendre bien soin de sa condition visuelle. Cela permet aussi de mieux prendre en charge une maladie et de dépister les signes indiquant une détérioration. Un patient informé et averti a plus de chances d'être traité à temps, de se sentir en confiance et d'observer son traitement.

III.1. Yeux secs :

La sécheresse oculaire est un trouble très fréquent et très répandu. Le terme « sécheresse » peut porter à confusion, car l'un des principaux symptômes est le larmoiement excessif. Il s'agit d'une anomalie qui, malgré les apparences, peut avoir des répercussions importantes sur le confort visuel d'un patient. Les causes de la sécheresse oculaire sont extrêmement nombreuses, notamment :

- Environnement sec, ventilé, etc.
- Réduction de la fréquence du clignement des paupières (travail à l'ordinateur, lecture).
- Diminution de la production de larmes.
- Mauvaise qualité des larmes.

Le traitement des yeux secs commence habituellement par l'instillation de larmes artificielles à une fréquence de quatre fois par jour. Le traitement de la blépharite est aussi important. Il consiste en des compresses chaudes et des massages au niveau des paupières.



Figure I.7. La maladie des yeux secs

III.2. Blépharite :

La blépharite est une inflammation des paupières provoquant rougeur, irritation, démangeaison et formation de pellicules comme des écailles sur les cils. En général, la blépharite est de nature bactérienne ou causée par une maladie de la peau, telle que les pellicules du cuir chevelu ou l'acné rosacée. Elle touche des personnes de tous âges. La blépharite n'est pas contagieuse et n'entraîne généralement pas de dommages oculaires permanents.

Le traitement dépend du type de blépharite. Le facteur clé pour traiter la plupart des types de blépharites est de garder les paupières bien propres et exemptes de croûtes. Limiter ou cesser l'utilisation de maquillage pour les yeux est souvent recommandé dans le traitement de la blépharite.

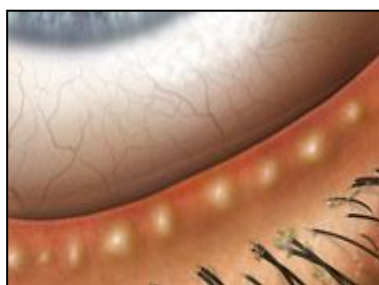


Figure I.8. La maladie de la blépharite

III.3. Astigmatisme :

Normalement, les courbures de la cornée et du cristallin sont similaires à celles d'une surface sphérique presque parfaitement ronde, comme un ballon de soccer. Chez les patients ayant de l'astigmatisme, la cornée et (ou) le cristallin ne présentent pas des courbures rondes, mais ressemblent plutôt à un ballon de football dont les extrémités seraient moins allongées.

L'image reçue par la rétine est alors différente selon les axes de ce « ballon ». Il y a donc deux images différentes pour chaque axe d'astigmatisme. Il représente la différence entre l'axe le plus puissant et celui le moins puissant. Une fois de plus, il est possible de corriger ce trouble à l'aide de lunettes, de lentilles cornéennes, d'une intervention chirurgicale au laser et de lentilles intraoculaires. Les implants intraoculaires de type torique permettent de corriger l'astigmatisme cornéen après la chirurgie de la cataracte.

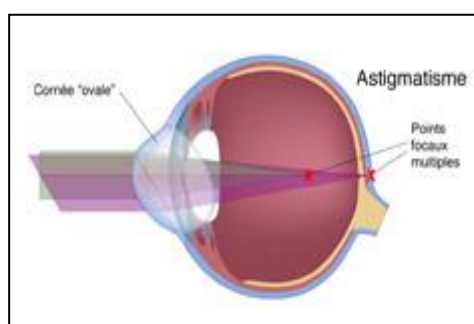


Figure I.9. La maladie de l'astigmatisme

III.4. Glaucome :

Le glaucome est une maladie de l'œil qui touche de manière irréversible et permanente le nerf optique (atteinte structurelle). Il est la partie de l'œil par où transite toute l'information visuelle captée par l'œil. Cette information voyage par le nerf optique et est transmise au cerveau.

Le glaucome est une maladie très fréquente qui touche des gens de tous âges. Selon les sources, on estime qu'il y aurait jusqu'à 10 % de la population qui en serait atteinte. Au Canada, ce nombre représente 250 000 personnes. À l'échelle mondiale, ceci représente 65 millions d'individus.

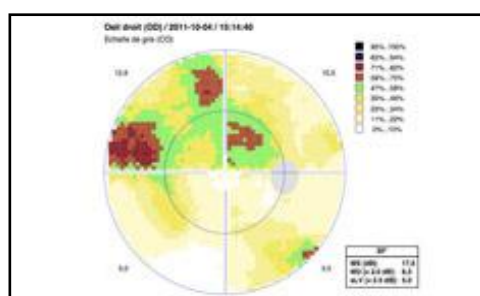


Figure I.10. La maladie du glaucome

III.5. Cataracte :

La cataracte consiste en une opacification de la lentille naturelle de l'œil, appelée le cristallin. Ce dernier est situé à l'intérieur de l'œil, derrière l'iris, qui représente la partie colorée formant la pupille. Le schéma de l'anatomie de l'œil le montre bien. Plusieurs facteurs, dont l'âge, l'hérédité, la médication et l'environnement, contribuent à la formation des cataractes. Avec le temps, le cristallin devient givré, jaunâtre et brumeux. La lumière passant par cette lentille est donc altérée et diminuée par la cataracte. L'extraction de la cataracte est une intervention chirurgicale intraoculaire qui permet de traiter de façon permanente cette condition.

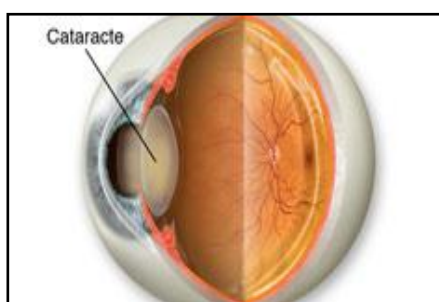


Figure I.11. La maladie de la cataracte

III.6. Déchirure et décollement de la rétine :

Les déchirures et le décollement de la rétine sont normalement liés à un phénomène oculaire commun : le décollement du vitré.

Le décollement du vitré est habituellement normal et sans conséquence. Il consiste en la liquéfaction du vitré c'est-à-dire le gel qui remplit l'œil. Il se produit généralement avec l'âge, mais parfois de façon prématurée chez les grands myopes, les yeux accidentés, etc. En présence d'un décollement du vitré, la perception de corps flottants est possible. Ce sont les fibres de collagène du vitré qui deviennent maintenant mobiles en raison de sa liquéfaction. Des éclairs peuvent être perçus lorsqu'il y a une interaction entre le vitré et la rétine. Les éclairs apparaissent pendant des fractions de seconde. Lorsque ceux-ci sont présents et scintillent pendant plusieurs minutes (de 10 à 15 min), il s'agit habituellement de symptômes de migraines ophtalmiques. Que l'on constate une apparition soudaine de corps flottants ou d'éclairs, il est important de consulter un professionnel de la vue afin de passer un examen de la rétine sous dilatation pupillaire.

Une déchirure se produit lorsqu'il y a une forte adhérence du vitré à la rétine. La rétine est constituée d'une couche de cellules visuelles qui tapissent le fond de l'œil, tel le film d'un appareil photo classique. Lorsque le vitré se contracte, il peut tirer sur un bout de la rétine et la déchirer. La rétine n'est pas décollée, mais bien déchirée. Afin de prévenir toute complication et un décollement de la rétine, on procède à une photo coagulation au laser pour cicatriser la rétine autour de la déchirure et stopper cette dernière.

Si la déchirure progresse, du liquide peut s'infiltrer et s'accumuler derrière la rétine et provoquer son décollement. Le décollement de la rétine peut entraîner une augmentation de la perception de corps flottants, d'éclairs et d'un rideau qui cache la vision. Une fois de plus, il est important de consulter un professionnel de la vue dès l'apparition de ces symptômes. Un traitement chirurgical pourrait être nécessaire afin de repositionner la rétine décollée. [4]



Figure I.12. La maladie de la déchirure et décollement de la rétine

CONCLUSION :

L'œil, un monde, un globe, un instrument d'optique complexe pour aboutir à la vision et une porte d'entrée du système visuel. Soixante-dix pourcent des récepteurs sensoriels de l'organisme sont situés dans les yeux. Les photorécepteurs captent et encodent, par transduction, les motifs formés par la lumière dans notre environnement. Les tractus optiques qui acheminent les messages codés (sous forme d'influx nerveux) des yeux au cortex cérébral contiennent plus d'un million de neurofibres. Seuls les faisceaux corticospinaux régissant l'ensemble des muscles volontaires contiennent plus de neurofibres que ces tractus. Le cerveau assigne un sens aux influx nerveux qui lui arrivent des yeux et élabore les images du monde qui nous entoure.

CHAPITRE 2 :

ETUDE DE

L'ELECTRO-OCULOGRAMME

INTRODUCTION

Les stimulations visuelles choisies de façon appropriées évoquent les réponses de milliers de cellules réiniennes ou corticales. Ces réponses cellulaires ne sont ni directement accessibles, ni directement interprétables. Seuls des enregistrements effectués à l'aide d'électrodes placées en surface, loin des sources génératrices, permettent de recueillir des signaux qui sont amplifiés puis traités pour que les « réponses visuelles » soient discernables du « bruit » et interprétables.

I. L'ELECTRO-OCULOGRAMMES :

Comme tous les organes du corps humain, le système visuel génère des signaux électriques. Ces signaux ne sont pas strictement des courants électriques qui correspondent à une circulation d'électrons comme dans les conducteurs électriques classiques de cuivre, mais sont des courants ioniques qui correspondent à une circulation d'ions, le plus souvent positifs comme les ions sodium ou potassium. [5]

I.1. Définition :

L'électro-oculographie est une technique qui enregistre la variation du potentiel de repos de l'œil lorsque l'on modifie l'éclairage de la rétine. Cette variation du potentiel est évaluée par les mouvements oculaires induits. Il s'agit donc d'une mesure indirecte de recueil.

L'enregistrement de l'électro-oculogramme est donné sous la forme d'un tracé illustré dans la figure II.1.

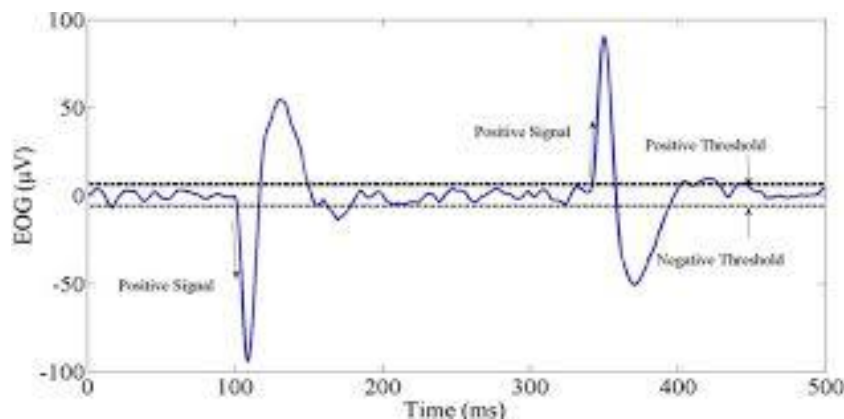


Figure II.1. Le tracé de l'EOG

I.2. Déroulement de l'examen :

L'examen est réalisé en position assise, tête immobile. Le sujet est équipé d'électrodes de part et d'autre de chaque œil. On demande au patient de fixer successivement deux voyants rouge allumés alternativement à droite et à gauche. Les mouvements oculaires induits vont générer un potentiel électrique.

En effet, quand l'œil droit tourne vers l'extérieur, la charge positive de la cornée se rapproche de l'électrode externe, tandis que la charge négative se rapproche de l'électrode située au niveau interne de l'œil : on note alors une déflexion positive et à gauche une déflexion négative. C'est l'inverse quand le sujet regarde à gauche.

C'est cette différence de potentiel qui va être recueillie, amplifiée puis enregistrée.

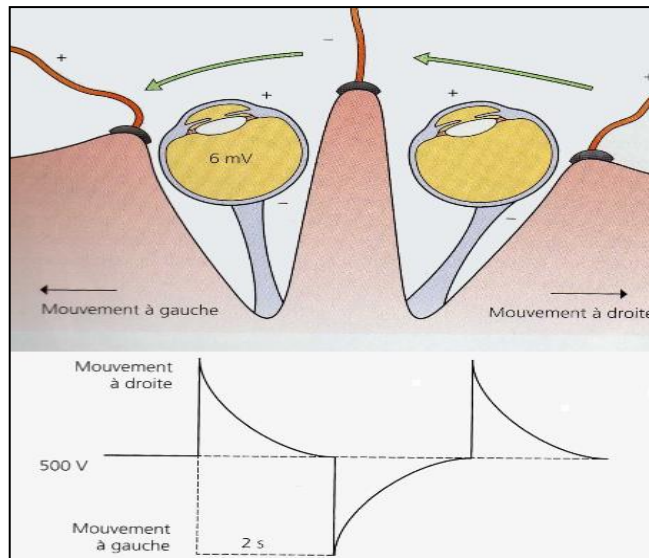


Figure II.2. Potentiel électrique induit par les mouvements de la cornée

L'enregistrement de l'EOG est d'abord réalisé dans l'obscurité pendant 12 minutes, Pendant cette période d'adaptation scotopique, le potentiel électrique tombe à son minimum.

On augmente ensuite brutalement la lumière (60 à 100 cd/m²) pour obtenir un niveau photopique haut. Le potentiel électrique atteint alors un maximum après environ 8 à 12 minutes d'adaptation à la lumière. Cette variation de potentiel reflète la dépolarisation progressive de l'épithélium pigmentaire de la rétine. Une faible augmentation de la courbe de l'EOG pendant la période d'éclaircissement évoque un dysfonctionnement au niveau de l'épithélium pigmentaire ou au niveau du complexe épithélium pigmentaire-photorécepteur.

L'essentiel de l'analyse de l'EOG repose sur le calcul du rapport d'Arden (RA). Il s'agit du rapport entre l'amplitude maximale du potentiel à la lumière (LP ou light peak) et l'amplitude minimale du potentiel à l'obscurité (DT ou dark trough).

$$RA = LP/DT \times 100$$

En dessous de 160 %, il devient franchement anormal.

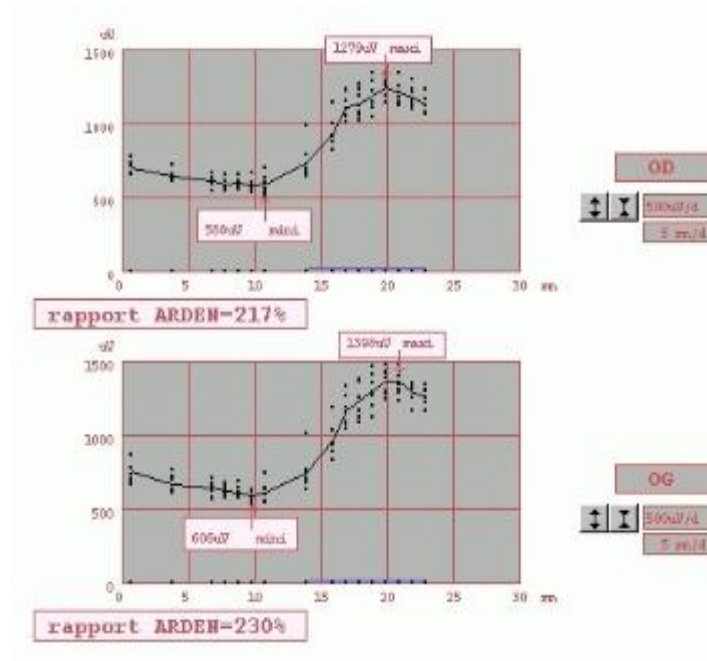


Figure II.3. Tracé d'électro-oculogramme normal

L'EOG peut être réalisé avec une pupille dilatée ou non dilatée. La dilatation pupillaire favorise un meilleur contrôle de l'éclairement sur la rétine, mais allonge le temps de l'examen et augmente l'inconfort du patient.

La variation inter et intra-individuelle rend difficile l'interprétation des résultats. Il y a 10 % de variance dans la moyenne des valeurs pour un test répété sur un même sujet. Seules des altérations très importantes de l'EOG peuvent être considérées comme pathologiques.

Le comité de standardisation de l'ISCEV recommande vivement le calcul des valeurs de normalité pour chaque laboratoire (ce qui est essentiel pour l'interprétation des résultats).

Les perturbations détectées lors de cet examen ne peuvent être interprétées isolément, C'est pourquoi, l'électrorétinogramme est effectué conjointement. Les anomalies découvertes lors de

ces deux tests électro-physiologiques confirment le diagnostic d'intoxication à l'hydroxychloroquine. [6]

I.3. Exemples d'application :

L'intérêt majeur de l'EOG réside dans les pathologies primitives de l'épithélium pigmentaire sans retentissement sur la neurorétine ou avant qu'elles n'aient induit une atteinte secondaire de la neurorétine.

L'EOG est un test global qui ne permet pas l'évaluation du fonctionnement de l'épithélium pigmentaire lors d'atteinte localisée. L'amplitude du Light Peak est normale par exemple dans l'hypertrophie congénitale de l'épithélium pigmentaire, l'atteinte épithéliale rubéolique ou l'atteinte débutante due à la dégénérescence maculaire liée à l'âge.

I.4. Maladie de Best :

L'EOG est l'examen principal pour le diagnostic de la maladie de Best (disque vitelliforme).

La maladie de Best se manifeste par une maculopathie d'apparition précoce, transmise sur le mode autosomique dominant correspondant à une accumulation de lipofushine Elle évolue progressivement vers la perte de la vision centrale avec développement d'un point de fixation stable situé au-dessus de la lésion, ce qui permet au sujet de garder une acuité visuelle correcte. A long terme, son aspect est celui d'une dégénérescence maculaire liée à l'âge. Lorsque l'aspect du fond d'œil est évocateur, c'est l'électrophysiologie qui permet d'en affirmer le diagnostic.

La maladie de Best est associée à des mutations du gène VMD2 qui code pour la bestrophine, un des composants des canaux chlore de la membrane basale de l'épithélium pigmentaire ou pour un des modulateurs de la cinétique de ces canaux chlore Le fonctionnement de la neurorétine est normal (ERG flash et ERG multifocal normal) ; il est associé à une absence de genèse du Light Peak de l'EOG, qui traduit l'impossibilité des canaux chlore de modifier leur conductance lors de variation d'éclairement .La maladie de Best est une maladie canalaire qui touche toute la surface de l'épithélium pigmentaire .Le dépôt de lipofushine qui en résulte est localisé à la zone maculaire ; l'OCT situe ce dépôt à la surface externe de la rétine, ou à différents niveaux entre la membrane apicale et basale et l'histopathologie, au niveau de la membrane de Bruch. Il serait dû à l'impossibilité qu'a l'épithélium pigmentaire d'éliminer les parties phagocytées des segments externes des photorécepteurs.

Si le fond d'œil montre un dépôt d'aspect vitelliforme mais associé à un EOG et ERG flash normaux, la maladie de Best (Dégénérescence vitelliforme juvénile de la macula) est exclue. Cet aspect du fond d'œil, l'ERG flash et EOG normaux correspondent à d'autres dystrophies maculaire héréditaires (dont la dystrophie maculaire vitelliforme de l'adulte) avec un fonctionnement de l'épithélium pigmentaire préservé dans un premier temps.

I.2.1. Maladie de Stargardt

L'EOG permet aussi de quantifier les atteintes de l'épithélium pigmentaire au cours de la maladie de Stargardt (fundus flavimaculatus). La maladie de Stargardt est due à la mutation du gène ABCA4 qui code pour le transporteur ABCA4 commun aux cônes et bâtonnets ; ce transporteur assure le passage transmembranaire des rétinoides entre les photorécepteurs et l'épithélium pigmentaire. Sa mutation entraîne une accumulation de matériels dans le segment externe des photorécepteurs mais également dans l'épithélium pigmentaire sous forme de composés fluorescents de la lipofushine A2E et isoA2E (N-rétinylidène-N-rétinyléthanolamine). Ces composés induisent une apoptose (mort) accélérée des cellules de l'épithélium pigmentaire qui n'assurent plus le renouvellement des photorécepteurs avec dégénérescence secondaire de ces derniers .Dans un premier temps, l'EOG et l'ERG flash sont normaux puis évoluent en fonction du degré d'atteinte de l'épithélium pigmentaire et des photorécepteurs.[7]

II. LE SCHEMA BLOC DE L'EOG :

La figure ci-dessous résume les différents étages essentiels pour mesurer et obtenir un signal Electro-oculogramme à la sortie.

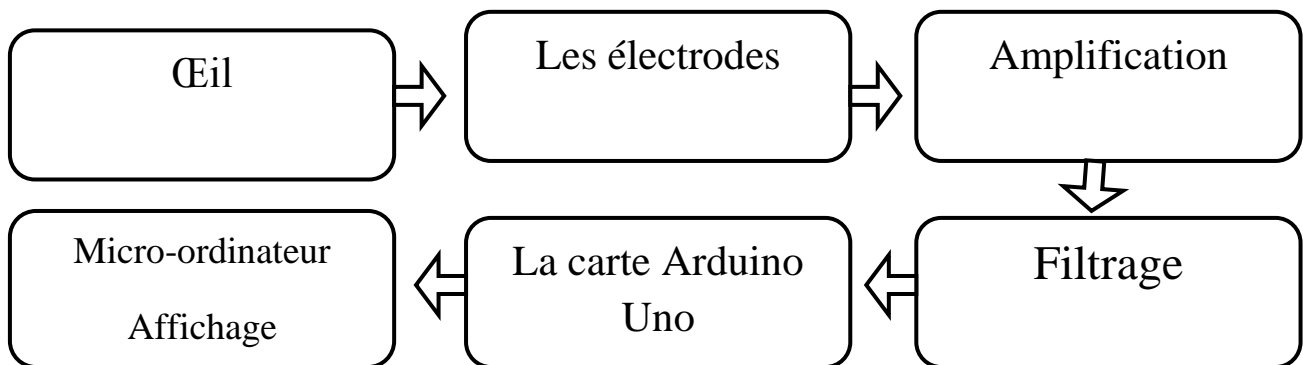


Figure II.4.Schéma bloc de l'électro-oculogramme

II.1. L'œil :

En passant de l'air dans l'œil, la lumière traverse successivement la cornée, l'humeur aqueuse, le cristallin, le corps vitré puis toute l'épaisseur de la couche nerveuse de la rétine avant de stimuler les photos réceptrices de la couche nerveuse, qui sont contigus à la couche pigmentaire. La lumière est donc déviée trois fois : à son entrée dans le cristallin et à sa sortie du cristallin. La cornée produit la majeure partie de la réfraction dans l'œil, mais comme son épaisseur est uniforme. Sa puissance de réfraction est constante. Le cristallin, lui, est très élastique, et sa courbure peut se modifier pour permettre une focalisation précise de la lumière. L'humeur aqueuse et le corps vitré jouent un rôle minime dans la réfraction de la lumière. [2]

II.2. Les électrodes :

Les électrodes assurent le rôle d'interface entre le corps du patient et l'appareil qui recueille les signaux, Cette interface se situe entre deux milieux où les phénomènes de conduction électrique sont de nature très différente. Au sein du corps du patient, ce sont des ions qui assurent la conduction alors que pour l'appareillage « électronique », ce sont des électrons

II.2.1. Critères de sélection d'une électrode :

- Qualité du signal recueilli
- Tolérance de l'électrode
- Qualité optique de l'électrode
- Le prix

II.2.2. Electrodes pour les électro-oculogrammes :

Les électro-oculogrammes sensoriels contiennent des composantes à variation lente. Il est donc important de réaliser leur recueil avec des électrodes de très bonne stabilité : électrodes cupules de bonne qualité, électrodes patch pré-gélifiées ou électrodes de contact de type à ECG.

II.2.3. Electrodes de référence

Il en résulte une excellente stabilité de recueil du signal et une bonne prévention contre les artefacts résultant des mouvements du patient. [5]

II.2.4. Placement des électrodes de l'EOG :

Nettoyer la peau en profondeur sur le côté de chaque œil (la zone située entre l'œil et la racine des cheveux) et au milieu du front du patient avec des tampons d'alcool. Sécher la surface nettoyée avec un tampon de gaze.

Les emplacements corrects de chaque électrode sont illustrés dans la figure ci-dessous :



Figure II.5.Emplacement des électrodes de l'EOG

Le patient regarde devant lui :

- Placer une électrode, avec son axe vertical, entre la racine des cheveux et le coin de chaque œil(le même placement pour la deuxième électrode)
- Placer la troisième électrode dans le centre du front du patient.

Connecter les électrodes EOG au câble fourni. Fixez les connecteurs jaune et orange aux électrodes près des yeux, et l'électrode verte à l'électrode de référence dans le centre de la tête.

[8]

II.2.5. Les électrodes utilisées :

On utilise pour la détection du signal EOG des électrodes de surfaces qui se placent sur le visage du patient : sur le front et les deux extrémités des yeux. Ces électrodes sont faciles à utiliser et à installer.



Figure II.6. Les électrodes de surface

II.3. Etage d'amplification :

Le signal électrique du EOG issu des électrodes est de faible niveau. Si l'on souhaite travailler avec une bonne précision, il est nécessaire de l'amplifier. Mais cette amplification ne doit concerner que le signal utile (le signal EOG). Or ce dernier côtoie bien souvent une tension parasite (du même ordre de grandeur que notre signal). Il faut donc faire une amplification « sélective » qui élimine ou atténue fortement tout signal ne contenant pas d'information pour ne garder que le signal capteur. [9]

On fait appel pour cela à :

- Amplificateur opérationnel de type OP07 pour l'amplification du signal.
- Amplificateur d'instrumentation de type AD620 qui adapte le signal utile à la chaîne d'acquisition de manière la plus précise (un amplificateur placé à l'entrée et l'autre placé à la sortie du circuit électronique du EOG).

II.3.1. L'amplificateur opérationnel :

L'amplificateur opérationnel est un composant de l'électronique qui résulte de l'intégration de plusieurs étages amplificateurs dans un même boîtier. Il comporte généralement deux entrées, appelées respectivement entrées : inverseuse (-) et non inverseuse (+), et une seule sortie.

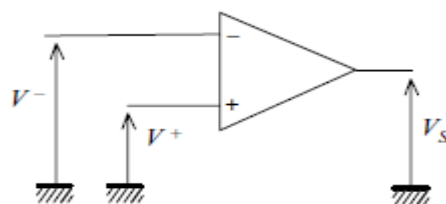


Figure II.7. Symbole de l'amplificateur opérationnel

Du point de vue fonctionnel, la tension est proportionnelle à la différence de potentiel qui existe entre les deux bornes d'entrée, ce qui s'exprime par la relation :

$$V_s = A_d (V^+ - V^-) \quad (\text{II.1})$$

A_d : est appelé amplification différentielle

II.3.1.1. Structure d'un amplificateur opérationnel

La structure interne de la plupart des amplificateurs opérationnels peut se ramener au schéma simplifié de la figure II.8.

- **Le premier étage** : a une structure différentielle, c'est-à-dire qu'il délivre en sortie une grandeur proportionnelle à la différence des potentiels des entrées.
- **Le second étage** : amplifie et adapte en impédance la grandeur fournie par le premier étage. Il assure de plus une translation des niveaux continus de façon à ne pas limiter l'excursion des signaux, et imposer une tension V_s nulle lorsque l'écart $(V^+ - V^-)$ est nul. Cette translation est indispensable puisque les liaisons entre les différents étages laissent passer les signaux continus.
- **Enfin l'étage** : de sortie permet de fournir V_s avec une impédance de sortie faible.

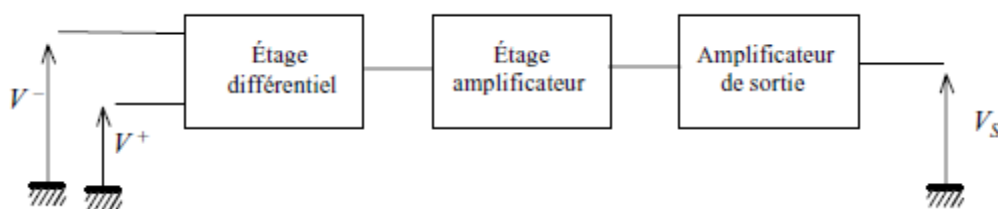


Figure II.8. Schéma de principe de l'amplificateur opérationnel

II.3.1.2. Caractéristiques de l'amplificateur opérationnel :

L'amplificateur opérationnel idéal a les caractéristiques suivantes :

- un gain en tension différentiel infini : $A_d = \infty$;
- une impédance d'entrée infinie : $Z_E = \infty$;

- une impédance de sortie nulle : $Z_S = 0$;
- une bande passante infinie : $BP = \infty$. [10]

II.3.2. L'amplificateur d'instrumentation :

L'amplificateur d'instrumentation doit réaliser la fonction :

$$V_s = G_d(V^+ - V^-) \quad (\text{II.2})$$

Avec :

- V_s : la tension de sortie.
- $(V^+ - V^-)$: la différence de tension entre les deux entrées de l'amplificateur.
- G_d : le gain.

Sachant que les caractéristiques idéales de l'amplificateur d'instrumentation sont :

- une impédance d'entrée infinie
- une impédance de sortie nulle
- un TRMC infinie
- un Gain différentiel G_d réglable.

La réalisation d'amplificateur d'instrumentation se base sur l'utilisation de l'amplificateur opérationnel.

Dans notre circuit du EOG on a choisit comme amplificateur le **AD620** pour amplifier le signal EOG qui de l'ordre de quelque mV. [9]

II.3.3. Description de l'AD620 :

L'AD620 est un amplificateur d'instrumentation à bas prix et à haute précision. Il nécessite une résistance à l'extérieur de l'amplificateur qui relie les deux pattes (1) et (8) pour le réglage du gain du 1 à 1000. (Voir l'annexe 1)

- Les entrées de l'AD620 : (2) et (3)
- la sortie : (6)
- la référence : (5)
- les alimentations : (4) et (7)

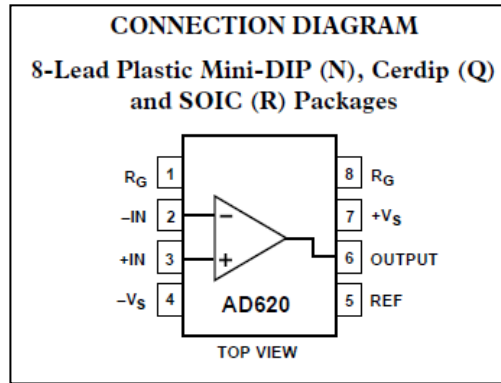


Figure II.9. Configuration de l'AD620

L'équation du gain de l'amplificateur AD620 est la suivante :

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_G} + 1 \quad (\text{II.3})$$

Alors la résistance est :

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G-1} \quad (\text{II.4}) \quad [11]$$

II.4. Etage de filtrage :

Qui n'est qu'un aspect particulier du traitement du signal, permet de modifier, en fonction de la fréquence, les caractéristiques d'amplitude et/ou de phase d'une grandeur d'information en vue de faciliter son traitement ultérieur. [12]

II.4.1. Le filtre :

Un filtre est un système linéaire invariant dans le temps permettant de diviser le spectre (spectre fréquentiel) afin de conserver une ou plusieurs parties (bande) de ce spectre. [13]

II.4.2. Les filtres passifs :

Ce sont des filtres électroniques réalisés uniquement par des éléments passifs.

II.4.2.1. Les avantages :

- Ils sont faciles à implanter.
- Ils ne nécessitent pas de tension d'alimentation.

- Ils ne comportent pas d'éléments actifs et peuvent pas conséquent travailler à des fréquences élevées.
- Ils supportent des courants ou des tensions de faibles valeurs.
- Ils sont peu bruyants puisque le seul bruit généré est le bruit thermique dû aux résistances.

II.4.2.2. Les inconvénients :

- Étant réalisé avec des éléments passifs, ils sont dépourvu de gain
- Ils peuvent conduire à des circuits à faible impédances d'entrées et/ou fortes impédances de sortie, nécessitant l'utilisation de circuits adaptateurs d'impédances.
- La présence d'inductance peut augmenter le coût d'une façon prohibitive si une grande précision est nécessaire, si les dimensions du filtre doivent être faibles ou si valeurs importantes sont demandés. Aux fréquences inférieures à 1KHz, les inductances deviennent très encombrantes et présent des pertes importantes
- Les filtres d'ordre élevé sont difficiles à concevoir [12]

II.4.3. Filtre passe haut :

Un filtre passe-haut est un filtre qui laisse passer les hautes fréquences et qui atténue les basses fréquences, c'est-à-dire les fréquences inférieures à la fréquence de coupure. Il pourrait également être appelé filtre coupe-bas. [13]

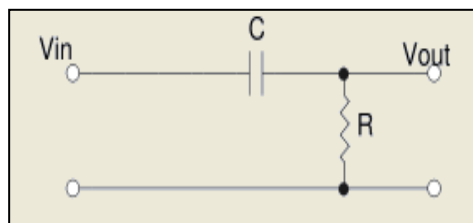


Figure II.10. Le schéma électrique du filtre passe haut

Si l'on représente la courbe d'atténuation du signal en fonction de la fréquence, on obtient le graphe ci-contre. L'échelle des ordonnées, correspondant à la tension de sortie, est linéaire.

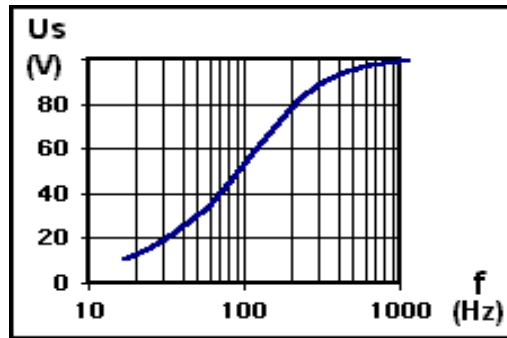


Figure II.11. La courbe du filtre passe haut

Pour retrouver la fonction de transfert de ce filtre, il faut travailler dans le domaine de Laplace en utilisant les impédances des éléments. Avec cette technique, le circuit devient un simple diviseur de tension, et on obtient :

$$H(j\omega) = \frac{V_s}{V_e} = \frac{jRC\omega}{1+jRC\omega} \quad (\text{II.5})$$

La fréquence de coupure est : $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ $\omega_c = \frac{1}{RC}$ (II.6)

II.4.4. Les filtres Actifs :

Les filtres actifs sont des filtres incluant des composants actifs : transistors MOS (Métal Oxyde Semi-conducteur), amplificateurs, interrupteurs électroniques. [12]

II.4.4.1. Les avantages :

- Pas de bobines
- Bande passante amplifiée
- Possibilité d'intégration. [14]

II.4.4.2. L'inconvénient :

Il faut les alimenter et se contenter de filtrer des signaux d'amplitude limitée par la tenue des composants actifs. Le niveau de bruit et la présence de tensions d'offset peuvent aussi en limiter les domaines d'application qui se situent de toute façon dans les gammes de fréquence de fonctionnement des composants actifs utilisés.

II.4.5. Le filtre passe bas : Filtre de SALLEN ET KEY :

Les filtres de Sallen et Key sont des filtres actifs construits à partir de réseaux RC, comportant seulement des résistors et des condensateurs. L'absence de bobines d'auto-induction permet de les faire fonctionner à basse fréquence, par exemple pour le traitement du signal audio.

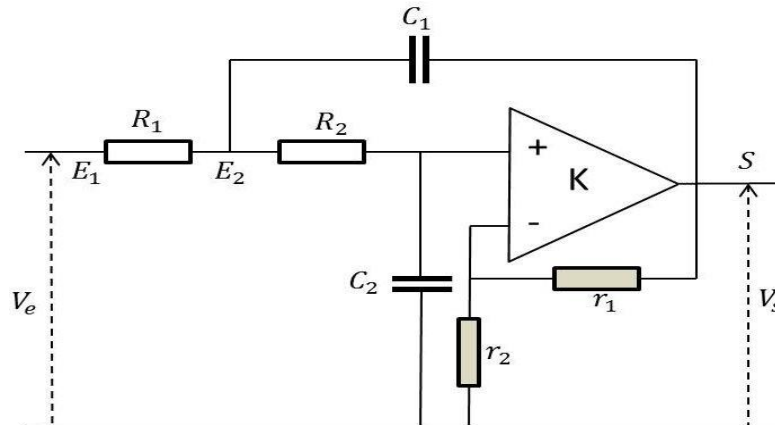


Figure II.12. Le schéma électrique du filtre SALLEN et KAY

On impose la valeur de K qui correspond au gain global à l'origine, indépendamment de l'approximation pour la fonction de transfert. Fixant C1, C2, il reste à calculer R1, R2 à partir des coefficients du polynôme, donc deux relations. Il s'agit bien sûr de valeurs à considérer comme initiales si l'on souhaite procéder par ajustage des constantes de temps R1 C1, R2 C2.

La fonction de transfert est :

$$H(p) = \frac{K}{R_1 R_2 C_1 p^2 + [(1-K)R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2] p + 1} \quad (II.7)$$

$$K = 1 + \frac{r_1}{r_2} \quad K > 1 \quad (II.8)$$

Sous une autre forme qui fait apparaître, non pas des composants, mais des paramètres physiques, cette fonction de transfert peut s'écrire :

$$H(p) = \frac{K}{p^2 + \frac{\omega_0}{Qp} + \omega_0^2} \quad (II.9)$$

Avec :

ω_0 : est la pulsation de résonance.

Q : est le facteur de surtension qui caractérise l'*acuité* de la résonance et peut être parfois remplacé par le facteur d'amortissement $\zeta=1/2 Q$

Les deux paramètres (ω_0, Q) ou (ω_0, ζ) suffisent pour caractériser totalement la réponse harmonique. Il faut donc assurer leur ajustage. [15]

II.5. Présentation de l'ARDUINO :

II.5.1. Définition :

L'Arduino Uno est une carte micro-contrôleur basée sur un ATmega 328. Nous parlerons de la version 3 (ou R3) qui est la dernière version sortie. Physiquement, la carte Uno fait à peu près 7 par 5,5 cm. Elle possède 4 trous de 3mm de diamètre pour fixer la carte sur un support.

La photo ci-dessous montre les 2 versions Arduino et Genuino :

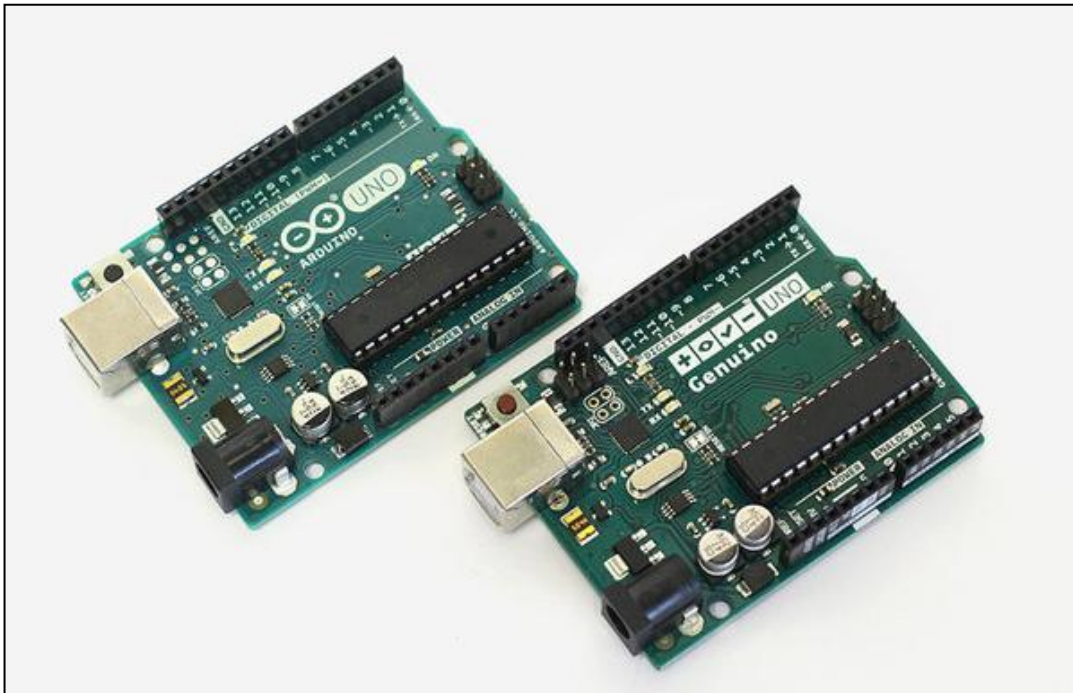


Figure II.13.La carte Arduino Uno

II.5.2. Les composants :

La carte Uno dispose de :

- un processeur ATmega 328
- 14 entrées/sorties numériques dont 6 peuvent être utilisées comme PWM
- 6 entrées/sorties analogiques qui peuvent aussi être utilisées comme entrées/sorties numériques
- un résonateur céramique 16 MHz
- une connectique USB B femelle
- un jack 3,5/2,1 mm pour l'alimentation
- un bouton reset
- un connecteur ICSP

II.5.3. Les avantages :

- Pas cher.
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multiplateforme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso etc...)
- Existence de « shield » (boucliers en français) : ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent sur le module Arduino pour augmenter les possibilités comme par exemple :
- Afficheur graphique couleur, interface Ethernet, GPS, etc...

II.5.4. Caractéristiques :

- Tension d'alimentation interne = 5V.
- tension d'alimentation (recommandée) = 7 à 12V, limites = 6 à 20 V.
- Entrées/sorties numériques : 14.
- Courant max par broches E/S = 40 mA.
- Courant max sur sortie 3,3V = 50mA.
- Mémoire Flash 32 KB dont 0.5 KB utilisée par le bootloader Mémoire SRAM 2 KB mémoire EEPROM 1 KB.
- Fréquence horloge = 16 MHz

- Dimensions = 68.6mm x 53.3mm
- Dimensions = 68.6mm x 53.3mm
- L'interface USB /série.

II.5.5. Alimentation :

Plus précisément, la carte nécessite une tension de 5V pour pouvoir fonctionner. C'est le courant que délivre le port USB. Dès lors que nous alimentons l'Arduino via le jack ou les pins VIN et GND, un régulateur de tension prend le relais entre l'alimentation et la carte. La tension entrante doit être comprise entre 6 et 20V. Ce sont les limites maximum.

Toutefois, il est préférable de restreindre cet intervalle pour garantir un bon fonctionnement de la carte :

- En dessous de 7V, la carte peut être instable avec une tension en sortie de régulateur pouvant être inférieure aux 5V nécessaires ;
- Au dessus de 12V, le régulateur peut chauffer de manière trop importante et se mettre en sécurité, voire endommager la carte.
- La tension idéale est 9V

Le jack d'alimentation a le + au centre et le – à l'extérieur. Une diode présente sur la carte protège d'un mauvais branchement.

Quelle que soit la source d'alimentation, la carte la sélectionne automatiquement. On peut donc avoir simultanément l'Arduino connecté en USB et alimenté par une autre source comme un adaptateur secteur 9V.

II.5.6. La force de la carte Arduino provient du fait qu'elle :

- est en open source,
- ne nécessite pas de réalisation de carte électronique.
- Se contente d'une programmation simplifiée.
- peut s'améliorer à l'aide de la communauté d'internautes, qui vous donnent la solution à tous vos problèmes.
- la documentation sur le sujet est très abondante et offerte gratuitement sur Internet. [16]

II.5.7. Les entrées analogiques :

Dans la carte Arduino UNO, il y a 6 entrées analogiques, pouvant mesurer des tensions comprises entre 0 et 5 volts, avec une précision de 10 bits (soit 1024 points).

Si on fait rapidement le calcul, 1024 points sur une plage de 5 volts donne une précision absolue de 0,0048828125 volt, soit environ 4,9mV.

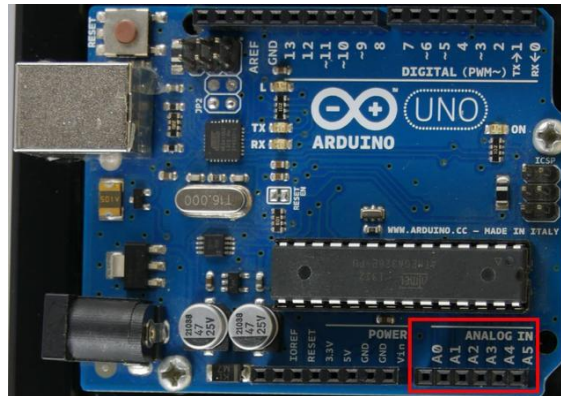


Figure II.14. Emplacement des entrées analogiques d'une carte Arduino UNO

II.5.8. La conversion Analogique - Numérique :

Un signal numérique : est un signal pouvant prendre deux états binaires : haut (HIGH) ou bas (LOW).

Un signal analogique : est un signal pouvant prendre une infinité de valeurs intermédiaires.

En électronique numérique, on travaille avec des bits et des octets. En analogique, on travaille avec des grandeurs physiques : tension, courant, résistance, fréquence, etc. [17]

- **L'échantillonnage** : consiste à prélever les valeurs d'un signal à intervalles définis, en général réguliers. Il produit une suite de valeurs discrètes.

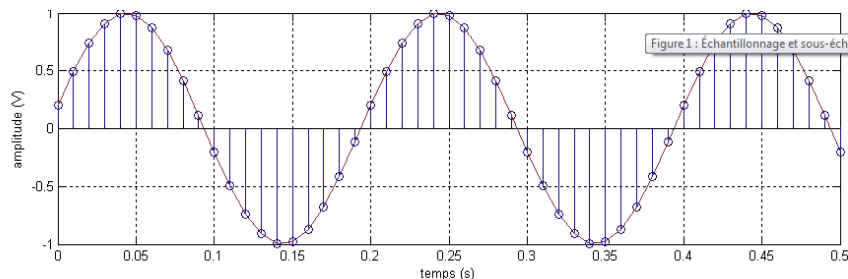


Figure II.15. Echantillonnage d'un signal analogique

En respectant bien sûr le théorème de Shannon : f_e est supérieur ou égale $2f_{max}$. [18]

Pratiquement la fréquence d'échantillonnage est : 9600 Hz

- **Quantification** : attribution d'un code digital à chaque échantillon analogique.

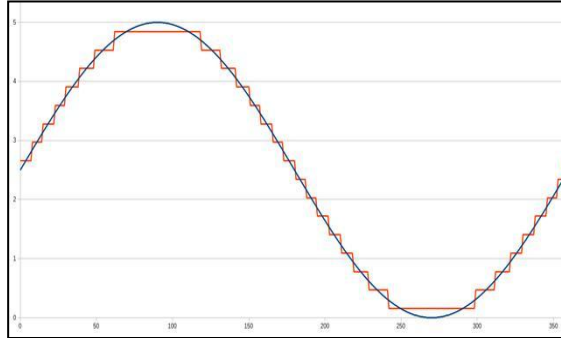


Figure II.16. Signal analogique versus signal numérisé

- **Codage** : Représentation des valeurs numériques.

Conclusion

Dans ce chapitre on a cité en détail les différents étages d'un schéma bloc du circuit de détection du signal électro-oculogramme en expliquant la transformation d'une grandeur physiologique (mouvement de l'œil) en une grandeur électro-physiologique (signal EOG) captée par des électrodes placées sur la zone située entre l'œil et la racine des cheveux et au milieu du front du patient, ensuite la mise en forme de ce signal par un étage d'amplification (amplificateur d'instrumentation) et un étage de filtrage (filtre passe haut et filtre passe bas). On a obtenu à la sortie un signal électro-oculogramme qui a une faible amplitude et de bonne qualité.

CHAPITRE 3 :

ETUDE PRATIQUE DE L'EOG

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on va expliquer la méthode de réalisation d'un circuit de mise en forme du signal Elèctro-Oculogramme en détaille commençant par des logiciels électroniques ISIS, ARES et enfin l'obtention d'un circuit imprimé puis donnant et interprétant les résultats pratiques de notre étude (Amplification et Filtrage du signal EOG).

I. REALISATION DU CIRCUIT DE L'EOG :

La réalisation du circuit de mise en forme de l'EOG a été faite à l'aide des logiciels électroniques : ISIS et ARES pour obtenir à la fin notre circuit imprimé. Pour cela on suit les étapes suivantes :

I.1. Proteus (ISIS et ARES)

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique.

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages :

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et à utiliser.
- Le support technique est performant.
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.

I.3. Logiciel ISIS :

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

Grace au logiciel ISIS on a réalisé le schéma électrique de l'EOG en plaçant et reliant tout les composants électroniques et les alimentations entre eux comme illustre la figure ci-dessous

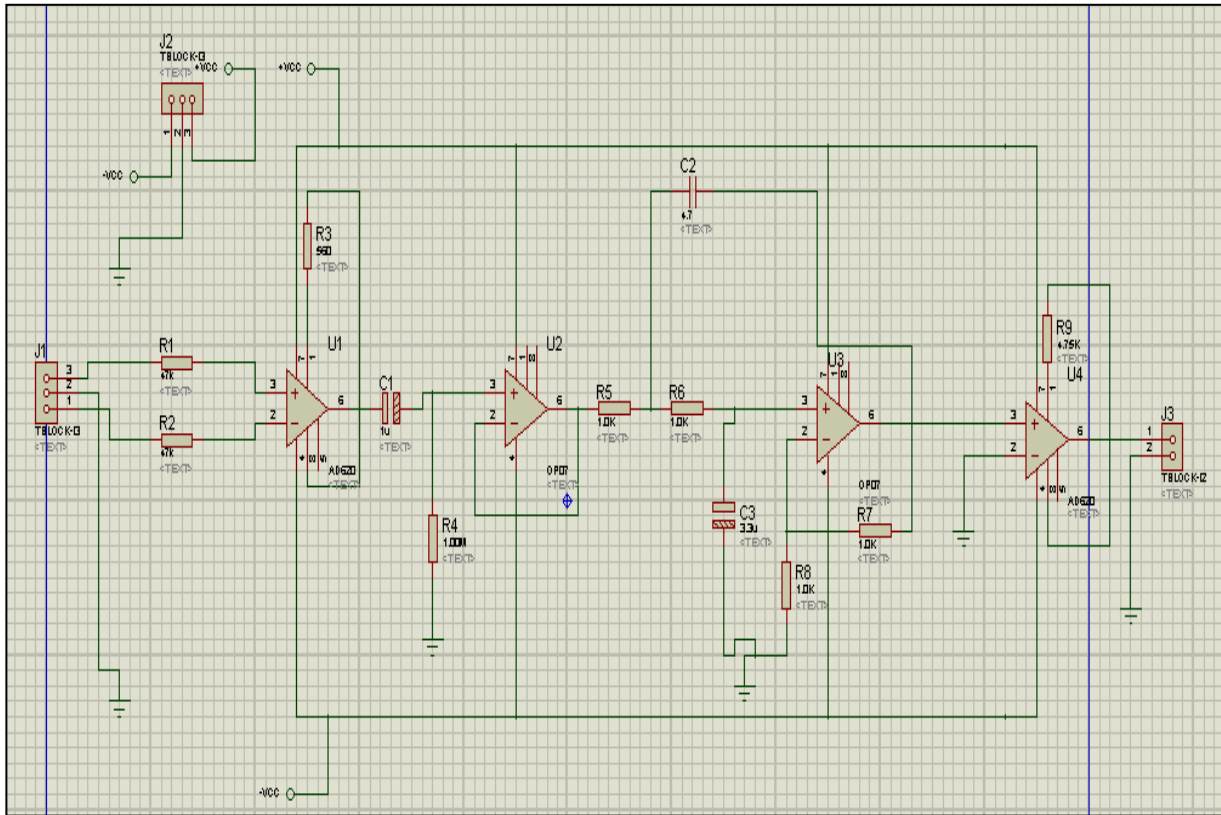


Figure III.1. Le schéma électrique de l'EOG réalisé par ISIS

I.1.2. Logiciel ARES :

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement. [19]

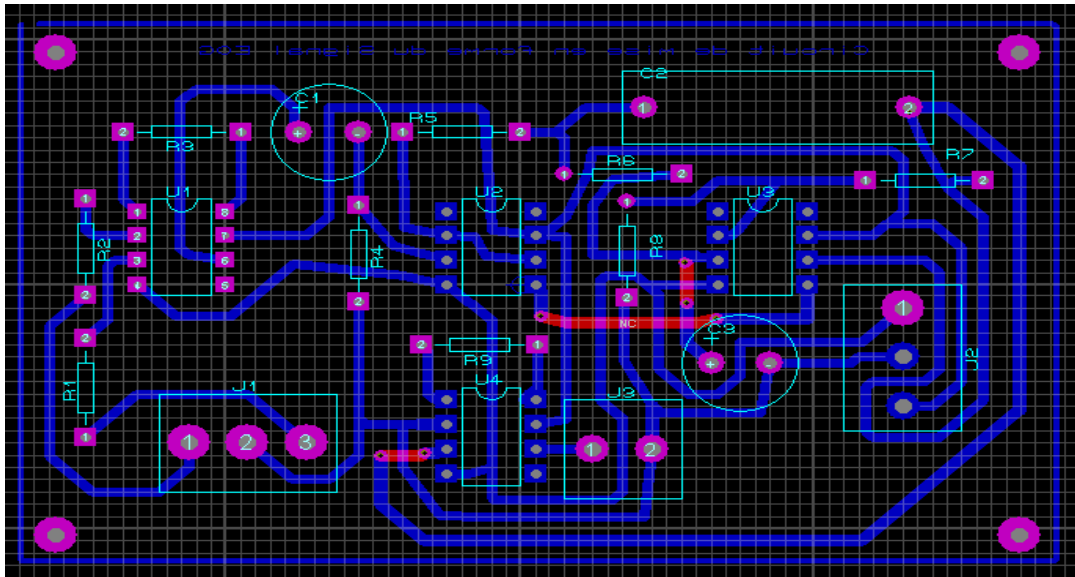


Figure III.2. Le circuit de l'EOG réalisé par ARES

I.2. Le circuit imprimé :

Est un support, en général une plaque, permettant de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux, dans le but de réaliser un circuit électronique complexe. On le désigne aussi par le terme de carte électronique.

Il est constitué d'un assemblage d'une ou plusieurs fines couches de cuivre séparées par un matériau isolant. Les couches de cuivre sont gravées par un procédé chimique pour obtenir un ensemble de pistes, terminées par des pastilles. Le circuit imprimé est souvent recouvert d'une couche de vernis coloré qui protège les pistes de l'oxydation et d'éventuels courts-circuits.

Le circuit imprimé est réalisé par la méthode industrielle (par photogravure) :

- La plaque cuivrée est couverte initialement par un produit photosensible.
- Le schéma du circuit imprimé est tiré sur du papier calque.
- Du papier calque sur lequel le schéma du circuit imprimé est dessiné on tire un négatif par méthode photographique.
- Ce négatif est placé sur la plaque cuivrée photosensible. Le schéma est reproduit sur la plaque par photogravure. C'est-à-dire on fait une insolation par lumière UV.
- Le dessin apparaît en plaçons la plaque dans un révélateur.
- La plaque est ensuite placée dans un bain de perchlorure de fer pour l'attaque chimique.
- La plaque est ensuite lavée puis séchée.

- Le cuivre restant sur le support est alors débarrassé de son vernis protecteur photosensible et étamé par une solution d'étain à froid dans un bain, ce film d'étain permet d'assurer une protection du cuivre et une meilleure adhésion des soudures.
- Après perçage des trous de passage on implante les composants électroniques puis on fait la soudure à l'étain. [20]

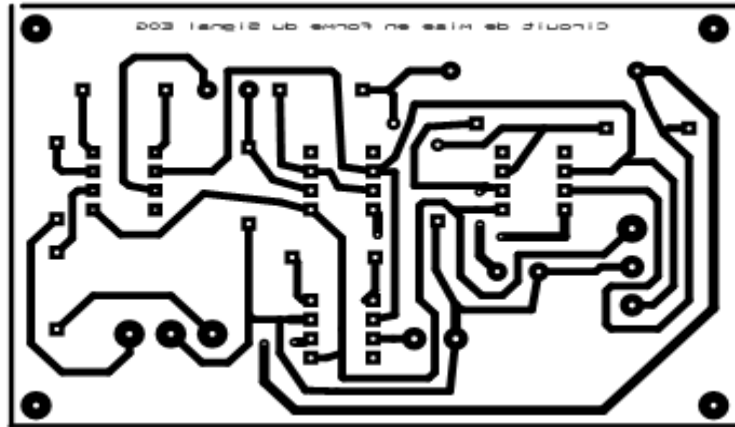


Figure III.3. Le circuit imprimé de l'EOG sur le papier calque

Le circuit de l'Electro-oculogramme obtenu à la fin de son réalisation est démontré dans la figure 4 avec les différents étages d'amplification et de filtrage.

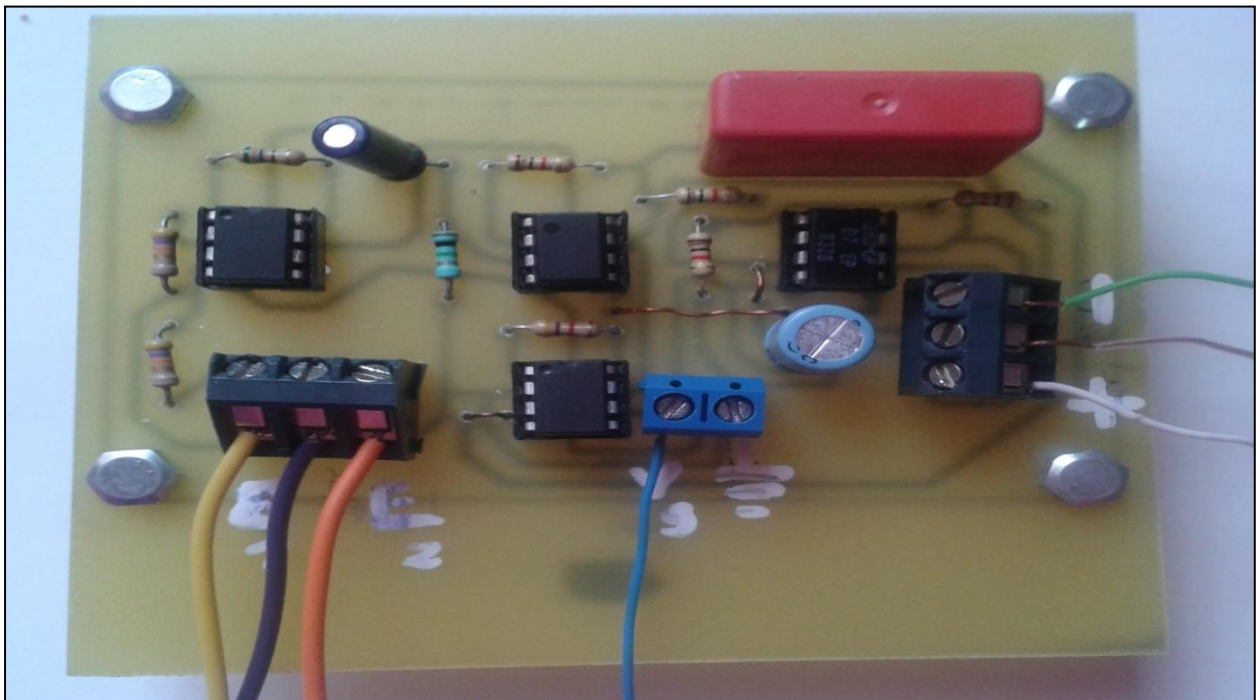


Figure III.4. Le circuit électronique de l'EOG

II. RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

II.1. Etage de pré-amplification :

Les signaux électriques de l'activité visuelle (quelques microvolts) sont collectés par des capteurs appelés électrodes (dans le contexte biomédical). Les signaux que l'on visualise sont généralement mesurés par rapport à une électrode dite de référence. Celle-ci est placée à un endroit précis du corps. Il s'agit donc de mesurer le potentiel de chaque électrode par rapport à celui de l'électrode de référence (celle-ci ne constituant pas une masse). Une mesure différentielle s'impose donc et l'utilisation d'un amplificateur d'instrumentation est nécessaire.

Dans cet étage on a utilisé un amplificateur d'instrumentation AD620, et on a relié ses entrées (2 et 3) aux électrodes placées sur les deux cotés des yeux, et l'électrode de référence qui est relié à la masse.

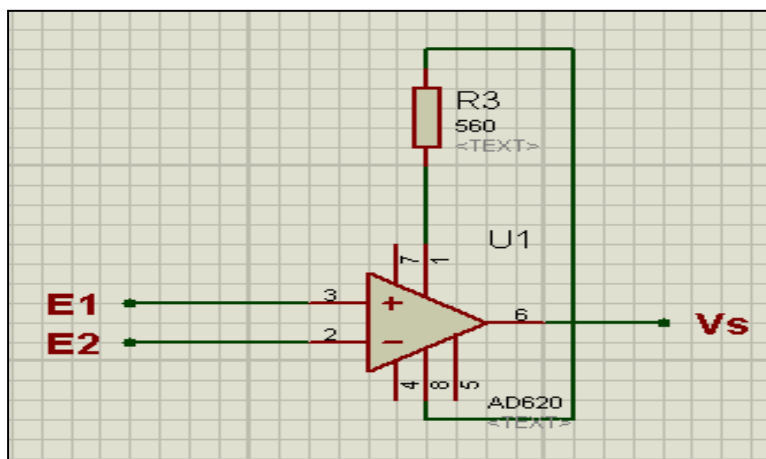


Figure III.5. Le schéma électrique du préamplificateur

- **(+IN)** ou **(E₁)**: Entrée non inverseuse (électrode 1).
- **(-IN)** ou **(E₂)**: Entrée inverseuse (électrode 2).
- **(OUTPUT)** ou **(Vs)**: Sortie référencée.
- **(+Vs)** ou **(+Vcc)** : Alimentation symétrique positive.
- **(-Vs)** ou **(-Vcc)** : Alimentation symétrique négative.
- **(Rg)** : Réglage du gain via la résistance R3 connectée sur Rg.
- **(Ref)** : Référence de la sortie (out).

L'équation du gain de l'AD620 est : $G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{560 \Omega} + 1 = 89.21$ (III.1)

Alors la résistance est : $R_g = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G-1} = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{89.21-1} = 560.02 \Omega$ (III.2)

Le signal EOG obtenu à la sortie de l'amplificateur est représenté dans la figure suivante :

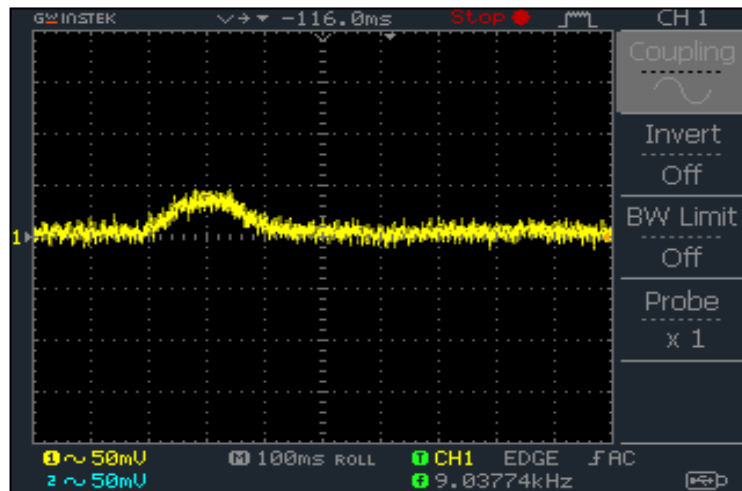


Figure III.6. Le signal EOG à la sortie de l'amplificateur d'instrumentation

II.2. Filtrage :

II.2.1. Filtre passe haut :

Le rôle du filtre passe haut est de laisser passer les hautes fréquences et atténue les basses fréquences, c'est-à-dire les fréquences inférieures à la fréquence de coupure 0.15 Hz et de supprimer les fréquences indésirables.

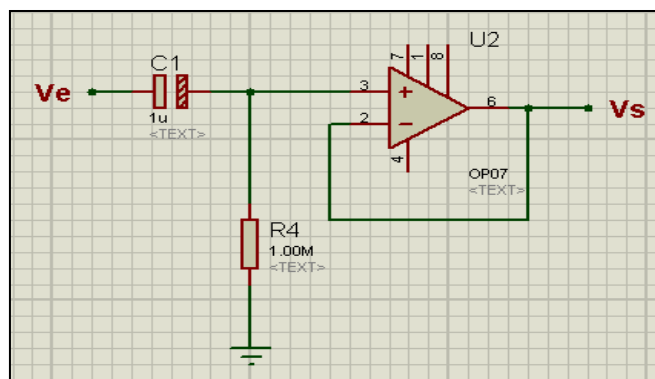


Figure III.7. Le schéma électrique du filtre passe haut

La fonction de transfert est :

$$H(j\omega) = \frac{ZR4}{ZC1+ZR4} = \frac{jR4C1\omega}{1+jR4C1\omega} \quad (III.4)$$

La fréquence de coupure est :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_c} = \frac{1}{2\pi * 10^6 * 10^{-6}} = 0.15 \text{ Hz} \quad (III.5)$$

Le signal EOG obtenu à la sortie du filtre passe haut est représenté dans la figure suivante :

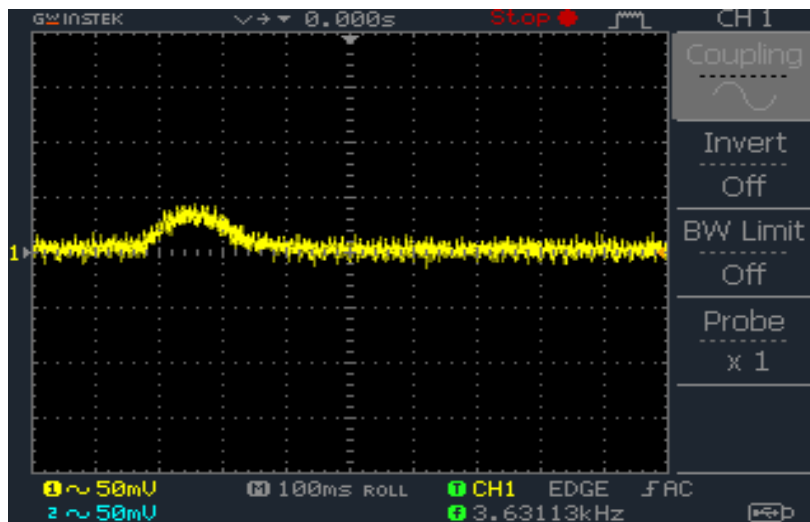


Figure III.8. Le signal EOG à la sortie du filtre passe haut

II.2.2. Le filtre passe bas : Filtre de Sallen et Key :

L'application principale du filtre actif Sallen Key est l'extraction d'un faible signal utile (fourni par un capteur) noyé dans du bruit. On appelle bruit toute sorte de signal indésirable qui s'ajoute au signal utile. Ce bruit peut être d'origine interne au circuit (bruit aléatoire toujours présent et lié à l'agitation thermique des électrons libres dans les résistances) ou d'origine extérieure au circuit (émission radio, bruit des machines tournantes, signal du secteur à 50Hz ...etc). [21]

Pratiquement la fréquence de coupure est : $f_c = 0.3 \text{ Hz}$

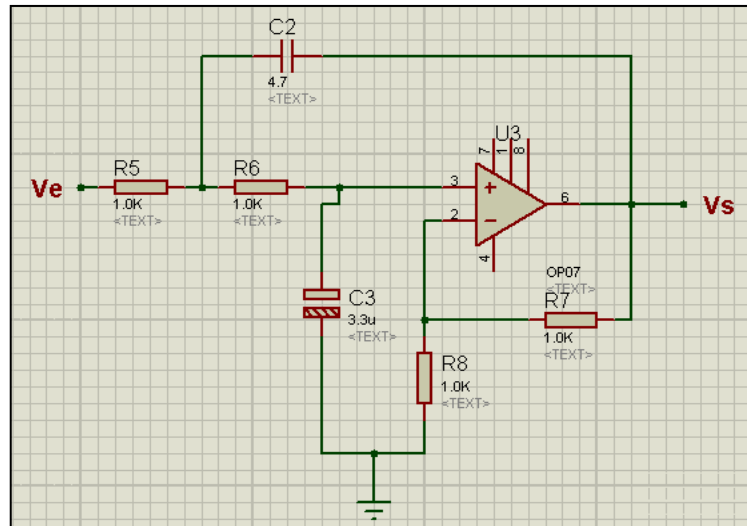


Figure III.9. Le schéma électrique du filtre passe bas

Le signal :

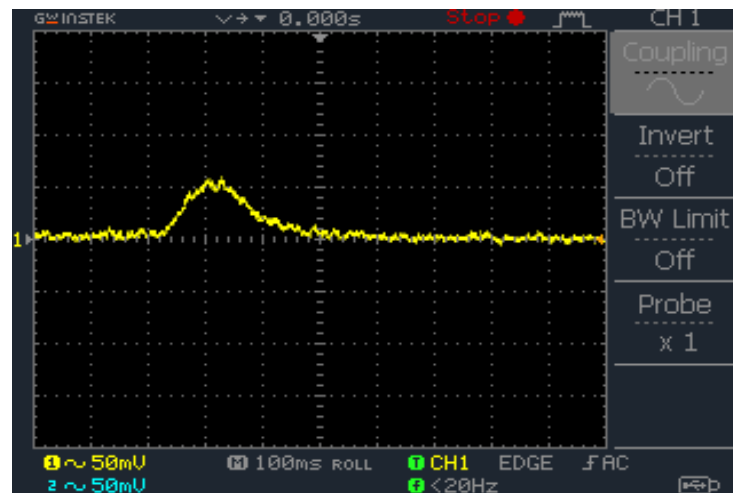


Figure III.10. Le signal EOG à la sortie du filtre passe bas

II.3. Etage d'amplification :

Amplificateur d'instrumentation AD620 existe en circuit intégré. Il est optimisé pour posséder les caractéristiques suivantes :

- Impédances d'entrée élevées sur les deux voies ($>100\text{ M}\Omega$)
- Taux de réjection en mode commun (CMRR) très élevé (110 à 130 dB typiquement)
- Impédance de sortie très faible
- Faible niveau de bruit

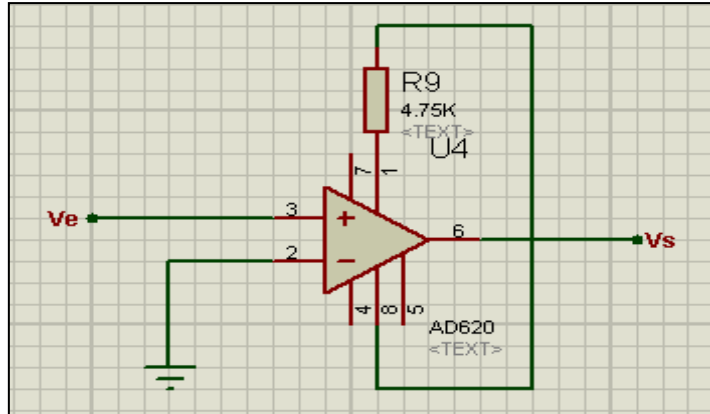


Figure III.11. Le schéma électrique de l'amplificateur

L'équation du gain de l'AD620 est :

$$G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R_g} + 1 = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{4.75 \text{ k}\Omega} + 1 = 11.4 \quad (\text{III.6})$$

Alors la résistance est :

$$R_g = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G-1} = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{11.4-1} = 4.75 \text{ k}\Omega \quad (\text{III.7})$$

Le signal EOG obtenu à la sortie de l'amplificateur est représenté dans la figure suivante :

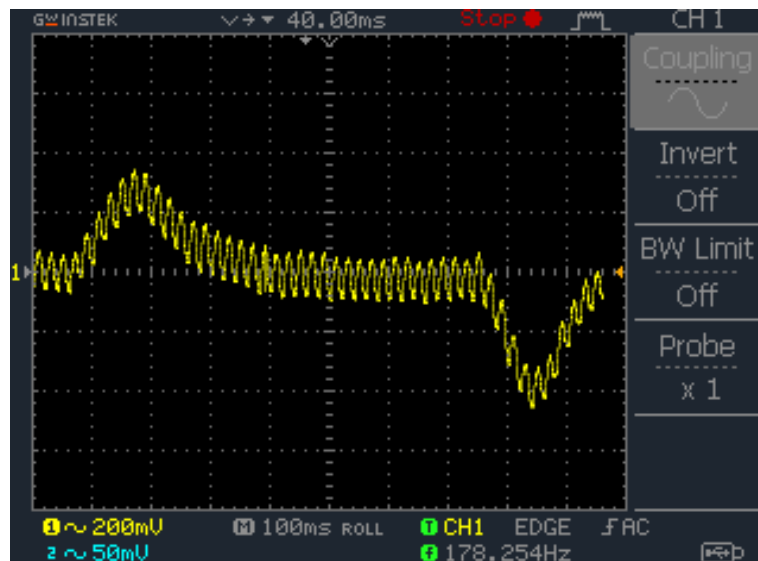
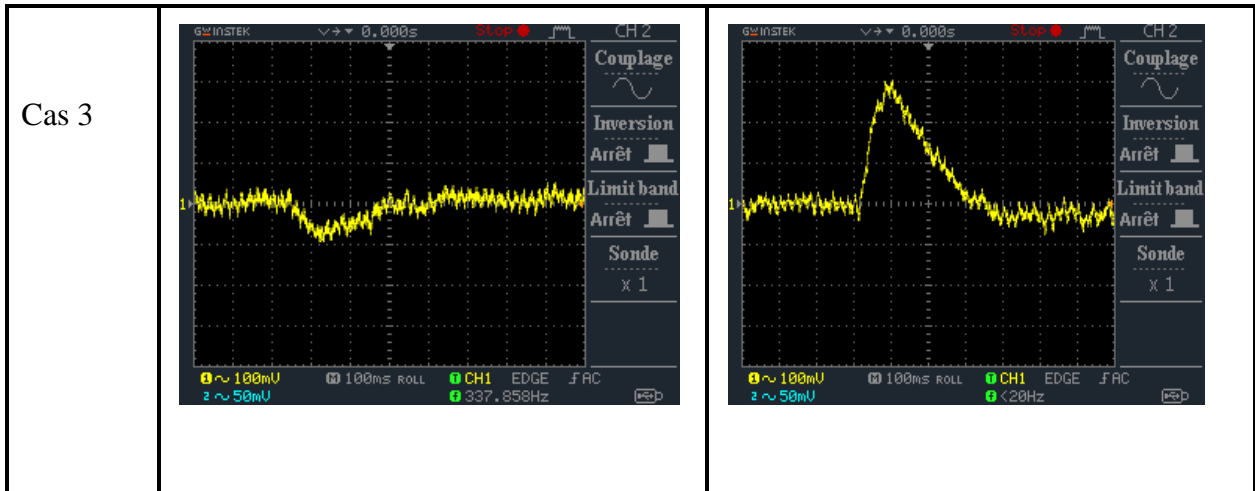


Figure III.12. Le signal EOG à la sortie de l'amplificateur d'instrumentation (mouvement de l'œil à droite et à gauche)

III. APPLICATION DE L'EXAMEN D'ELECTRO-OCULOGRAPHIE :

Après la réalisation de notre circuit de mise en forme du signal EOG on l'a appliqué sur trois patients. Le patient doit s'asseoir et tenir sa tête immobile, puis on a placé les électrodes dans les deux côtés de l'œil et une électrode de référence sur le front, on a effectué pour chaque coté séparément, ce qui nous a donné les résultats suivants :

	Mouvement de l'œil à droite	Mouvement de l'œil à gauche
Cas 1		
Cas 2		



On remarque que ce sont des signaux de faible amplitude même avec une amplification assez grande et il y a une différence entre ces signaux :

	Amplitude du signal EOG lors du mouvement de l'œil à droite (mV)	Amplitude du signal EOG lors du mouvement de l'œil à gauche (mV)
Cas 1	140	180
Cas 2	180	200
Cas 3	100	300

L'EOG est une bonne méthode pour mesurer des modifications dans l'épithélium pigmentaire rétinien.

En cas de maladie de Best, l'EOG permet donc de confirmer le diagnostic et de déterminer le risque de transmission héréditaire chez les membres de la famille non affectés de la maladie.

Cet examen enregistre le fonctionnement de certaines couches de la rétine. Il n'est pas utile seul, mais précise certains diagnostics en complément des PEV et/ou de l'ERG. L'EOG peut être anormal dans de nombreuses maladies rétinienne, qu'elles soient héréditaires, dégénératives, tumorales, circulatoires, inflammatoires, toxiques ou traumatiques.

Certains de ces examens se font après dilatation des pupilles. Quand on suspecte une mauvaise vision chez un bébé, ces examens sont un bon moyen pour tester le fonctionnement des voies visuelles.

III.1. Résultats :

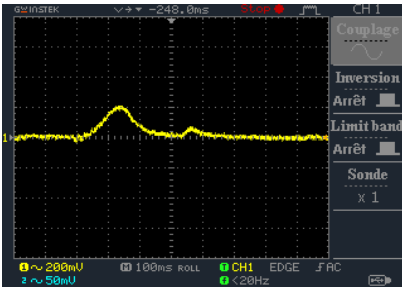
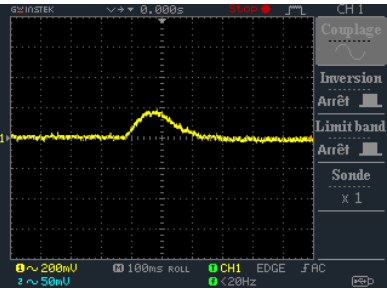
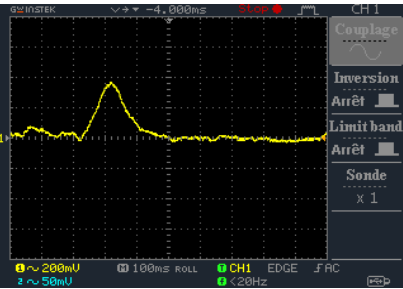
Le signal EOG obtenu à la sortie du circuit électronique est de faible amplitude ce qui ne permet pas de faire une conversion analogique digital de ce signal par l'Arduino Uno et son affichage sur le micro-ordinateur

Pour éviter ce problème lors de la partie programmation on a augmenté le gain des deux amplificateurs AD620 utilisé dans le circuit, par le changement des résistances Rg : R3 et R9 avec des valeurs de 100 Ω et 560 Ω respectivement pour avoir à la sortie un signal EOG amplifié avec un gain de :

$$G1 = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R3} + 1 = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{100 \Omega} + 1 = 495 \quad (\text{III.8})$$

$$G2 = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{R9} + 1 = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{560 \Omega} + 1 = 89.2 \quad (\text{III.9})$$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Signal de sortie de l'amplificateur AD620 (avec G1)	Signal de sortie du filtre passe haut	Signal de sortie du filtre passe bas
		

III. Offset :

Le principe de l'affichage des signaux analogiques convertis en valeurs numériques à travers la carte Arduino est basé sur la conversion des valeurs positives de 0V à 5V, par contre le signal EOG est un signal composé de valeurs positives et négatives ce qui va le rendre écrêté dans la partie négatives après la conversion analogique-numérique.

Pour éviter ce problème on a ajouté à la sortie du circuit de mise en forme de l'EOG un circuit OFFSET.

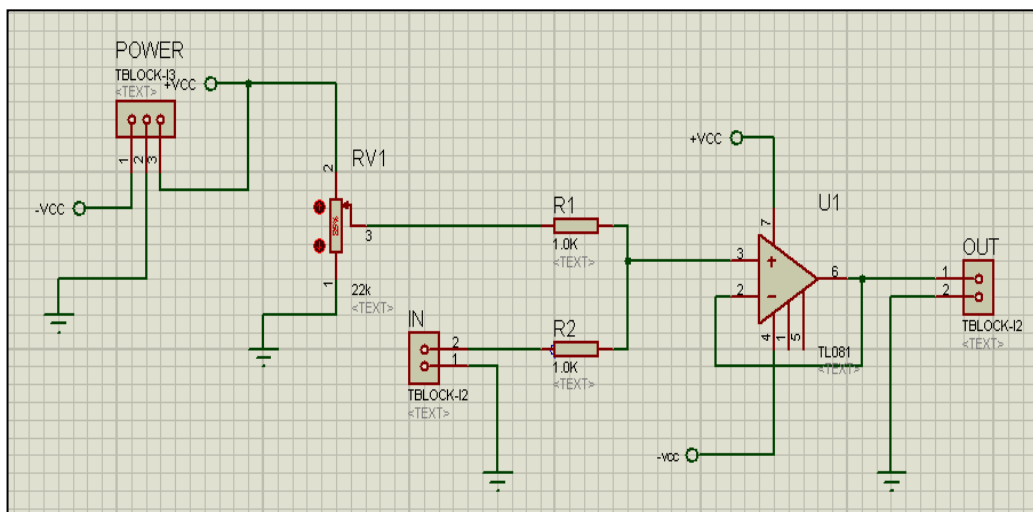


Figure III.13. Le schéma du circuit Offset présenté par ISIS

IV. PROGRAMMATION DE L'ARDUINO UNO :

Dans cette partie on présente le langage Arduino, son vocabulaire ainsi que la structuration du programme de l'Electro-Oculogramme écrit en Arduino.

IV.1. Le langage de programmation :

Un langage de programmation est un langage permettant à un être humain d'écrire un ensemble d'instructions (code source) qui seront directement converties en langage machine grâce à un compilateur (c'est la compilation).

L'exécution d'un programme Arduino s'effectue de manière séquentielle, c'est-à-dire que les instructions sont exécutées les unes à la suite des autres.

Dans notre travail on s'intéresse à la programmation de l'EOG .Voyons plus à la suite en détail la structure de ce programme écrit en Arduino.

IV.2. La structure du programme

Notre programme Arduino de l'EOG comporte trois parties :

1. la partie déclaration des variables (optionnelle).
2. la partie initialisation et configuration des entrées/sorties.
3. la partie principale qui s'exécute en boucle.

IV.3. La programmation sur Arduino est présentée dans la figure suivante :



```
eog §
const int eog = 1; // initialiser la broche A0 a 0 (pour lire la valeur de l'eog )
//const int eog=1; // initialiser la broche A1 a 0 (pour lire la valeur de l'eog )
int valeurLue1; //variable pour stocker la valeur lue après conversion
//int valeurLue2; //variable pour stocker la valeur lue après conversion

float tension;
//float tension2; //on convertit cette valeur en une tension
void setup()
{
//on se contente de démarrer la liaison série
Serial.begin(9600);
  analogReference(EXTERNAL);
}
void loop()
{
//on convertit en nombre binaire la tension de sortie EMG
valeurLue1 = analogRead(eog);
//on traduit la valeur brute en tension (produit en croix)
tension = valeurLue1 * 3.3 / 1024;
tension = map(valeurLue1,0,1023,0,3300);
//Serial.println("EOG = ");
//Serial.print(tension,5);
Serial.println(tension);
Serial.println(); //on saute une ligne entre deux affichages
//
delay(0.1); //on attend une demi-seconde pour que l'affichage ne soit pas trop rapide
}
```

Téléversement terminé

Figure III.14. Le programme de l'EOG sur Arduino Uno

IV.5. Coloration syntaxique

Lorsque du code est écrit dans l'interface de programmation, certains mots apparaissent en différentes couleurs qui clarifient le statut des différents éléments :

- En orange :

Apparaissent les mots-clés reconnus par le langage Arduino comme des fonctions existantes. Lorsqu'on sélectionne un mot coloré en orange et qu'on effectue un clic avec le bouton droit de la souris, l'on a la possibilité de choisir « Find in reference » : cette commande ouvre directement la documentation de la fonction sélectionnée.

- En bleu :

Apparaissent les mots-clés reconnus par le langage Arduino comme des constantes.

- En gris :

Apparaissent les commentaires qui ne seront pas exécutés dans le programme. Il est utile de bien commenter son code pour s'y retrouver facilement ou pour le transmettre à d'autres personnes. On peut déclarer un commentaire de deux manières différentes :

- Dans une ligne de code, tout ce qui se trouve après « // » sera un commentaire.
- On peut encadrer des commentaires sur plusieurs lignes entre « /* » et « */ ».

IV.6. La syntaxe du langage :

IV.6.1. Ponctuation :

Le code est structuré par une ponctuation stricte :

- Toute ligne de code se termine par un point-virgule « ; »
- Le contenu d'une fonction est délimité par des accolades « { » et « } »
- Les paramètres d'une fonction sont contenus pas des parenthèses « (» et «) ».

Une erreur fréquente consiste à oublier un de ces éléments.

IV.6.2. Les variables :

Une variable est un espace réservé dans la mémoire de l'ordinateur. C'est comme un compartiment dont la taille n'est adéquate que pour un seul type d'information. Elle est caractérisée par un nom qui permet d'y accéder facilement.

Il existe différents types de variables identifiés par un mot-clé dont les principaux sont :

- Nombres entiers (int)
- Nombres à virgule flottante (float)
- Texte (String)
- Valeurs vrai/faux (boolean).

Le signal de l'EOG obtenu après l'exécution du programme sur Arduino est le suivant :

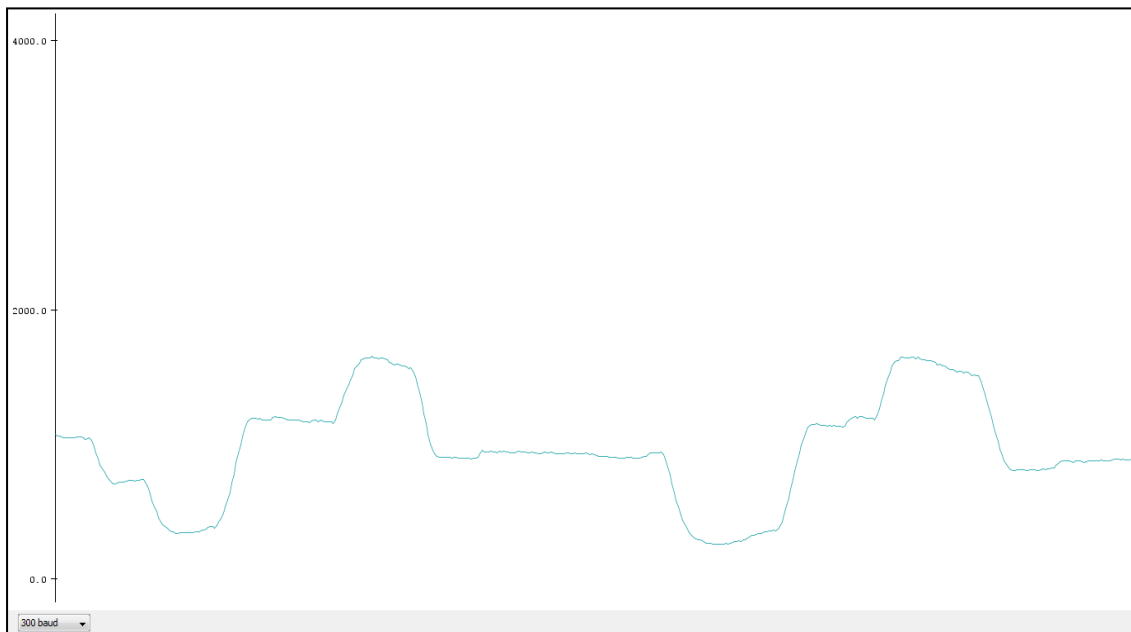


Figure III.15. Le signal EOG affiché sur moniteur série de la carte Arduino Uno lors des mouvements de l'œil à droite et à gauche.

Conclusion :

A la fin de ce chapitre on a finit la réalisation du circuit de mise en forme du signal Electro-Oculogramme (EOG) à l'aide de logiciels électroniques ISIS et ARES pour arriver à la suite au circuit imprimer puis la soudure des composants électroniques.

Après avoir le circuit mise en fonctionnement on a appliqué l'examen de l'électro-oculographie sur 3 cas et on a obtenu des tracés différents de l'EOG pour chaqu'un entre eux.

La partie de programmation a été faite par la conversion du signal EOG analogique en signal numérique à l'aide d'une carte Arduino Uno et en fin l'affichage de l'EOG sur le micro-ordinateur.

Conclusion Générale

L'objectif de ce travail est de contribuer à une meilleure compréhension du signal électrophysiologique du système visuel et ses caractéristiques, et de réaliser le circuit de mise en forme de l'Electro-Oculogramme. En particulier, la mesure et l'analyse du signal EOG est très importante pour le diagnostic des différentes pathologies de l'œil.

Dans la première partie de ce travail, on a commencé par l'étude de l'aspect médicale du système visuel en citant l'anatomie de l'œil ensuite le principe de la vision qui est basé sur les informations visuelles recueillies par l'œil et transformées en messages nerveux au niveau de la rétine, puis véhiculées par les nerfs optiques jusqu'au cerveau.

Dans la deuxième partie, on a caractérisé le système de l'Electro-Oculogramme sous forme d'un schéma bloc qui explique la détection du signal EOG par les électrodes puis son amplification par l'amplificateur d'instrumentation AD620 ensuite l'élimination des bruits par le filtre passe haut et le filtre passe bas. Enfin, le signal EOG analogique obtenu à la sortie sera converti en valeurs numériques par une carte microcontrôleur Arduino Uno.

Dans la troisième partie, on a réalisé un circuit électronique de l'Electro-Oculogramme ce qui est la partie pratique pour mettre en évaluation la théorie sur laquelle on a travaillé, puis on a testé et interprété les signaux EOG obtenus à la sortie de chaque étage de notre circuit, et enfin on a appliqué cette circuit sur des patients.

Ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et pratiques en instrumentation biomédicale et nous proposons aux étudiants de Génie Biomédical de concevoir d'autres prototypes utilisant d'autres idées permettent d'améliorer la fiabilité des électro-oculographies : un critère important en technologie médicale.

Bibliographie :

- [1] Dee Unglaub SILVERTHON : Université de Texas, Austin - William C. OBER : Coordinateur des illustrations - Claire W.GARRISON : Illustratrice - Andrew C.SILVERTHON : Conseiller médical - Bruce R.JOHNSON : Université Cornell « Physiologie humaine » une approche intégrée 4^{ème} édition, traduction française dirigée par Jean Brun, HDR physiologie, France, 2007.
- [2] Elaine N.Marieb, « Anatomie et physiologie humaines » université de Québec ,1992
- [3] http://www.assistancescolaire.com/eleve/1L/ens_sciences/reviser-le-cours/la-perception-visuelle-de-la-retine-au-cerveau-1_w101
- [4] <http://www.institutdeloeil.com/>
- [5] Jacques Charlier, Jean-François Le Gargasson, Florence Rigaudière et Yvon Grall, «V-1: REPONSES EVOQUEES : RECUEIL ET TRAITEMENT DU SIGNAL», *Oeil et physiologie de la vision* [En ligne], V-Les signaux électro physiologiques, mis à jour le 18/06/2013, URL : <http://lodel.irevues.inist.fr/oeiletphysiologiedelavision/index.php?id=203>, doi:10.4267/œil et physiologie de la vision.203.
- [6] Université De Nantes Faculté De Pharmacie, Thèse Pour Le Diplôme D'état De Docteur En Pharmacie Par Aurélie Guillet Année 2007 N°.
- [7] Florence RIGAUDIERE, «V-2 : L'ELECTRO-OCULOGRAMME», *Oeil et physiologie de la vision* [En ligne], V-Les signaux électrophysiologiques, publié le 13/10/2008, mis à jour le 18/06/2013, URL : <http://lodel.irevues.inist.fr/oeiletphysiologiedelavision/index.php?id=112>, doi:10.4267/œil et physiologie de la vision.112.
- [8] <http://www.medicine.mcgill.ca/> The McGill Physiology Virtual Lab-EOG tests – procedure.
- [9] « Amplificateur d'instrumentation » ESIEE - Olivier Français – 2000.
- [10] cours et exercices corrigés « Electricité générale » - analyse et synthèse des circuits 2e édition- Tahar Neffati- IUT • Licence.
- [11] « Analog device –low cost, low power –Instrument Amplifier “Datasheet AD620.
- [12] Livre analyse ET synthèse des filtres actifs analogiques Gérard mangiante.
- [13] https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_passe-haut.
- [14] cahier de l'électronique Analogique 3^{ème} année électronique biomédicale.
- [15] <http://subaru.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/electro/sallen.pdf>
- [16] <http://txrobotic.com/media/pdf/doc/blog/Comparatif-Arduino.pdf>.

[17] <https://www.carnetdumaker.net/articles/la-conversion-analogique-numerique-avec-arduino-genuino/>.

[18] [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chantillonnage_\(signal\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chantillonnage_(signal)).

[19] <http://www.elektronique.fr/> cours et montages électroniques.

[20] Cours : le circuit imprimé. Module prototypage (M1 instrumentation biomédicale) prof : Mr. BEREKSI REGUIG Fathi.

[21] <http://claude-gimenes.fr/fr/p/21/722/3462>.

GLOSSAIRE :

C

CAO : Conception assistée par Ordinateur

CMRR : Taux de réjection en mode commun

D

DT: dark trough

E

ECG : Electrocardiogramme

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

EOG : Electro-Oculogramme

ERG: ElectroRétinogramme

I

ICSP: In-Circuit Serial Programming

ISCEV: International Society for Clinical Electrophysiology of Vision

L

LP: Light peak

M

MOS : Métal Oxide Semi-conducteur

O

OCT: Optical Coherence Tomography

P

PEV: Potentiel Evoqué Visuel

PCB: Printed Circuit Board

PWM: Pulse width modulation

R

RA: Rapport d'Arden.

S

SRAM: Static Random Access Memory

U

USB: Universal Serial Bus

UV: Ultra Violet

V

VMD: Vitelliform Macular Dystrophy

Annexe :

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor

(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)

Higher Performance than Three Op Amp IA Designs Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging

Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

50 μ V max, Input Offset Voltage

0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift

1.0 nA max, Input Bias Current

100 dB min Common-Mode Rejection Ratio (G = 10)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise

0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth (G = 100)

15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

Weigh Scales

ECG and Medical Instrumentation

Transducer Interface

Data Acquisition Systems

Industrial Process Controls

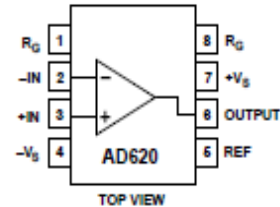
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q) and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Superbeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

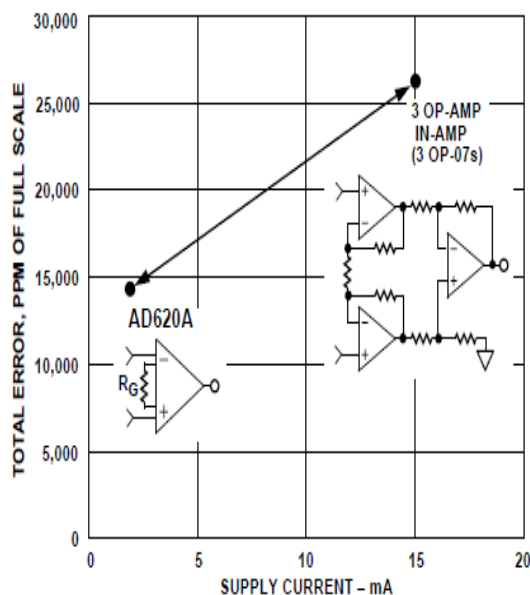


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

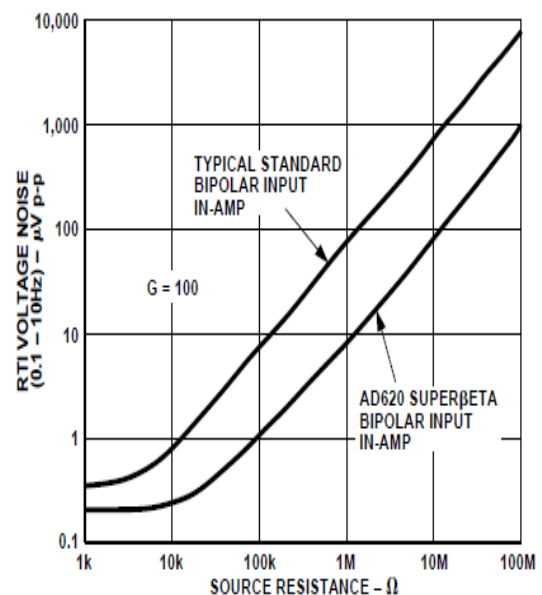


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance