

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE

DEPARTEMENT DE GENIE BIOMEDIACAL

Mémoire de Fin d'Etudes

De MASTER ACADEMIQUE

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : INTSTRUMENTATION BIOMEDICALE

Présenté par

- ACHERAIYOU Lynda
- AIT AIDER Ouerdia

Thème

Etude et Réalisation d'un Electrostimulateur

Mémoire soutenu publiquement le 30 / 06 / 2024 devant le jury composé de :

- Mr. BOURKACHE NOUREDDINE, MCB UMMTO, PRESIDENT
- Mr. OULD OUALI SAMY HASSANI, MCB UMMTO, PROMOTEUR
- Mr. HOCINI FARID, MCB UMMTO, CO-PROMOTEUR
- Mr. MEDDOUR, MAA UMMTO, EXAMINATEUR

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre grande gratitude à notre encadrant Mr Samy hassani OULD OUALI et notre Co-encadrant Mr HOCINI Farid pour leur suivi tout au long de ce travail pour leur disponibilité, leurs conseils et encouragements et surtout leur patience.

A monsieur DAOUI Professeur en département informatique, faculté génie électrique.

Merci pour vos conseils et le temps que vous avez sacrifié pour nous aider.

A monsieur RAVI, nos sincères remerciements pour votre orientation et pour votre guide.

Nous tenons également à remercier les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer et de juger notre travail, c'est un honneur pour nous d'avoir l'occasion de discuter les résultats de notre recherche avec vous.

Nous remercions, vont aussi à tous ceux et celles qui nous ont aidé et contribué de près ou de loin à la réalisation de notre modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mon très cher papa « Ahmed », Ma très chère maman « Ouahiba », qui ont su être toujours présents à mes côtés, tout au long de ma vie pour me soutenir.

Ce travail est le fruit des sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et ma formation

A mon très cher frère « Abdelghani » et à mes deux très chères Sœurs « Imane » et « Rania » que j'aime.

A mes grands-parents maternels.

A la mémoire de mes grands-parents paternels

Je dédie aussi ce mémoire, à mes adorables petits Aymen et Maxel

Que Dieu vous garde pour moi.

A mes amis spécialement ma cher « Rania » amie que j'admire Beaucoup.

A mon binôme Ouerdia ainsi à toute sa Famille.

Lynda

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents « Mohand » et « Zohra » pour leur amour inconditionnel, leurs soutien et encouragements tout au long de mes parcours.

A mes chers frères « Said », « Amine » et « Amayas » que j'aime.

A mes grands-parents, que dieu les garde pour nous.

Sans oublier mes très chères tantes qui m'ont encouragé pendant mon parcours « Sadia », « Djegdjiga », « Malika » et « Aldjia »

Aussi à ma très chère cousine « Soumaya »

Je dédie aussi ce mémoire,

A mes amis ainsi qu'à mon binôme Lynda et sa famille.

Ouerdia

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre 01 : généralités sur l’anatomie et physiologie des muscles et l’électrothérapie.....	2
1 Partie théorique : généralité sur l’anatomie des muscles.....	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Définition des muscles.....	2
1.2.1 Types des muscles :	2
1.2.2 Composition du muscle	3
1.2.3 Propriétés des muscles	4
• Contractilité :	4
• Extensibilité :	4
• Élasticité :	4
1.3 Les muscles squelettiques	4
1.3.1 Type des fibres musculaires.....	5
1.4 Contraction musculaire	5
1.4.1 Les différents types de la contraction musculaires.....	6
1.5 La fatigue	6
1.5.1 Types de la fatigue.....	6
1.6 La douleur.....	7
1.6.1 Type des douleurs.....	7
1.6.2 Mécanismes générateurs de la douleur.....	7
Partie2 : l’électrothérapie.....	8
1.7 Introduction.....	8
1.8 Historique	8
1.9 Définition de l’électrothérapie	9
1.9.1 Principe.....	9
1.10 Quelques applications	10

1.11	Contres indications	10
1.12	Les électrodes	11
1.12.1	La technique unipolaire	11
1.12.2	La technique bipolaire	11
1.13	Choix d'électrode selon la direction de courant :	11
1.13.1	Courants unidirectionnels.....	11
1.13.2	Courants bidirectionnels.....	12
1.14	Les courants électriques	12
1.14.1	Définition.....	12
1.14.2	Le courant constant.....	12
1.14.3	Courant à l'état variable	12
1.14.4	Courant impulsionnel	13
1.14.4.1	Le courant unidirectionnel.....	15
1.14.4.2	Le courant bidirectionnel.....	16
1.15	Conclusion	16
2	Chapitre02 : génération des signaux et amplification	17
2.1	Introduction.....	17
2.2	Problématiques	17
2.3	Généralités sur le microcontrôleur.....	17
2.4	La carte Arduino Méga 2560	17
2.4.1	Le microcontrôleur ATmega2560	18
2.4.2	Les mémoires.....	18
2.4.3	Les sources d'alimentation de la carte	19
2.5	La carte Esp32.....	19
2.5.1	Définition.....	19
2.5.2	Présentation de l'esp32	20
3	Génération des signaux électriques en électrothérapie avec la carte esp32	20

4	Variation des paramètres de l'impulsion monophasique	22
4.1	Description de programme.....	22
4.2	Organigramme de programme	24
4.3	Amplification de signal monophasique.....	25
4.3.1	Matériel utilisé.....	25
4.3.2	Montage d'amplification	25
4.4	La réalisation de circuit sur la plaque d'essai.....	28
4.5	Circuit électrique réalisé.....	28
4.5.1	Les composants électroniques utilisés.....	28
4.5.2	Principe de notre circuit	28
4.6	Conclusion	29
	Chapitre03 : discussions et applications	30
4.7	Introduction.....	30
4.8	Logiciels utilisés	30
4.8.1	Présentation générale de logiciel IDE arduino	30
4.8.2	Présentation générale de logiciel proteus	31
4.9	Mesure de signal	32
4.1	Prototype de réalisation de notre circuit.....	35
4.2	Applications.....	35
	Pour la maladie de névralgie	35
	Pour les douleurs post-Zostériennes	36
	Pour l'arthrose	36
4.3	Discussions	37
4.4	Précautions prises	37
4.5	Les problèmes rencontrés	38
4.6	Conclusion	38
	Conclusion générale	39

Bibliographie :..... 42

Bibliographie des figures :..... 44

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Dans toutes les structures sanitaires, de par le monde, une grande importance est accordée à la prise en charge des plaintes des patients par rapport aux douleurs ressentis.

Lorsque la douleur physique survient, en plus de l'inconfort, son intensité peut être telle qu'elle conduit à inhiber toute action en tout raisonnement. Si la durée d'exposition à la douleur dépasse une certaine durée, ça pourrait engendrer des séquelles psychologiques qui peuvent être permanentes [1]

Certaines maladies qui n'ont pas de traitements de nos jours, si ce n'est un traitement chirurgical, induisent des douleurs permanentes qui handicapent la vie courante de ceux qui en sont victimes. Malheureusement, seuls des antalgiques, des anti-inflammatoires et des corticoïdes étaient proposés pour soulager les patients de façon temporaire. La prise de ses médicaments sur une longue durée présente un risque important sur la santé sans améliorer d'une façon permanente le confort de vie de ces patients.

L'électrothérapie est un traitement qui consiste à soulager la douleur par des impulsions électriques. L'effet du signal électrique dépend de sa forme, son intensité et de sa fréquence. L'effet de chacun de ses facteurs peut faire l'objet d'un sujet de recherche avec une expertise sur un nombre important de patients pour aboutir à des résultats concluants. Le mécanisme est que l'effet de l'impulsion arrive au cerveau avant la douleur et inhibe les neurorécepteurs quant à cette dernière.

Dans notre travail, l'objet principal est de générer les signaux de références des impulsions électriques qui servent à stimuler les muscles de la zone douloureuse du corps humain pour avoir un effet antalgique et comment les amplifier pour atteindre le seuil adéquat.

Dans le premier chapitre nous introduisons les généralités sur l'anatomie des muscles, l'électrothérapie et les signaux électriques utilisés, la taille et le positionnement des électrodes.

Dans le deuxième chapitre nous présentons les signaux électriques qu'on va générer et comment faire varier leurs paramètres, et amplifier leur puissance.

Dans le troisième chapitre nous terminons par une discussion des applications et des résultats.

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR

L'ANATOMIE ET

PHYSIOLOGIE DES MUSCLES

ET L'ELECTROTHERAPIE

1 Partie théorique : généralité sur l'anatomie des muscles.

1.1 Introduction

Les muscles constituent une partie importante du corps humain et permettent le mouvement. Les muscles sont les moteurs qui font fonctionner notre corps et sont responsables du moindre mouvement, y compris des mimiques du visage comme le sourire.

Ces tissus jouent un rôle important dans chaque action que nous effectuons chaque jour.

Dans ce chapitre, nous explorerons les différents types de muscles et leur anatomie, en examinant leur physiologie et leur rôle dans le fonctionnement du corps humain.

1.2 Définition des muscles

Le muscle est l'un des principaux types de tissus animaux, il est un organe constitué principalement d'unité cellulaire appelée fibres musculaires contractiles. C'est cette dernière caractéristique qui donne aux muscles l'aptitude à générer les mouvements du corps. Ils peuvent être de forme allongée, plate ou ronde... [2]

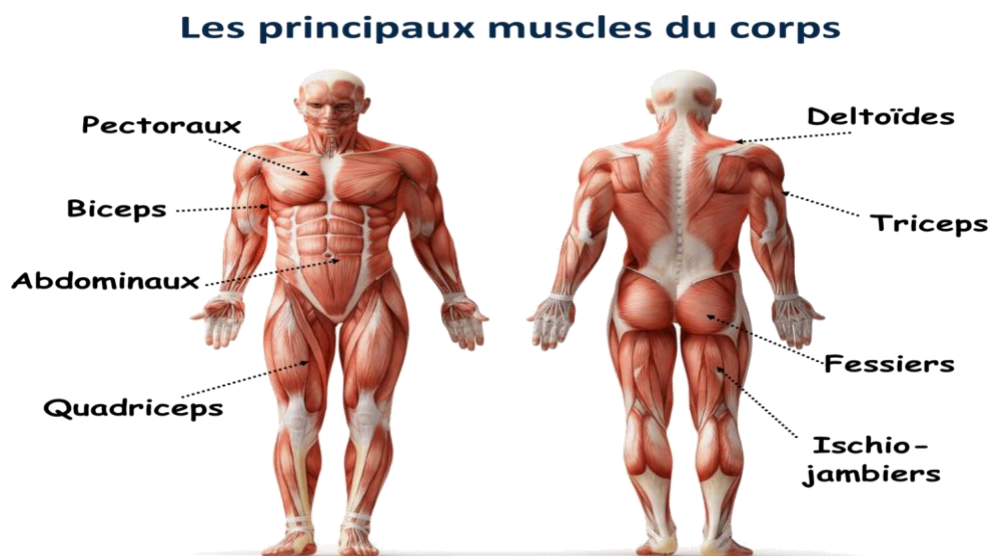


Figure 1 : les muscles de corps humain.

1.2.1 Types des muscles :

Les muscles peuvent être divisés en trois types en fonction de leur emplacement et de leur fonction :

- Muscle squelettique :

Les muscles striés sont indépendants de la volonté et influencés par les hormones, elle Maintient le bon fonctionnement du cœur et de la circulation sanguine

➤ Muscle lisse :

Appelés aussi muscles blancs, ils sont non striés présents dans la paroi de nombreux organes (utérus, intestin, vaisseaux sanguins, etc.). Leur contraction est involontaire et autonome

➤ Muscle cardiaque :

Également appelé myocarde, il a une structure proche de celle des muscles striés, mais ses contractions sont autonomes et involontaires. [3]

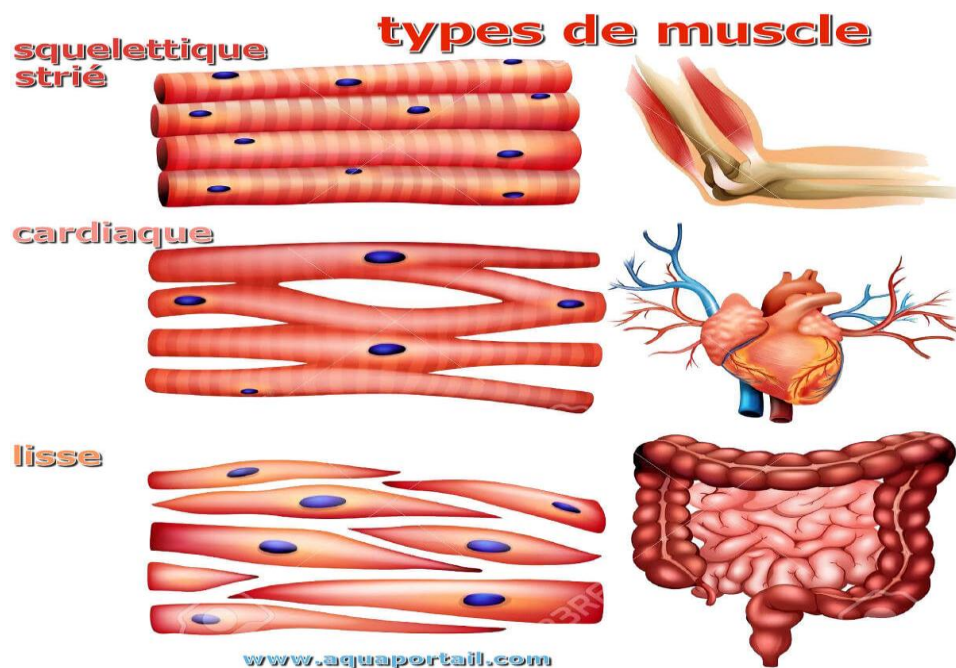


Figure 2 : types des muscles.

1.2.2 Composition du muscle

L'unité de base du muscle squelettique est constituée de fibres musculaires. Ces fibres sont constituées de :

Longs filaments contenant le noyau, les mitochondries, le réticulum et les myofibrilles. Chaque fibre musculaire est contenue dans une fine couche transparente appelée sarcolemme. [4]

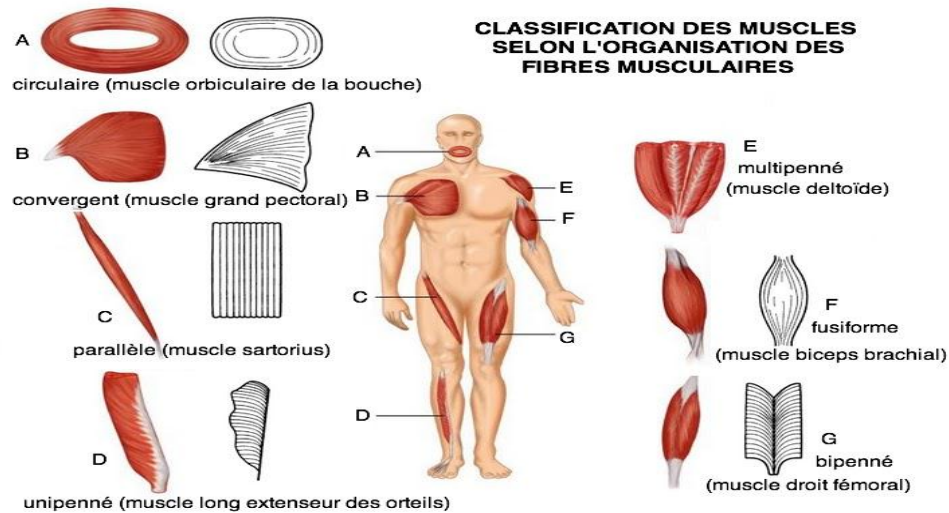


Figure 3 : classifications des muscles

1.2.3 Propriétés des muscles



Excitabilité :

Est la capacité de percevoir et de répondre à des stimuli.



Contractilité :

Fait référence à la capacité de se contracter avec force en présence de force.



Extensibilité :

Fait référence à la capacité d'étirer les fibres. Lorsqu'elles se contractent, les muscles se raccourcissent, mais lorsqu'ils se détendent, ils peuvent s'étirer au-delà de leur longueur de repos.



Élasticité :

Fait référence à la probabilité qu'une fibre musculaire doive restaurer sa fonction.

1.3 Les muscles squelettiques

Le tissu musculaire squelettique est le principe muscle du corps humain qui constitue la plus grande partie de sa masse, qui est constitué de fibres musculaires qui ont une forme cylindrique associées en faisceaux de fibres.

Ces faisceaux sont disposés parallèlement et rendus solidaires par des enveloppes élastiques.

[5]

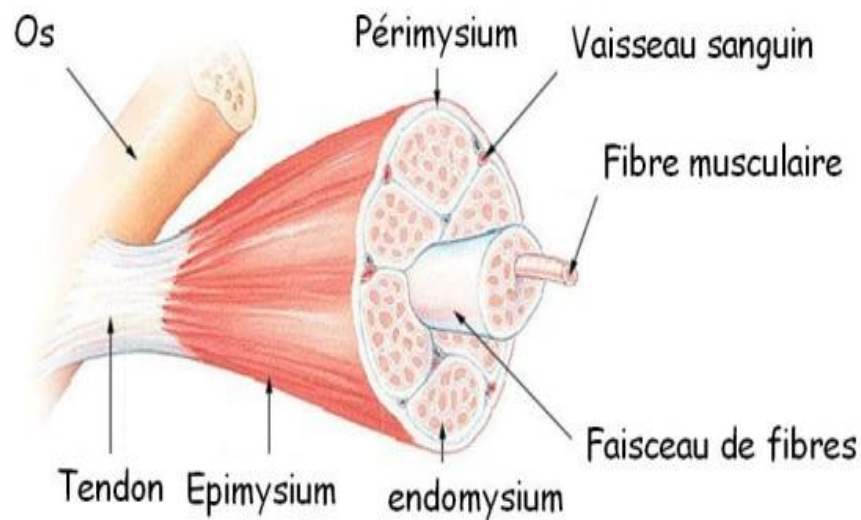


Figure 4 : structure de muscle squelettique.

1.3.1 Type des fibres musculaires

On distingue trois principaux types de fibres musculaires squelettiques, variant selon leur teneur en myoglobine :

Les fibres I :

Ce sont des fibres lentes avec une faible capacité à transmettre le potentiel d'action et avec un faible nombre de myofibrilles (faible au niveau de force)

• les fibres IIb

Ce sont des fibres extrêmement rapides et fortes (gros diamètre et réticulum sarcoplasmique très développé, grand nombre de myofibrilles) et très fatigables

• les fibres IIa

Ce sont des fibres intermédiaires entre les types I et les types IIb, donc moyennement fatigables, moyennement fortes et moyennement endurantes. [6]

1.4 Contraction musculaire

La contraction est la fonction essentielle des muscles striés squelettiques, responsables des mouvements du squelette. Ces mouvements sont essentiels à l'interaction de l'organisme avec son environnement, ils sont sous le contrôle du système nerveux somatique.

1.4.1 Les différents types de la contraction musculaires

- La contraction concentrique :
Le muscle se contracte et se raccourcit. Les insertions se rapprochent, le muscle se concentre.
- La contraction excentrique :
Le muscle travaille en s'allongeant, les insertions s'éloignent.
- La contraction isométrique :
Le muscle travaille contre une résistance fixe. Les leviers et donc les insertions musculaires ne se déplacent pas. C'est un effort statique.
- La contraction polymérique :
Il s'agit de la combinaison des régimes concentrique et excentrique. La contraction concentrique du muscle est immédiatement précédée d'une contraction de type excentrique. L'intérêt principal de ce régime c'est qu'il permet d'exprimer des indices de force supérieurs à ceux que l'on peut atteindre lors d'un mode de contraction. [7]

1.5 La fatigue

Le terme fatigue peut-être qu'un signal de l'organisme arrivant à l'extrémité de ses possibilités qui apparait quand il y a un déséquilibre entre apports et dépenses d'énergie.

1.5.1 Types de la fatigue

On peut distinguer deux grands types de fatigue : physiologique et chronique

✓ **Fatigue physiologique**

Est consécutive à l'effort et disparaît avec le repos, c'est une déséquilibration entre l'apport et l'utilisation d'énergie dans l'organisme. Elle se traduit par une diminution de l'excitabilité et le pouvoir fonctionnel de l'organe consécutive à l'effort et réversible par le repos s'accompagnant d'une sensation désagréable de caractère local. Parmi cette fatigue on a la fatigue musculaire

- **La fatigue musculaire**

C'est une fatigue normale et disparaît avec le repos permettant au muscle de reconstituer l'oxygène et d'éliminer des déchets.

Par exemple : un travailleur de force après un effort long récupère rapidement.

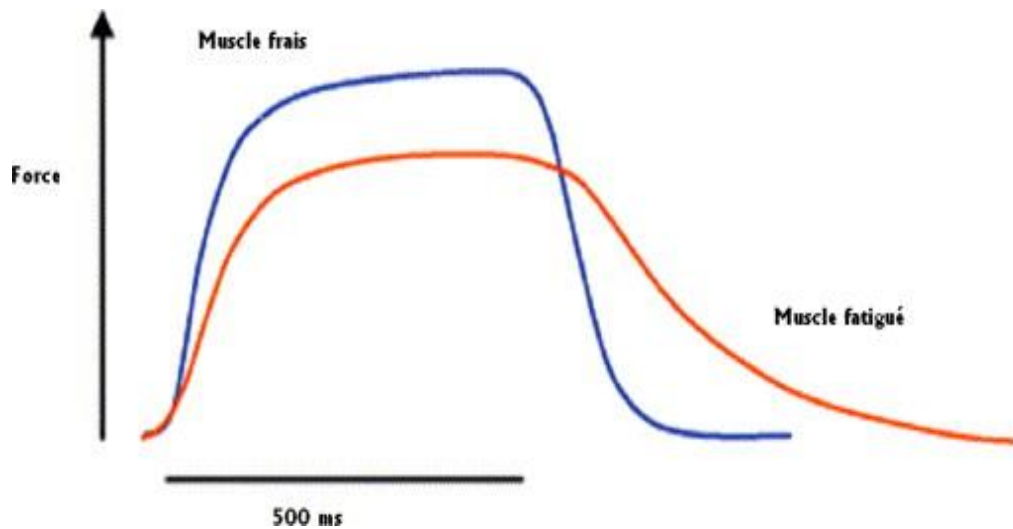


Figure 5 : diagramme de la fatigue musculaire

- ✓ **Une fatigue chronique**

Elle apparaît rapidement et ne disparaît pas avec le repos s'installe dans une certaine durée qui est supérieure à 6 mois. [8]

1.6 La douleur

Est une impression anormale et pénible reçue par une partie vivante et perçue par le cerveau.

Selon l'association Internationale d'Etude de la Douleur (IASP) il est défini comme « une sensation et une expérience émotionnelle désagréable en réponse à une atteinte tissulaire réelle ou potentielle ou décrites en ces termes »

1.6.1 Type des douleurs

- **Douleur aiguë**

C'est un signal d'alarme qui permet de rechercher la cause, elle a un rôle protecteur. Elle est récente, transitoire et finit par céder rapidement. Par contre elle est souvent intense.

- **Douleur chronique**

Dès que la douleur subsiste (> 6 mois) elle devient chronique. [9]

1.6.2 Mécanismes générateurs de la douleur

- Douleur érogènes :
- On l'appelle aussi des douleurs neuropathiques surviennent en cas de lésion du système nerveux périphérique ou central.
- Douleurs par excès de nociception :

Sont des douleurs aiguës dues à une excitation par un processus inflammatoire.

- Douleurs avec dysfonctionnement du système nerveux :

Sont des syndromes douloureux régional complexe, peut survenir après un traumatisme une lésion nerveuse.

- Douleurs psychogène :

Sont liés à une perturbation psychologique associée, le diagnostic de cette douleur repose sur la mise en évidence d'une sémiologie psychologique, exprimé en terme d'une lésion tissulaire. [10]

Partie2 : l'électrothérapie

1.7 Introduction

L'électrothérapie est de nos jours une technique dont l'efficacité est reconnue et qui a su trouver sa place dans la rééducation. Grâce à ses programmes divers et variés, elle permet de répondre à de nombreuses indications. [11]

Dans notre travail on s'intéresse à l'étude d'un dispositif électro thérapeutique qui a pour but de réduire les douleurs en utilisant de courant électrique

1.8 Historique

En 1748, le physicien suisse Jean Galvani réalise les premiers essais concluants sur un patient paralysé d'un bras. Pour se faire, il utilise un générateur d'électricité statique et parvient à guérir son patient. Par la suite, le médecin et physicien Jean-Paul Marat développe un grand intérêt pour l'électrothérapie. De manière à atténuer la douleur, ses patients, il les soumet à des séances de décharges électriques. [12]

En effet, la première fois que la stimulation électrique fut utilisée à des fins thérapeutiques est en l'an 15 avant Jésus-Christ, pour l'empereur romain Tiberius qui souffrait alors de

douleurs chroniques. C'est son médecin qui recommanda l'utilisation de la raie électrique ou poisson *torpédo* afin de le soulager. Par la suite, on rapporte également l'utilisation des raies électriques pour les maux de tête, la goutte ou encore l'arthrose. Beaucoup plus tard, au 18^{ème} siècle, la découverte de l'électricité comme source d'énergie par Benjamin Franklin donne lieu à des études expérimentales sur des animaux et des cadavres. Dès 1743, le docteur Johann Gottlob Krüger publie un essai sur les applications thérapeutiques de l'électricité. Il s'intéresse tout particulièrement aux résultats obtenus chez les patients souffrants de paralysie. Beaucoup d'autres médecins, dont Luigi Galvani et Michael Faraday s'intéressent de très près aux possibilités thérapeutiques de l'électricité, et posent progressivement les bases de ce qui sera plus tard l'électro médecine. En 1855, les **premières électrodes** sont mises au point, et permettent de concentrer le courant électrique dans des zones ciblées du corps. En 1874, l'utilisation de la **stimulation électrique sur une personne vivante** est documentée pour la première fois par le Docteur Bartholow. [13]



Figure 5 : premier appareil d'électrothérapie

1.9 Définition de l'électrothérapie

L'électrothérapie regroupe, en médecine, l'ensemble des méthodes thérapeutiques qui utilisent l'électricité pour traiter des maladies. [13]

L'impulsion électrique provoque la contraction musculaire du ou des muscles choisis sans que le système nerveux central (cerveau) ne soit mis à contribution.

1.9.1 Principe

L'électrostimulation antalgique consiste à appliquer sur la peau un courant destiné à stimuler les fibres nerveuses sensibles dans un but antalgique. On distingue deux modalités d'électrostimulation antalgique

- L'électrostimulation antalgique par gate control dont la fréquence est entre 50 à 100 Hz, des durées d'impulsions courtes et une faible intensité de courant pour le traitement des douleurs localisées
- L'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines avec très basses fréquences inférieures à 10 Hz, et des durées d'impulsions plus longues pour le traitement des douleurs diffuses. [14]

❖ Principe de la théorie de gate control :

Ce principe a été décrit en 1965 par les scientifiques canadiens Ronald Melzack et Patrick Wall. Les impulsions électriques activent les fibres nerveuses qui sont plus rapides que celles utilisées pour véhiculer la douleur ce qui permet de transmettre un message de fourmillement au cerveau par l'intermédiaire de la moelle épinière, et masque le signal douloureux pendant la durée d'application de la stimulation.

1.10 Quelques applications

Tendinite de la coiffe des rotateurs (traumatique au niveau de l'épaule)

Douleur musculaire

Ostéoarthrite genou (arthrose)

Douleur post intervention

Lésion musculaire

Douleurs cervicales

Douleur trapèze (au niveau cervicale, épaule, et milieu de dos)

Sciatique (qui est un long nerf passe au niveau des vertèbres)

Lombalgie

Epicondylite (au niveau de coude)

Périarthrite scapulo-humérale (au niveau de l'épaule)

Canal carpien (situé à la face antérieure du poignet)

Douleurs menstruelles [22]

1.11 Contres indications

Patients porteurs de pacemaker

Stimulation de la partie antérieure de cou

Malades de tumeur

Stimulation de la région cérébrale

Utilisation sur les douleurs dont la cause n'est pas connue

Plaies et pathologies dermatologiques

Traumatisme aigue

Cicatrisation récente

Grossesse

Zone oculaire [15]

1.12 Les électrodes

La taille des électrodes à utiliser dépend de la partie du corps sur laquelle la stimulation doit être pratiquée et de la durée d'impulsion qui est choisie. Généralement, plus la durée d'impulsion est importante, plus le courant en mA est élevé, plus l'électrode doit être grande. [16]



Figure 6 : exemple des électrodes

- Il existe deux configurations d'électrodes

1.12.1 La technique unipolaire

Utilise une grande électrode, dite de dispersion ou indifférente, placée sur une région que celle stimulée et une ou deux électrodes dites actives, placées sur le muscle. L'intensité électrique par unité de surface est maximale au niveau de l'électrode ou des électrodes actives [17]

1.12.2 La technique bipolaire

Deux électrodes, généralement de même taille, sont placées sur le muscle à exciter, une à la partie proximale et une à la partie distale. Dans ce cas, le flux de courant est plus restreint et les deux électrodes peuvent exciter le nerf si un courant bi-phasique est utilisé.

1.13 Choix d'électrode selon la direction de courant :

1.13.1 Courants unidirectionnels

On utilise des électrodes en plastique carboné ou des électrodes ponctuelles recouvertes d'un spongieux humide puis d'une compresse ou d'un non tissé à usage unique

On n'utilise jamais des électrodes autocollantes pour appliquer des courants unidirectionnels, pour des risques de brûlures chimiques. [14]

1.13.2 Courants bidirectionnels

On peut utiliser tous les types d'électrodes : électrodes autocollantes, électrodes en plastique carboné, les sondes périnéales, et les électrodes ponctuelles. [14]

1.14 Les courants électriques

1.14.1 Définition

Le courant électrique est un déplacement de charges électriques à travers un corps conducteur [14]

Il existe deux classifications des courants électriques

- Selon l'état : constant ou variable ou impulsionnelle
- Selon la direction : unidirectionnel ou bidirectionnel

1.14.2 Le courant constant

C'est le courant continu ou galvanique, son intensité est constante, il est toujours unidirectionnel [14], ce courant est généralement utilisé pour faire pénétrer des médicaments à travers la barrière cutanée

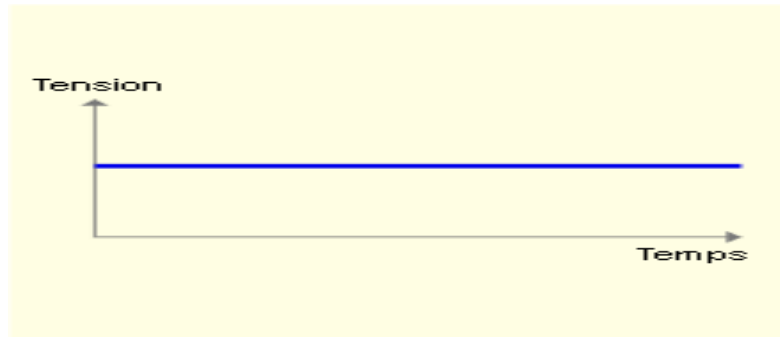


Figure 7 : courant à l'état constant

1.14.3 Courant à l'état variable

A une intensité variable dans le temps d'une manière périodique qui produit des impulsions qui peuvent être unidirectionnelles ou bidirectionnelles

➤ Cas particuliers :

1.14.3.1 Courant interférentiel

Est un courant sinusoïdal alterné à moyenne fréquence (2500 Hz, 4000Hz, 10000Hz), modulé en amplitude et qui a un grand pouvoir de pénétration dans les tissus, et ça ne cause pas de risques pour les patients sensibles [18]

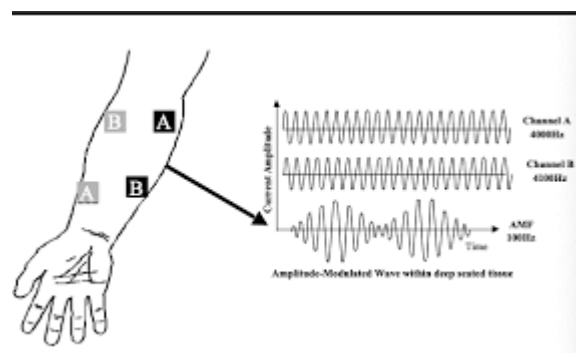


Figure8 : courant interférentiel

1.14.3.2 Courant alternatif modulé en fréquence

Connu sous le nom de « courant russe », est généralement constitué par un courant alternatif sinusoïdal de 2500 Hz modulé en 50 Hz donnant naissance à des salves de courant de 10 ms séparés par des intervalles de 10 ms [17]

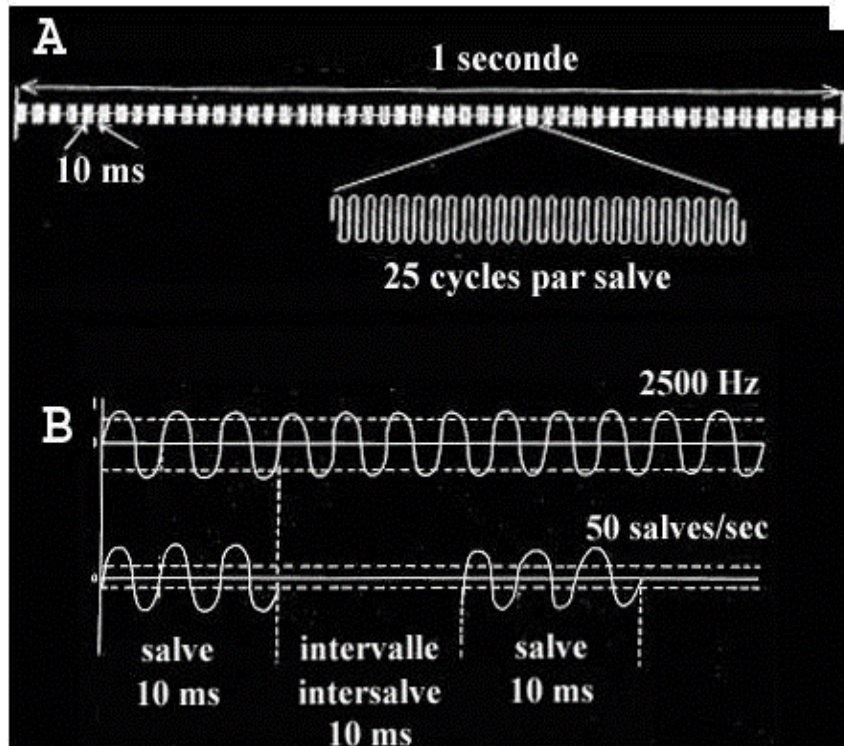


Figure 9 : courant alternatif modulé en fréquence

1.14.4 Courant impulsionnel

Est un courant électrique sous forme d'une série d'impulsions qui peuvent être unidirectionnelles ou bidirectionnelles

Parmi ses paramètres on a :

La fréquence, la durée, la forme, et la direction

1.14.4.1 La fréquence f

C'est le nombre d'oscillations d'une onde périodique, exprimée en hertz(Hz) $f = \frac{1}{T}$,

tel que T est la période

1.14.4.2 La forme d'onde

Parmi les formes d'onde on a :

✚ Sinusoïdal :

Un signal sinusoïdal a une forme d'onde en sinus qui peut s'écrire sous la forme suivante :

$$s(t) = S \cdot \cos(2\pi ft + \varphi)$$

Tel que :

- ✓ S est l'amplitude de signal, positive et exprimé en volts
- ✓ f est la fréquence, exprimée en hertz (Hz), $f = \frac{1}{T}$, Plus la fréquence est élevée, plus les cycles se succèdent rapidement.
- ✓ T : est la période exprimé en seconde(s)
- ✓ φ est une phase à l'origine exprimé en radians (rad)
- ✓ ω : pulsation de la grandeur en $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$, tel que : $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

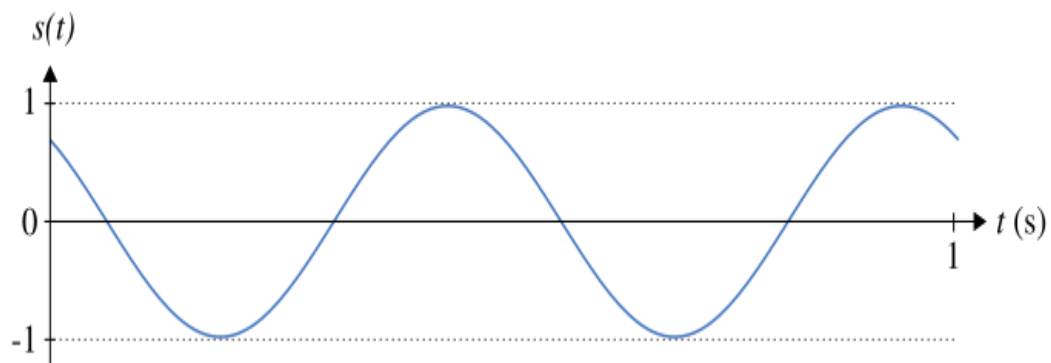


Figure 10 : onde sinusoïdale

Rectangulaire :

L'onde rectangulaire a une forme d'onde carrée avec des transitions abruptes entre les niveaux de tension, un niveau haut et un niveau bas.

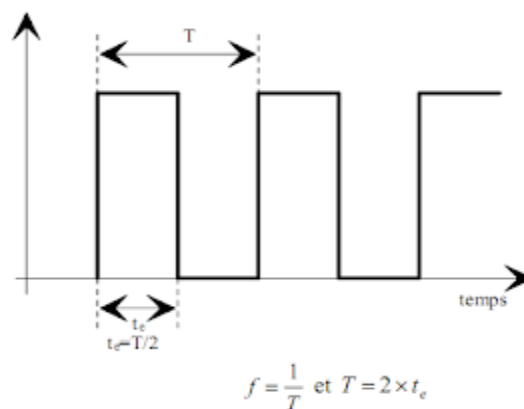


Figure 11 : onde rectangulaire

✚ Trapézoïdale :

Est un signal périodique qui se compose de 4 parties : un niveau bas, un temps de montée, un niveau haut, et un temps de descente

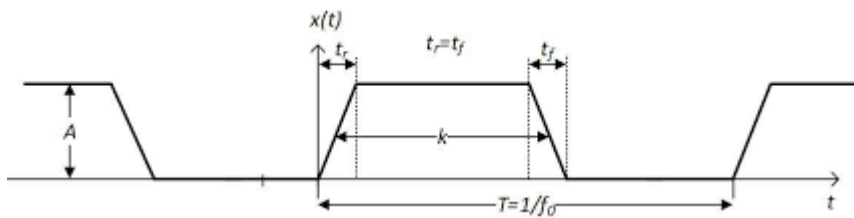


Figure12 : onde trapézoïdale

1.14.4.3 La durée d'impulsion

La durée d'impulsion varie selon la profondeur de pénétration, plus la largeur d'impulsion est courte, plus c'est confortable et superficiel le traitement reçu.

Exemples

Muscles superficiels du visage : 70-80 μ s

Muscles superficiels des mains : 70-90 μ s

Muscles de la jambe : 200-350 μ s

Muscles de bras : 150-300 μ s

Muscles pelviens ou anaux : 75-250 μ s [16]

1.14.4.4 La Direction

L'impulsion électrique peut être unidirectionnelle ou bidirectionnelle

1.14.4.4.1 Le courant unidirectionnel

Ou une impulsion monophasique, il présente des propriétés électrolytiques aptes à produire des brûlures chimiques des tissus. [14]

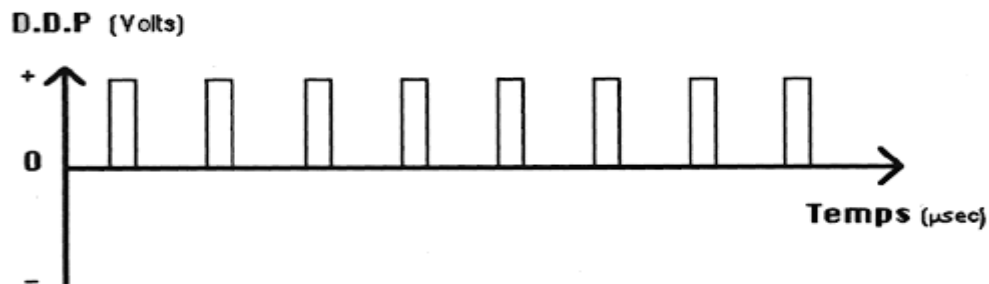


Figure 13 : impulsion monophasique rectangulaire

1.14.4.4.2 Le courant bidirectionnel

Ou biphasique comporte une phase dans une direction polaire à partir de la ligne isoélectrique et une phase en direction inverse, opposée, se produisant avant la fin de l'impulsion. Ces impulsions peuvent être soit symétriques soit asymétriques.

Pour les premières, tous les paramètres (amplitude, durée...) sont identiques de part et d'autre de la ligne isoélectrique. Ainsi, la polarité est nulle au niveau des électrodes ce qui permet d'éviter les réactions électrochimiques cutanées. Les impulsions asymétriques ont quant à elles des durées de phases inégales. [19]

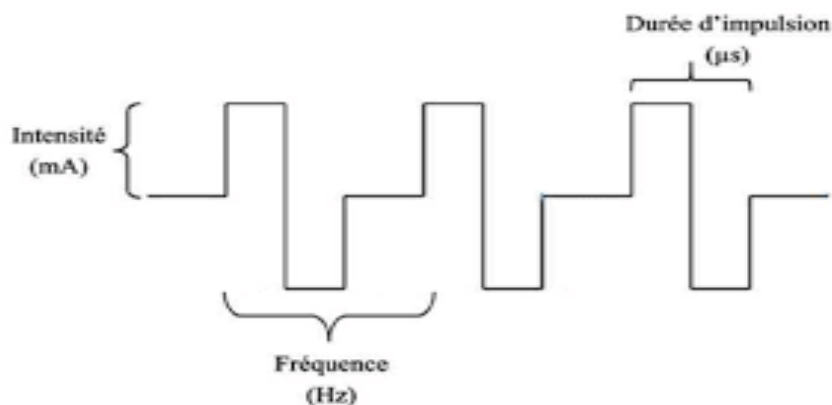


Figure 14 : impulsion rectangulaire biphasique

1.15 Conclusion

En conclusion de ce premier chapitre dédié à l'étude des muscles et l'électrothérapie, nous avons commencé par l'anatomie des muscles, ces merveilles biologiques qui permettent à notre corps de bouger, Nous avons exploré la structure des muscles squelettiques,

comprenant leur organisation en fascicules, leur contraction grâce aux mécanismes de régulation de cette contraction par le système nerveux.

En parallèle, nous avons introduit l'électrothérapie, Nous avons examiné les différents types de courants électriques utilisés en électrothérapie, leurs caractéristiques, ainsi que la taille et le choix des électrodes selon la direction de courant circulée les techniques d'emplacement, quelques applications de l'électrostimulation transcutanée antalgique et contre-indications.

Le chapitre suivant sera consacré pour une étude détaillée sur les différentes étapes de réalisation de notre circuit de dispositif

Chapitre 2

GENERATION DES SIGNAUX ET AMPLIFICATION

2.1 Introduction

L'électrothérapie est une méthode qui consiste à soulager les douleurs en utilisant des impulsions électriques qui stimulent les fibres nerveuses par l'intermédiaire des électrodes. L'information nerveuse générée par les impulsions arrive aux neurorécepteurs avant l'information nerveuse de la douleur, ce qui a pour effet de la réduire ou de l'inhiber complètement.

Les impulsions électriques permettent aussi la production des substances antidouleur naturelles, d'où l'effet antalgique.

2.2 Problématique

L'électrostimulation présente un intérêt majeur en rééducation fonctionnelle puisqu'elle participe à la sédation de la douleur et à faciliter le mouvement [14]

Elle repose sur le principe d'application des impulsions électriques variables en forme et en fréquence, à travers des électrodes afin de stimuler les fibres musculaires de la partie du corps concernée qui se contracte, puis le muscle se relâche entre le passage de deux impulsions.

L'objectif de ce chapitre est de générer des impulsions entièrement paramétrable et assez puissante pour dépasser le seuil d'excitabilité des muscles. Ces signaux seront générés par des cartes d'acquisitions. Si la carte arduino est suffisante pour générer une impulsion monophasique, parce que c'est un signal numérique, elle ne peut générer les autres formes d'ondes parce qu'elle ne dispose pas de convertisseur numérique analogique, qui est le seul à produire un signal analogique comme l'onde biphasique ou sinusoïdal. Pour la génération des signaux analogique nous allons exploiter la carte ESP32.

2.3 Généralités sur le microcontrôleur

Un microcontrôleur est un composant électronique autonome, Il est généralement moins puissant qu'un microprocesseur de nos jours en terme de rapidité ou de taille mémoire.

Un microcontrôleur est un circuit central des systèmes électroniques intégrant un microprocesseur et des fonctions supplémentaires (mémoire, interface), Ainsi une unité de traitement de l'information de type microprocesseur.

2.4 La carte Arduino Méga 2560

La carte Arduino Mega 2560 est une carte a microcontrôleur basée sur un ATmega560, la carte dispose de :

- De 54 broches numériques d'entrées/sorties dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (MLI : modulation de largeur d'impulsion)
- De 16 entrées analogiques qui peuvent être utilisées en broches entrées/sorties numériques
- De 4 UART (port série matériel)
- D'un quartz de 16 Mhz
- D'une connexion USB
- D'un connecteur d'alimentation jack
- D'un connecteur ICSP
- D'un bouton de réinitialisation (reset) [20]

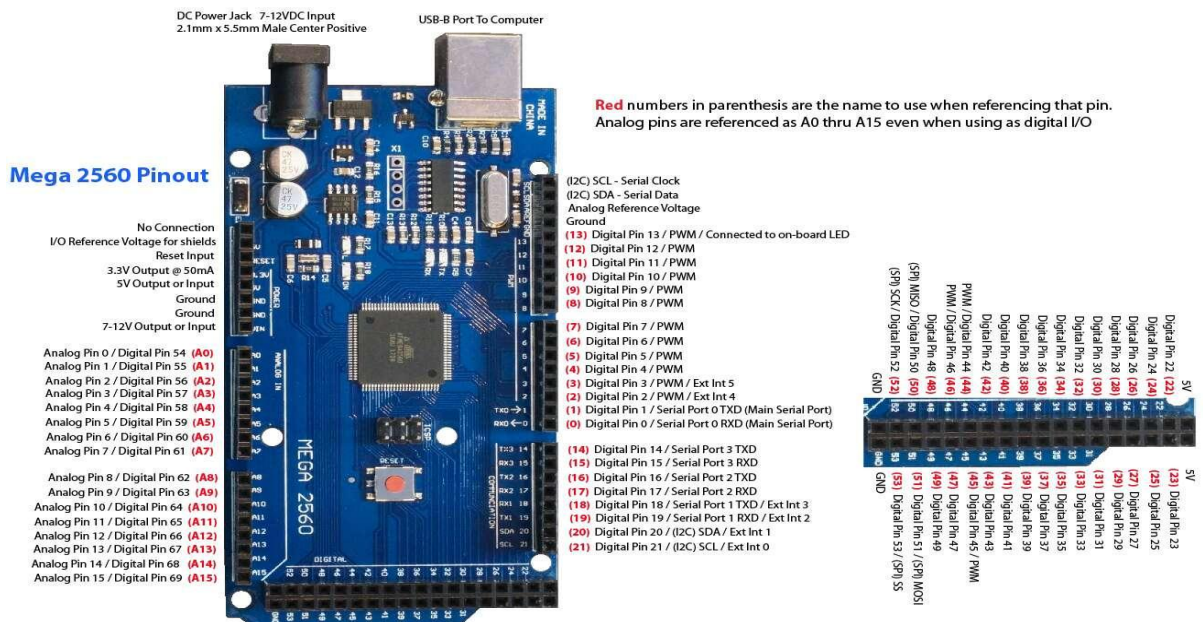


Figure 15 : image représentative de la carte Arduino Mega 2560

2.4.1 Le microcontrôleur ATmega2560

Est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes, il s'occupe de tout ce qui est calculs, exécution des instructions du programme et gestion des ports d'entrée/sortie

2.4.2 Les mémoires

L'ATmega 2560 à 256 Ko mémoire flash pour stocker le programme, 8 Ko de mémoire SRAM, 4 Ko d'EEPROM

2.4.3 Les sources d'alimentation de la carte

La carte Arduinomega2560 peut être alimentée soit via la connexion USB (5 V) ou à l'aide d'une alimentation externe

2.5 La carte Esp32

2.5.1 Définition

L'esp32 est un microcontrôleur 32 bits conçu par Expressif très puissant qui offre une multitude de caractéristiques et fonctionnalités, intègre de nombreux périphériques ainsi que le Wifi et le Bluetooth, ce qui le rend idéal pour une variété de projets électroniques et de programmation [21]

La carte esp32 se compose de :

- Microcontrôleur esp32
- Mémoire FLASH pour le stockage de programme
- Mémoire RAM pour le stockage temporaire des données pendant l'exécution de programme
- Module Wifi et Bluetooth
- Convertisseur analogique numérique (ADC)
- Convertisseur numérique analogique (DAC) (sur la pin GPIO25 et GPIO26)
- Interfaces de communication (UART, I2C, SPI)
- Ports GPIO
- Alimentation
- Connecteur USB pour la communication série avec un ordinateur
- Connecteurs d'antennes pour la transmission et la réception des signaux wifi et Bluetooth
- Composants discrets comme résistances, condensateurs
- Circuits de régulation de tension
- Horloge qui fournit une référence de temps stable. [21]

2.6.2 Onde trapézoïdale

Pour cette onde le temps d'application se caractérise avec un temps de montée et un temps de descente

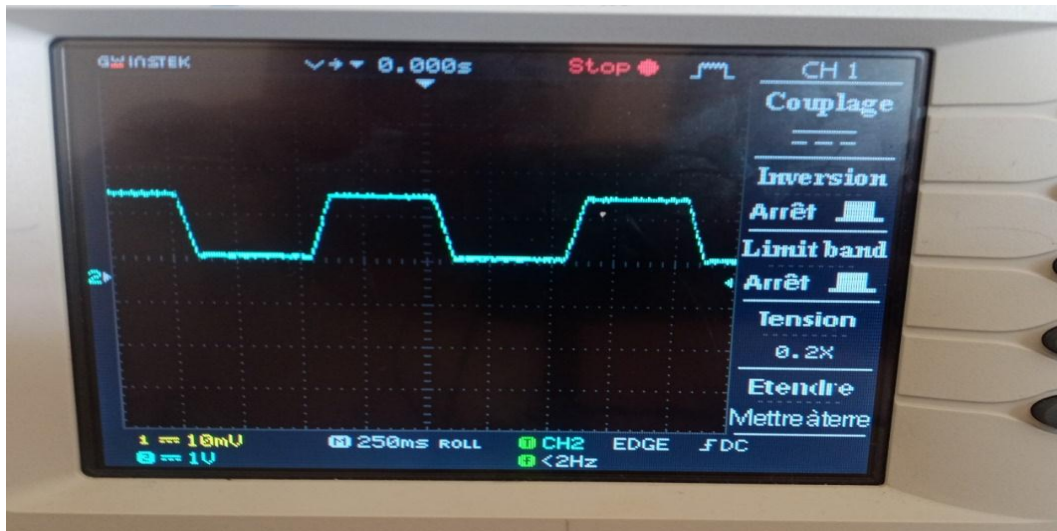


Figure 18 : onde trapézoïdale

2.6.3 Onde sinusoïdale

On a généré le signal sinusoïdal avec la carte esp32 qui contient un convertisseur numérique analogique « DAC » (digital analog converter) sur la pin 25 et 26 qui permet de convertir les valeurs numériques aux valeurs analogiques.

La figure suivante le représente :

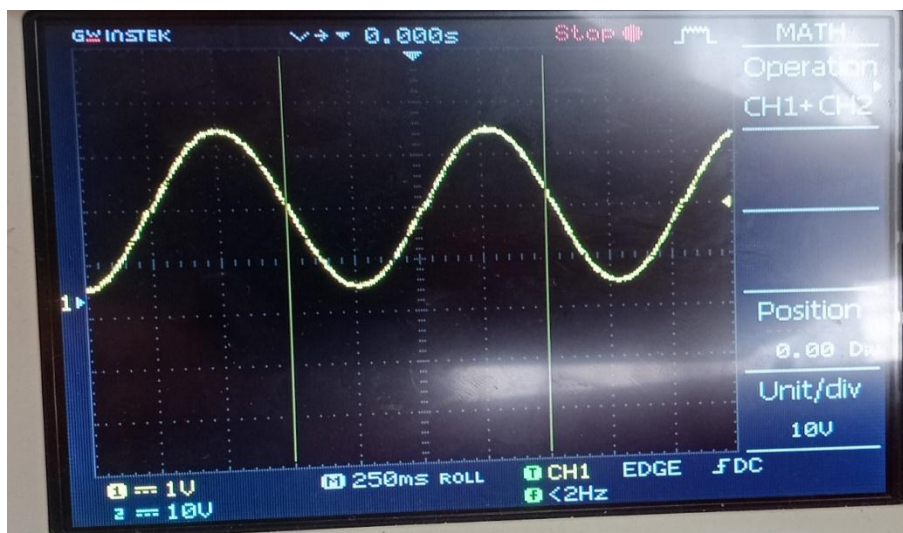


Figure 19 : onde sinusoïdale

2.6.4 Onde biphasique

On a pu obtenir l'alternance négative grâce au décalage de l'onde rectangulaire, puis élimination de la composante continue à l'aide un filtre

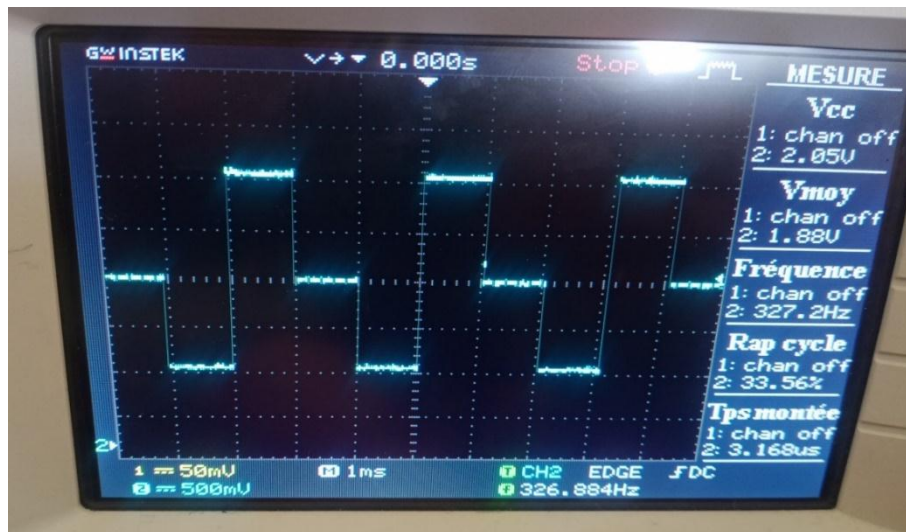


Figure 20 : onde biphasique

2.7 Variation des paramètres de l'impulsion monophasique

2.7.1 Description du programme

A l'aide d'un logiciel de programmation arduino on a programmé la carte arduino.

Dans sa sortie pin13 on obtient des ondes d'impulsion carrée à 150 Hz, Comme le montre la figure (2.3). On a configuré les LED's Sur les pins 2, 3,18, 19, 20,21 et connectées à des boutons poussoirs B1, B2, B3, B4, B5, B6 chacun à une fonction bien spécifique.

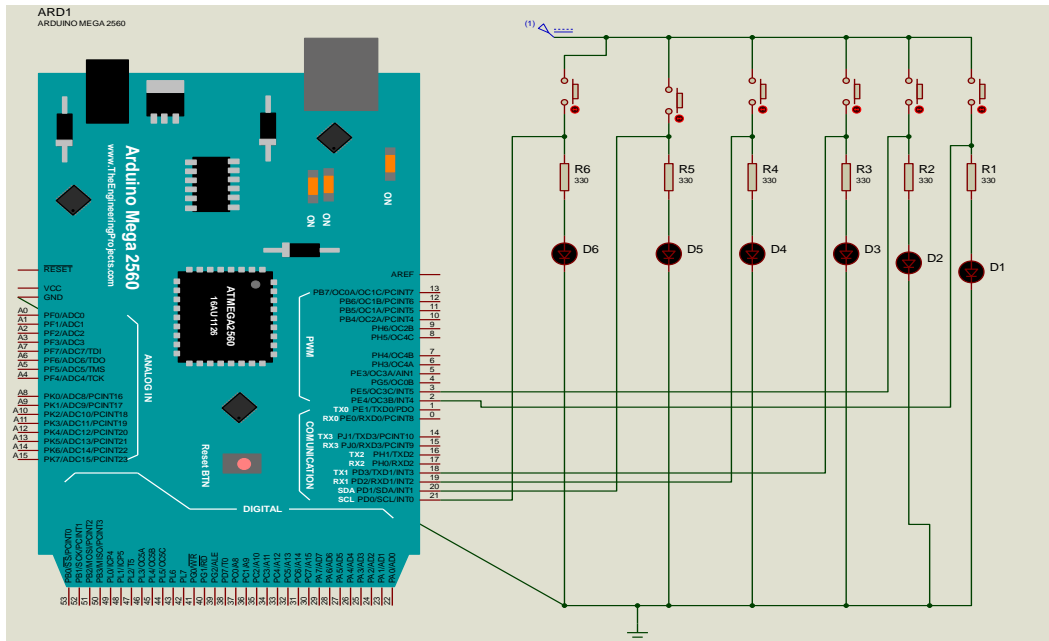


Figure 21: branchement des leds et des boutons poussoirs

➤ **B1, B2 variation de fréquence**

Les deux boutons branchés successivement aux pins 2, et 3 pour augmenter et diminuer la fréquence, quand on appuie sur le bouton B1 la LED1 s’allume cela signifie le bon fonctionnement de bouton, la même chose pour B2.

Les boutons sont destinés pour changer la fréquence de l’impulsion monophasique avec un pas de 10 Hz, si on veut l’augmenter on appuie sur B1, si on veut la diminuer on appuie sur B2

➤ **B3, B4 variations de temps d’impulsion**

Les deux boutons sont reliés aux pins 18, 19, ils permettent d’augmenter et diminuer la durée d’impulsion à chaque fois qu’on presse sur le bouton concerné

➤ **B5, B6 variations de temps de traitement**

B5 est branché sur la pin 20 dans le but d’augmenter le temps de traitement jusqu’au max si la led s’allume cela signifie le bon fonctionnement de bouton.

Pour le B6 branché sur la pin 21 dans le but de diminuer le temps de traitement arrive à la valeur minimale.

2.8 Organigramme du programme

Pour générer le signal impulsionnel monophasique on a suivi le programme présenté dans la figure 1

Dans ce programme on a choisi une durée d'impulsion égale à $140\mu\text{s}$, une fréquence de 150Hz qui correspond à une période de $6600\mu\text{s}$ sur une durée d'application de 4ms et une durée de repos 2ms pendant un temps de traitement de 20min. L'organigramme employé dans la génération de ces impulsions est donné par la figure ci-dessous

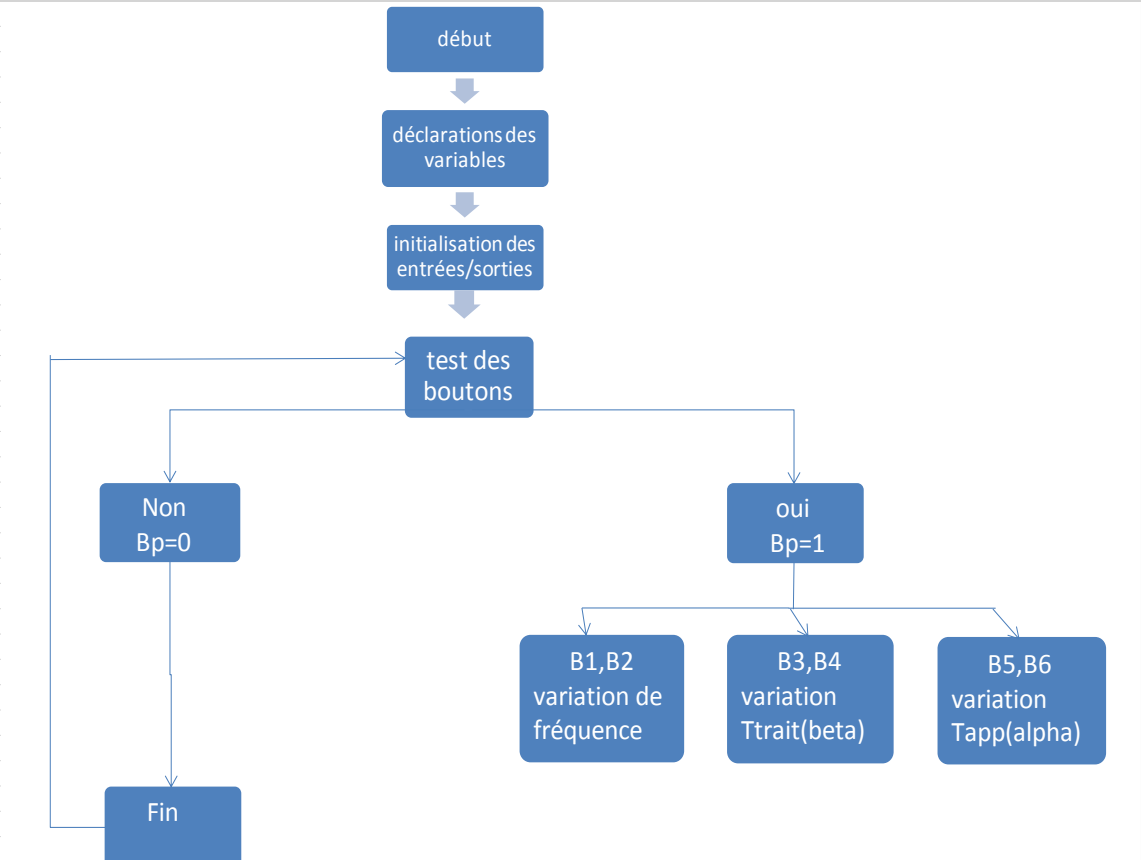


Figure 22 : l'organigramme principal de fonctionnement

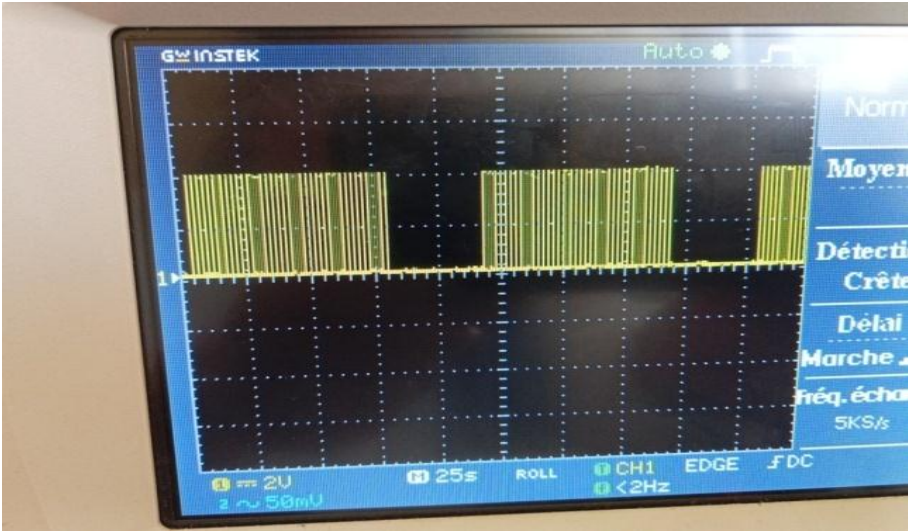


Figure 23 : l'impulsion monophasique avec 4s d'application et 2s de repos

2.9 Amplification de signal monophasique

Afin d'obtenir un signal amplifié on a utilisé un montage d'amplification basé sur un transistor bipolaire de type N.

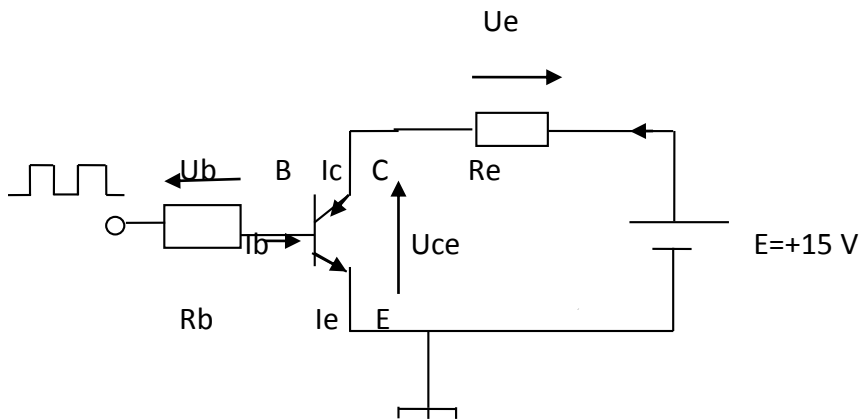


Figure 24 : le montage d'amplification avec transistor et ses caractéristiques

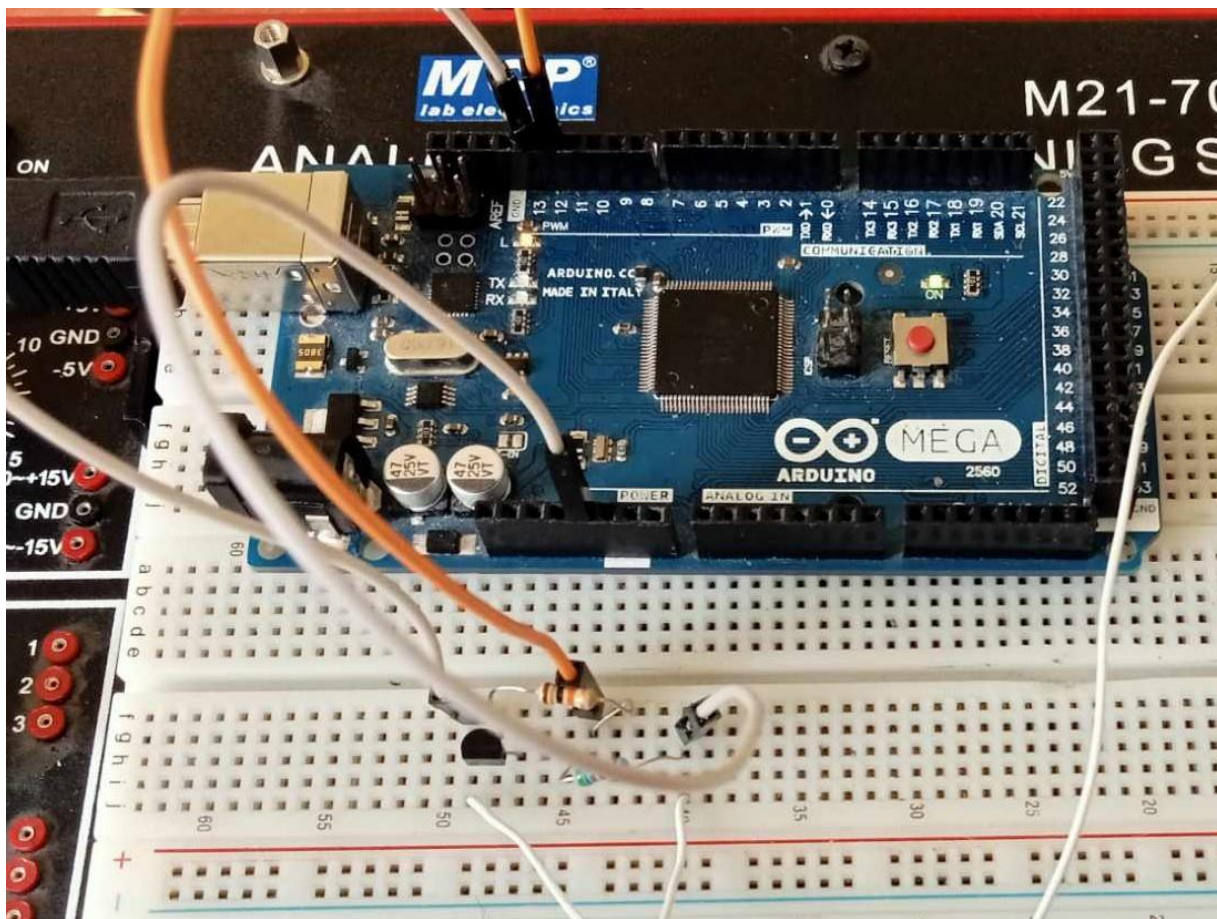


Figure 25 : circuit d'amplification de signal impulsionnel monophasique

- Le signal obtenu :

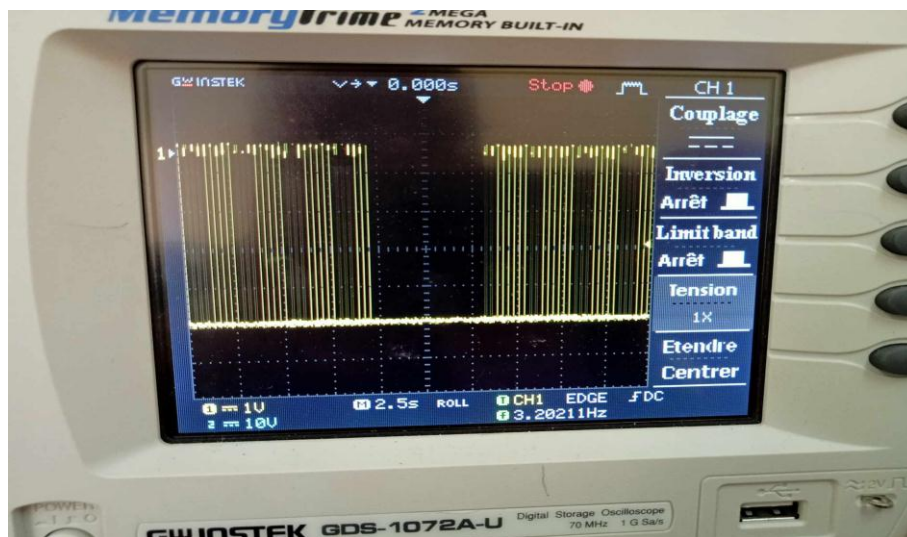


Figure 26 : signal impulsionnel monophasique amplifié

2.10 La réalisation de circuit sur la plaque d'essai

2.11 Circuit électrique réalisé

2.11.1 Les composants électroniques utilisés

- ✚ une résistance de $10k\Omega$
- ✚ Bouton poussoir : pour changer les paramètres du signal sans téléverser le programme à chaque fois.
- ✚ Led : pour signaler que le bouton est activé, offre un retour visuel instantané à l'utilisateur pour lui indiquer que son action a été prise en compte

2.11.2 Principe de notre circuit

La section sortie produit le signal monophasique dont les paramètres sont réglés par l'arduino

Notre circuit est basé sur l'utilisation des boutons poussoirs qui sont branchés aux pins d'interruptions pour éviter le rebondissement des boutons une fois sont appuyés dans le but de varier les différents paramètres de l'impulsion monophasique sans avoir besoin de retéléverser à chaque fois qu'on change le paramètre. (voir la page 23 pour plus d'explications)

La section contrôle trouve le signal monophasique dans la pin (13) de l'Arduino, cette section consiste à amplifier la puissance de signal à l'aide d'un transistor

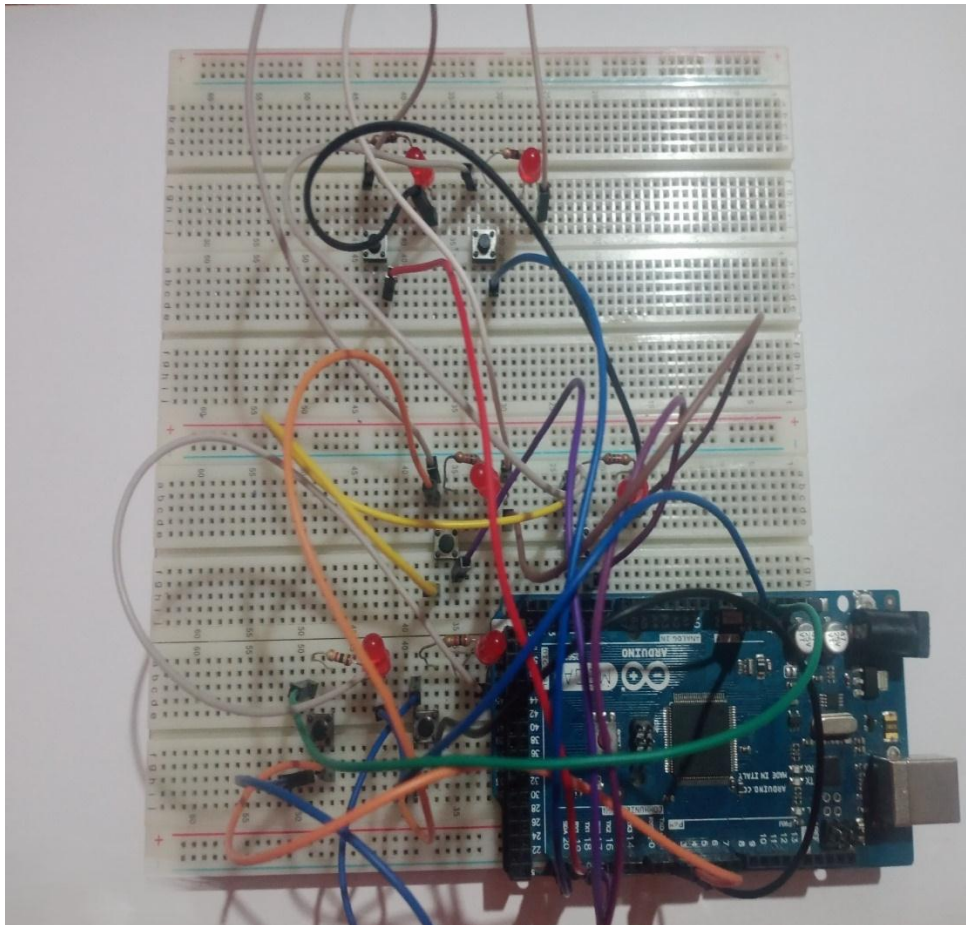


Figure 27 : circuit électrique pour signal impulsionnelle monophasique.

2.12 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté la méthodologie utilisée durant la réalisation de notre circuit afin de générer une impulsion monophasique assez puissante qui est destinée pour la stimulation musculaire dans le but de traitement des douleurs

Dans le chapitre qui suit on s'intéresse aux résultats obtenus et discussion

Chapitre 3

DISCUSSIONS ET APPLICATIONS

3. Introduction

Ce chapitre sera consacré pour une discussion des résultats obtenus et leurs applications.

3.1 Logiciels utilisés

Pour la réalisation de notre circuit il nous faut des logiciels, On a utilisé deux logiciels :

Le premier c'est l'IDE arduino dans le but de la programmation et l'autre Proteus pour le but de simulation.

3.2 Présentation générale de logiciel IDE arduino

Un environnement de développement intégré fonctionnant sur divers systèmes d'exploitation qui permet d'éditer le programme sur un ordinateur et de le transférer via le port USB permet :

- ❖ D'éditer un programme : un programme est composé de croquis les programmes sont écrits en langage C.
- ❖ compiler ce programme dans le langage « machine » de l'Arduino, *la compilation est une traduction du langage C vers le langage du microcontrôleur.*
- ❖ De téléverser le programme dans la mémoire de l'Arduino, *le téléversement se passe via le port USB de l'ordinateur.*
- ❖ de communiquer avec la carte Arduino grâce au moniteur série.
pendant le fonctionnement du programme en mémoire sur l'Arduino, il peut communiquer avec l'ordinateur tant que la connexion est active (câble USB, ...). [22]

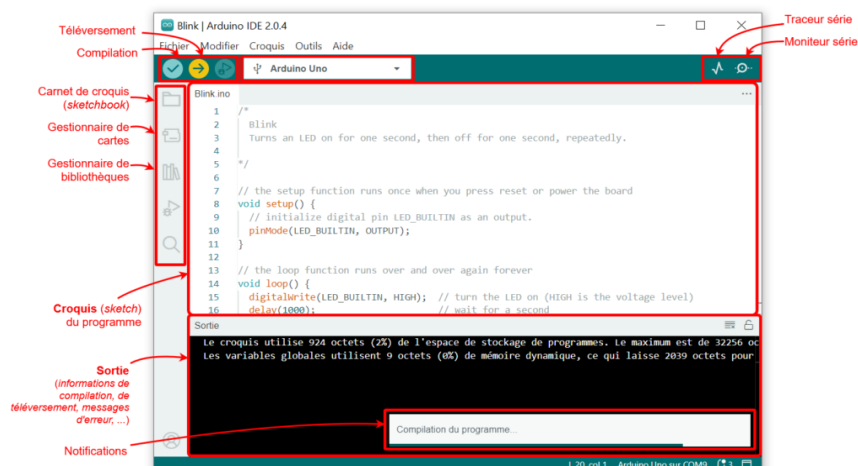


Figure28 : environnement d'arduino.

3.3 Présentation générale de logiciel Proteus

Proteus est un logiciel destiné à l'électronique. Deux logiciels principaux composent ce logiciel : (ISIS, ARES, PROSPICE) et VSM. Ce logiciel est très connu dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation utilisent ce logiciel. Outre la popularité de l'outil, Proteus Professional possède d'autres avantages :

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre.
- 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.

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.

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 (Printed circuit board) de la carte électronique ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement. [23]

3.4 Mesure de signal

Les signaux qu'on a obtenus par notre expérience :

Le signal mesuré et généré par le pic de la carte est représenté par la figure suivante :

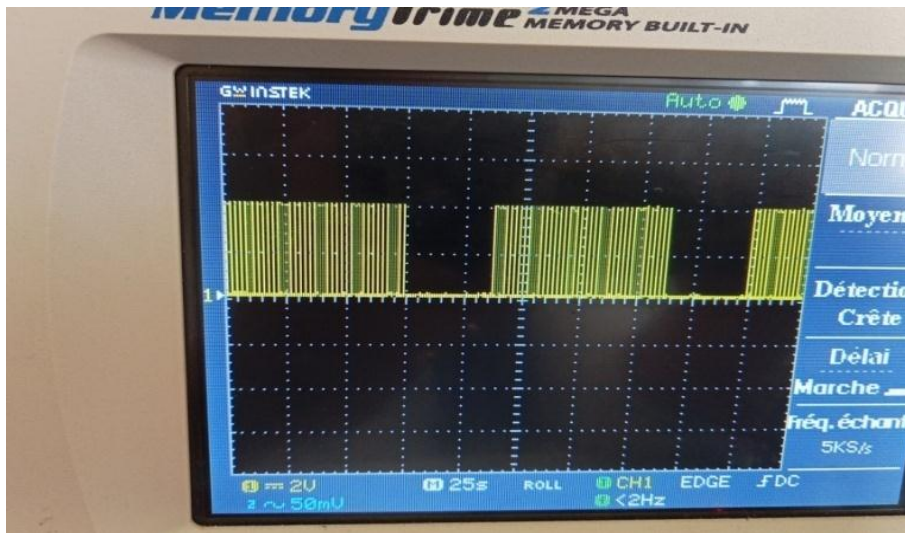


Figure 29 : l'impulsion monophasique affichée sur un oscilloscope

- A chaque fois on appuie sur le bouton B1 qui est responsable sur l'augmentation de la fréquence on aura une diminution de la période de signal car sont inversement proportionnel, et quand on appuie sur B2 qui est responsable sur la diminution de fréquence on a une augmentation de période, comme le montre la figure suivante.

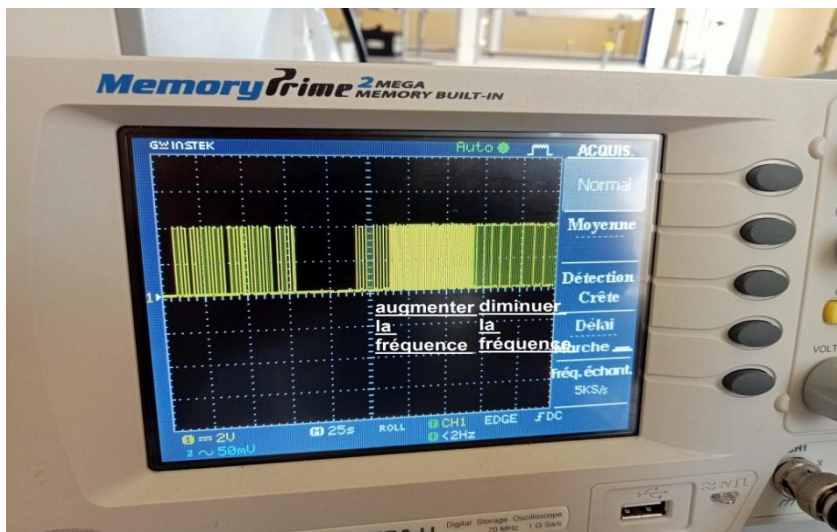


Figure 30: signal monophasique avec augmentation et diminution de la fréquence

- Le B3 est responsable sur l'augmentation de temps d'impulsion quand il est appuyé le temps augmente.

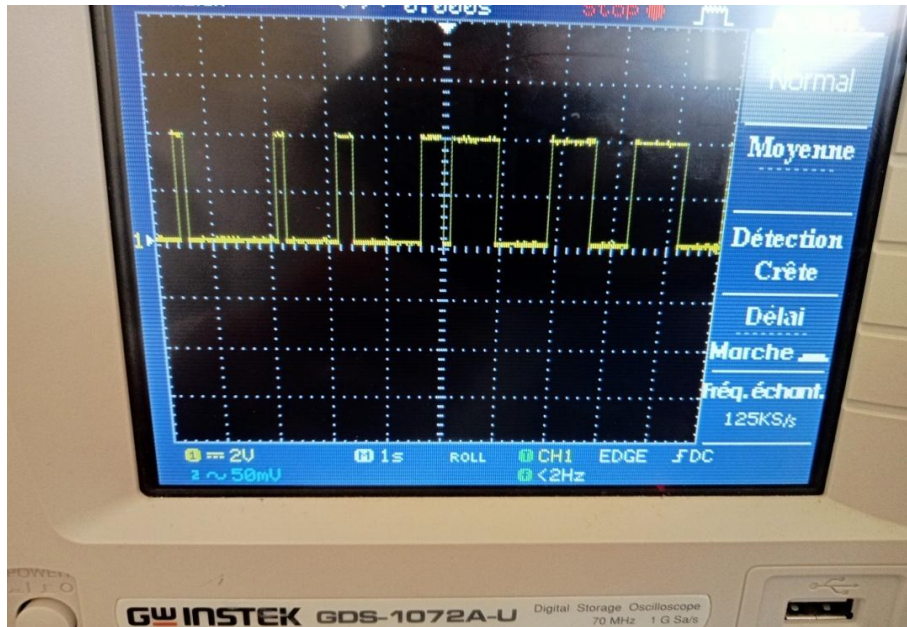


Figure 31 : augmentation de temps d'impulsion de signal monophasique

- Le B4 est aussi responsable sur le temps d'impulsion mais pas sur l'augmentation mais sur sa diminution quand on l'appuyé il diminue.

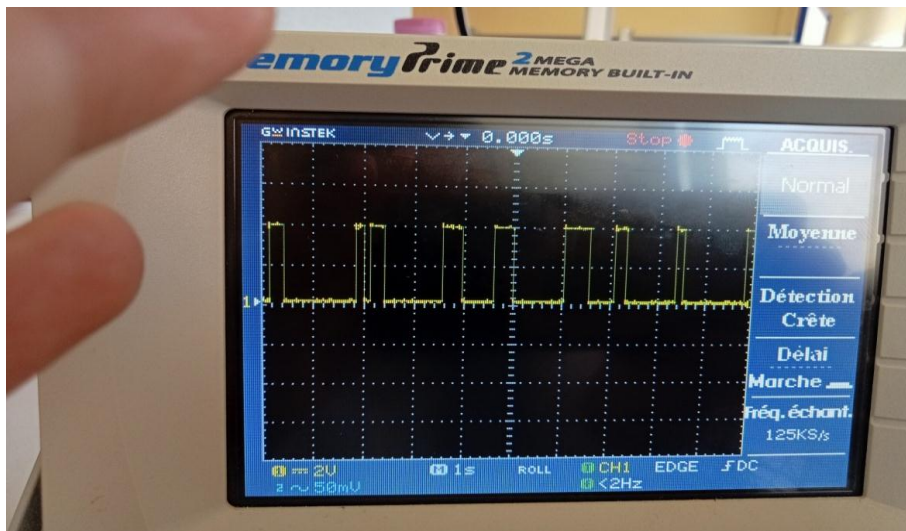


Figure32 : diminution de temps d'impulsion

- Pour les deux boutons B5 et B6 sons responsable sur le temps de traitement, B5 augmente le temps et B6 le diminue pendant chaque appuyer.

Après la simulation sur le logiciel Proteus on a obtenu le signal suivant :

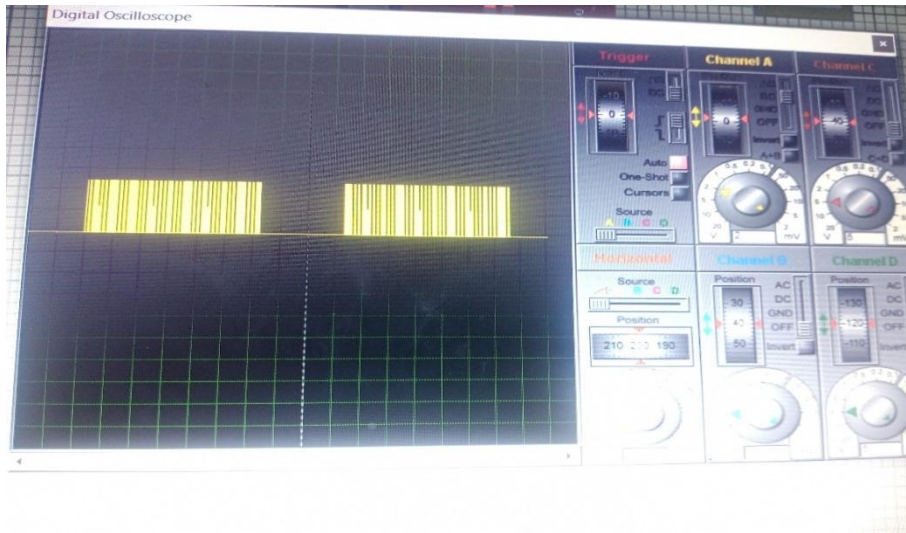


Figure 33 : le signal résultant de la simulation sur Proteus

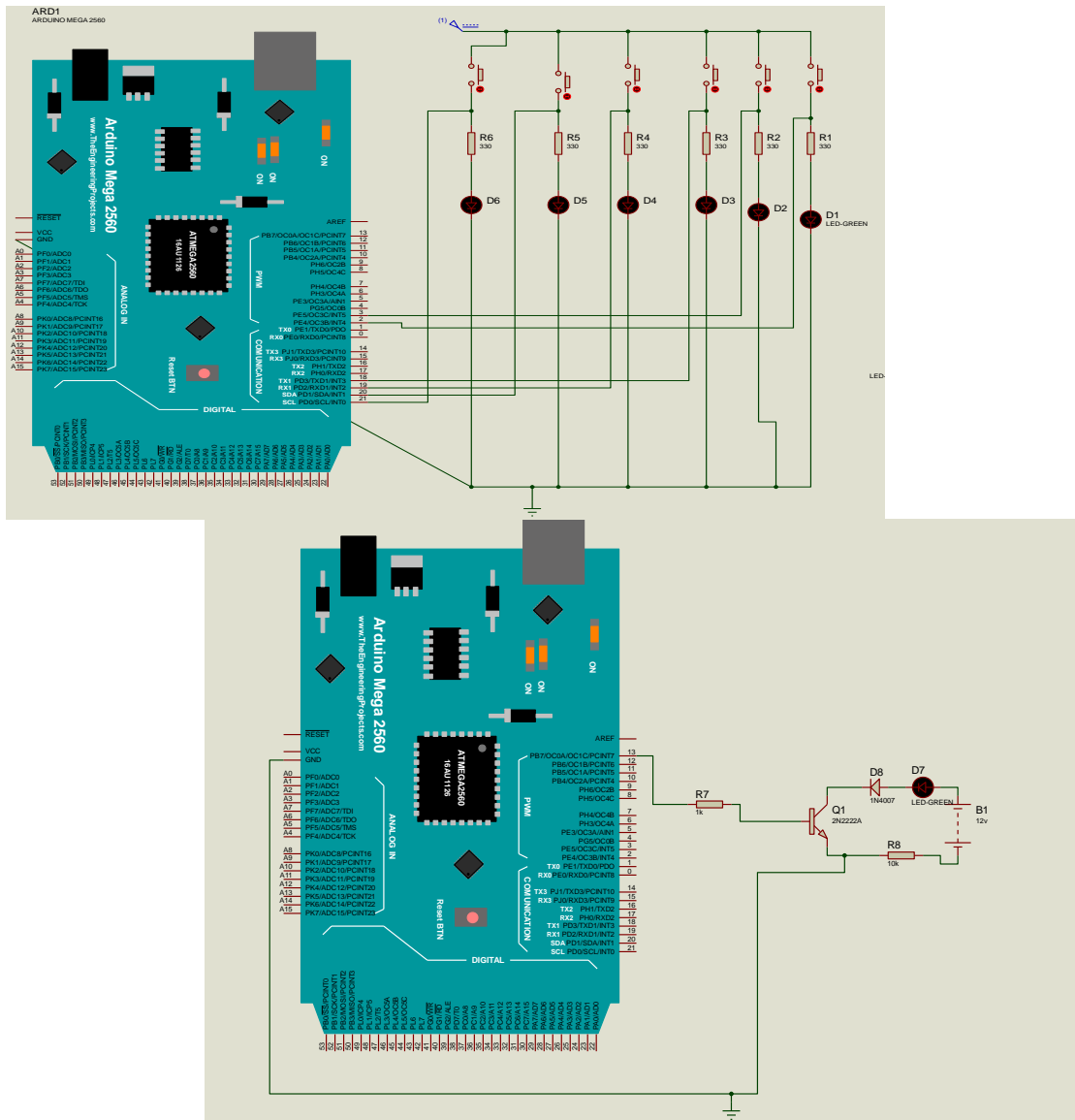
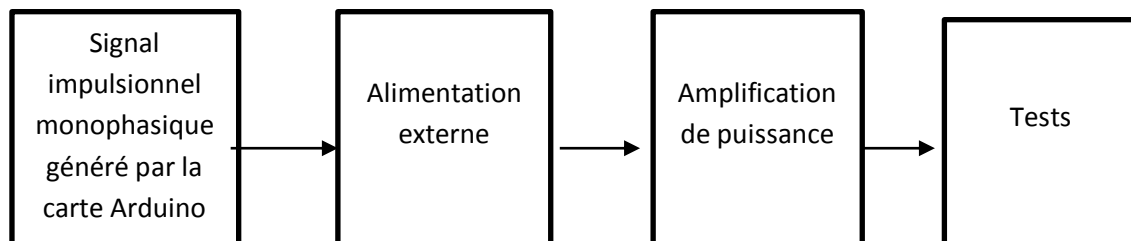


Figure 34 :le circuit électronique de notre dispositif

3.5 Prototypé de réalisation de notre circuit



3.6 Applications

Pour la maladie de névralgie

C'est une douleur sur le trajet de nerfs sensitif. On place deux électrodes l'un au niveau du membre supérieur sur le trajet des troncs nerveux concernés, et l'autre sur la branche du nerf qui est douloureuse.

Avec un temps de traitement $T_{\text{trait}}=15\text{min}$ et une durée d'impulsion $T_{\text{imp}}= 80\mu\text{s}$.

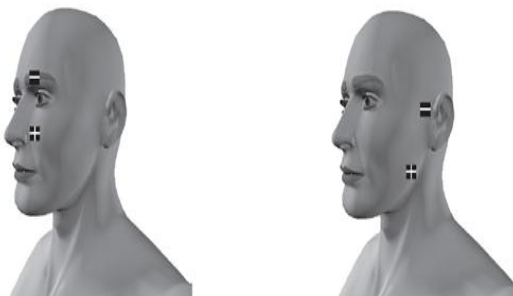


Figure 35 : représente un exemple pour l'emplacement des électrodes pour la névralgie.

Pour les douleurs post-Zostériennes

On place quatre électrodes

Deux sur le dermatome du territoire douloureux et deux autres sur le dermatome en-dessous de la zone algique.

Sur une durée totale de traitement de 25min et une durée d'impulsion de $80\mu\text{s}$.



Figure 36 : représente un exemple de l'emplacement des électrodes pour les douleurs post-zostériennes

Pour l'arthrose

Les électrodes sont placées directement sur la peau selon l'endroit de la douleur l'une à côté de l'autre ou sur des points d'acupuncture, sur le trajet des terminaisons nerveuses et selon la région de la douleur. Sur une durée d'application de 8s et une durée de repos de 2s pendant une durée de traitement de 20min.

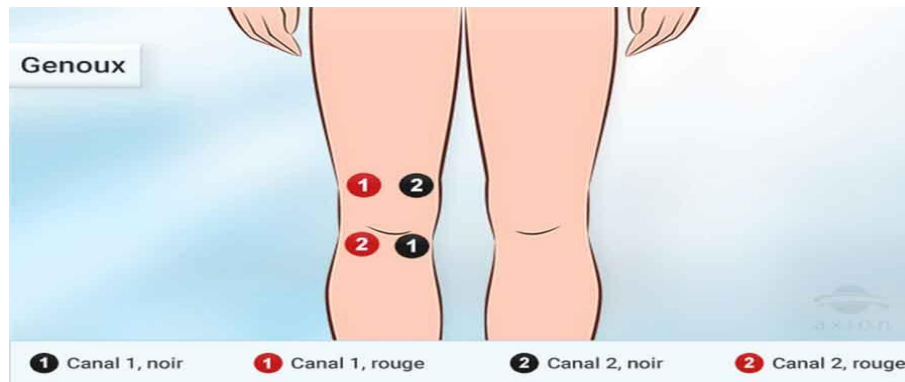


Figure 37 : exemple d'application des électrodes pour l'arthrose

3.7 Discussions

- La génération de signal monophasique et son amplification sont décrites dans le chapitre précédent
- Pour l'alimentation on a utilisé un générateur de fonctions, comme premier test on a fixé l'alimentation à 15 v mais elle n'était pas suffisante, on a ressenti à peine une impulsion électrique.

Puis on a augmenté la valeur de la tension à 30 v qui était assez puissante pour traverser la résistance de notre corps et stimuler nos muscles

3.8 Précautions prises

Quand on a réalisé notre circuit on a pris en charge un ensemble des précautions pour avoir un bon fonctionnement :

- Le circuit a été réalisé sur une plaque d'essai partie par partie.
- Chaque composant d'une partie a été testé à l'aide d'un multimètre en mode sonnette.
- Vérifier la bonne connexion entre les parties car une mauvaise connexion peut perturber le circuit et détruire le résultat obtenu.

3.9 Les problèmes rencontrés

Manque de temps

Manque de documentations

3.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons discuté les résultats obtenus pendant les tests effectués et nous avons aussi présenté quelques applications d'électrothérapie qui utilisent le signal impulsionnel monophasique, on a cité le positionnement des électrodes ainsi que les durées d'application, de repos, et de traitement.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

La réalisation de ce mémoire, demande une maîtrise :

- De la biologie et de l'activité électrique des muscles et du système nerveux
- De l'électronique de commande dont l'électronique numérique
- Le fonctionnement des cartes d'acquisition
- De l'électronique de puissance

Premièrement, nous avons introduit des généralités sur les muscles, la douleur ainsi que nous avons défini l'électrothérapie, les courants électriques utilisés, le choix et le positionnement des électrodes, nous avons aussi cité quelques applications et contre-indications.

Ensuite, dans le deuxième chapitre nous avons exposé les différentes parties de notre circuit, l'organigramme de génération de notre impulsion ainsi que comment nous avons amplifié sa puissance dans le but de stimuler les muscles.

Dans le dernier chapitre, nous discutons les résultats obtenus et nous avons exposé les applications de notre impulsion générée.

L'électrostimulateur a été étudié dans le but de réaliser un dispositif qui a pour fonction de réduire ou éliminer la douleur, par inhibition totale ou partielle du centre nerveux.

L'utilisation de tels appareils soulagerait les patients qui souffrent de douleur permanente ou quasi permanente sans recourir à des médicaments qui n'ont qu'un effet antalgique temporaire, ce qui nécessiterait une prise de ces médicaments prolongée dans le temps et plus cette durée est longue, plus les effets toxiques des médicaments peuvent apparaître et conduire à des dommages irréversibles malheureusement.

Nous espérons que ce travail sera poursuivi pour une amplification en puissance des signaux alternatif et testés sur un nombre suffisant de patients pour une homologation en terme d'efficacité et de sécurité.

BIBLIOGRAPHIE

3 Bibliographie

- [1] M. B. YAHMED, Intéret de l'électrostimulation transcutanée a visée antalgique par libération d'endorphines chez les patients opérés en chirurgie thoracique par thoracotomie postéro-latérale, Mémoire Master: Université de Nantes, 2012.
- [2] B. Zahra, ETUDE ET REALISATION D'UN BIOSTIMULATEUR SANS FIL, Mémoire Master : Université Abou Bakr Elkaid de Tlemcen, soutenu le 15 juin 2016.
- [3] D. TAIBI.A, «généralités sur les muscles,» *faculté de médecine d'oran*, p. 29, 2011.
- [4] C. J. L. John V .Basjamian, chez *Muscles alives:their functions revealed by electromyography*, Williams and Wilkins Ed, Baltimore, 1985.
- [5] R. d. j. d. femmes, «Muscle squelettique:définition, schéma de ce type de muscle,» *journal des femmes*, 2022.
- [6] K. K. K. M H Brooke, «Muscle fiber types: how many and what kind?,» p. 379, 1970.
- [7] «Mécanismes de la contraction». *Institut de Myologie*.
- [8] M. B. FRANC, LA FATIGUE ET SES TRAITEMENTS, Thèse de Doctorat: Université de LIMOGES, soutenu le 20 décembre 2006.
- [9] P. F. Pierre Beaulieu MD, «Anatomie et physiologie de la douleur (aigue et chronique),» *Université de Montréal*, p. 93, 2020.
- [10] Z. K. H. K. E. R. Fuglevand AJ, «impairment of neuromuscular propagation during human fatiguing contractions at submaximal forces,» *J Physiol*, 1993.
- [11] R. Maxime, «Efficacité de l'électrothérapie excito-motrice par rapport aux techniques classiques de renforcemnt musculaire,» *Kinedoc*, p. 40, 2012.
- [12] «bluetens,» 01 10 2020. [En ligne]. Available: <https://www.bletens.com>. [Accès le 26 04 2024].
- [13] C. D, «sante sur le net,» 5 03 2019. [En ligne]. Available: <https://sante-sur-le-net.com>. [Accès le 26 04 2024].
- [14] F. Crépon, chez *Electrothérapie et physiothérapie*, ELSEVIER MASSON, 2012, p. 263.
- [15] I. EXCELLRNCE, GLOBUS, DOMINO S.R.L, 2018.
- [16] N. trac, «la stimulation neuromusculaire le placement des électrodes,» *verity medical*, p. 48, 2017.
- [17] R. BORNE, Electrostimulation neuromusculaire et récupération a court terme, thèse de doctorat: Université de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, soutenu le 1 décembre 2016.

- [18] «JFB,» 30 10 2012. [En ligne]. Available: <https://www.jfb.fr>. [Accès le 20 06 2024].
- [19] A. A. AKBI Nabil, ETUDE ET REALISATION D'UN ELECTROSTIMULATEUR, Mémoire Master: Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, soutenu en 2017.
- [20] Brahim, «Arduino mega,» *Scribd*, p. 6, 2021.
- [21] K. Ameer, «Document sur la carte esp32,» *Scribd*, p. 10, 2024.
- [22] «Arduino,» [En ligne]. Available: <https://www.arduino.cc>. [Accès le 06 06 2024].
- [23] Touré, «cours de proteus professionnel,» *université de badji mokhtar annaba*, p. 30, 2019.

Liste des figures

Figure 1 les muscles de corps humain:<http://www.canadiensatschool.com/fr/les-merveilles-du-corps-humain/le-systeme-musculaire/>

Figure 2 types des muscles: <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/3146>

Figure 3 classifications des muscles :https://theory.labster.com/fr/muscle_tissue/

Figure 4 structure de muscle squelettique:https://didaquest.org/w/images/8/88/Muscles_stri%C3%A9s_classification.jpg

Figure 5 premier appareil d'électrothérapie:https://ressources.unisciel.fr/physiologie/co/2a_1.html

Figure 6 exemple des électrodes:<https://fra.animalia-life.club/diagramme-de-fatigue-musculaire>

Figure 7 courant à l'état constant:<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTHvkD9mH6dDtG2u4E7vpmdFi9E7ZOLoar6BN06Hxyntg&s>

Figure 8 courant interférentiel: http://winelec.eu/wp-content/uploads/2015/02/winelec_carrees_8428.jpg

Figure 9 courant alternatif modulé en fréquence: <https://energieplus-lesite.be/theories/reseau-electrique9/circuit-electrique-notions-de-base/>

Figure 10 onde sinusoïdale<https://zestedesavoir.com/media/galleries/4939/ff065f21-8a7e-4981-8578-c98cde5bb45a.png>

Figure 11 onde rectangulaire: https://2.bp.blogspot.com/-ZsoA2T7d1jA/To2Of3gszPI/AAAAAAAAEXU/t_8xHpZN7DA/s1600/rapiditemodulation2.png

Figure12 onde trapézoïdale:<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTaH2VSTeXWaYqImnzT-F2ZpDPvIJW5AY6Vb1WewylqUEWI2wPD>

Figure13 impulsion monophasique rectangulaire: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTSkoDOX2LFVNNRRpjZke1JQfAh5XTz5khCSYvoF-6GsjJ6MelWC1bUFF1bsgg_FyMstlw&usqp=CAU

Figure 14 impulsion rectangulaire biphasique : <https://kine-web.org/wp-content/uploads/2021/06/cbiph.png>

Figure 15 image représentative de la carte Arduino Mega 2560: <https://arduino.blaisepascal.fr/>

Figure 16 datasheet de la carte esp32: <https://lastminuteengineers.com/wp-content/uploads/iot/ESP32-Pinout.png>

Figure 17 onde rectangulaire

Figure 18 onde trapézoïdale

Figure 19 onde sinusoïdale

Figure 20 onde biphasique

Figure 21 branchement des leds et des boutons poussoirs

Figure 22 l'organigramme principal de fonctionnement

Figure 23 l'impulsion monophasique avec 4ms d'application et 2ms de repos

Figure24 circuit d'amplification de signal impulsionnel monophasique

Figure 25 signal impulsionnel monophasique amplifié

Figure 26 circuit électrique pour signal impulsionnelle monophasique

Figure27 environnement d'arduino

Figure 28 l'impulsion monophasique affichée sur un oscilloscope

Figure 29 signal monophasique avec augmentation et diminution de la fréquence

Figure30 augmentation de temps d'impulsion de signal monophasique

Figure31 diminution de temps d'impulsion

Figure 32 le signal résultant de la simulation sur proteus

Figure 33 le circuit électronique de notre dispositif

Figure 34 représente un exemple pour l'emplacement des électrodes pour la névralgie:

<https://www.neurotracshop.com/pages/40/placement-electrodes-tens>

Figure 35 exemple d'application des électrodes pour les douleurs post-zostériennes:

<https://www.chirurgiedeladouleur.fr/tens/>

Figure 36 exemple d'application des électrodes pour l'arthrose:

<https://www.aflar.org/2019/03/16/tens-arthrose-du-genou/>

Résumé

L'électrothérapie s'est révélée être une méthode efficace et non invasive pour le traitement de diverses douleurs chroniques, tonifier les muscles et favoriser la circulation sanguine, ce qui offre une qualité de vie meilleure.

L'électrothérapie est de plus en plus prescrite à des personnes âgées, notamment pour des problèmes vasculaires, articulaires....

Cette méthode est souvent appréciée pour ses effets antalgiques durables, et peut être facilement être pratiquée à domicile.

L'objectif de ce mémoire c'est l'étude et la réalisation d'un dispositif électrothérapeutique qui a pour but de soulager les douleurs et favoriser le bien être.

Abstract

Electrotherapy has proved to be an effective and non-invasive method of treating a variety of chronic pain conditions, toning muscles and promoting blood circulation, all of which offer a better life quality.

Electrotherapy is increasingly being prescribed to the old people, particularly for vascular and joint problems....

This method is often appreciated for its long-lasting analgesic effects, and can easily be performed at home.

The aim of this dissertation is to study and develop an electrotherapeutic device designed to relieve pain and promote well-being.

ملخص

أثبت العلاج الكهربائي أنه وسيلة فعالة وغير جراحية لعلاج الآلام المزمنة المختلفة وتقوية العضلات وتعزيز الدورة الدموية، مما يوفر نوعية حياة أفضل.

يوصف العلاج الكهربائي من قبل أخصائي العلاج الطبيعي بشكل متزايد لكبار السن، وخاصة لمشاكل الأوعية الدموية والمفاصل، وما إلى ذلك.

غالبًا ما تحظى هذه الطريقة بالتقدير لتأثيراتها المسكنة طويلة الأمد، ويمكن ممارستها بسهولة في المنزل.

الهدف من هذه الأطروحة هو دراسة وإنشاء جهاز علاجي كهربائي يهدف إلى تخفيف الألم وتعزيز الصحة

Agzul

Tarrayt n tujjya s tizfi t-ttawid i widen is3an aqrah di tefekka nsen, yerna ur d-gelara s lemɗarra n ddwawi i sexdamen iw-ayaggi. Tujya s tizfi trennu di n tmezdiyin (électrothérapie) tessken-d d akken d tarrayt ay iwatan yerna ur tettiɗurru ara i ussehbiber yef yiyeblan yemgerraden n tmezdiyin, s ussemɣer n tfekka d ussebyes n tmezdiyin n yidammen, yernu d aya ay d-yettaken taɣawsa yelhan i tudert.

electrotherapy t-id-yettwasbedden s waṭas i yimɣaren, laɣya i wugur n yizuran d yiyes, atg. Ilaq ad nḥemmel tarrayt-a imi ay tesesa aṭas n tɣawsiwin n usseḥmu, yerna tezmer ad tettwaxdem s tɣawla deg wexxam.

Iswi n tezrawt-a d tazrawt d usnulfu n yiwen n wallal n ussway s tmezdiyin (électrothérapeutique) ay yesean iswi n usfeɗ n lḥir d usnerni n tdawsa.

•XЖ:И

†.Λ.ΠΘ. | †C:ЖΛξξξI (électrothérapie) †©ΘR:ИΛ Λ .R:ИΛ †.OO.† † ξΠ.†.I †%OI. %O †%†E:OO% .O. ξ %©©%Kθξθ%O †%И †ξC:EξI%I †%C:X%OO.Λ%I | †C:ЖΛξξξI, © %©©%C†%O | †И:ИИ. Λ %©©%θ†%© | †C:ЖΛξξξI | †ξΛ.CC%I, Λ†. Λ †. † Λ†%†.R%I †%Λ%O† †%ИΦ.И %X.O. electrotherapy †ξΛ†%†.ΠξI © Π.E.© ξ †ξC†.O%I, И.Λ†. ξ Π:X%O%I | †ξЖ:O.И Λ †ξ†%©, †X. ξИ.И .Λ |K%CC%И †.OO.†. ξCξ † †%©.И. E.© | ††.ΠΘξΠξI | %©©%K%: †%OI. †%Ж%C%O .Λ †%†Π.XΛ%C © ††.ΠИ. Λ%X Π%X.X.C. ξ©Πξ | †%Ж.O.Π†. Λ †.Ж.O.Π† Λ %©:ИИ%: | †ξΠ%I | Π.ИИ.И | %©©Π.† © †C:ЖΛξξξI (appareil électrothérapeutique) † †%©.И. ξ©Πξ | %©И%E | ИKξИ Λ %©:OIξ | †Λ.ΠΘ.