

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et D'informatique  
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Etude  
de MASTER ACADEMIQUE**  
Spécialité : **Electronique**  
Option : **Instrumentation.**

*Présenté par*  
**BELMADI Souhila**  
**HOUNAS Zehor Thilleli**

Mémoire Proposé dirigé par :  
**Mr LAZRI.M**

Thème

**"ETUDE ET RÉALISATION D'UNE TABLE  
CHAUFFANTE NEONATALE".**

*Mémoire soutenu publiquement le 26/ septembre/ 2018 devant le jury composé de :*

**Mr F.OUALOUCHE**  
M.C.B, UMMTO, Président

**Mr M.LAZRI**  
M.C.A, UMMTO, Promoteur.

**Mme F.OUSLIMANI**  
M.A.A, UMMTO, Examineur.

Année universitaire : 2017/2018

---

# *Dédicaces*

*Je dédie cet humble travail*

*A mes parents, à ma mère **Fatma**, source de tendresse, à mon père **Tahar**, qui m'as soutenu tout au long de mes cursus scolaire et universitaire. Vous serez toujours le modèle pour moi, j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Merci d'être tout simplement mes parents, c'est à vous que je dois cette réussite.*

*A mes sœurs : ma grande sœur **Hayet**, son soutiens et encouragement était une source de motivation pour moi. **Naima** et son conjoint **Oualid** et leurs deux petits anges **Anis** et **Elyne**. **Siham** et son conjoint **Sofiane**. Mon aimable petite chère sœur **Samira**.*

*A mon frère **Si Mohand Oualhadj**, le bijou de la famille.*

*A la personne qui m'as toujours aidé et encouragé, qui était toujours à mes côtés et qui m'as accompagné durant toute ma dernière année et qui étais un grand secoure tout au long de ce travail, **Amirouche**.*

**BELMADI Souhila.**

*Cette dédicace ne saurait vous rendre tout ce que je vous dois, mon bien aimé papa **HOUNAS Amar** et ma très chère maman **HOUNAS Fatma** qui m'avaient soutenus en toutes circonstances et qui m'avaient offert le meilleur, souvent, à vos dépens.*

*J'espère être un jour ce que vous êtes pour moi, Une fierté.*

*Aussi je dédis ce travail*

*A ma sœur **Dahbia** et toute sa famille.*

*A ma très chère sœur **Wassila**, son conjoint **zahir** et ma future petite nièce **Myriam**.*

*A mon très cher grand frère **Akli**.*

*Le meilleur pour la fin! Mon petit frère **chérif** que j'adore.*

*Je vous aime tant ...*

***HOUNAS Zehor Thilleli***

# *Remerciements*

*Nous adressons nos sincères remerciements à nos chers parents, nos frères et sœurs, sources de tendresse et de noblesse, pour leurs soutiens matériels et moraux.*

*Un merci bien particulier adressé également à notre promoteur **Mr LAZRI.M** qui nous a proposé et dirigé dans ce travail, nous sommes reconnaissantes pour ses orientations, sa disponibilité et ses conseils judicieux.*

*Un vif remerciement qui va s'attribuer à **Mr HAROUZ Amirouche**, pour son encouragement, ses orientations et ses remarques objectives.*

*Notre reconnaissance très chaleureuse à nos camarades **Mr AID Amine** et **AMROUCHE Ali** pour leur aide précieuse.*

*Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'aide et le soutien de **sabrina HOUNAS** et **Ismahane BESSAHA** auxquelles nous adressons nos remerciements.*

*Merci également à tous les enseignants de la Faculté de Génie Electrique et d'Informatique pour leurs aides, leurs encouragements et d'avoir été là pour nous durant toutes ces années de formation où on a pu apprendre beaucoup.*

*Enfin, notre reconnaissance va également à toute personne ayant contribué au succès de ce travail.*

# Liste des figures

Figure I. 1 : Illustration des mécanismes de transfert de chaleur chez le bébé.....	5
Figure I.2 : Illustration indicative de la température corporelle du nouveau-né .....	7
Figure I.3: Couveuse (incubateur) bébé DRAEGER 8000SC.....	11
Figure I.4 : Table chauffante néonatale Réanimation BLR-2100.....	12
Figure I.5 : Table chauffante UON-04 "AKSION".....	13
Figure I.6 : Table chauffante Shvabe SNO.....	15
Figure I.7 : La table de réanimation néonatale ouverte (CHO).....	16
Figure I.7 : Table chauffante SOC-HKN-93A .....	17
Figure II.1: Domain d’IR dans le spectre électromagnétique.....	19
Figure II.2 : Les ondes du spectre électromagnétique.....	20
Figure II.3 : Vu d’ensemble des ondes électromagnétique (longueur d’onde en $\mu\text{m}$ .....	21
Figure II. 4: Domain d’application du spectre électromagnétique selon la longueur d’onde.....	22
Figure II.5 : Spectre d’émission du rayonnement infrarouge.....	25
Figure II.6 : Les effets des différents infrarouges sur la peau.....	27
Figure II.7 : Pourcentage de transmission du spectre électromagnétique.....	27
Figure II .8. Émission du rayonnement.....	28
Figure II.9 : Principe de l’effet Seebeck.....	33
Figure III.1: Carte Arduino UNO.....	37
Figure III.2 : Interface IDE Arduino.....	39
Figure III.3 : Structure d'un programme sous Arduino.....	40
Figure III.4: Schéma interne de l'Arduino NANO.....	42
Figure III.5 : Face de circuit d’Arduino.....	43
Figure III.6 : Face de composant d’Arduino. ....	43
Figure III.7: Brochage de la carte Arduino. ....	44
Figure III.8: Architecture du réseau de communication mono-maitre.....	47
Figure III.9: Architecture du réseau de communication multi-maitre.....	47
Figure III.10: Principe du PWM. ....	49

Figure III.11 : Capteur infrarouge MLX90615.....	50
Figure III.12 : Architecture interne du mlx90615.....	51
Figure III.13 : Description des pins du capteur MLX90615.....	55
Figure III.14: Diagramme de performance du MLX90615 (plage de température totale).....	57
Figure III.15 : Diagramme de performance du MLX90615 (plage de température de l'application).....	58
Figure III.16 : Ampoule chauffante infrarouge en céramique.....	59
Figure IV.1: Schéma synoptique général.....	63
Figure IV.2: Réalisation virtuelle du circuit électrique sur ISIS.....	64
Figure VI.3: Connexion LCD/module I2C.....	66
Figure VI.4 : Séparation du circuit de puissance du circuit de commande.....	67
Figure IV.5 : Organigramme de fonctionnement.....	68
Figure IV.6 : connexion ARDUINO NANO et MLX90615.....	69
Figure IV.7 : résultat sur moniteur série.....	70
Figure IV.8 : circuit d'isolation galvanique.....	71
Figure IV.9 : potentiomètre connecté a l'Arduino.....	71
Figure IV.11 : Branchement de LCD et mon module I2C.....	72
Figure IV : le montage électronique complet.....	73
Figure IV.9 : vu d'ensemble de la table chauffante.....	74
Figure IV.10 : la partie chauffage.....	74
Figure IV.11 : partie commande.....	75
Figure IV.12 : l'unité de contrôle dans le boitier .....	75

# *Liste des tableaux*

<b>Tableau II.1:</b> Classes de longueur d'onde du spectre électromagnétique.....	23
<b>Tableau II.2:</b> Caractéristiques et étendue de mesure de quelques métaux .....	32
<b>Tableau III.1:</b> Les différents types de cartes Arduino. ....	37
<b>Tableau III.2 :</b> Spécifications techniques d'Arduino Nano.....	43
<b>Tableau III.3:</b> Fiche technique du capteur infrarouge MLX90615.....	50
<b>Tableau III.4 :</b> Tableau de dimensionnement du package TO-46.....	54
<b>Tableau III.5:</b> Liste d'adresses de la EEPROM (RAM).....	57
<b>Tableau III.6:</b> Fiche technique de l'ampoule chauffante infrarouge en céramique.....	59
<b>Tableau III.7:</b> comparatif des différents systèmes de chauffage.....	61

# *Glossaire*

**A<sub>0-7</sub>** : Analog input 0 to 7

**ADC:** Digital Signal Processor

**AREF:** Analog REFérence

**CAN:** Controller Area Network

**D<sub>0-13</sub>:** Digital input 0 to 13

**DIY:** Do It Yourself

**DSP:** Digital Signal Processor

**E/S:** Entrées/Sorties

**EEPROM:** Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

**FIR:** Finite Impulse Response

**FFT:** Fast Fourier Transform

**GND:** GrouND

**I2C:** Inter-Integrated Circuit

**IDE:** Integrated Development Environment

**IIR:** Infinite Impulse Response

**IOREF:** In Out REFerence

**IR:** Infra-Red

**K:** Kilo

**LCD:** Liquid Crystal Display

**LPF IIR :** low-pass filter Infinite Impulse Response

**MHz :** Mega Hertz

**MLI :** Modulation de Largeur d'Impulsion

**POR:** Power Off - Reset

**PWM:** Pulse Width Modulation

**RAM:** Random Access Memory

**RX:** Receive

**SCL:** Serial Clock Line

**SDA:** Serial Data Line

**SMBUS:** System Management Bus

**SRAM:** Static Random Access Memory

**T°:** Température

**Ta° :** Température Ambiante

**Th° :** Température

**To°:** Température d'Objet

**TX:** Transmit

**UART:** Universal Asynchronous Receiver / Transmitter

**USB:** Universal Serial Bus

**VCC:** Voltage at the Common Collector

**VDD :** Voltage Drain Drain

**VIN :** Input Voltage

**VSS:** Voltage Source Supply.

**W:** Watts

**mA:** Milli-ampere

**V:** Volte

# *Sommaire*

## Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Glossaire

Introduction.....1

### Chapitre I : thermorégulation et régime thermique chez le nouveau né

I.1. Préambule.....	3
I.2. le régime thermique chez le nouveau né.....	3
I.2.1. Température corporelle .....	3
I.2.2. Température cutanée .....	4
I.2.3. Différence entre la température cutanée et la température corporelle .....	4
I.3. Thermorégulation chez le nouveau né .....	4
I.4. Mécanismes de thermorégulation de la température corporelle du nouveau-né.....	5
I.4.1. Production de chaleur.....	5
I.4.2. Transfert de chaleur.....	5
I.5. Déséquilibre de la thermorégulation chez le nouveau né .....	6
I.5.1. Hypothermie.....	6
I.5.2. Hyperthermie.....	7
I.5.3. Aléas de l'hypothermie et l'hyperthermie chez le nouveau né. ....	8
I.5.3.1. conséquence de l'hypothermie. ....	8
I.5.3.2. conséquence de l'hyperthermie. ....	8
I.6. Protection thermique du nouveau né. ....	8
I.6.1. Premiers soins après la naissance. ....	9
I.6.2. Protection par moyens techniques. ....	9
I.7. Principaux dispositifs médicaux dédiés à la néonatalogie. ....	10
I.7.1. Couveuse. ....	10
I.7.2. Table chauffante néonatale. ....	11
I.7.2.1. présentation. ....	11
I.7.2.2. Historique de la table chauffante. ....	12
I.7.2.3 Etat de l'art de la table chauffante.....	12
I.8. Discussion. ....	17

### chapitre 2 : Phénomène infrarouge

II.1. préambule.....	18
II.2. définition du rayonnement infrarouge .....	18
II.3. Historique sur la découverte de l'infrarouge .....	19
II.4. Spectre électromagnétique .....	20
II.5. Classification de l'infrarouge dans le spectre magnétique .....	22
II.6. Différentes formes du rayonnement infrarouge .....	23
II.6.1. Infrarouge cour ou proche IR-A.....	24
II.6.2. Infrarouge moyen IR.B.....	24
II.6.3. Infrarouge lointain IR -C.....	24
II.7. les effets des différentes formes d'infrarouge sur le corps humain.....	25
II.7.1 Les effets de l'infrarouge proche IR-A.....	25
II.7.2 Les effets de l'infrarouge moyen IR-B.....	25

II.7.3	Les effets de l'infrarouge lointain IR-C.....	25
II.8.	Caractéristiques et Avantages du chauffage infrarouge. ....	27
II.9.	Principe du phénomène physique de l'infrarouge.....	28
II.10.	Chauffage infrarouge lointain.....	28
II.10.1.	Emissivité infrarouge .....	28
II.10.2.	Détection infrarouge .....	30
II.10.3.	détection infrarouge thermique .....	31
II.10.3.1.	définition de capteur thermique .....	31
II.10.3.2.	principe de détection thermique .....	31
a.	Thermistance. ....	32
b.	Résistance métallique.....	32
c.	Thermocouple .....	33
II.11.	avantage du capteur de température infrarouge .....	34
II.12.	Discussion.....	35

### **Chapitre 3 : Composants d'instrumentation.**

III.1	Préambule.....	36
III.2	La carte électronique programmable Arduino.....	36
III.2.1	Description.....	36
III.2.2.	Les différents types de la carte Arduino.....	37
III.2.3.	Environnements de développement.....	38
III.2.3.1	Structure générale du logiciel de programmation.....	39
III.2.3.2	Le langage de programmation.....	39
III.2.4.	Domaine d'utilisation.....	40
III.2.5.	Les avantages de la carte Arduino.....	41
III.2.6.	La carte Arduino Nano.....	42
III.2.6.1	Description.....	43
III.2.6.2	Les spécification technique.....	43
III.2.6.3.	Le microcontrôleur ATmega328.....	44
III.2.6.4	Brochage de la carte Arduino NANO.....	44
III.2.6.5.	Alimentation.....	45
III.2.6.6	Mode de communication.....	46
III.2.6.6.1	Inter integrated circuit "I2C".....	46
III.2.6.6.2	pulse width modulation PWM.....	48
III.3.	Capteur infrarouge MLX90615.....	50
III.3.1.	Description.....	50
III.3.2	Architecture interne du MLX90615.....	51
III.3.2..1	Le capteur thermopile infrarouge.....	51
III.3.2.2	La puce de conditionnement de signal MLX325.....	52
III.3-2-2-a	Amplificateur.....	52
III.3-2-2-b	convertisseur ADC.....	52
III.3-2-2-c	Filtres numériques.....	52
III.3-2-2-d	Processeurs numériques de signal DSP.....	53
III.3.3	Architecture externe.....	54
III.3.3.1	Package TO-46.....	54
III.3.3.2	Définitions et descriptions des broches.....	54
III.3.4	Mode de fonctionnement.....	55
III.3.5	Mode de communication.....	56
III.3.6	adressage .....	56
III.3.7.	Diagramme de performance.....	57

III.3.8 Caractéristiques et avantages.....	58
III.4 Ampoule chauffante infrarouge en céramique.....	58
III.4.1 Description ampoule chauffante céramique infrarouge.....	58
III.4.2 Fiche technique.....	59
III.4.3 Types de lampes chauffantes.....	59
III.4.4. principe de fonctionnement du chauffage infrarouge.....	60
III.4.5 Caractéristiques et avantages.....	60
III.4.6 Comparatif des différents systèmes de chauffage.....	61
III.5 Discussion.....	61

## **Chapitre IV : Réalisation pratique.**

IV.1 Préambule. ....	62
IV.2 Cahier de charges. ....	62
IV.3. Les étapes de notre réalisation. ....	62
IV.4 Schéma synoptique générale. ....	63
IV.5 Conception du circuit électronique. ....	64
IV.6 Organigramme de fonctionnement.....	68
IV.7 Réalisation du circuit électrique. ....	69
IV.7.1 Teste sur le breadboard.....	69
IV.7.1 sur la plaque à soudé. ....	73
IV.9. Réalisation en 3D. ....	73
IV.9 Discussion. ....	75
<b>Conclusion</b> .....	76

### **Bibliographie**

#### **Annexes**

#### **Annexe A**

#### **Annexe B**

#### **Annexe C**

#### **Annexe D**

# *Introduction*

La normo-thermie est un paramètre essentiel dans l'évaluation de l'état de santé, son maintien est une fonction vitale chez le nouveau né. Lors d'un fonctionnement pathologique de l'organisme cette fonction est assurée par les dispositifs médicaux dédiés à la thermorégulation notamment la table chauffante néonatale.

En Algérie, L'amélioration de l'espérance de vie chez les nourrissons est avant tout due à l'importation de ces dispositifs médicaux dédiés à la néonatalogie. En effet La volonté d'améliorer l'état de santé des patients et de raccourcir les séjours hospitaliers est en partie la raison de l'augmentation significative de l'utilisation des dispositifs médicaux néonataux [1], [2].

Après s'être entretenue avec les représentants de deux sociétés d'importation d'équipement médicaux (FAMMED et EXEMED), nous avons constaté le coût élevé des tables chauffantes, c'est pour cela que nous avons entrepris la réalisation d'un premier prototype de cette dernière. Pour mener à bien ce projet, nous avons commencé par examiner les documents qui nous ont été remis et effectuer une recherche préliminaire afin de bien situer le contexte dans lequel s'inscrit notre travail avant de passer à la conception et réalisation de la table chauffante. Nous avons présenté les étapes suivies en organisant le mémoire en quatre chapitres:

Dans le premier chapitre nous avons présenté les différentes technologies et caractéristiques des tables chauffantes déjà existantes sur le marché(état de l'art). Aussi, nous avons regroupé l'essentiel des informations sur l'état thermique du nouveau né, ainsi que les notions de base de thermorégulation, ces informations nous sont nécessaire à la conception d'une table chauffante néonatale adaptée au nouveau-nés et qui répond aux besoins et aux exigences des services médicaux consternés.

Dans le second chapitre, nous avons fourni une description générale du phénomène infrarouge thermique. Nous avons donné des généralités sur le phénomène infrarouge, son mode de fonctionnement et ses types de rayonnement ainsi que leurs effets sur le corps humain, avant de nous intéresser aux différentes méthodes de détections thermiques.

Le chapitre trois est consacré à l'étude des composants d'instrumentation choisie pour la réalisation de notre projet, nous avons commencé par présenter la pièce maitresse de notre prototype qui est une carte électronique programmable, son environnement de programmation et son principe de fonctionnement, puis nous avons défini les unités auxiliaires, une sonde

thermique pour la prise de température et le chauffage utilisé en détaillant les différentes caractéristiques de chacun.

Après avoir donné quelques notions de base, et avoir effectué une étude théorique des différentes parties composant ce projet, nous avons, dans ce quatrième chapitre, expliqué les différentes étapes de la réalisation pratique en présentant des schémas blocs, des circuits électriques, et des diagrammes de fonctionnement.

Enfin, nous avons conclu en résumant le but de ce projet, le mode de fonctionnement du prototype ainsi que son rôle et ses avantages, nous avons également émis quelques perspectives et idées pour son amélioration.

# *Chapitre I*

*Thermorégulation et  
protection thermique  
chez le nouveau-né*

## **I.1. Préambule**

La température joue un rôle essentiel dans les soins à donner aux nouveaux nés prématurés ou malades. Ce chapitre permet de se faire une idée sur le régime thermique chez les nouveaux nés et les déséquilibres thermiques qui sont dues à une mauvaise adaptation à l'environnement externe et une thermorégulation non stable, ainsi que les moyens techniques utilisés pour assurer l'équilibre thermique des nouveaux nés notamment la table chauffante néonatale qui est l'équipement que nous allons étudier et concevoir. Toutes ces notions sont fournies en vue de mieux cerner et identifier le meilleur moyen de stabiliser l'état thermique du nouveau-né à l'aide de cette dernière [1].

Il existe sur le marché plusieurs types de tables chauffantes qui répondent à ces exigences, chacune d'elle s'appuie sur différentes technologies que nous allons présenter à la fin du chapitre en état de l'art qui est une phase élémentaire dans l'initiation à notre étude.

## **I.2. Régime thermique chez le nouveau-né**

La néonatalogie est une section de la pédiatrie responsable des soins pendant les quatre premières semaines de vie d'un nouveau-né dont la plupart des organes, sont encore en plein développement et donc particulièrement vulnérables à toute perturbation de l'équilibre biologique et nutritionnel. Cette science connaît une évolution afin d'améliorer les méthodes de diagnostic et de traitement des maladies infantiles. Ces méthodes consistent à prélever les différents paramètres de santé notamment le régime thermique ; un paramètre capital dans la détection d'un éventuel déséquilibre au niveau de la température corporelle généralement symptôme d'un dysfonctionnement de l'organisme ou encore de la température cutanée qui est influencée par les changements de la température ambiante [3],[4].

### **I.2.1 Température corporelle**

Chez l'être humain, la température corporelle correspond à la température interne de l'organisme. Elle est mesurée par voie buccale, rectale ou encore sous l'aisselle. À l'état normal, cette température est régulée et maintenue aux environs de 37°C grâce aux mécanismes de thermorégulation du nouveau-né. En cas d'influence de l'environnement externe, des moyens techniques sont utilisés.

## **I.2.2 Température cutanée**

C'est la température ressentie au toucher du derme du nouveau-né, elle est généralement sensible aux variations de température ambiante mais aussi elle est le reflet des déséquilibres internes de l'organisme, elle est prise en considération lors de la régulation de la température corporelle.

## **I.2.3. Différence entre la température cutanée et la température corporelle**

La température cutanée reflète seulement les déséquilibres liés à la température corporelle, la méthode de référence pour mesurer la température corporelle du nouveau-né est la prise de la température rectale ou sous l'aisselle à l'aide d'un thermomètre électronique ou à mercure, et la mesure de la température cutanée se fait à l'aide d'un thermomètre avec contacte ou sans contacte (à infrarouges).

De façon générale, la température cutanée (température de la peau) est inférieure d'environ 0,5 °C à la température corporelle en condition d'équilibre thermique, pour cela, Il faudra adapter les soins en fonction de la température cutanée et l'utilisation d'une sonde cutanée est obligatoire lors de la régulation de la température corporelle du bébé pour éviter tout risque d'irritation ou de brûlure [5].

## **I.3. Thermorégulation chez le nouveau-né**

La capacité de thermorégulation est l'ensemble des mécanismes physiologiques qui permettent de maintenir constante la température interne du corps, quelle que soit l'influence externe. C'est une composante importante pour l'équilibre thermique du corps.

Pendant les premiers jours après naissance, la capacité de thermorégulation chez le nouveau-né n'est pas entièrement développée, autrement dit, il refroidit rapidement si l'environnement est froid, et chauffe et rougit en peu de temps s'il fait chaud, il ne peut supporter que des variations limitées de la température ambiante. Etant immature au moment de la naissance, il s'améliore graduellement, mais pour que cette croissance arrive à terme, il est nécessaire que les mécanismes de thermorégulation soit totalement fonctionnels mais avant cela on utilise des moyens techniques pour assurer cette fonction. Toutefois, il s'agit d'une précaution nécessaire uniquement dans les premières semaines de vie de l'enfant; à partir d'un mois, il est parfaitement capable de réguler sa température corporelle [6].

## **I.4. Mécanismes de régulation de la température corporelle du nouveau-né**

La stabilité de la température corporelle et de l'environnement interne du corps est assurée par deux processus mutuellement opposés [7].

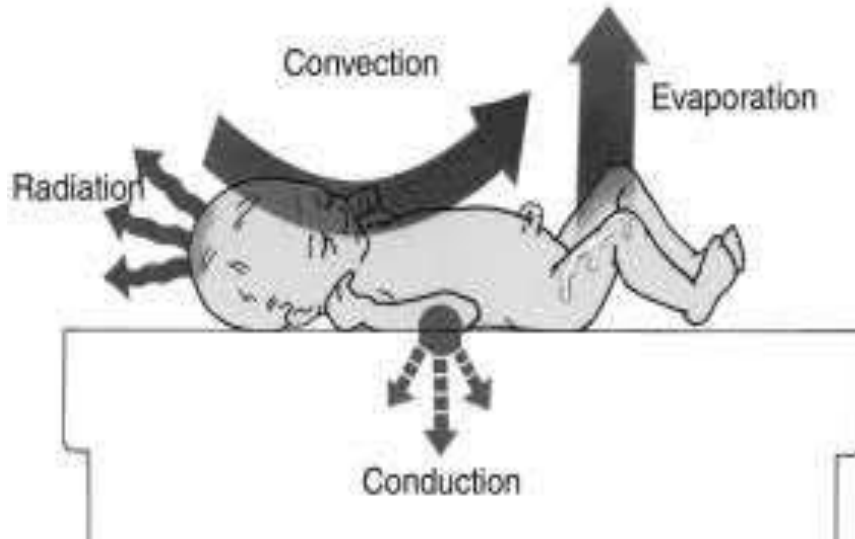
### **I.4.1. Production de chaleur**

C'est le processus de production de chaleur par le corps humain, qui dépend de l'intensité du processus métabolique ou une réponse aux variations de température externe. Si la production de chaleur est trop active, on parle d'hyperthermie et dans le cas contraire, c'est à dire une production de chaleur très réduite, on parle d'hypothermie.

### **I.4.2. Transfert de chaleur**

Le corps humain peut transmettre de la chaleur à l'environnement grâce à quatre mécanismes (voir figure I.2.) :

- a. **Radiation** : correspond à la chaleur émise sous forme de rayonnement infrarouge. Au repos, et à une température comprise entre 21°C et 25°C, jusqu'à 60% de la chaleur est perdue sous cette forme.
- b. **Convection** : correspond à l'échange de chaleur entre le corps et l'air et peut représenter jusqu'à 15% de l'évacuation de chaleur. La convection permet d'évacuer la chaleur par les déplacements d'air autour de nous.
- c. **Conduction** : correspond à l'échange de chaleur entre deux objets en contact, la chaleur allant de l'objet le plus chaud vers le plus froid, et ne représente que 3 à 4% de la perte totale de chaleur.
- d. **Evaporation** : correspond à la perte de chaleur par la perte d'eau produite par les glandes sudoripares. L'évaporation peut se faire par la respiration ou par sudation et représente 25% de la chaleur évacuée au repos et jusqu'à 80% à l'effort. En effet, lorsqu'il fait trop chaud et/ou que le corps produit trop de chaleur, les mécanismes que nous avons vus plus haut ne suffisent plus pour évacuer la chaleur. L'évaporation devient alors le moyen de refroidissement le plus efficace.



**Figure I.1** : Illustration des mécanismes de transfert de chaleur chez le bébé.

### **I.5. Déséquilibre de la thermorégulation chez le nouveau-né**

Dans les heures qui suivent la naissance, la température corporelle chez les nouveau-nés en bonne santé est réduite de 1.5-2°C. Le degré de diminution de la température corporelle est influencé par le poids de l'enfant, la taille de son corps et la santé du nouveau-né. Chez les enfants en bonne santé, la température postnatale du corps augmente et après 12-24 heures atteint 36-37 °C.

Mais très souvent, des troubles de la thermorégulation (qui consistent en général en une production de chaleur réduite et un transfert de chaleur accru) surviennent, par conséquent, la température corporelle peut être très élevée ou très basse signe de dysfonctionnement métabolique. Les effets à long terme du froid ou de la chaleur peuvent ne pas être compensés par les mécanismes de thermorégulation ce qui peut entraîner une augmentation significative (hyperthermie) de la température corporelle ou sa diminution (hypothermie) [8].

#### **I.5.1. Hypothermie**

L'hypothermie apparaît lorsque la température du nouveau-né est inférieure à la normale 36,5°C : entre 36°C et 36,4°C, il s'agit d'une hypothermie légère (réaction au froid) ; entre 32°C et 36 °C, on parle d'hypothermie modérée et en dessous de 32 °C d'hypothermie sévère. Il faut réchauffer aussi vite que possible un nouveau-né en hypothermie soit par

contact peau à peau, soit par d'autres méthodes en fonction de la disponibilité du personnel et du matériel ainsi que de la gravité de l'hypothermie [9].

### I.5.2.Hyperthermie

On l'évite en habillant le nourrisson en fonction de la température ambiante et en ne le mettant pas tout près d'une source de chaleur ou exposé au soleil. Il faut en particulier éviter d'exposer les couveuses à la lumière directe du soleil et surveiller fréquemment la température à l'intérieur ainsi que celle de l'enfant.

Les principaux signes de surchauffe sont l'anxiété, le rejet de la poitrine, les cris perçants, les rougeurs de la peau. En cas de surchauffe, la température du corps de l'enfant peut atteindre 38-39 °C.

Plus communément appelé fièvre, elle est aussi dangereuse pour le nouveau-né que l'hypothermie, c'est une augmentation anormale de la température corporelle, elle peut être due aux échanges thermique avec l'environnement ou à un dysfonctionnement dans l'organisme. Elle peut être traduite par une température cutanée instable ou encore par des rougeurs au niveau du derme. La température corporelle peut atteindre les 40°C et peut causer des convulsions et des dommages non réversibles sur le corps [9].

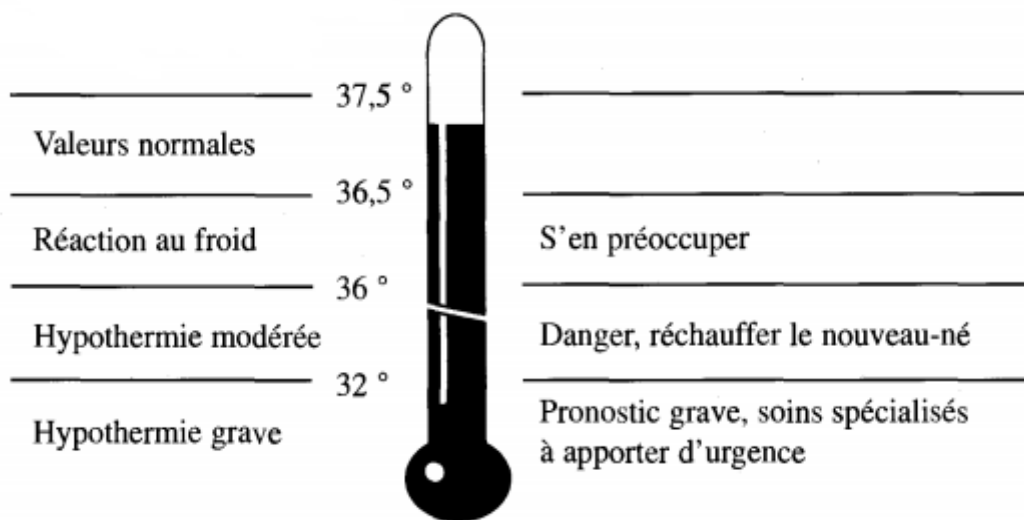


Figure I.2 : Illustration indicative de la température corporelle du nouveau-né

### **I.5.3. Aléas de l'hypothermie chez le nouveau-né**

Les changements de la température corporelle chez les enfants peuvent être causés par divers facteurs, les symptômes de ce déséquilibre sont habituellement constatés en comparant température mesurée avec la norme.

Les cas d'hypothermie infantile de degré modéré et sévère ne passent pas sans laisser de traces, l'état du système immunitaire de l'enfant s'affaiblit et le fonctionnement des organes et des systèmes individuels deviennent perturbés.

#### **I.5.3.1. Conséquences de l'hypothermie**

- Maladies des infections respiratoires aiguës : la grippe, le rhume ... etc. (symptômes : le nez qui coule, la toux, la fièvre);
- Pathologie du système respiratoire, bronchite, laryngite, angine de poitrine ;
- Inflammation des reins et du système urinaire, dysfonctionnement des organes individuels, la cystite;
- Gelure des doigts ou des orteils, de la peau, des tissus mous;
- Exacerbation des maladies chroniques, violation des fonctions du cœur et du cerveau.

#### **I.5.3.2. Conséquences de l'hyperthermie**

- Hypotension et déshydratation (transpiration accrue)
- Convulsions et apnée (en raison de la température corporelle élevée)
- Hypernatrémie [10].

### **I.6. Protection thermique du nouveau-né**

Les conditions d'accueil du nouveau-né doivent être optimales, pour ne pas nuire aux efforts physiologiques d'adaptation à la vie extra-utérine. Pour assurer une protection thermique immédiatement après la naissance et dans les premiers jours de la vie d'un enfant, une série de mesures procédurales sont prises, elles fournissent un régime dans lequel le nouveau-né n'est pas en hypothermie ou en hyperthermie, mais maintiennent une température corporelle normale.

L'hypothermie est corrigée en réchauffant le nouveau-né dans une couveuse ou sur une table chauffante (à des conditions de température et humidité contrôlées), jusqu'à ce que leur corps atteigne la maturité suffisante et soit prêt à faire face à l'environnement extérieur. La tâche principale de ses deux appareils est d'empêcher toute nouvelle progression du problème avec une violation de la thermorégulation du corps [8], [9], [10], [11].

### **I.6.1. Premiers soins après la naissance**

C'est une série d'actions interdépendantes qui se produisent pendant la naissance et dans les premières heures et les premiers jours de la vie afin de minimiser la perte de chaleur chez tous les nouveau-nés (poids normal et petit) [3]:

- Salle de maternité chaleureuse.
- Déshumidification immédiate du nouveau-né.
- Transfert de l'enfant à la mère, le contact "peau à peau".
- Allaitement maternel précoce.
- Reporter le pesage et la baignade.
- Emmaillotage approprié de l'enfant.
- Séjour conjoint de la mère et de l'enfant.
- Transport dans des conditions chaudes.
- Réanimation par temps chaud.
- Elever le niveau de formation et de connaissances des professionnels de la santé et des parents.

### **I.6.2. Protection par moyens techniques**

Les appareils de chauffage conviennent pour les soins à apporter à des nouveau-nés très petits ou malades dans des climats froids. L'utilisation de ces appareils a plusieurs avantages: ils apportent localement la chaleur supplémentaire et évitent de devoir chauffer l'ensemble de la pièce ; la régulation de la température est plus facile et on peut observer les nouveau-nés entièrement nus si c'est nécessaire.

Les différents appareils ont chacun une fonction spécifique : il y a ceux qui conviennent aux soins à donner aux nouveau-nés au cours des premiers jours ou semaines de la vie et ceux qui conviennent particulièrement à la réanimation et aux interventions impliquant de nombreuses personnes ainsi que dans les cas de l'hypothermie [9], [12], [13].

## **I.7. Principaux dispositifs médicaux dédiés à la néonatalogie**

Le nouveau-né doit avoir un examen clinique avant qu'il ne soit transféré dans le service des suites de couches avec sa mère. Les unités des soins intensifs néonatale contient des cadres de soins, des infirmiers, des aides-soignants pour offrir la meilleure prise en charge, l'équipe ne cesse de développer des techniques de soins permettant de mieux prévenir et traiter la douleur et l'inconfort des nouveau-nés hospitalisés. L'importance de maintenir la température corporelle du nourrisson, est devenue de plus en plus reconnu et les méthodes pour ce faire sont actuellement utilisées dans de nombreux centres de néonatalogie

Pendant la chirurgie ou dans le cas d'un nouveau-né qui a besoin de réanimation ou de surveillance ou simplement atteint d'une hypothermie, le traitement est souvent effectuer est par réchauffement dans une couveuse (incubateur) ou une table chauffante. Cette méthode consiste à placer l'enfant sous une source de chaleur pour éviter la perte de chaleur pendant la guérison ; ces chauffages peuvent être contrôlés au moyen de mécanismes de mesure de la température pour la maintenir aux environ de 36,5 °C [13], [14].

On distingue deux équipements principaux :

### **I.7.1. La couveuse**

L'apparition des premières couveuses à la fin du XIXe siècle a permis de diminuer de moitié la mortalité des nouveau-nés de moins de 2000g. La fonction principale de la couveuse est de maintenir le bébé au chaud, reproduisant les conditions de l'utérus maternel. La couveuse isole aussi de tous microbes et infections, même si elle n'est pas complètement stérile. Cela est important le temps que le bébé développe un système immunitaire assez fort pour pouvoir combattre lui-même les agressions extérieures, une prise en charge spécifique est apporté eau bébé prématuré, dans un environnement médical [15].



**Figure I .3:** Couveuse (incubateur) bébé DRAEGER 8000SC.

## **I.7.2. La table chauffante néonatale**

### **I.7.2.1. Présentation**

La table chauffante néonatale joue un rôle primordial dans le maintien de la stabilité thermique du nouveau-né. Elle fournit un environnement approprié pendant la période de l'adaptation à la vie extra utérine qui nécessite une surveillance attentive en vue de prévenir, dépister et prendre en charge précocement toute anomalie susceptible d'avoir un retentissement sur un nouveau-né prématuré ou malade, pour la perfusion, le sauvetage, l'observation d'hospitalisation ... etc.

Elles sont équipées d'un dispositif permettant de régler automatiquement et/ou manuellement la température corporelle, et d'un dispositif de surveillance et de mesure de la température axillaire (cutanée) du nouveau-né afin de s'assurer qu'il ne se refroidit pas ou qu'il n'a pas trop chaud et de régler la température du chauffage en conséquence, autrement dit elle est équipée d'une source de chaleur et d'un thermomètre, elle crée un environnement de confort pour le petit patient. [15].

**Remarque :** Il est important que la table chauffante soit bien axée sur le corps de l'enfant. Les pertes de chaleur se font essentiellement par convection, notamment s'il existe de forts courants d'air dans la pièce, c'est pour cela que sa capacité de réchauffement est supérieure et plus rapide qu'en incubateur.



**Figure I.4.** : Table chauffante néonatale Réanimation BLR-2100.

### **I.7.2.2 Historique de la table chauffante**

Les dispositifs médicaux néonataux (couveuse) furent modifiés au fur et à mesure de leur généralisation et de leur emploi : ainsi disparurent les défauts de la couveuse primitive, à coups de chauffage, défaut d'asepsie lié à la circulation d'air ambiant dans l'enceinte fermée.

Un progrès décisif au début du XX e siècle en introduisant le chauffage électrique avec régulateur à mercure, coupant le circuit lorsque la température dépassait un certain degré et le rouvrant au-dessous d'un certain seuil, assurant ainsi la constance thermique. Ces développements sont intimement liés à la meilleure connaissance de la physiologie fœtale et des mécanismes de l'adaptation à la naissance dont le début se situe dans les années 1960.

en 1961, une étude a montré que le nouveau-né normal se comporte en homéotherme et qu'il existe une zone de neutralité thermique pour laquelle la consommation d'oxygène est minimum, d'où découle la nécessité de maintenir le nouveau-né à une température correcte et de là l'utilisation des tables de réanimation chauffantes [16].

### **I.7.2.3 Etat de l'art de la table chauffante**

Elle diffère d'un constructeur à un autre, selon le modèle du chauffage et du thermomètre utilisé. Sur le marché, il y a plusieurs équipement avec de différentes caractéristiques et qui ont toutes le même but ; réchauffement rapide et efficace afin de

prévenir et de traiter l'hypothermie et les complications qui en découlent mais qui diffèrent selon leurs options: le dépistage, la réanimation, la désinfection oculaire ... etc.

Nous avons fait une petite recherche documentaire pour prendre connaissance de quelques modèles existants et de la technologie exploitée:

### **1. Dispositif pour chauffer un nouveau-né UON-04 "AKSION"**

L'appareil de chauffage du nouveau-né UON-04 "Axion" est destiné au chauffage et / ou à la réalisation d'une séance de photothérapie pour un nouveau-né (traitement de l'hyperbilirubinémie) .elle est utilisée dans les services de soins intensifs des maternités et des hôpitaux pour enfants. L'utilisation du dispositif crée une commodité pour le personnel médical dans l'exécution des procédures de routine avec les nouveau-nés [17].



**Figure I.5 :** Table chauffante UON-04 "AKSION"

#### **Caractéristiques :**

- Une source principale de chauffage est le radiateur infrarouge en céramique;
- Une source de chauffage supplémentaire, est un coussin chauffant flexible situé en dessous
- Une source de lumière pour le traitement de l'hyper bilirubinémie c'est une diode électroluminescente émettant une lumière bleue avec une longueur d'onde de  $465\pm 15\text{nm}$ .
- 4 x roues, dont deux ont des mécanismes de freinage pour faciliter le déplacement et l'installation de l'appareil;

- Deux étagères;
- Un capteur cutané pour surveiller la température de chauffage;
- Présence d'un mode manuel et d'un mode "la minuterie";
- Une alarme sonore et visuel pour assurer la sécurité maximale du nouveau-né dans le cas de :
  - Déconnection de la tension secteur.
  - Un dysfonctionnement du capteur de la température cutanée.
  - Température excessive sur la peau du nouveau-né (plus de 38.5).
- Le système d'alarme sonore en mode photothérapie, à la fin de la séance photothérapie.

## **2. Table chauffante Shvabe SNO – Suisse**

Elle est destinée à créer des conditions pour la récupération des fonctions importantes pour l'organisme des nouveau-nés et leur allaitement dans les maternités, les services de thérapie néonatale intensive et le service de réanimation; il fournit un chauffage automatique réglable du nourrisson par rayonnement infrarouge et oxygénothérapie d'urgence.

### **Caractéristiques [18]:**

- Plage de réglage de la température par capteur cutané: 35 à 37,9°C ;
- Plage de température d'affichage: 30 à 39,9°C ;
- Gamme d'ajustement de l'oxygène sous couverture néonatale: 40 - 95% ;
- Angle d'inclinaison maximal du matelas: 12 degrés ;
- Angle de rotation du module de chauffage : 65 +5 degrés ;
- Densité maximale de rayonnement infrarouge:
  - dans toute la gamme: 60 kW / cm
  - proche distance (760-1400nm):10kW/cm
  - Temps de fonctionnement continu: 72 heures.



**Figure I.6 :** Table chauffante Shvabe SNO.

### 3. La table de réanimation néonatale ouverte (CHO)

La table néonatale CHO est conçue pour la réanimation des nouveau-nés dans les maternités et les unités de soins intensifs des hôpitaux pour enfant, c'est une table avec un chauffage infrarouge qui chauffe automatiquement l'enfant par rayonnement infrarouge [18].

#### **Caractéristiques :**

- Chauffage bébé automatique et réglable manuellement ;
- Aspiration des voies respiratoires supérieures ;
- Indication du moment de la réanimation ;
- Effectuer une ventilation artificielle ;
- Oxygénothérapie ;
- Illumination optimale de la zone de travail ;

#### **Les alarmes :**

L'alarme est déclenchée lorsque:

- l'alimentation externe est terminée ;
- Court-circuit dans le circuit du capteur de température cutanée ;
- Écart de température de la peau par rapport à la valeur de consigne ;
- Une élévation anormale de la température cutanée à une valeur critique ;



**Figure I.7 :** La table de réanimation néonatale ouverte (CHO).

#### 4. Table chauffante SOC-HKN-93A

Equipée d'une unité de photothérapie intégrée avec minuterie, porte sérum, rails latérales pour fixation accessoires, Matelas, 2 sondes de température (1 pour Ambient, 1 pour le bébé) et une sortie RS-232.

##### **Caractéristiques [19] :**

- La Température est contrôlée par micro-ordinateur ;
- La puissance de chauffage est ajustable manuellement et/ou automatiquement ;
- Double affichage de la température (Température ambiante et température corporelle enregistrées sous différentes fenêtres) ;
- Consigne et valeur réelle, précision  $< 0.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ;
- Indicateur erreur de température ou de puissance ;
- Alarme de déviation de température ;
- Élément chauffant en quartz micro cristal ;
- Réglage de la position de l'élément chauffant ;
- Système complet d'alarmes sonore et visuelle ;
- Couche du bébé ajustable en inclinaison avec parois en plexi ;
- Support prévu pour prendre une radio (Plateau X-Ray sous le berceau) ;
- Monté sur 4 grandes roulettes (2 avec freins).



**Figure I.7 :** Table chauffante SOC-HKN-93A [19].

## I.8 Discussion

Dans ce chapitre nous avons présenté les notions de base de la thermorégulation et des déséquilibres thermique chez les nouveau-né ainsi que les moyens dédié a la protection thermique afin de mieux comprendre à quelles exigences doit répondre notre réalisation; puis dans un état de l'art non exhaustif, nous avons cité quelques tables chauffante existantes sur le marché afin d'exposer les différentes fonction de cette dernière ainsi que les différentes technologies de conception utilisée.

Pour résumer, le rôle de la table chauffante est de remédier à l'hypothermie et maintenir l'environnement néonatal thermo-neutre lors des soins hospitaliers des nouveau nés dans un intervalle de température allons de  $36.5^{\circ}\text{C}$  à  $37.5^{\circ}\text{C}$  : appelée zone de sécurité. Elle assure le confort et la sécurité maximale du nouveau-né grâce aux éléments de ce dispositif de protection thermique : un chauffage automatique réglable manuel ou/et automatique, une sonde cutanée et un système d'alarme sonore et visuel, piloté par une unité de commande.

*Chapitre II*  
*Le Phénomène*  
*Infrarouge*

## II.1 Préambule

La technologie infrarouge est largement utilisée dans la recherche scientifique. En ingénierie, entre autres, militaire (radiogoniométrie, vision nocturne), domotique ainsi que dans les domaines médicaux comme constaté lors de l'étude de l'état de l'art des tables chauffantes dans le chapitre précédent.

Dans ce chapitre, Nous présenterons de manière générale les notions de base sur les rayonnements infrarouges. Puis, le principe du phénomène infrarouge, les types infrarouge ainsi que leur influence sur le corps humain. Enfin nous présenterons les principes fondamentaux sur lesquels reposent les détecteurs infrarouges.

## II.2. Définition du rayonnement infrarouge

L'infrarouge est une partie du spectre électromagnétique, il obéit aux lois de l'optique (propagation, réflexion, interférences, diffusion), et a donc la même nature que la lumière visible. Il se produit dans une région spectrale plutôt étroite entre la lumière visible (longueur d'onde  $\lambda = 0,74 \mu\text{m}$ ) et le rayonnement micro-onde ( $\lambda \sim 1\text{-}2 \text{ mm}$ ), il est également connue sous le nom de rayonnement thermique, du fait que le corps humain le perçoit comme une sensation de chaleur. L'une des sources de rayonnement thermique est le Soleil

Tout corps solide ou liquide chauffé libère un rayonnement infrarouge, la longueur d'onde émise dépend de la température du corps, plus la température est élevée, plus l'onde émise est courte et plus l'intensité du rayonnement est élevée [20], [21], [22].

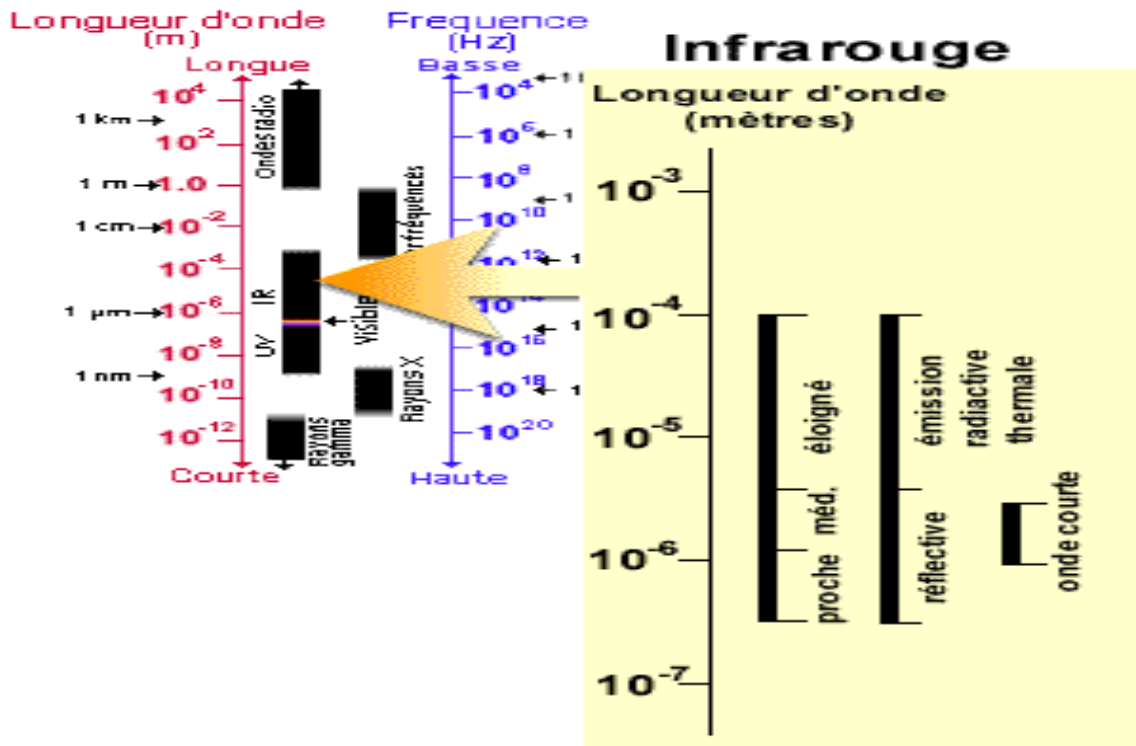


Figure II.1 : Domain d'IR dans le spectre électromagnétique

### II.3. Historique sur la découverte de l'infrarouge

En 1666, *Isaac Newton* consigne une expérience capitale dans laquelle il est parvenu à décomposer la lumière du Soleil à l'aide d'un prisme de verre; il baptise alors « spectre » le résultat obtenu [22].

Ensuite, en 1800 *William Hershel* découvrit les radiations infrarouges en faisant passer les rayons du soleil à travers un prisme, tout en plaçant un thermomètre au mercure très sensible dans les différentes couleurs. Il mesura ainsi la température de chaque couleur. Il constate que les bleus et verts réchauffent moins que les rouges. Il s'aperçoit qu'à côté du rouge, dans les teintes non visibles pour l'œil humain, la température est encore plus élevée [23], [24].

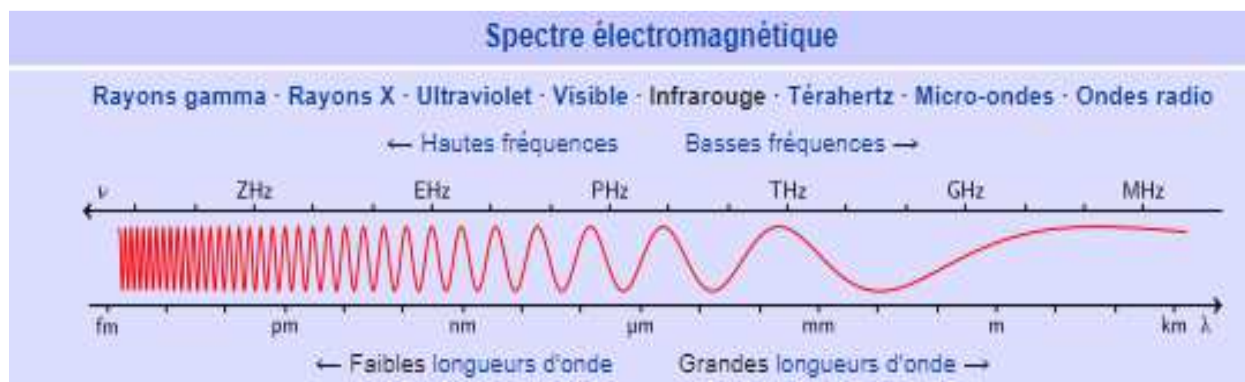
Vingt ans plus tard, le physicien allemand *Thomas Seebeck* découvrit l'effet thermoélectrique. Cette découverte donna lieu à l'invention du thermo multiplicateur, une ébauche du thermocouple par le physicien italien *Leopoldo Nobili* en 1829.

En 1800, l'astronome américain *Samuel Langley* eut recours à un bolomètre, lequel lui a permis de détecter la chaleur corporelle d'une vache se tenant à distance [24].

A l'aide d'un dispositif du nom d'**évaporographe**, le fils de *Sir William Herschel*, *Sir John Herschel*, produisit la première image infrarouge en 1840 [23], [24].

## II.4. Le spectre électromagnétique

Il existe plusieurs types de rayonnements électromagnétiques, commençant par les ondes radio et se terminant par les rayons  $\gamma$  (Gamma). Les faisceaux électromagnétiques de tous types se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière et ne diffèrent les uns des autres que par les longueurs d'onde.



**Figure II.2 :** Les ondes du spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique désigne toute la gamme des longueurs d'onde de toutes les radiations électromagnétiques connues. Il comprend [25] :

- **Rayons  $\gamma$  (Gamma) :** ont les plus courtes longueurs d'onde et les plus hautes fréquences connues. Ces ondes de haute énergie peuvent parcourir de longues distances dans les airs et sont les plus pénétrantes de toutes.
- **Rayons X :** ont des longueurs d'onde plus grandes que les rayons  $\gamma$  mais plus courtes que les rayons UV et ont donc une plus grande énergie que ces derniers. Les rayons X sont utilisés dans diverses applications scientifiques et industrielles mais sont principalement utilisés en médecine, par exemple en radiographie. Ils sont une forme de rayonnement ionisant et tant que tel peuvent être dangereux.
- **Rayonnement UV (Ultra-Violet)** L'ultraviolet est le domaine des radiations électromagnétiques s'étendant depuis la limite violette du spectre visible (400 nm) jusqu'à la région des rayons X.

- **Lumière visible** : également dénommée spectre visible, elle est la partie du spectre électromagnétique perceptible par l'œil humain. Elle couvre la totalité des couleurs, du bleu à 400 nm au rouge à 700 nm, la lumière bleue ayant plus d'énergie que le rouge.
- **Rayonnement infrarouge (IR)** : également appelé rayonnement thermique, il est la partie du spectre électromagnétique qui se situe entre la lumière visible et les micro-ondes. La plus importante source naturelle de radiation infrarouge est le soleil.
- **Ondes radio** : possèdent de grandes longueurs d'onde allant de quelques centimètres à plusieurs milliers de kilomètres. Elles sont notamment utilisées pour la télévision, les téléphones portables et les communications radio.

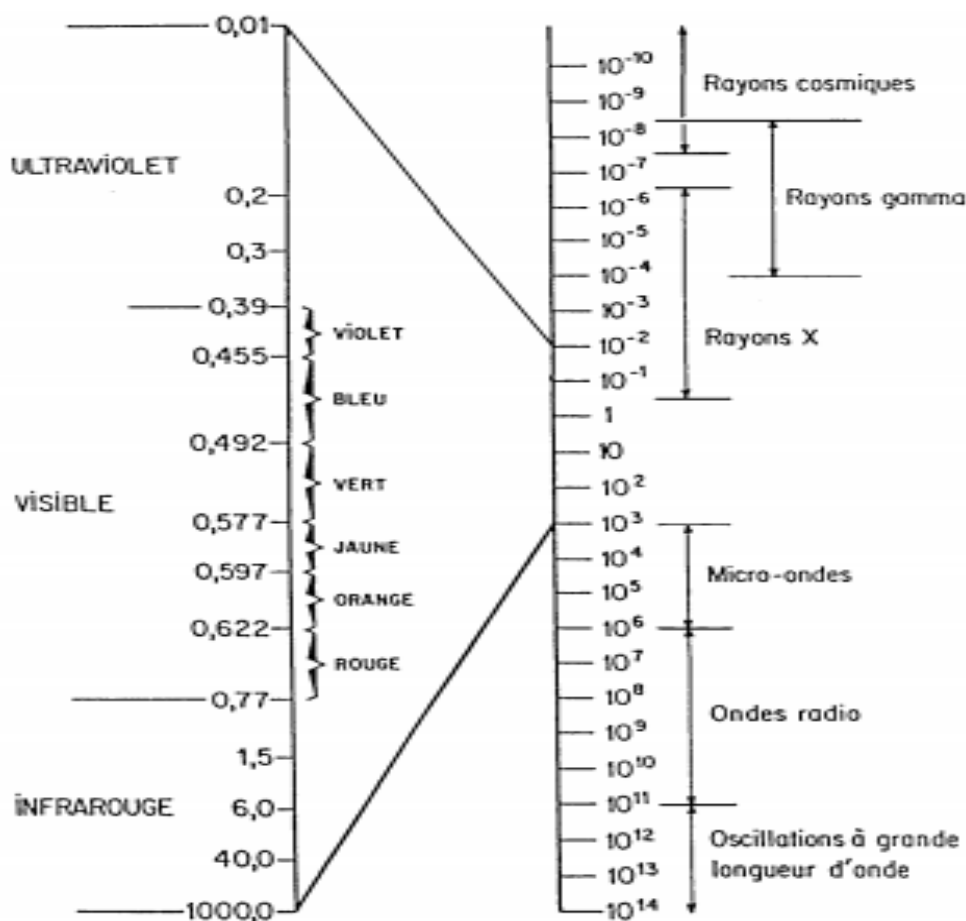


Figure II.3 : vue d'ensemble des ondes électromagnétique (longueur d'onde en µm).

Pour désigner l'appartenance des longueurs d'ondes à un domaine bien spécifique d'application (médical, télécommunication, ...), il est d'usage de recourir à une classification de ces dernières. Ceci est représenté sur la figure II.4 où sont référencés les différents spectres de rayonnements électromagnétiques [26].

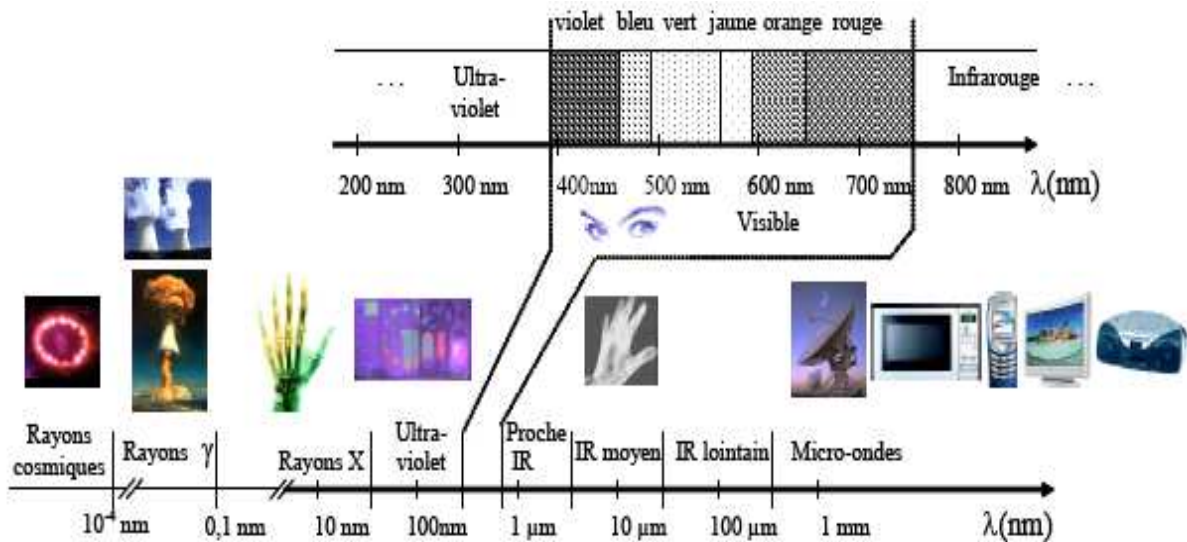


Figure II.4 : Domain d’application du spectre électromagnétique selon la longueur d’onde.

## II.5. Classification du rayonnement infrarouge dans le spectre électromagnétique

La longueur d'onde du rayonnement infrarouge est plus longue que la longueur d'onde du rayonnement visible, le rayonnement supérieur à 780 nm est supposé être infrarouge. La gamme de longueur d'onde de la lumière visible est censée être d'environ 380 nm à 780 nm. La longueur d'onde visible pour les êtres humains varie d'une personne à l'autre, et les définitions de la gamme de longueur d'onde de la lumière visible diffèrent légèrement selon la littérature. Les rayons infrarouges sont également divisés en trois zones en fonction de la longueur d'onde, de sorte que les rayons ultraviolets sont divisés en UV-A, B et C, les valeurs numériques varient, car les valeurs détaillées sont différentes pour les sociétés académiques et les diverses organisations [27].

**Tableau II.1** : Classes de longueur d'onde du spectre électromagnétique

Domain	Longueur d'onde	Fréquence
Rayon gamma	10Pm	30Ehz
Rayon X	10 Pm-10 nm	20Phz.750Thz
Ultraviolet	UVa (320 nm - 400 nm) UVb (280 nm - 320nm)  UVc (200 nm - 280 nm)	30phz-750Thz
Visible	Rouge (620 nm – 700 nm) Orange (592 nm - 620 nm) Jaune (578 nm - 592 nm) Vert (500 nm - 578 nm) Bleu (446 nm - 500 nm)  Violet (400 nm – 446 nm)	770Thz-400Thz
Infrarouge	750nm-0.1mm	400Thz-3Thz
Submillimétrique	0.1mm-1mm	3Thz-300Ghz
Micro-ondes	1mm-1m	300Ghz-30Khz
Ondes radio	10m - 1Km	3 Mhz-300Khz
Basse fréquences	10 Km – 1000Km	

## II.6. Différentes formes de rayonnement infrarouge (IR)

L'infrarouge s'étend approximativement de 0,7 à 1000  $\mu\text{m}$ , ce qui est un intervalle environ 100 fois plus large que le spectre visible. L'infrarouge se divise en deux catégories principales selon leurs énergies : IR réfléchi et IR émis (thermique). L'infrarouge réfléchi s'étend approximativement de 0,7 à 3  $\mu\text{m}$ . L'infrarouge thermique est très différent du spectre visible et de l'infrarouge réfléchi. Cette énergie est essentiellement le rayonnement qui est émis sous forme de chaleur par la surface de la Terre et s'étend approximativement de 3 à 100  $\mu\text{m}$ .

Mais il est aussi divisé en 3 catégories selon leurs longueurs d'onde le proche infrarouge (0,7 à 2  $\mu\text{m}$ ), le moyen infrarouge (2 à 25  $\mu\text{m}$ ) et le lointain infrarouge (25 à 1000  $\mu\text{m}$ ) (voir Figure. II.4) Toutefois, cette classification n'est pas précise, chaque domaine d'utilisation ayant sa propre idée de la frontière entre les différents types [28]:

### **II.6.1. Infrarouge court IR-A (ou proche)**

Le court infrarouge ( $0.8\mu\text{m}$  à  $2\mu\text{m}$ ) est la partie du spectre électromagnétique qui vient juste après le visible (couleur rouge). Comme pour le visible, ce que le radiomètre mesure dans le proche infrarouge, c'est une luminance correspondant au rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre.

Ce domaine du spectre électromagnétique est très utilisé en télédétection pour différencier les surfaces naturelles qui se caractérisent par de très importantes variations de la réflectance à cette longueur d'onde. Il permet également l'étude des surfaces continentales, et notamment de distinguer les surfaces végétalisées des surfaces minérales car les surfaces couvertes par la végétation se distinguent par une forte réflectance dans les longueurs d'onde du proche infrarouge, alors qu'elles réfléchissent peu le rayonnement dans le visible.

### **II.6.2. Infrarouge moyen IR-B**

L'infrarouge moyen ( $2\mu\text{m}$  à  $4\mu\text{m}$ ) permet de façon générale d'étudier les teneurs en eau des surfaces. Il est très utilisé en foresterie et en agriculture, notamment pour cartographier les couverts végétaux en état de stress hydrique. L'atmosphère est en grande partie opaque aux rayonnements de l'infrarouge moyen qui sont absorbés par la vapeur d'eau. Seules quelques fenêtres atmosphériques permettent la transmission du rayonnement. Elles sont centrées sur les longueurs d'onde  $2.5\mu\text{m}$ ,  $3.5\mu\text{m}$  et  $5\mu\text{m}$ .

### **II.6.3. Infrarouge lointain IR -C**

L'infrarouge lointain ( $4\mu\text{m}$  à  $1000\mu\text{m}$ ) est un rayon physique caractérisé par une action de chaleur intense et une faible énergie. Il est donc largement utilisé dans le milieu médical.

L'infrarouge lointain est la partie de l'infrarouge à l'énergie la plus minime. Mais en raison de sa longueur d'ondes plus longue, il peut pénétrer plus profondément dans la peau et les tissus hypodermique, ces rayons sont appelés « rayons vitaux ou biotiques » car ce sont les plus bénéfiques pour les humains et les autres organismes vivant sur Terre.

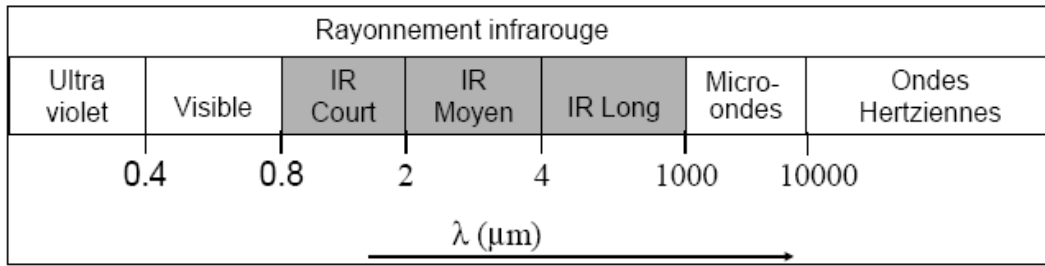


Figure II. 5: Spectre d'émission du rayonnement infrarouge.

## II.7. Effets sur le corps humain des différentes formes d'infrarouge

Il est important de montrer les différentes profondeurs de pénétration des trois types d'IR dans la peau par rapport à leur taux d'absorption, car cela contribue à souligner leurs différentes utilisations, applications et précautions. Comme illustré par la figure II.6 [29].

### II.7.1. Les effets de l'infrarouge proche

Le proche infrarouge ou « IR-A » est le *plus transmissif* mais *moins absorbé* par la peau (en fait la peau a développé certains moyens de défense qui reflètent naturellement jusqu'à 35% l'infrarouge proche). L'infrarouge proche peut traverser (transmet) jusque dans la couche sous-cutanée grasse (hypoderme), pénétrant à travers le derme. Parce que le proche infrarouge possède une énergie haute, le rapport *transmission élevée / taux faible d'absorption* est la raison pour laquelle il peut endommager la peau et pourquoi il est également utilisé sous contrôle strict pour certaines applications médicales.

### II.7.2. Effets de l'infrarouge moyen (IR-B)

L'infrarouge à ondes moyennes transmet un peu plus profondément dans l'épiderme inférieur et aux couches de derme supérieures, mais, comme l'infrarouge lointain, il ne transmet pas dans les organes fonctionnels plus profondes (glandes sudoripares, les nerfs,... etc.). Il est également bien absorbé par la peau.

### II.7.3. Effets de l'infrarouge lointain (IR-C)

L'infrarouge lointain est le moins transmissive dans la peau, mais est en fait le mieux absorbé par le sang et les cellules (la transmission et l'absorption sont des pôles opposés). Ceci est tout à fait suffisant pour le chauffage « Confort », et évite tous les

problèmes de santé et de sécurité possibles contrairement aux autres types de l'infrarouge [29].

L'infrarouge lointain bénéfique peut pénétrer jusqu'à 4 cm dans le corps humain et chauffer de l'intérieur pour provoquer la dilatation des capillaires sanguins en gardant le flot circulatoire calme, renforçant ainsi le métabolisme, augmentant la résistance du corps (immunité) et permettant la guérison. Les substances inutiles et accumulations nuisibles dans le corps seront éliminées via la transpiration et l'eau lors de l'activité métabolique générée par l'activation des cellules et la circulation sanguine.

Les bienfaits des infrarouges lointains :

- Les infrarouges lointains pénètrent profondément la peau et réchauffent directement l'organisme.
- Ils favorisent la circulation périphérique en particulier le retour veineux. Cet effet permet d'améliorer l'élimination des toxines.
- Le réchauffement assouplit les muscles et les articulations, réduisant également les sensations douloureuses.
- Les infrarouges lointains stimulent le métabolisme, c'est-à-dire l'ensemble des réactions biochimiques de notre organisme, améliorant ainsi le fonctionnement du corps et en particulier nos défenses immunitaires.
- Les infrarouges lointains ne réchauffent pas l'air; il n'y a donc pas de courant de convection qui est, dans les autres systèmes de chauffage, le responsable du déplacement des poussières.
- L'IRL est recommandé pour les personnes ayant une fragilité respiratoire ou allergique.
- L'air n'est pas desséché et reste frais, aidant à améliorer la qualité du sommeil. Ce rayonnement crée une sensation de confort sous forme d'une chaleur douce qui participe aussi à la qualité du sommeil.

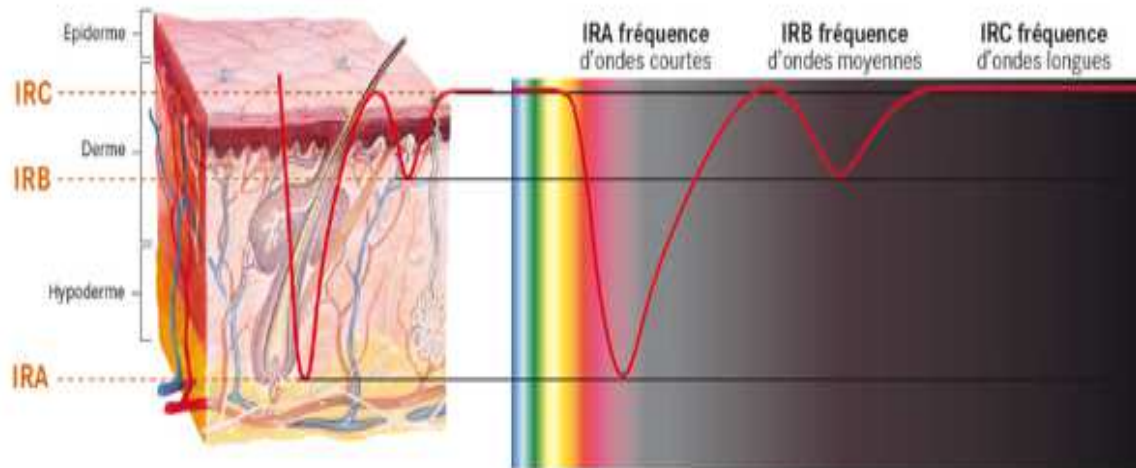


Figure II.6 : Les effets des différents infrarouges sur la peau.

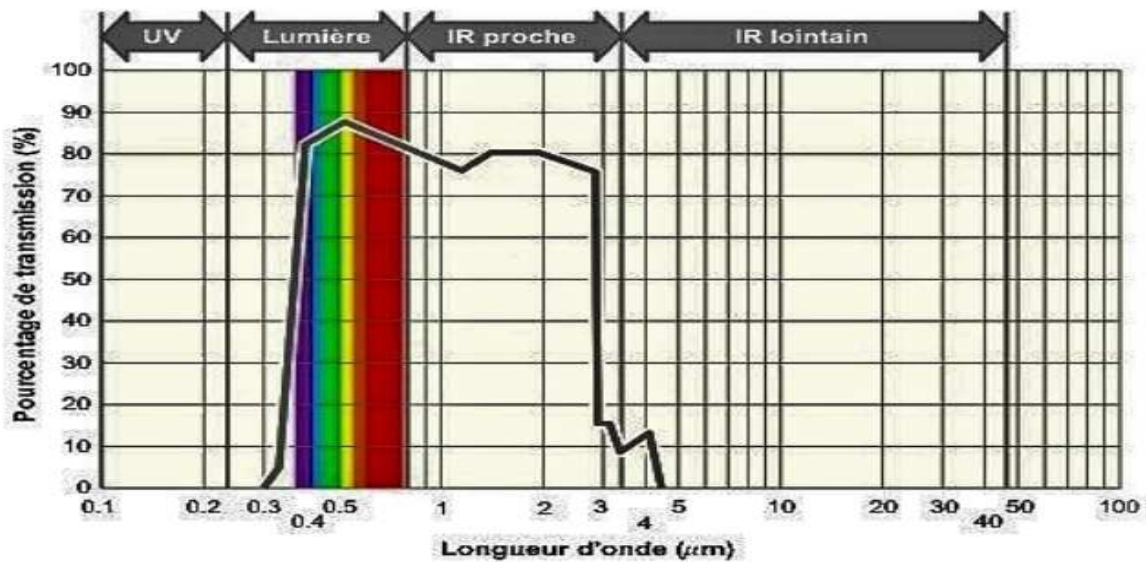


Figure II.7 : pourcentage de transmission du spectre électromagnétique.

### III.8. Caractéristiques et Avantages du chauffage infrarouge

L'intérêt du chauffage par rayonnement infrarouge vient essentiellement de son efficacité énergétique élevée qui tient à plusieurs facteurs [29], [30]:

- Il permet un transfert d'énergie d'un corps à un autre sans besoin, à la différence du chauffage par convection, de support intermédiaire et sans absorption sensible de l'énergie émise par le milieu les séparant ;

- L'énergie rayonnée peut être concentrée, focalisée, guidée et réfléchi de façon analogue à la lumière, ce qui donne une flexibilité et une adaptabilité remarquables ;
- L'inertie thermique est généralement faible, ce qui supprime les longues périodes de mise en chauffe ou de maintien ;
- La densité de puissance peut être très importante puisque la différence de température entre la source et le corps à chauffer est souvent élevée, ce qui conduit à des installations compactes et des vitesses de traitement élevées ;
- Le rayonnement pénètre sur une certaine profondeur dans l'objet, ce qui améliore l'homogénéité de chauffage et accélère le transfert d'énergie.

## II.9. Principe du phénomène physique de l'infrarouge

Le rayonnement infrarouge est un phénomène répandu dans la nature. Lorsqu'elles sont chauffées, les particules corporelles acquièrent une grande énergie thermique, qui est émise sous la forme d'ondes électromagnétiques. Tous les corps d'une température supérieure au zéro absolu émettent en fonction de la température, un rayonnement infrarouge dont le spectre s'étend de 0.7 à 1 000  $\mu\text{m}$  de longueur d'onde. Un objet reflète, transmet et émet de l'énergie. L'intensité de l'énergie infrarouge émise par un objet augmente ou diminue proportionnellement à sa température. Cette émission est due à l'agitation des atomes qui rayonnent de l'énergie. Plus la température augmente, plus l'agitation augmente et le rayonnement émis devient visible lorsque sa longueur d'onde correspond à celle de la couleur Rouge ( $1\mu\text{m}$ ) [30].

L'infrarouge, est un rayon physique caractérisé par une action de chaleur intense et une faible énergie. Il est donc largement utilisé dans le milieu médical, notamment dans la néonatalogie comme les dispositifs de réchauffement conçu pour les nouveau-nés, les nourrissons prématurés ou malades. Il peut par exemple être équipé d'un dispositif de rayonnement infrarouge pour fournir une chaleur continue au bébé, et dispose d'un détecteur de température infrarouge pour surveiller la température de surface du corps et la température du lit pendant le processus d'allaitement comme cité dans l'état de l'art du chapitre I [31],[32].

## II.10. Chauffage infrarouge lointain

Les rayons infrarouges sont des rayons électromagnétiques invisibles à l'œil nu, avec des longueurs d'ondes comprises entre 780 nm et 1 mm, l'infrarouge lointain de longueur d'onde de 4  $\mu\text{m}$  et 14  $\mu\text{m}$  utilisé dans les systèmes de chauffage agit comme une source de chaleur et transmet de la chaleur en émettant des ondes électromagnétiques directement sur les objets. Sans avoir besoin de passer par un intermédiaire comme pour le principe de conduction et de convection. Il irradie de la chaleur d'une façon directe et instantanée [26].

L'infrarouge lointain irradie à une vitesse aussi élevée que celle de la lumière et se déplace en ligne droite au même titre que la lumière. Il peut aussi être dévié par un objet réfléchissant.

Le principe du chauffage infrarouge est similaire à celui du soleil, mais sans lumière et sans rayons UV. La plupart des objets absorbent le rayonnement des ondes longues et la sauvegardent, même principe pour les personnes. Ce processus se déroule sans que l'air n'ait besoin d'être chauffé, par conséquent, un chauffage infrarouge fonctionne plus rapidement et plus efficacement qu'un système de chauffage classique qui doit d'abord chauffer l'air [30], [32].

### II.10.1. Emissivité infrarouge

Lorsque le rayonnement infrarouge thermique incident atteint un objet, une partie de cette énergie est réfléchi, une partie traverse l'objet et le reste est absorbé. Les coefficients de réflexion, de transmission et d'absorption dépendent du matériau de l'objet et de l'état de surface, ainsi que du spectre de longueur d'onde de l'énergie incidente.

Lorsque l'objet absorbe de l'énergie et des chaleurs, il émet également de l'énergie. Lorsqu'un objet est dans un état d'équilibre thermique, la quantité d'énergie qu'il absorbe ( $W_A$ ) est égale à la quantité d'énergie qu'il émet ( $W_E$ ):  $W_A = W_E$ . Lorsqu'un objet absorbe plus d'énergie et que sa température augmente, la quantité de rayonnement qu'il émet augmente également [30].

L'émissivité est la capacité du corps à absorber et émettre de l'énergie IR. L'énergie rayonnée par un corps peut être exprimée comme suit:

$$W = E\sigma T^4 A$$

Où:

W : énergie [J]

E : émissivité

$\sigma$  : Constante de Stefan-Boltzmann =  $5.6703 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T : Température absolue [° K]

A : zone d'émission [ $\text{m}^2$ ]

Comme décrit ci-dessous un rayonnement entre  $7\mu\text{m}$ – $13\mu\text{m}$  est la plage théoriquement idéale pour un chauffage à rayonnement infrarouge lointain performant [12].

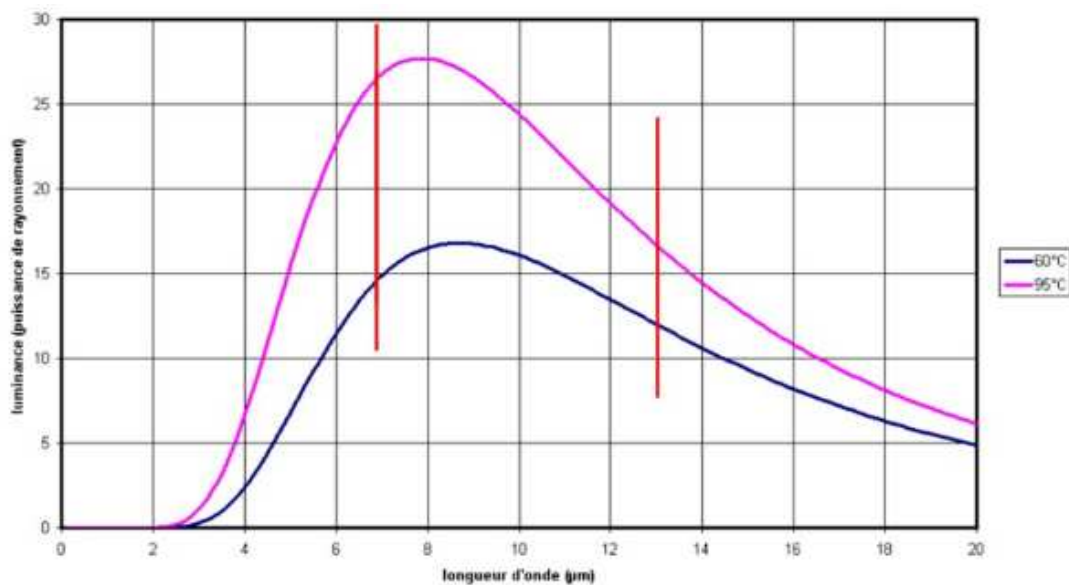


Figure II .8 : Émission du rayonnement

### II.10.2. Détection infrarouge

Il existe effectivement un large éventail de capteurs de différentes technologies qui pourraient aider à la détection, il est nécessaire d'avoir des mesures fiable et précises notamment dans les applications médicales.

Le détecteur convertit l'énergie infrarouge en un signal électrique, lui-même transformé en une valeur de température basée sur l'équation de calibrage du capteur et sur le réglage d'émissivité. Cette valeur de température peut être affichée sur le capteur sous forme d'un signal analogique ou, dans le cas d'un capteur intelligent, transformée en un résultat numérique et affichée sur un ordinateur [33], [38].

Le but est de répertorier les phénomènes physiques qui peuvent faire l'objet de mesures pour la détection thermique infrarouge. Nous noterons, que ces détecteurs sont classé

en deux types, les détecteurs thermiques et les détecteurs quantiques tel que, les photorésistances, les photodiodes, les phototransistors et les photopiles (cellules photovoltaïques) (voir annexe A) [34].

### II.10.3. Détection infrarouges thermiques

#### II.10.3.1. Définition du capteur thermique

Un capteur infrarouge de température est un diapositif sans contacte utilisé pour mesurer une température, il est capable de déterminer la température en déterminant le niveau d'énergie électromagnétique émis en fonction de son rayonnement IR. Il lit la température au repos et en mouvement. L'énergie thermique mesurée par le capteur est convertie en un signal électrique de sortie transmettant le résultat de la mesure.. Il existe différents types de capteurs infrarouges thermiques selon la plage de températures mesurées, les matériaux utilisés et le temps de réponse.

La longueur d'onde d'un rayonnement thermique naturel donné est liée directement à la température de la source qui l'émet. Ce rayonnement possède donc une énergie E reliée directement à cette longueur d'onde par la constante de Planck et la célérité de la lumière. Cet apport d'énergie à une surface réceptrice, va augmenter sa température. Il suffira donc de suivre les variations de la température de surface du capteur ainsi fabriqué pour en déduire l'énergie incidente. C'est ce que nous appelons les « capteurs thermiques » [33], [38].

#### II.10.3.2. Principe de détection thermique

Les méthodes de détection thermique varient selon le domaine d'application, leurs principe est de transformer la température de surface de l'élément sensible en une force électromotrice exploitable, ce principe se base sur des phénomènes physique qui génère une énergie électriques, que nous allons détailler ci-dessous [35], [36] :

##### a. Thermistance

Une plaque de matériau qui change de résistance en réponse à un changement de température. Le circuit convertit le changement de résistance en un changement de tension, qui est ensuite traité par l'instrument.

C'est un mélange d'oxydes métalliques, sa résistance décroît avec la température selon la loi:

$$R(T) = R_0 \exp \left[ B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right], \text{ avec : } T \text{ en K (et B entre 3000 et 5000K)}$$

Les thermistances sont généralement utilisables jusqu'à environ 300°C. Mais du fait de la forme de leur réponse, elles ne sont utilisées que sur une faible plage de température (100°C) où elles sont très sensibles (sensibilité environ 10 fois supérieure aux sondes métalliques).

Il existe trois grandes sortes de thermistance : les Coefficient de Température Négatif (CTN), les Coefficient de Température Positif (CTP) et les résistances à variation critique (critical variation resistor) qui sont des CTN à variation brusque de résistance. Les CTN ont la particularité de voir sa résistance diminuer avec la température ce qui en fait une des thermistances les plus utilisés. Les CTN peuvent se trouver sous diverses formes : perles de verre, disques, barreaux, pastilles, rondelles, puces etc.

### b. Résistance métallique

La précision de la mesure dépend de la sonde mais aussi de l'électronique de détection et du couplage mécanique et thermique entre la sonde et le milieu étudié qui peut entraîner une erreur de plusieurs degrés.

Le type le plus courant, appelé «Pt100», a une résistance de 100Ω à 0°C et 138,5Ω à 100°C (variation quasi linéaire entre -200° et 800°C) Bonne stabilité chimique Temps de réponse > thermocouple.

Les quatre métaux les plus utilisés sont le platine, le tungstène, le nickel et le cuivre, dans ce tableau sont représenté les caractéristiques et l'étendue de mesure de ces types :

**Tableau II.2.** Caractéristiques et étendue de mesure de quelques métaux.

Métal	Caractéristiques	Étendue de mesure
Platine	Précis, stable, durable Coût important : 30 €	-200 °C, 600 °C
Tungstène	S tungstène > S platine Moins Stable que platine Meilleure linéarité en haute température	-100 °C, 1 400 °C
Nickel	Sensibilité la plus élevée Résistivité élevé Faible linéarité Peu stable	-60 °C, 180 °C
Cuivre	Linéaire, Peu stable Résistivité faible donc encombrement	-190 °C, 150 °C

### c. Thermocouple

Pour résumer le fonctionnement des thermocouples, tout conducteur soumis à un gradient thermique générera une petite tension. Ce phénomène est connu comme l'*effet Seebeck*. L'amplitude de la tension générée dépend du type de métal. Les applications pratiques de l'effet Seebeck impliquent deux métaux dissemblables qui sont joints à une extrémité et séparés à l'autre extrémité. La température de la jonction peut être déterminée par la tension entre les fils à l'extrémité sans jonction.

Il existe différents types de thermocouples. Certaines combinaisons d'alliages sont devenues populaires et la combinaison souhaitée dépend de variables telles que le coût, la disponibilité, les propriétés chimiques et la stabilité. Chaque type est adapté pour un domaine d'application définie, et est généralement choisi en fonction de la plage de température et de la sensibilité requises.

- **L'effet Seebeck** : son principe est de transformer l'énergie rayonnante en force électromotrice (f.e.m.) en produisant de l'énergie électrique (thermocouples). Cette production d'énergie est appelée *effet Seebeck*.

C'est un effet thermoélectrique, découvert par le physicien allemand Thomas Johann Seebeck en 1821. Celui-ci remarque qu'une aiguille métallique est déviée lorsqu'elle est placée entre deux conducteurs de natures différentes liés par des jonctions à leurs extrémités et soumis à deux températures différentes, ce qui prouve qu'un courant circule dans ces conducteurs.

➤ **Son principe physique** : deux matériaux conducteurs de natures différentes M1 et M2 sont reliés par deux soudures A et B. Dans le cas de l'effet Seebeck, une différence de température  $\Delta T = T_1 - T_2$  est appliquée entre A et B, ce qui entraîne l'apparition d'un courant I.

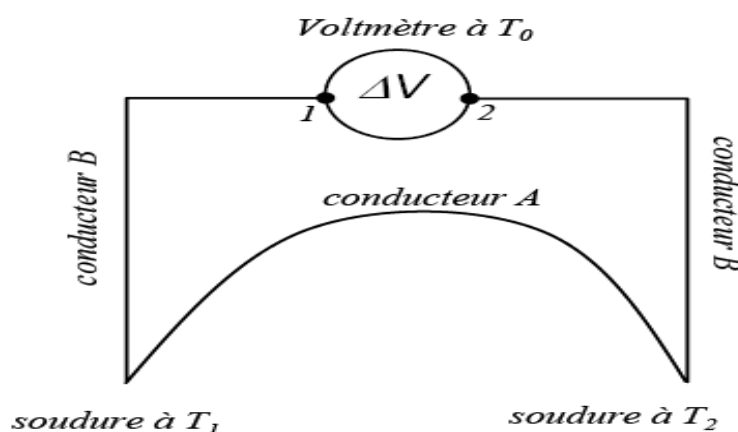


Figure II.9 : Principe de l'effet Seebeck

Cet effet est la combinaison de trois effets étudiés, indépendamment [34] :

- **Effet Thomson**, lorsqu'une partie d'un conducteur est chauffée il en résulte un flux d'électron de la partie la plus chaude vers la partie la plus froide. Si la partie chauffée est le point de jonction de deux conducteurs de même matériau, le flux d'électrons est identique de part et d'autre de la jonction et la force électromotrice produite est nulle. Si, en revanche, le conducteur est constitué de deux matériaux différents, les flux d'électrons ne seront pas identiques et il en résultera une force électromotrice non nulle.
- **Effet Volta**, lorsque deux conducteurs de natures différentes sont mis en contact il en résulte une force électromotrice uniquement dépendante de la nature des deux matériaux.
- **Effet Peltier**, il est défini comme étant la quantité d'énergie soit dégagée, soit absorbée au niveau d'une jonction de deux conducteurs différents suivant l'intensité et le sens du courant qui la traverse.

## II.11. avantage des capteurs infrarouges

Les capteurs de température infrarouges présentent de nombreux avantages, permettant des mesures plus efficaces que tout autre type de capteurs. Parmi tous les principaux avantages de l'utilisation [37], [39]:

- Vaste plage de mesure permettant de déterminer des températures très élevées jusqu'à +3000 ° C ;
- La possibilité de mesurer la température à distance de l'objet du contrôle ;
- Travailler avec tout type de matériaux ;
- Haute précision de mesure indépendamment des facteurs externes et de la pureté de l'objet ;
- Maintien de la propreté du capteur en raison de l'absence de contact ;
- Facilité d'utilisation ;
- Surveillance continue des changements de température dans le domaine médicale.

## **II.12. Discussion**

L'objectif de ce chapitre est de résumer l'essentiel sur le phénomène infrarouge, nous sommes donc efforcés de présenter la différence entre les trois types d'infrarouge en précisant l'effet sur le corps humain de chaque type ce qui nous a permis de choisir l'infrarouge lointain pour ses propriétés thérapeutique et médicale. Et pour ce qui concerne les méthodes de détection, le thermocouple a été retenu pour le choix notre capteur.

*Chapitre III*  
*Composants*  
*d'instrumentation*

### III. 1. Préambule

Ce travail a pour but la réalisation d'un prototype d'une table chauffante néonatale, qui dans le domaine technique, représente un dispositif de régulation de température. Pour ce faire, notre dispositif sera équipé d'un système de mesure de température et d'un système de chauffage, et comme dans tout système automatique notre application nécessite une unité de commande qui permettra de contrôler et de piloter ces unités auxiliaires.

Pour réaliser le système de mesure de température, nous avons d'abord étudié la carte électronique programmable. Puis, nous avons entrepris une analyse et une comparaison de différents capteurs thermiques selon leurs caractéristiques et leurs paramètres de fonctionnement (voir annexe B). Enfin, pour le système de chauffage, le chauffage infrarouge nous semble être le plus adapté au nouveau-né.

Dans ce chapitre, nous allons aborder:

- Les différents détails techniques de chaque composant ;
- Les paramètres et les caractéristiques qui ont motivé nos choix ;
- Aussi, nous allons expliquer leurs modes de fonctionnement et les notions de base auxquelles ils obéissent ;
- Ainsi que leurs avantages.

### III.2. La carte électronique programmable Arduino

#### III.2.1. Description

La carte Arduino est une carte programmable utilisée pour réaliser des projets électroniques développés. Elle est composée d'un circuit électronique programmable, dit microcontrôleurs, et de logiciel de (une interface de programmation) programmation utilisé pour créer un sketch (programme) à implémenter à la carte, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de concevoir ses applications par expérimentation directe à l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne (bibliothèque, exemples ...).

L'Arduino est un outil de prototypage qui permet de lier les performances de programmation à celle de l'électronique, il simplifie les schémas électroniques et réduit les coûts de réalisation. Cet outil est *Open Source*, c'est à dire que les plans de la carte sont publiés en licence libre [40], [41].

La figure ci-dessous représente la carte Arduino UNO la plus utilisée :



Figure III.1: Carte Arduino UNO.

### III.2.2. Les différentes gammes de carte Arduino

L'Arduino est un produit qui évolue très vite, du fait de sa licence open source et sa flexibilité. Actuellement, il existe plusieurs versions du module Arduino.

Voici les principales versions du produit :

Tableau III.1 les différents types de cartes Arduino [42].

Types Carac- téristiques	UNO R3	UNO R3 Ether- net	Leona- rdo	Mega 2560	Mega ADK	DUE	Esplor- a	Mini	NAN O	Yun	Zero Pro
Microcont- rôleur	ATme- ga 328p	ATme- ga 328p	ATme- ga 32u4	ATme- ga 2560	ATme- ga 2560	AT915A M3X8E	ATme- ga 32u4	ATme- ga 328p	ATme- ga 328p	ATme- ga 32u4	ATSAMD 21G18
Cadence- ment horloge	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	48 MHz
Tension d'entrée	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-9V	7-9V	5V	5V
Tension de fonction- nement	5V	5V	5V	5V	5V	3.3V	5V	5V	5V	5V	3.3V
Entrée/sor- tie numéri- que	14/6	14/4	20/7	54/15	54/15	54/15	×	14/6	14/6	20/7	14/12
Entrée/sor- tie analogi- que (PWM)	6/0	6/0	12/0	16/0	16/0	12/2	×	8/0	8/0	12/0	6/1
Mémoire vive (flash)	32Ko	32Ko	32Ko	256Ko	256Ko	512Ko	32Ko	32Ko	32Ko	32Ko	256 Ko
Mémoire	2Ko	2Ko	2.5Ko	8Ko	8Ko	86Ko	2.5Ko	2Ko	2Ko	2.5Ko	32 Ko

vive(SRAM)											
Mémoire morte (EEPROM)	1Ko	1Ko	1Ko	4Ko	4Ko	×	1Ko	1Ko	1Ko	1Ko	16Ko
Interface USB	USB-B Male	USB-B Male	Micro-USB	USB-B Male	USB-B Male et USB-A pour android	2ports micro USB	Micro-USB	×	Mini-USB	Micro-USB	2ports micro USB
Port UART	1	1	1	4	4	4	×	×	1	1	2
Carte SD	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	✓	×
Ethernet	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	✓	×
Wifi	×	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	×
Dimensions	68*53 mm	68*53 mm	68*53 mm	101*53 mm	101*53 mm	101*53 mm	165*60 mm	30*18 mm	45*18 mm	68*53 mm	68*53 mm

Ces versions d'Arduino sont des évolutions du modèle de base, visant à lui offrir plus de puissance, plus de ressources internes et d'entrées/sorties, pour notre réalisation nous avons choisi la carte Arduino NANO mais avant de détailler les propriétés de cette dernière, voyons d'abord leurs environnements de développement et leurs domaine d'application.

Ces cartes sont extensibles par des modules appelés shields (Voir annexe C), Par exemple, la carte Arduino Uno peut être étendue avec le « Shield Ethernet » qui permet de connecter cette dernière à internet.

### III.2.3. Environnements de développement

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (avec un langage proche du C). Une fois, le programme saisi ou modifié, il sera assemblé pour la détection d'éventuelles erreurs de syntaxe puis traduit en langage machine (compilation). Le code est transféré et mémorisé dans la mémoire flash de la carte à travers une liaison USB qui sert de liaison de communication pour le transfert du programme mais aussi de câble d'alimentation, ce logiciel fonctionne sur Macintosh, Windows, Linux, BSD et Androïde et est appelé espace de développement intégré « IDE Arduino» [43], [41], [44].

### III.2.3.1 Structure générale du logiciel de programmation

Les programmes écrits en utilisant Arduino Software (IDE) sont appelés croquis. Ces esquisses sont écrites dans l'éditeur de texte et sont enregistrées avec l'extension de fichier ".ino". L'éditeur dispose de fonctionnalités pour couper / coller et pour rechercher / remplacer du texte. La zone de message donne des commentaires lors de la sauvegarde, de l'exportation et affiche également les erreurs. Le coin inférieur droit de la fenêtre affiche la carte et le port série configurés. Les boutons de la barre d'outils permettent de vérifier, assembler et télécharger les programmes ainsi que créer, quant à la barre de menu elle permet de gérer les fichiers en cours de traitements et d'accéder aux exemples, librairie, propriétés et autres [41], [44].

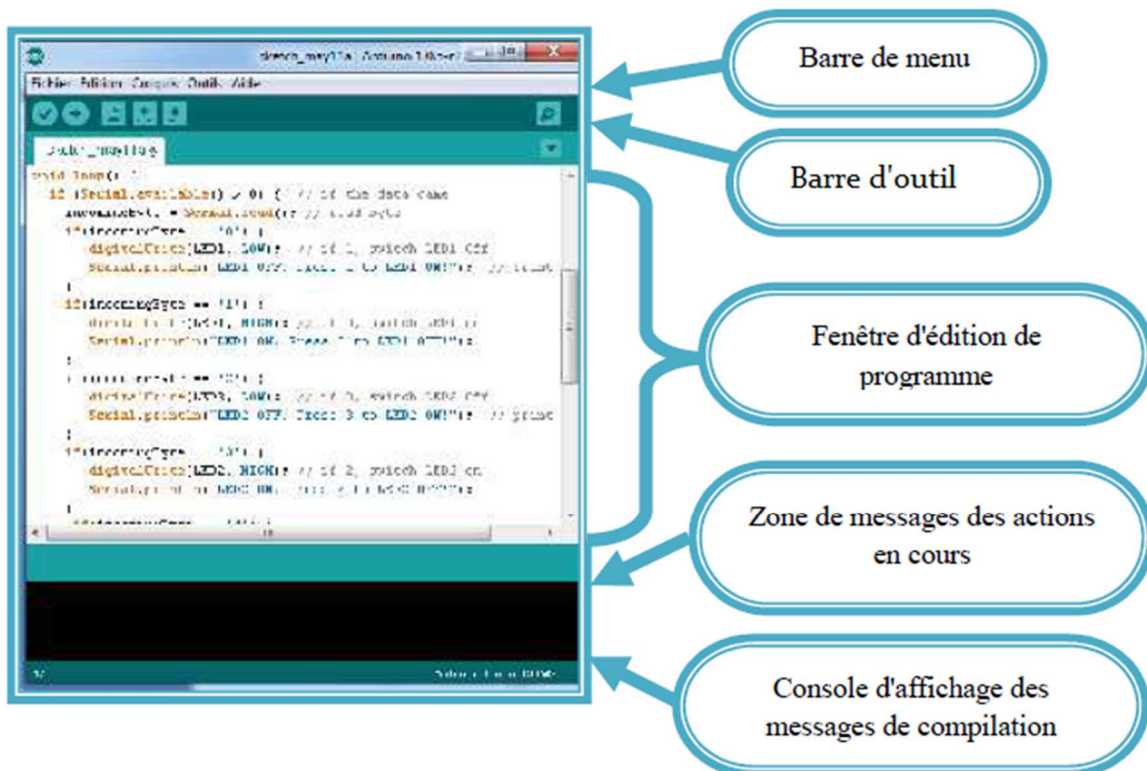


Figure III.2: Interface IDE Arduino.

### III.2.3.2 Le langage de programmation

Le programme est rédigé dans un langage similaire au C++ et obéit à un ensemble de règles d'écriture liées à ce langage (appelé syntaxe), cette syntaxe permet une rédaction

simple du code de programmation selon lequel la carte va fonctionner, le programme est organisé en bloc comme indiqué dans la figure ci-après :



Figure III.3 : Structure d'un programme sous Arduino.

Des exemples sont disponibles pour débiter la programmation sur le logiciel auxquels on peut accéder via la barre des menus; pour étendre les capacités de l'Arduino, il existe des bibliothèques (un ensemble de codes) qui permettent de vous connecter facilement à un capteur, un écran, un module, etc... Par exemple, la bibliothèque Liquid Crystal intégrée facilite la communication avec les écrans LCD à caractères. Des centaines de bibliothèques supplémentaires sont disponibles sur Internet pour téléchargement [41], [44].

### III.2.4. Domaine d'utilisation

Cette carte électronique programmable est utilisée dans divers domaines d'applications :

- Physical computing : au sens large, c'est la construction des systèmes physiques interactifs qui utilisent des logiciels et du matériel pouvant s'interfacer avec des capteurs et des actionneurs ;
- Électronique industrielle et embarquée ;
- Domotique ;
- Robotique ;
- Modélisme ;
- DIY (Do-It-Yourself), Prototypage, Education.

### III.2.5. Les avantages de la carte Arduino

L'Arduino est un système qui permet de lier les performances de programmation à celle de l'électronique tout en simplifiant les schémas électroniques et les coûts de réalisation, en plus de son design, cette carte présente de nombreux avantages:

- **Multiplateforme :** Le logiciel Arduino (IDE) fonctionne sur les systèmes d'exploitation Macintosh, Windows, Linux, BSD et Androïde. Alors que la plupart des systèmes de microcontrôleur sont limités à Windows ;
- **Environnement de programmation simple et clair :** Le logiciel Arduino (IDE) est facile à utiliser pour les débutants, mais suffisamment flexible pour que des professionnels puissent en profiter ;
- **Logiciels open source et extensibles :** Le logiciel Arduino est publié en tant qu'outil open source, disponible pour extension par des programmeurs expérimentés. Le langage peut être étendu à travers des "Librairie" bibliothèques C ++ ;
- **Matériel Open Source et matériel extensible :** Les plans des cartes Arduino sont publiés sous licence "Creative Commons", de sorte que les concepteurs de circuits expérimentés puissent créer leur propre version du module, des cartes d'extension sont disponibles afin d'apporter des fonctionnalités complémentaires au cartes Arduino de base.

## III.2.6. La carte Arduino Nano

### III.2.6.1 Description

Elle est basée sur circuit compatible DIL30, un élément idéal pour les systèmes embarqués ou pour des applications robotiques ou industrielles nécessitant du multitâches. Elle est conçue pour une utilisation directe sur bread board, elle a de petites dimensions qui conviennent à la création d'appareils compacts.

La Nano est basée sur un microcontrôleur ATmega328 contenant un boot-loader qui permet de modifier le programme sans passer par un programmeur, elle peut aussi être programmée via le logiciel Arduino, elle est équipée d'une puce FTDI FT232RL pour la conversion USB-série et utilise un câble mini-USB pour la communication série. L'Arduino nano.

L'Arduino Nano est en open source c'est dire que le schéma interne et son architecture sont disponibles et ouvert a tout utilisateur, les figures suivantes représentent le schéma interne et architecture externe de l'Arduino Nano :

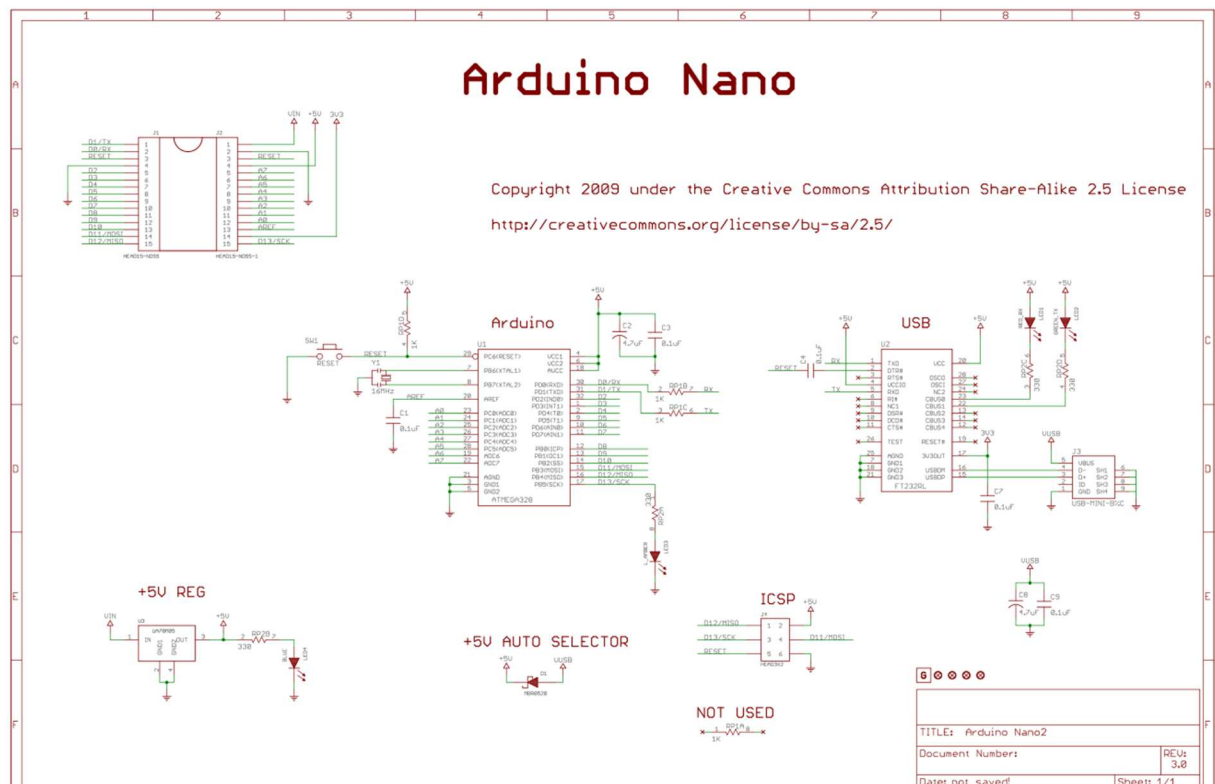


Figure III.4: Schéma interne de l'Arduino NANO.

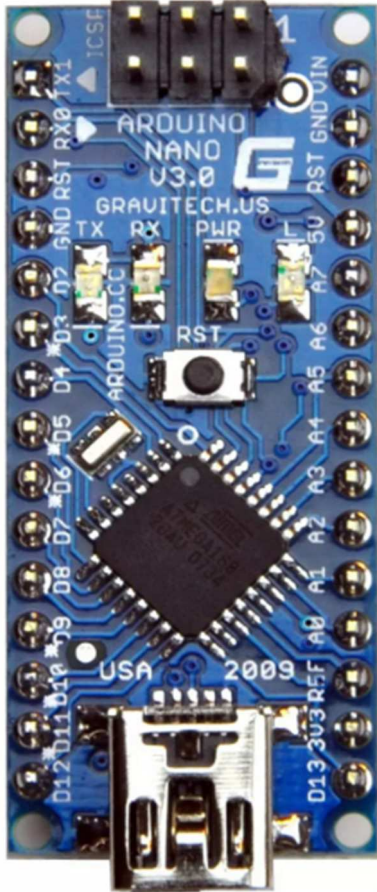


Figure III.5 : Face de circuit d'Arduino

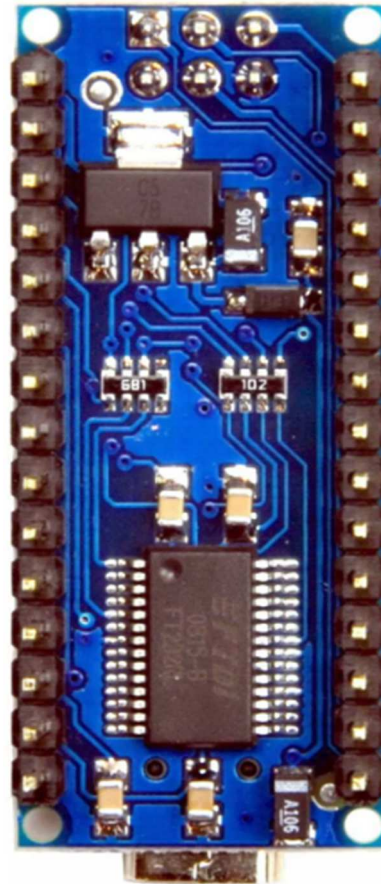


Figure III.6 : Face de composant d'Arduino

### III.2.6.2. Les spécification technique

Tableau III.2 : Spécifications techniques d'Arduino Nano.

Microcontrôleur	Atmel ATmega328
Tension de fonctionnement (niveau logique)	5 V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12 V
Tension d'alimentation (maximum)	6-20 V
E/S digitales	14/6 (dont 6 peuvent fournir une sortie PWM, notées par un trait blanc)
E/S analogiques	8/ 0
Courant disponible par pin E/S	40 mA
Mémoire flash	32 Ko (dont 2Ko utilisés par le boot loader)
SRAM	2 Ko

EEPROM	1 Ko
Vitesse d'horloge	16 MHz
Dimensions	44mm x 18mm

### III.2.6.3. Le microcontrôleur ATmega328

Le microcontrôleur ATmega328P est cadencé à 16 MHz. possède une mémoire de 32 Ko et un grand nombre d'E/S, il est constitué d'un ensemble de mémoires, chacune d'elle a une capacité et une fonction bien déterminée :

- **Mémoire Flash:** la mémoire qui contient le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible, mémoire programme de 32Ko (dont 2Ko utilisés par le bootloader) ;
- **SRAM "Static Random Access Memory":** c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 Ko ;
- **EEPROM :** Elle permet le stockage de données persistantes par le programme, elle stocke des données de log ou des états devant être conserver de manière permanente (après arrêt de l'alimentation), sa capacité est de 1Ko.

### III.2.6.4 Brochage de la carte Arduino NANO

Ce microcontrôleur communique avec les dispositifs compatibles grâce aux pines illustrées sur la figure ci-après [45] :

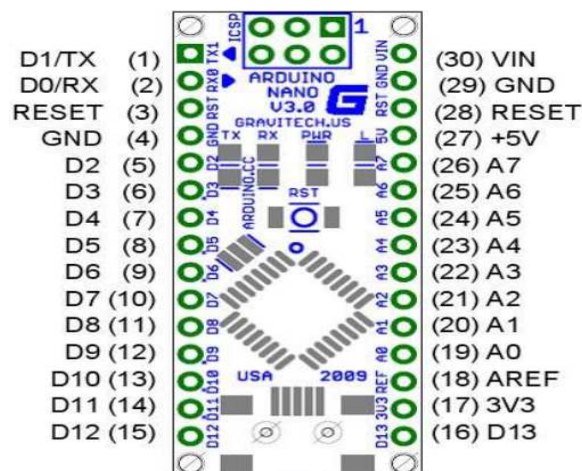


Figure III.7: Brochage de la carte Arduino.

- **TX et RX:** les 2 broches de la ligne série, elles sont respectivement la ligne d'émission série (T pour Transmit, émettre) et la ligne de réception série (R pour receive, recevoir). Cette ligne est principalement employée pour dialoguer avec l'ordinateur hôte. Des fonctions permettent d'afficher des messages dans une fenêtre de l'ordinateur hôte et de lire le clavier de l'ordinateur hôte.
- **RESET :** Cette broche permet de réinitialiser l'Arduino et donc de redémarrer le programme. Pour réinitialiser l'Arduino, il suffit de mettre cette broche à 0V puis de la repasser à 5V
- **GND :** La masse ou 0V.
- **D0 - D13:** 14 Entrée/Sortie numérique, Chaque pin peut fournir 40mA au maximum et comporte une résistance de pull-up interne (désactivée par défaut) de 20-50 KOhms
- **3.3V :** Un Arduino nano est équipé d'un régulateur 3,3V dont la sortie est connectée à cette broche. On peut s'en servir pour alimenter un circuit externe en 3,3V.
- **AREF :** Voltage de référence pour les entrées analogiques.
- **A0 - A7:** 8 entrées analogiques, chacune ayant une résolution de 10 bits (1024 valeurs). Les pins analogiques 6 et 7 sont les seules qui ne peuvent pas être reconfigurées en pins digitales.
- **5V :** l'Arduino est équipé d'un régulateur 5V connecté sur cette broche, elle peut donc être employée pour alimenter l'Arduino et également des circuits externes.
- **Vin :** L'entrée du régulateur embarqué sur l'Arduino. On peut choisir d'alimenter l'Arduino via cette broche au lieu d'utiliser la prise d'alimentation.

### III.2.6.5 Alimentation

La Nano peut être alimenté par le PC via le connecteur USB mini-B, de 7 à 12V via la Vin ou via une alimentation 5V régulée (les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). La Nano sélectionne automatiquement son alimentation sur la source au voltage le plus élevé.

**Note:** la visualisation se fait à l'aide de LED dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à visualiser l'activité sur la voie série et aussi à tester le matériel.

### III.2.6.6 Mode de communication

#### III.2.6.6.1 Inter integrated circuit "I2C"

La norme I2C (inter integrated circuit) a été créée pour fournir un moyen simple de transfert des informations numériques entre capteurs, actionneurs et microcontrôleurs, la bibliothèque Arduino "Wire" facilite l'utilisation de ce standard lors de la connexion de périphériques compatibles.

L'Arduino utilise le bus I2C pour la communication dite série avec les dispositifs compatibles connectés, il a l'avantage de n'avoir besoin que de deux connexions de signalisation :

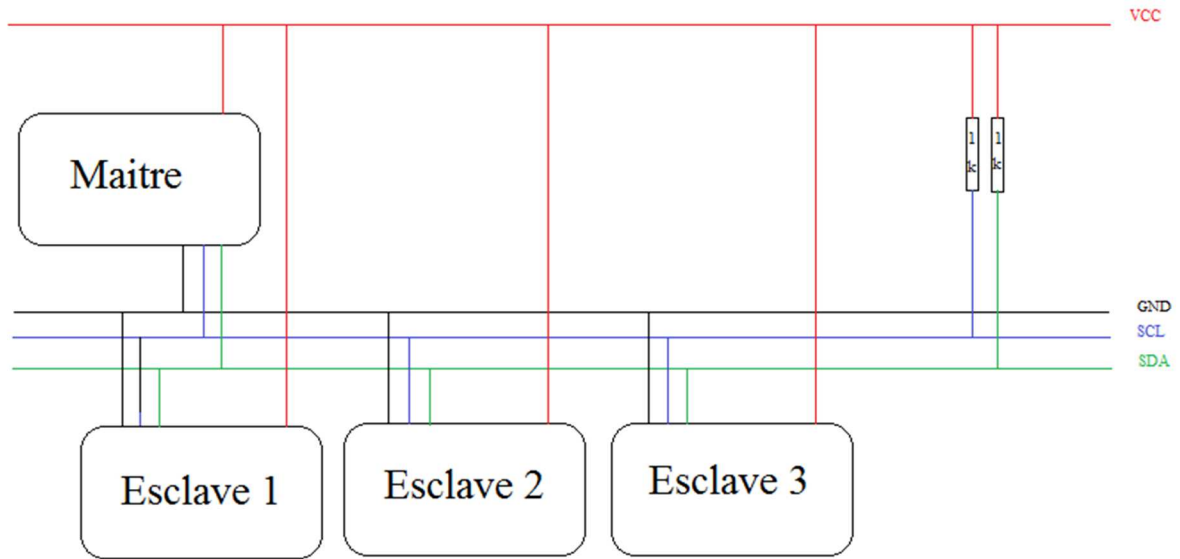
- **SDA (Serial Data line):** la ligne de données série, tout le transfert de données entre les appareils s'effectue via cette ligne.
- **SCL (Serial Clock Line) :** la ligne d'horloge série. I2C est un protocole synchrone, et par conséquent, SCL est utilisé pour synchroniser le transfert de données entre tous les dispositifs.

Elles sont disponibles sur les deux pins, l'emploi de plusieurs périphériques sur les deux connexions est assez simple et on reçoit une confirmation que les signaux ont été correctement reçus [46], [47].

**Note :** les périphériques I2C ont besoin d'une masse commune pour communiquer. La broche Arduino GND doit être connectée à la masse sur chaque appareil compatible I2C.

##### a. Architecture d'un réseau mono-maitre

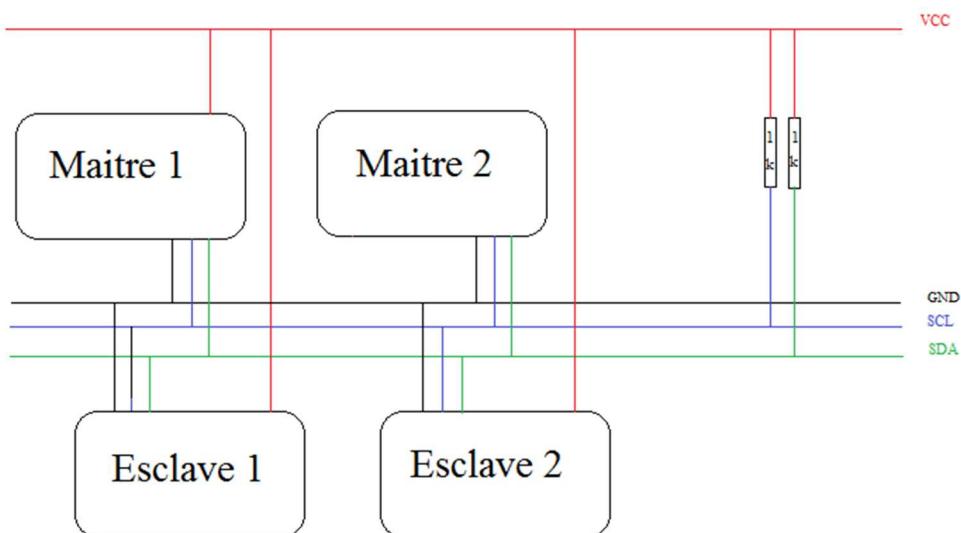
L'I2C fonctionne selon le concept maître esclave, tous les appareils sont soit maîtres, soit esclaves. Le maître est l'appareil qui initie le transfert et pilote la ligne d'horloge SCL. Sur un seul bus I2C, il existe généralement plusieurs esclaves connectés à un seul maître, comme dans notre application. La figure suivante représente son schéma bloc.



**Figure III.8:** Architecture du réseau de communication mono-maitre

**b. Architecture d'un réseau multi-maitre**

Cependant, nous pouvons également avoir plusieurs Maîtres connectés au même bus I2C. Pour simplifier la communication, nous évitons généralement de tels cas, mais I2C prend en charge l'arbitrage des maîtres et la détection des collisions dans le cas d'une architecture multi-maitres comme dans le schéma suivant :



**Figure III.9:** Architecture du réseau de communication multi-maitre.

Les périphériques esclaves sont identifiés par leurs numéros d'adresse. Chaque esclave doit avoir une adresse unique. Certains appareils I2C ont une adresse fixe alors que d'autres permettent que l'on configure leur adresse.

L'Arduino utilise des valeurs sur 7 bits pour spécifier les adresses I2C. Certaines notices techniques de périphériques emploient des adresses sur 8 bits. Dans ce cas l'adresse est divisée par deux pour obtenir la valeur correcte sur 7 bits [46], [47].

### III.2.6.6.2. Pulse width modulation "PWM"

Le procédé PWM "*pulse width modulation*" (en français MLI "*Modulation par largeur d'impulsions*") est une technique de création de signaux qui permet de contrôler de l'analogique avec des sorties numériques d'un microcontrôleur. La commande en PWM consiste en une succession rapide d'impulsion électrique. Le PWM est un signal tout ou rien, c'est-à-dire alternant sans transition entre la valeur minimale fixe de l'Arduino 0V et sa valeur maximale fixe (VCC). En fonction de la durée des signaux Max en proportion des signaux Min on peut obtenir la valeur moyenne en pourcentage [44].

#### a. Intérêt de l'utilisation du procédé PWM

Le PWM permet d'obtenir un équivalent d'une variation de tension continue à l'aide d'un contrôle en tout ou rien. Le PWM permet aux composants de puissance de beaucoup moins chauffer qu'en analogique (signal continu). D'autre part, les signaux numériques sont moins sensibles au parasitage que les signaux analogiques ils sont donc plus fiables.

Le principal intérêt de la technique PWM est de limiter la chauffe des composants électroniques. En effet, en commande analogique, pour obtenir une variation de puissance il faut dissiper le complément de la puissance maximale consommée.

**Exemple:** Une lampe de 20 Watts allumée au maximum consomme 20 Watt. Si par une commande de gradation elle est allumée à la moitié de sa puissance, elle consomme 10 Watt. Le composant analogique devrait alors dissiper 10 Watt, ce qui implique une énergie thermique si l'on utilise un système analogique. En PWM, la puissance fournie est soit maximale, soit nulle. Lorsqu'elle est maximale, pendant la moitié du temps dans cet exemple,

il n'y a pas besoin de dissiper de puissance résiduelle. Lorsqu'elle est nulle, il n'y a pas besoin de dissiper non plus de puissance, car aucune puissance n'est fournie [45].

### b. Principe de fonctionnement du procédé PWM

La technique de modulation de largeur d'impulsion (Pulse Width Modulation PWM) consiste à générer un signal carré avec un rapport cyclique modulé en fonction d'un signal de commande. Le signal généré peut servir à commander un circuit de puissance, la commande de l'actionneur de puissance par PWM est très liée à la notion de fréquence. Pour que l'impression d'une valeur moyenne constante d'allumage apparaisse, il faut que l'alternance d'allumage/extinction soit suffisamment rapide pour qu'elle ne se remarque pas.

La fréquence du PWM varie selon les applications, elle va de 100 Hz (100 cycles par seconde) à 200 kHz [44], [45].

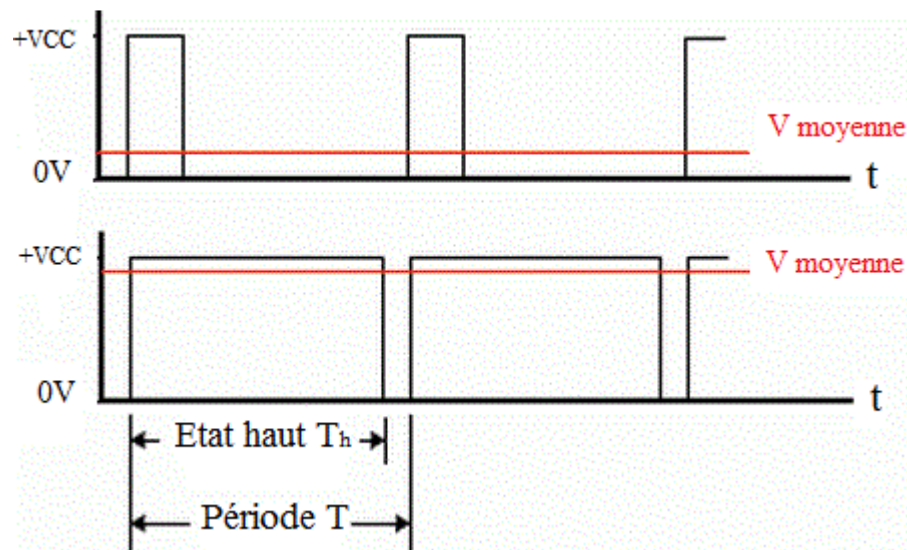


Figure III.10: Principe de la PWM.

- Le rapport cyclique:  $\alpha = \frac{T_h}{T} \times 100$  exprimé en pourcentage (%)
- Si  $T_h = 1/2 T$  donc le rapport cyclique  $\alpha = 50\%$  (l'alternance d'allumage = l'alternance d'extinction) donc la tension moyenne de sortie est égale à  $0.5 \times VCC$ .

### III.3. Capteur infrarouge MLX 90615

Nous nous sommes référés au datasheet pour l'étude du capteur de température infrarouge sans contact MLX90615 et nous en avons tirée les informations essentielles à son utilisation.

#### III.3.1. Description

Le MLX90615 est un capteur de température infrarouge conçu pour la détection de température sans contact. Il contient un CAN interne 16 bits et une puce DSP personnalisée pour atteindre une précision et une résolution élevées. Il a une interface SMBus ou PWM et fonctionne à partir de 3V. Ce capteurs IR mesurent la température de surface d'un objet « To » et la température ambiante « Ta ». La distance à l'objet ne modifie pas la lecture de la température tant que l'objet remplit le champ de vision du capteur (largeur du faisceau) [48].



**Figure III.11** : Capteur infrarouge MLX90615

**Tableau III.3:** Fiche technique du capteur infrarouge MLX90615.

Tension d'alimentation	2,6 V à 3,4 V
Température de fonctionnement	de -20 ° C à 85 ° C
SCL Clock Frequency	100 kHz
Courant d'alimentation	de 1,3 mA à 1,5 mA
Temps d'échantillon de lecture	14 ns (Mode Standard) 1.5 ns (Mode Overdrive)
Résolution de mesure	0.02 ° C
Mode économie d'énergie	
Sortie PWM personnalisable pour une lecture continue	

### III.3.2. Architecture interne du MLX90615

Le MLX90615 est construit à partir de deux (02) puces :

- Le détecteur thermopile infrarouge qui transforme l'énergie rayonnante en énergie électrique à l'aide de thermocouples.
- Le conditionnement de signal MLX325, spécialement conçu pour traiter la sortie du détecteur IR, le traitement du signal est géré par un DSP qui contrôle les mesures et les calculs de la température de l'objet et des températures ambiantes et fait le post-traitement des températures calculées. Ces températures calculées sont disponibles en RAM du MLX325 avec une résolution de 0.01°C. elles sont accessibles par SMBus série 2 fils protocole compatible (résolution 0,02 ° C) ou via une sortie PWM 10 bits (Pulse WidthModulated). L'amplificateur à faible bruit, haute résolution ADC 16 bits et les filtres FIR et IIR du MLX325 permettent d'obtenir une haute précision et résolution [48].

La figure ci-dessous représente l'architecture interne du capteur MLX90615 dans un schéma bloc :

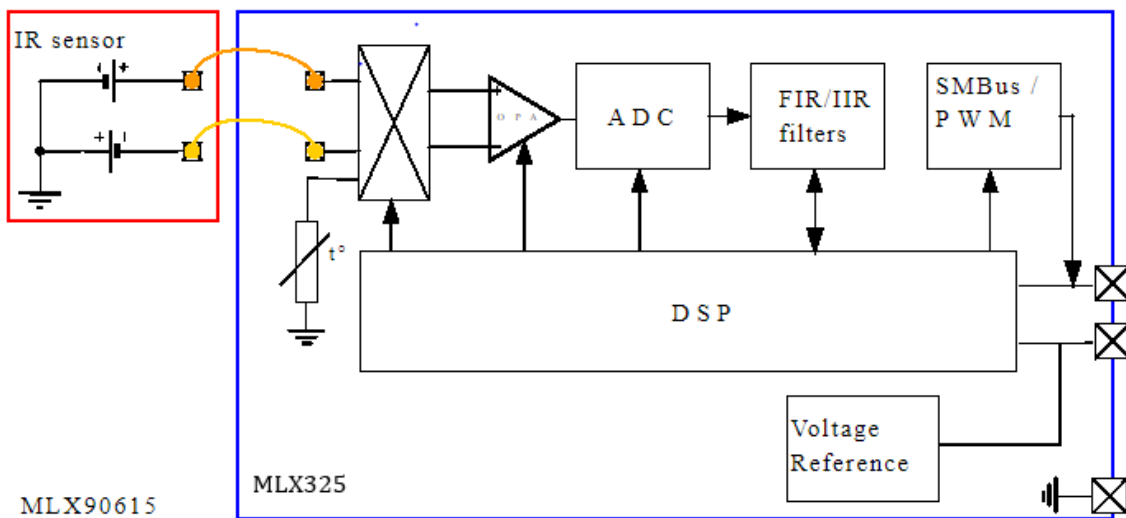


Figure III.12 : Architecture interne du mlx90615.

#### III.3.2.1. Le capteur thermopile infrarouge

Le capteur thermopile infrarouge (représenté par le bloc rouge) est un capteur exploitant l'effet Seebeck en utilisant des thermocouples. Un thermocouple est un circuit formé de jonctions de deux matériaux avec un coefficient Seebeck différents (jonction froide et jonction chaude), ces jonctions convertissent les photons IR en signal électrique en

exploitant des phénomènes de polarisation électrique spontanée sous l'action d'une différence de température imposée à leurs extrémités (comme expliqué dans le chapitre 2).

Afin d'augmenter la sensibilité, les thermocouples sont disposés en série pour former une thermopile. Les avantages des thermopiles sont nombreux, on peut citer par exemple la linéarité, l'absence de tension résiduelle offset...etc [33].

### III.3.2.2. La puce de conditionnement de signal MLX325

C'est le bloc (représenté par le bloc bleu) sur lequel on distingue les principaux éléments (puce DSP, filtres, amplificateur ADC, SMBus/PWM...) responsable du traitement de signal [9]:

- a. **Amplificateur** : un amplificateur à faible bruit et à faible décalage avec un gain programmable est utilisé pour amplifier la tension du capteur IR. Le décalage maximum du système est de  $0,5\mu\text{V}$  (Comme le périphérique est étalonné en usine, tout changement des paramètres de gain nécessitera un nouvel étalonnage de l'objet).
- b. **Convertisseur ADC** : un ADC delta-sigma code d'abord un signal analogique en utilisant une modulation delta-sigma à haute fréquence, puis applique un filtre numérique pour former une sortie numérique à plus haute résolution mais à fréquence d'échantillonnage plus basse et pour se faire le signal passe par plusieurs étapes [49]:
  - **Intégrateur** : le filtre de formation de bruit ou l'intégrateur d'un convertisseur sigma delta distribue l'erreur ou le bruit de quantification du convertisseur de sorte qu'il est très faible dans la bande d'intérêt.
  - **Sur-échantillonnage**: une sur-échantillonnage est simplement le fait d'échantillonner le signal d'entrée à une fréquence beaucoup plus grande que la fréquence de Nyquist (deux fois la bande passante du signal d'entrée). Le sur-échantillonnage diminue le bruit de quantification dans la bande d'intérêt.
  - **Filtre numérique** : un filtre numérique sur puce est utilisé pour atténuer les signaux et le bruit qui sont en dehors de la bande d'intérêt.
  - **Décimation** : La décimation consiste à réduire le débit de données du taux de suréchantillonnage sans perdre d'informations.
- c. **Filtres numériques** : les filtres numériques, à savoir, Filtres à réponse Impulsionnelle Infinie «IIR» et filtres à réponse Impulsionnelle finie «FIR » réduisent davantage la largeur de

bande du signal d'entrée pour obtenir les performances de bruit souhaités en traitant le signal par des filtres passe-bas FIR et IIR programmables (au moyen d'EEPROM).

Ces filtres numériques permettent de filtrer le signal converti selon un programme implémenté sur une EEPROM, le rapport entre le signal d'entrés et le signal de sorties est régit par des équations mathématique visant à séparer des signaux qui ont été combinés, à restaurer des signaux déformés et à limiter l'effet des objets parasites qui peuvent apparaître dans le champ de vision du capteur. La sortie du filtre IIR est le résultat de la mesure et est disponible dans la RAM interne [50].

**d. Processeurs numériques de signal DSP :** le DSP (Digital Signal Processor) est un microprocesseur orienté pour les calculs liés au traitement du signal numérique, il traite le signal analogique numérisé (dans notre cas la température) et le convertit en valeurs discrètes directement exploitables par l'utilisateur.

Parallèlement aux microprocesseurs et aux microcontrôleurs, les processeurs de traitement numérique du signal, ou DSP (Digital Signal Processor), ont bénéficié des énormes progrès en rapidité (grâce au faible temps de commutation) et en puissance de calculs (grâce au nombre de bits des bus internes) des composants logiques intégrés programmables.

Il effectue principalement l'estimation de grandeurs en temps réel en parallèle avec le déroulement du phénomène physique, puis en utilisant les données numériques extraites de ces signaux biophysiques, il effectue le traitement numérique du signal (convolution, corrélation, transformée de Fourier rapide : FFT (Fast Fourier Transform), filtrage numérique, compression, codage et décodage des données ... ), mais aussi le filtrage , avec amplification, atténuation, toutes ces applications faisant appel à des algorithmes avec pour but de rendre les systèmes de commande et de gestion électroniques beaucoup plus fiables.

La bonne précision en niveau de tension des composants numériques est due à la qualité des convertisseurs analogique/numérique et numérique/analogique, et en premier lieu, à la stabilité de la caractéristique de tension de la diode Zener interne de référence des convertisseurs. Ensuite intervient le nombre de bits (unité binaire d'information) utilisé pour caractériser une donnée. La conversion s'effectue le plus souvent avec 8 bits, 10bits 12 bits voire 14 bits en usage plus performant. Enfin, de nouveaux types de convertisseurs dits sigma-delta ( $\Sigma - \Delta$ ) permettent une conversion analogique/numérique avec un faible bruit de quantification. La capacité en nombre de bits de données est l'une des caractéristiques de la

puissance de traitement du processeur. Il existe des microprocesseurs et des microcontrôleurs 8 bits, à 16 bits et même plus. Les DSP devant être encore plus performants, les données numériques seront à 16 ou 32 bits, voire plus [51].

### III.3.3. Architecture externe

Le dispositif est disponible dans un boîtier standard TO-46, un filtre optique qui coupe le flux radiant visible et proche de l'infrarouge est intégré dans le package pour fournir l'immunité à la lumière du soleil.

#### III.3.3.1 Package TO-46

Le TO-46 est un type de boîtier pour les dispositifs à semi-conducteurs. Il est scellé hermétiquement pour protéger l'appareil des facteurs environnementaux tels que l'humidité et les contaminants. Le TO-46 est couramment utilisé dans les transistors de boîtier et les circuits intégrés à faible nombre de conducteurs.

Le TO-46 est principalement composé de métal, la puce étant montée sur le tampon de son collecteur en métal, puis scellée avec un capuchon en métal par soudage à haute intensité [52].

Le boîtier TO-46 est dimensionné comme suit :

**Tableau III.4 :** Tableau de dimensionnement du package TO-46.

Diamètre de base	Diamètre du chapeau	Hauteur du chapeau	Min. Longueur de fil	Pas de plomb
5.45 mm	4.7 mm	2.35 mm	12.7 mm	2.54 mm

#### III.3.3.2. Définitions et descriptions des broches

La figure ci-dessous représente le capteur MLX90615 vue de face, le détrompeur du capteur est dirigé vers le haut, les pins sont représenté comme suit :

- **En haut à droite SDA/PWM :** Entrée / sortie numérique drain ouvert NMOS. En mode SMBus (par défaut) Données série I / O. En mode PWM - Sortie PWM. Un faible pull-up (type 300kΩ) est présent sur cette broche.
- **En bas à gauche VDD :** Tension d'alimentation externe.

- **En bas à droite SCL** : Entrée d'horloge série pour un protocole de communication à 2 fils. Pull-up faible (type 300k $\Omega$ ) est présent sur ce pin.
- **En haut à gauche VSS** : VSS au GND. La boîte métallique est également connectée à cette broche [54].

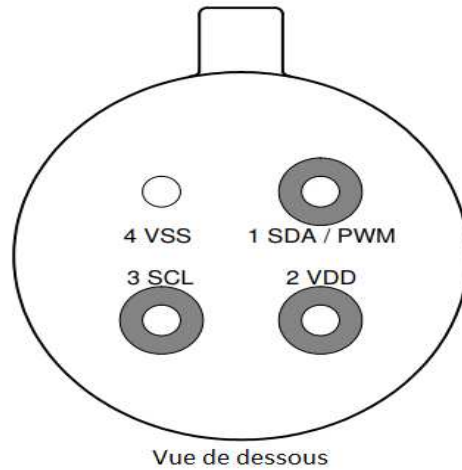


Figure III.13 : Description des pins du capteur MLX90615.

### III.3.4. Mode de fonctionnement

Un DSP intégré dans le MLX90615 contrôle les mesures, calcule les températures de l'objet et de l'environnement et effectue le post-traitement des températures pour les sortir via une interface compatible SMBus ou PWM (selon le cas).

La sortie du capteur IR est amplifiée par un amplificateur hacheur à faible bruit et faible décalage avec un gain programmable, puis converti par un modulateur Sigma Delta en un flux binaire unique et transmis au DSP pour un traitement ultérieur. Le signal passe par un filtre passe-bas FIR avec une longueur fixe de 65536. La sortie du filtre FIR est le résultat de la mesure et est disponible dans la RAM interne. La température ambiante correspondante TA et les températures d'objet TO sont calculées. Les deux températures calculées ont une résolution de 0,02 °C.

Un LPF IIR supplémentaire est programmable en EEPROM et permet la personnalisation de la sortie du thermomètre afin de compenser le bruit par rapport au temps de stabilisation (le taux de rafraîchissement des données dans la RAM reste constant), le filtre RII peut également limiter l'effet des objets parasites qui peuvent apparaître dans le champ de vision dans certaines applications.

La sortie PWM peut être activée dans EEPROM comme POR par défaut. Les températures linéarisées (To ou Ta, sélectionnables en EEPROM) sont disponibles via la sortie PWM libre [48].

### III.1.5. Mode de communication

L'interface SMBus est un protocole à 2 fils, permettant la communication entre le périphérique maître (la carte Arduino) et le dispositif esclaves (le capteur MLX90615) . Dans le système, un seul maître peut être présent et le MLX90615 ne peut être utilisé qu'en tant qu'appareil esclave, généralement, le périphérique maître initie le début du transfert de données.

La puce prend en charge un protocole série à 2 fils, construit avec les broches SDA et SCL :

- **Entrée numérique SCL** : utilisée comme horloge pour la communication compatible SMBus. Une impulsion faible sur cette broche avec la durée tREQ passe en mode SMBus au cas où le PWM est sélectionné en EEPROM. Au cas où une opération PWM est souhaitée, la broche SCL doit rester élevée. SMBus est le paramètre d'usine par défaut (via Paramètres EEPROM).
- **SDA / PWM** : Sortie de drain ouvert entrée numérique / NMOS, utilisée pour PWM et entrée / sortie pour le SMBus. (SMBus est la fonction d'usine par défaut)[48].

### III.3.6 Adressage

EEPROM Un nombre limité d'adresses dans la mémoire EEPROM présente un intérêt pour l'utilisateur. La totalité de la EEPROM peut être lu et écrite avec l'interface SMBus. Le contenu entier de l'EEPROM entre les adresses 0x04 et 0x0D doit rester inchangée ou l'étalonnage en usine de l'appareil sera perdu.

Tableau III.5 Liste d'adresses de la EEPROM (RAM).

RAM (16x16)		
Name	Address	Read access
Melexis reserved	0x00	Yes
...	...	...
Melexis reserved	0x04	Yes
Raw IR data	0x05	Yes
T <sub>A</sub>	0x06	Yes
T <sub>O</sub>	0x07	Yes
Melexis reserved	0x08	Yes
...	...	...
Melexis reserved	0x0F	Yes

### III.3.7. Diagramme de performance

La précision du capteur MLX90615 est décrite par les diagrammes de précision ci-dessous, ils représentent la température d'objet (T<sub>O</sub>°C sur l'axe Y ) en fonction de la température ambiante (T<sub>A</sub>°C sur l'axe X)

La plage de température qui nous intéresse est comprise entre 16°C et -40°C de température ambiante et une température d'objet allant de 36°C à 39°C avec une précision de 0.2°C [48].

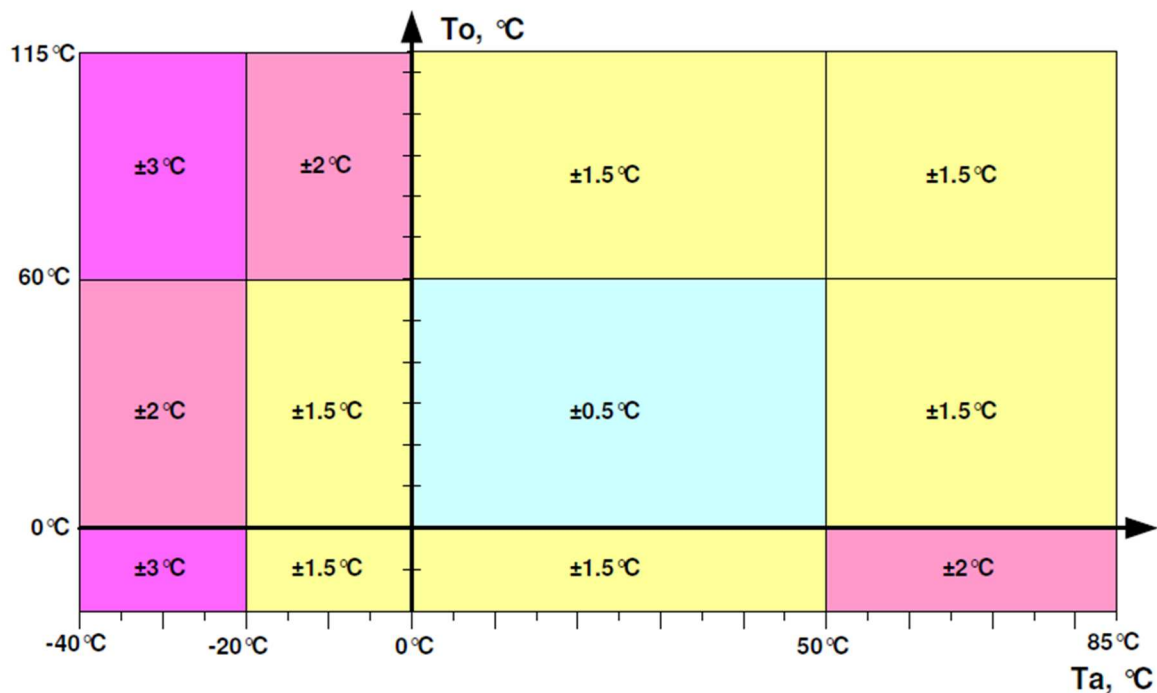
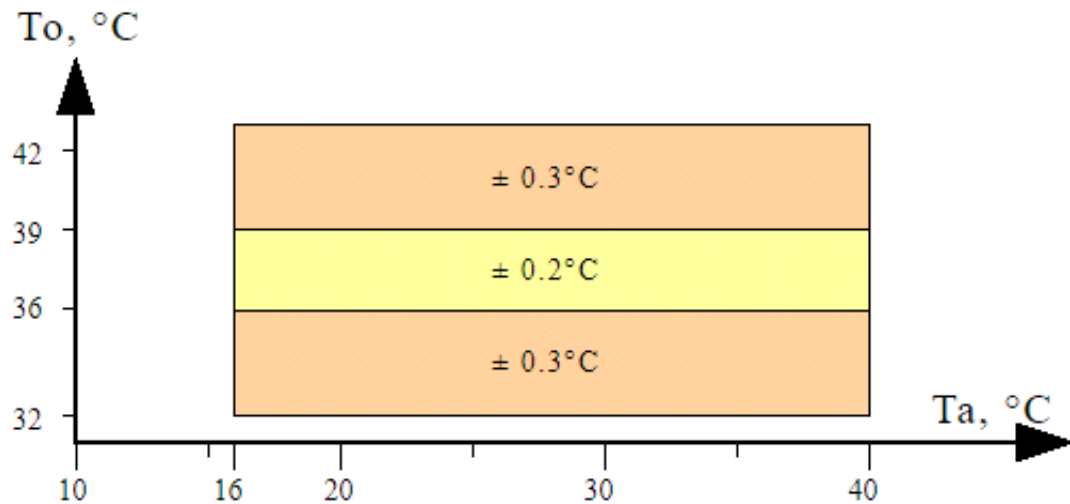


Figure III.14: Diagramme de performance du MLX90615(plage de température totale )



**Figure III.15 :** Diagramme de performance du MLX90615 (plage de température de l'application).

### III.1.7. Caractéristiques et avantages

les caractéristiques et avantages qui ont motivé ce choix sont:

- Petite taille, faible coût et facile à intégrer ;
- Conditionné pour soins de santé et mesure de la température corporelle ;
- Calibrage de haute précision (médical) ;
- Haute précision de 0,5°C sur une large plage de température (0 .. + 50°C pour Ta et To) ;
- Résolution de mesure de 0,02°C ;
- Interface numérique compatible SMBus ;
- Sortie PWM personnalisable pour lecture continue ;
- Disponible en versions 3V et 5V ;
- Différentes options de package pour les applications et mesures polyvalence ;

## III.4. Ampoule chauffante infrarouge en céramique

### III.4.1. Description

Ampoule chauffante infrarouge est une source émettrice de rayons électromagnétique infrarouge, c'est un mode de chauffage sain : les rayons infrarouges pénètrent profondément dans le corps. Ils sont traditionnellement utilisés en médecine et physiothérapie pour leurs propriétés curatives.



**Figure III.16 :** Ampoule chauffante infrarouge en céramique.

### III.4.2. Fiche technique

Dans le tableau ci-dessous nous présenterons les caractéristiques techniques de l'ampoule chauffante choisie.

**Tableau III.6 :** Fiche technique de l'ampoule chauffante infrarouge en céramique [54].

Tension nominale	Puissance	Durée de vie	Matériau
220V	100W	10000 Heures	Céramique, adapté aux environnements humides Pas de lumière émise

### III.4.3 Types de lampes chauffantes

Il est possible de classer les lampes chauffantes selon différents paramètres: selon la forme, le matériau de fabrication ou encore selon de domaine d'application...etc.

Les types de base de la lampe chauffante dépendent de la longueur d'onde émise, en plus des trois types ci-dessous (dont la définition et l'effet sur le corps humain sont cités dans le chapitre 2):

- Ampoule infrarouge court "IR-A"
- Ampoule infrarouge moyen "IR-B"
- Ampoule infrarouge long "IR-C"

- Il existe un quatrième type qui émet les trois longueurs d'onde, il est appelé: lampe chauffante infrarouge a spectre complet (full spectrum), ce type de lampes à infrarouges exerce une forte action thérapeutique sur les muscles et les articulations, il est donc conseillé pour des expositions à courtes durées.

Nous pouvant également les classer selon l'option d'éclairage en :

- Lampe chauffante infrarouge lumineuse
- Lampe chauffante infrarouge non lumineuse

#### **III.4.4 principe de fonctionnement du chauffage infrarouge**

Comme son nom l'indique, le corps d'un d'une lampe chauffante infrarouge en céramique est en céramique. Dans ce corps en céramique, un élément chauffant est inclus. Lorsque l'alimentation est fournie, ce dernier chauffe produit de fortes ondes électromagnétiques. Ces ondes chauffent à leur tour la céramique, La portée est spécifique, elle garantit que la chaleur maximale est absorbée par l'objet ciblé sans émission de lumière ou d'UV.

#### **III.4.5 Caractéristiques et avantages**

- Le chauffage infrarouge en céramique, contrairement au chauffage classique, est beaucoup moins gourmand en énergie ;
- Les pertes en énergie sont minimales, elle converti 85% de la puissance en chaleur ;
- Le temps de chauffe est également très réduit ;
- La céramique retient la majeure partie de la chaleur générée par le courant, d'où son efficacité et sa fiabilité, elle constitue une source de chaleur constante car le noyau en céramique maintient le chauffage même en cas de désactivation du cycle ;
- C'est une source de chaleur sans bruit et sans lumière idéal pour le confort d'un nouveau née ;
- La céramique est un élément chauffant plus sûr, il réduit le risque d'incendie même en cas de contact avec un objet ;
- Les ampoules chauffantes sont relativement petite ce qui les rend facile à transporter ;
- Elle convient notamment à l'endroit humide (pas de risque de dégradation).

### III.4.6. Comparatif des différents systèmes de chauffage

Ce tableau résume la différence entre les propriétés des différents systèmes de chauffage les plus courants afin de mettre en évidence les raisons qui ont motivé notre choix.

**Tableau III.7** comparatif des différents systèmes de chauffage [55].

Systèmes/propriétés	Aérotherme		Chauffage infrarouge		Chauffage de surface
	direct	Indirect	Emetteur de rayonnement	Chauffage au plafond	
Degré d'efficacité	Bon	Faible	Très bon	Faible	Faible
Besoin d'énergie auxiliaire	Considérable	Considérable	Très faible	Existant	Existant
Bruit	Oui	Oui	Aucun	Aucun	Aucun
Mouvement d'air	Oui	Oui	Non	Non	Non
Renouvellement d'air	Possible	Possible	Impossible	Impossible	Impossible
Temps de chauffe	Court	Long	Très court	Long	Très long
Chauffage de zone	Mesure limité	Mesure limité	Possible	Possible	Possible

### III.5 Discussion

Dans le cadre de notre travail, nous avons opté pour la carte Arduino, ce choix est motivé par sa disponibilité et son coût réduit.

Notre choix de capteur s'est porté sur le MLX90615, un capteur de température infrarouge sans contact, conditionné pour des applications médicales, il est conçu à partir d'un détecteur thermopile dont le fonctionnement est décrit en chapitre II et une puce de conditionnement de signal avec une sortie numérique compatible I2C. Quant au chauffage nous avons choisie une lampe infrarouge en céramique émettrice de rayonnement infrarouge lointain pour ses propriétés thérapeutiques et médicales.

*Chapitre IV*  
*Réalisation Pratique*

## IV. 1 Préambule

Dans ce dernier chapitre, nous allons aborder les différentes étapes et la méthodologie de réalisation du prototype d'une table chauffante néonatale qui représente "un système de régulation de température d'un nouveau-né".

Après avoir donné dans les chapitres précédents une description théorique et les différentes notions de base sur le capteur MLX90615, le système de chauffage "lampe chauffante infrarouge", la carte Arduino et son environnement de développement, on va procéder à l'application expérimentale composé d'un dispositif de pilotage du chauffage infrarouge comme première partie, et d'une deuxième partie contrôle et affichage à base d'Arduino.

Nous allons définir un cahier de charges et un organigramme de fonctionnement qui présenterons les besoins auxquels répondra notre application et les étapes à suivre pour ce faire.

## IV.2 Cahier de charges

La table chauffante néonatale est une table équipée d'un système de régulation de température conçu pour fournir et maintenir des conditions cliniques optimales pour les nouveau-nés et les nourrissons.

Dès l'allumage de la table chauffante la température de consigne est réglée grâce au potentiomètre et validé avec un bouton, puis l'état thermique du bébé est évalué à l'aide d'un thermomètre numérique MLX90615, et les valeurs sont affichées sur un afficheur alphanumérique "LCD". En fonction de la température cutanée mesurée, l'Arduino commande l'allumage et l'extinction du chauffage infrarouge en céramique: si la température cutanée est inférieure à la température de consigne le chauffage est allumé automatiquement.

## IV.3. Les étapes de notre réalisation

Notre réalisation pratique a été faite en quatre parties:

### 1. La conception du circuit électronique

Cette partie est primordiale, Il s'agit au cours de cette phase de chercher les différentes structures des blocs constituant notre maquette et qui vont avec nos objectifs

fixés, des composants qui rentrent dans notre budget et aux caractéristiques dont nous avons besoin.

## **2. la programmation**

Dans cette partie nous avons établis l'organigramme de fonctionnement du système, afin de déterminer l'acheminement des étapes de l'exécution du code et en fonction de ce dernier nous avons rédigé le programme à l'aide de l'environnement de programmation l'IDE.

## **3. La réalisation virtuelle sur ISIS PROTEUS**

En exploitant le logiciel ISIS PROTEUS qui est un logiciel de développement et de simulation d'application via un environnement graphique simple et interactif [1], nous avons testé le circuit électrique, ce qui nous a permis de déceler certaines erreurs de branchement dès l'étape de conception avant de passer à la pratique.

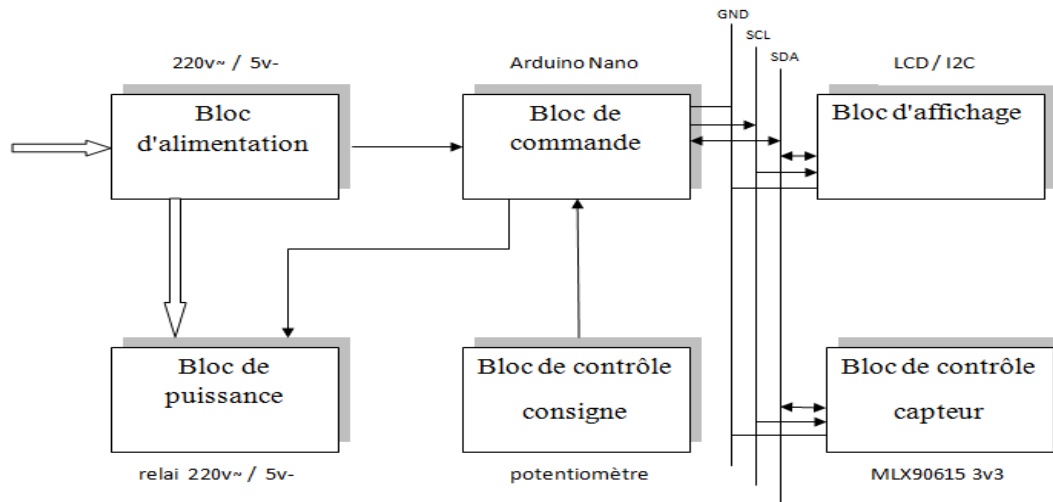
## **4. La réalisation pratique de la maquette**

Après avoir testé les composants et le branchement sur lab d'essai, nous avons procédé à la réalisation de la maquette.

### **IV.4 Schéma synoptique générale**

Le schéma synoptique général de notre dispositif est indiqué par la figure IV.1. Le schéma synoptique est décomposé en quatre blocs:

- bloc commande.
- bloc affichage.
- bloc puissance.
- bloc alimentation.



**Figure IV.1:** Schéma synoptique général.

## IV.5 Conception du circuit électronique

Avant de passer à la réalisation pratique de notre système, nous avons eu recours à la simulation des différentes parties du système. Pour cela nous avons utilisé le logiciel ISIS de simulation.

ISIS (Intelligent Schematic Input System) est principalement connue pour éditer des schémas électriques. Il permet aussi de simuler les schémas réalisés auparavant. Grâce à lui, nous pouvons également contrôler la majorité de l'aspect graphique du circuit [58].

Ce dernier nous a permis de schématiser notre circuit électronique et le simuler virtuellement comme le montre la figure IV.2.

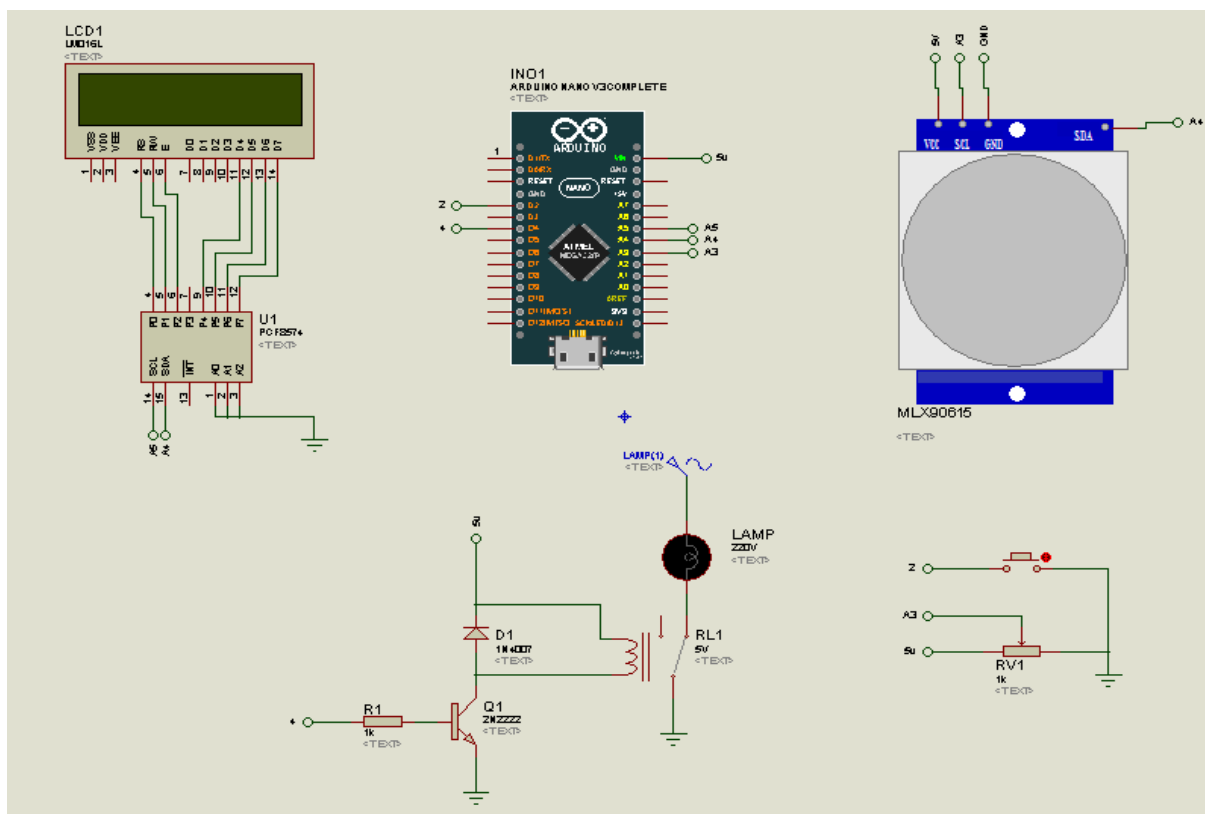


Figure IV.2: Réalisation virtuelle du circuit électrique sur ISIS.

Pour faciliter la compréhension de ce circuit, nous l'avons décomposé en quatre blocs :

### 1. Bloc commande

Ce bloc représente la carte Arduino Nano qui est l'élément principale de notre réalisation il assure l'interfaçage et la commande des blocs périphériques. Son mode de fonctionnement est détaillé en chapitre III.

### 2. Bloc contrôle

Le bloc de contrôle est composé de deux sous-blocs:

#### a. Bloc de consigne

La consigne est réglée à l'aide d'un potentiomètre connecté à la broche A3 et alimenté par la broche 5v; La température indiquée varie proportionnellement à sa résistance, la consigne est validée par un bouton connecté a la broche 2.

#### b. Bloc de capteur

La température ambiante et la température cutanée sont mesuré par le capteur MLX90615 connecté aux pins A4 et A5 qui représente respectivement les pins SDA et SCL, alimenté par le pin VCC connecté au 3v3 de l'Arduino.

### 3. Bloc affichage:

Les résultats obtenus du bloc de contrôle "capteur" sont affichés avec l'afficheur alphanumérique, l' LCD de deux lignes de 16 caractères dispose de 8 lignes de données (DB0 à DB7) et de 2 lignes de commandes (RS, R/W, E). Nous avons utilisé le module I2C "PCF8574" pour permettre une commande par bus I2C, cette interface réduit le nombre de lignes de transmission à 4 comme décrit dans la figure ci-dessous:

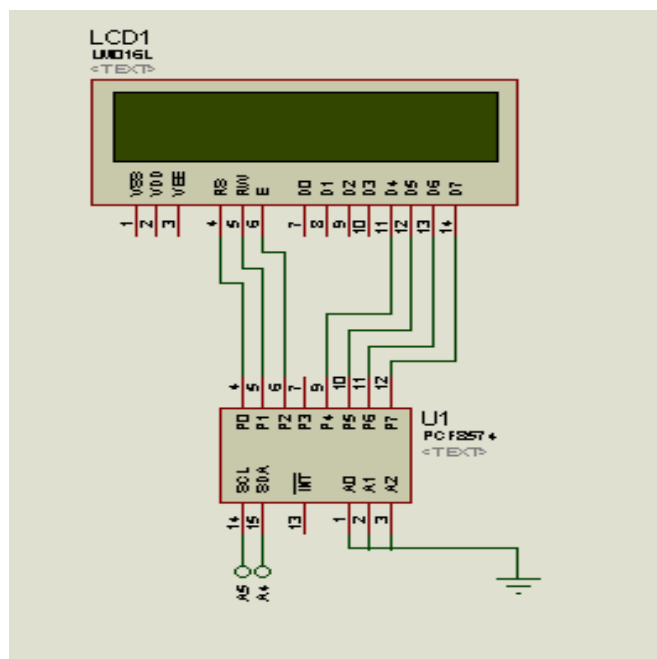
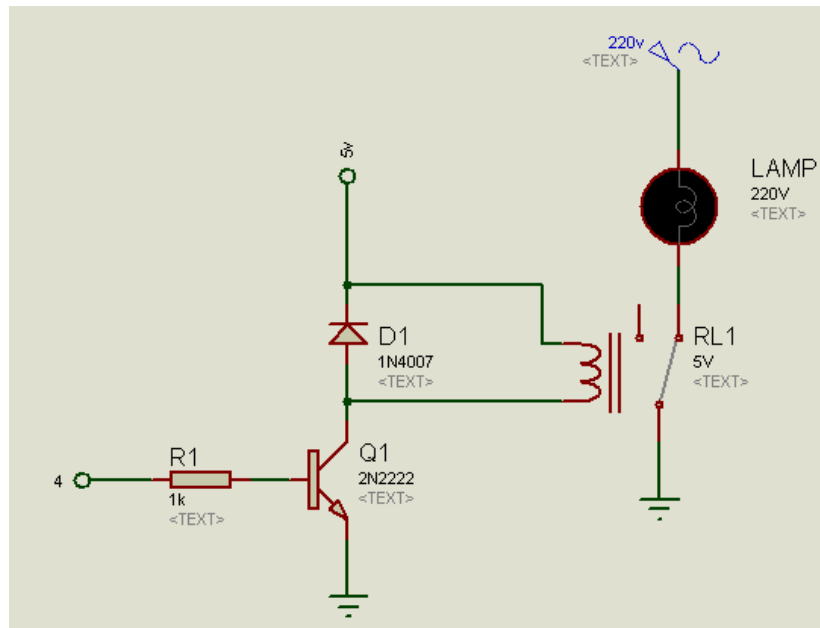


Figure VI.3: Connexion LCD/module I2C.

### 4. Bloc de puissance:

Nous avons vu dans le chapitre III que l'Arduino ne peut fournir que du 3v3 et 5v d'énergie électrique. Ainsi, lorsqu'il s'agit d'alimenter la lampe chauffante infrarouge de 100W en 220v, la carte Arduino devra être secondée en puissance électrique et protégée de tout risque de "roue libre", nous allons donc utiliser le courant fourni par Sonelgaz comme alimentation principale et nous allons la piloter à l'aide de la carte Arduino alimenté en 5V. Nous allons commencer par séparer le circuit de commande du circuit de puissance comme illustré dans la figure ci-dessous:



**Figure IV.4 :** Séparation du circuit de puissance du circuit de commande.

La carte Arduino qui est le circuit de commande, va, grâce à du courant envoyé par la pin 4, pouvoir déclencher des passages de courants, en pilotant un transistor et un relai (annexe D) qui a leurs tour permettent l'allumage ou l'extinction de la lampe chauffante ( ce circuit fait office d'interrupteur).

### Remarque

La diode de roue libre D1 "1N4007" placée en parallèle avec le relai sert de diode de protection qui empêche le retour du courant.

## 5. Bloc d'alimentation

Le bloc sera alimenté par le courant fourni par Sonelgaz "220v alternatif 50hz" et desservira la lampe chauffante en 220v alternatif et l'Arduino par une ligne 5v continue obtenue à l'aide d'un transformateur 220v/5v (Chargeur de batterie).

## IV.6 Organigramme de fonctionnement

La figure ci-dessous décrit l'organigramme de fonctionnement du dispositif.

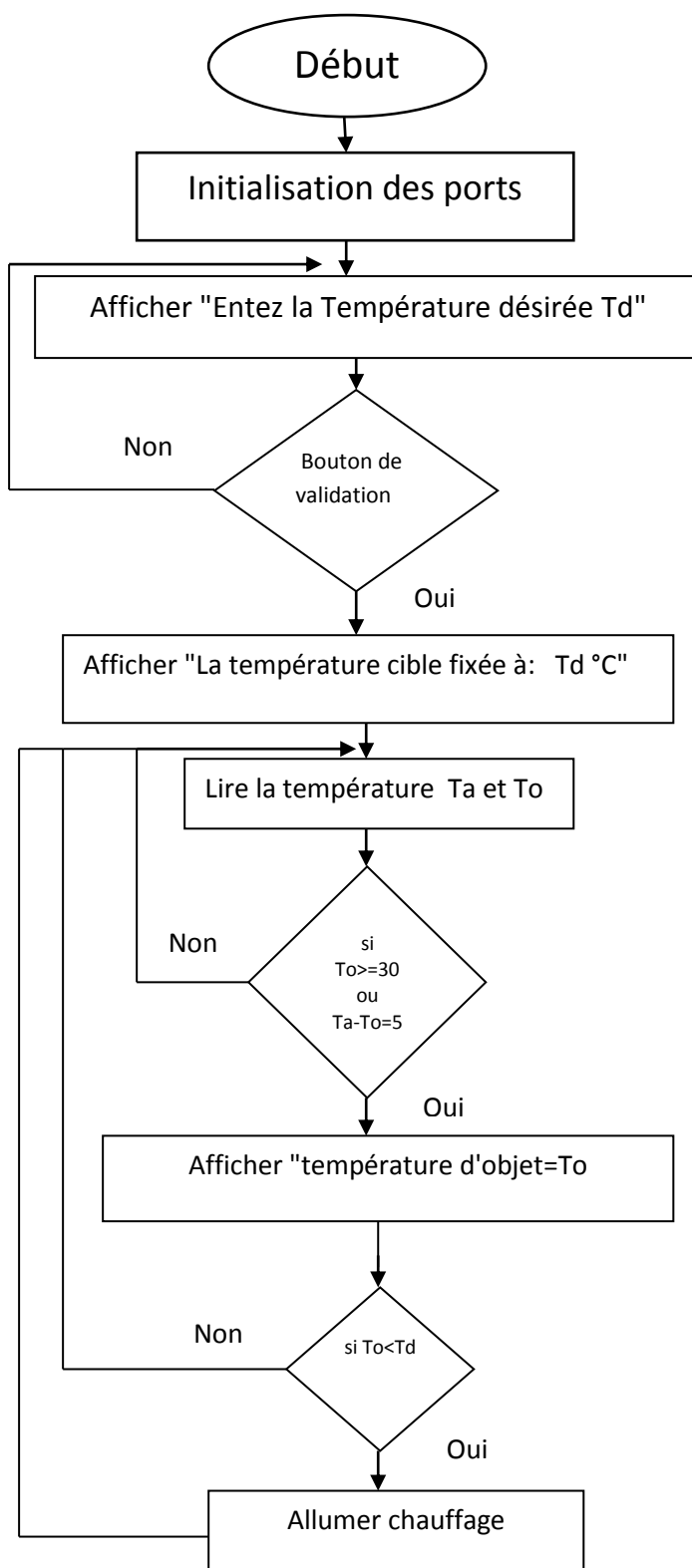


Figure IV.5 : Organigramme de fonctionnement.

## IV.7 Réalisation circuit électrique

Dans cette partie nous effectuons la réalisation de notre circuit

### IV.7.1 Teste sur breadboard

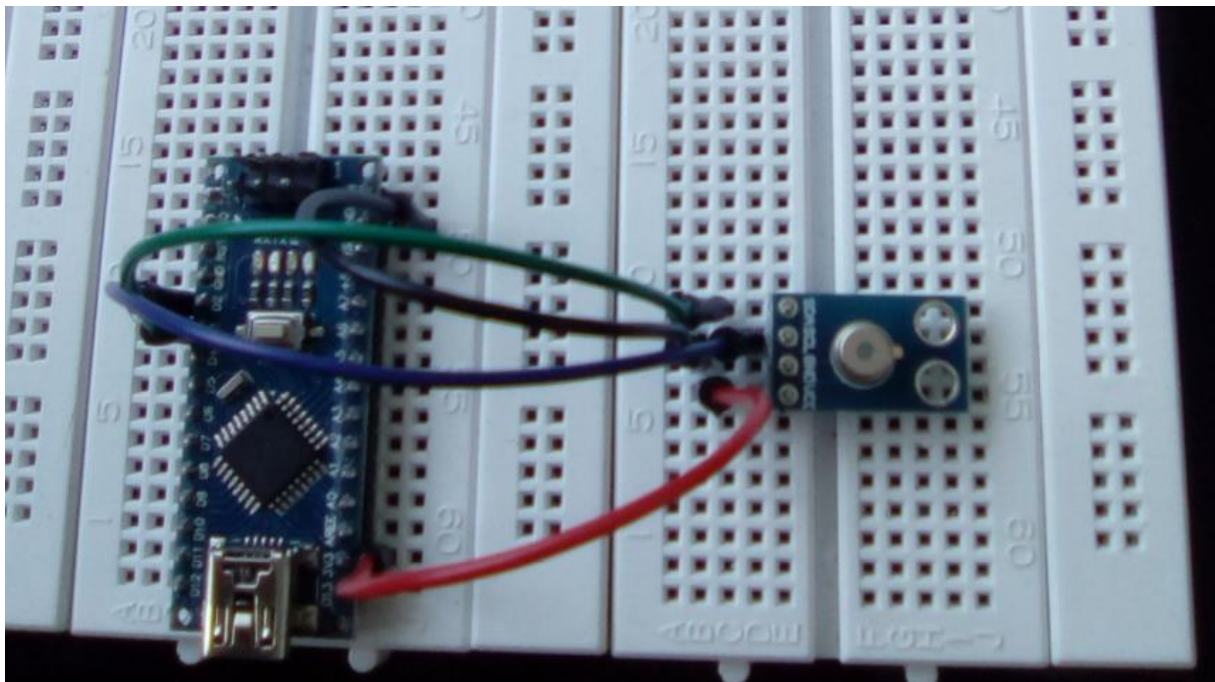
Pour faire le montage électrique nous avons d'abord branché l'ensemble des composants sur « breadboard » pour le tester.

**Bread board :** (c'est une plaque en plastique qui permet de tester des circuits sans avoir à souder, juste en plaçant des fils dans des trous, les trous sont reliés de manière horizontale entre eux, sauf pour les lignes bleues et rouges (utilisées pour l'alimentation) qui eux sont reliés verticalement).

- **Teste capteur MLX90615 :**

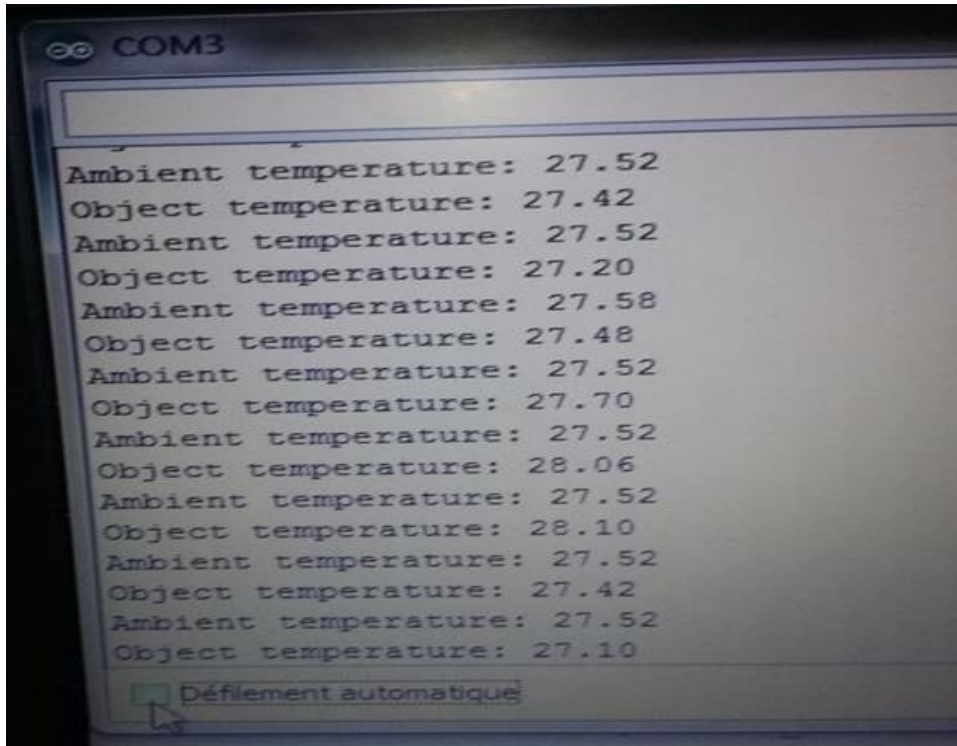
Tout d'abord, nous avons testé notre capteur de température infrarouge MLX 90615 en le branchant à l'Arduino NANO via un câble USB pour transmettre et tester la librairie, afin d'assurer son bon fonctionnement.

Nous avons commencé le montage en reliant la masse du capteur au GND de la carte Arduino. Ensuite nous avons fait de même avec l'alimentation 3V3 de la carte Arduino et l'alimentation du capteur. Nous avons également relié les broches de communication série du capteur aux broches de la carte Arduino. SDA et SCL respectivement reliés aux broches A4, A5. La figure IV.6 illustre cette connexion.



**Figure IV.6 :** Connexion ARDUINO NANO et MLX90615.

Après avoir téléverser le programme dans la carte Arduino nous avons ouvert le moniteur série dans l'ongle « outils » pour voir, en temps réel, les valeurs numériques mesurée en sortie du capteur, les températures ambiante  $T_a$  et cutanée  $T_o$ .



**Figure IV.7 :** Résultat sur moniteur série.

Après ces résultats sur le moniteur série, nous avons ajouté l'ensemble des composants afin de tester l'ensemble du montage.

- **Circuit d'isolation galvanique**

On applique un signal de commande sur la base du transistor via une résistance de 1k. Le transistor fonctionne alors comme un interrupteur qui relie la bobine du relais au circuit de commande. Cette dernière est ainsi parcourue par un courant, le relais est actionné. La diode placée en parallèle de la bobine (inductance), a pour rôle de protéger le transistor contre des surtensions destructrices lors de l'ouverture de ce dernier. Elle est appelé diode de roue libre.



Figure IV.8 : circuit d'isolation galvanique

- **Le potentiomètre**

Via le potentiomètre nous pouvons ajustés manuellement la température cutanée désirée, La borne du milieu correspond au curseur (partie variable) alors que les autres bornes correspondent aux extrémités de la résistance. Nous l'avons relié a l'Arduino : broche 1 vers le VCC, proche 2 vers le pin A3 et le dernière vers le GND.

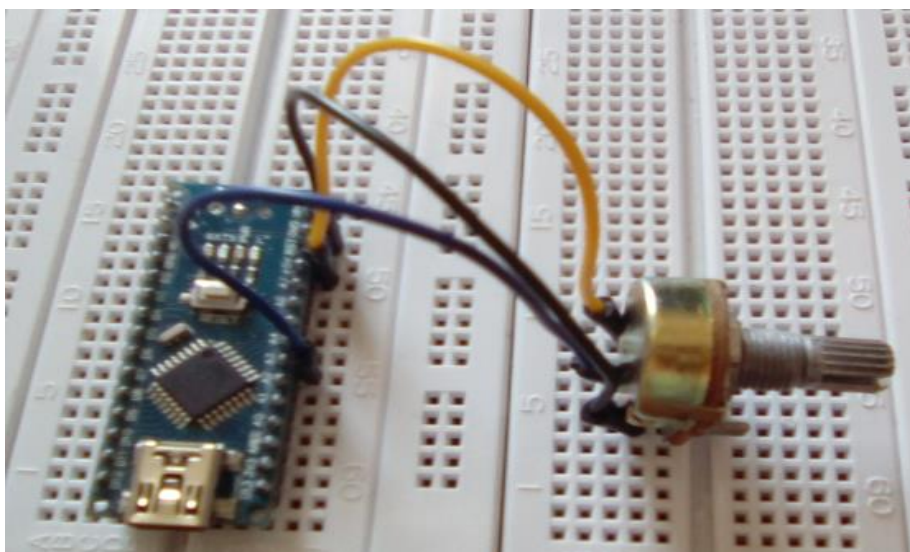


Figure IV.9 : potentiomètre connecté a l'Arduino.

- **Le bouton poussoir**

La connexion du bouton poussoir a l'Arduino se fait avec une résistance de pull up, cette résistance facilite la détermination de l'état des broches (0 ou 1), elle sert à tirer le potentiel vers le haut ou vers le bas. Dans notre cas, la résistance pull up interne de l'Arduino est activée lors de la programmation, on l'a connecté au pin D2.

- **Afficheur LCD**

Pour afficher les deux températures, ambiante et cutanée, nous avons utilisé l'afficheur LCD avec module I2C, pour réduire le nombre de connexion à seulement 4 fils lors du branchement à l'Arduino ,

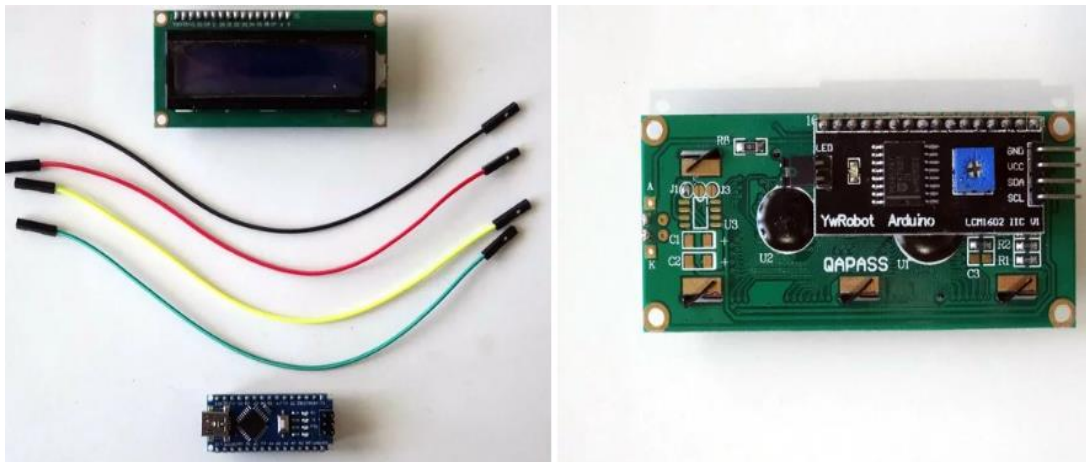


Figure IV.11 : Branchement de LCD et mon module I2C.

## IV.7.2 sur la plaque a soudé

Après le teste, nous avons commencé le soudage sur la plaque d'expérimentation.

**La plaque a soudé:** est un circuit imprimé servant de support physique pour l'assemblage d'un plus ou moins grand nombre de composants électroniques. Il dispose de pastilles de cuivre ou de bandes de cuivre, et est percé avec des trous régulièrement espacés.

Voici un aperçu du montage électronique complet réalisé :

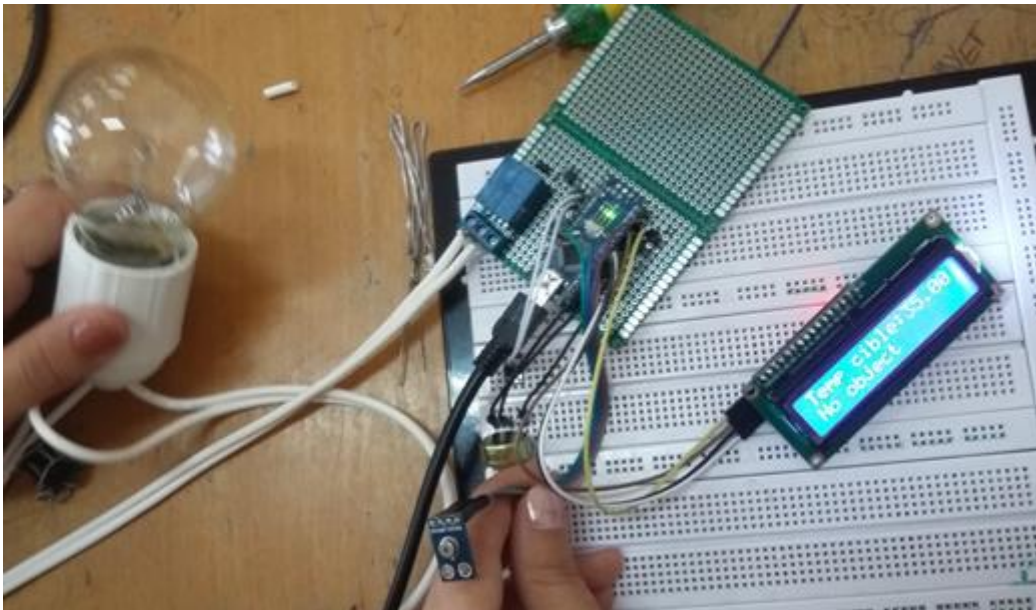


Figure IV.12 : le montage électronique complet.



Figure IV .13 : l'unité de contrôle dans le boîtier.

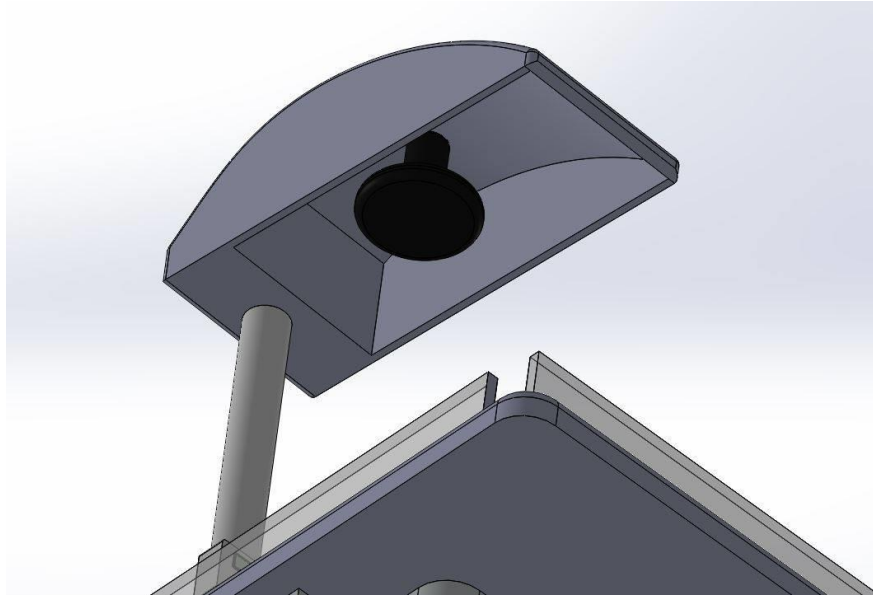
## IV.9. Présentation en 3D

Pour faire une présentation externe de notre système nous avons utilisé un logiciel de conception 3D : SolidWorks.

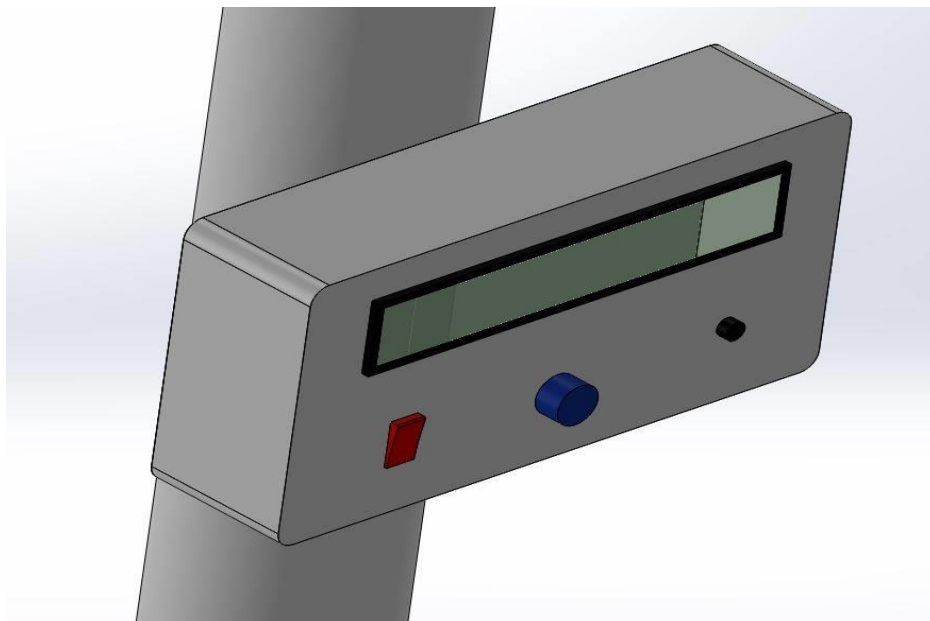
Le logiciel SolidWorks est une application de conception mécanique qui tire partie de l'interface utilisateur graphique de Microsoft Windows. Grâce à ce logiciel, les concepteurs peuvent esquisser rapidement une idée, expérimenter avec des fonctions et des cotes et produire des modèles et des mises en plan précis [58].



**Figure IV.9 :** Vu d'ensemble de la table chauffante



**Figure IV.10** : La partie chauffage.



**Figure IV.11** : Partie commande

## IV.9 Discussion

Ce chapitre résume la réalisation pratique d'une table chauffante néonatale. A travers les différents sous titres, nous avons étudiés les quatre blocs qui constituent ce dispositif. Nous avons illustré notre conception par des schéma synoptique et électrique du système globale pour mieux exposer notre travail.

L'ensemble des travaux décrits dans ce chapitre :

- La conception du circuit électronique.
- La programmation.
- La simulation sur ISIS PROTEUS.
- La réalisation pratique.

Nous avons initié notre chapitre par la réalisation du circuit électrique sur PROTEUS, l'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception. Ensuite la programmation de la carte Arduino et la présentation de son organigramme de fonctionnement. En fin la réalisation pratique du montage illustré par des images réelles montrons les testes et le résultat retrouvé et une conception de la table en 3D à l'aide du logiciel SOLID WORKS.

# *Conclusion*

Ce projet a pour objectif de concevoir et réaliser une table chauffante néonatale, afin d'améliorer les soins apportés aux nouveau-né et répondre aux exigences d'ordre médicale néonatale. Ce dispositif est conçu, principalement, pour contrôler et stabiliser la température corporelle du nouveau-né à une moyenne de  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  grâce à un système de chauffage régulé.

Pour répondre à ce cahier des charges, notre dispositif est doté d'un capteur de température infrarouge sans contact MLX90615 pour la mesure de la température cutanée et de la température ambiante, il est composé d'un thermopile et d'une puce de traitement de signal pour une sortie numérique; le dispositif est également doté d'un chauffage infrarouge en céramique qui exploite l'infrarouge lointain qui a des propriétés thérapeutiques et curatives; pour la commande, nous avons choisi d'implémenter un potentiomètre pour ajuster la température de consigne et un bouton poussoir pour sa validation; les résultats de la mesure sont affichés sur l'afficheur LCD; le tout est piloté par un Arduino Nano.

Nous avons effectué des tests sur lab d'essai avant de connecter l'ensemble des composants sur une plaque à souder.

Cet équipement peut être utile en toutes circonstances, en plus d'être utilisé comme table de soins, il peut être utilisé comme table de réanimation et table d'opération, c'est pour ce la, en guise de perspectives, il peut être complété par des options:

- système de contrôle d'humidité.
- Unité de photothérapie.
- Unité de réanimation.
- Système de contrôle a distance.
- Un système de sécurité : des alarmes sonores et visuelles.
- Une deuxième source de chauffage: un matelas chauffant.
- Eclairage avec une lampe à intensité lumineuse réglable.

*Résumé et mots clefs*

## **Résumé**

Ce projet a pour objectif de concevoir et réaliser une table chauffante néonatale, afin d'améliorer les soins apportés aux nouveau-né et répondre aux exigences d'ordre médicale néonatale. Ce dispositif est conçu, principalement, pour contrôler et stabiliser la température corporelle du nouveau-né à une moyenne de  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  grâce à un système de chauffage régulé.

Pour répondre à ce cahier des charges, notre dispositif est doté d'un capteur de température infrarouge sans contact MLX90615 pour la mesure de la température cutanée et de la température ambiante, il est composé d'un thermopile et d'une puce de traitement de signal pour une sortie numérique; le dispositif est également doté d'un chauffage infrarouge en céramique qui exploite l'infrarouge lointain qui a des propriétés thérapeutiques et curatives; pour la commande, nous avons choisi d'implémenter un potentiomètre pour ajuster la température de consigne et un bouton poussoir pour sa validation; les résultats de la mesure sont affichés sur l'afficheur LCD; le tout est piloté par un Arduino Nano.

Nous avons effectué des tests sur lab d'essai avant de connecter l'ensemble des composants sur une plaque à souder.

## **Mots clefs**

Table chauffante, couveuse, le phénomène infrarouge, la carte Arduino, thermorégulation, les soins néonataux, capteur thermique, MLX90615.

# *Bibliographie*

- [1] FERRON. M., « La relation entre qualité de vie et santé : une question épistémologique ». Mémoire de maîtrise, Anthropologie, Université de Montréal, 2011.
- [2] PAILLET. A., « Sauver la vie, donner la mort. Une sociologie de l'éthique en réanimation néonatale ». La Dispute, Paris, 2007.
- [3] Yatsyk GV, Odinaev ND ; « un guide pratique de néonatalogie », 2008.
- [4] MERAH. A. « L'information sur la santé en Algérie. Etude d'une expérience réussie mais isolée », Algérie, 2009.
- [5] Sermet-Gaudelus, Chadelat, G. « Lenoir La mesure de la température en pratique pédiatrique quotidienne », 2005.
- [6] Organisation mondiale de la Santé, Département Santé et Recherche génésiques « Guide pratique en néonatalogie », 1997.
- [7] CHAPELLE. N, « Fièvre Aiguë de l'Enfant de Moins de Six Ans », THÈSE Pour obtenir le grade de DOCTEUR EN MÉDECINE, Faculté de Médecine de Nancy, Université de LORRAINE, , 2012.
- [8] T. M. Berger, Lucerne et all, « Prise en charge des nouveau-nés à la naissance » , 2000.
- [9] « La protection thermique du nouveau-né : guide pratique », Santé de la mère et du nouveau-né / Maternité sans risque. Division de la Santé productive (Appui technique). Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1994.
- [10] MAUPIN. T, SAVARY. D, « Le patient hypotherme », URGENCES 2009, Centre Hospitalier d'Annecy, France, 2009.
- [11] Développé par le Comité interprofessionnel d'éducation et de recherche Du Programme régional des nouveau-nés maternels de Champlain (CMNRP) , Juin 2013.
- [12] Askin. D. « Adaptation du nouveau-né à la vie extra-utérin », 2008.
- [13] Cours du Comité éditorial pédagogique de l'UVMaF, 2011-1012
- [14] Adjedj. A, Desreumaux. C., Pauchard. V., « Les principaux dispositifs médicaux dédiés à la néonatalogie », Projet MASTER MTS, UTC, 2004-2005.

- [15] Ziemowit Ostrowski et al, « Dry heat loses of newborn baby in infant care bed », *J. Phys. : Conf. Ser.* 745 032087, 2016.
- [16] François DUCHATEL, « Histoire de la réanimation néo-natale », 1979.
- [17] <http://www.ameqs.ru/info/shop/71/>. Date de dernière consultation : 02/05/2018.
- [18] <http://polypharma90.com/fr/tables-de-reanimation/52-table-de-reanimation-neonatale-hkn-90.html>. Date de dernière consultation : 02/05/2018.
- [19] <http://www.medicalexpo.fr/prod/ningbo-david-medical-device/product-69526-686511.html/> Date de dernière consultation : 02/05/2018.
- [20] <http://www.utl-morlaix.org/wp-content/uploads/2017/06/> . Date de dernière consultation : 05/05/2018.
- [21] [http://ligis.ru/tech\\_52.htm](http://ligis.ru/tech_52.htm). Date de dernière consultation : 05/05/2018.
- [22] Cédric PRAUD et al, « Historique de la découverte des rayons infrarouges et de leurs effets », IRL France SAS, 2010.
- [23] Lain Tranet, « [L'homme est capable de voir en infrarouge !](#) » *Journal de la science*, mis en ligne le 2 décembre 2014 .
- [24] [http://www.irl-france.fr/uploads/assets/intranet/Historique\\_de\\_Newton\\_a\\_IRL\\_France.pdf](http://www.irl-france.fr/uploads/assets/intranet/Historique_de_Newton_a_IRL_France.pdf) , Date de dernière consultation : 05/05/2018.
- [25] Energo Sovet, « conservation de l'énergie, l'efficacité énergétique, les technologies d'économie d'énergie », 2006-2018.
- [26] Kha Academy, « La lumière : ondes électromagnétiques, spectre électromagnétique et photons », consulté le 31 janvier 2018.
- [27] Grazyna Palczewska et al., « Human infrared vision is triggered by two-photon chromophore isomerization », *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, vol. 111, no 50, 16 décembre 2014
- [28] PORTAUX Remy SURKUS Eric, « La thermographie », 2010.
- [29] <https://www.herschel-infrarouge.fr/fondamentaux/types-de-chauffage-a-infrarouge> , Date de dernière consultation : 12/06/2018.

[31] <http://www.universalis.fr/encyclopedie/infrarouge/>, Date de dernière consultation : 03/08/2018.

[32] [https://www.ahlborn.com/fr\\_FR/mesure-infrarouge](https://www.ahlborn.com/fr_FR/mesure-infrarouge) , Date de dernière consultation : 12/06/2018.

[33] Christoph Escriba, « conception et réalisation et Caractérisation de capteurs infrarouges à thermopiles: Application à la détection de présence passive dans l'habitat », 2005.

[34] Wala hassis, « Etude de structures avancées pour la détection IR quantique à haute température »,2014.

[35] Marie Huyez-Levrat, « Pratiques et outils de mesure des rayonnements naturels dans les domaines visible, solaire et infrarouge » 11 Août 2009, Mise à jour : 16 Juillet 2013.

[36] <https://www.sensortips.com/temperature/infrared-temperature-sensor/&prev=search>, Date de dernière consultation : 29/04/2018.

[37] <http://www.heat-tech.biz/products-eph/eph-gj/eph-gj-ek/1177.html> , Date de dernière consultation : 29/04/2018.

[38] <http://www.watlow.fr/products/guides/sensor/index.cfm>, Date de dernière consultation : 29/04/2018

[39] <http://www.raytek.com.mx/raytek/fr-r0/ireducation/fonctionnementir>, Date de dernière consultation : 13/06/2018.

[40] Christian Tavernier" Les Cartes à puces Théorie et mise en œuvre" 2ème édition Dunod, 2011.

[41] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment/>. Date de dernière consultation : 26/06/2018

[42] TX ROBOTIC ROBOTS PARTS & TOOLS " Tableau comparatif des différentes cartes Arduino", 2018

[43] LECHALUPÉ Julien, ASTUPS - CampusFab, " Cours d'initiation à Arduino", 2016

[44] Eric Bartmann "Le grand livre d'Arduino", 2<sup>ème</sup> édition, éditeur Serial Markers, Copyright 2015 Eyrolles

[45] <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano/> , Date de dernière consultation : 18/02/2018

[46] Camille Diou, LICM, Université de Metz "INTRODUCTION AU BUS I2C",2015.

[47] Michael Margolis, « La boîte à outils ARDUINO : 105 techniques pour réussir vos projets », édition DUNOD. 30/10/2013.

[48] Melexis, "Microelectronic integrated system", MLX90615 Infra Red Thermometer, Datasheet 8 novembre 2013.

- [49] Janssen, Erwin, van Roermund, Arthur" Look-Ahead Based Sigma-Delta Modulation" 2011
- [50] Guy Binet, « Traitement numérique du signal: Signaux et systèmes discrets », édition Ellipsesn, 17/09/2013.
- [51] Professor Kurt Keutzer," Digital Signal Processors:Applications and Architectures", automne 2000.
- [52] <http://eesemi.com/to46.htm/>, Date de dernière consultation : 20 mai 2018.
- [53] <https://skyduino.wordpress.com/2013/11/02/arduino-capteur-de-temperature-sans-contact-mlx90614/>, Date de dernière consultation : 02/11/2013
- [54] <https://www.cdiscount.com/maison/r-ampoule+chauffante+100+w.htm>, Date de dernière consultation : 05/07/2018
- [55] SCHWANK "Chauffage infrarouge schwank principe et fonctionnement", 19/05/2018.
- [56] <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php> 13/09/2018., Date de dernière consultation : 10/09/2018
- [57] M. TOURE Mohamed Lamine, cours de Proteus professionnel ,2016.
- [58] SolidWorks Corporation, « Guide de l'étudiant du logiciel SolidWorks »,2011.

annexes

## **Annexe A**

### **Détecteurs quantiques**

On distingue deux types de détecteurs quantiques :

Les détecteurs photoconducteurs (PC) et les détecteurs photovoltaïques (PV).

Ces détecteurs, réalisent tous la conversion des photons incidents en charges électriques via l'absorption optique et ont pour principal inconvénient un fonctionnement à des températures cryogéniques.

#### **Les détecteurs photoconducteurs**

Ce type de détecteur est constitué par un ensemble de résistances variables modulées par le flux de photons incidents. Le passage de courant dans ces photoconducteurs entraîne une variation de la conductivité électrique liée à la création de paires électrons-trous au cours de l'absorption optique. Leur principal avantage est leur capacité à détecter dans l'infrarouge lointain là où l'énergie des photons est faible.

#### **Les détecteurs photovoltaïques**

La transformation de la lumière en courant peut être observée à travers plusieurs structures parmi lesquelles on cite : les jonctions p-n, les hétérojonctions, les barrières Schottky, les structures à barrière dites structures.

Une cellule photovoltaïque ou photopile est un photorécepteur qui transforme directement la lumière du soleil en énergie électrique. Elle se présente sous la forme d'une plaque de silicium pouvant aller d'une surface de quelques millimètres carrés pour un capteur météorologique à plusieurs mètres carrés pour le toit d'une maison.

Le principe de fonctionnement est identique à celui d'une photodiode où les photons vont exciter les électrons du silicium ce qui génère une force électromotrice.

## Annexe B

**Tableau comparatif des différents capteurs étudié**

Référence	LMT70	LM35	MAX6672	MLX90615
Constructeur	Texas Instrument	Texas Instrument	Maxim	Melexis
Technologie	Thermistance (résistive)	Capacitive	Thermistance	Thermopile
Précision	0.05°C	0.5°C	0.36°C	0.2°C
Type de sortie	Analogique	Analogique	Digital	Digital
N <sup>bre</sup> de températures délivrées	1 Température ambiante	1 température d'objet avec contact	1 température ambiante	2 (Température ambiante + Température d'objet) sans contact
Tension d'alimentation	2V / 5.5V	4V / 30 V	2.4V / 5.5 V	3V / 5V
Package	DSBGA-WLCSP	TO-NVD	SC-70	TO-46
Plage de température	-55°C/150°C	-55°C/150°C	-40°C/ 125°C	-40°C/85°C Ta -40°C/115°C To

## Annexe C Cartes d'extension

### . Cartes d'extension

De nombreuses cartes d'extension sont fabriquées à partir de simples dispositifs de prototypage, la présence de ces cartes est une caractéristique distinctive qui étend les fonctionnalités d'Arduino en lui donnant de nouvelles opportunités. Arduino n'est pas seulement un concepteur électronique, mais un outil de développement unique qui permettra de connecté sur sa plate forme des carte pour contrôler divers périphérique, recevoir des données,

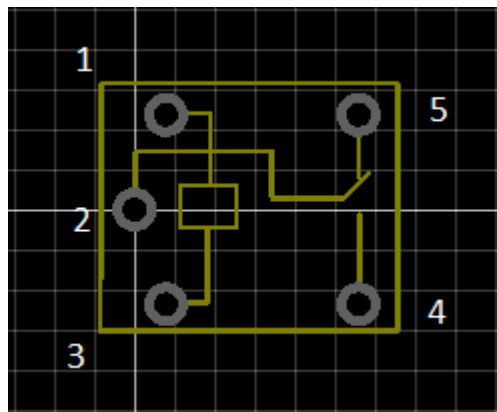
- La carte d'extension WiFi est utilisée pour se connecter aux réseaux sans fil 802.11b/g.

- La carte d'extension Xbee Shield fournit une communication sans fil à plusieurs périphériques Arduino dans un rayon allant jusqu'à 35 mètres (à l'intérieur) et jusqu'à 90 mètres (à l'extérieur) avec le module Maxstream Xbee Zigbee.
- La carte d'extension Motor Shieldf un contrôle du moteur à courant continu et des capteurs de position de lecture.
- La carte d'extension Ethernet Shield fournit une connexion Internet.

## Annexe D

Le relai est un dispositif permettant d'isoler électriquement deux parties électroniques ou électriques entre elles (isolation galvanique). Il est composé de deux parties: La partie commande/opérative qui fonctionne en 5 volt continue, elle commande un contact permettant dans la seconde partie le passage d'un courant à 10 A pour une tension allons jusqu'à 220 Volt en alternatif.

Voici le schéma de connexions du relai:



**Figure:** schéma de connexions du relai.