

**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**  
**Département Génie Biomédical**  
**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**de MASTER ACADEMIQUE**  
Spécialité :  
**Instrumentation Biomédicale**  
Filière :  
**Génie Biomédical**  
Par  
INGRACHEN Redouane  
Thème

---

**Etude et conception d'une table chauffante destinée  
aux nouveau-nés**

---

Soutenu le : 26/09/2024

**Devant le jury :**

<b>Président :</b>	Mr. HOCINI Farid	Grade	MCB
<b>Promoteur :</b>	Mr. L'Hocine MOUAS	Grade	MCB
<b>Examineur :</b>	Mr. Samy Hassani OULD OUALI	Grade	MCB

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu, le Tout puissant et Miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, je souhaite exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur, **M. L'Hocine MOUAS**. Son accompagnement, ses conseils avisés et son soutien constant ont été essentiels tout au long de ce projet. Je lui suis particulièrement reconnaissant pour sa disponibilité et son engagement, qui m'ont permis de progresser et d'enrichir ma réflexion.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre projet en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Je tiens également à remercier mes parents mon père et ma mère pour leur soutien soit émotionnelle soit matérielle.

Enfin, je souhaite à exprimer mes sincères remerciements à l'ensemble des enseignants et à tout le personnel de la faculté de Génie Electrique et d'informatique (FGEI).

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents qui sont sans cesse à mes côtés ;*

*Mes très chères sœurs **Randa, Rania et Romai**ssa qui m'ont toujours soutenue ;*

*Cette personne **D.T** qui m'a toujours soutenue tout au long de mon parcours universitaire ;*

*Tous mes amis(es) qui je peux pas tous les citer.*

# Sommaire

*Remerciements*

*Dédicaces*

*Liste des abréviations*

*Liste des figures*

*Liste des tableaux*

*Introduction générale*

## ***Chapitre I : Généralités sur les tables chauffantes et la thermorégulation chez les nouveau-nés***

1. Introduction .....	1
2. Historique .....	1
2.1. Température corporelle .....	1
2.2. Température cutanée .....	2
2.3. La différence entre la température cutanée et la température corporelle .....	2
3. Thermorégulation chez le nouveau-né .....	2
4. Préprocessus de la thermorégulation chez le nouveau-né .....	3
4.1. Production de chaleur .....	3
4.2. Transfert de chaleur .....	3
5. Problèmes de la thermorégulation chez le nouveau-né .....	4
5.1. Hyperthermie .....	4
5.2. Hypothermie .....	5
5.3. L'hypothermie chez le nouveau-né .....	5
5.3.1. Conséquences de l'hypothermie .....	6
5.4. Conséquences de l'hypothermie .....	6
6. Protection thermique du nouveau-né .....	6
6.1. Premiers soins .....	7
6.2. La technologie dans la protection thermique de nouveau née .....	7
7. Principaux dispositifs médicaux destinée au service néonatal .....	8
7.1. La couveuse .....	8
7.2. La table chauffante .....	9
7.2.1. Présentation .....	9
7.2.2. L'historique .....	10
7.2.3. Le choix d'une table chauffante .....	11
7.2.4. Quelques tables chauffantes existantes dans le marché .....	12
7.2.4.1. Table de Réanimation Néonatale - Dräger Babyroo TN300 .....	12
7.2.4.2. Table de réanimation pédiatrique néonatale HKN-93A .....	13
7.2.4.3. Table chauffante Shvabe SNO – Suisse .....	15
8. Conclusion .....	16

## ***Chapitre II : Les composants électroniques et électriques pour la réussite de notre projet***

1. Introduction .....	18
2. La carte électronique programmable Arduino .....	18
2.1. Description .....	18
2.2. Les différentes gammes de carte Arduino.....	19
2.3. Les différents types des cartes Arduino .....	20
2.4. Présentation générale du logiciel de programmation.....	21
2.5. Le langage de programmation.....	22
2.6. Domaine d'utilisation .....	24
2.7. Les avantages de la carte Arduino .....	24
3. La carte arduino UNO .....	25
3.1. Description .....	25
3.2. Caractéristiques technique .....	27
3.3. Le microcontrôleur ATmega328 .....	27
3.4. Le Brochage .....	28
3.5. Alimentation.....	30
3.6. Le mode de communication.....	30
3.7. Architecture d'un réseau mono-maitre .....	31
3.8. Architecture d'un réseau multi-maitre .....	32
3.9. Modulation de largeur d'impulsion (PWM) .....	32
4. Capteur numérique DS18B20.....	34
4.1. Description .....	34
4.2. Diagramme bloc de DS18B20 .....	35
4.3. Structure interne de DS18B20 .....	36
4.4. Mode de fonctionnement .....	37
5. Capteur analogique LM35 .....	37
5.1. Description .....	37
5.2. Brochage de capteur LM35 .....	38
6. Afficheur LCD 16×2 .....	38
6.1. Description .....	38
6.2. Branchement de l'écran LCD .....	39
7. Conclusion .....	40

## ***Chapitre III : Partie réalisation pratique***

1. Introduction .....	42
2. Cahier de charges .....	42
3. Les étapes de notre réalisation .....	43
3.1. La conception du circuit électronique.....	43
3.2. La programmation .....	43
3.3. La réalisation virtuelle sur ISIS Proteus .....	43

3.4. La réalisation pratique de la maquette .....	43
3.5. La réalisation de la carte électronique .....	43
3.6. La réalisation de blindage de notre table .....	43
4. Schéma synoptique générale .....	44
5. Elaboration du circuit électronique .....	44
6. Organigramme de fonctionnement .....	48
7. Réalisation circuit électrique .....	49
7.1. Teste sur breadboard .....	49
7.2. Réalisation de la carte électronique .....	51
7.2.1. Réalisation de circuit imprimé .....	51
7.2.2. Souder les composants sur la carte .....	57
8. Réalisation de blindage .....	59
9. Conclusion .....	63

## **Conclusion générale**

## **Bibliographie**

## **Résumé**

# Liste des tableaux

<b>Tableau II.1</b> : Les différents types des cartes Arduino.....	20
<b>Tableau II.2</b> : Caractéristiques technique de la carte ARDUINO UNO.....	27
<b>Tableau II.3</b> : Fiche technique de capture DS18B20.....	35
<b>Tableau II.4</b> : Fiche technique de LM35 .....	37
<b>Tableau II.5</b> : Brochage de l'écran LCD .....	39

# Liste des figures

## Chapitre I

<i>Figure I.1. Illustration des mécanismes de transfert de chaleur chez le bébé</i> .....	4
<i>Figure I.2. Illustration des mécanismes de transfert de chaleur chez le bébé</i> .....	5
<i>Figure I.3. Incubateur-neonatal-balance-30526</i> .....	9
<i>Figure I.4. Table de réanimation néonatale</i> .....	10
<i>Figure I.5 : Dräger Babyroo TN300</i> .....	12
<i>Figure I.6 : Table chauffante HKN-93A</i> .....	14
<i>Figure I.7 : Table chauffante Shvabe SNO</i> .....	15

## Chapitre II

<i>Figure II.1 : Carte Arduino UNO</i> .....	18
<i>Figure II.2 : Schéma explicatif des parties de arduino</i> .....	19
<i>Figure II.3 : Les différents types des cartes Arduino</i> .....	19
<i>Figure II.4 : Interface IDE Arduino</i> .....	21
<i>Figure II.5 : Fonctionnement de la structure de base du programme</i> .....	22
<i>Figure II.6 : Structure de programme Arduino</i> .....	23
<i>Figure II.7 : Schéma interne de l'Arduino UNO</i> .....	26
<i>Figure II.8 : La carte Arduino UNO</i> .....	26
<i>Figure II.9 : Microcontrôleur ATmega328</i> .....	27
<i>Figure II.10 : Brochage de Microcontrôleur ATmega328</i> .....	28
<i>Figure II.11 : Architecture du réseau de communication mono-maître</i> .....	31
<i>Figure II.12 : Architecture du réseau de communication multi-maître</i> .....	32
<i>Figure II.13: Principe de la PWM</i> .....	33
<i>Figure II.14 : Capture de température numérique DS18B20</i> .....	34
<i>Figure II.15 : Diagramme de DS18B20</i> .....	35
<i>Figure II.16: Câblage de DS18B20</i> .....	36
<i>Figure II.17 : Structure interne de DS18B20</i> .....	36
<i>Figure II.18 : Brochage de capteur LM35</i> .....	38
<i>Figure II.19 : Afficheur LCD 16×2</i> .....	39
<i>Figure II.20 : Branchement de l'écran LCD</i> .....	39

## Chapitre III

<i>Figure III.1 : Schéma synoptique général.....</i>	<i>44</i>
<i>Figure III.2 : Réalisation virtuelle du circuit électrique sur ISIS Proteus .....</i>	<i>45</i>
<i>Figure III.3 : Afficheur LCD 16×2 .....</i>	<i>46</i>
<i>Figure III.4 : Séparation circuit de puissance et circuit de commande .....</i>	<i>47</i>
<i>Figure III.5 : Bloc de signalisation avec deux LEDs et une alarme .....</i>	<i>47</i>
<i>Figure III.6 : Bloc d'alimentation .....</i>	<i>48</i>
<i>Figure III.7 : Organigramme de fonctionnement .....</i>	<i>49</i>
<i>Figure III.8 : Montage de circuit sur breadboard .....</i>	<i>51</i>
<i>Figure III.9 : Circuit imprimé sur ARES .....</i>	<i>52</i>
<i>Figure III.10 : Carte électronique 3D sans les composants .....</i>	<i>52</i>
<i>Figure III.11 : Emplacement des composants sur la carte électronique .....</i>	<i>53</i>
<i>Figure III.12 : Démonstration des pistes sur la carte .....</i>	<i>53</i>
<i>Figure III.13 : Fenêtre d'exportation du circuit au format PDF.....</i>	<i>54</i>
<i>Figure III.14 : Circuit de réalisation sous format PDF.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure III.15 : Plaque cuivrée .....</i>	<i>55</i>
<i>Figure III.16 : Fer à repasser sur le papier photo .....</i>	<i>56</i>
<i>Figure III.17 : Passage de la carte cuivrée dans l'acide .....</i>	<i>56</i>
<i>Figure III.18 : Perçage de la carte électronique .....</i>	<i>57</i>
<i>Figure III.19 : Carte électronique finie (face des composants).....</i>	<i>58</i>
<i>Figure III.20 : Carte électronique finie (face des pistes).....</i>	<i>58</i>
<i>Figure III.21 : Partie blindage de système de chauffage .....</i>	<i>59</i>
<i>Figure III.22 : Partie affichage et signalisation du blindage .....</i>	<i>60</i>
<i>Figure III.23 : Carte mère fixée dans la table .....</i>	<i>61</i>
<i>Figure III.24 : Partie de placement de nouveau-né .....</i>	<i>62</i>
<i>Figure III.25 : Assemblage complet de notre table chauffante néonatale .....</i>	<i>63</i>

# LISTE DES ABRÉVIATIONS

**A 0-7** : Analog input 0 to 7

**D 0-13** : Digital input 0 to 13

**DSP** : Digital Signal Processor

**E/S** : Entrées/Sorties

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

**GND** : GrouND

**I2C** : Inter-Integrated Circuit

**IDE** : Integrated Development Environment

**IOREF** : In Out REference

**K** : Kilo

**LCD** : Liquid Crystal Display

**MHz** : Mega Hertz

**PWM** : Pulse Width Modulation

**RAM** : Random Access Memory

**RX** : Receive

**SCL** : Serial Clock Line

**SDA** : Serial Data Line

**T°** : Température

**Ta°** : Température Ambiante

**Tc°** : Température cutanée

**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

# Introduction générale

La normo-thermie, ou le maintien d'une température corporelle normale, est un facteur essentiel pour la santé, en particulier pour les nouveau-nés. Les nouveau-nés, en raison de leur système de thermorégulation immature, sont particulièrement vulnérables aux variations de température, ce qui peut entraîner des complications graves telles que l'hypothermie ou l'hyperthermie. Le maintien d'une température corporelle stable est donc crucial pour leur survie et leur développement optimal [1.1].

Pour répondre à ces besoins vitaux, les établissements de santé utilisent des dispositifs médicaux spécialement conçus pour réguler la température des nouveau-nés. Parmi ces dispositifs, les tables chauffantes néonatales jouent un rôle central. Elles fournissent une chaleur contrôlée pour maintenir une température corporelle stable et sont essentielles dans les soins intensifs néonataux. Toutefois, nous avons observé que ces équipements peuvent être coûteux, ce qui représente un obstacle significatif, notamment pour les établissements de santé dans les régions à ressources limitées [1.1], [2.1].

Face à cette problématique, nous avons entrepris de créer un prototype de table chauffante néonatale plus économique. Ce projet vise à concevoir un dispositif qui répond aux normes de sécurité et d'efficacité tout en étant accessible financièrement. Notre approche commence par une analyse approfondie des besoins en matière de régulation thermique pour les nouveau-nés et s'accompagne d'une recherche sur les technologies disponibles. En examinant les dispositifs existants sur le marché, nous avons identifié les caractéristiques clés et les défis associés à leur conception.

Le développement de notre prototype implique plusieurs étapes cruciales : d'abord, une étude détaillée de l'état thermique et des défis de thermorégulation chez les nouveau-nés ; ensuite, une analyse des composants nécessaires à la conception de notre table chauffante, en mettant l'accent sur les éléments électroniques et les systèmes de chauffage ; enfin, une phase de réalisation pratique comprenant la conception de circuits et de schémas pour la fabrication du prototype.

Le document est présenté sous forme de trois chapitres, une introduction générale et une conclusion générale et des perspectives.

Le premier chapitre est consacré à une étude approfondie de l'état thermique et des problèmes de thermorégulation chez les nouveau-nés. Nous avons regroupé les notions de base des tables chauffantes déjà existantes sur le marché. Ces informations sont nécessaires pour la réalisation de notre table chauffante destinée au nouveau-nés et qui répond aux besoins et aux exigences des services médicaux consternés.

Le deuxième chapitre est dédié à l'étude des composants d'instrumentation sélectionnés pour notre projet. Nous y avons d'abord présenté la pièce centrale de notre prototype : une carte électronique programmable, en détaillant son environnement de programmation et son fonctionnement. Ensuite, nous avons défini les unités auxiliaires, notamment les capteurs de température pour la mesure de la température et le système de chauffage, en précisant les caractéristiques de chacun.

Et en fin, le dernier chapitre explique les différentes étapes de la réalisation pratique en fournissant des schémas bloc, des circuits électriques et des diagrammes de fonctionnement. Ces illustrations permettent de visualiser clairement chaque phase du processus, facilitant ainsi la compréhension de la mise en œuvre pratique de notre projet. Le mémoire se finalisera par une conclusion générale.

# **Chapitre I : Généralités sur les tables chauffantes et la thermorégulation chez les nouveau-nés**

# ***CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES***

## **1 Introduction**

La régulation de la température est essentielle dans les soins prodigués aux nouveau-nés prématurés ou malades. Ce chapitre explore le régime thermique des nouveau-nés, en mettant en évidence les déséquilibres thermiques dus à une adaptation insuffisante à l'environnement extérieur et à une thermorégulation instable. Il examine également les moyens techniques utilisés pour maintenir l'équilibre thermique des nouveau-nés, notamment l'étude et la conception de la table chauffante spécifiquement conçues pour eux. Ces concepts visent à mieux comprendre et à identifier les meilleures méthodes pour stabiliser l'état thermique des nouveau-nés, en mettant particulièrement en avant l'importance cruciale des tables chauffante néonatales dans ce contexte [1].

## **2 Historique**

La néonatalogie, branche de la pédiatrie, se focalise sur les soins prodigués au cours des quatre premières semaines de la vie d'un nouveau-né. Durant cette période, la plupart des organes sont encore en développement, les rendant particulièrement sensibles à toute perturbation de l'équilibre biologique et nutritionnel. Cette discipline évolue continuellement afin d'améliorer les méthodes de diagnostic et de traitement des affections infantiles. Ces approches impliquent la collecte de divers paramètres de santé, tels que le régime thermique, un aspect crucial pour détecter d'éventuels déséquilibres au niveau de la température corporelle, souvent révélateurs de dysfonctionnements organiques. De même, la température cutanée, influencée par les variations de la température ambiante, est également examinée [2] [3].

### **2.1 Température corporelle**

La température corporelle d'une personne reflète la chaleur interne de son organisme et peut être mesurée par voie buccale, rectale ou sous l'aisselle. Dans des conditions normales, la température est régulée et maintenue autour de 37°C grâce aux mécanismes de thermorégulation, particulièrement chez les nouveau-nés. En présence d'influence de l'environnement externe, des dispositifs techniques sont souvent utilisés pour surveiller et ajuster cette température.

# ***CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES***

## **2.2 Température cutanée**

Elle représente la température perçue au toucher du derme du nouveau-né. Souvent sensible aux variations de la température ambiante, elle reflète également les déséquilibres internes de l'organisme. Cette mesure est prise en compte lors de la régulation de la température corporelle.

## **2.3 La différence entre la température cutanée et la température corporelle**

La température cutanée ne permet de détecter que les déséquilibres de température corporelle. Pour mesurer la température d'un nouveau-né, il est recommandé d'utiliser un thermomètre électronique ou à mercure, en effectuant la prise sous l'aisselle ou par voie rectale. La température cutanée peut être mesurée soit par contact, soit sans contact à l'aide d'un thermomètre infrarouge. En général, la température cutanée est légèrement plus basse que la température corporelle, d'environ 0,5 °C des conditions de thermorégulation normale. Ainsi, les soins doivent être adaptés en fonction de cette température cutanée, et veillant à utiliser une sonde cutanée lors de la régulation de la température corporelle du bébé afin d'éviter tout risque d'irritation ou de brûlure.

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

La thermorégulation désigne la capacité de maintenir la température corporelle en régulant la production ou l'élimination de chaleur. Cette capacité assure des conditions thermiques optimales pour les nouveau-nés, favorisant ainsi la préservation de leur énergie nécessaire au bon fonctionnement des organes vitaux et à leur croissance [4].

Au cours des premiers jours qui suivent la naissance, la capacité de thermorégulation chez le nouveau-né n'est pas pleinement développée. En d'autres termes, il peut rapidement se refroidir dans un environnement froid et se réchauffer rapidement, avec rougeurs, s'il fait chaud. Sa tolérance aux variations de la température ambiante est limitée. En raison de son immaturité à la naissance, cette capacité s'améliore progressivement. Cependant, pour que cette croissance se réalise pleinement, il est essentiel que les mécanismes de thermorégulation soient entièrement fonctionnels. Avant d'atteindre cette étape, des moyens techniques sont utilisés pour assurer cette fonction. Il convient de noter que ces précautions sont nécessaires principalement pendant les premières semaines de la vie de

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES**

l'enfant. À partir d'environ un mois, le nouveau-né est tout à fait capable de réguler sa température corporelle de manière autonome [5].

### **4 Processus de la thermorégulation chez le nouveau-né**

La stabilité thermique interne du corps et de son environnement repose sur deux processus antagonistes [6].

#### **4.1 Production de chaleur**

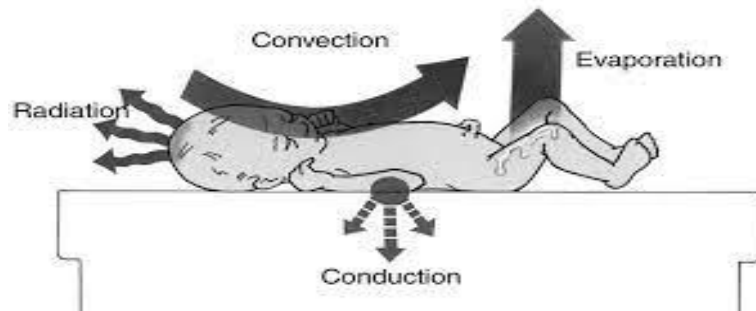
Ce processus implique la production de chaleur par le métabolisme du corps humain, qui peut être influencée par l'intensité métabolique ou en réponse aux variations de la température externe. Un excès de chaleur est qualifié d'hyperthermie, tandis qu'une production insuffisante conduit à l'hypothermie.

#### **4.2 Transfert de chaleur**

Le corps peut transférer la chaleur à son environnement par quatre mécanismes distincts (voir figure 1) :

- a) **Radiation** : Elle désigne l'émission de chaleur sous forme de rayonnement infrarouge. Lorsque le corps est au repos, avec une température comprise entre 21°C et 25°C, jusqu'à 60% de la chaleur est dissipée de cette manière.
- b) **Convection** : ce processus implique l'échange de chaleur entre le corps et l'air, constituant jusqu'à 15% de la dissipation de chaleur. La convection favorise la dispersion de la chaleur à travers les mouvements de l'air ambiant.
- c) **Conduction** : Implique l'échange de chaleur entre deux objets en contact, avec la chaleur se déplaçant du plus chaud vers le plus froid, contribuant à seulement 3 à 4% de la perte totale de chaleur.
- d) **Évaporation** : c'est le processus de perte de chaleur résultant de l'évaporation de l'eau produite par les glandes sudoripares. Cette évaporation peut se produire par la respiration ou la sudation. Elle représente 25% de la chaleur évacuée au repos et jusqu'à 80% lors d'une activité physique. Lorsque la température ambiante est élevée et/ou que le corps génère trop de chaleur, les mécanismes précédemment mentionnés ne suffisent plus, l'évaporation devient alors le moyen de refroidissement le plus efficace.

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES**



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

### **5 Problèmes de la thermorégulation chez le nouveau-né**

Dans les heures suivant la naissance, les nouveau-nés en bonne santé connaissent généralement une diminution de 1,5 à 2°C. Cette variation est influencée par des facteurs tels que le poids, la taille et la santé du bébé. Les nouveau-nés en bonne santé voient leur température corporelle augmenter progressivement, atteignant généralement une plage de 36 à 37 °C dans les 12 à 24 heures suivant la naissance.

Cependant, il est courant d'observer des problèmes de thermorégulation chez les nouveau-nés, caractérisés généralement par une production de chaleur réduite et un transfert accru de chaleur. Par conséquent, la température corporelle peut présenter des variations importantes, indiquant éventuellement un dysfonctionnement métabolique. Les conséquences à long terme du froid ou de la chaleur peuvent ne pas être compensées efficacement par les mécanismes de thermorégulation, entraînant potentiellement une hyperthermie (augmentation significative de la température corporelle) ou une hypothermie (diminution de la température corporelle) [7].

#### **5.1 Hyperthermie**

L'hyperthermie, ou élévation anormale de la température corporelle, doit être évitée en habillant le nourrisson selon la température ambiante et en protégeant des sources de chaleur ainsi que de l'exposition directe au soleil. Il est crucial de ne pas exposer les couveuses à la lumière solaire directe et de surveiller régulièrement la température à l'intérieur, ainsi que celle de l'enfant.

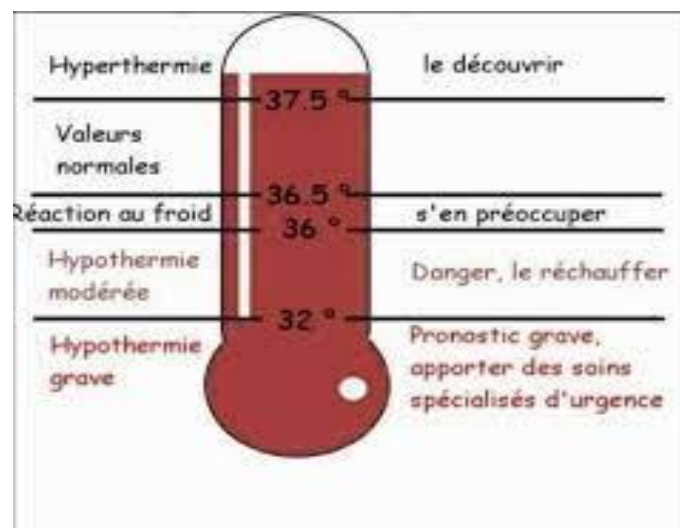
Les signes principaux de surchauffe comprennent l'anxiété, le refus de la poitrine, les cris perçants et les rougeurs de la peau. En cas de surchauffe, la température corporelle de

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES**

l'enfant peut atteindre 38-39 °C, ce qui est communément appelée fièvre. Cette situation est tout aussi préoccupante pour le nouveau-né que l'hypothermie. Elle peut résulter d'une interaction thermiques avec l'environnement ou d'un dysfonctionnement interne de l'organisme, se manifestant par une température cutanée instable ou des rougeurs au niveau du derme. La température corporelle peut atteindre jusqu'à 40 °C, ce qui peut entraîner des convulsions et des dommages corporels irréversibles [8].

### **5.2 Hypothermie**

L'hypothermie survient lorsque la température corporelle du nouveau-né chute en dessous de la normale de 36,5 °C. Entre 36 °C et 36,4 °C, on parle d'une hypothermie légère, souvent une réaction au froid. Dans la plage de 32 °C à 36 °C, l'hypothermie est qualifiée de modérée, et en dessous de 32 °C, elle est qualifiée de sévère. En cas d'hypothermie, il est crucial de réchauffer rapidement le nouveau-né, que ce soit par le contact peau à peau ou par d'autres moyens, en tenant compte des ressources en personnel et en matériel disponibles, ainsi que de la gravité de l'hypothermie [8].



*Figure I.2. Illustration des mécanismes de transfert de chaleur chez le bébé.*

### **5.3 L'hypothermie chez le nouveau-né**

Les variations de la température corporelle chez les enfants peuvent résulter de divers facteurs, et les signes de ce déséquilibre sont généralement observés en comparant la température mesurée à la norme établie. Les cas d'hypothermie modérée à sévère chez les

## ***CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES***

enfants laissent des séquelles, affaiblissant le système immunitaire de l'enfant et perturbant le fonctionnement des organes ainsi que des systèmes individuels.

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

- Maladies infectieuses respiratoires aiguës telles que 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
- Aggravation des maladies chroniques, Altération des fonctions cardiaques et cérébrales.

### **5.4 Conséquences de l'hypothermie**

Les effets de l'hypothermie peuvent être graves et toucher divers système corporels. Voici quelques-unes des conséquences les plus courantes :

- Fonctionnement du système nerveux central altéré
- Ralentissement du métabolisme
- Troubles cardiaques
- Problèmes respiratoires
- Altération du système immunitaire
- Lésions tissulaires
- Coma et décès

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

Il est essentiel que les conditions d'accueil du nouveau-né soient optimales afin de ne pas entraver les efforts physiologiques d'adaptation à la vie extra-utérine. Des mesures procédurales sont mises en place immédiatement après la naissance et au cours des premiers jours pour assurer une protection thermique, garantissant ainsi que le nouveau-né maintient une température corporelle normale sans risque d'hypothermie ou d'hyperthermie.

## ***CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES***

La correction de l'hypothermie chez le nouveau-né s'effectue en le réchauffant dans une couveuse ou sur une table chauffante, où les conditions de température et d'humidité sont contrôlées. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le corps du nourrisson atteigne une maturité suffisante, le préparant ainsi à faire face à l'environnement extérieur. Les deux appareils ont pour mission principale d'éviter toute progression ultérieure du problème tout en préservant la thermorégulation corporelle [7], [8], [9], [10].

### **6.1 Premiers soins**

Il s'agit d'une séquence d'actions interdépendantes qui se déroulent pendant la naissance, ainsi que dans les premières heures et les premiers jours de la vie, dans le but de réduire au minimum la perte de chaleur chez tous les nouveau-nés [3].

- Salle de maternité chaleureuse.
- Contacte peau à peau (avec la mère).
- Allaitement maternel précoce.
- Reporter le pesage et la baignade.
- Séjour conjoint de la mère et de l'enfant.
- Transport dans des conditions chaudes.
- Réanimation par temps chaud.

### **6.2 La technologie dans la protection thermique de nouveau née**

Les dispositifs de chauffage sont spécialement conçus pour répondre aux besoins des nouveau-nés prématurés ou malades, évaluant dans des environnements froids. Leur utilisation présente plusieurs avantages : ils fournissent une chaleur ciblée, évitant ainsi de surchauffer toute la pièce, la régulation de la température est plus aisée, et il est possible d'observer les nouveau-nés entièrement dévêtus si cela s'avère nécessaire.

Ces différents dispositifs remplissent des fonctions spécifiques : certains sont adaptés aux soins des nouveau-nés au cours de leurs premiers jours ou semaines de vie, tandis que d'autres sont particulièrement adaptés à la réanimation et aux interventions nécessitant la présence de plusieurs personnes, en particulier dans les cas d'hypothermie [11], [12].

## **7 Principaux dispositifs médicaux destinée au service néonatal**

Avant son transfert dans le service des suites de couches avec sa mère, le nouveau-né doit subir un examen clinique. Les unités de soins intensifs néonataux rassemblent des professionnels de la santé, tels que des médecins, des infirmiers et des aides-soignants, pour assurer une prise en charge optimale. L'équipe continue d'élaborer des techniques de soins visant à prévenir et traiter de manière plus efficace la douleur et l'inconfort des nouveau-nés hospitalisés. La reconnaissance croissante de l'importance de maintenir la température corporelle des nourrissons a conduit à l'adoption de méthodes spécifiques dans de nombreux centres de néonatalogie.

Lors d'une intervention chirurgicale ou dans le cas d'un nouveau-né nécessitant une réanimation, une surveillance, ou faisant face à une hypothermie, le traitement consiste souvent à utiliser une couveuse (incubateur) ou une table chauffante. Cette méthode implique de placer le nourrisson sous une source de chaleur afin de prévenir la perte de chaleur pendant la guérison. Ces dispositifs de chauffage peuvent être contrôlés à l'aide de mécanismes de mesure de la température pour maintenir celle-ci autour de 36,5 °C [12], [13].

On peut parler de deux principaux dispositifs :

### **7.1 La couveuse**

La couveuse néonatale, également connue sous le nom incubateur, est un équipement médical essentiel utilisé pour fournir un environnement contrôlé aux nouveau-nés prématurés ou malades. Son objectif principal est de recréer les conditions idéales de l'utérus maternel afin de favoriser la croissance et le développement des bébés prématurés. Les couveuses sont équipées de systèmes de contrôle de la température, de l'humidité et de l'oxygène, ainsi que de moniteurs pour surveiller en permanence les signes vitaux du nourrisson.

Elles maintiennent une température constante et contrôlée pour prévenir la perte excessive de chaleur corporelle chez les bébés prématurés. De plus, elles régulent l'humidité pour prévenir la déshydratation et fournissent une concentration en oxygène appropriée pour soutenir la respiration des nourrissons. En outre, ces appareils sont conçus pour limiter les stimuli externes et protéger les bébés contre les infections.

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES**



*Figure I.3. Incubateur-neonatal-balance-30526.*

### **7.2 La table chauffante**

#### **7.2.1 Présentation**

La table chauffante néonatale joue un rôle essentiel dans le maintien de la stabilité thermique du nouveau-né. Pendant la phase critique d'adaptation à la vie extra-utérine, elle crée un environnement approprié qui nécessite une surveillance pour prévenir, détecter et traiter rapidement toute anomalie susceptible d'affecter un nouveau-né prématuré ou malade. Ces tables sont indispensables pour des interventions telles que la perfusion, les procédures de sauvetage et l'observation pendant la période d'hospitalisation.

Elles représentent une avancée majeure dans les soins intensifs pédiatriques en offrant un environnement régulé pour les prématurés, les nouveau-nés et les nourrissons nécessitant une attention particulière. Cette technologie remplace efficacement les incubateurs fermés lorsqu'une manipulation directe du nourrisson est nécessaire.



*Figure I.4. Table de réanimation néonatale.*

### **7.2.2 L’historique**

La table chauffante néonatale présente une histoire riche et une évolution constante pour répondre aux besoins changeants des soins intensifs pour les nouveau-nés. Voici un aperçu historique de son développement :

- **Années 1950-1960** : Développement précoce

Les premières tables chauffantes néonatales ont émergé dans les années 1950-1960 en réponse à la nécessité de maintenir les prématurés et les nouveau-nés à une température constante, crucial pour leur survie et leur développement [14].

- **Années 1970-1980** : Améliorations et innovations

Au cours des années 1970 et 1980, ces tables ont connu des améliorations notables, notamment en termes de fonctionnalités et de sécurité. Les fabricants ont commencé à

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES**

intégrer des systèmes de ventilation et de surveillance des paramètres vitaux dans ces équipements.

- **Années 1990-2000 : Évolution technologique**

Les années 1990 et 2000 ont vu une évolution technologique continue, permettant l'intégration de nouvelles fonctionnalités dans les tables chauffantes néonatales. Des modèles plus avancés ont été introduits, avec des systèmes de ventilation et de surveillance sophistiqués, ainsi que des options de personnalisation pour répondre aux besoins spécifiques des soins intensifs pour les nouveau-nés [14].

- **Depuis 2010 : Innovations et intégration**

Depuis 2010, les tables chauffantes néonatales ont persisté dans leur évolution, intégrant de nouvelles technologies et innovations pour améliorer la qualité des soins intensifs pour les nouveau-nés. Les modèles actuels proposent des systèmes de ventilation et de surveillance encore plus sophistiqués, avec des options de personnalisation accrue pour répondre aux besoins spécifiques des soins intensifs pour les nouveau-nés [14].

### **7.2.3 Le choix d'une table chauffante**

Le choix d'une table chauffante néonatale peut être guidé par plusieurs critères. Parmi eux, on peut citer la capacité de réchauffement, exprimée en watts ou en BTU, ainsi que le degré de précision du contrôle de la température, souvent assuré par des microprocesseurs. Les fonctionnalités de sécurité, telles que les alarmes en cas de variations thermiques, les capteurs de température cutanée, et d'autres mécanismes de protection, jouent également un rôle des aspects différenciateurs. Certains modèles intègrent des systèmes de ventilation, permettant une circulation d'air optimale. La possibilité de basculer entre des modes manuels et automatiques, la conception ergonomique facilitant l'accès au nourrisson, les systèmes de surveillance avancés, la personnalisation des options, la mobilité et la compatibilité avec d'autres équipements médicaux sont autant de critères essentiels importants à prendre en compte lors du choix d'une table chauffante néonatale.

**Remarque :** Ces facteurs doivent être évalués en fonction des besoins spécifiques de l'établissement de santé et des exigences des soins néonataux prodigués.

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES**

### **7.2.4 Quelques tables chauffante existante dans le marché**

#### **7.2.4.1 Table de Réanimation Néonatale - Dräger Babyroo TN300**

La Dräger Babyroo, adaptée aux soins du nouveau-né aussi bien en salle d'accouchement qu'en unité de soins intensifs néonatale, est une table de soins chauffante équipée d'outils de réanimation. Son but est de créer un environnement contrôlé pour maintenir la température corporelle du nourrisson et assurer sa sécurité.



*Figure I.5 : Dräger Babyroo TN300.*

##### **7.2.4.1.1 Caractéristiques [15]**

- Maintien d'une température constante.
- Une solution de protection pulmonaire intermédiaire.
- Environnement propice au bien-être.
- Déroulement efficace du travail.
- Rompez la chaîne d'infection.
- Transferts simples et sans danger.

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES**

### **7.2.4.1.2 Composants du système [15]**

- Modules de réanimation.
- Matelas chauffant en gel.
- Module AutoThermo.
- SpO2.
- Pèse-bébé.
- Tiroir.
- Support de bouteille.

### **7.2.4.1.3 Accessoires [15]**

- Capteurs de température cutanée.
- Matelas SoftBed.
- Unité d'aspiration.
- Toit de lit.
- Masques.
- Circuits patient.

### **7.2.4.2 Table de réanimation pédiatrique néonatale HKN-93A**

La table de réanimation pédiatrique néonatale HKN-93A est un appareil médical spécialement conçu pour la réanimation des nouveau-nés. Dotée de multiples fonctionnalités, elle garantit une réanimation efficace et sécurisée.

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES**



*Figure I.6 : Table chauffante HKN-93A*

### **7.2.4.2.1 Caractéristiques [16]**

- Température contrôlée par microordinateur - avec connecteur RS232
- Stand électronique
- Puissance de chauffe ajustée manuellement ou automatiquement
- Température ambiante – température corporelle - temps enregistrés sous différentes fenêtres
- Radiateur à infrarouge
- Plateau X-Ray sous le berceau
- Indicateur erreur de température ou de puissance
- Berceau ajusté sans accoup
- Alarme déviation température
- Radiateur ajusté horizontalement dans deux Voies
- Berceau ajusté sans à coup
- Inspirateur oxygène
- Aspirateur pression
- Réanimation néo-natale
- Fixateur de chaleur

## **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES TABLES CHAUFFANTES ET LA THERMOREGULATION CHEZ LES NOUVEAU-NES**

- Lampe photothérapie
- Indicateur de temps
- Poteau et étagères

### **7.2.4.3 Table chauffante Shvabe SNO – Suisse**

Le dispositif de chauffage néonatal SNO est conçu pour assurer une bonne adaptation des nouveau-nés à l'aide des mesures visant à rétablir leurs fonctions vitales dans les salles de réanimation, les hôpitaux périnataux et les unités de soins intensifs.

#### **7.2.4.3.1 Caractéristiques**

- La plage de température réglable par capteur cutané est de 35 à 37,9°C.
- La plage de température affichée varie de 30 à 39,9°C.
- L'ajustement du taux d'oxygène sous couverture néonatale peut se faire dans une fourchette de 40 à 95%.
- L'angle maximal d'inclinaison du matelas est de 12 degrés.
- L'angle de rotation maximal du module de chauffage atteint 65 +5 degrés.
- La densité maximale de rayonnement infrarouge est de 60 kW/cm sur l'ensemble de la plage, avec une spécification de 10 kW/cm pour la plage de courte distance (760-1400 nm).
- Le temps de fonctionnement continu est de 72 heures



**Figure I.7 :** Table chauffante Shvabe SNO.

## **8 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé les concepts fondamentaux de la thermorégulation et des déséquilibres thermiques chez les nouveau-nés, tout en examinant les moyens dédiés à la protection thermique. Cette exploration vise à mieux comprendre les exigences auxquelles notre réalisation doit répondre. Dans un état de l'art non exhaustif, nous avons énuméré quelques tables chauffantes disponibles sur le marché, mettant en évidence les différentes fonctionnalités et technologies de conception associées.

En résumé, la table chauffante joue un rôle crucial en remédiant à l'hypothermie et en maintenant un environnement thermo-neutre lors des soins hospitaliers prodigués aux nouveau-nés, dans une plage de température allant de 36.5°C à 37.5°C, dénommée zone de sécurité. Ce dispositif assure le confort et la sécurité maximale du nouveau-né grâce à ses composants clés : un système de chauffage à réglage automatique manuel et/ou automatique, une sonde cutanée, et un système d'alarme sonore et visuel, tous pilotés par une unité de commande.

# **Chapitre II : Les composants électroniques et électriques pour la réussite de notre projet**

# CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

## 1 Introduction

Notre projet a pour but de réaliser un prototype d'une table chauffante destinée aux nouveau-nés. Dans notre domaine technique, cela représente un appareil de régulation de température qui doit nous avertir en cas de défaillance. Pour garantir sa réussite, notre appareil doit être équipé d'un système de chauffage, d'un système de mesure de température, d'un système d'alerte et d'une unité de commande pour contrôler et piloter ces systèmes.

## 2 La carte électronique programmable Arduino

### 2.1 Description

La carte Arduino est un dispositif programmable largement utilisé dans le développement des projets électroniques. Elle intègre un microcontrôleur programmable ainsi qu'un logiciel de programmation permettant de créer des programmes à exécuter sur la carte. Cette plateforme matérielle et logicielle offre à l'utilisateur la possibilité de concevoir ses propres applications par l'expérimentation directe, en bénéficiant d'une variété de ressources en ligne telles que des bibliothèques et des exemples.

L'Arduino se positionne comme un outil de prototypage combinant les avantages de la programmation et de l'électronique. Il simplifie la conception des schémas électroniques et contribue à la réduction des coûts de réalisation des projets. De plus, cette solution est Open source, ce qui signifie que les plans de la carte sont disponibles sous licence libre [18], [19].

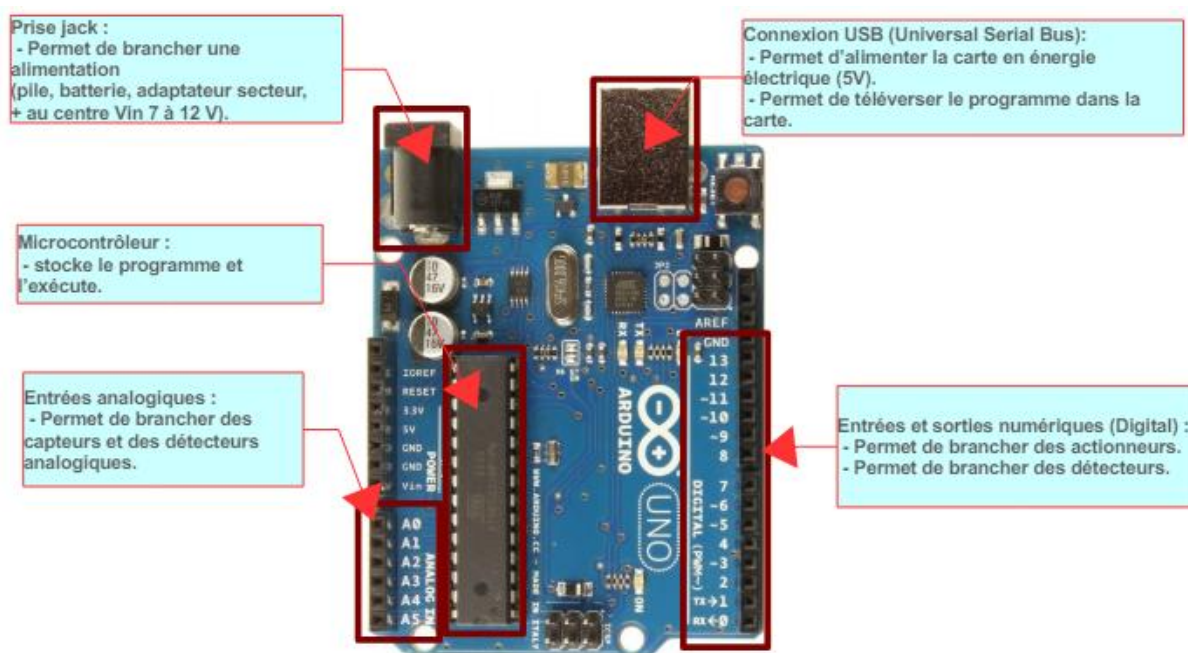
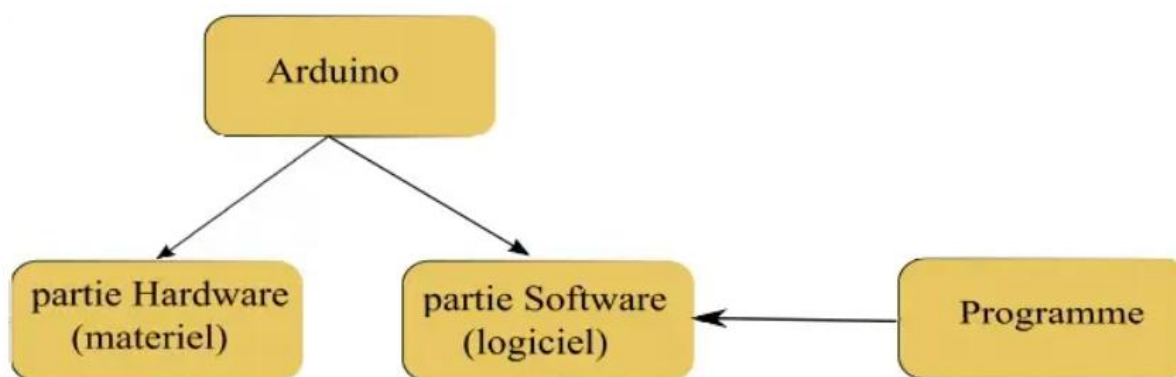


Figure II.1 : Carte Arduino UNO.

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET



*Figure II.2 : Schéma explicatif des différentes parties de l'Arduino.*

### 2.2 Les différentes gammes de carte Arduino

Il existe trois types principaux de carte Arduino :

- Les "**officielles**", fabriquées en Italie par le fabricant officiel, Smart Projects.
- Les "**compatibles**", qui ne sont pas produites par Smart Projects mais sont entièrement compatibles avec les versions officielles d'Arduino.
- Les "**autres**", fabriquées par différentes entreprises et commercialisées sous des noms divers tels que Freeduino, Seeduino, Femtoduino, ...[20].



*Figure II.3 : Les différents types de cartes Arduino.*

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

### 2.3 Les différents types des cartes Arduino

Grace à sa licence Open source et à sa flexibilité, l'Arduino connaît un développement rapide. Actuellement, plusieurs versions du module Arduino sont disponibles, reflétant cette évolution constante.

On peut résumer la comparaison entre ses différentes gammes dans le tableau suivant.

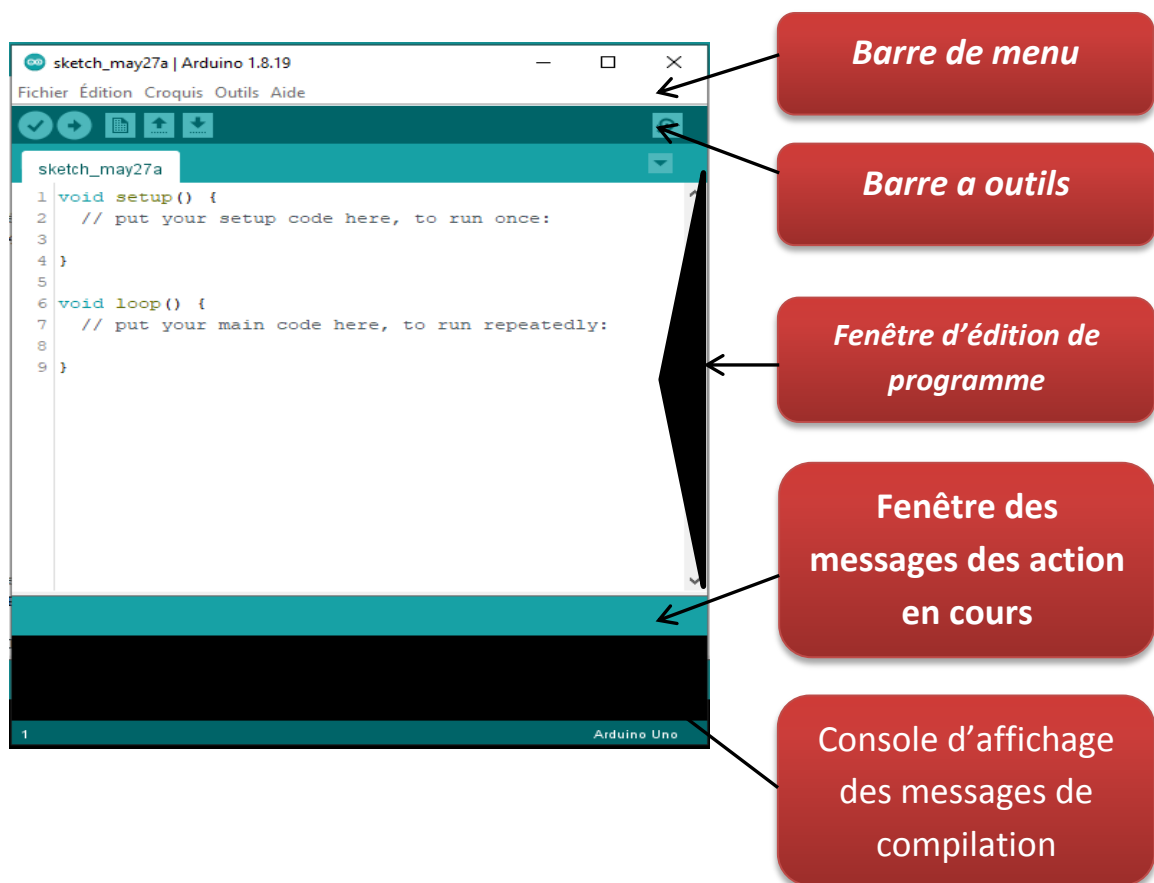
*Tableau II.1 : Les différents types des cartes Arduino [21].*

	UNO R3	UNO R3 Ethernet	Leonardo	Mega 2560	Mega A DK	DUE	Esplo-ra	Mini	NANO	Yun	Zero Pro
<b>Microcontrôleur</b>	AT-mega 328p	AT-mega 328p	AT-mega 32u4	AT-mega 2560	AT-mega 2560	AT91A M3X8 E	AT-mega 32u4	AT-mega 328p	AT-mega 328p	AT-mega 32u4	ATSA MD 21G18
<b>Cadence horloge</b>	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	48 MHz
<b>Tension d'entrée</b>	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-9V	7-9V	5V	5V
<b>Tension de fonctionnement</b>	5V	5V	5V	5V	5V	3.3V	5V	5V	5V	5V	3.3V
<b>Entrée/sortie numérique</b>	14/6	14/4	20/7	54/15	54/15	54/15	*	14/6	14/6	20/7	14/12
<b>Entrée/sortie analogique (PWM)</b>	6/0	6/0	12/0	16/0	16/0	12/2	*	8/0	8/0	12/0	6/1
<b>Mémoire vive (flash)</b>	32Ko	32Ko	32Ko	256Ko	256Ko	512Ko	32Ko	32Ko	32Ko	32Ko	256Ko
<b>Mémoire Vive (SRAM)</b>	2Ko	2Ko	2.5Ko	8Ko	8Ko	86Ko	2.5Ko	2Ko	2Ko	2.5Ko	32 Ko
<b>Mémoire morte (EEPROM)</b>	1Ko	1Ko	1Ko	4Ko	4Ko	*	1Ko	1Ko	1Ko	1Ko	16Ko
<b>Interface USB</b>	USB-B Male	USB-B Male	Micro-USB	USB-B Male	USB-B Male Et USB-A Pour andoide	2 Ports Micro USB	Micro-USB	*	Min-USB	Micro-USB	2 Ports Micro USB
<b>Port UART</b>	1	1	1	4	4	4	*	*	1	1	2
<b>Carte SD</b>	non	oui	non	non	non	non	non	non	non	oui	non
<b>Ethernet</b>	non	oui	non	non	non	non	non	non	non	oui	non
<b>Wifi</b>	non	oui	non	non	non	non	non	non	non	oui	non
<b>Dimensions</b>	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

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

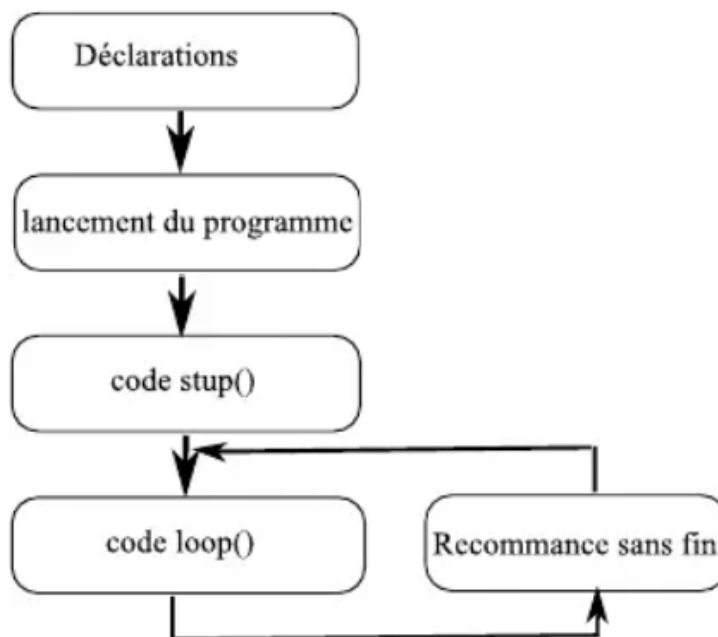
### 2.4 Présentation générale du logiciel de programmation

Les programmes écrits avec le logiciel Arduino (IDE) sont appelés croquis. Ces croquis sont rédigés dans l'éditeur de texte et enregistrés avec l'extension de fichier ".ino". L'éditeur offre des fonctionnalités telles que couper, copier, coller et rechercher/remplacer du texte. La zone de messages fournit des retours lors de la sauvegarde, de l'exportation et affiche également les erreurs éventuelles. Le coin inférieur droit de la fenêtre indique la carte et le port série configurés. Les boutons de la barre d'outils permettent de vérifier, compiler et télécharger les programmes, ainsi que de créer de nouveaux croquis. La barre de menu permet de gérer les fichiers en cours de traitement et d'accéder aux exemples, aux bibliothèques, aux propriétés et à d'autres options [22] [23].



*Figure II.4 : Interface de l'IDE Arduino.*

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET



*Figure II.5 : Fonctionnement de la structure de base d'un programme Arduino.*

### 2.5 Le langage de programmation

Le langage de programmation Arduino est une variante simplifiée du langage C++ spécialement conçue à la plateforme Arduino. Il est très populaire dans les domaines de l'électronique et de la robotique en raison de sa facilité d'utilisation et de sa grande flexibilité. Voici quelques éléments essentiels à retenir sur le langage de programmation Arduino :

- Structure de base :

- Les programmes Arduino sont composés de deux fonctions principales « setup() » et « loop() ».

- La fonction « setup() » est exécutée une seule fois au démarrage du programme et est utilisée pour initialiser les variables et les paramètres.

- La fonction « loop() » est exécutée en boucle après la fonction setup() et contient les instructions principales du programme.

- Syntaxe :

- Le langage Arduino utilise une syntaxe similaire au C++, avec des instructions telles que « if », « else », « for », « while », etc....

- Les commentaires sont ajoutés en utilisant « // » pour les commentaires sur une seule ligne et « /\* \*/ » pour les commentaires sur plusieurs lignes.

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

- Variables et types de données :
  - Les variables en Arduino peuvent être de types différents tels que « int, float, char, boolean, .. ».
  - Pour Les constantes sont définies à l'aide du mot-clé « const ».



*Figure II.6 : Structure d'un programme Arduino.*

Pour débiter la programmation avec le logiciel Arduino, des exemples sont disponibles via la barre des menus. Afin d'étendre les capacités de l'Arduino, des bibliothèques-qui sont des ensembles de codes-permettent de se connecter facilement à divers capteurs, écrans, modules, etc. Par exemple, la bibliothèque intégrée **LiquidCrystal** simplifie la communication avec les écrans LCD à caractères. De plus, des centaines de bibliothèques supplémentaires peuvent être téléchargées depuis Internet [22], [23].

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

### 2.6 Domaine d'utilisation

La carte électronique programmable Arduino est utilisée dans divers domaines d'application :

- **Domotique (Maison Intelligente) :**
  - Automatisez les systèmes domestiques tels que l'éclairage, le chauffage et la sécurité.
  - Crée des systèmes de sécurité intelligents pour la maison
- **Robotique :**
  - Constitue le cerveau de nombreux robots, allant des robots mobiles aux bras robotiques.
  - Utilisée dans des compétitions de robotique éducatives et professionnelles.
- **Internet des Objets (IoT) :**
  - Développez des prototypes de dispositifs IoT pour la surveillance et le contrôle à distance
  - Permet la surveillance à distance des conditions environnementales.
- **Projets Artistiques et Interactifs**
  - Créée des installations interactives et des performances artistiques.
  - Utilisée pour concevoir des instruments de musique électroniques
- **Applications Industrielles :**
  - Automatisez et contrôlez les processus industriels pour une efficacité accrue.
  - Surveillez les machines et planifiez la maintenance pour éviter les pannes.

### 2.7 Les avantages de la carte Arduino

Les atouts de la carte Arduino sont nombreux et contribuent à son attrait dans le domaine de la programmation et de l'électronique. Voici une synthèse de ses principaux avantages :

#### a. Compatibilité Multiplateforme :

L'environnement de développement intégré (IDE) d'Arduino est compatible avec divers systèmes d'exploitation, tels que MacOS, Windows, Linux, BSD et Android, offrant une grande flexibilité. Contrairement à la plupart des systèmes de microcontrôleurs, souvent limités à Windows.

## **CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET**

### **b. Interface de Programmation Conviviale :**

L'IDE Arduino propose une interface de programmation conviviale, accessible aux débutants tout en offrant une souplesse appréciée des professionnels. Son interface claire et intuitive facilite la création et le téléchargement de code sur la carte Arduino.

### **c. Caractère Open Source et Extensibilité du Logiciel :**

Arduino est un système Open source, permettant aux programmeurs expérimentés de personnaliser et d'étendre ses fonctionnalités selon leurs besoins spécifiques. Les bibliothèques C++ disponibles en ligne permettent d'enrichir le langage et d'ajouter facilement des fonctionnalités supplémentaires.

### **d. Caractère Open Source et Extensibilité du Matériel :**

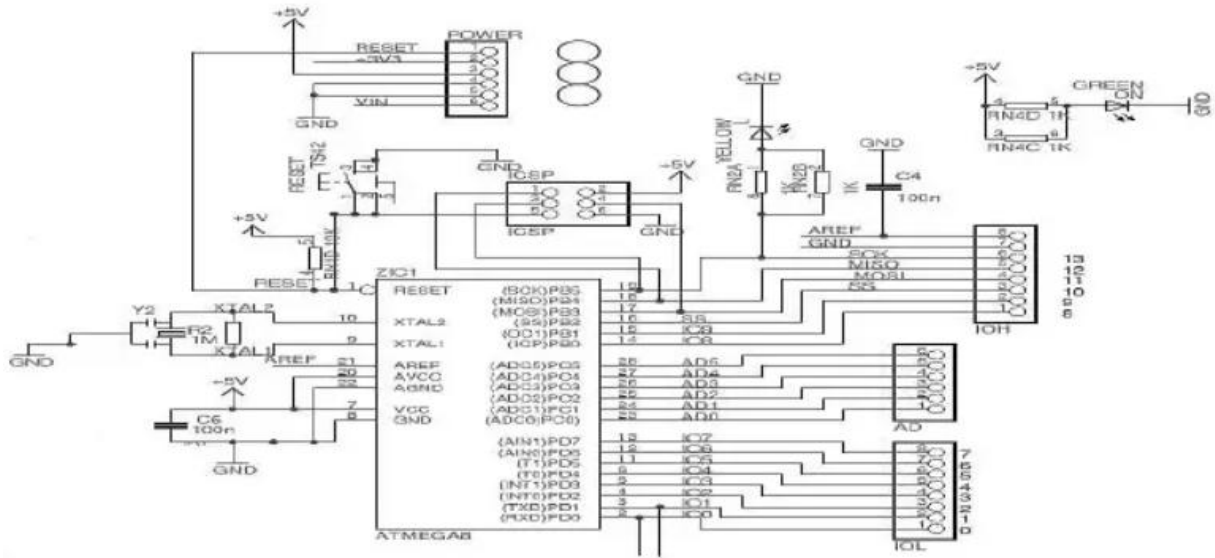
Les schémas des cartes Arduino sont publiés sous licence Creative Commons, offrant la possibilité aux concepteurs de circuits expérimentés de créer leurs propres variantes du module. De plus, une variété de cartes d'extension est disponible pour enrichir les fonctionnalités des cartes Arduino de base, répondant ainsi aux besoins spécifiques des projets.

## **3 La carte arduino UNO**

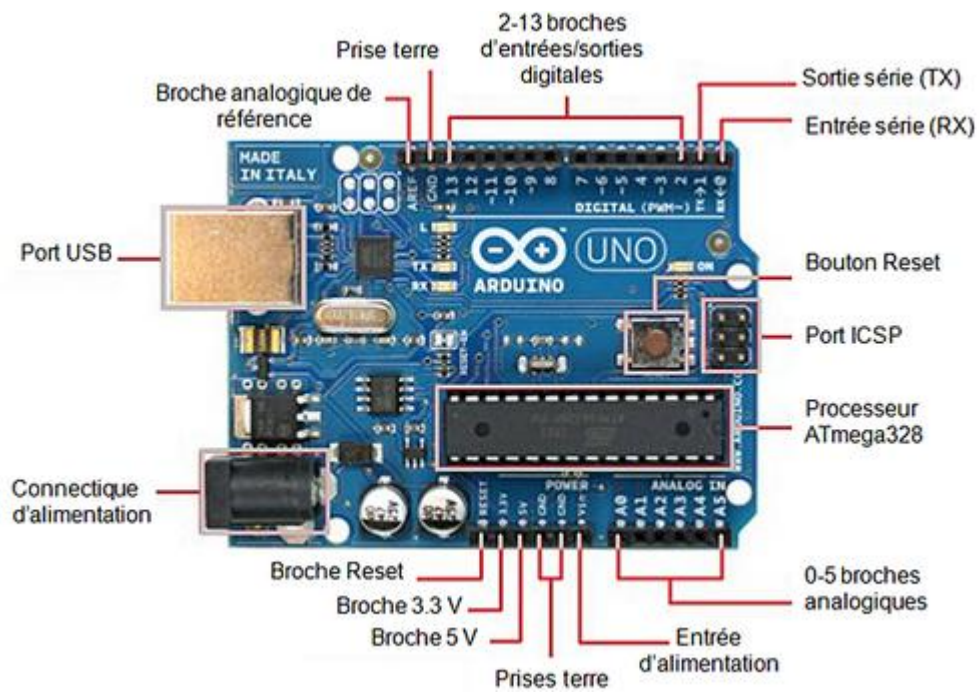
### **3.1 Description**

L'Arduino Uno est une carte de développement microcontrôleur intuitive et polyvalente, adaptée à une large gamme de projets électroniques. Grâce à sa facilité d'utilisation, à son vaste soutien communautaire et à ses nombreuses options d'extension, elle est idéale tant pour les débutants que pour les professionnels en programmation et en électronique.

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET



*Figure II.7 : Schéma interne de l'Arduino UNO.*



*Figure II.8 : La carte Arduino UNO.*

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

### 3.2 Caractéristiques technique

*Tableau II.2 : Caractéristiques technique de la carte ARDUINO UNO.*

Microcontrôleur	ATmega328
Tension d'alimentation interne	5V
Tension d'alimentation	7V-12V
Entrées numériques	14
sorties numériques	6
Entrées analogiques	6
Courant max par broches E/S	40mA
Courant max sur sortie 3.3V	50mA
Mémoire Flash	32KB
Mémoire SRAM	2KB
Mémoire EEPROM	1KB
Fréquence horloge	16MHz
Dimensions	68.6mm x 53.3mm

### 3.3 Le microcontrôleur ATMega328

Un microcontrôleur ATMega328 est un circuit intégré qui regroupe plusieurs composants complexes sur une seule puce dans un espace réduit. Aujourd'hui, grâce à l'intégration de nombreux composants encombrants tels que les transistors, les résistances et les condensateurs, tout peut être contenu dans un petit boîtier en plastique noir doté de plusieurs broches. La programmation de ce microcontrôleur peut se faire en langage C [24].



*Figure II.9 : Microcontrôleur ATMega328.*

Le microcontrôleur ATMega328 est constitué d'un ensemble d'éléments, chacun ayant une fonction bien déterminée. L'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement de [24] :

- Nombre de broches : 28.
- Mémoire flash : 32Ko.
- Mémoire données EEPROM : 1Ko.

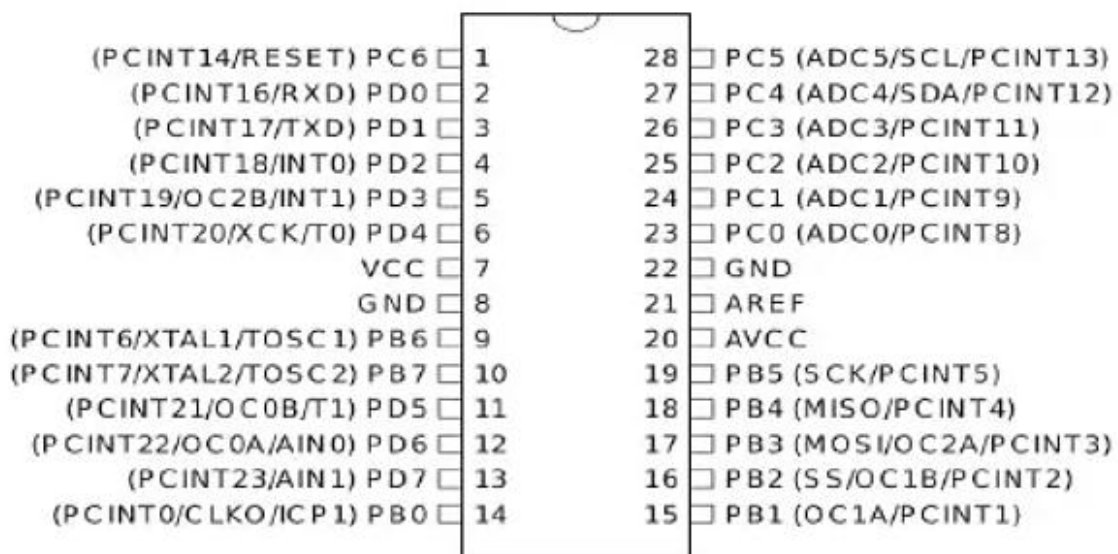
## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

- Mémoire RAM : 2Ko.
- 32 registres de travail d'accès rapide pour L'ALU.
- Ports parallèle : 3 (avec 32 Broches E/S).
- Fréquence d'horloge : 16Mhz (maximum tolérée = 20Mhz)
- Périphériques internes :
  - ❖ 6 convertisseur Analogique/Numérique 10 bits, comparateur analogique
  - ❖ 1 timer 16 bits (T1), 2 timers 8 bits (T0, T2)
  - ❖ 6 canaux PWM, 1 chien de garde (watchdog)
  - ❖ SPI, USART, TWI (=I2C)
- 26 interruptions.
- 5 modes d'économie d'énergie

### 3.4 Le Brochage

#### ➤ Entrées / Sorties numérique :

Chaque broche numérique de la carte UNO, numérotée de 0 à 13, peut être configurée comme entrée ou sortie numérique en utilisant les instructions *pinMode()*, *digitalWrite()* et *digitalRead()* du langage Arduino. Ces broches fonctionnent sous une tension de 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un courant maximum de 40 mA et possède une résistance interne pull-up (désactivée par défaut) comprise entre 20 et 50 kΩ. Cette résistance interne peut être activée sur une broche configurée en entrée à l'aide de l'instruction *digitalWrite(broche, HIGH)* [25].



**Figure II.10 : Brochage de Microcontrôleur ATmega328.**

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

- **Communication Série** : La broche 0 (RX) reçoit les données série au niveau TTL, tandis que la broche 1 (TX) les transmet. Ces broches sont reliées aux broches correspondantes du circuit intégré de la carte, qui agit comme un convertisseur USB-vers-série.

- **Interruptions Externes** : Les broches 2 et 3 peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, un front montant ou descendant, ou un changement de valeur.

- **Impulsion PWM** : Les broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11 fournissent une impulsion PWM 8 bits à l'aide de l'instruction *analogWrite()*.

- **SPI (Interface Série Périphérique)** : les broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) prennent en charge la communication SPI (Interface Série Périphérique) et sont utilisables avec la bibliothèque de communication SPI.

- **I2C** : Les broches 4 (SDA) et 5 (SCL) prennent en charge les communications utilisant le protocole I2C (ou interface TWI, pour Two-Wire Interface), accessible via la bibliothèque Wire/I2C.

### ➤ Entrées / Sorties analogique :

La carte UNO possède 6 entrées analogiques, numérotées de 0 à 5, offrant une résolution de 10 bits (soit 1024 niveaux, de 0 à 1023), grâce à la fonction très utile *analogRead ()* du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent des tensions de 0V (valeur 0) à 5V (valeur 1023). Cependant, il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction *analogReference()* du langage Arduino. La carte Arduino UNO est également équipée d'un fusible protégeant le port USB de l'ordinateur contre les surcharges de courant (le port USB étant généralement limité à 500mA). Bien que la plupart des ordinateurs possèdent leur propre protection interne, le fusible de la carte offre une protection supplémentaire. Si plus de 500mA sont appliqués au port USB, le fusible de la carte interrompra automatiquement la connexion jusqu'à ce que le court-circuit ou la surcharge soit résolu [25].

Autres broches :

- **AREF** : Tension de référence pour les entrées analogiques. Utilisée avec l'instruction *analogReference()*.

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

- **Reset** : Mettre cette broche au niveau BAS provoque la réinitialisation (redémarrage) du microcontrôleur. En général, cette broche est utilisée pour ajouter un bouton de réinitialisation sur le circuit, en complément de celui déjà présent sur la carte.

### 3.5 Alimentation

La carte Arduino UNO peut être alimentée soit via la connexion USB (fournissant jusqu'à 5V à 500mA) soit à l'aide d'une alimentation externe. La carte sélectionne automatiquement la source d'alimentation appropriée.

- **VIN** : La broche VIN permet de fournir une tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est alimentée par une source externe, différente de 5V fourni par la connexion USB ou une autre source régulée à 5V. On peut utiliser cette broche pour alimenter la carte, ou si l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, la tension d'alimentation peut être mesurée sur cette broche.

- **5V** : Cette broche fournit une tension régulée de 5V utilisée pour alimenter le microcontrôleur et les autres composants de la carte. Cette tension appelée "tension régulée", est obtenue grâce au régulateur intégré à la carte Arduino. Le 5V régulé peut provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, soit de la connexion USB (fournissant du 5V régulé), ou encore d'une autre source d'alimentation régulée.

- **3V3** : Une alimentation de 3,3V est disponible sur la carte Arduino, ce qui est utile pour certains circuits externes nécessitant cette tension plutôt que 5V.

- **GND** : broche de masse.

### 3.6 Le mode de communication

- **Inter integrated circuit I2C**

La norme I2C (Inter-Integrated Circuit) a été développée pour offrir un moyen simple de transférer des informations numériques entre capteurs, actionneurs et microcontrôleurs. La bibliothèque Arduino "Wire" simplifie l'utilisation de ce standard lors de la connexion de périphériques compatibles.

Arduino utilise le bus I2C pour la communication série avec les dispositifs compatibles connectés. Ce bus présente l'avantage de nécessiter seulement deux connexions de signalisation :

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

- **SDA (Serial Data line):** Sur la ligne de données série, l'ensemble du transfert de données entre les appareils s'effectue exclusivement.

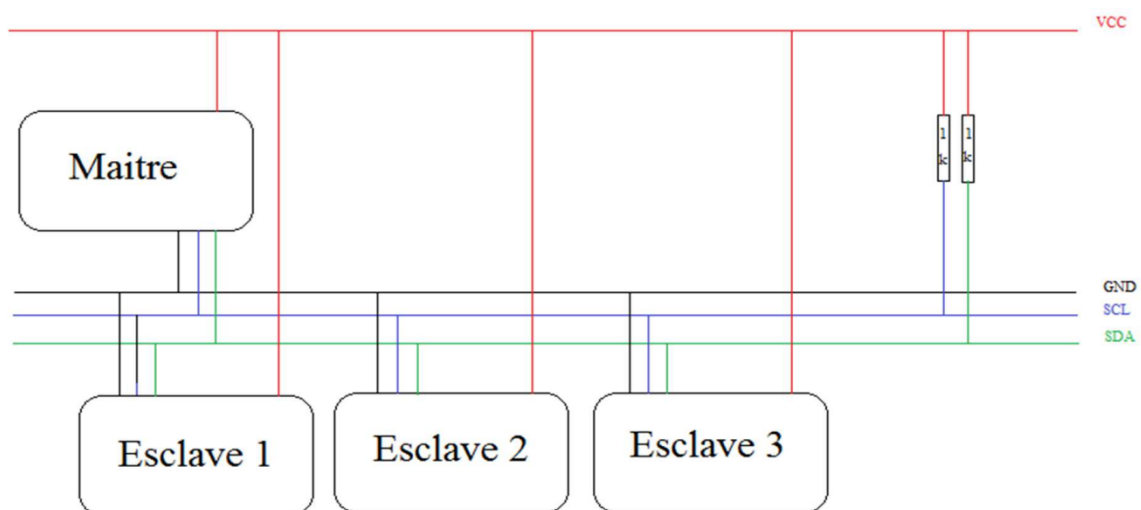
- **SCL (Serial Clock Line) :** La ligne d'horloge série, ou SCL, est également utilisée dans le protocole I2C. En tant que protocole synchrone, SCL est utilisé pour synchroniser le transfert de données entre tous les dispositifs connectés.

Ces fonctionnalités sont accessibles via les deux broches, ce qui rend relativement simple l'utilisation de plusieurs périphériques sur ces deux connexions. De plus, il est possible de recevoir une confirmation que les signaux ont été correctement reçus [26], [27].

**NB :** Les périphériques utilisant le protocole I2C nécessitent une masse commune pour communiquer. Ainsi, la broche GND de l'Arduino doit être reliée à la masse sur chaque appareil compatible I2C.

### 3.7 Architecture d'un réseau mono-maitre

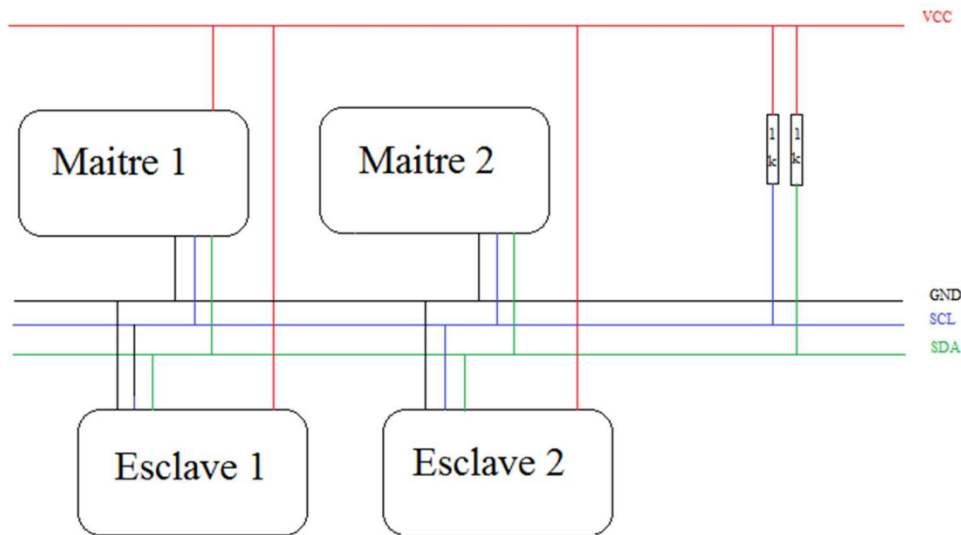
Le protocole I2C fonctionne selon le concept de maître-esclave, où chaque appareil est soit maître, soit esclave. Le maître est l'appareil qui initie le transfert de données et contrôle la ligne d'horloge SCL. Il est courant d'avoir plusieurs esclaves connectés à un seul maître sur un seul bus I2C, ce qui est le cas dans notre application.



*Figure II.11 : Architecture du réseau de communication mono-maitre.*

### 3.8 Architecture d'un réseau multi-maitre

Effectivement, bien que moins courant, il est possible d'avoir plusieurs maîtres connectés au même bus I2C. Cependant, pour simplifier la communication, il est généralement recommandé d'éviter de tels cas. Néanmoins, le protocole I2C prend en charge l'arbitrage des maîtres et la détection des collisions dans le cas d'une architecture multi-maîtres.



*Figure II.12 : Architecture du réseau de communication multi-maitre.*

Les périphériques esclaves sont identifiés par leurs adresses numériques. Chaque esclave doit posséder une adresse unique. Certains appareils I2C ont une adresse fixe, tandis que d'autres permettent la configuration de leur adresse.

Les périphériques esclaves sont identifiés par leurs adresses numériques. Chaque esclave doit posséder une adresse unique. Certains appareils I2C ont une adresse fixe, tandis que d'autres permettent la configuration de leur adresse [26], [27].

### 3.9 Modulation de largeur d'impulsion (PWM)

La modulation de largeur d'impulsion (PWM), également connue sous le nom de modulation par largeur d'impulsion (MLI), est une technique utilisée pour contrôler des signaux analogiques à l'aide de sorties numériques d'un microcontrôleur. Cette technique implique une série rapide d'impulsions électriques. Le PWM génère un signal binaire, alternant sans transition entre la valeur minimale fixe de l'Arduino (0V) et sa valeur maximale fixe (VCC). En ajustant la durée des impulsions au niveau maximal par rapport à celles au niveau minimal, il est possible de créer une valeur moyenne, exprimée en pourcentage [24].

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

- **Intérêt de l'utilisation du procédé PWM**

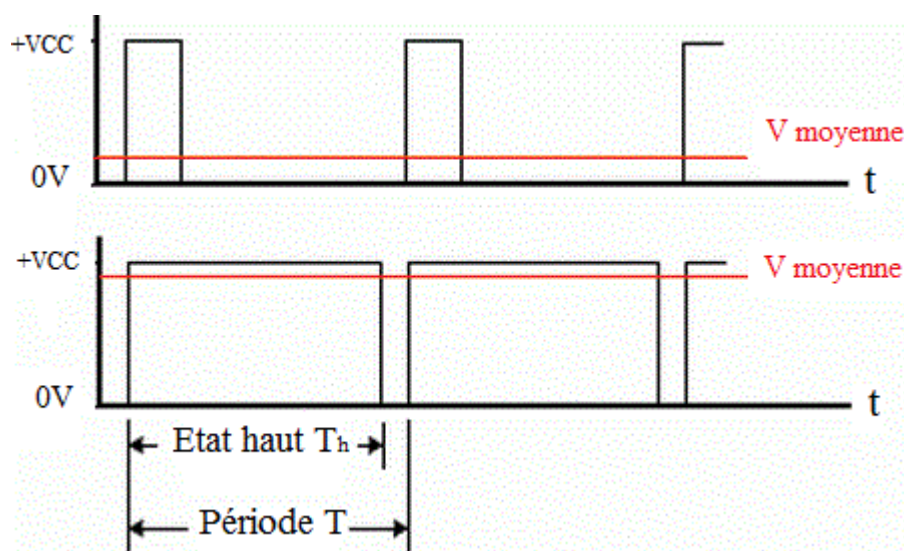
Le PWM permet d'émuler une variation de tension continue en utilisant un contrôle binaire tout ou rien. Cette technique permet aux composants de puissance de chauffer beaucoup moins qu'en utilisant un signal analogique continu. De plus, les signaux numériques sont moins sensibles aux interférences que les signaux analogiques, ce qui les rend plus fiables.

Le principal avantage de la technique PWM réside dans la réduction de la chauffe des composants électroniques. Contrairement à la commande analogique, où il est nécessaire de dissiper le complément de la puissance maximale consommée pour obtenir une variation de puissance, le PWM permet de réduire cette dissipation de chaleur en contrôlant le rapport cyclique des signaux.

- **Le fonctionnement du procédé PWM**

La technique de modulation de largeur d'impulsion (PWM) consiste à générer un signal carré avec un rapport cyclique modulé en fonction d'un signal de commande. Ce signal généré peut être utilisé pour contrôler un circuit de puissance. Le contrôle de l'actionneur de puissance par PWM est étroitement lié à la notion de fréquence. Pour que l'impression d'une valeur moyenne d'allumage constante apparaisse, il est nécessaire que l'alternance entre l'allumage et l'extinction soit suffisamment rapide pour ne pas être remarquée.

La fréquence du PWM peut varier selon les applications, allant de 100 Hz (100 cycles par seconde) à 200 kHz [23], [28].



*Figure II.13 : Principe de la PWM.*

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

- 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  $0.5 \times VCC$ .

### 4 Capture numérique DS18B20

Nous avons consulté la fiche technique (datasheet) du capteur de température numérique DS18B20 pour étudier ses caractéristiques et obtenir les informations nécessaires à son utilisation.

#### 4.1 Description

Le thermomètre numérique DS18B20 offre des lectures de température configurables de 9 à 12 bits, reflétant la température mesurée par le dispositif. Les données circulent entre le DS18B20 et d'autres dispositifs via une interface One-Wire, nécessitant seulement un fil de donnée (et la connexion à la terre) pour relier le microprocesseur central au DS18B20. L'alimentation nécessaire pour les lectures, écritures et conversions de température peut être obtenue directement à partir de la ligne de données, sans nécessiter de source d'alimentation externe. Chaque DS18B20 possédant un numéro de série unique en silicium, plusieurs d'entre eux peuvent coexister sur le même bus One-Wire, ce qui permet de placer des capteurs de température dans divers endroits. Cette polyvalence est utile dans des domaines tels que les contrôles environnementaux HVAC, la surveillance des températures dans les bâtiments, équipements ou machines, ainsi que dans la surveillance et le contrôle des processus.



*Figure II.14 : capture de température numérique DS18B20.*

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

*Tableau II.3 : Fiche technique de capture DS18B20.*

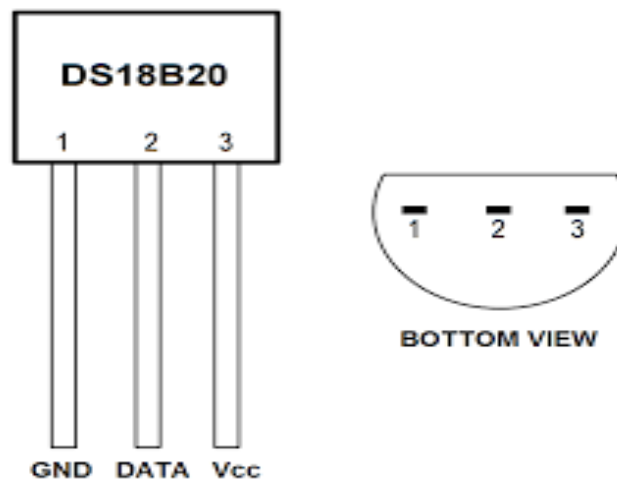
Caractéristique	Description
Type de capteur	Numérique (1-Wire)
Plage de température	-55°C à +125°C
Précision	±0,5°C dans la plage de -10°C à +85°C
Résolution	Programmable de 9 à 12 bits (0,5°C à 0,0625°C)
Tension d'alimentation	3.0V à 5.5V
Courant en mode actif	1,5 mA (max)
Courant en mode veille	1 µA (typique)
Interface	1-Wire (communication via une seule broche)
Temps de conversion	93,75 ms à 750 ms selon la résolution
Type de boîtier	TO-92, boîtier étanche disponible
Capacité de mise en réseau	Jusqu'à 128 capteurs sur une seule ligne
Protocole	1-Wire, compatible avec les microcontrôleurs
ID unique	Chaque capteur possède un identifiant unique sur 64 bits (fournit par l'usine)
Temps de réponse	Moins de 750 ms (dépend de la résolution)
Protection contre les erreurs	Fonctionnalité de détection de court-circuit
Applications typiques	Mesures de température en environnement médical ou industriel, domotique, ou en laboratoires

### 4.2 Diagramme bloc de DS18B20

La figure ci-dessous représente les pins de capteur de température DS18B20.

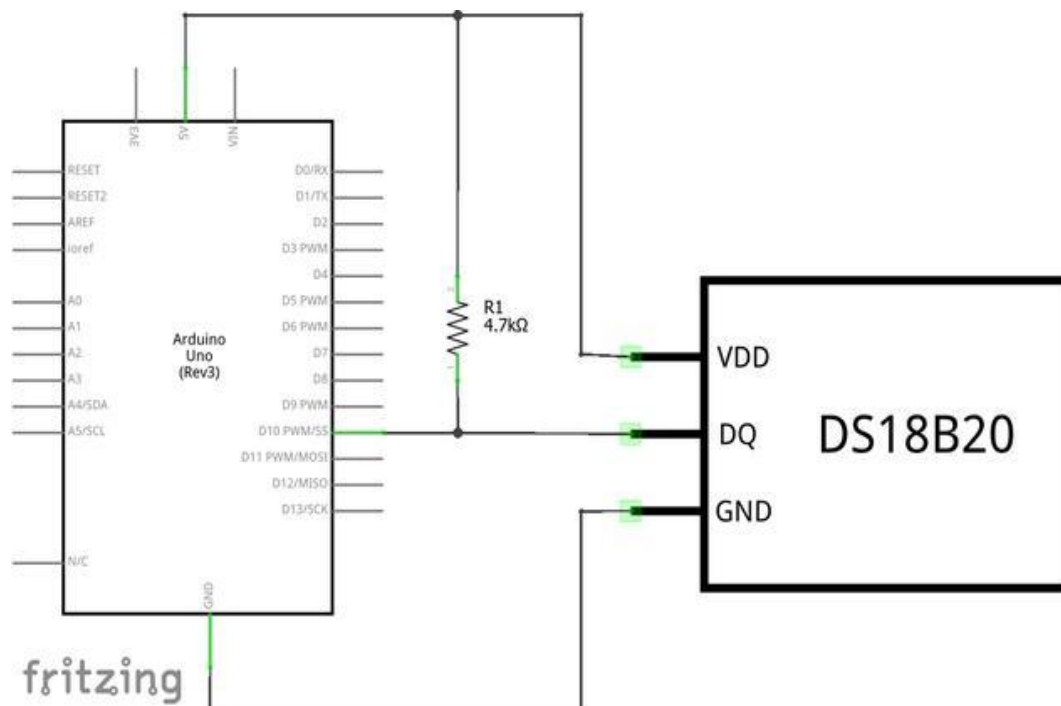
Les pins sont représentés comme suite :

- GND : c'est la pine a relie avec la broche GND de arduino.
- DATA : la pine de communication des données.
- VCC : la pine d'alimentation.



*Figure II.15 : Diagramme de DS18B20 [29].*

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

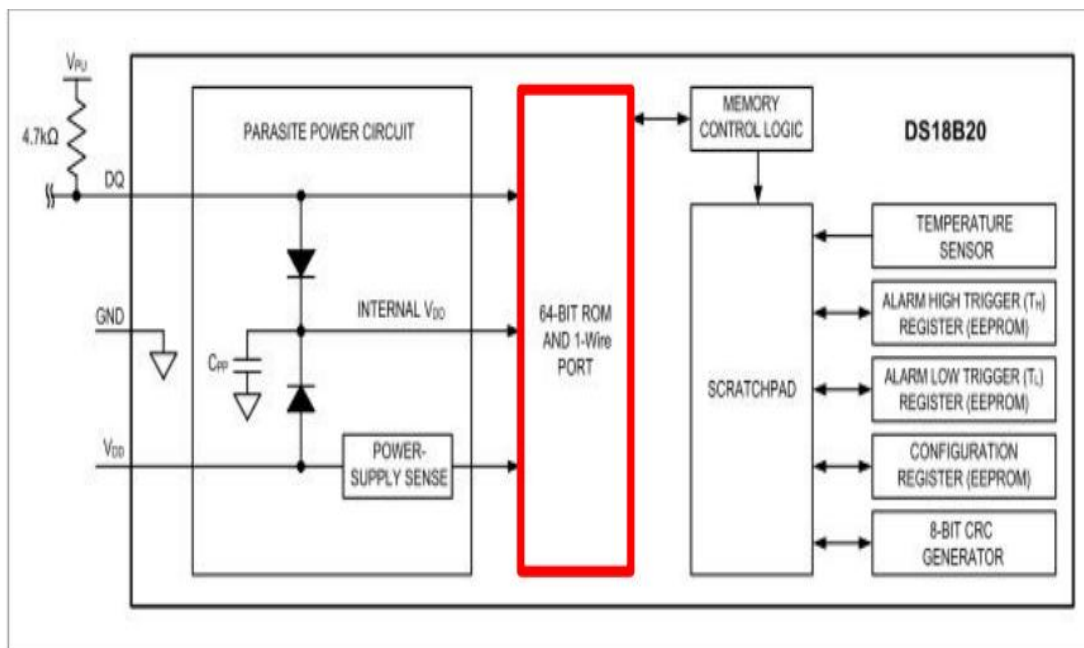


*Figure II.16 : Câblage de DS18B20 [30].*

### 4.3 Structure interne de DS18B20

Tous les circuits One-Wire sont équipés d'une mémoire ROM (Read Only Memory) qui contient un identifiant unique, appelé code ROM, de 64 bits.

Dans notre cas qui est le capteur de température numérique DS18B20, On identifie facilement cette mémoireROM.



*Figure II.17 : Structure interne de DS18B20 [31].*

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET

### 4.4 Mode de fonctionnement

Le capteur DS18B20 utilise le protocole One-Wire pour communiquer avec une carte maître, ce qui permet à plusieurs capteurs d'être connectés simultanément sur le même bus. Chaque capteur possède une adresse unique inscrite lors de sa fabrication, garantissant ainsi leur individualité.

Un bus One-Wire se compose généralement de trois fils : un fil de masse (GND), un fil d'alimentation (5 volts) et un fil de données. Pour faire fonctionner ce bus, il est nécessaire d'ajouter une résistance de tirage de 4,7 k $\Omega$  entre la broche d'alimentation et la broche de données.

## 5 Capteur analogique LM35

### 5.1 Description

Le **LM35** est un capteur de température analogique largement utilisé, qui fournit une sortie en tension proportionnelle à la température mesurée. Il est apprécié pour sa simplicité d'utilisation, nécessitant peu de composants supplémentaires, ainsi que pour sa faible consommation d'énergie, sa précision et sa facilité d'intégration dans des systèmes analogiques et numériques.

Le LM35 est couramment employé dans divers systèmes de mesure de température, couvrant des applications dans les domaines médicaux, domestiques, industriels et électroniques [32].

*Tableau II.4 : Fiche technique de LM35.*

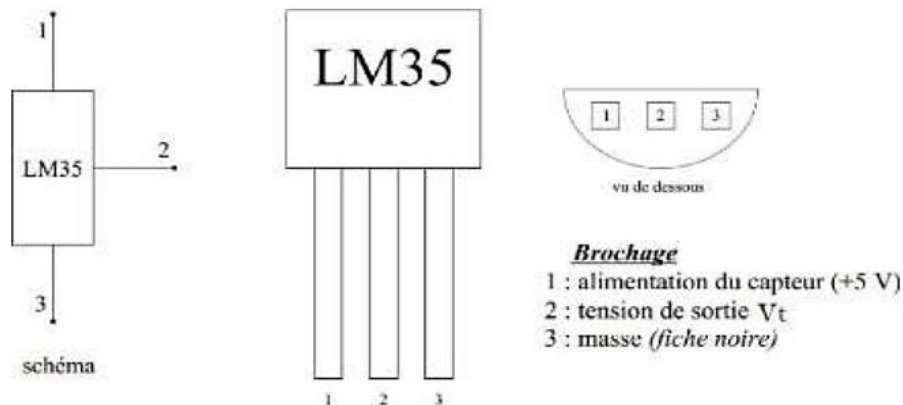
Caractéristique	Description
Type de capteur	Analogique
Plage de température	-55°C à +150°C
Précision	$\pm 0,5^\circ\text{C}$ à température ambiante (25°C)
Sensibilité	10 mV/°C (pour chaque °C, la sortie augmente de 10 mV)
Tension de sortie	Proportionnelle à la température en °C
Tension d'alimentation	4V à 30V
Courant de repos	60 $\mu\text{A}$ (très faible consommation)
Impédance de sortie	Faible (inférieure à 1 ohm à 1 mA de charge)
Non-linéarité	$\pm 0,25^\circ\text{C}$ (typique)
Temps de réponse	1,5 à 2 secondes
Type de boîtier	TO-92, SOIC-8, TO-220 (selon la version)
Protection contre la surchauffe	Aucune protection spécifique contre les températures extrêmes
Température de stockage	-60°C à +150°C
Courant de polarisation	50 $\mu\text{A}$ à 1 mA
Erreur totale	$\pm 0,5^\circ\text{C}$ à 25°C
Applications typiques	Mesure de température en environnements industriels, électroniques, et domestiques

## 5.2 Brochage de capteur LM35

Le capteur analogique LM35 possède trois broches à connecter :

- Broche 1 (VCC) : Connexion à la broche 5V de l'Arduino.
- Broche 2 (GND) : Connexion à la broche GND de l'Arduino.
- Broche 3 (Vout) : Connexion à une entrée analogique de l'Arduino.

La figure suivante illustre ces connexions :



*Figure II.18 : Brochage de capteur LM35 [33].*

**NB :** le LM35 donne la température avec la fonction suivante :

$$T(\text{en degré Celsius}) = 100 \times V + T_0$$

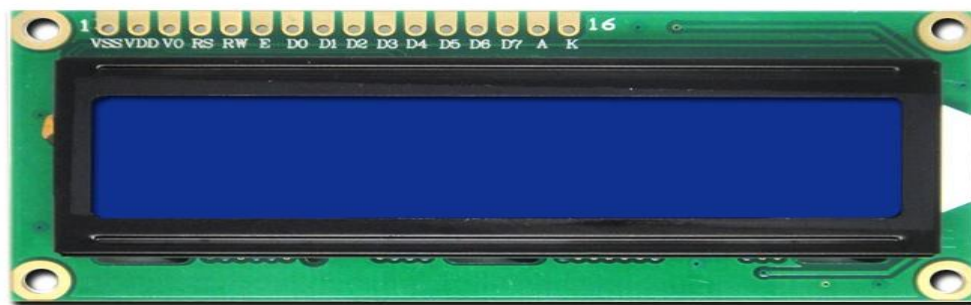
## 6 Afficheur LCD 16×2

### 6.1 Description

Les afficheurs à cristaux liquides (LCD) sont des modules compacts et intelligents, nécessitant peu de composants externes pour fonctionner correctement. Ils sont relativement économiques et faciles à utiliser. Par exemple, un afficheur LCD de 2 lignes et 16 caractères se connecte directement aux broches du PIC et fonctionne avec une alimentation de 5 V. Comme le PIC ne traite pas les codes de commandes des afficheurs, il est compatible avec tous les modèles disponibles, allant de 1 à 4 lignes et de 6 à 80 caractères [29].

Il existe deux interfaces normalisées pour les afficheurs LCD : une version « parallèle » et une version « série ». Dans notre étude, l'afficheur communique avec le microcontrôleur via le PORTB en utilisant l'interface parallèle, où le transfert de données se fait en deux phases [30].

## CHAPITRE II : LES COMPOSANTS ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE POUR LA REUSSITE DE NOTRE PROJET



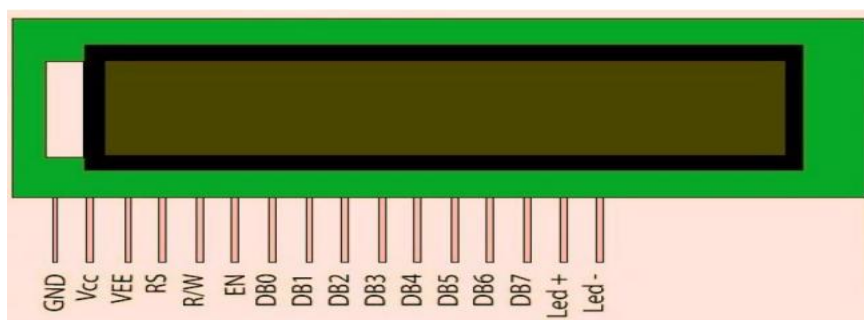
*Figure II.19 : Afficheur LCD 16×2 [34].*

### 6.2 Branchement de l'écran LCD

Le branchement de l'afficheur LCD 16\*2 est illustré dans le tableau suivant.

*Tableau II.5 : Brochage de l'écran LCD.*

Numéro de pastille	Application	Fonction
1	Vss	Masse
2	Vdd	Alimentation de 5V
3	Vee	Tension a appliqué pour gérer le contraste
4	RS	Registre select
5	R/W	Ecriture ou lecture
6	E	Enable (sélection de l'afficheur)
7-14	DB0-DB7	Data 1 à 7 (données ou instruction)



*Figure II.20 : Branchement de l'écran LCD.*

Dans notre application, nous avons utilisé l'afficheur en mode écriture (RW=0), L'afficheur reçoit deux types de commande : soit des instructions permettant de gérer l'afficheur proprement dit (effacement de l'écran, affichage du curseur, clignotement du curseur.... etc.), soit des données qui seront affichées à la position courante du curseur. La sélection du mode instruction est réalisée en mettant la broche RS à 0 (Registre Select) et en envoyant ensuite l'octet de commande sur le port de données (DB4 à DB7). Lorsque la broche RS est à 1 les valeurs envoyées sur les lignes DB4 à DB7 seront affichées sous forme de caractères ASCII à la position courante du curseur.

## **7 Conclusion**

Pour notre projet, nous avons choisi d'utiliser la carte Arduino en raison de sa disponibilité, de son efficacité et de son coût réduit. Les capteurs DS18B20 et LM 35, adaptés aux applications médicales, garantissent des mesures précises de la température cutanée et ambiante. Le système de chauffage par diffusion, avec deux résistances de 400W, assure une régulation thermique optimale, tout en intégrant un système d'alerte pour signaler toute anomalie. Ce prototype vise à améliorer la sécurité et le confort des nouveau-nés.

# **Chapitre III : Partie réalisation pratique**

### 1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons expliquer les différentes étapes et la méthodologie de réalisation de notre prototype de table chauffante destinée aux nouveau-nés. Ce prototype représente un système de chauffage pour la régulation de la température des nouveaux nés.

Après avoir expliqué dans les chapitres précédents et donné une description des notions de base des différents composants utilisés dans ce projet, à savoir le capteur de température DS18B20, le capteur de température LM35, le système de chauffage (résistance chauffante), et la carte arduino avec son domaine de développement, nous procéderons à l'application expérimentale. Celle-ci comprendra un dispositif de pilotage du chauffage par radiation comme première partie, une deuxième partie de contrôle et d'affichage basé sur Arduino et en fin une troisième partie de blindage.

Nous allons élaborer un cahier des charges et un organigramme de fonctionnement. Ces documents définiront les besoins auxquels notre application répondra, ainsi que les étapes à suivre pour y parvenir.

### 2 Cahier de charges

La table chauffante néonatale est un dispositif doté d'un système de régulation de température, conçu pour offrir et maintenir des conditions cliniques optimales pour les nouveaux nés et les nourrissons.

Dès l'allumage de la table chauffante, l'état thermique de nouveau-né est évalué à l'aide de capteur numérique DS18B20, ainsi que la température ambiante de notre table à l'aide de capteur LM35. Ces deux valeurs s'afficheront sur un afficheur alphanumérique LCD. En fonction de la température cutanée mesurée par le DS18B20, l'Arduino commandera l'allumage et l'extinction de chauffage par radiation, si la température cutanée est inférieure à la normale (le nouveau-né est en état d'hypothermie), le système de chauffage s'allumera automatiquement.

### 3 Les étapes de notre réalisation

Notre réalisation pratique se fait en 6 étapes :

#### 3.1 La conception du circuit électronique

Cette étape est cruciale. Elle consiste à identifier les différentes structures des blocs qui composeront notre maquette, tout en veillant à ce qu'elles soient alignées avec nos objectifs fixés. Il s'agit également de sélectionner des composants répondant à nos besoins spécifiques, tout en respectant notre budget.

#### 3.2 La programmation

Dans cette section, nous avons élaboré l'organigramme de fonctionnement du système pour définir l'enchaînement des étapes de l'exécution du code. Sur la base de cet organigramme, nous avons ensuite rédigé le programme en utilisant l'environnement de développement intégré (IDE).

#### 3.3 La réalisation virtuelle sur ISIS Proteus

En utilisant le logiciel ISIS PROTEUS, un outil de développement et de simulation d'applications avec un environnement graphique simple et interactif, nous avons testé le circuit électrique. Cela nous a permis d'identifier et de corriger certaines erreurs de branchement dès la phase de conception, avant de passer à la réalisation pratique.

#### 3.4 La réalisation pratique de la maquette

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

#### 3.5 La réalisation de la carte électronique

A la fin de la réalisation de notre maquette, après avoir vérifié le bon fonctionnement de notre circuit, nous avons passé à la réalisation de notre carte électronique.

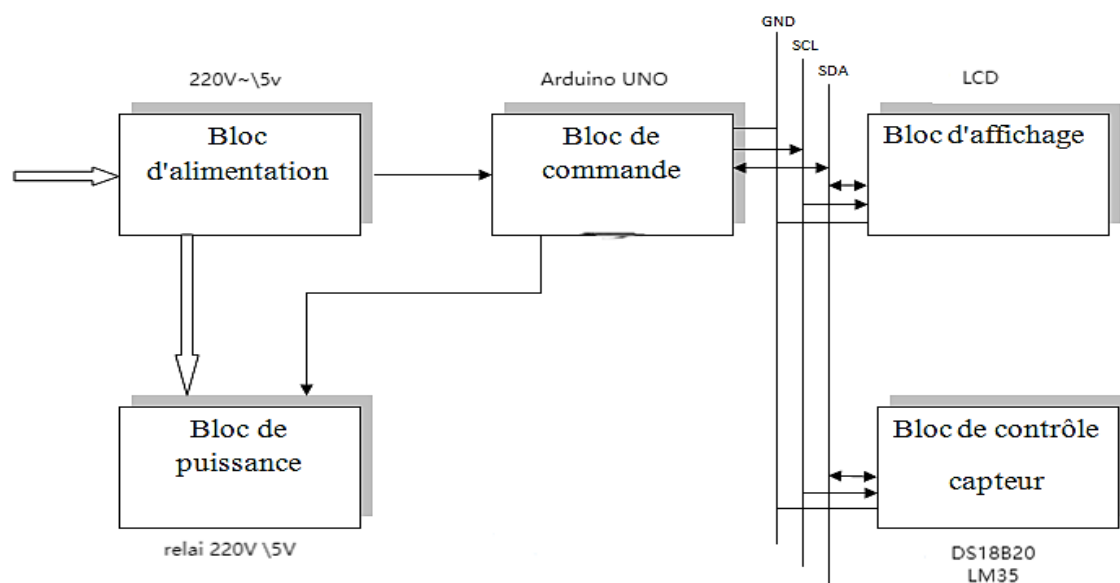
#### 3.6 La réalisation de blindage de notre table

Après avoir terminé la réalisation de notre carte électronique, nous avons passé à la réalisation du blindage de notre table chauffante.

## 4 Schéma synoptique générale

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

- Bloc d'alimentation
- Bloc de commande
- Bloc de puissance
- Bloc d'affichage



*Figure III.1 : Schéma synoptique général.*

## 5 Elaboration du circuit électronique

Avant de passer à la réalisation pratique de notre système, nous avons simulé les différentes parties à l'aide du logiciel ISIS.

ISIS (Intelligent Schematic Input System) est principalement utilisée pour éditer des schémas électriques, mais il permet également de simuler ces schémas. En utilisant ce logiciel, nous avons pu vérifier le fonctionnement du circuit et ajuster son aspect graphique [35].

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

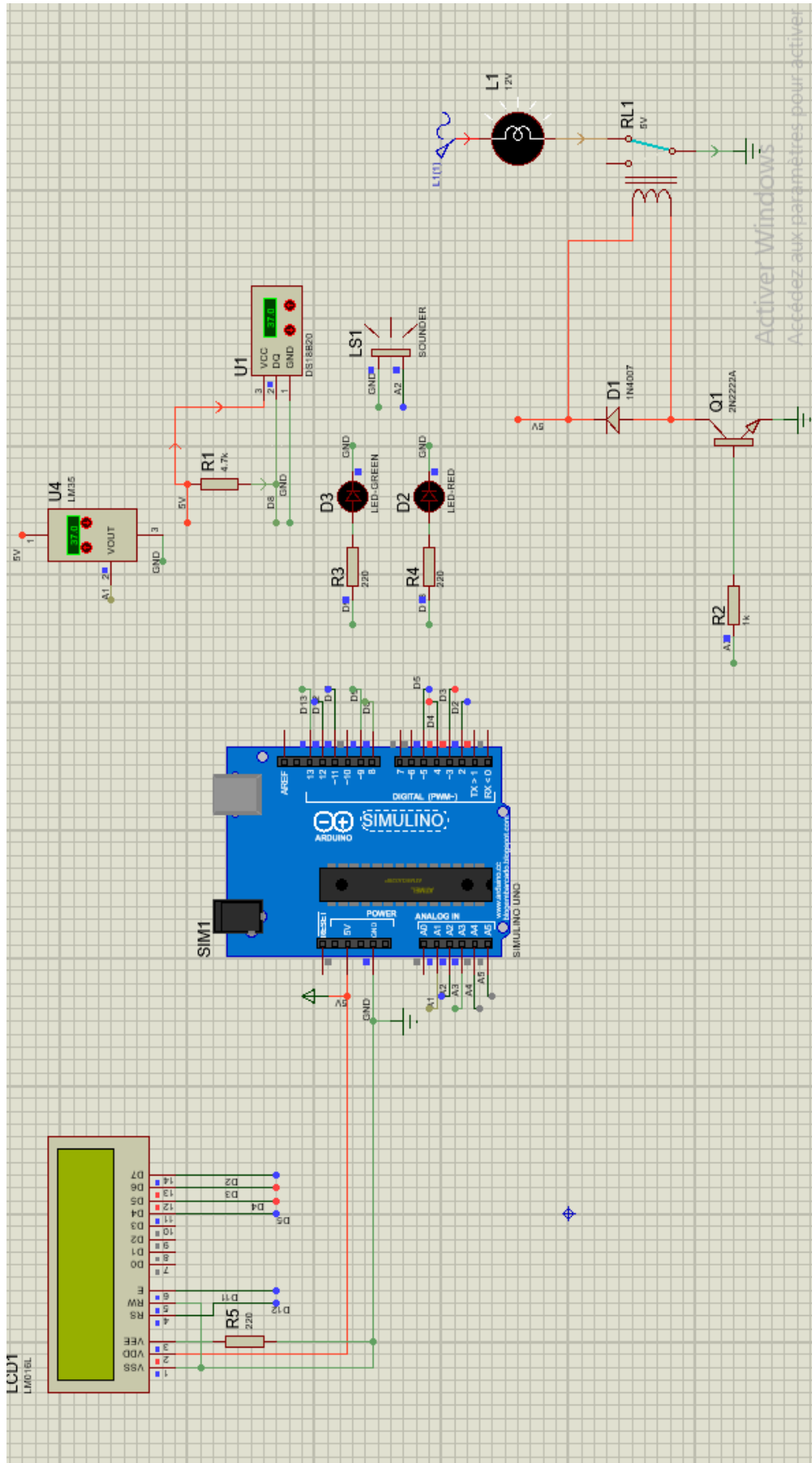


Figure III.2 : Réalisation virtuelle du circuit électrique sur ISIS Proteus

## CHAPITRE III : PARTIE RÉALISATION PRATIQUE

Pour la meilleure compréhension de ce circuit nous allons le décomposer en 6 blocs :

- **Bloc commande :**

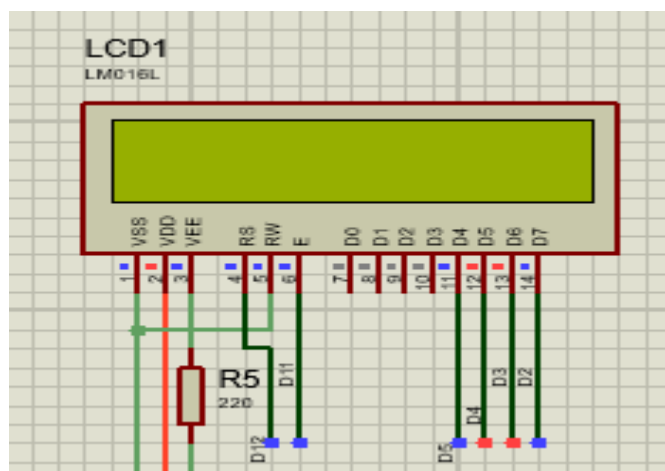
Ce bloc représente la carte Arduino UNO, qui est l'élément central de notre projet. Elle gère l'interfaçage et le contrôle des blocs périphériques. Son mode de fonctionnement est expliqué en détail dans le chapitre II.

- **Bloc contrôle (bloc capteurs) :**

La température ambiante est mesurée à l'aide du capteur LM35, et la température cutanée est mesurée par le capteur DS18B20, qui sont tous les deux connectés à l'Arduino. Les capteurs sont alimentés par la broche VCC, reliée au 5v de l'Arduino.

- **Bloc affichage :**

Les résultats du bloc de contrôle "capteurs" sont affichés sur un écran alphanumérique LCD de deux lignes de 16 caractères. Cet écran dispose de 8 lignes de données (DB0 à DB7) et de 2 lignes de commandes (RS, R/W, E). Voir la figure suivante :



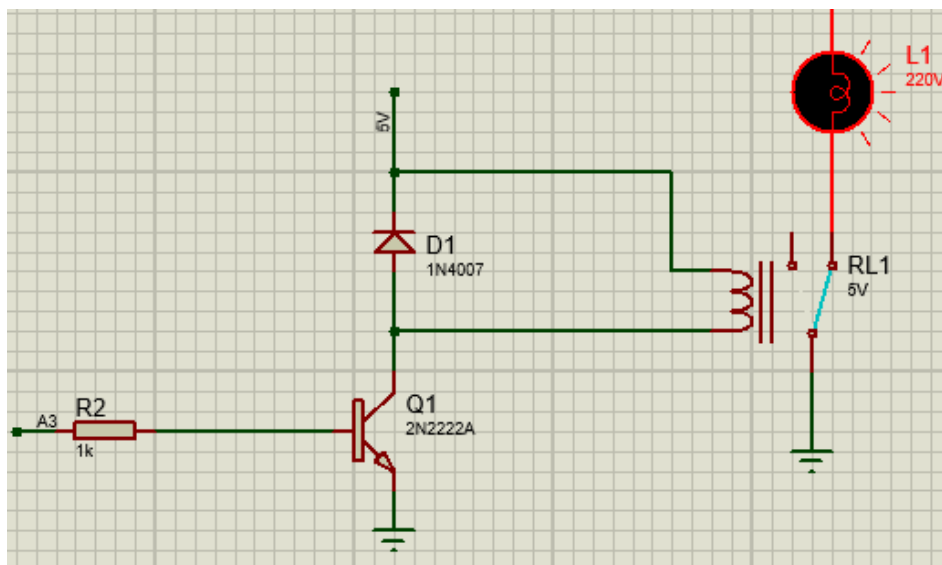
*Figure III.3 : Afficheur LCD 16×2.*

- **Bloc de puissance :**

Comme expliqué dans le chapitre II, l'Arduino ne peut fournir que du 3V et du 5V. Par conséquent, pour alimenter les résistances chauffantes de 400W fonctionnant en 220V, il est nécessaire de compléter l'alimentation de l'Arduino et de le protéger contre tout risque de court-circuit. Nous utiliserons l'alimentation principale fournie par Sonelgaz et piloterons la lampe à l'aide de la carte Arduino alimentée en 5V. Nous

### CHAPITRE III : PARTIE RÉALISATION PRATIQUE

commencerons par séparer le circuit de commande du circuit de puissance. Comme indique sur le schéma suivant :

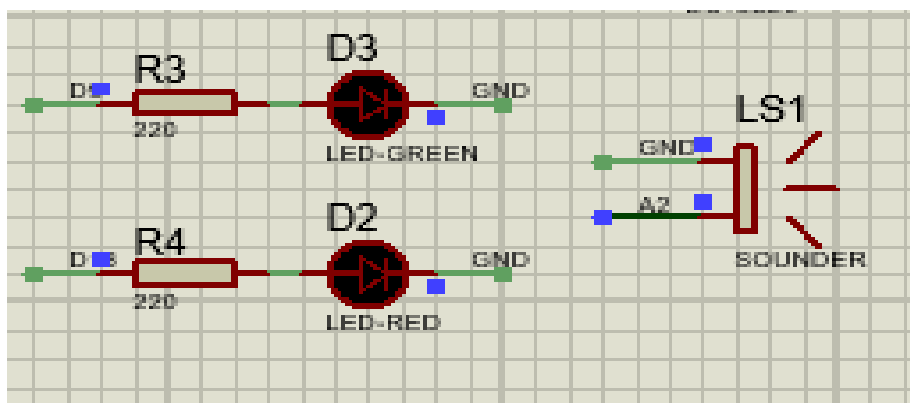


*Figure III.4 : Séparation circuit de puissance et circuit de commande.*

La carte Arduino, qui sert de circuit de commande, déclenche des passages de courant en envoyant un signal via la broche A3. Ce signal pilote un transistor et un relais, à leur tour, contrôlent l'allumage et l'extinction des résistances chauffantes. Ce circuit fonctionne comme un interrupteur.

- **Bloc de signalisation :**

Ce bloc sert à avertir l'utilisateur d'un danger, il contient deux LED lumineuses : la première, de couleur verte, indique que le bébé ne court aucun danger, tandis que l'autre, de couleur rouge, s'allume lorsque le nouveau-né est en état d'hypothermie ou d'hyperthermie. De plus, une alarme se déclenche lorsque la température de bébé dépasse 36°C, signalant un état d'hypothermie modérée.



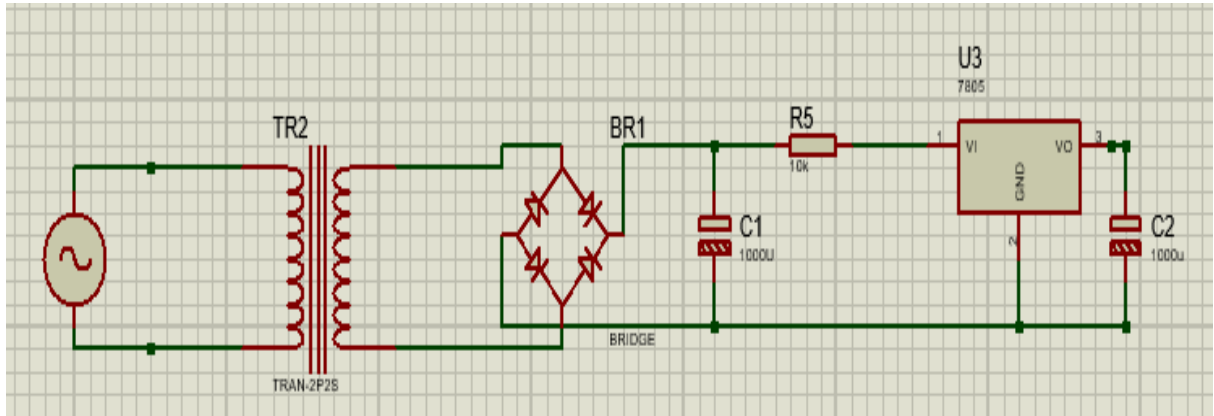
*Figure III.5 : Bloc de signalisation avec deux LEDs et une alarme.*

## CHAPITRE III : PARTIE RÉALISATION PRATIQUE

- **Bloc d'alimentation :**

Ce bloc est un circuit qui contient un transformateur de 12V, un pont de diodes, deux condensateurs, une résistance de protection et un régulateur de 5V.

Ce bloc sera alimenté par la tension fournie par Sonalgaz. A la sortie, nous aurons deux sorties : une de 220V pour alimenter le système de chauffage, et une de 5V pour alimenter Arduino.



*Figure III.6 : Bloc d'alimentation.*

## 6 Organigramme de fonctionnement

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

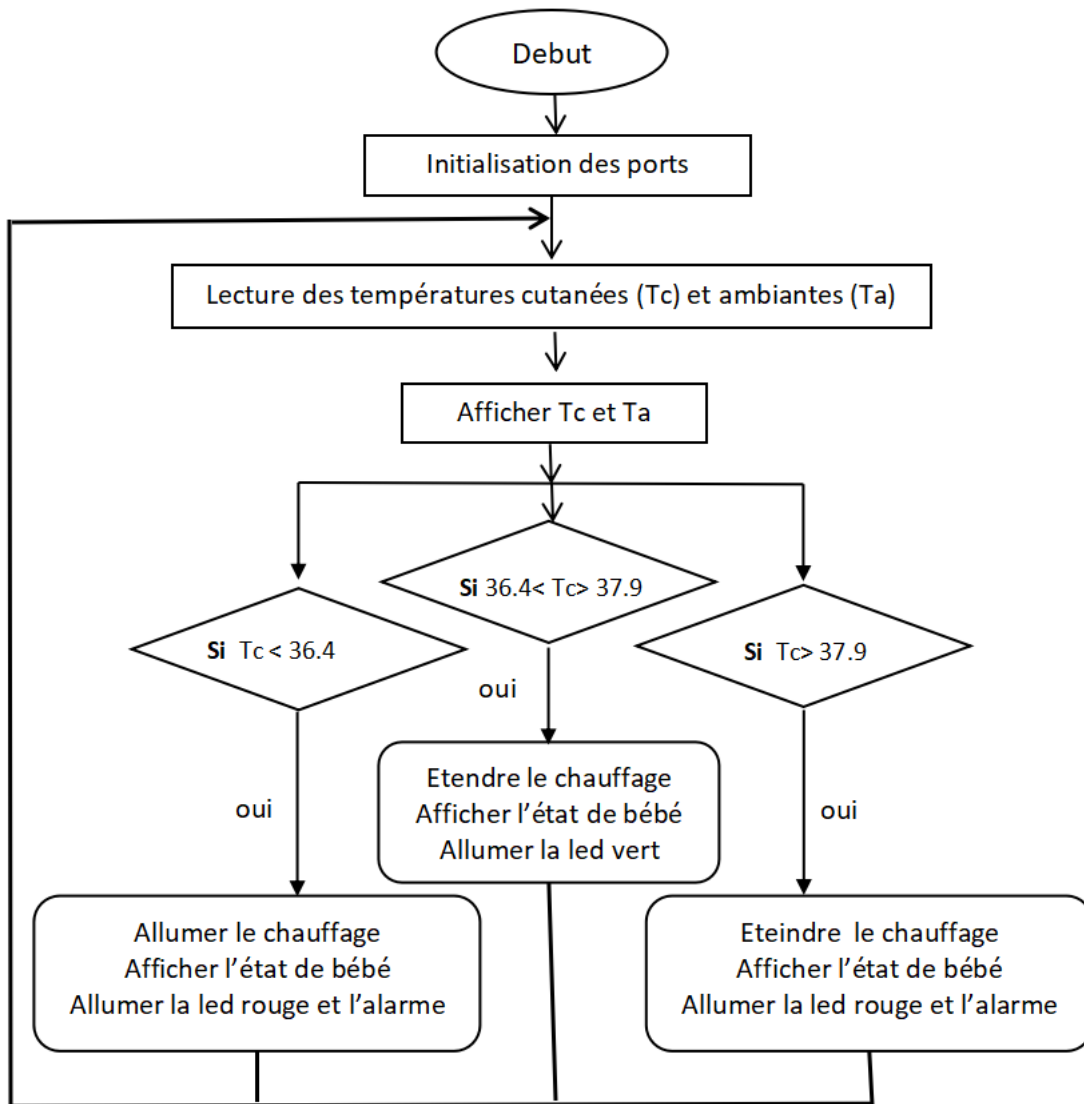


Figure III.7 : Organigramme de fonctionnement.

## 7 Réalisation circuit électrique

Dans cette partie, nous allons entamer la réalisation de notre circuit.

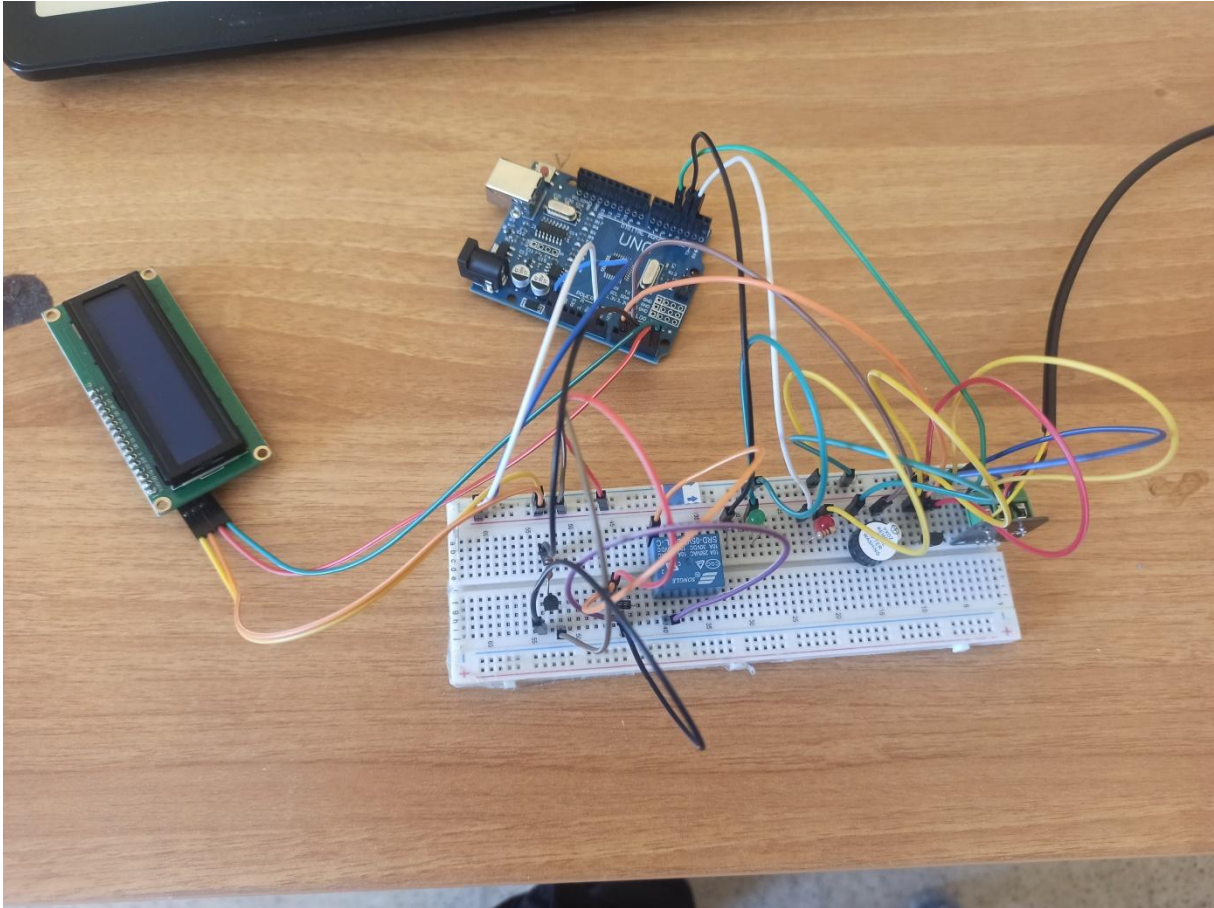
### 7.1 Teste sur breadboard

Avant de procéder au montage électrique, nous avons d'abord testé l'ensemble des composants en les branchant sur une breadboard.

**Bread board :** Il s'agit d'une plaque en plastique conçue pour tester des circuits sans nécessiter de soudure. Les fils peuvent être insérés dans les trous de la plaque, qui sont connectés horizontalement. Cependant, les lignes bleues et rouges, utilisées pour l'alimentation, sont reliées verticalement.

### CHAPITRE III : PARTIE RÉALISATION PRATIQUE

- **Afficheur LCD** : pour tester le bon fonctionnement de l'afficheur, nous l'avons branché à notre Arduino UNO et affiché deux messages.
- **Capteur DS18B20** : Pour tester notre capteur de température DS18B20, nous l'avons branché à l'Arduino UNO à l'aide d'un câble USB pour transmettre les données et tester les bibliothèques nécessaires. Nous avons branché l'alimentation du capteur à la sortie 5V de l'Arduino, la masse du capteur au GND de l'Arduino, et la broche de communication du capteur à la broche D8 de l'Arduino.
- **Capteur LM35** : Pour tester son bon fonctionnement, nous avons procédé de la même manière que pour le capteur DS18B20, mais en brochant la broche de communication à la broche A1 de l'Arduino.
- **LEDs rouge et vert** : Afin de vérifier leur bon fonctionnement nous avons branché chaque LED en série avec une résistance  $220\ \Omega$  de protection entre la broche 5V de l'Arduino et GND.
- **Buzzer (alarme)** : Nous l'avons alimenté avec 5V à l'aide de l'Arduino pour vérifier son bon fonctionnement.
- **Circuit d'isolation galvanique** : Nous appliquons un signal de commande à la base du transistor à travers une résistance de  $1\ \text{k}\Omega$ . Le transistor agit alors comme un interrupteur, connectant la bobine du relais au circuit de commande. Cela permet au courant de circuler dans la bobine, activant ainsi le relais. Une diode, placée en parallèle avec la bobine (qui est une inductance), protège le transistor contre les surtensions potentiellement destructrices lors de l'ouverture de ce dernier. Cette diode est appelée diode de roue libre.
- **Tester l'ensemble des composants** : Afin de s'assurer que notre branchement est correct, nous avons branché tous les composants de notre circuit à l'aide de la plaque breadboard, comme montré sur la figure suivante.

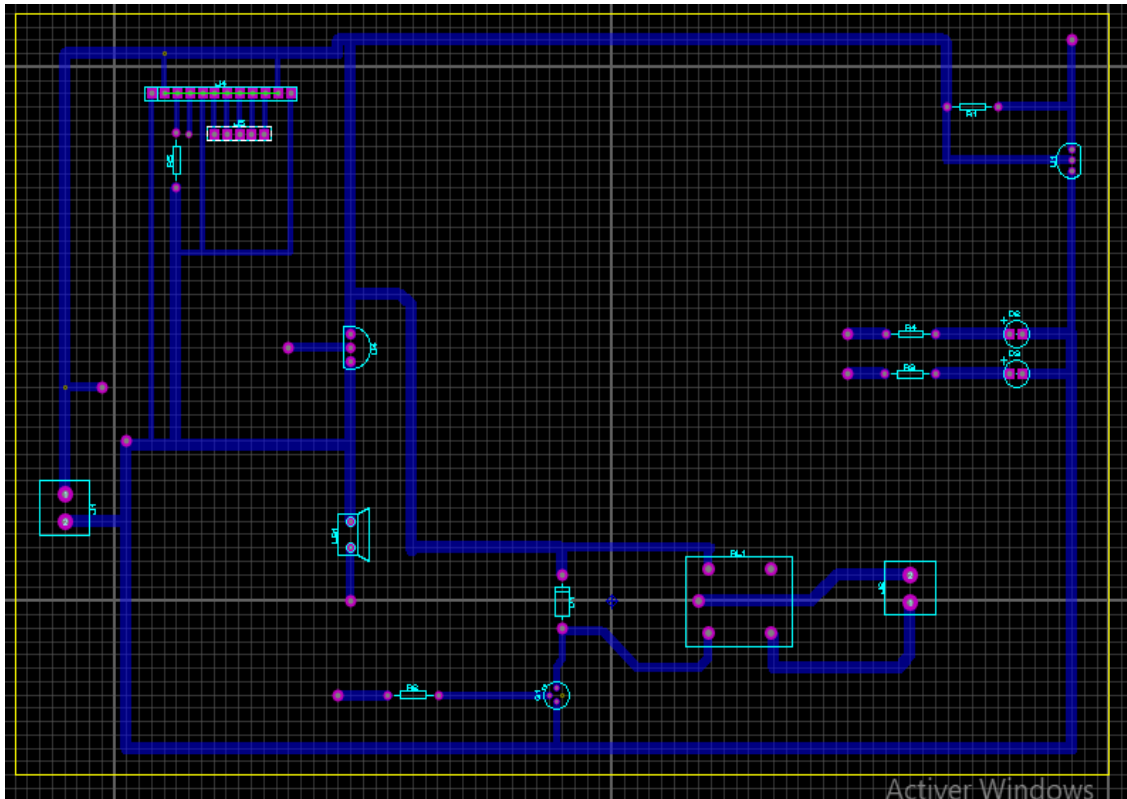


*Figure III.8 : Montage de circuit sur breadboard.*

## 7.2 Réalisation de la carte électronique

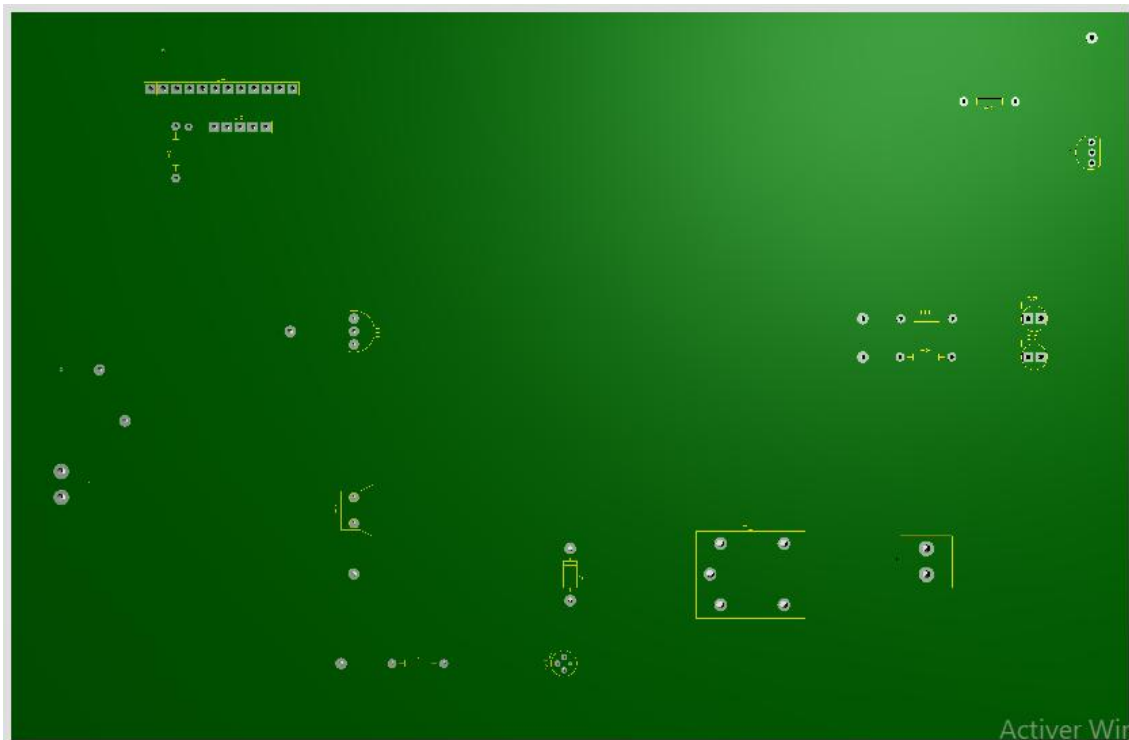
### 7.2.1 Réalisation de circuit imprimé

Sur le logiciel Isis proteus, nous avons la fonction ARES pour créer le PCB. Après avoir ajouté les packages pour tous nos composants, nous passons à la conception de notre PCB.

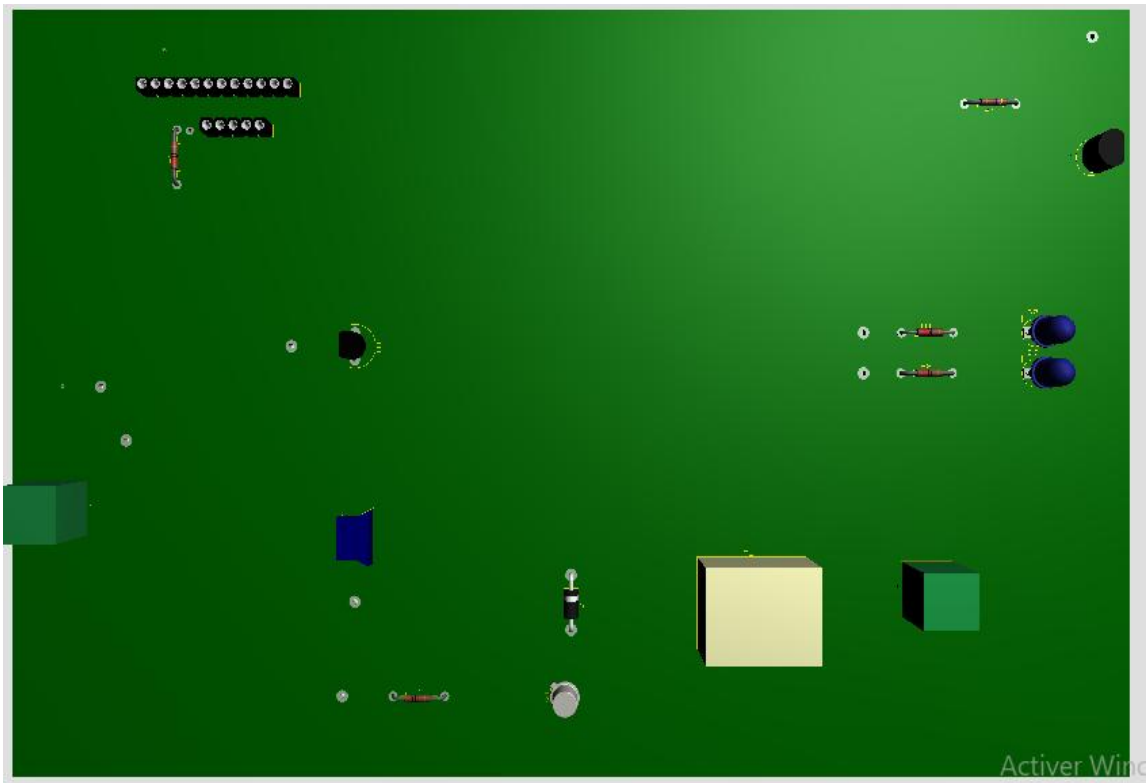


*Figure III.9 : Circuit imprimé sur ARES.*

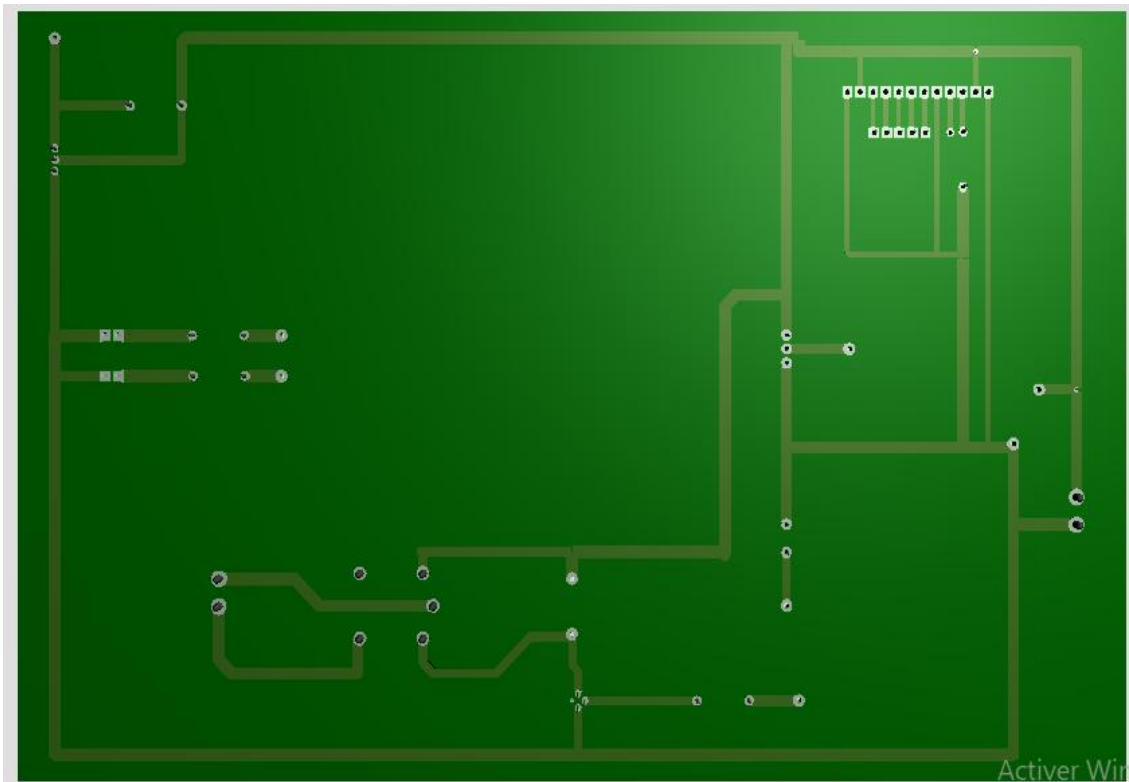
On peut également voir la démonstration en 3D de notre carte électronique sur ARES, ce qui permet de vérifier l'emplacement des composants et le bon alignement des pistes.



*Figure III.10 : Carte électronique 3D sans les composants.*



*Figure III.11 : Emplacement des composants sur la carte électronique.*



*Figure III.12 : Démonstration des pistes sur la carte.*

### CHAPITRE III : PARTIE RÉALISATION PRATIQUE

Après avoir finalisé et vérifié de bon placement des composants et toute les pistes sur ARES, nous avons exporté notre circuit au format PDF pour pouvoir l'imprimer sur le papier photo.

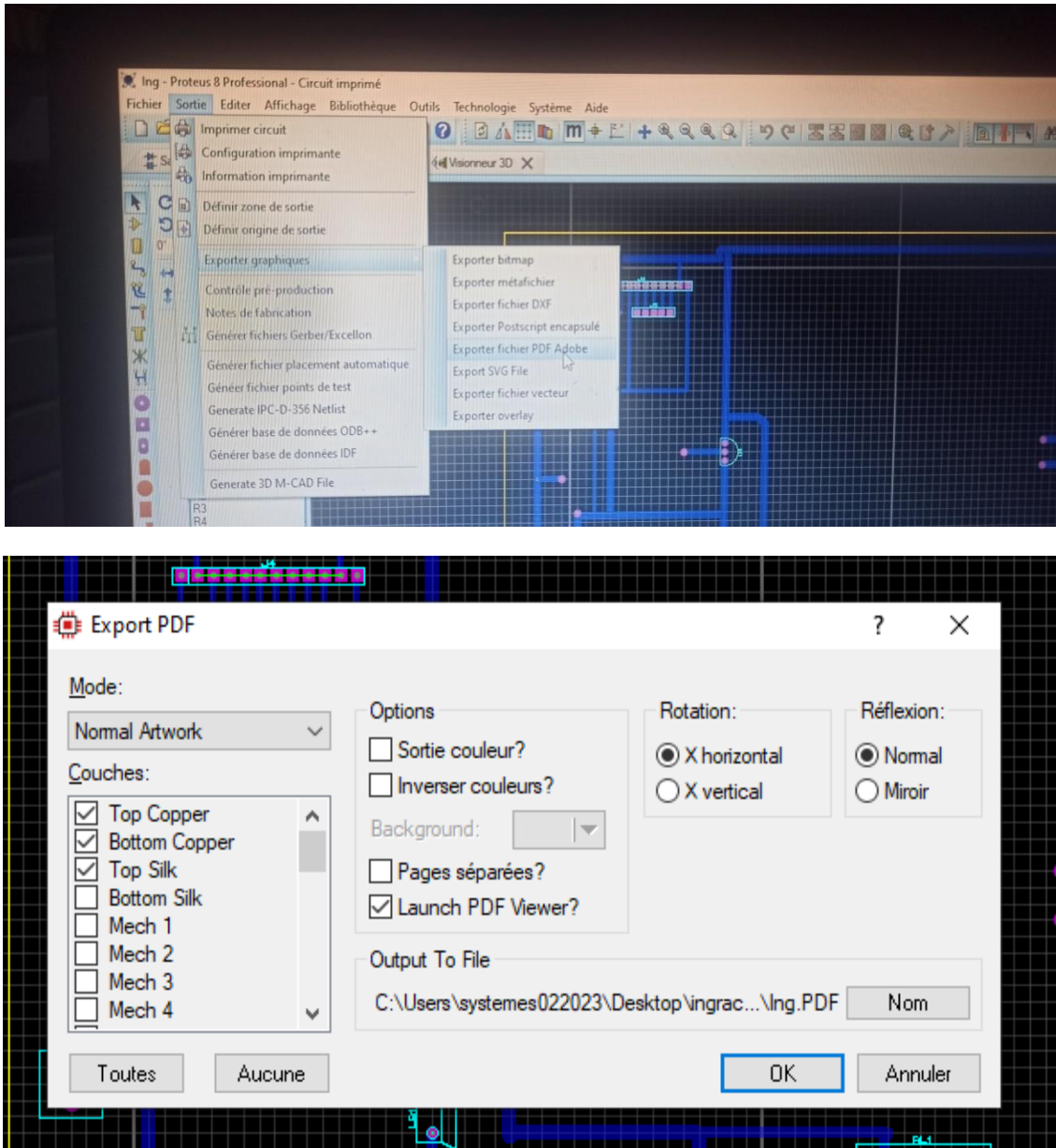
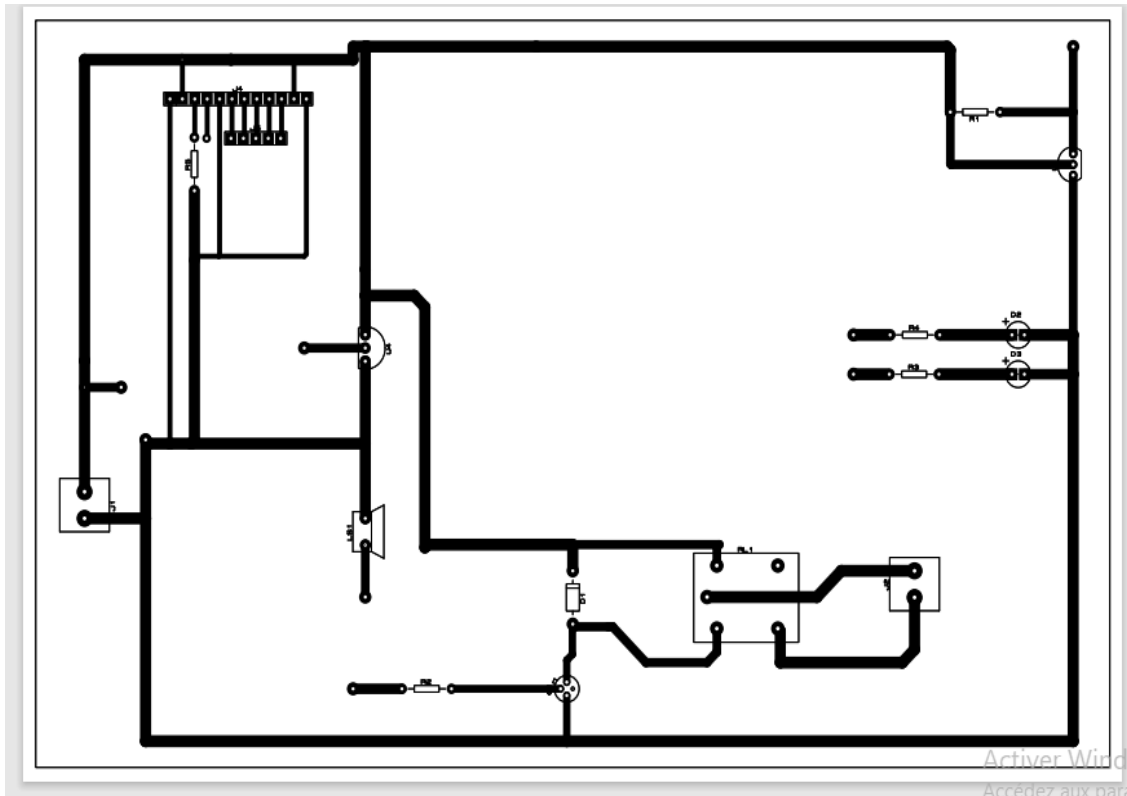


Figure III.13 : Fenêtre d'exportation du circuit au format PDF.

### CHAPITRE III : PARTIE RÉALISATION PRATIQUE



*Figure III.14 : Circuit de réalisation sous format PDF.*

Puis, à l'aide d'un fer à repasser, nous allons transférer le circuit imprimé sur la carte en cuivré et le repasser pour que les pistes se colle sur la plaque.



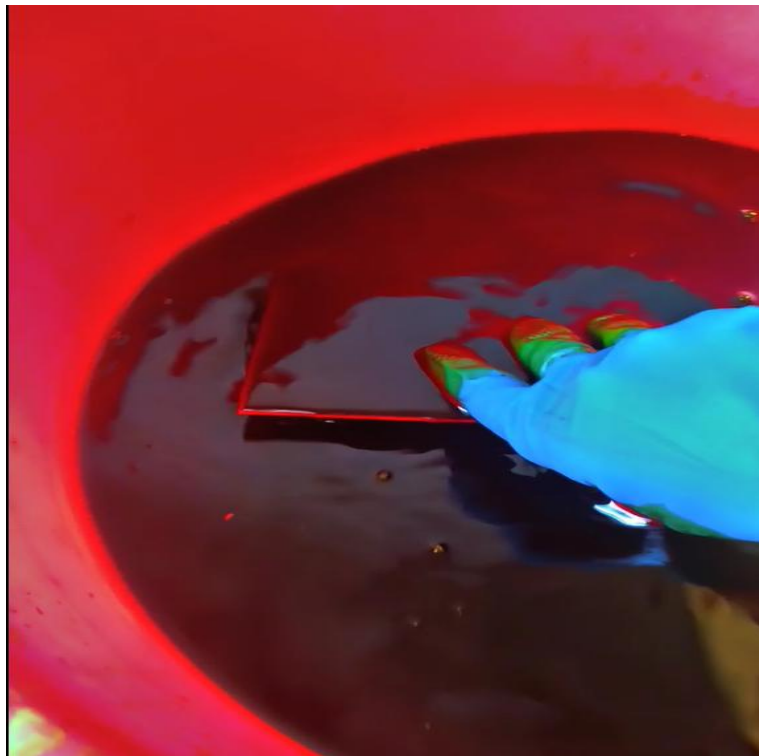
*Figure III.15 : Plaque cuivrée.*

### CHAPITRE III : PARTIE RÉALISATION PRATIQUE



*Figure III.16 : Fer à repasser sur le papier photo*

Puis, quand on a fini de repasser et les pistes sont bien collées sur la plaque cuivrée, on met la plaque dans l'acide et on la bouge jusqu'à ce que tout le cuivre soit éliminé sauf les pistes. On va enlever l'encre sur les pistes à l'aide d'Elio, pour obtenir les pistes en cuivre et continuer le processus correctement.



*Figure III.17 : Passage de la carte cuivrée dans l'acide.*

## CHAPITRE III : PARTIE RÉALISATION PRATIQUE

Enfin, à l'aide d'une perceuse avec une mèche très fine, on va entamer le perçage des points où nous allons souder nos composants.



*Figure III.18 : Perçage de la carte électronique.*

### 7.2.2 Souder les composants sur la carte

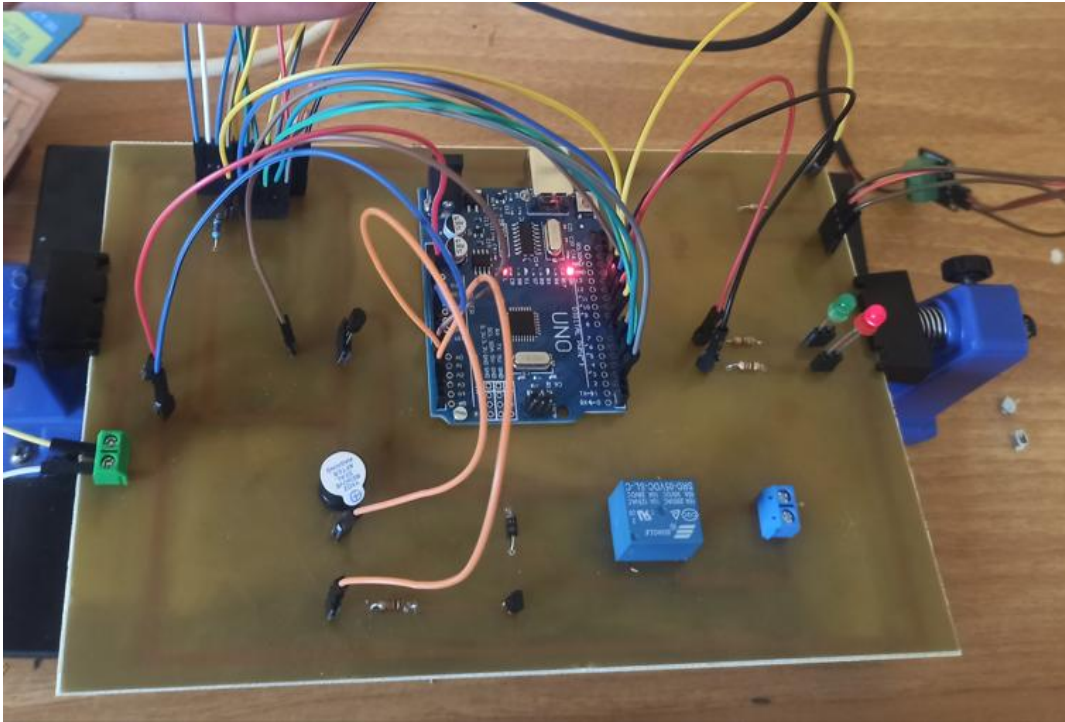
Après avoir fini notre circuit imprimé, nous allons passer au soudage des composants sur la carte électronique.

Dans cette étape, nous aurons besoin de :

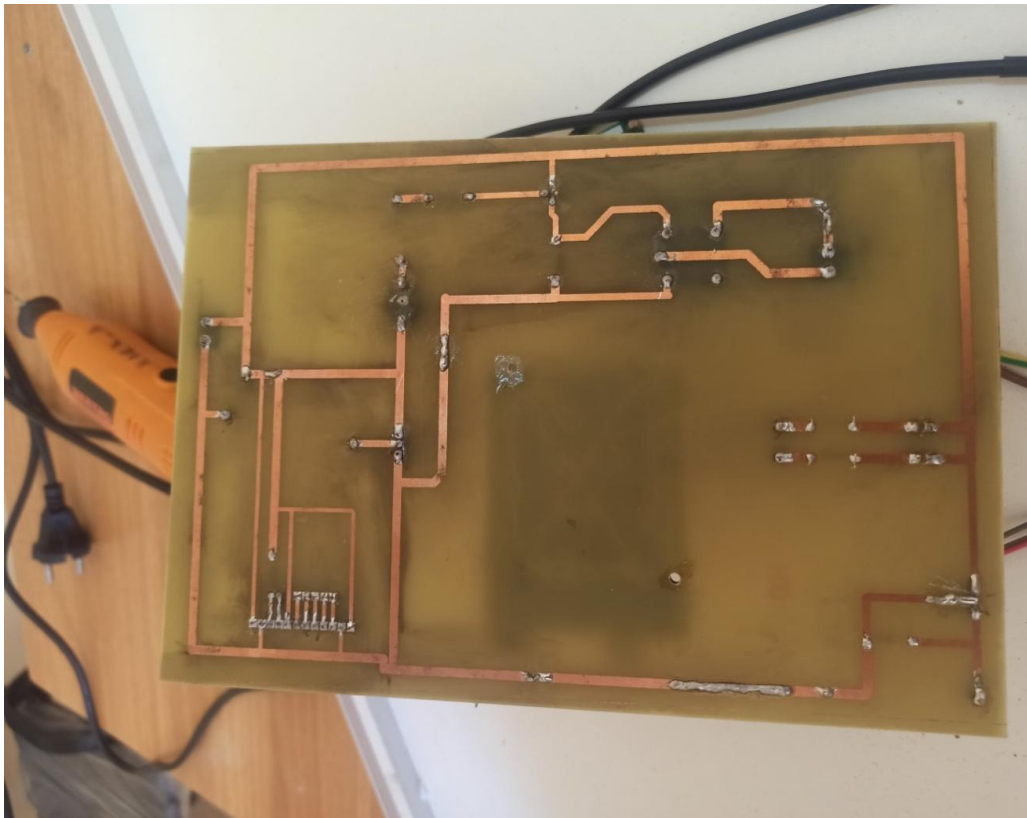
- Stabilisatrice
- Fer à souder
- L'étain

### CHAPITRE III : PARTIE RÉALISATION PRATIQUE

Nous allons donc souder tous nos composants sur la carte afin d'obtenir une carte comme indiqué sur la figure suivante.



*Figure III.19 : Carte électronique finie (face des composants).*



*Figure III.20 : Carte électronique finie (face des pistes).*

### 8 Réalisation de blindage

Nous avons commencé par mettre en place notre table en 3D pour vérifier si elle répond aux critères requis pour le bien-être du nouveau-né et pour le placement de nos blocs.

Ensuite, nous avons sélectionné les matériaux qui conviennent à nos besoins et qui sont disponibles sur le marché algérien, tout en respectant notre budget.

Pour ce faire, nous avons suivi plusieurs étapes.

- **Le système de chauffage :**

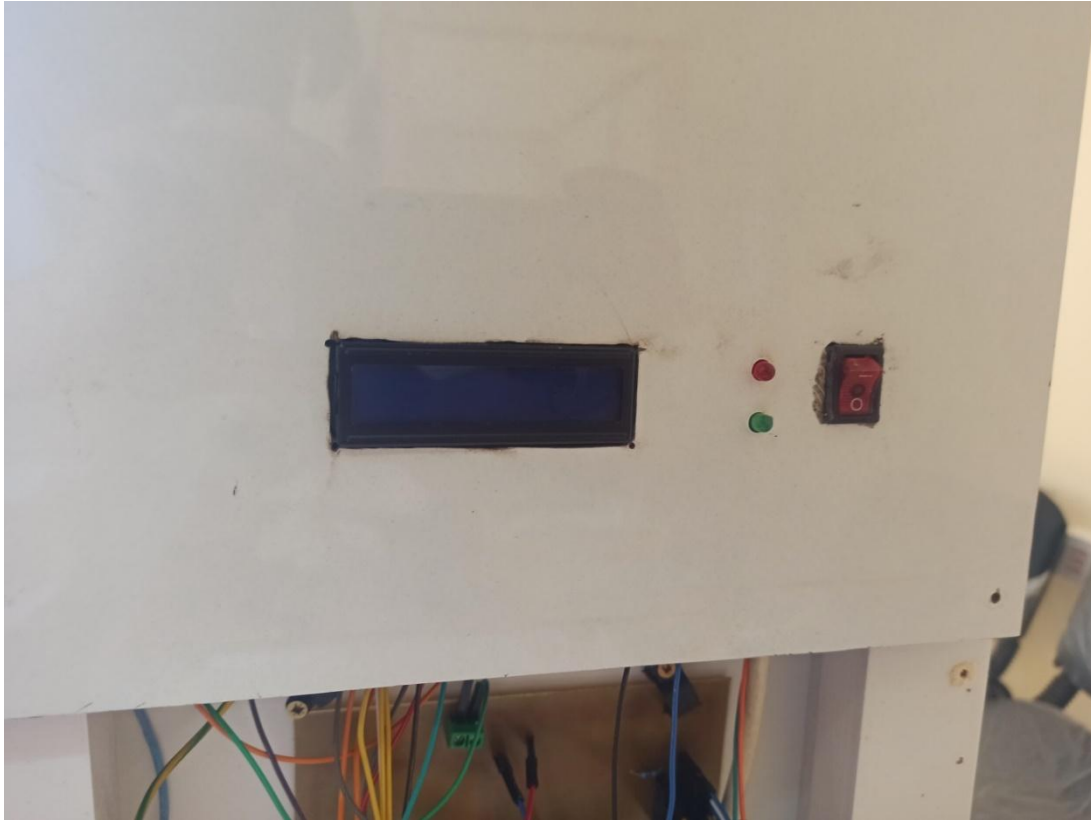
Pour le mettre en place, nous avons eu besoin de matériaux isolants contre le courent et résistants à la chaleur. Nous avons donc réalisé le cadre de cette partie en aluminium et l'avons fermé avec de la résine.



*Figure III.21 : Partie blindage de système de chauffage.*

- **Partie d'affichage et signalisation :**

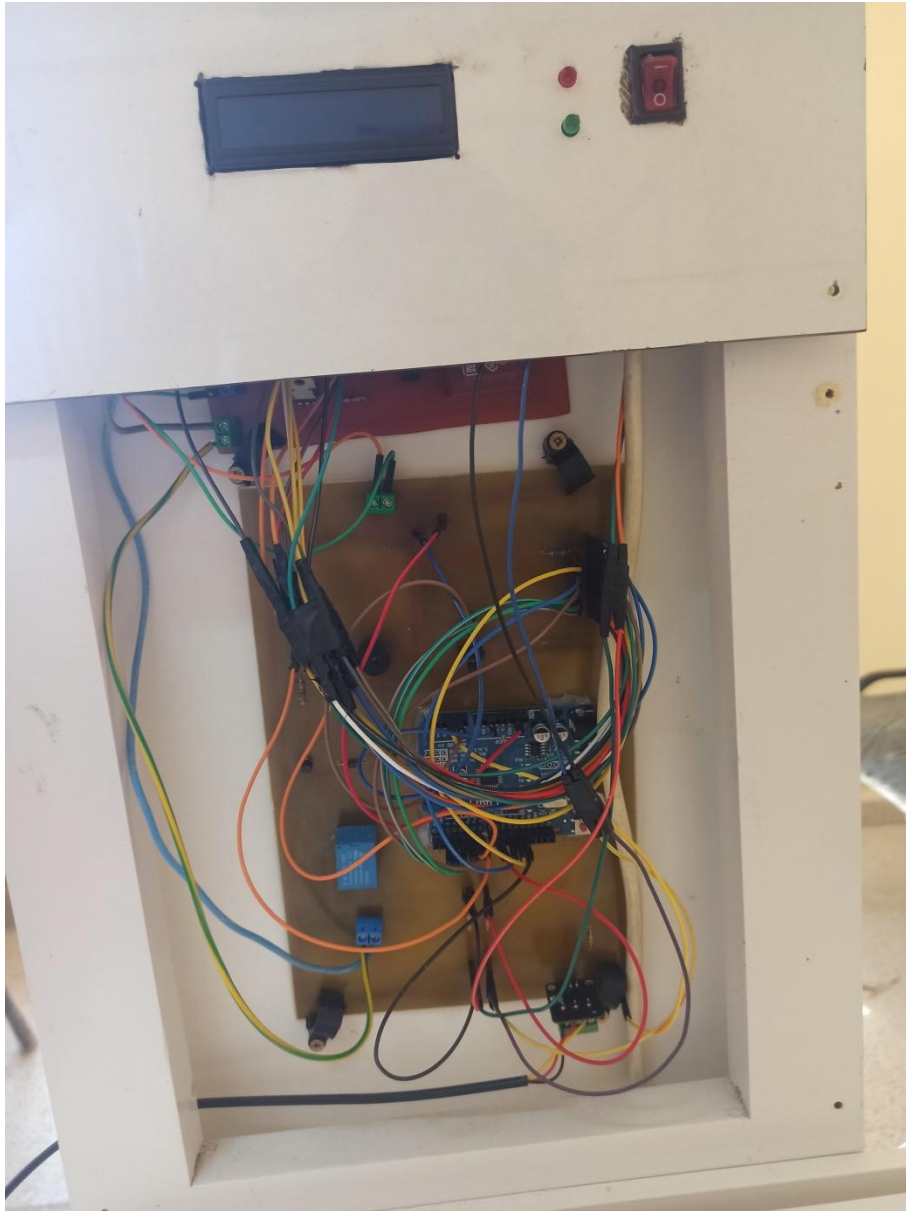
Dans cette partie, on trouve l'afficheur LCD et les deux LED pour avertir l'utilisateur en cas de danger. Ils doivent être faciles à voir par l'utilisateur.



*Figure III.22 : Partie affichage et signalisation du blindage.*

- **Partie placement de la carte mère :**

Sur cette partie, il faut fixer la carte mère tout en la laissant accessible en cas de panne ou de dysfonctionnement technique.



*Figure III.23 : Carte mère fixée dans la table.*

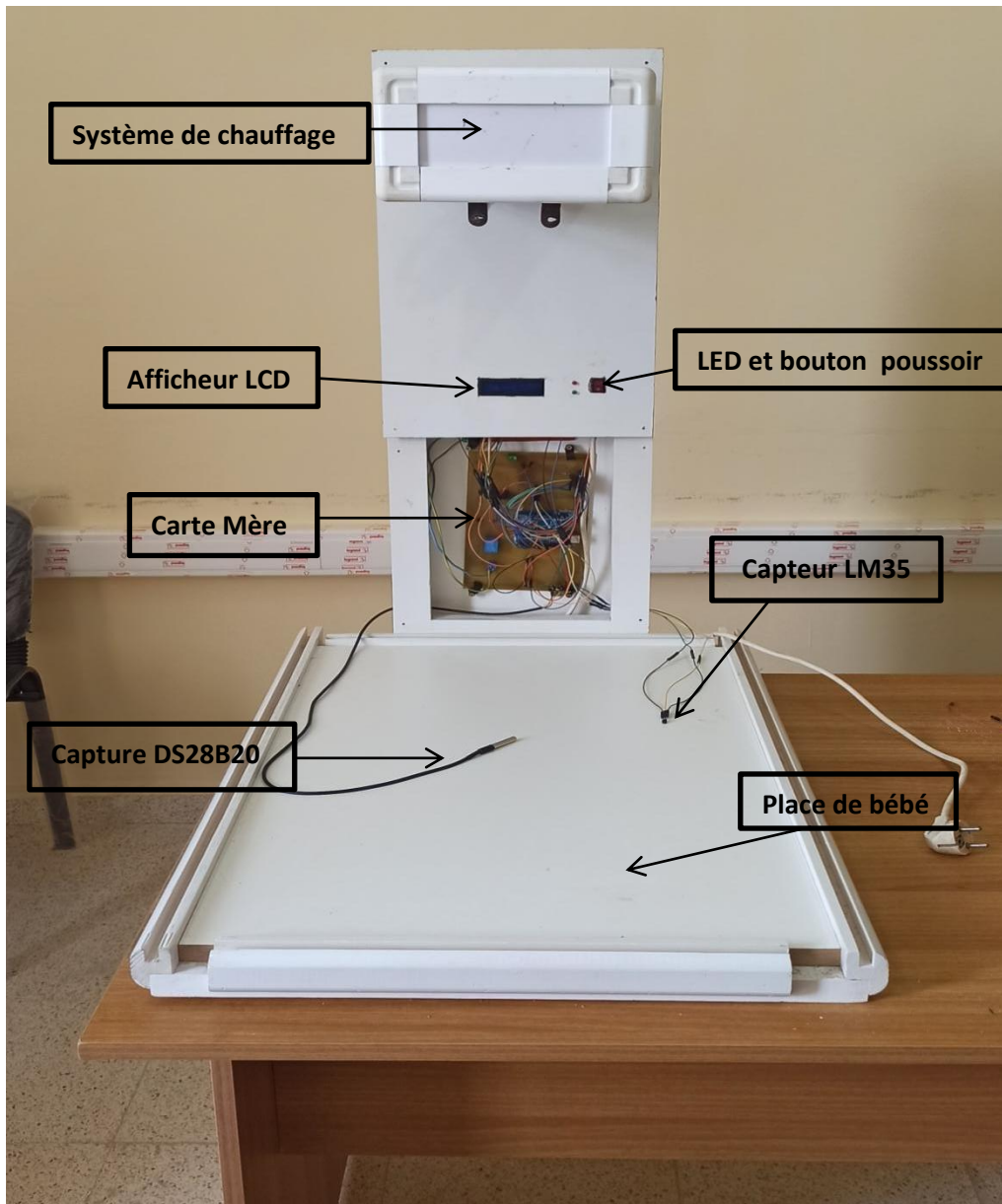
- **La place de bébé :**

Pour cette partie, il faut prendre en considération une matière qui peut résister au poids de bébé et à l'eau. Nous avons donc choisi le MDF pour cette surface, car il peut supporter un poids élevé et est résistant à une petite quantité d'eau.



*Figure III.24 : Partie de placement de nouveau-né.*

Enfin, une fois que nous avons assemblé toutes les parties, nous avons obtenu une table chauffante, comme le montre la figure suivante.



*Figure III.25 : Assemblage complet de notre table chauffante néonatale.*

## 9 Conclusion

Ce chapitre a détaillé les étapes pratiques de la réalisation de notre prototype de table chauffante pour nouveau-nés, en mettant l'accent sur la méthodologie et les outils utilisés. Nous avons testé et assemblé les composants, simulé le circuit avec ISIS Proteus, et finalisé le montage sur une carte électronique. Ces étapes ont permis de garantir le bon fonctionnement du système, assurant ainsi une régulation efficace de la température pour le bien-être des nouveau-nés.

# Conclusion générale

Ce projet vise à concevoir et fabriquer une table chauffante néonatale pour optimiser les soins aux nouveau-nés et répondre aux exigences médicales spécifiques à la néonatalogie. En tant qu'outil essentiel pour maintenir la normo-thermie, notre dispositif est conçu pour maintenir la température corporelle des nouveau-nés à  $37 \pm 1^\circ\text{C}$ , grâce à un système de chauffage régulé.

Pour répondre aux exigences du cahier des charges, notre dispositif est équipé d'un capteur de température numérique DS18B20, pour la mesure de la température cutanée et le capteur analogique LM35 pour la température ambiante. Le chauffage est assuré par la diffusion de chaleur, en utilisant deux résistances chauffantes de 400W chacune. Pour la commande, elle dépend de la température cutanée du nouveau-né, qui est envoyée à la carte électronique programmable Arduino UNO pour être affichée et pour contrôler l'allumage et l'extinction de système de chauffage. Les résultats des mesures de température seront affichés sur un LCD 16x2.

Nous avons réalisé des tests sur un lab d'essai avant de connecter tous les composants sur une plaque à souder. Cet équipement est polyvalent et peut être utilisé dans diverses situations, en plus de servir de table de soins, il peut également être employé comme table de réanimation et table d'opération. À ce titre, les perspectives de développement incluent l'amélioration continue de ses fonctionnalités et l'exploration de nouvelles applications pour optimiser son utilisation dans différents contextes médicaux.

# *Bibliographie*

- [1.1] Moss, J. R., & Parker, L. A. (2015). "Neonatal Heat Loss and Thermal Protection Strategies." *Clinical Pediatrics*, 54(9), 852-860. doi:10.1177/0009922815587396.
- [2.1] Saugstad, O. D. (2016). "Hypothermia in the Newborn: Risk Factors and Prevention." *Acta Paediatrica*, 105(9), 1012-1019. doi:10.1111/apa.13504.
- [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] [www.chuv.ch](http://www.chuv.ch).
- [5] Organisation mondiale de la Santé, Département Santé et Recherche génésiques « Guide pratique en néonatalogie », 1997.
- [6] 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.
- [7] T. M. Berger, Lucerne et all, « Prise en charge des nouveau-nés à la naissance » ,2000.
- [8] « 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.
- [9] MAUPIN. T, SAVARY. D, « Le patient hypotherme », urgences 2009, Centre Hospitalier d'Annecy, France, 2009.
- [10] Développé par le Comité interprofessionnel d'éducation et de recherche Du Programme régional des nouveau-nés maternels de Champlain (CMNRP), Juin 2013.
- [11] Askin. D. « Adaptation du nouveau-né à la vie extra-utérin », 2008.

- [12] Cours du Comité éditorial pédagogique de l'UVMaF, 2011-1012.
- [13] Adjedj. A, Desreumaux. C., Pauchard. V., « Les principaux dispositifs médicaux dédiés à la néonatalogie », Projet MASTER MTS, UTC, 2004-2005.
- [14] François DUCHATEL, « Histoire de la réanimation néo-natale », 1979.
- [15] <https://www.draeger.com/Content/Documents/Products/babyroo-tn300-pi-dmc-102130-fr-fr.pdf>
- [16] <https://www.socimed.com/pdf/table%20de%20reanimation/Table%20de%20r%C3%A9animation%20n%C3%A9onatale.pdf>
- [17] <https://www.medicalexpofr.com/prod/shvabe-zurich/product-77494-675206.html>
- [18] [https://zestedesavoir.com/tutoriels/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee/742\\_decouverte-de-larduino/3414\\_presentation-darduino/](https://zestedesavoir.com/tutoriels/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee/742_decouverte-de-larduino/3414_presentation-darduino/)
- [19] <https://www.positron-libre.com/electronique/arduino/arduino.php>
- [20] <http://www.generationrobots.com/fr/152-arduino>.
- [21] TX ROBOTIC ROBOTS PARTS & TOOLS " Tableau comparatif des différentes cartes Arduino", 2018.
- [22] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment/>
- [23] Eric Bartmann "Le grand livre d'Arduino", 2<sup>ème</sup> édition, éditeur Serial Markers
- [24] E. BARTMANN, "Le grand livre d'Arduino", éditions eyrolles ed., 2015.
- [25] C. TAVERNIER, "Arduino : Applications avancées : Claviers tactiles, télécommande par Internet, géolocalisation, applications sans fil", dunod ed., 2012.
- [26] Camille Diou, LICM, Université de Metz "INTRODUCTION AU BUS I2C", 2015.
- [27] Michael Margolis, « La boîte à outils ARDUINO : 105 techniques pour réussir vos projets », édition DUNOD. 30/10/2013.
- [28] <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano/> consulter le 30 /05/2024.

[29] Searchword=Lm35%20datasheet&gad\_source=1&gclid=Cj0KCQjwi5q3BhCiARIsAJCfuZkG9w\_s\_iaQjGIR6F64h0nLxQctWqMCjmLgsL78Hp22i\_3e1JjcSFoaAv40EALw\_wcB

[30] <https://www.researchgate.net/profile/EmmanuelShokenu/publication/361593464/figure/fig/3/AS:1172032276447232@1656445678296/Diagram-of-the-Temperature-Sensor-DS18B20.ppm>

[31] <https://www.alex-design.fr/var/alexdesign/storage/images/media/images/schema-de-cablage-ds18b20/3023-1-fre-FR/Schema-de-Cablage-DS18B20.jpg>

[32] <http://s2i.bordeaux.free.fr/Espace%20STS/Ressources/Cours/Cours05%20-%20Communication%20Domotique%20-%20Bus%20OneWire.pdf>

[33] <http://ebiblio.univmosta.dz/bitstream/handle/123456789/15754/pfe.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[34] <https://dspace.ummto.dz/server/api/core/bitstreams/75aecc42-4ae4-4759-802c-e43e179229c7/content>

[35] <https://www.aranacorp.com/wp-content/uploads/screen-lcd-16x2.jpg>

[36] SolidWorks Corporation, « Guide de l'étudiant du logiciel SolidWorks ».

# 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 aux exigences de notre cahier des charges, notre système intègre deux capteurs de température DS18B20 et LM35, le DS18B20 pour la température cutanée et le LM35 pour la température ambiante. En outre, le dispositif est équipé d'un chauffage par diffusion, à l'aide de deux résistances chauffantes de 400W chaque une. Pour le contrôle, sont allumage et extinction vont dépendre de la température cutanée de bébé. Les résultats de mesure sont affichés sur un écran LCD, ainsi l'état de bébé, le tout étant géré par un Arduino UNO.

**Mots clés :** Arduino, DS18B20, LM35, LCD, carte électronique, circuit imprimé.

# Abstract

The objective of this project is to design and create a neonatal heating table to enhance the care provided to newborns and meet neonatal medical requirements. This device is primarily designed to control and stabilize the newborn's body temperature at an average of  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  using a regulated heating system.

To meet the specifications of our project, our system incorporates two temperature sensors: the DS18B20 for skin temperature and the LM35 for ambient temperature. Additionally, the device is equipped with a diffusion heating system, utilizing two heating resistors of 400W each. The activation and deactivation of the heating will depend on the skin temperature of the baby. Measurement results are displayed on an LCD screen, along with the baby's status, all managed by an Arduino UNO.

**Key works :** Arduino, DS18B20, LM35, LCD, electronic card, printed circuit.