

**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 Electronique**  
**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**de MASTER ACADEMIQUE**  
Spécialité :  
**Instrumentation Biomédicale**

Filière :  
**Génie Biomédical**

Par  
Hamzi Lilya  
Bosli Lina

**Thème**

---

**Amélioration du système de chauffage d'une table  
chauffante déjà conçue pour les nouveau-nés**

---

Soutenu le : 02/10/2025

**Devant le jury :**

<b>Président :</b>	Mme. Kessal Farida	MCB à L'UMM Tizi-Ouzou
<b>Promoteur :</b>	Mr. L'Hocine MOUAS	MCB à L'UMM Tizi-Ouzou
<b>Examineurs :</b>	Mr. Bourkache Noureddine	MCB à L'UMM Tizi-Ouzou

Années universitaire 2024-2025

# Remerciements

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

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude envers notre encadrant, **M. L'Hocine MOUAS**, pour son accompagnement constant, ses précieux conseils, sa disponibilité et son aide tout au long de l'élaboration de ce projet. Son soutien nous a grandement été bénéfique, tant sur le plan personnel que scientifique.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude aux membres du jury pour l'attention qu'ils ont portée à notre travail, pour leur disponibilité, leurs analyses constructives et leurs propositions enrichissantes.

Nous tenons aussi à remercier nos parents, qui nous ont accompagnés tout au long de ce parcours, tant sur le plan matériel qu'émotionnel. Leur confiance et leurs encouragements ont été d'une valeur inestimable.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance à tous les professeurs, aux ingénieurs du laboratoire et à l'ensemble du personnel du département de Génie Biomédical pour leur soutien et leur disponibilité.

Enfin, nous adressons un grand merci à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce projet.

# Dédicace

**À mes chers parents,**

Hamzi Mahfoud et Si Ahmed Ourida,

Sans vous, je n'aurais jamais pu avancer aussi loin. Votre amour, votre patience, vos sacrifices et votre confiance m'ont toujours portée, même dans les moments les plus difficiles.

Vous êtes ma plus grande force et ma plus belle source d'inspiration. Merci pour tout.

**À mon irremplaçable et unique frère Ahmed,**

Celui qui a toujours été là, dans les moments de doute comme dans les moments de joie. Ton soutien, ta patience et ta bienveillance m'ont beaucoup aidé à avancer. Merci d'être cette présence solide et rassurante dans ma vie.

**À mon cher mari Mohamed,**

Merci pour ta patience, ton soutien constant et ta présence rassurante à chaque étape de ce parcours. Ton écoute, ta compréhension et ton encouragement m'ont été précieux.

**À mes chères sœurs Fazia, Khadija, Fatiha, Dehbia et Kahina,**

Votre présence, vos encouragements et votre affection m'ont accompagnée tout au long de ce chemin. Chacune de vous, à sa manière, m'a apporté force, courage et sérénité. Merci pour votre amour, vos mots doux et vos prières silencieuses.

**À ma binôme Lina,**

Je te remercie pour ta volonté, ton charisme et tous les efforts que tu as fournis pour que ce travail soit à la hauteur de nos ambitions.

Sans oublier tous mes professeurs, depuis le primaire jusqu'à l'enseignement supérieur pour le savoir transmis et l'inspiration donnée.

**LILYA**

# Dédicace

À ma chère mère,

**HAMDACHE NASSIBA**

Femme solide sur qui je peux toujours compter, et source infinie d'amour. Ton soutien sans faille a brillé à chaque phase de mon cheminement. Ta puissance m'a protégée, ta connaissance m'a orientée, et ton respect m'a défendue. Je te dois le succès que j'ai obtenu. Merci de toujours avoir cru en moi, même dans mes moments de plus grande incertitude. Sans ta présence, rien n'aurait pu être possible.

À mon cher père,

**BOSLI AMMAR**

Même si tu n'es plus là physiquement, ton souvenir demeure vivant avec moi. C'est grâce à tes mots, tes principes et ton affection que j'ai pu me bâtir. Je consacre cette réussite à toi, papa. Tu es présent en moi, à travers mes efforts et mes réussites. J'espère, où que tu sois, que tu me vois avec fierté.

À mon unique frère **SOFIANE**

À ma précieuse sœur **YASMINE**

Pour leur amour, leur soutien et leur présence pleine de bienveillance. Merci d'avoir toujours été là. Puisse Dieu vous accorder une santé florissante, un succès sans fin et un bonheur inégalable.

**Pour toute ma famille**

Je suis profondément reconnaissante envers chacun d'entre vous qui, de près ou de loin, m'avez apporté votre soutien, votre inspiration et votre motivation pour ne jamais céder.

**Pour ma merveilleuse amie : CELIA,**

Pour ton énergie radieuse, ton appui indéfectible et ta présence continue lors des moments cruciaux. Merci de toujours rester présente.

À mon estimée binôme et amie **LILYA,**

Ainsi qu'à toute son aimable famille

Pour cette belle expérience commune, pour ton sérieux, ta véritable amitié et ton dévouement inébranlable. Je te remercie pour ta confiance et ta collaboration tout au long de ce projet.

**LINA.B**

# Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	01

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

I.1 Préambule.....	04
I.2 Régime Thermique chez les Nouveau-nés.....	04
I.2.1 Température Corporelle.....	04
I.2.1.1 Valeurs Normales de la Température Corporelle.....	04
I.2.1.2 Variations de la Température Corporelle.....	04
I.2.2 Température Cutanée.....	05
I.2.2.1 Définition et Valeurs Normales.....	05
I.2.3 Différences entre la Température Cutanée et la Température Corporelle.....	05
I.3 Thermorégulation chez le Nouveau-né.....	05
I.4 Mécanismes de Régulation de la Température Corporelle du Nouveau-né.....	06
I.4.1 Production de Chaleur.....	06
I.4.2 Transfert de Chaleur.....	06
I.5 Problèmes de Thermorégulation chez le Nouveau-né.....	07
I.5.1 Hyperthermie.....	07
I.5.2 Hypothermie.....	08
I.5.3 Aléas de l'Hypothermie et de l'Hyperthermie chez le Nouveau-né.....	08
I.5.3.1 Conséquences de l'Hypothermie.....	09
I.5.3.2 Conséquences de l'Hyperthermie.....	09
I.6 Protection Thermique du Nouveau-né.....	09
I.6.1 Premiers Soins après la Naissance.....	09
I.6.2 Technologies de Protection Thermique pour les Nouveau-nés.....	10
I.7 Principaux Dispositifs Médicaux Destinés au Service Néonatal.....	10
I.7.1 La Couveuse.....	10
I.7.2. La Table Chauffante.....	11
I.7.2.1 Présentation.....	11
I.7.2.2 Historique de la Table Chauffante.....	12
I.7.2.3 État de l'Art de la Table Chauffante.....	13

I.7.2.4 Quelques Tables Chauffantes Disponibles sur le Marché .....	13
I.7.2.4.1 Table de Réanimation Néonatale - Dräger Babyroo TN300 .....	13
I.7.2.4.1.1 Caractéristiques .....	13
I.7.2.4.1.2 Accessoires et Composants du système .....	14
I.7.2.4.2 Table de Réanimation Pédiatrique Néonatale HKN-93A .....	14
I.7.2.4.2.1 Caractéristiques .....	14
I.7.2.4.3 Table Chauffante Shvabe SNO – Suisse .....	15
I.7.2.4.3.1 Caractéristiques .....	16
I.7.2.4.4 Table de Réanimation Néonatale Ouverte (CHO) .....	16
I.7.2.4.4.1 Caractéristiques .....	16
I.7.2.4.4.2 Les alertes.....	16
I.7.2.4.5 Table Chauffante UON-04 AKSION .....	17
I.7.2.4.5.1 Caractéristiques .....	17
I.8 Utilité de la Table Chauffante pour les Nouveau-nés .....	18
I.9 Conclusion .....	19

## **Chapitre II : Les composants et technologies nécessaire pour la réussite de notre projet**

II. 1 Préambule .....	21
II.2 La carte électronique programmable Arduino .....	21
II.2.1 Définition .....	21
II.2.2 Les différentes gammes de carte Arduino .....	22
II.2.3 Programmation de carte Arduino .....	23
II.2.3.1 Interface de programmation .....	24
II.2.3.2 Structure d'un programme .....	25
II.2.3.3 Bibliothèques de programmation .....	26
II.2.4 Les principaux avantages et inconvénients de la carte Arduino .....	27
II.2.4.1 Les avantages .....	27
II.2.4.2 Les inconvénients .....	27
II.3 La carte Arduino UNO.....	28
II.3.1 Définition .....	28
II.3.2 Description de la carte Arduino UNO .....	28
II.3.3 Caractéristique technique.....	29
II.3.4 Schéma structurel de la carte Arduino UNO .....	29
II.3.5 Alimentation de la carte Arduino UNO .....	30
II.3.6 Les entrées/sorties .....	31
II.3.6.1 Les Entrées/sorties numériques.....	31
II.3.6.2 Les entrées analogiques .....	32
II.3.7 Le mode de communication.....	33
II.3.7.1 Inter integrated circuit I2C.....	33
II.3.8 Gestion des mémoires .....	33
II.3.9 Dimensions de la carte .....	33
II.3.10 Protection contre la surcharge de courant sur le port USB .....	34

II.3.11 Le microcontrôleur ATmega328 .....	34
II.4 Capteur numérique DS18B20 .....	35
II.4.1 Description .....	35
II.4.2 Fiche technique de capteur DS18B20 .....	36
II.4.3 Schéma de branchement DS18B20 .....	37
II.4.4 Structure interne de DS18B20 .....	37
II.4.5 Principe de fonctionnement .....	38
II.5 Afficheur LCD 20×4 + Adaptateur I2C .....	38
II.5.1 Description .....	38
II.5.2 Branchement de l'écran LCD I2C .....	39
II.6 Le module Relais .....	40
II.6.1 Branchement d'un module relais .....	40
II.6.2 Constitution d'un module relais .....	41
II.6.3 Fonctionnement d'un module relais .....	41
II.7 Buzzer (Sondeur) .....	41
II.7.1 Caractéristiques .....	42
II.8 Ventilateur .....	42
II.8.1 Caractéristiques.....	43
II.9 Les fils de connexion .....	43
II.10 Breadboard .....	44
II.11 L'élément chauffant.....	45
II.11.1 Emetteur infrarouge céramique .....	46
II.11.2 principes de fonctionnement du chauffage infrarouge.....	47
II.11 Conclusion .....	48

### **Chapitre III : Conception et réalisation de la table chauffante**

III.1 Préambule .....	50
III.2 Cahier de charges.....	50
III.3 Les étapes de notre réalisation.....	50
III.3.1 Conception du circuit électronique.....	50
III.3.2 Programmation .....	50
III.3.3 Mise en œuvre virtuelle sur ISIS PROTEUS .....	51
III.3.4 Réalisation de la maquette.....	51
III.3.5 Conception de la carte électronique.....	51
III.3.6 Fabrication de table chauffante.....	51
III.4 Diagramme synoptique global.....	51
III.5 Conception du circuit électronique.....	52
III.5.1 Présentation structurée du circuit .....	54
III.6 Organigramme de fonctionnement .....	58
III.7 Réalisation circuit électrique .....	59
III.7.1 Teste sur Breadboard .....	59
III.7.2 Réalisation de la carte électronique .....	60
III.8 Réalisation de la table .....	65

III.8.1 Le système de chauffage.....	65
III.8.2 Partie d’affichage, signalisation et placement de la carte mère.....	66
III.8.3 Partie de l’emplacement de bébé .....	67
III.8.4 Assemblage général.....	68
III.9 Résultats et discussion .....	70
III.9.1 Résultats expérimentaux sur prototype .....	70
III.10 Conclusion.....	71
Conclusion générale .....	73
Références bibliographiques	

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Différences entre la température cutanée et la température corporelle .....	05
<b>Tableau II.1</b> : Les différents types des cartes Arduino .....	23
<b>Tableau II.2</b> : Caractéristiques techniques de la carte Arduino UNO.....	29
<b>Tableau II.3</b> : Fiche technique de capteur DS18B20 .....	36
<b>Tableau II.4</b> : Branchement simplifié de l'écran LCD I2C à l'Arduino UNO .....	39
<b>Tableau II. 5</b> : Branchement électrique du module relais .....	40
<b>Tableau III. 1</b> : Résultats expérimentaux de comparaison entre thermomètre de référence et capteur DS18B20.....	70

# Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Illustration des mécanismes de transfert de chaleur chez le bébé .....	07
<b>Figure I.2</b> : Illustration indicative de la température corporelle du nouveau-né .....	08
<b>Figure I.3</b> : Incubateur fermé.....	11
<b>Figure I.4</b> : Table chauffante simple AMPLA.....	12
<b>Figure I.5</b> : Dräger Babyroo TN300 .....	13
<b>Figure I.6</b> : Table chauffante HKN-93A .....	15
<b>Figure I.7</b> : Table chauffante Shvabe SNO. ....	15
<b>Figure I.8</b> : La table de réanimation néonatale ouverte (CHO).....	17
<b>Figure I.9</b> : Table chauffante UON-04 "AKSION" .....	18
<b>Figure II.1</b> : Carte Arduino UNO.....	22
<b>Figure II.2</b> : Les différentes parties de fenêtre principale du logiciel .....	24
<b>Figure II.3</b> : La barre des boutons.....	25
<b>Figure II.4</b> : Structure d'un programme .....	26
<b>Figure II.5</b> : Représentation de la carte Arduino UNO et ses éléments principaux .....	29
<b>Figure II.6</b> : Structure de la carte Arduino UNO.....	30
<b>Figure II.7</b> : Brochage de la carte Arduino UNO .....	32
<b>Figure II.8</b> : Le microcontrôleur ATmega328.....	34
<b>Figure II.9</b> : L'architecture interne de Microcontrôleur ATmega328.....	35
<b>Figure II.10</b> : Capteur de température numérique DS18B20 et adaptateur compatible .....	36
<b>Figure II.11</b> : Schéma de branchement DS18B20 .....	37
<b>Figure II.12</b> : Structure interne de DS18B20 .....	38
<b>Figure II.13</b> : Afficheur LCD 20 X 04 + Adaptateur I2C « ALPHANUMERIC » .....	39
<b>Figure II.14</b> : Module relais.....	40
<b>Figure II.15</b> : Buzzer .....	41
<b>Figure II.16</b> : Branchement du Buzzer .....	42

<b>Figure II.17:</b> Un ventilateur 5V .....	43
<b>Figure II.18:</b> Les fils de connexion .....	44
<b>Figure II.19:</b> Plaque d'essai électronique (Breadboard).....	45
<b>Figure II.20 :</b> Le chauffage radiant avec matelas thermique .....	45
<b>Figure II.21 :</b> Émetteur infrarouge céramique .....	46
<b>Figure III.1:</b> Diagramme synoptique global.....	51
<b>Figure III.2:</b> Simulation du circuit électrique sur ISIS Proteus .....	53
<b>Figure III.3:</b> Simulation du circuit d'alimentation sur ISIS Proteus .....	54
<b>Figure III.4:</b> Capteur DS18B20 sur Proteus.....	55
<b>Figure III.5:</b> Afficheur LCD 20x4+adaptateur sur Proteus.....	55
<b>Figure III.6:</b> Circuit de puissance.....	56
<b>Figure III.7:</b> Circuit de signalisation .....	57
<b>Figure III.8:</b> Organigramme de fonctionnement.....	58
<b>Figure III.9:</b> Montage de circuit sur Breadboard .....	59
<b>Figure III.10:</b> Circuit imprimé de carte d'alimentation sur ARES .....	60
<b>Figure III.11:</b> Circuit imprimé sur ARES .....	61
<b>Figure III.12:</b> Carte électronique 3D avec les composants .....	61
<b>Figure III.13:</b> Démonstration des pistes sur la carte .....	62
<b>Figure III.14:</b> Circuit de réalisation sous format PDF .....	62
<b>Figure III.15:</b> Circuit de réalisation de carte d'alimentation sous format PDF .....	62
<b>Figure III.16:</b> Fer à repasser sur le papier photo .....	63
<b>Figure III.17:</b> Passage de la carte cuivrée dans l'acide .....	63
<b>Figure III.18:</b> Perçage de la carte électronique .....	64
<b>Figure III.19:</b> Soudage des composants sur la carte électronique.....	64
<b>Figure III.20 :</b> Face avant de la plaque métallique avec l'émetteur infrarouge en céramique fixé.....	65
<b>Figure III.21 :</b> Pose de la laine de verre sur la face arrière de la plaque.....	65

<b>Figure III.22</b> : Assemblage final du module de chauffage avec sa couche isolante et sa protection thermique.....	66
<b>Figure III.23</b> : Vue du ventilateur installé, avant l'intégration de la plaque chauffante .....	66
<b>Figure III.24</b> : Intégration de la carte mère avec les éléments visuels et de refroidissement .....	67
<b>Figure III.25</b> : Partie de placement de nouveau-né .....	68
<b>Figure III.26</b> : Assemblage général du prototype de la table chauffante destinée aux nouveau-nés.....	69

# **Introduction générale**

La normothermie, c'est-à-dire le maintien d'une température corporelle normale, est cruciale pour la santé, en particulier chez les nouveau-nés. En raison de l'immaturation de leur système de régulation thermique, ceux-ci sont particulièrement vulnérables aux fluctuations de température, ce qui peut entraîner des complications sévères comme l'hypothermie ou l'hyperthermie. Il est donc essentiel de maintenir une température corporelle stable pour leur survie et leur développement optimal [1].

Afin de satisfaire ces exigences essentielles, les établissements de santé utilisent des dispositifs médicaux spécifiquement conçus pour contrôler la température des nouveau-nés. Parmi eux, les tables chauffantes occupent une place centrale. Ces équipements fournissent une chaleur régulée permettant de maintenir une température corporelle constante et sont devenus indispensables en unité de soins intensifs néonataux. Cependant, leur coût élevé constitue un obstacle majeur, en particulier dans les structures de santé situées dans des régions à faibles ressources [1], [2].

Face à cette problématique, nous avons entrepris la conception d'un prototype de table chauffante néonatale plus économique. L'objectif de ce projet est de mettre au point un dispositif respectant les critères de sécurité et d'efficacité, tout en restant accessible sur le plan financier.

Notre démarche débute par une étude approfondie des besoins en régulation thermique pour les nourrissons, suivie d'une analyse des technologies existantes. En examinant les équipements disponibles sur le marché, nous avons identifié les caractéristiques essentielles ainsi que les principales difficultés liées à leur conception.

La réalisation de notre prototype s'est déroulée en plusieurs étapes : dans un premier temps, une recherche détaillée sur les mécanismes de la thermorégulation et les risques associés chez le nouveau-né ; ensuite, une évaluation des composants indispensables à la conception de la table chauffante, avec un accent particulier sur les composants électroniques et le système de chauffage ; enfin, une phase de mise en œuvre pratique incluant la conception des circuits et des schémas nécessaires à la production du prototype.

Le document est structuré en trois chapitres, précédés d'une introduction générale et suivis d'une conclusion générale et de perspectives.

Le premier chapitre est consacré à l'analyse de la thermorégulation chez les nouveau-nés ainsi qu'à l'étude des tables chauffantes disponibles sur le marché. Ces informations sont indispensables pour la conception de notre table chauffante pour les nouveau-nés, qui répond aux demandes et aux critères des départements médicaux concernés.

Le deuxième chapitre porte sur le choix et la description des éléments d'instrumentation choisis pour notre projet. Nous avons d'abord présenté l'élément clé de notre prototype : une carte électronique programmable, en détaillant son cadre de programmation et son mécanisme de fonctionnement. Ensuite, nous avons défini les composants complémentaires, englobant des capteurs thermiques pour la mesure de la température et un système de chauffage, en précisant les caractéristiques de chaque composant.

Enfin, le troisième chapitre détaille les diverses étapes de la mise en œuvre pratique, y incluant des diagrammes en blocs, des circuits électriques et des schémas de fonctionnement. Ces représentations offrent une compréhension précise de chaque phase du processus, rendant plus simple l'application pratique de notre projet.

Le mémoire se conclura par une conclusion générale, suivie de perspectives.

# **Chapitre I**

Généralités sur les tables  
chauffantes et la  
Thermorégulation chez les  
nouveau-nés

## **I.1 Préambule**

Le contrôle de la température constitue un aspect essentiel des soins apportés aux nouveau-nés, en particulier aux prématurés ou aux enfants malades. Ce segment présente une vue d'ensemble du maintien de l'équilibre thermique chez le nouveau-né ainsi que des troubles liés à une adaptation insuffisante à l'environnement extérieur ou une régulation thermique instable. Il aborde également les équipements techniques employés pour assurer cette stabilité, tel que la table chauffante néonatale, dispositif que nous proposons d'étudier et de concevoir. Ces éléments préliminaires visent à mieux comprendre les enjeux de la thermorégulation et à définir une approche optimale pour maintenir la température corporelle du nouveau-né par cette technique [3].

## **I.2 Régime thermique chez les nouveau-nés**

Le régime thermique se réfère à l'ensemble des conditions requises pour assurer une température corporelle idéale chez le nourrisson, réduisant ainsi les dangers liés à l'hypothermie ou à l'hyperthermie. Pour garantir le bien-être et le développement du bébé, il est primordial d'ajuster l'environnement thermique selon ses besoins [4][5].

### **I.2.1 Température corporelle chez le nouveau-né**

L'évaluation de la santé d'un nouveau-né et de sa capacité à s'adapter à son environnement extérieur au ventre maternel repose en grande partie sur sa température corporelle. Il est crucial de maintenir une régulation thermique adéquate pour prévenir les complications métaboliques et physiologiques.

#### **I.2.1.1 Valeurs normales de la température corporelle**

La température du nouveau-né peut être mesurée en différents sites, avec les valeurs de référence suivantes :

- Température axillaire : 36,5 à 37,5°C (conseillée régulièrement)
- Température rectale : 36,6 à 38°C (plus précise mais moins utilisée en pratique courante)
- Température cutanée (mesurée sur l'abdomen) : 36 à 36,5°C (principalement employée en incubateur)

#### **I.2.1.2 Variations de la température corporelle**

Le nouveau-né est particulièrement sensible aux changements de température en raison de :

- La proportion élevée de la surface corporelle et le poids, entraînant une perte de la chaleur rapide.
- L'immaturation du système de thermorégulation, particulièrement chez les bébés prématurés.
- Les réserves limitées de graisse brune, indispensable à la production de chaleur [5].

## I.2.2 Température cutanée chez le nouveau-né

L'appréciation de l'équilibre thermique du nourrisson, notamment en milieu hospitalier, repose principalement sur l'indicateur essentiel qu'est la température cutanée. Une attention particulière doit être accordée à la surveillance de la température chez les nouveau-nés prématurés et vulnérables, afin de prévenir l'hypothermie ou l'hyperthermie.

### I.2.2.1 Définition et valeurs normales

La température cutanée correspond à la température mesurée à la surface de l'épiderme. Elle généralement évaluée au niveau de l'abdomen ou du dos à l'aide d'une sonde thermique.

- Valeur standard : 36,0 - 36,5 ° C
- Une température cutanée inférieure à 36°C indique un risque d'hypothermie.
- Une température corporelle dépassant 37°C peut indiquer une hyperthermie liée à un défaut de régulation thermique [5].

## I.2.3 La différence entre la température cutanée et la température corporelle

Deux paramètres cruciaux pour apprécier la situation thermique du nouveau-né sont la température corporelle et la température cutanée. Toutefois, ils se distinguent par leur méthode de mesure, leurs valeurs respectives et leur interprétation physiologique [6].

**Tableau I.1 :** Différences entre la température cutanée et la température corporelle.

Critère	Température corporelle	Température cutanée
Définition	Température interne du corps	Température de la peau
Localisation	Rectale, Axillaire, tympanique	Abdomen, dos
Valeur normale	36,5 - 38°C	36 - 36,5°C
Méthode de mesure	Thermomètre électronique, infrarouge	Sonde thermique, thermomètre infrarouge
Signification	Indicateur central du métabolisme et de la thermorégulation	Indicateur des pertes de chaleur et de l'adaptation thermique
Utilisation	Détection des troubles thermiques (hypothermie, hyperthermie)	Surveillance de l'environnement thermique et ajustement des soins

## I.3 Thermorégulation chez le nouveau-né

La thermorégulation désigne la capacité d'un organisme à maintenir sa température corporelle en contrôlant la production et la dissipation de chaleur. Cette fonction assure des conditions thermiques optimales pour le nouveau-né, favorisant ainsi la préservation de l'énergie nécessaire au fonctionnement des organes vitaux et à son développement [7].

Au cours des premiers jours de vie, le nouveau-né ne dispose pas encore d'un mécanisme de thermorégulation pleinement efficace. En d'autres termes, il se refroidit vite si la température ambiante est basse et, à l'inverse, se réchauffe et rougit vite lorsqu'il fait chaud, étant incapable de tolérer plus que de faibles variations de la température environnante. Né à un stade immature, son système de thermorégulation s'améliore progressivement. Cependant, pour que cette maturation soit complète, il est nécessaire que les différents mécanismes de régulation soient totalement opérationnels. En attendant, le recours à des dispositifs techniques est indispensables pour assurer cette fonction. Cette assistance n'est requise que durant les premières semaines de vie ; passé le premier mois, l'enfant est généralement capable de réguler lui-même sa température corporelle [8].

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

Deux processus qui sont à la fois opposés et complémentaires garantissent la stabilité de la température corporelle ainsi que celle de l'environnement interne du corps [9].

### **I.4.1 Production de Chaleur**

Il s'agit de la génération de chaleur par l'organisme humain, qui est liée à l'intensité du métabolisme ou à la réponse aux changements de température extérieure. Si la production de chaleur est excessive, on parle d'hyperthermie et si elle est minimale, c'est-à-dire si la production de chaleur est fortement diminuée, on évoque alors l'hypothermie.

### **I.4.2 Transfert de Chaleur**

Il existe quatre mécanismes d'échange de chaleur entre la peau et le milieu environnant comme présenté à la Figure I.1.

- a. Convection** : transfert de chaleur entre la surface corporelle et l'air ambiant, pouvant représenter environ 15% de la dissipation thermique. Ce mécanisme repose sur les mouvements entourent le corps.
- b. Conduction** : transfert direct de chaleur entre deux éléments en contact, de l'objet le plus chaud vers l'objet le plus froid. Elle représente environ 3 à 4% des pertes thermique globales.
- c. Radiation** : émission de chaleur sous forme de rayonnement infrarouge. Au repos, dans un environnement dont la température varie entre 21°C et 25°C, jusqu'à 60% de la chaleur corporelle peut être dissipée.
- d. Évaporation** : correspond à la perte de chaleur liée à l'élimination d'eau par les glandes sudoripares. Elle peut se produire par la respiration ou par sudation et représente 25% de la chaleur évacuée au repos, pouvant atteindre jusqu'à 80% lors d'un effort. En effet, lorsqu'il fait trop chaud et/ou que le corps produit un excès de chaleur, les autres mécanismes de dissipation deviennent insuffisants. L'évaporation constitue alors le moyen de refroidissement le plus efficace.

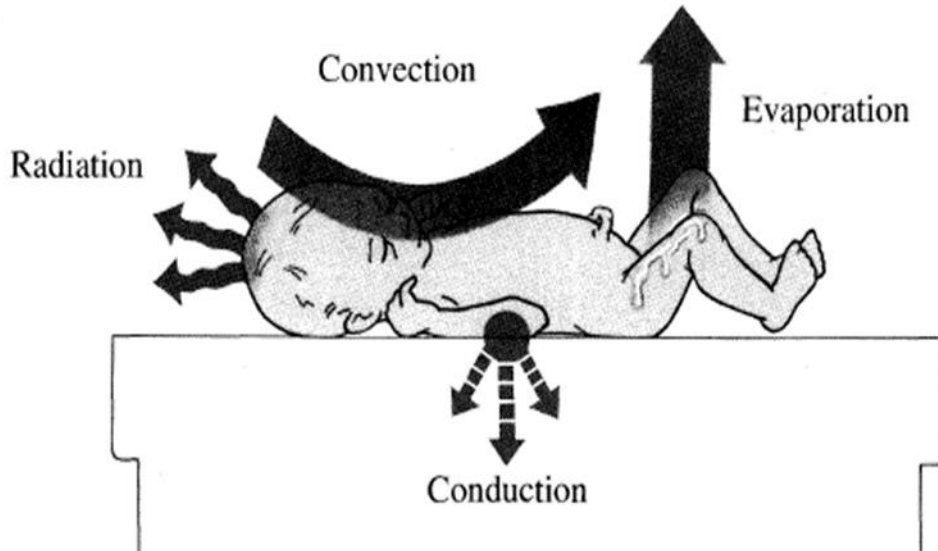


Figure I.1 : Illustration des mécanismes de transfert de chaleur chez le bébé [10]

## I.5 Problèmes de Thermorégulation chez le Nouveau-né

Dans les heures qui suivent la naissance, la température corporelle des nouveau-nés en bonne santé diminue de 1.5 à 2 °C. La baisse de la température corporelle est influencée par le poids du nourrisson, la maturité de son organisme ainsi que l'état de santé du nouveau-né. Pour les enfants en bonne santé, la température corporelle remonte progressivement et atteint entre 36 et 37 °C au bout de 12 à 24 heures.

Cependant, il arrive fréquemment que des perturbations de la thermorégulation (généralement caractérisées par une diminution de la production de chaleur et une augmentation du transfert thermique) se produisent. Ainsi, la température corporelle peut augmenter ou diminuer considérablement, indiquant un dysfonctionnement du métabolisme. Les conséquences à long terme du froid ou de la chaleur peuvent ne pas être efficacement compensées par les systèmes de régulation thermique, entraînant une élévation significative (hyperthermie) ou une baisse (hypothermie) de la température corporelle [11].

### I.5.1 Hyperthermie

Elle est caractérisée comme un accroissement inhabituel de la température corporelle qui excède les standards normaux pour un bébé. On évite cela en vêtant le nourrisson conformément à la température ambiante et en évitant de le positionner trop près d'un élément chauffant ou sous un rayon de soleil direct. Il est crucial de ne pas exposer les couveuses à la lumière solaire directe et de vérifier régulièrement la température interne ainsi que celle du nourrisson.

Les signes dominants de surchauffe incluent l'anxiété, la respiration haletante, les hurlements aigus et les rougeurs cutanées. En situation de surchauffe, la température corporelle

de l'enfant peut monter jusqu'à 38-39 °C. Souvent désignée comme fièvre, elle représente un danger pour le nourrisson tout autant que l'hypothermie. Il s'agit d'une élévation inhabituelle de la température corporelle, pouvant résulter d'échanges thermiques avec l'environnement ou d'un dysfonctionnement au sein de l'organisme. Cela peut se manifester par une instabilité de la température cutanée ou par des érythèmes dans le derme. La température du corps peut monter jusqu'à 40°C, entraînant des crises et des lésions irréversibles sur l'organisme [12].

### I.5.2 Hypothermie

L'hypothermie se produit lorsque la température corporelle du nourrisson descend en dessous de la normale, soit moins de 36,5 °C. On désigne une hypothermie légère, généralement liée à la froideur, comme étant une température corporelle se situant entre 36 °C et 36,4 °C. Quand la température corporelle est comprise entre 32 °C et 36 °C, l'hypothermie est considérée comme modérée, tandis que si elle descend sous les 32 °C, elle est qualifiée de sévère. Il est essentiel de réchauffer rapidement le nouveau-né en cas d'hypothermie, que ce soit par contact peau à peau ou par d'autres techniques. Cette intervention doit être réalisée en tenant compte des ressources humaines et matérielles disponibles ainsi que de la sévérité de l'hypothermie [12]. Ces variations de température chez le nouveau-né sont illustrées dans la Figure I.2.

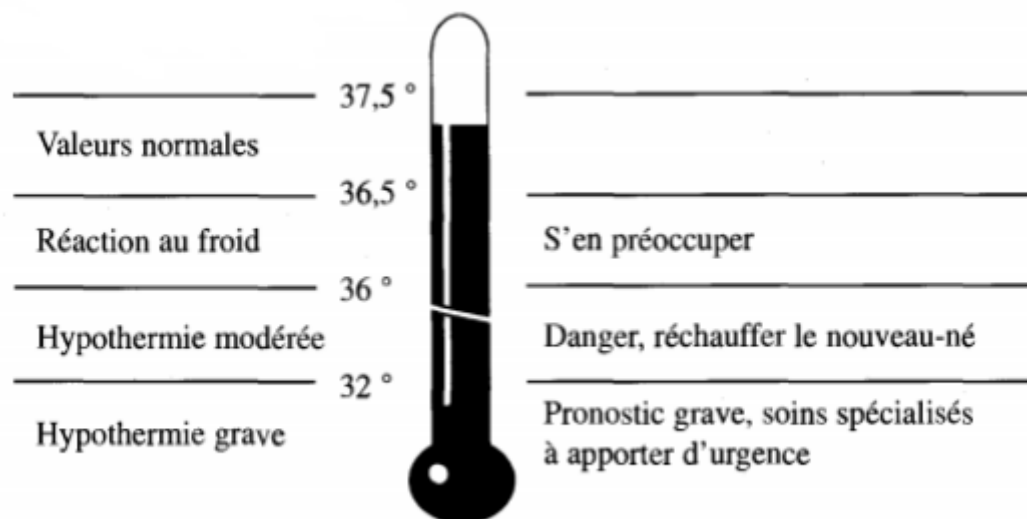


Figure I.2 : Illustration indicative de la température corporelle du nouveau-né [13].

### I.5.3 Aléas de l'Hypothermie et de l'Hyperthermie chez le Nouveau-né

Plusieurs éléments peuvent provoquer des variations de la température corporelle chez les nourrissons, et les signes de ces déséquilibres sont généralement identifiés en comparant la température relevée à la norme.

Les cas d'hypothermie modérée à sévère chez les nourrissons de gravité modérée à sévère ne sont pas sans conséquence. Ils affectent la capacité du système immunitaire de l'enfant et perturbent le fonctionnement des différents organes et systèmes corporels.

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

- **Infections respiratoires aiguës** : grippe, rhume, etc. (symptômes : écoulement nasal, toux, fièvre).
- **Atteintes du système respiratoire** : bronchite, laryngite, angine de poitrine.
- **Atteinte rénales et urinaires** : inflammation rénale, dysfonctionnement d'organes spécifiques, cystite.
- **Lésions cutanées et tissulaires** : gelure des doigts, des orteils, de la peau et des tissus mous.
- **Aggravation de maladies chroniques**, avec atteinte des fonctions cardiaques et cérébrales.

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

- Augmentation des besoins métaboliques.
- Déshydratation sévère.
- Atteintes neurologiques.
- Troubles respiratoires.
- Perturbations cardiovasculaires.
- Augmentation du risque infectieux.
- Dommages cellulaires directs (notamment lorsque la température excède 39-40 °C) [14].

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

Pour ne pas entraver les efforts d'adaptation physiologique du nouveau-né à l'existence hors de l'utérus, il est crucial que son accueil se fasse dans des conditions optimales. Pour garantir une protection thermique dès la naissance et durant les premiers jours de vie d'un bébé, on met en œuvre une série de procédures permettant de maintenir une température corporelle normale, évitant ainsi tant l'hypothermie que l'hyperthermie.

L'hypothermie est corrigée en réchauffant le nourrisson dans une couveuse ou sur une table chauffante (dans des conditions contrôlées de température et d'humidité), jusqu'à ce que son corps soit suffisamment mature et apte à affronter l'environnement extérieur. La fonction principale de ces deux dispositifs est d'empêcher toute aggravation du problème liée à une rupture de la thermorégulation [11], [12], [14], [15].

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

Il s'agit d'une suite d'actions interdépendantes qui ont lieu lors de la naissance et durant les premières heures et journées de vie dans le but de réduire la déperdition de chaleur chez tous les nouveau-nés, qu'ils soient à terme ou prématurés [5] :

- Maintien d'une salle de maternité chauffée.
- Séchage immédiat du nouveau-né.
- Mise en contact « peau à peau » avec la mère.
- Début précoce de l'allaitement maternel.
- Report du pesage et du bain.
- Enveloppement thermique approprié du nouveau-né.
- Réanimation effectuée en milieu chaud.

## **I.6.2 Technologies de protection thermique pour les nouveau-nés**

Les dispositifs de chauffages sont spécifiquement conçus pour répondre aux besoins des bébés prématurés ou malades, particulièrement vulnérables au froid. Ils offrent de nombreux avantages : un réchauffement localisé, une meilleure gestion de la température ambiante et la possibilité d'examiner les nourrissons complètement nus si besoin est.

Ces appareils remplissent des fonctions distinctes : certains sont destinés aux soins des nouveau-nés durant leurs premiers jours ou premières semaines de vie, tandis que d'autres sont spécialement conçus pour la réanimation et les interventions nécessitant l'intervention de plusieurs personnes, notamment dans les situations d'hypothermie [12],[16],[17].

## **I.7 Principaux dispositifs médicaux destinés au service néonatal**

Avant d'être placé avec sa mère dans le service de suites de couches, le nouveau-né doit subir un examen clinique. Les unités de soins intensifs néonataux regroupent des soignants, des infirmiers et des aides-soignants qui s'efforcent d'offrir une prise en charge optimale. L'équipe travaille continuellement sur l'élaboration de méthodes de soins visant à mieux gérer la douleur et le malaise des nouveau-nés hospitalisés. L'importance de réguler la température corporelle du nourrisson est désormais largement reconnue et les techniques pour y parvenir sont employées dans un grand nombre d'unités de soins néonataux.

Lors d'une intervention chirurgicale ou en cas de besoin de réanimation ou de surveillance pour un nouveau-né, ou tout simplement lorsqu'il souffre d'hypothermie, le traitement consiste généralement à procéder à un réchauffement à l'aide d'une couveuse (incubateur) ou d'une table chauffante. Cette technique implique de positionner l'enfant sous une source de chaleur afin d'éviter une perte de température lors du processus de guérison ; ces dispositifs chauffants peuvent être régulés à l'aide de systèmes de mesure thermique pour maintenir la température approximativement à 36,5 ° C [17], [18].

On identifie deux appareils majeurs :

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

Un incubateur néonatal est un équipement médical crucial en néonatalogie, destiné à garantir la survie et l'évolution des bébés prématurés ou en situation critique. Il assure un environnement constant en contrôlant la température, l'humidité et le niveau d'oxygène, tout en préservant le bébé des infections. Agissant en tant qu'incubateur, il est pourvu de capteurs qui modifient automatiquement les conditions idéales pour le nourrisson, et certaines versions

comportent des dispositifs d'aide à la respiration. Sa mission principale est de reproduire un environnement similaire à celui de l'utérus maternel, favorisant ainsi la maturation des organes encore immatures et réduisant les risques de complications.

La conception de la première couveuse pour bébés remonte au XIXe siècle, élaborée par le médecin français Stéphane Tarnier. Sa création s'est inspirée des incubateurs destinés aux poussins. Depuis, elles ont traversé diverses avancées technologiques, incorporant des systèmes sophistiqués de surveillance et de soins, ce qui a contribué à améliorer le taux de survie des bébés prématurés [19], voire la Figure I.3.



**Figure I.3 :** Incubateur fermé [20]

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

### **I.7.2.1 Présentation**

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

Ces dispositifs sont dotés d'un mécanisme qui ajuste automatiquement et/ou manuellement la température corporelle, ainsi que d'un système de contrôle et de mesure de la température axillaire (cutanée) du nourrisson pour garantir qu'il ne se refroidit pas ou qu'il n'est pas surchauffé, et adapter la température de chauffe en fonction. En d'autres termes, ils possèdent une source de chaleur intégrée et un thermomètre, créant ainsi un environnement confortable pour le jeune patient [19], illustres la Figure I.4.



Figure I.4 : Table chauffante simple AMPLA [21]

### I.7.2.2 Historique de la table chauffante

La table chauffante néonatale, avec son histoire riche et en constante évolution, est conçue pour s'adapter aux exigences croissantes des soins intensifs néonataux. Voici un compte rendu historique de son évolution :

#### **Années 1950-1960 : Développement initial**

Les premières tables chauffantes pour nouveau-nés ont vu le jour entre les années 1950 et 1960, en réaction au besoin de garder une température stable chez les prématurés et les bébés, condition essentielle à leur survie et leur croissance.

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

Durant les années 1970 et 1980, ces tables ont bénéficié de considérables améliorations, particulièrement en matière de fonctionnalités et de sécurité. Elles ont commencé à être dotées par les fabricants de systèmes de ventilation et de contrôle des signes vitaux.

#### **Années 1990-2000 : Progrès technologiques**

Les progrès technologiques continus des années 1990 et 2000 ont facilité l'incorporation de fonctionnalités innovantes dans les tables chauffantes pour nouveau-nés. Des modèles de pointe ont été lancés, dotés de systèmes de ventilation et de surveillance évolués, ainsi que d'options de personnalisation pour s'adapter aux exigences spécifiques des soins intensifs néonataux.

#### **Depuis 2010 : Intégration et innovations**

Depuis 2010, les tables chauffantes pour nouveau-nés ont continuellement progressé, incorporant des technologies modernes et des innovations récentes afin d'améliorer la qualité des soins intensifs destinés aux nouveau-nés. Les modèles les plus avancés offrent des systèmes de ventilation et de suivi plus élaborés, avec une personnalisation renforcée pour s'adapter aux exigences particulières des soins intensifs néonataux [22].

### I.7.2.3. État de l'art de la table chauffante

Elle varie d'un fabricant à l'autre, en fonction du type de chauffage et de capteurs thermiques employés. Il existe sur le marché divers appareils aux caractéristiques variées, tous visant à réchauffer rapidement et efficacement les nouveau-nés afin de prévenir l'hypothermie et ses complications. Toutefois, ils se distinguent par leurs fonctionnalités : dépistage, réanimation, désinfection oculaire, etc.

### I.7.2.4 Quelques tables chauffantes disponibles sur le marché

#### I.7.2.4.1 Table de réanimation néonatale - Dräger Babyroo TN300

La table de soins chauffante Dräger Babyroo, convenant aussi bien à la salle d'accouchement qu'à l'unité de soins intensifs néonatale, est dotée d'instruments de réanimation adaptés aux nouveau-nés. L'objectif est de créer un environnement contrôlé afin de préserver la température corporelle du bébé et d'en garantir la sécurité. Cet équipement est illustré à la Figure I.5

##### I.7.2.4.1.1 Caractéristiques [23]

- Exécution efficace des tâches.
- Conservation d'une température stable.
- Transferts faciles et sans risque.
- Une solution intermédiaire pour la protection pulmonaire.
- Cadre favorable au bien-être.
- Interrompez la chaîne de contagion.



**Figure I.5:** Dräger Babyroo TN300[23]

### **I.7.2.4.1.2 Accessoires et composants du système [23]**

#### **a. Accessoires**

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

#### **b. Composants du système**

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

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

La table HKN-93A de réanimation néonatale pédiatrique est un équipement médical spécifiquement élaboré pour la réanimation des bébés. Avec de nombreuses fonctionnalités, elle assure une réanimation à la fois efficace et sécurisée. Ce dispositif est présenté à la Figure I.6.

#### **I.7.2.4.2.1 Caractéristiques [24]**

- Température régulée par micro-ordinateur - équipé d'une prise RS232
- Température ambiante - température du corps - données enregistrées sur différentes périodes.
- Puissance de chauffe réglée manuellement ou automatiquement.
- Chauffage infrarouge
- Plateau à rayons X positionné sous le berceau
- Berceau ajusté sans à-coups.
- Indicateur d'erreur de température ou de puissance.
- Alarme de déviation de la température
- Radiateur réglé horizontalement en deux voies
- Berceau ajusté sans interruption.
- Oxygène inspirateur



**Figure I.6 :** Table chauffante HKN-93A [25].

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

Le système de chauffage néonatal SNO est élaboré pour favoriser une adaptation optimale des nouveau-nés grâce à des interventions destinées à restaurer leurs fonctions vitales dans les unités de soins intensifs, les hôpitaux spécialisés en périnatalité et les salles dédiées aux soins intensifs. Cet appareil est représenté à la Figure I.7.



**Figure I.7 :** Table chauffante Shvabe SNO [26].

#### **I.7.2.4.3.1 Caractéristiques [27]**

- La plage de température ajustée par capteur cutané va de 35 à 37,9°C.
- La durée de fonctionnement ininterrompu est de 72 heures.
- L'étendue de température indiquée va de 30 à 39,9°C.
- La puissance de rayonnement infrarouge la plus élevée atteint 60 kW/cm sur l'ensemble du spectre, avec une spécification de 10 kW/cm pour la plage courte (760-1400 nm).
- Le module de chauffage peut pivoter jusqu'à un maximum de 65 +5 degrés.
- Le réglage du taux d'oxygène pendant la prise en charge néonatale peut être effectué dans une plage de 40 à 95%.
- Le matelas peut être incliné jusqu'à un maximum de 12 degrés.

#### **I.7.2.4.4 Table de réanimation néonatale ouverte (CHO)**

La table néonatale CHO est destinée à la réanimation des nouveau-nés dans les maternités et les services de soins intensifs pédiatriques. Il s'agit d'une table équipée d'un chauffage infrarouge qui assure une chauffe automatique du bébé par le biais du rayonnement infrarouge [21]. Ce modèle est illustré à la Figure I.8.

##### **I.7.2.4.4.1 Caractéristiques [27]**

- Réglage automatique et manuel de la chaleur pour bébé.
- Aspiration des voies aériennes supérieures.
- Signalement du moment pour la réanimation.
- Réalisation d'une ventilation assistée.
- Administration d'oxygène.
- Éclairage idéal de l'espace de travail

##### **I.7.2.4.4.2 Les alertes**

L'alarme se déclenche dans les situations suivantes :

- Lorsque l'alimentation externe est coupée
- En cas de court-circuit dans le circuit du capteur de température cutanée
- Si l'écart de température cutanée dépasse la valeur recommandée
- Lors d'une augmentation inhabituelle de la température cutanée atteignant une valeur critique.



**Figure I.8 :** La table de réanimation néonatale ouverte (CHO) [28].

#### **I.7.2.4.5 Table chauffante UON-04 AKSION**

L'UON-04 « Axion », l'appareil de chauffage pour bébés illustré à la Figure I.9, est conçu pour fournir de la chaleur et / ou réaliser une session de photothérapie destinée aux nouveau-nés (pour le traitement de l'hyperbilirubinémie). Elle est employée dans les unités de soins intensifs des maternités et des hôpitaux pédiatriques. L'emploi de l'appareil offre une facilité pour les professionnels de la santé dans la réalisation des procédures courantes avec les nouveau-nés [22].

##### **I.7.2.4.5.1 Caractéristiques [29]**

- Le radiateur infrarouge en céramique constitue le chauffage principal.
- Une source de chauffage supplémentaire, est un coussin chauffant flexible situé en dessous.
- Pour le traitement de l'hyperbilirubinémie, une diode électroluminescente produisant une lumière bleue avec une longueur d'onde de  $465\pm 15\text{nm}$  est utilisée comme source lumineuse.
- 4 x roues, dont deux sont équipées de systèmes de freinage pour rendre le mouvement et la mise en place de l'équipement plus aisés.
- Deux étagères.
- Un capteur cutané pour surveiller la température de chauffage.
- Présence d'un mode manuel et d'un mode "la minuterie".



Figure I.9 : Table chauffante UON-04 "AKSION" [30].

### I.8 Utilité de la table chauffante pour les nouveau-nés

La table chauffante est un équipement indispensable en salle de naissance et en néonatalogie. Elle est particulièrement utile dans les situations suivantes [31] :

- **Réanimation néonatale** : Suite à la naissance, en présence d'une détresse respiratoire ou d'asphyxie, la table chauffante offre une chaleur immédiate et constante. Elle autorise également la mise en place de matériels de réanimation (aspiration, ventilation manuelle, surveillance).
- **Prématurés ou bébés fragiles** : Ces nouveau-nés ont une aptitude restreinte à contrôler leur température corporelle. La table chauffante contribue à conserver une température stable, diminuant de ce fait le danger d'hypothermie.
- **Soins intensifs et interventions médicales** : La table offre un accès facile au bébé tout en maintenant une température idéale. Cela est crucial pour les soins tels que la pose de cathéters, les examens cliniques ou les injections.
- **Éviter l'hypothermie après la naissance** : Dans la salle d'accouchement, la chaleur radiante de la table compense les pertes de chaleur résultant de l'évaporation, de l'humidité et des courants d'air. Cela sauvegarde le nouveau-né durant ses premières heures d'existence

## **I.9 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons traité les principes de base de la thermorégulation et les troubles thermiques chez les nouveau-nés, tout en explorant les méthodes spécifiques de protection thermique. Cette étude a pour but de mieux identifier les critères auxquels notre réalisation doit s'adapter. Dans un examen non exhaustif, nous avons listé plusieurs tables chauffantes actuellement disponibles sur le marché, en soulignant leurs diverses caractéristiques et technologies de conception associées.

Pour conclure, la table chauffante constitue un essentiel pour traiter l'hypothermie et maintenir un environnement thermique neutre lors des soins hospitaliers destinés aux nouveau-nés, dans un intervalle de température compris entre 36.5°C à 37.5°C, appelé zone de sécurité. Cet équipement garantit un confort et une sécurité optimaux pour le nouveau-né grâce à ses éléments principaux : un système de chauffage à réglage automatique ou manuel, une sonde cutanée, ainsi qu'un système d'alerte sonore et visuelle, tous contrôlés par une unité de commande.

# **Chapitre II**

Les composants et  
technologies utilisées

## II. 1. Préambule

L'objectif de notre projet est de concevoir un prototype de table chauffante pour les nouveau-nés, capable de contrôler automatiquement la température corporelle afin d'assurer un confort thermique optimal et de prévenir aussi bien l'hypothermie que l'hyperthermie.

Pour atteindre cet objectif, nous avons recours à plusieurs composants électroniques et technologies embarquées, chacun remplissant une fonction spécifique dans la structure générale du système.

L'unité centrale de commande est assurée par le microcontrôleur **Arduino UNO**, qui traite les informations provenant du capteur de température **DS18B20**. En fonction de la température mesurée, il régule différents actionneurs tels que l'élément de chauffant, le ventilateur ou encore le buzzer sonore. L'afficheur **LCD 20×4 avec interface I2C** permet, quant à lui, une visualisation en temps réel des paramètres de fonctionnement.

Chaque composant sélectionné s'avère indispensable au bon fonctionnement de la table chauffante. Par conséquent, ce chapitre propose une étude détaillée de ces éléments : leur définition, leurs spécifications techniques, leurs modes de liaison et de transmission d'informations, ainsi que leur intégration au sein du système global.

## II.2. La carte électronique programmable Arduino

### II.2.1. Définition

La carte Arduino est un dispositif programmable utilisé pour la mise en œuvre de projets électroniques élaborés. Elle est constituée d'un circuit électronique programmable, appelé microcontrôleur, et d'un logiciel de programmation (une interface de programmation) permettant son utilisation.

Cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de concevoir ses applications par expérimentation directe grâce à une multitude de ressources en ligne (bibliothèques, exemples, etc.)

Le système Arduino est une plate-forme open-source d'électronique programmée, ce qui indique que les modèles de la carte sont accessibles sous une licence libre. L'Arduino s'affirme comme un instrument de prototypage intégrant les bénéfices de la programmation et de l'électronique. Il facilite la conception des circuits électroniques et contribue à diminuer les coûts d'exécution des projets. [32],[33].

La Figure II.1 ci-dessous représente la carte Arduino UNO la plus utilisée :



Figure II.1 : Carte Arduino UNO [34].

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

On distingue trois catégories de cartes :

- « Officielles » qui sont produites en Italie par le fabricant autorisé : Smart Project.
- « Compatibles » qui ne sont pas produits par Smart Projects, mais qui sont entièrement compatibles avec les Arduino officielles.
- Les « autres » sont produites par diverses sociétés et vendues sous différents noms (Freeduino, Seeduino, Femtoduino, etc.) [35].

Grâce à sa licence open source et sa flexibilité, l'Arduino est un produit en constante évolution. À moment actuelle, on peut trouver différentes versions du module Arduino.

Voici les principales versions du produit :

	UNO R3	UNO R3 Ethernet	Leonardo	Mega 2560	Mega A DK	DUE	Esplo-ra	Mini	NANO	Yun	Zero Pro
Microcontrôleur	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
Cadence-ment horloge	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	48 MHz
Tension d'entrée	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V	7-9V	7-9V	5V	5V
Tension de fonctionnement	5V	5V	5V	5V	5V	3.3V	5V	5V	5V	5V	3.3V
Entrée/sortie numérique	14/6	14/4	20/7	54/15	54/15	54/15	*	14/6	14/6	20/7	14/12
Entrée/sortie analogique (PWM)	6/0	6/0	12/0	16/0	16/0	12/2	*	8/0	8/0	12/0	6/1
Mémoire vive (flash)	32Ko	32Ko	32Ko	256Ko	256Ko	512Ko	32Ko	32Ko	32Ko	32Ko	256Ko
Mémoire Vive (SRAM)	2Ko	2Ko	2.5Ko	8Ko	8Ko	86Ko	2.5Ko	2Ko	2Ko	2.5Ko	32 Ko
Mémoire morte (EEPROM)	1Ko	1Ko	1Ko	4Ko	4Ko	*	1Ko	1Ko	1Ko	1Ko	16Ko
Interface USB	USB-B Male	USB-B Male	Micro-USB	USB-B Male	USB-B Male Et USB-A Pour andoide	2 Ports Micro USB	Micro-USB	*	Min-USB	Micro-USB	2 Ports Micro USB
Port UART	1	1	1	4	4	4	*	*	1	1	2
Carte SD	non	oui	non	non	non	non	non	non	non	oui	non
Ethernet	non	oui	non	non	non	non	non	non	non	oui	non
Wifi	non	oui	non	non	non	non	non	non	non	oui	non
Dimensions	68*53 mm	68*53 mm	68*53 mm	101*53 mm	101*53 mm	101*53 mm	165*60 mm	30*18 mm	45*18 mm	68*53 mm	68*53 mm

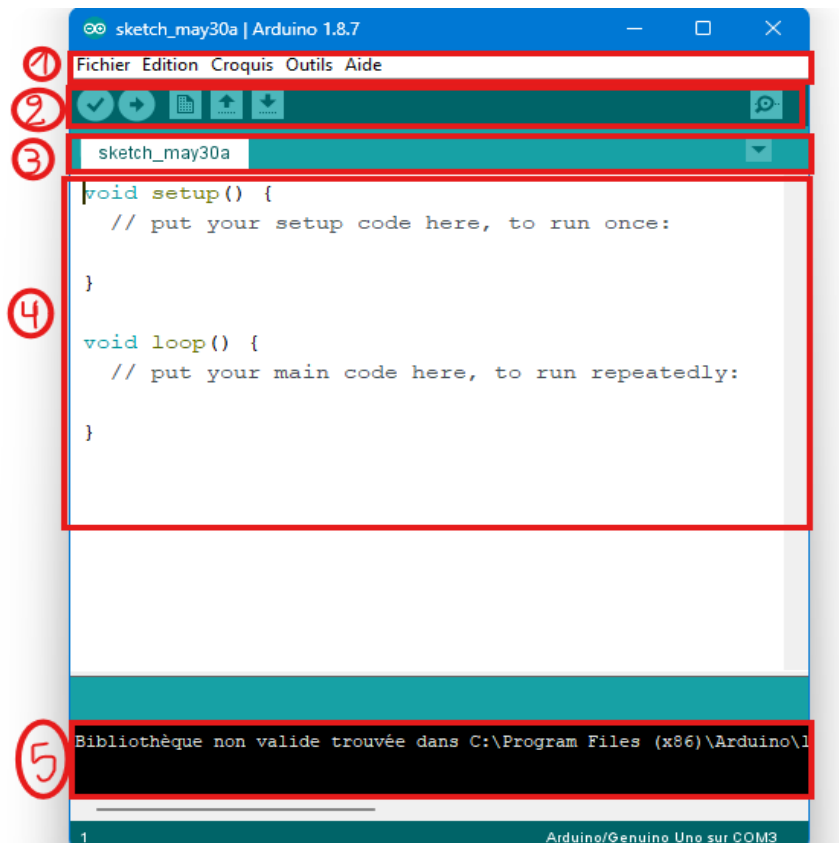
Tableau II.1 : Les différents types des carte Arduino [36].

### II.2.3. Programmation de carte Arduino

Une telle carte d'acquisition dont sa construction est basée sur un microcontrôleur, doit être dotée d'une interface de programmation comme est le cas de notre carte. L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux), ce programme appelé IDE Arduino [37].

### II.2.3.1. Interface de programmation

La fenêtre de l'application Arduino comporte les éléments suivants :



**Figure II.2 :** Les différentes parties de fenêtre principale du logiciel

1. **La barre des menus :** Il possède les icônes suivantes [38] :
  - a. Fichier (File) : ce menu propose diverses options pour créer, ouvrir, sauvegarder et imprimer un programme, ou encore pour sélectionner un exemple parmi ceux fournis avec le logiciel Arduino.
  - b. Edition (Edit) : ce menu regroupe les options de copier/coller, sélection ainsi que les fonctions de recherche.
  - c. Croquis : ce menu inclut diverses fonctions de la barre de boutons, ainsi que les options pour ajouter des bibliothèques ou des fichiers.
  - d. Outils : c'est dans cette section que l'on choisit le modèle de carte à programmer, le port série à utiliser et la fonction chargement du bootloader sur l'ATmega.
  - e. Aide : ce menu est conçu pour fournir un aide sur les divers problèmes que l'on peut rencontrer dans le logiciel Arduino.

## 2. La barre de boutons [35] :

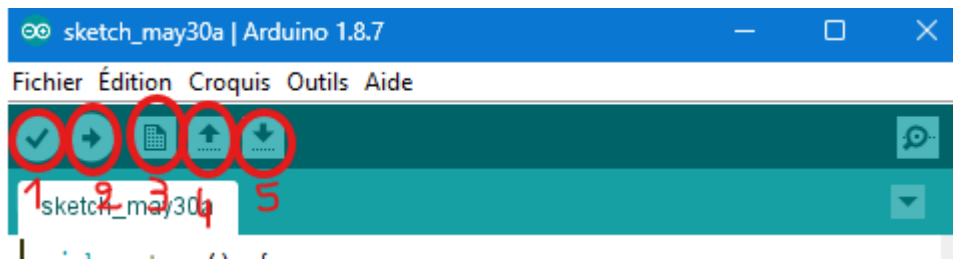


Figure II.3 : La barre des boutons

- **Bouton 1 : Vérifier/Compiler**  
Ce bouton offre la possibilité de contrôler et compiler pour déceler les erreurs dans le programme en choisissant la ligne où l'erreur est localisée.
  - **Bouton 2 : Transférer**  
Permet envoyer le programme sur la carte Arduino.
  - **Bouton 3 : Nouveau**  
En cliquant sur cette icône, une fenêtre d'édition vide s'affiche pour créer un nouveau programme.
  - **Bouton 4 : Ouvrir**  
Un simple clic sur ce bouton vous donne accès à l'ensemble des programmes contenus dans le « livre de programmes ». Cliquer sur l'un des programmes l'affichera dans la fenêtre actuelle.
  - **Bouton 5 : Sauvegarder**  
Avant de quitter l'application saisie, il est nécessaire de la sauvegarder, ce qui peut être effectué en appuyant sur cette icône.
3. **Un ou plusieurs onglets correspondant aux sketches**
  4. **Un éditeur** : c'est dans cet espace que nous allons rédiger notre programme.
  5. **Une Console Texte** : elle offre la possibilité d'illustrer les informations et les erreurs de compilation et téléversement du programme.

### II.2.3.2. Structure d'un programme

Un programme utilisateur Arduino est une série d'instructions simples présentées sous forme de texte, ligne par ligne. La carte lit puis exécute les instructions séquentiellement, suivant l'ordre établi par les lignes. Il se compose de trois sections :

#### 1. Définition des constantes et des variables :

Elle permet également l'intégration des bibliothèques employées dans le programme via `#include`.

#### 2. La configuration des entrées et sorties (`void setup ()`) :

La fonction `setup ()` englobe les instructions d'initialisation ou de configuration des ressources de la carte, telles que, le réglage des broches E/S numériques en entrée ou en sortie, la détermination de la rapidité de communication de l'interface série, et ainsi de série. Cette fonction ne s'exécute qu'une seule fois, immédiatement après le démarrage du programme [39].

### 3. La programmation des actions et comportements (void loop ()) :

La fonction `loop ()` intègre les instructions du programme proprement dites. Cette fonction s'exécutera sans cesse tant que la carte Arduino sera alimentée électriquement [37], comme représenté dans la Figure II.4.

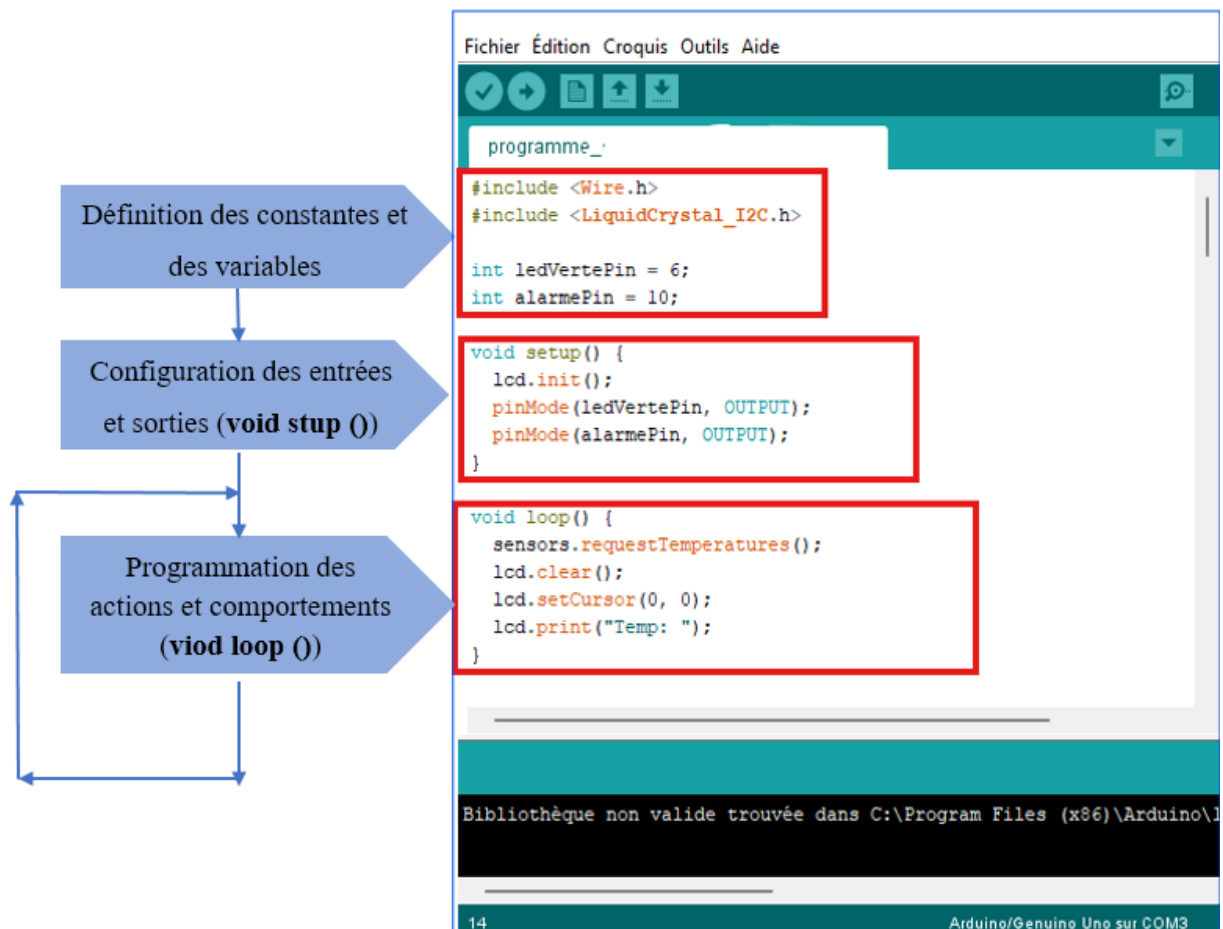


Figure II.4 : Structure d'un programme

#### II.2.3.3. Bibliothèques de programmation

Une bibliothèque définit un ensemble de fonctions pratiques pour les utilisateurs de l'environnement Arduino. Les fonctions sont classées en fonction de leur association à un domaine conceptuel similaire (mathématiques, graphisme, tri, etc.). Plusieurs bibliothèques externes sont incluses par défaut dans l'environnement de programmation Arduino (IDE). L'instruction correspondante doit être intégrée au début du programme.

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 [40], [41].

## II.2.4. Les principaux avantages et inconvénients de la carte Arduino

Au fil des dernières années, l'usage d'Arduino a connu une croissance exponentielle grâce à sa simplicité et sa pureté. Il y a des avantages et des inconvénients associés à l'utilisation d'Arduino [42].

### II.2.4.1 Les avantages

- **Compatible avec plusieurs plateformes** : L'environnement de développement intégré Arduino (IDE) est opérationnel sur les systèmes d'exploitation Macintosh, Windows, Linux, BSD et Android. Tandis que la majorité des systèmes de microcontrôleur se limitent à Windows ;
- **Interface de programmation simple et raffinée** : L'IDE Arduino est conçue pour être simple d'utilisation pour les apprenants, tout en offrant une flexibilité suffisante pour que des professionnels puissent l'exploiter.
- **Logiciels open source et extensibles** : Arduino est un logiciel publié en tant que programme open source, qui peut être étendu par des programmeurs chevronnés. On peut élargir le langage grâce à des « Bibliothèques » C++.
- **Matériel Open Source et matériel extensible** : Les plans des cartes Arduino sont publiés sous licence "Creative Commons", permettant ainsi aux ingénieurs de circuits qualifiés de concevoir leur propre version du module. Des cartes d'extension sont également proposées pour ajouter des fonctionnalités supplémentaires aux cartes Arduino standard.

### II.2.4.2 Les inconvénients

- **La structure** : La structure d'Arduino peut également être considéré comme une contrainte. Lors de l'élaboration d'un projet, il est crucial de minimiser la taille autant que possible. Cependant, face à la dimension des structures Arduino, nous sommes obligés d'utiliser des circuits imprimés de grande dimension. Si nous utilisons un microcontrôleur compact tel que l'ATmega8, la réduction de la taille de la carte PCB devient facile
- **Le coût** : Un autre aspect incontournable est le coût. C'est le challenge auquel tout amateur, ingénieur ou professionnel doit se confronter. À présent, il faut évaluer si l'Arduino reste économique ou non.

## II.3. La carte Arduino UNO

### II.3.1. Définition

La carte Arduino UNO, dotée d'un microcontrôleur ATmega328 fonctionnant à 16 MHz, est l'une des versions les plus récentes et les plus économiques de la gamme Arduino. Des connecteurs situés sur les bords du circuit imprimé facilitent le raccordement de divers modules complémentaires. Elle peut être programmée à l'aide du logiciel Arduino. Le microcontrôleur ATmega328 intègre une mémoire de programme permettant la réécriture du code sans nécessiter de programmeur externe [43].

### II.3.2. Description de la carte Arduino UNO

Le modèle UNO d'Arduino est une carte électronique intégrant un microcontrôleur ATmega328 de la société Atmel. L'ATmega328 est un microcontrôleur 8 bits appartenant à la famille AVR, programmée principalement en langage C/C++. Cette carte dispose de 14 entrées/sorties numériques (dont 6 peuvent servir comme sorties PWM), de 6 entrées analogiques équipée d'un convertisseur analogique-numérique (CAN) d'une résolution 10 bits, d'un résonateur céramique (quartz) à 16 MHz, d'un connecteur ICSP (In-Circuit Serial Programming) permettant l'injection du bootloader dans le microcontrôleur, d'un port jack pour une alimentation externe, ainsi que d'un bouton de réinitialisation [38].

Un des ajouts de cette carte est qu'elle ne nécessite pas de pilote pour la conversion USB/Série. En effet, elle intègre un microcontrôleur ATmega8 (dans la version 2) programmé comme convertisseur USB/Série, ce qui simplifie grandement son utilisation.

La carte Arduino UNO comprend donc tous les éléments nécessaires au fonctionnement du microcontrôleur : il suffit de la connecter à un ordinateur via un câble USB ou de l'alimenter à l'aide d'une source externe pour la mettre en marche. L'illustration ci-dessous présente les principaux composants de la carte Arduino Uno, Comme le montre la Figure II.5.

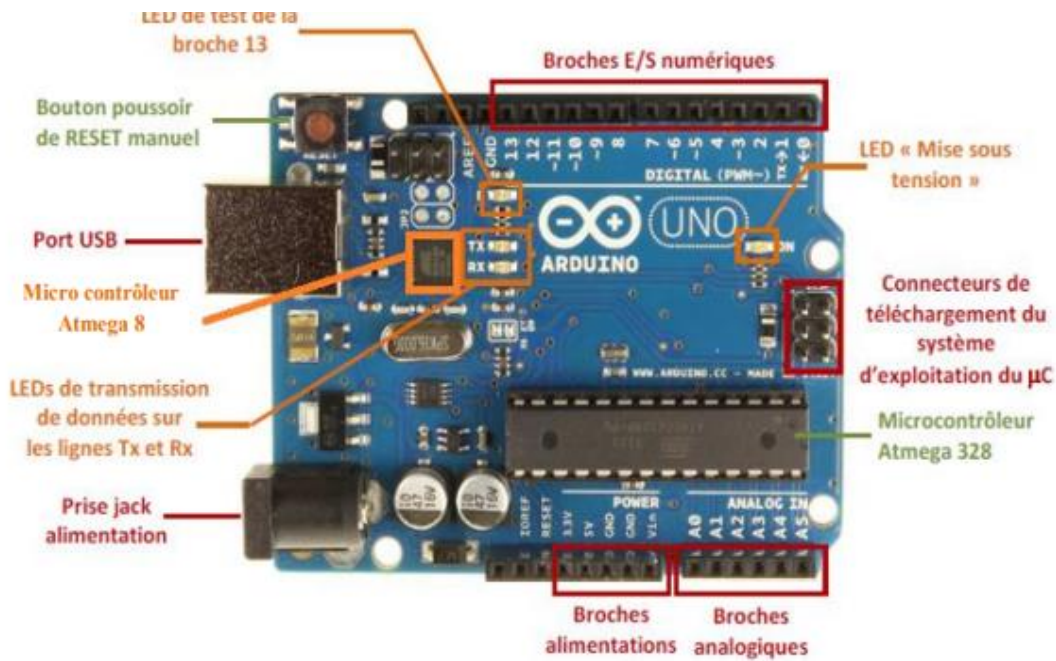


Figure II.5 : Représentation de la carte Arduino UNO et ses éléments principaux [34]

### II.3.3. Caractéristique technique

Les principales caractéristiques techniques de la carte Arduino UNO sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Caractéristique technique de la carte Arduino UNO

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

### II.3.4. Schéma structurel de la carte Arduino UNO

Il n'est pas toujours garanti que tous les éléments d'un circuit électronique soient interconnectés. L'agencement des éléments obéit à un schéma propre à chaque circuit imprimé, que l'on appelle le schéma électronique [44], ce principe est illustré à la Figure II.6.

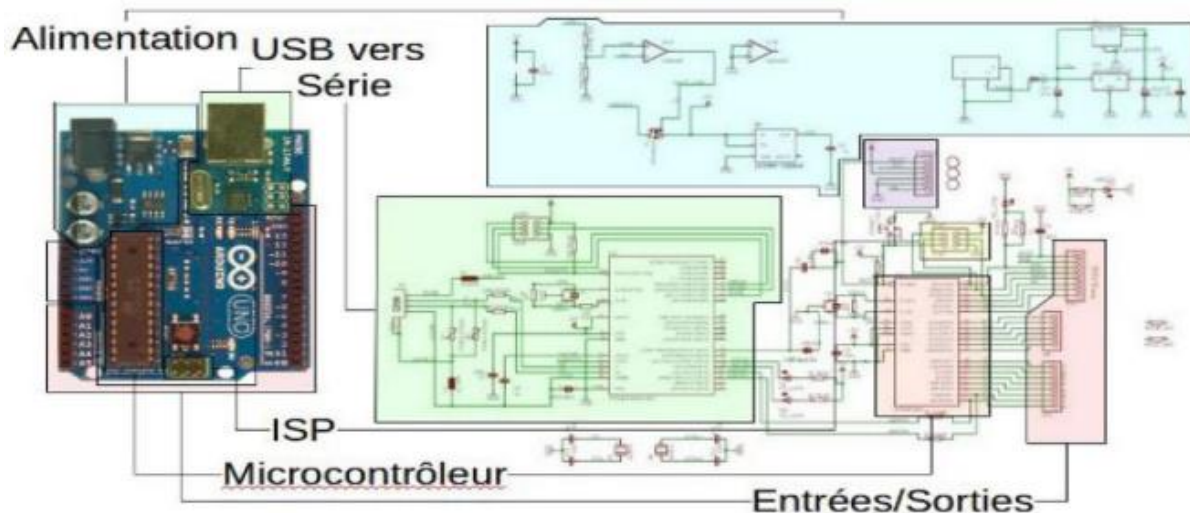


Figure II.6 : Structure de la carte Arduino UNO [45].

### II.3.5. Alimentation de la carte Arduino UNO

L'Arduino UNO peut être alimentée soit par une connexion USB (5V, jusqu'à 500 mA), soit par le canal d'une source d'alimentation externe. La carte détermine automatiquement la source d'alimentation.

La source d'alimentation externe (non-USB) peut être un adaptateur secteur (3 V à 12 V, 500 mA) ou un ensemble de batteries/ accumulateurs.

Il est possible de relier l'adaptateur secteur en insérant une prise de 2.1mm, réservée au centre positif central, dans le connecteur jack de la carte. Il est possible d'insérer les fils provenant d'un ensemble de batteries ou d'accumulateurs dans les connecteurs des points de connexion de la carte désignés par GND (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) du connecteur d'alimentation [46].

**Les broches d'alimentation sont les suivants [43] :**

- **VIN** : La tension d'entrée sur la carte Arduino lorsqu'elle est alimentée par une source externe (en différence avec les 5 volts fournis par la connexion USB ou toute autre source d'alimentation régulée). Il est possible de délivrer une tension via cette broche, ou si l'alimentation est assurée par la prise correspondante, d'y accéder grâce à cette broche.
- **5V** : est la tension régulée utilisée pour alimenter le microcontrôleur et les autres éléments de la carte (à titre d'information : les circuits électroniques numériques ont besoin d'une alimentation parfaitement stable, appelée « tension régulée », qui est fournie par un composant connu sous le nom de régulateur qui est intégré dans la carte Arduino. Ainsi, le 5v régulé délivré par cette broche peut être issu soit de la tension d'alimentation VIN grâce au régulateur de la carte, soit d'une connexion USB (qui offre du 5v régulé), ou encore de toute autre source d'alimentation régulée.

- **3.3V** : Une tension est produite par le régulateur intégré. L'usage maximal de courant s'élève à 50 mA.
- **GND** : Les broches au sol.
- **IOREF** : Cette broche de la carte Arduino délivre la référence de tension sur laquelle le microcontrôleur marche. Un écran bien configuré est capable de mesurer la tension de la broche IOREF et de choisir l'alimentation adéquate ou d'activer des convertisseurs de tension sur les sorties pour fonctionner avec du 5V ou 3,3V.

### II.3.6. Les entrées/sorties

La carte Arduino UNO dispose de 14E/S numériques et de 6 entrées analogiques [47].

#### II.3.6.1 Les Entrées/sorties numériques

Les 14 broches numériques (numérotées de 0 à 13) peuvent être configurées comme entrées (input) ou sorties (output) en utilisant les commandes `pinMode()`, `digitalWrite()` et `digitalRead()` du langage Arduino. Ces broches fonctionnent sous une tension de 5 volts.

La broche est capable d'émettre ou de recevoir un courant maximal de 40 mA et possède une résistance interne appelée « résistance de rappel (pull-up) » (qui est déconnectée par défaut) allant de 20 à 50 KOHms. Cette résistance interne se déclenche sur une broche d'entrée grâce à la commande `digitalWrite` (broche, HIGH).

De plus, certaines broches ont des fonctions spécifiques :

- Communication série** : broches 0 (RX) et 1 (TX). Autorise la réception (RX) et l'émission (TX) de données en série au niveau TTL. Ces broches sont reliées sur les broches appropriées du circuit intégré ATmega8U2, qui est programmé comme convertisseur USB vers série de la carte (composant qui fournit l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur). Nous utilisons la transmission série à travers ces broches en employant l'instruction `Serial.print()`. Cela dit, il est indispensable que le câble USB soit débranché, sinon un problème se produira.
- Interruptions externes** : broches numéros 2 et 3. Il est possible de configurer ces broches pour qu'elles déclenchent une interruption lors d'une faible valeur, d'un front ascendant ou descendant, ou d'une modification de valeur. Consultez la fonction `attachInterrupt()` pour plus de détails.
- Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée)** : les broches 3, 5, 6, 9, 10 et 11 sont concernées. Utilisent l'instruction `analogWrite()` pour générer une modulation de largeur d'impulsion (PWM) de 8 bits.
- SPI (Série Périphérique Interface)** : Les broches 10, 11, 12 et 13 correspondent respectivement à SS, MOSI, MISO et SCK. Ces broches sont compatibles avec la communication SPI (Interface Série Périphérique), accessible via la bibliothèque dédiée à cette communication. Les broches SPI sont aussi reliées au connecteur ICSP (Programmation en série dans le circuit).
- I2C** : les broches 4(SDA) et 5(SCL), Compatible avec les communications de protocole I2C, en utilisant la bibliothèque `Wire/I2C`.

- f. **LED** : Broche numéro 13. Une LED est intégrée à la carte et est raccordée à la broche 13. Quand la broche est en position HAUT, la LED s'allume, alors que lorsqu'elle est en position BAS, la LED ne s'allume pas.

### II.3.6.2 Les entrées analogiques

La carte Uno est équipée de 6 entrées analogiques (de A0 à A5), chacune offrant une résolution de 10 bits (c'est-à-dire 1024 valeurs distinctes, allant de 0 à 1023) grâce à la fonction très pratique `analogRead()` du langage Arduino. Ils évaluent généralement de 0 volts (niveau du sol) à 5 volts (valeur maximale de 1023), mais il est possible d'ajuster la limite supérieure de cet intervalle en utilisant la broche AREF et l'instruction `analogReference()` du langage Arduino, comme montré à la Figure II.7.

De plus, certaines broches possèdent des caractéristiques spéciales :

- **TWI** : utilise la broche A4 ou SDA et la broche A5 ou SCL. Assistance en communication TWI grâce à l'utilisation de la bibliothèque `Wire`. On trouve d'autres broches sur la carte
- **AREF** : tension de référence pour les entrées analogiques. Employé en conjonction avec la commande `analogReference()`
- **Reset** : L'abaissement de cette broche provoque la réinitialisation (c'est-à-dire le redémarrage) du microcontrôleur. Généralement, cette broche sert à intégrer un bouton de réinitialisation sur le circuit qui bloque celui déjà présent sur la carte.

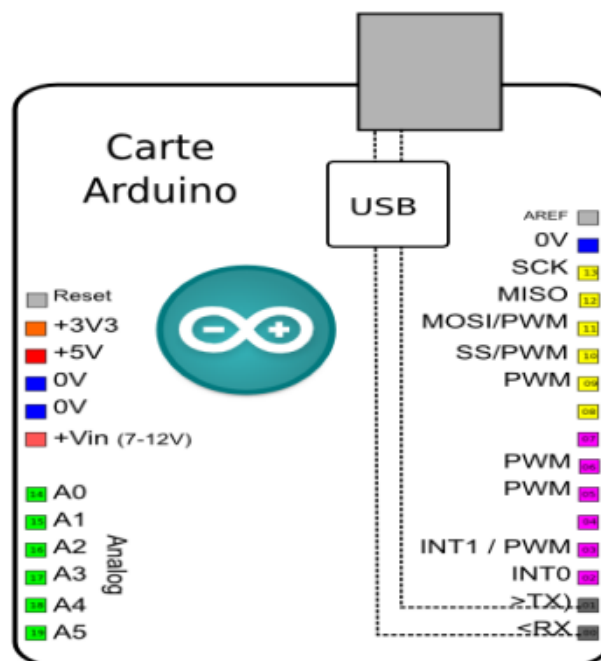


Figure II.7 : Brochage de la carte Arduino UNO [48].

## II.3.7 Le mode de communication

### II.3.7.1 Inter integrated circuit I2C

La norme I2C (Inter-Integrated Circuit) a été conçue pour fournir une méthode facile de transfert des données numériques entre capteurs, actionneurs et microcontrôleurs. La librairie Arduino « Wire » facilite la mise en œuvre de ce standard lors du raccordement de dispositifs compatibles.

Arduino emploie le bus I2C pour établir une communication série avec les appareils compatibles qui lui sont raccordés. Ce bus a pour atout de solliciter uniquement deux liaisons de signalisation :

- **SDA (Serial Data line)** : Toute la transmission de données entre les dispositifs se réalise uniquement sur la ligne de données série.
- **SCL (Serial Clock Line)** : On utilise aussi la ligne série d'horloge, ou SCL, dans le cadre du protocole I2C. En tant que protocole synchrone, SCL est employé pour harmoniser l'échange de données entre tous les appareils reliés. Il est relativement facile d'utiliser divers périphériques grâce à ces deux broches, rendant leur utilisation assez simple. En outre, une confirmation peut être obtenue pour attester que les signaux ont été correctement captés [49].

**Remarque :** Les dispositifs qui emploient le protocole I2C ont besoin d'une masse commune pour établir une communication. Par conséquent, la broche GND de l'Arduino doit être connectée à la terre sur chaque dispositif compatible I2C.

## II.3.8 Gestion des mémoires

L'ATmega328, un microcontrôleur, possède une mémoire programmée Flash de 32 ko (dont 0.5 ko sont également utilisés par le bootloader). Il inclut également 2ko de mémoire à accès aléatoire (SRAM). Cette mémoire est habituellement employée pour conserver les résultats provisoires lors d'opérations de calcul. Le microcontrôleur a la capacité de lire et d'écrire sur cette mémoire à tout moment, mais son contenu est effacé dès qu'elle n'est plus sous tension. De plus, l'ATmega328 est équipé d'une mémoire EEPROM de 1KO. On peut accéder au contenu de cette mémoire via les fonctionnalités de la bibliothèque « EEPROM » [46].

## II.3.9 Dimensions de la carte

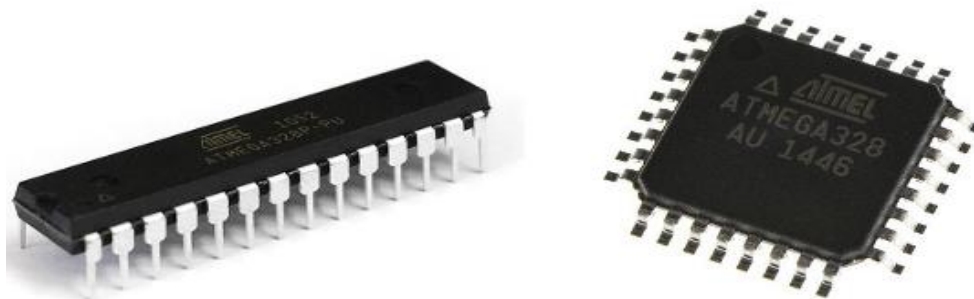
La carte Arduino UNO a des dimensions maximales de 6.86 cm en longueur et 50.33 cm en largeur, bien que le connecteur USB et le connecteur d'alimentation Jack dépassent les dimensions de la carte. Quatre orifices pour vis permettent la fixation de la carte sur une surface ou dans un boîtier (pour son intégration à un système). Il est à noter que l'espacement entre les broches 7 et 8 est de 0,16 pouces, tandis que la distance séparant les autres broches est de 0,1 pouce [38].

### II.3.10 Protection contre la surcharge de courant sur le port USB

La carte Arduino UNO est équipée d'un poly-fusible réinitialisable qui assure la protection du port USB de l'ordinateur contre les surcharges de courant (le port USB est généralement limité à 500 mA en courant. Bien que la majorité des ordinateurs possèdent leur propre mécanisme de sécurité interne, le fusible intégré à la carte offre une protection supplémentaire. Si un courant supérieur à 500mA est appliqué au port USB, le fusible de la carte déclenchera automatiquement la connexion jusqu'à ce que le court-circuit ou la surcharge soit arrêté [46].

### II.3.11 Le microcontrôleur ATmega328

Un microcontrôleur ATmega328 est un circuit intégré réunissant divers composants sophistiqués sur une seule puce, le tout dans un espace restreint. Actuellement, en raison de l'incorporation de nombreux éléments volumineux comme les transistors, résistances et condensateurs peuvent être intégrés dans un compact boîtier en plastique noir équipé de plusieurs pins. On peut programmer ce microcontrôleur en utilisant le langage C [50], voir Figure II.8.



**Figure II.8 :** Le microcontrôleur ATmega328 [51].

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 [50], illustré à la Figure II.9.

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

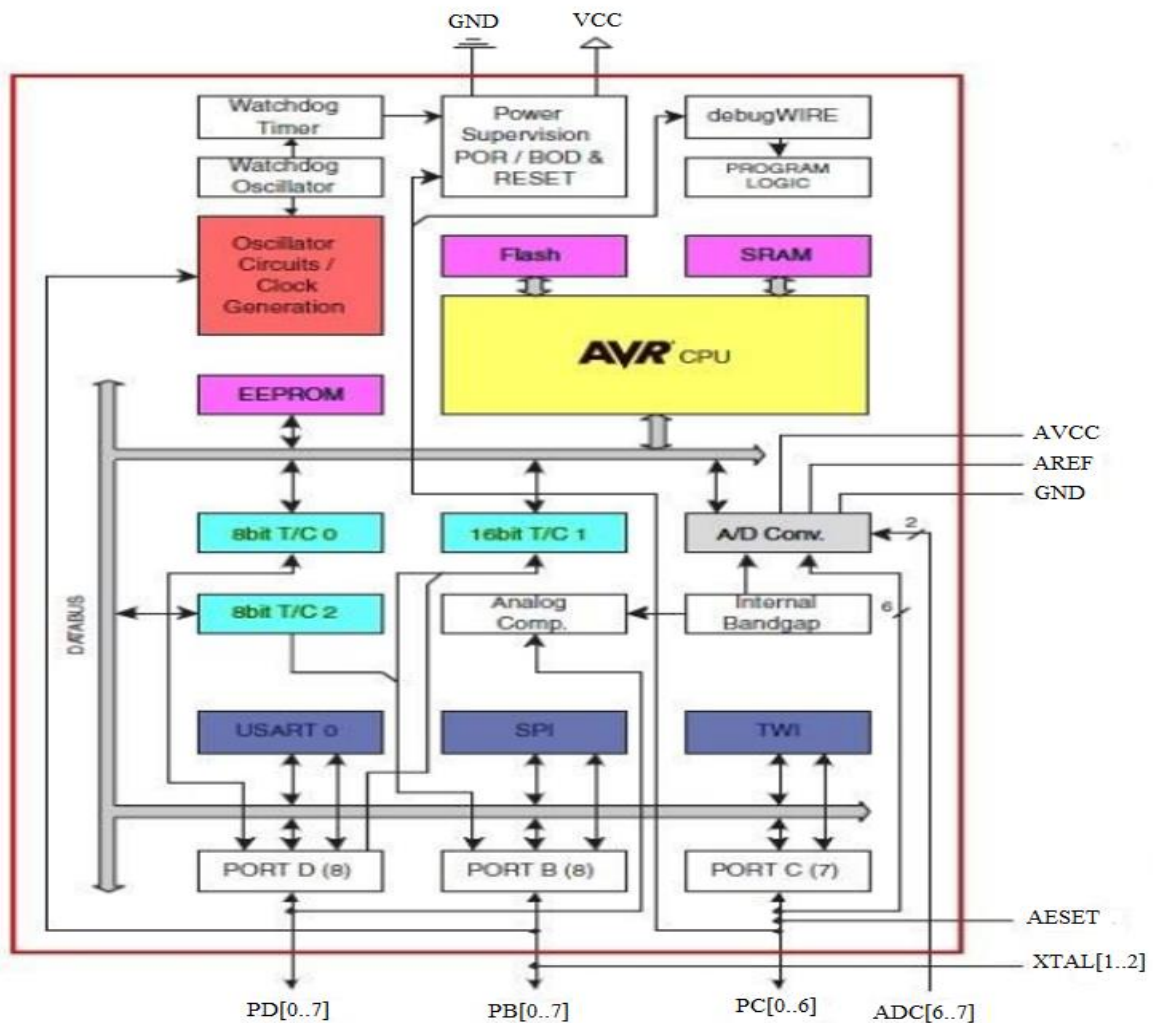


Figure II.9 : L'architecture interne de Microcontrôleur ATmega328[52].

## II.4 Capteur numérique DS18B20

Nous avons étudié la fiche technique (datasheet) du capteur de température numérique DS18B20 afin d'examiner ses spécifications et acquérir les renseignements essentiels pour son utilisation.

### II.4.1 Description

Le capteur de température numérique DS18B20 permet des lectures configurables de 9 à 12 bits, représentant la température détectée par l'appareil. Le DS18B20 et d'autres appareils échangent des données grâce à une interface **One-Wire**, ce qui requiert uniquement un fil de données à la masse (GND) pour établir une connexion entre le microcontrôleur central et le DS18B20.

L'énergie nécessaire pour effectuer des lectures, des écritures et des conversions de température peut être directement fournie par la ligne de données, sans besoin d'une source d'alimentation externe. Chaque DS18B20 a un numéro de série distinct gravé dans le silicium,

permettant à plusieurs d'entre eux de coexister sur le même bus **One-Wire**. Cela rend l'installation de capteur de température à différents emplacements. Cette flexibilité est bénéfique dans des secteurs tels que les inspections environnementales (**HVAC**), le suivi des températures dans les édifices, équipements ou engins, de même que dans la supervision et la régulation des processus [53]. Cette configuration est illustrée à la Figure II.10.



**Figure II.10** : Capteur de température numérique DS18B20 et adaptateur compatible [54].

#### II.4.2 Fiche technique de capteur DS18B20

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques techniques du capteur DS18B20 :

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

Caractéristique	Description
Type de capteur	Numérique (1Wire)
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

### II.4.3 Schéma de Branchement DS18B20

Le DS18B20, un capteur de température numérique largement adopté, est extrêmement efficace pour effectuer des mesures de températures avec précision. Il est équipé de trois broches (ou pins) : voire la Figure II.11.

- La broche VDD (pour l'alimentation) qui reçoit une tension allant de 3 à 5,5V.
- La broche Data est utilisée pour transmettre des informations de température à un microcontrôleur en utilisant le protocole 1-Wire.
- La broche GND (ground) est reliée à la broche GND de l'Arduino

Pour garantir une communication efficace, on place couramment une résistance de 4,7 k $\Omega$  entre le pin Data et VDD.

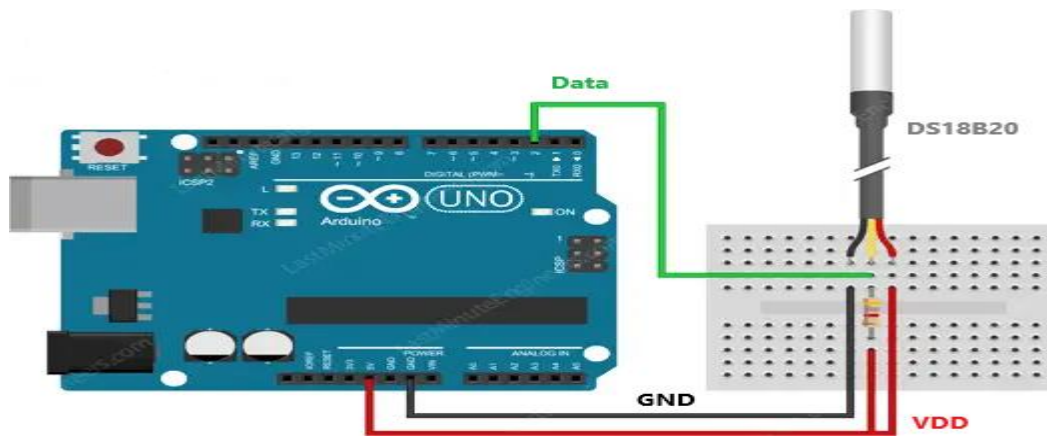


Figure II.11 : Schéma de branchement DS18B20 [53].

### II.4.4 Structure interne de DS18B20

Le DS18B20 comprend principalement une mémoire ROM de 64 bits contenant un identifiant unique, un tampon de mémoire accueillant les registres relatifs à la température, à la configuration et aux alarmes, et il intègre également un capteur de température. Il réalise la conversion directe de la température en valeurs numériques avec une résolution ajustable, allant de 9 à 12 bits. Cela est réalisé via le protocole 1-Wire, qui permet une communication et un approvisionnement en énergie simplifiés grâce à l'usage d'une seule ligne de données. Illustré à la Figure II.12.

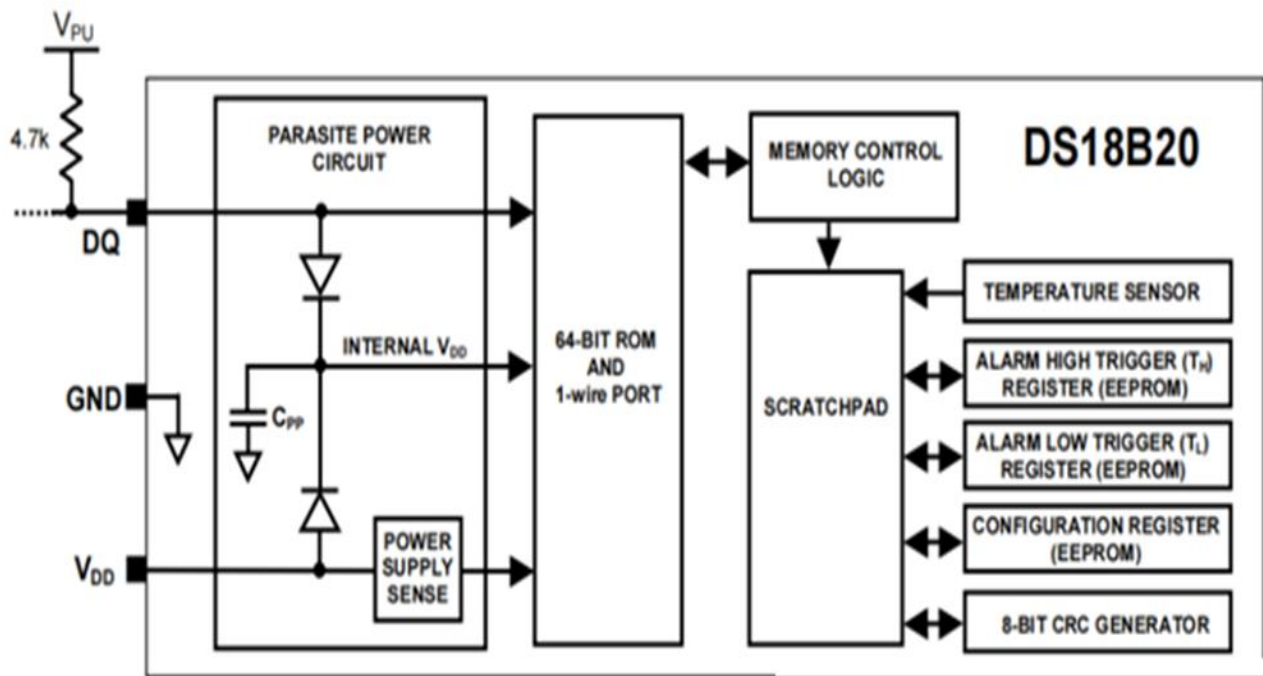


Figure II.12 : Structure interne de DS18B20 [53].

### II.4.5 Principe de fonctionnement

Le capteur DS18B20 utilise le protocole One-Wire pour communiquer avec une carte principale, ce qui permet la connexion de plusieurs capteurs en même temps sur le même réseau. Chaque capteur est équipé d'une adresse unique inscrite lors de sa production, assurant ainsi son caractère unique.

Un bus One-Wire est généralement constitué de trois fils : un fil pour la masse (GND), un fil pour l'alimentation (5 volts) et un fil dédié à la transmission de données. Pour assurer le fonctionnement de ce bus, il faut intégrer une résistance de tirage de 4,7 k $\Omega$  entre la broche d'alimentation et la broche de données [53].

## II.5 Afficheur LCD 20×4 + Adaptateur I2C

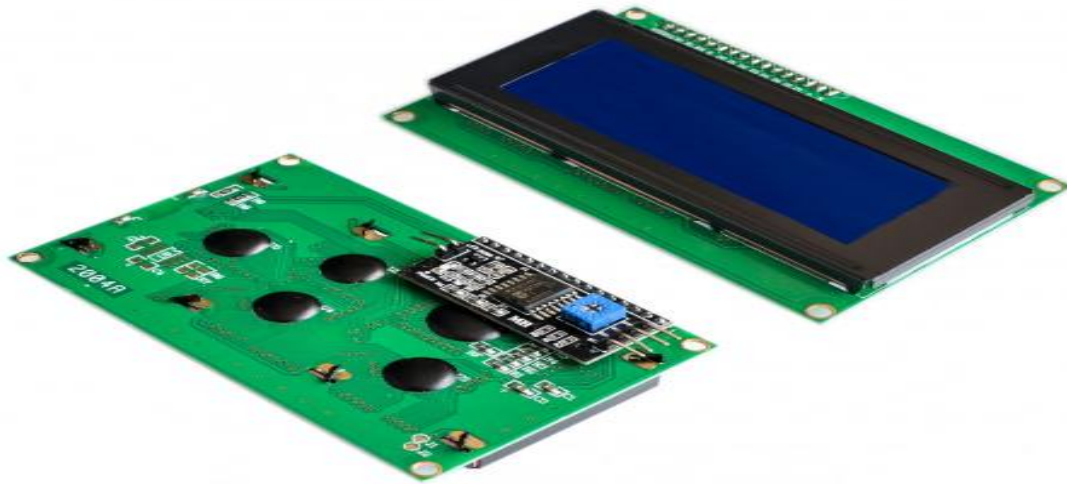
### II.5.1 Description

Le module d'affichage alphanumérique LCD 20x4 équipé d'un adaptateur I2C a la capacité de présenter jusqu'à 20 caractères sur quatre lignes, ce qui représente un total de 80 caractères. Chaque caractère est affiché sur une matrice de 5x8 pixels, offrant une illustration précise des lettres, chiffres et symboles. On retrouve fréquemment ce genre d'écran dans les systèmes embarqués pour présenter des informations comme la température, l'heure ou encore des indications d'état.

L'intégration de l'adaptateur I2C (Inter-Integrated Circuit) facilite notablement la liaison entre l'écran et un microcontrôleur tel que l'Arduino. L'I2C, contrairement à une connexion parallèle classique qui nécessite 6 à 10 fils, permet de gérer l'écran avec seulement deux lignes : SDA (pour les données) et SCL (pour l'horloge), sans oublier les connexions d'alimentation (VCC et GND).

Cette amélioration de la simplicité réduit l'espace occupé par le câblage et libère des broches sur le microcontrôleur.

En général, l'adaptateur I2C repose sur le circuit PCF8574, qui joue le rôle d'un élargisseur de ports, convertissant les signaux I2C en instructions compatibles avec le contrôleur HD44780 de l'écran. En outre, un petit potentiomètre est généralement incorporé dans le module afin d'ajuster le contraste de l'affichage, accompagné d'un transistor pour activer ou désactiver le rétroéclairage [55], la Figure II.13 présente ce module.



**Figure II.13** : Afficheur LCD 20 X 04 + Adaptateur I2C « ALPHANUMERIC »[56].

## II.5.2 Branchement de l'écran LCD I2C

Le raccordement de l'afficheur LCD 20x4 avec module I2C à une carte Arduino Uno est à la fois facile et rapide. L'adaptateur I2C ne nécessite que quatre (4) fils : deux pour l'alimentation (VCC et GND), et deux pour la communication I2C (SDA et SCL). Sur l'Arduino Uno, la broche SDA correspond à A4 et la broche SCL à A5. Ce type de connexion permet de libérer les broches numériques et simplifie considérablement le câblage du projet.

**Tableau II.4** : Branchement simplifié de l'écran LCD I2C à l'Arduino UNO

Broche LCD I2C	Broche Arduino UNO
GND	GND
VCC	5V
SDA	A4
SCL	A5

L'écran LCD 20x4 avec adaptateur I2C constitue un composant pratique, économique et largement répandu dans les projets électroniques. Sa capacité à afficher jusqu'à 80 caractères et son interface I2C en font un outil fiable pour assurer une communication efficace tout en réduisant le câblage et en préservant les broches disponibles sur le microcontrôleur. De plus, Il est facile à programmer grâce à des bibliothèques Arduino telles que LiquidCrystal\_I2C, ce qui en fait une solution idéale pour l'affichage de messages, de mesures ou de menus dans les

systèmes embarqués. C'est un instrument essentiel pour tout passionner de prototypage ou de domotique [57].

## II.6 Le module Relais

Le relais est un élément crucial dans les systèmes électriques et électroniques, assumant une fonction clé dans le contrôle à distance de circuits. Un relais est généralement décrit comme un dispositif électromécanique qui opère à la manière d'un interrupteur contrôlé électroniquement. Il offre la possibilité de gérer un circuit à haute tension ou fort courant via un signal électrique de moindre puissance, tout en garantissant une séparation entre le dispositif de commande et la charge.

Quand un courant passe à travers la bobine du relais, celle-ci produit un champ magnétique qui attire une armature mobile et entraîne la bascule des contacts. Il existe deux sortes de contacts :

NO (Normally Open), qui signifie qu'ils sont normalement ouverts le circuit se ferme uniquement lors de l'activation du relais, et NC (Normally Closed), qui signifie qu'ils sont normalement fermés le circuit s'ouvre lors de l'activation du relais. Cette configuration offre une grande souplesse dans les modèles de commande, voir Figure II.13.



Figure II.14 : Module relais [58].

### II.6.1 Branchement d'un module relais

Le tableau suivant présente les connexions nécessaires entre le module relais et la carte Arduino Uno :

Élément	Connecté a
COM Relais	Phase secteur 220V
NO Relais	Système de chauffage
VCC Relais	5V Arduino
GND Relais	GND Arduino
IN Relais	Broche D11 Arduino

Tableau II.5 : Branchement électrique du module relais

## II.6.2 Constitution d'un module relais

- **Résistance** : pour contrôler le courant entrant dans la base des transistors.
- **Transistor** : Chaque broche de commande est connectée à un transistor, qui agit comme un interrupteur pour contrôler la bobine du relais.
- **Diodes** : Les diodes servent à protéger le circuit des pics de tension et de la force électromotrice (FEM) générées par les bobines du relais lorsqu'elles sont éteintes. Ces diodes, appelées diodes flyback, préviennent les dommages aux autres composants et assurent un fonctionnement fluide [59].

## II.6.3 Fonctionnement d'un module relais

Un relais est un appareil électromécanique qui permet de contrôler un circuit électrique à haute puissance en utilisant un signal de faible intensité. Il est habituellement constitué d'une bobine, d'un contact mobile (interrupteur) et, dans certains cas, d'un optocoupleur pour l'isolation entre les différents circuits. Lorsqu'on alimente la bobine, elle produit un champ magnétique qui attire un élément mobile, entraînant ainsi l'ouverture ou la fermeture du circuit de sortie. Cela permet la gestion d'appareils opérant à haute tension (230 V par exemple), via un système de commande à basse tension, tel qu'un microcontrôleur (Arduino). Le relais joue donc le rôle d'un interrupteur automatique, assurant également une séparation galvanique entre les deux circuits, ce qui le rend particulièrement sûr pour les applications domestiques ou industrielles [59].

## II.7 Buzzer (Sondeur)

Un buzzer est un dispositif électromécanique, électronique ou piézoélectrique qui émet un son, généralement sous forme de signal sonore d'alerte ou d'indication. Il est souvent utilisé dans les appareils électroniques pour signaler une action, une erreur, une alerte ou une fin de processus [60], voir les Figure II.15 et Figure II.16 .



Figure II.15: Buzzer [60]

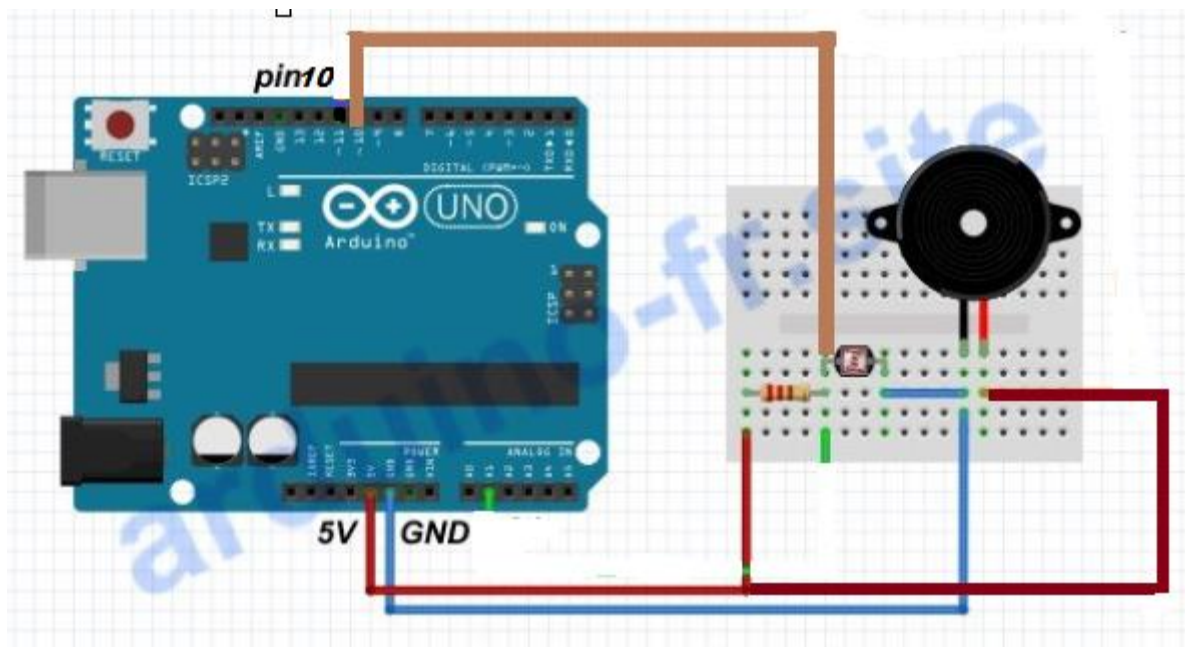


Figure II.16 : Branchement du Buzzer

### II.7.1 Caractéristiques [60]

- La broche la plus longue est la broche positive
- Tension nominale : 5 V
- Tension de fonctionnement : 4~8 V
- Courant nominal maximal :  $\leq 32$  mA
- Niveau sonore minimal à 10 cm : 85 dB
- Fréquence de résonance :  $2300 \pm 300$  Hz
- Température de fonctionnement :  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $45^{\circ}\text{C}$

### II.8 Ventilateur

Un ventilateur de 5V est un dispositif de refroidissement électrique qui fonctionne à une tension de 5 volts. Il est souvent utilisé dans les projets électroniques pour refroidir des appareils ou des systèmes qui produisent de la chaleur. Il contribue à réguler la température et l'humidité en assurant l'acheminement d'un flux d'air frais vers l'intérieur et l'évacuation de l'air chaud vers l'extérieur, ce qui améliore la circulation d'air [61], illustré dans la Figure II.17.



**Figure II.17** : Un ventilateur 5V [61].

### II.8.1 Caractéristiques

- Tension de fonctionnement : 5V
- Dimensions : 25 x 25 x 7mm
- Poids : 6 g
- Visserie : Vis M3
- Fixation : Ecrou
- Application principale : Refroidissement

Dans notre réalisation nous avons intégré deux ventilateurs 5V le premier s'active automatiquement lorsque la température dépasse 37.5°C à 40 °C pour commencer à refroidir le milieu le deuxième s'active quand la température dépasse ou est égale à 40 °C afin d'intensifier le refroidissement. Le premier ventilateur reste actif lorsque le second est déclenché, ce qui permet d'assurer une meilleure régulation thermique progressive.

### II.9 Les fils de connexion

Pour effectuer des montages électroniques temporaires sur des plaques d'essai, souvent appelées Bradford, l'utilisation de jumpers ou de fils de connexion est essentielle. Ils permettent l'établissement de connexions rapides et modulables entre différents composants électroniques, sans nécessiter de soudure. Il en existe principalement trois types :

- Les fils mâle-mâle, utilisés pour connecter deux points d'une Breadboard ou une Breadboard à une carte de développement.
- Les fils femelle-femelle : destinés à relier des broches mâles de modules entre eux.
- Les fils mâle-femelle, qui facilitent la connexion entre une carte et un capteur ou module disposant d'une interface complémentaire.

Ces fils sont généralement disponibles sous forme de nappes multicolores, permettant une identification facile et un câblage ordonné. Leur souplesse et leur standardisation en font des outils indispensables pour le prototypage rapide et l'expérimentation en électronique [62], montré à la Figure II.17.



**Figure II.18 :** Les fils de connexion [62].

## II.10 Breadboard

Une breadboard, aussi connue sous le nom de plaque de prototypage, est un instrument utilisé en électronique qui facilite l'élaboration temporaire de circuits sans avoir besoin de souder les composants. Elle est composée de séries de petites perforations conductrices où sont disposés les fils et les composants électroniques (résistances, transistors, diodes, LED, etc.).

Des jonctions métalliques internes établissent des liens entre plusieurs orifices, favorisant ainsi la liaison électrique des composants. Les rails de distribution, aussi connus sous le nom de lignes extérieures, ont pour fonction de transmettre le courant (positif et négatif), tandis que les rangées centrales sont utilisées pour établir des connexions entre les divers composants.

La breadboard est un outil précieux pour expérimenter des circuits, concevoir des prototypes ou assimiler les notions de base de l'électronique, sans risque pour les composants [63], voir la Figure II.19.

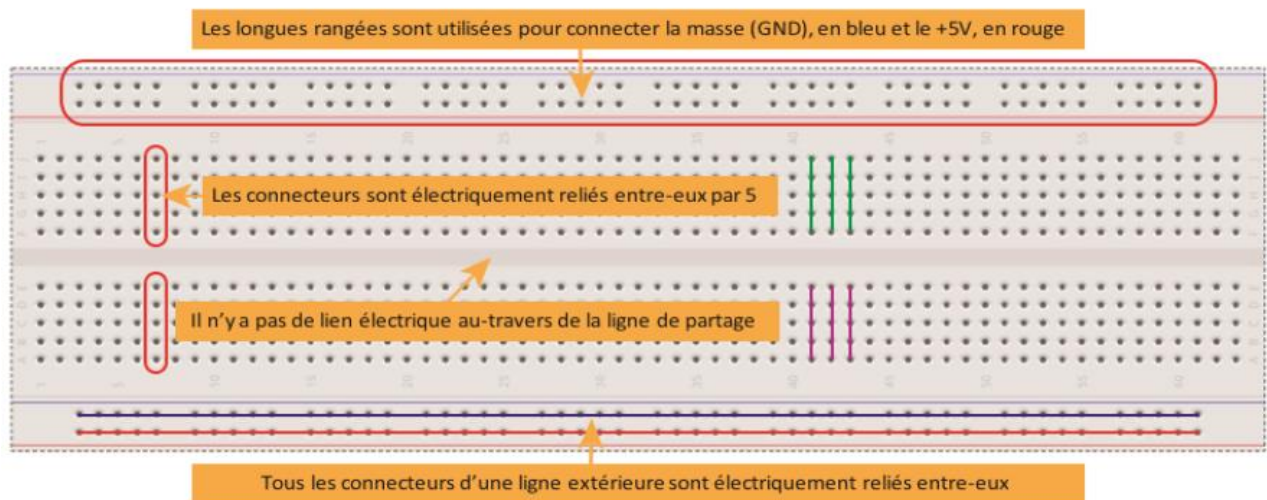


Figure II.19 : Plaque d'essai électronique (Breadboard) [63].

## II.11 L'élément chauffant

Un élément chauffant est un composant électrothermique destiné à convertir l'énergie électrique en chaleur. Il repose sur le passage du courant électrique à travers un matériaux résistif, ce qui provoque une élévation de température.

Pour les équipements médicaux tels que les tables chauffantes pour nouveau-nés, l'élément chauffant est essentiel, car il assure une température stable et sécurisée pour le bébé. On le retrouve généralement placé sous le matelas ou intégré dans la structure de la table. Le plus souvent, il s'agit d'un système de chauffage radiatif utilisant les infrarouges pour réchauffer le nouveau-né de manière non-invasive, comme illustré dans la Figure III.20.



Figure II.20 : Le chauffage radiatif avec matelas thermique [64].

Il existe deux principaux types de systèmes de chauffage radiant : les radiateurs en céramique et les radiateurs en quartz ou infrarouges.

Pour notre projet, nous avons opté pour un émetteur infrarouge en céramique comme source principale de chaleur. Cette décision est motivée par les avantages en matière de sécurité, de stabilité thermique et de bien-être pour le bébé. À la différence des chauffages à quartz, qui génèrent une chaleur infrarouge puissante et un échauffement rapide susceptible de causer des brûlures ou un dessèchement cutané, l'émetteur en céramique fournit une chaleur uniforme, modérée et sécurisée, même lors d'une utilisation prolongée. En outre, ce type de dispositif ne diffuse pas de lumière visible, prévenant ainsi toute perturbation visuelle pour le nourrisson.

### II.11.1 Emetteur infrarouge céramique

Le dispositif de chauffage électrique émetteur infrarouge en céramique sert à générer de la chaleur par le biais de rayonnement infrarouge. Il se compose essentiellement d'un composant chauffant résistif, isolé dans une structure céramique conçue pour résister à des températures élevées. Cet appareil émet de la chaleur douce et régulière sans émettre de lumière visible, ce qui le rend idéal pour les bébés, notamment pour une utilisation dans les tables chauffantes destinées aux nouveau-nés, voire la Figure III.21.



Figure II.21 : Émetteur infrarouge céramique [65]

#### Caractéristiques [66]

- longue durée de vie : 20 000 heures
- résistant aux projections d'eau et à la corrosion
- rayonnement uniforme
- Alimentation par 2 fils protégés par des perles céramiques, longueur 100 mm,
- Tension d'alimentation 230V mono
- Puissance : 800W
- Dimension 60x245mm

### II.11.2 principes de fonctionnement du chauffage infrarouge

Le chauffage infrarouge fonctionne selon le mécanisme du rayonnement thermique : lorsqu'un composant chauffant (tel qu'un filament ou une surface en céramique) est alimenté par un courant électrique, il s'échauffe et produit des ondes infrarouges. Ces ondes, bien que non observables à l'œil nu, transmettent de la chaleur de manière directe sans réchauffer l'air ambiant. Ces dispositifs procurent une chaleur directe aux nourrissons placés sur la table chauffante.

Plus précisément, le type de rayonnement infrarouge utilisé est l'infrarouge lointain (IR-L). Bien qu'il soit le moins transmissible dans la peau, il est en réalité le mieux absorbé par le sang et les cellules. Ceci est largement suffisant pour le chauffage, tout en évitant tous les problèmes de santé et de sécurité risqués, à la différence des autres formes d'infrarouge [67]

L'infrarouge lointain a la capacité de pénétrer jusqu'à 4 cm à l'intérieur du corps humain, provoquant un réchauffement interne qui favorise la dilatation des capillaires sanguins tout en préservant un flux circulatoire apaisé. Ce processus renforce le métabolisme, incite la résistance du corps (immunité) et facilite la guérison.

### **Caractéristiques et avantages**

- Le chauffage par infrarouge en céramique, contrairement au chauffage classique, consomme moins d'énergie .
- Les pertes énergétiques sont minimales, car il convertit jusqu'à 85% de la puissance en chaleur.
- La durée de chauffe est très courte .
- La céramique emmagasine la majorité de la chaleur produite par le courant, ce qui explique son efficacité et sa fiabilité. Elle assure une température constante car elle conserve la chaleur même après l'arrêt du cycle .
- C'est un système de chauffage silencieux et sans lumière, parfait pour le confort d'un nourrisson .
- La céramique est un matériau chauffant plus sûr, minimisant le risque d'incendie même s'il entre en contact avec un objet .
- Elle convient notamment à l'endroit humide (pas de risque de dégradation).

## **II.12 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté et justifié les principaux composants du système. Le choix d'un émetteur infrarouge céramique comme source de chaleur repose sur ses qualités de sécurité, de stabilité et de diffusion uniforme, adaptées aux besoins des nouveau-nés. La carte Arduino Uno a été retenue pour la régulation automatique du chauffage grâce à sa simplicité de programmation et à son coût abordable. Le capteur DS18B20 permet une mesure précise de la température, tandis que l'afficheur LCD 20x4 assure une visualisation en temps réel des paramètres du système. Enfin, l'intégration d'un système d'alerte et de ventilateurs de refroidissement complète la conception afin de garantir une régulation thermique fiable. Ainsi, ce prototype constitue une solution pratique et accessible visant à renforcer la sécurité et le confort des nouveau-nés en milieu hospitalier.

# **Chapitre III**

## Conception et réalisation de la table chauffante

### **III.1 Préambule**

Dans ce dernier chapitre, nous détaillerons les différentes étapes et la démarche de conception de notre prototype de table chauffante pour nourrissons. Ce dispositif a pour objectif de réguler efficacement la température des nouveau-nés.

Après avoir présenté les notions fondamentales relatives aux composants utilisés dans ce projet, tels que le capteur de température DS18B20, le système de chauffage (émetteur infrarouge en céramique) et la carte Arduino avec son environnement de développement, nous passerons à l'expérimentation pratique. Cela-ci comprendra la mise en place d'un système de gestion du chauffage par rayonnement comme première composante, suivi d'un module de contrôle et d'affichage basé sur Arduino.

Enfin, nous élaborons un cahier des charges ainsi qu'un organigramme opérationnel. Ces documents définiront les exigences du système et le processus à suivre pour atteindre les objectifs fixés.

### **III.2 Cahier de charges**

La table chauffante néonatale est un dispositif doté d'un mécanisme de régulation de la température, conçu pour fournir et maintenir des conditions cliniques optimales pour les nouveau-nés.

Dès que la table est mise en marche, l'état thermique du nourrisson est mesuré grâce au capteur numérique DS18B20. La valeur enregistrée est ensuite affichée sur un écran LCD alphanumérique 20\*4. En fonction de la température cutanée détectée par le capteur, la carte Arduino contrôle automatiquement l'activation du système de chauffage infrarouge en céramique : si la température est inférieure à la valeur de consigne, le chauffage s'enclenche automatiquement afin de rétablir des conditions thermiques adéquates.

### **III.3 Les étapes de notre réalisation**

Notre réalisation pratique s'est déroulée en six étapes principales :

#### **III.3.1 Conception du circuit électronique**

Cette étape est cruciale. Elle consiste à identifier les différents blocs fonctionnels constituant la maquette, en adéquation avec les objectifs définis. Les composants retenus doivent répondre aux spécifications requises tout en respectant les contraintes budgétaires.

#### **III.3.2 Programmation**

Nous avons conçu un organigramme décrivant le fonctionnement du système, ce qui a permis de définir clairement le cheminement des procédures d'exécution. Sur cette base, le programme a été développé à l'aide de l'environnement de développement intégré (IDE Arduino).

### III.3.3 Mise en œuvre virtuelle sur ISIS PROTEUS

À l'aide du logiciel ISIS PROTEUS, outil de développement et de simulation basé sur une interface graphique intuitive et interactive [1], nous avons simulé le circuit électronique. Cette démarche a permis de détecter d'éventuelles erreurs de conception et de corriger certains problèmes de connexion avant la mise en œuvre pratique.

### III.3.4 Réalisation de la maquette

Après avoir vérifié le fonctionnement des composants et du câblage sur une plaque d'essai (breadboard), nous avons procédé à la réalisation d'une maquette opérationnelle.

### III.3.5 Conception de la carte électronique

Après avoir terminé la construction de notre maquette et validé le fonctionnement correct de notre circuit, nous avons commencé à élaborer notre carte électronique.

### III.3.6 Fabrication de table chauffante

La structure de base de la table chauffante étant déjà disponible, nous avons conservé l'architecture principale tout en y apportant des modifications ciblées afin de l'adapter aux besoins spécifiques de notre système.

## III.4 Diagramme synoptique global

L'architecture générale de notre équipement est illustrée par le schéma synoptique présenté à la Figure III.1. Celui-ci offre une vue d'ensemble du fonctionnement du système. Il se compose de cinq segments fonctionnels majeurs, chacun ayant une fonction précise dans l'opération de l'appareil.

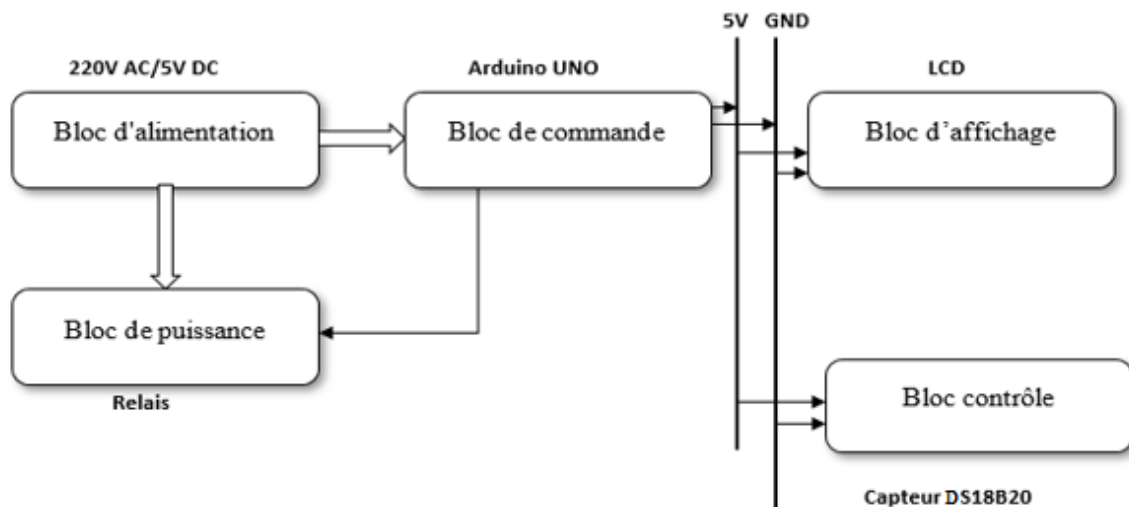


Figure III.1 : Diagramme synoptique global.

**a. Le bloc d'alimentation**

Il a pour rôle de fournir les tensions nécessaires au bon fonctionnement des différents éléments électroniques du système. Il convertit la tension d'entrée (généralement 220V AC) en tensions continues adaptées (5V ou 12V DC) à l'aide de régulateurs ou de modules d'alimentation.

**b. Le bloc de commande**

Il est constitué essentiellement du microcontrôleur Arduino UNO, qui centralise les données issues de capteur et prend des décisions en fonction du programme embarqué. Il assure également la transmission des signaux de commande vers les actionneurs

**c. Le bloc de puissance**

Il est chargé d'activer ou de désactiver les éléments à forte consommation énergétique, tels que les ventilateurs ou le système de chauffage. Il est généralement composé de relais, de transistors ou d'autres dispositifs capables de commuter des charges importantes sans affecter la carte de commande.

**d. Le bloc d'affichage**

Il permet la visualisation en temps réel des paramètres du système (par exemple la température) à l'aide d'un écran LCD 20\*4.

**e. Le bloc de contrôle**

Il reçoit les informations issues des capteurs, notamment le capteur de température DS18B20, puis les traite via le microcontrôleur. Sur la base de cette analyse, il pilote automatiquement les autres blocs afin d'assurer le maintien des conditions requises pour le fonctionnement du système.

**III.5 Conception du circuit électronique**

L'élaboration du circuit électronique est une phase cruciale pour la mise en œuvre de notre système. Elle implique de transformer les exigences fonctionnelles en un schéma électrique équilibré comprenant les divers composants essentiels. Cette étape comprend le choix optimal des composants (capteurs, microcontrôleurs, relais, etc.), leur calibrage, ainsi que la mise en place des liaisons logiques et matérielles entre ces derniers. Nous avons accordé une importance particulière à l'optimisation du routage, à la protection des composants fragiles, ainsi qu'à l'efficacité énergétique du circuit.

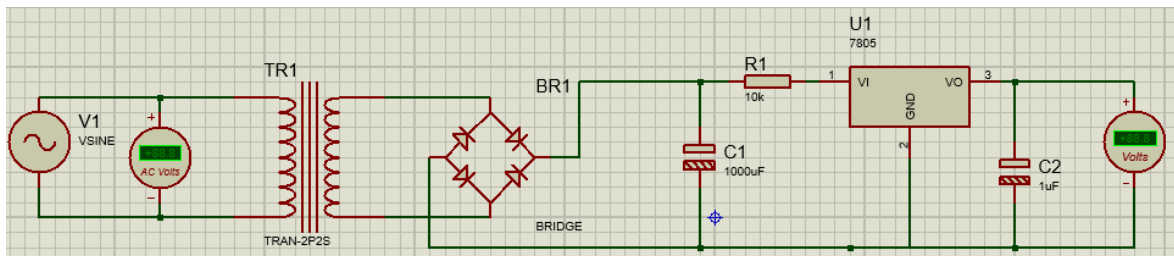
Nous avons simulé les différentes parties à l'aide du logiciel ISIS. Ce dernier nous a permis de schématiser notre circuit électronique et de le simuler virtuellement, comme le montre la figure III.2.



### III.5.1 Présentation structurée du circuit

- **Bloc d'alimentation**

Ce bloc d'alimentation est essentiel pour notre système, car il fournit à la fois une alimentation en courant alternatif de 220V pour le chauffage et une tension continue stabilisée de 5V destinée aux composants électroniques de contrôle, notamment la carte Arduino. Il est directement alimenté par le réseau électrique fourni par Sonelgaz, la société de distribution d'électricité. Le circuit se compose d'un transformateur abaisseur, qui réduit la tension secteur (220V) AC à une valeur plus faible de (12V) AC, suivi d'un pont de diodes permettant le redressement de la tension alternative en courant continu pulsé. Pour stabiliser la tension redressée, deux condensateurs de filtrage sont mis en place, en même temps une résistance de protection est installée pour contrôler le courant ou garantir une décharge sans risque. Enfin, un régulateur de tension assure une sortie de tension continue stabilisée à 5V, indispensable au fonctionnement optimal de la carte Arduino et des éléments logiques associés. Cette capacité à fournir deux niveaux de tension (220V et 5V) permet d'alimenter les différentes composantes du système de manière efficace et sécurisée, comme représenté dans la Figure III.3.



**Figure III.3:** Simulation du circuit d'alimentation sur ISIS Proteus

- **Bloc contrôle (bloc capteurs)**

Le bloc de contrôle joue un rôle essentiel dans l'acquisition des données nécessaires au fonctionnement du système, illustré dans la Figure III.4. Dans le cadre de notre projet, nous utilisons le capteur numérique DS18B20 pour mesurer la température cutanée, reconnu pour sa précision et sa facilité d'intégration. Ce capteur établit une connexion avec la carte Arduino au moyen d'une interface 1-Wire, facilitant l'envoi d'informations via une unique broche. Le montage, présenté dans la figure III.2, illustre le branchement du DS18B20 à l'Arduino UNO : la connexion VCC est faite au +5V, GND à la broche GND, et DQ (Data) est reliée à un port numérique de l'Arduino. De plus, une résistance de tirage (pull-up) de 4.7 k $\Omega$  est placée entre DQ et +5V pour garantir une communication stable. Ce capteur permet ainsi d'assurer une mesure continue et précise de la température, essentielle au bon fonctionnement du dispositif global.

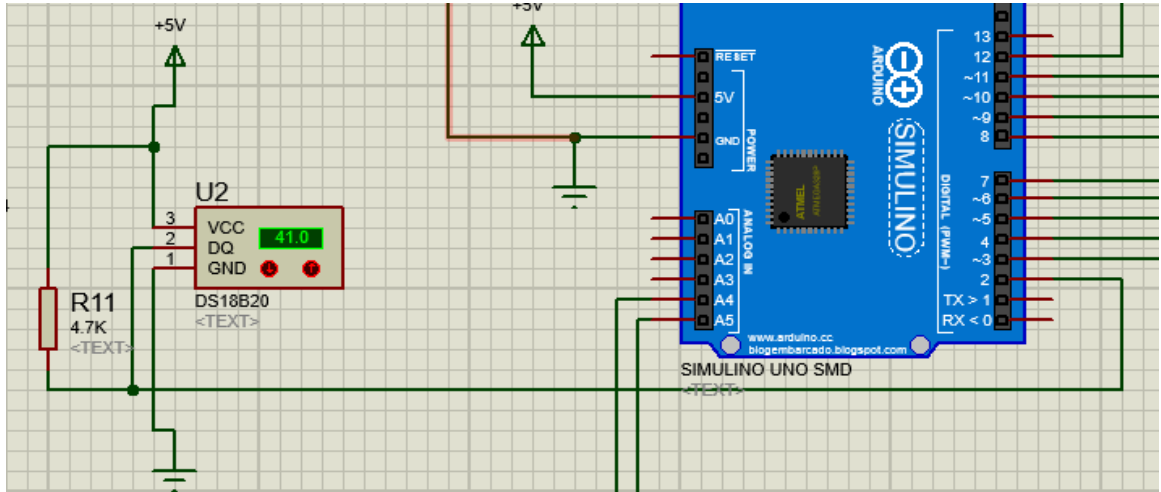


Figure III.4 : Capteur DS18B20 sur Proteus.

- **Bloc d'affichage**

Les résultats du bloc de contrôle « capteurs » sont présentés sur un affichage alphanumérique LCD comptant 4 lignes et 20 caractères par ligne, illustré dans figure III.5. Ce module dispose d'un adaptateur I2C qui simplifie grandement son fonctionnement. Plutôt que de relier les 8 lignes de données (DB0 à DB7) et les lignes de commande classiques (RS, R/W, E), l'adaptateur I2C facilite la transmission des données en utilisant seulement deux lignes : SDA (pour les données) et SCL (pour l'horloge). Cette disposition réduit le nombre de liaisons indispensables avec le microcontrôleur (Arduino UNO), tout en assurant une communication efficace au moyen du protocole I2C. Elle offre aussi la possibilité de libérer des broches pour d'autres modules, ce qui rend le montage plus compact et plus lisible.

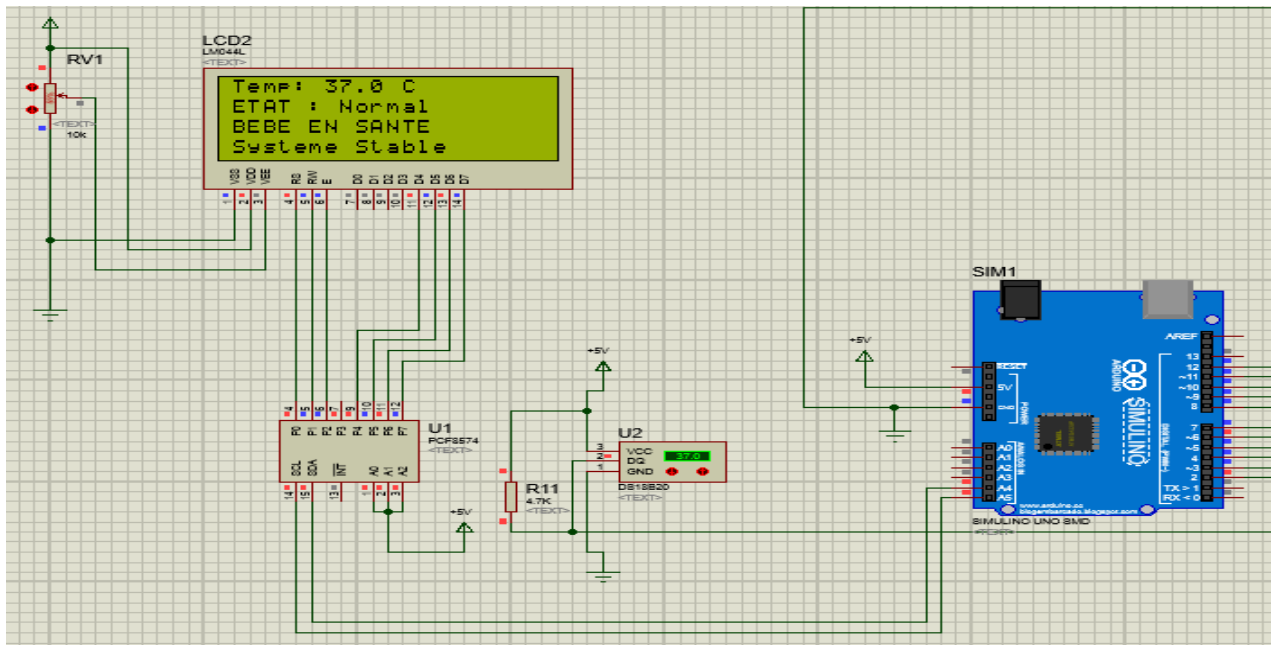


Figure III.5 : Afficheur LCD 20x4+adaptateur sur Proteus.

- **Bloc de puissance**

Comme précisé dans le chapitre II, l'Arduino est limité à la distribution de 3V et de 5V. Il est donc indispensable d'ajouter une alimentation pour l'Arduino et d'assurer sa protection contre les courts-circuits, afin de pouvoir alimenter l'émetteur infrarouge céramique chauffant de 800W fonctionnant sous 220V. L'alimentation principale sera fournie par Sonelgaz, et nous contrôlerons l'émetteur infrarouge céramique en utilisant une carte Arduino fonctionnant sous 5V.

La figure III.6 illustre le montage utilisé. Le composant L1 représente l'émetteur infrarouge céramique. Celui-ci est commandé à travers un relais (RL1) de 5V, activé par un transistor 2N2222A (Q3), qui joue le rôle d'interrupteur électronique. Pour protéger le transistor des surtensions induites lors de la commutation, une diode 1N4007 (D5) est disposée en parallèle avec la bobine du relais.

Une LED bleue (D3) est branchée à la sortie numérique de l'Arduino via une résistance (R7), et elle s'allume pour signaler visuellement que le chauffage est en cours de fonctionnement.

Dans notre application, nous avons employé un relais à un seul canal pour contrôler un système de chauffage. Le relais permet de gérer l'alimentation électrique du système de chauffage à partir d'une carte Arduino UNO. La phase du secteur 220V est reliée à la borne COM du relais, alors que la sortie vers le système de chauffage s'effectue par la borne NO. Le neutre à 220V est connecté directement aux systèmes de chauffage. Le relais, dont la partie de commande est reliée à l'Arduino, reçoit un signal pour l'enclencher ou le déclencher en fonction de la température détectée.

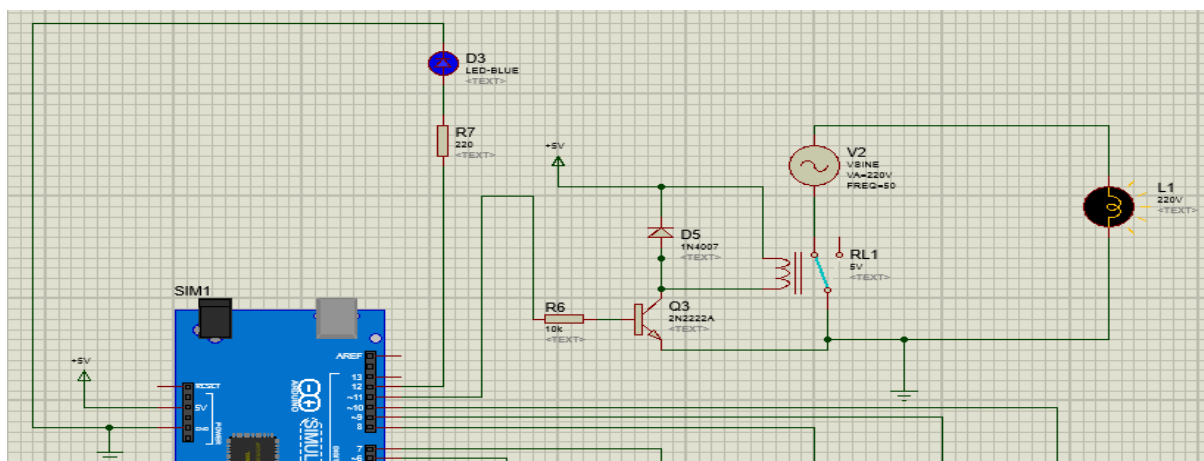


Figure III.6: Circuit de puissance.

- **Bloc de signalisation**

Notre appareil est équipé d'un panneau d'indication visuelle comprenant cinq LED de couleurs différentes (verte, jaune, rouge, blanche et bleue), qui illustrent de façon claire la température du nouveau-né. La LED verte s'allume lorsque la température cutanée se situe entre 36.5 °C et 37.5 °C, ce qui indique une température normale et donc un état de santé

stable du bébé. Lorsque la température se situe entre 36.0 °C et 36.4 °C, la LED jaune s'allume pour indiquer une hypothermie légère. Si la température descend entre 32.0 °C et 35.9 °C, une LED rouge s'allume et une alarme sonore se déclenche pour signaler une hypothermie modérée, qui exige une intervention immédiate. En cas de température inférieure à 32.0 °C, toujours avec la LED rouge et l'alarme sonore, cela indique une hypothermie sévère, considérée comme une situation d'urgence médicale. À l'inverse, si la température dépasse 37.5°C sans atteindre 40°C, la LED rouge et l'alarme se déclenchent également pour signaler une température trop élevée. Enfin, lorsque la température excède 40 °C, la LED blanche s'allume, toujours accompagnée de l'alarme, pour indiquer une situation de fièvre sévère. Par ailleurs, la LED bleue s'allume en même temps que le système de chauffage est activé, ce qui permet d'indiquer visuellement son fonctionnement.

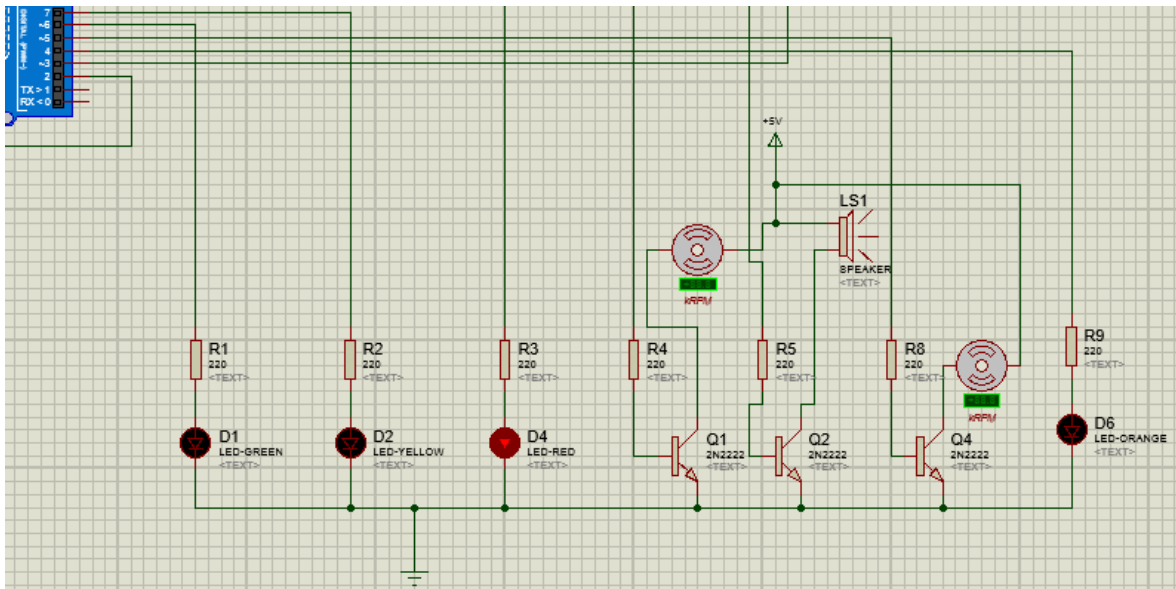


Figure III.7: Circuit de signalisation

### III.6 Organigramme de fonctionnement

L'organigramme de fonctionnement du dispositif est représenté dans la figure suivante.

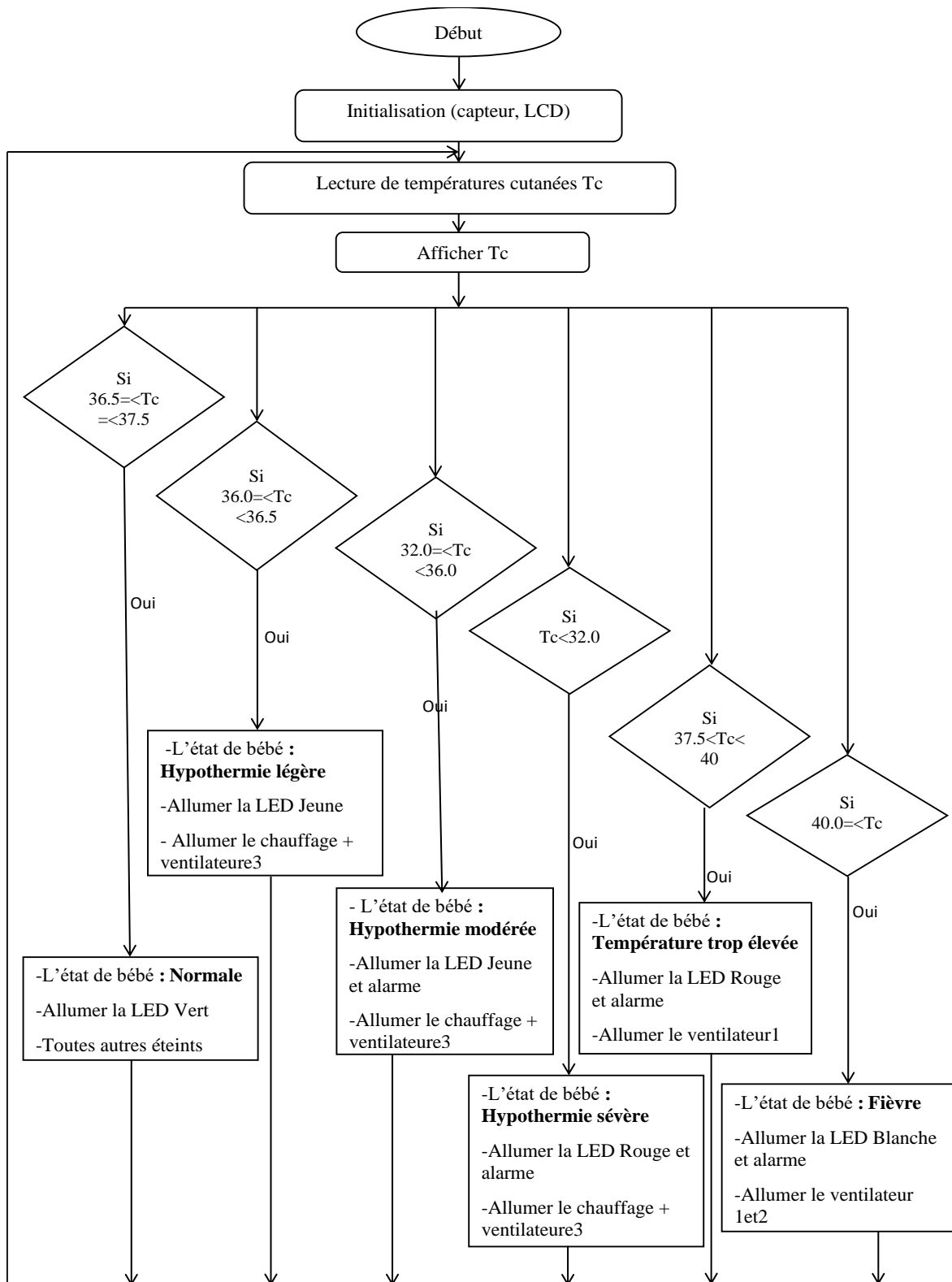


Figure III.8 : Organigramme de fonctionnement.

## III.7 Réalisation du circuit électrique

Dans cette partie, nous commencerons à réaliser notre circuit.

### III.7.1 Teste sur Breadboard

Avant la réalisation finale du système sur une carte de circuit imprimé, tous les composants ont été vérifiés sur une plaque d'essai (Breadboard) afin d'assurer le bon fonctionnement de l'assemblage, comme présenté à la figure III.9. L'unité centrale de commande était le microcontrôleur Arduino UNO, relié au capteur de température DS18B20 pour effectuer la mesure de la température cutanée. Les données mesurées étaient affichées en temps réel sur un écran LCD 20x4 via une interface I2C, facilitant leur visualisation. En fonction de la température détectée, le système activait ou désactivait automatiquement le relais qui contrôle le dispositif de chauffage simulé. Les LED de signalisation ont aussi été ajoutées pour montrer l'état du système (température normale, alerte, etc.). Cette étape d'essai sur Breadboard a permis de vérifier les connexions, le fonctionnement logique du programme ainsi que la réaction des différents composants du montage, tout en offrant la flexibilité nécessaire pour corriger d'éventuelles erreurs avant l'assemblage définitif.

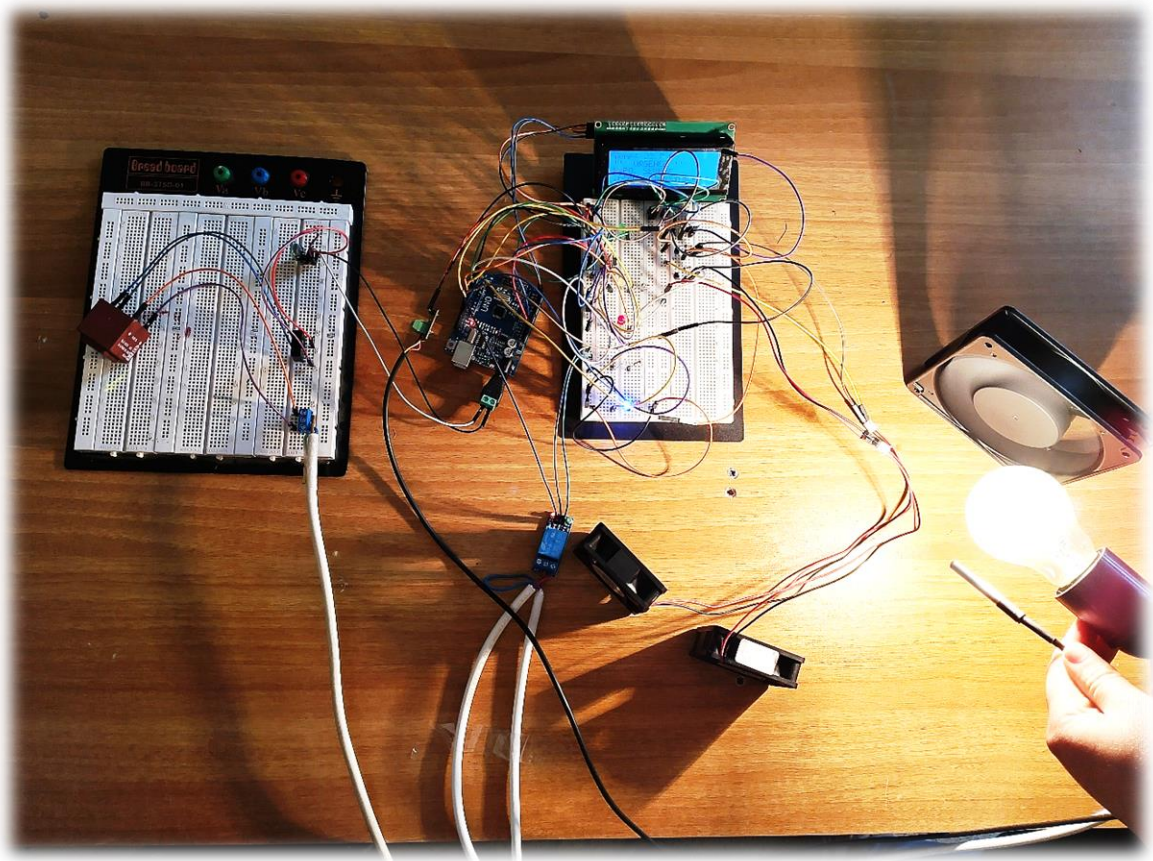


Figure III.9 : Montage de circuit sur Breadboard.

### III.7.2 Réalisation de la carte électronique

La conception du circuit imprimé (PCB) s'est faite à l'aide du logiciel Proteus, qui propose une interface complète pour la simulation et la conception en électronique. Une fois la simulation et la validation du schéma effectuée sur ISIS, nous avons passé vers l'environnement ARES de ce même logiciel, qui est spécialisé dans la conception de circuits imprimés.

La première étape a consisté à associer à chaque composant utilisé dans le schéma une empreinte physique (package) adaptée pour la pose sur le circuit imprimé. Après avoir correctement configuré tous les éléments, le transfert du schéma ISIS vers ARES a été réalisé automatiquement grâce à la fonction « Transférer vers ARES », ce qui génère la disposition initiale des composants dans l'espace de travail du PCB.

Par la suite, nous avons organisé manuellement les éléments sur la carte, en suivant les règles de disposition : séparation des pistes à haute tension, réduction des longueurs de connexions essentielles (comme celles du capteur de température), et accessibilité des connecteurs externes (comme le relais ou l'afficheur LCD).

L'étape suivante consistait à effectuer le routage des pistes, en utilisant une approche mixte qui combine le mode automatique pour les zones simples et le mode manuel pour les parties compliquées. Une attention spéciale a été accordée à la dimension des pistes, en particulier celles qui transmettent des courants plus importants (relais, chauffage), comme le montrent les figures III.10 et III.11.

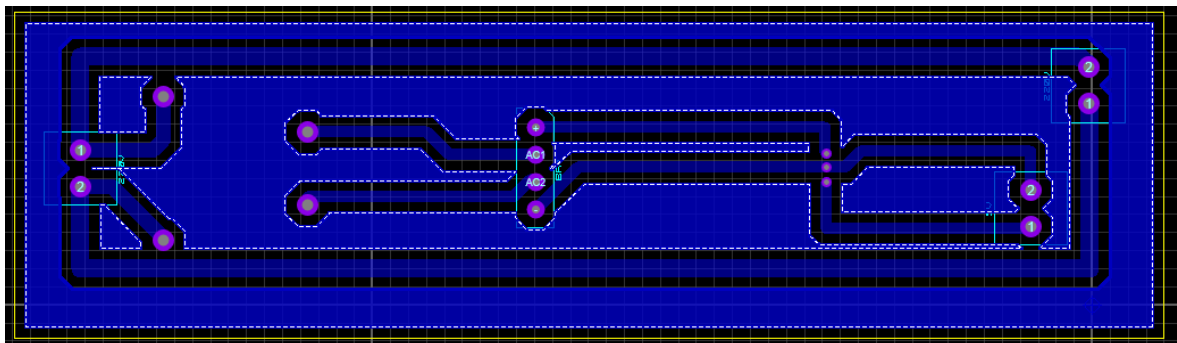


Figure III.10 : Circuit imprimé de carte d'alimentation sur ARES.

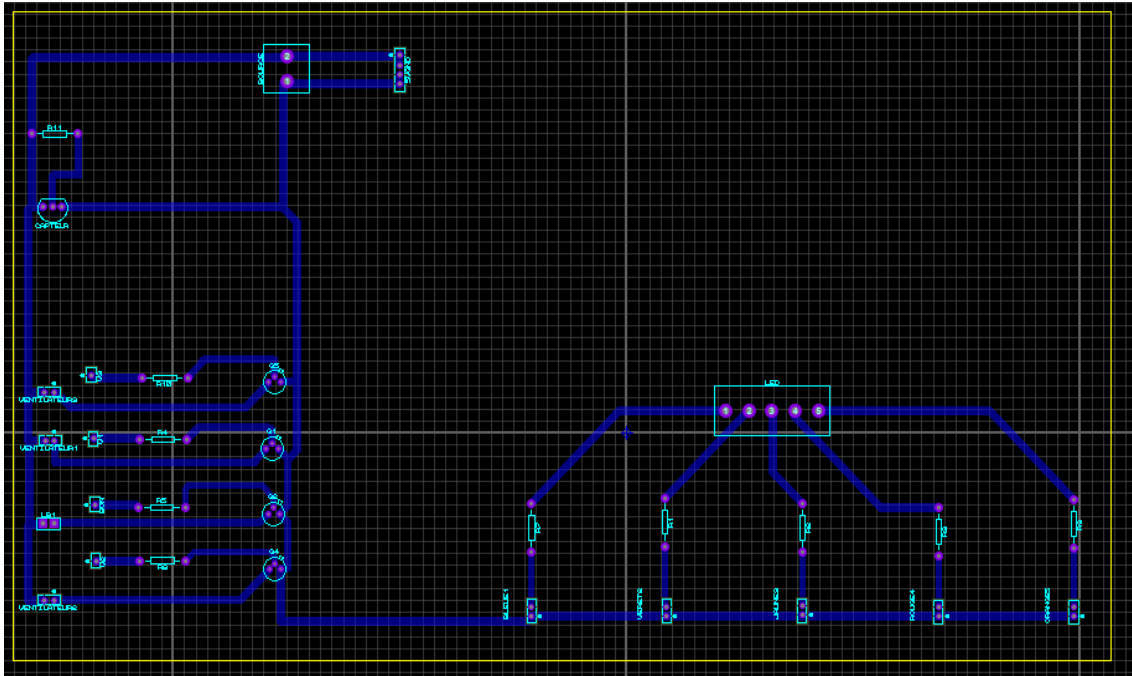


Figure III.11 : Circuit imprimé sur ARES.

Il est aussi possible d'observer la représentation en 3D de notre circuit imprimé sur ARES, ce qui facilite la vérification de la position des composants ainsi que la bonne disposition des pistes, comme le montrent les Figures III.12 et III.13.

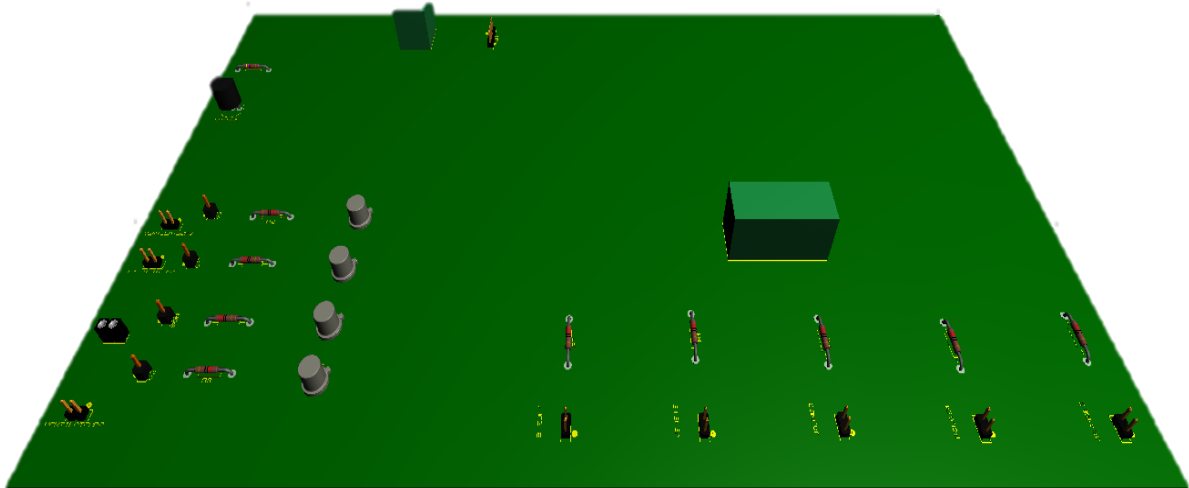
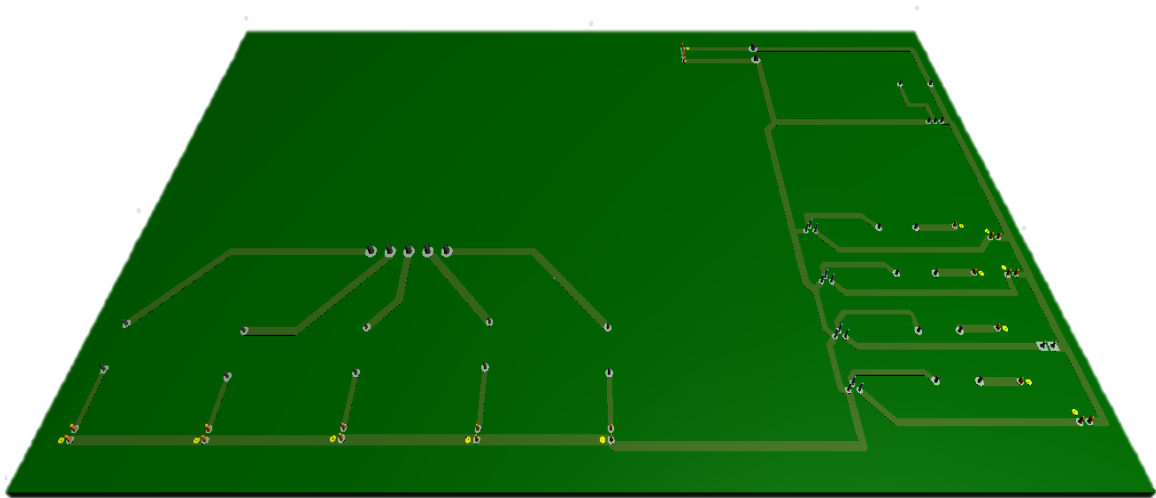
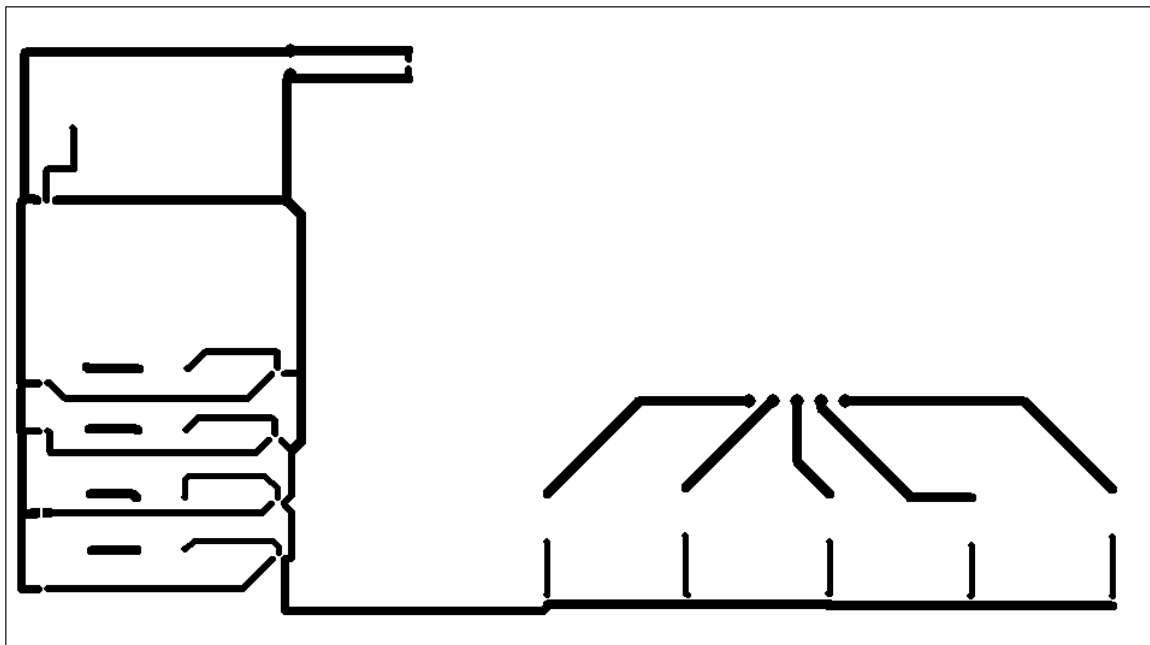


Figure III.12 : Carte électronique 3D avec les composants.

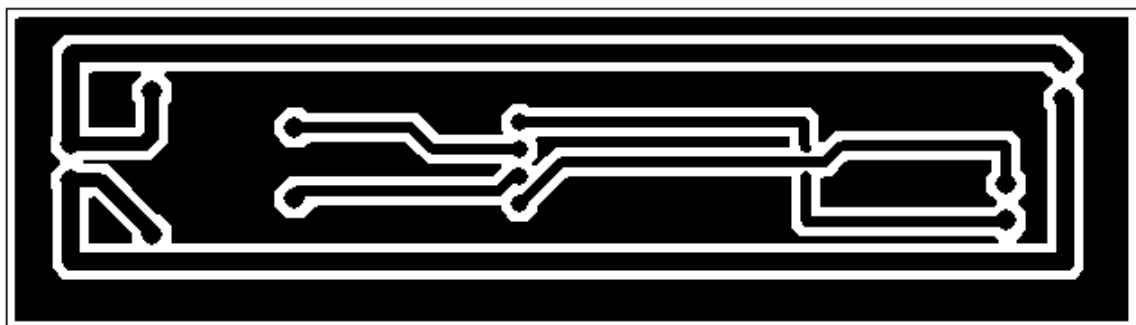


**Figure III.13 :** Démonstration des pistes sur la carte.

Après avoir terminé et confirmé correctement la disposition des composants ainsi que l'ensemble des tracées sur ARES, nous avons exporté notre schéma en PDF afin de l'imprimer sur papier photo, comme le montrent les Figures III.14 et III.15.



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



**Figure 15 :** Circuit de réalisation de carte d'alimentation sous format PDF.

Par la suite, nous avons utilisé un fer à repasser pour transférer le motif du circuit imprimé sur une plaque cuivrée, comme illustré dans la Figure III.16. La chaleur permet de fixer les pistes du circuit sur le cuivre, assurant ainsi leur adhérence avant de passer à l'étape de gravure.



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

Ensuite, une fois le repassage terminé et les pistes bien fixées à la plaque de cuivre, nous plaçons la plaque dans l'acide jusqu'à ce que tout le cuivre soit retiré, sauf les pistes, afin d'obtenir un tracé correct et de poursuivre la procédure, comme illustré dans la Figure III.17.



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

Une fois que la conception du circuit électronique est terminée et que le circuit imprimé sur la carte en cuivre a été réalisé, l'étape suivante est le perçage de la carte. Nous utilisons une perceuse dotée d'un foret très fine pour réaliser les trous aux endroits correspondant aux broches des composants électroniques. Il est crucial d'effectuer cette tâche avec précision pour garantir une configuration correcte des éléments. Après avoir terminé le perçage, nous exécutons le montage et la soudure des éléments sur le côté opposé à celui des pistes. Le fer à souder est utilisé pour fixer chaque composant en assurant une connexion électrique fiable avec les pistes en cuivre. Nous attachons une grande importance à la qualité des soudures pour prévenir les faux contacts, les ponts de soudure ou les courts-circuits qui pourraient perturber le bon fonctionnement du circuit, comme indiqué dans les Figures III.18 et III. 19.



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

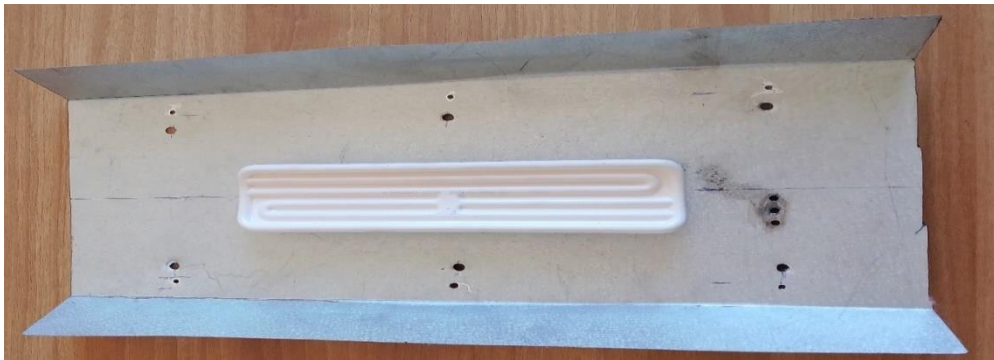


**Figure III.19 :** Soudage des composants sur la carte électronique

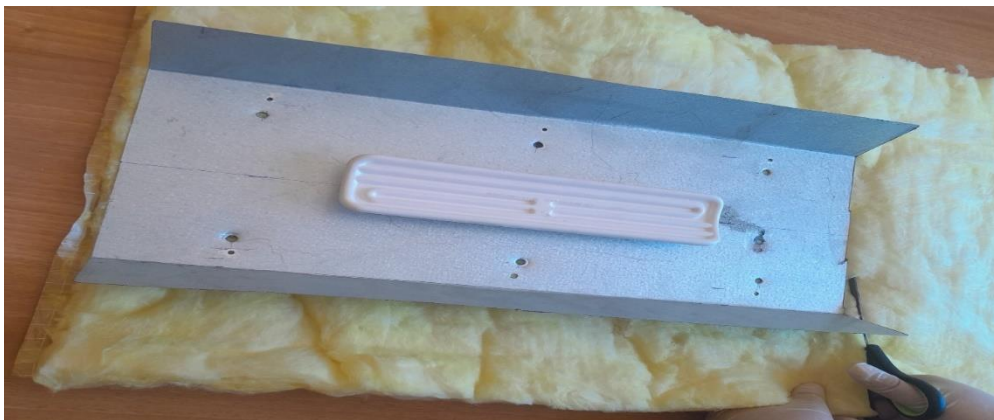
### III.8 Réalisation de la table

#### III.8.1 Le système de chauffage

Dans le cadre de la réalisation du système de chauffage de notre table chauffante, nous avons utilisé une plaque métallique à double face pour installer l'émetteur infrarouge en céramique. L'installation de l'émetteur, fixée fermement pour garantir une dissipation thermique efficace, a été effectuée sur la face interne de la plaque. Une fois que l'émetteur a été positionné, nous avons recouvert l'ensemble de la plaque avec une couche de laine de verre, un isolant thermique efficace, afin de minimiser les pertes de chaleur et de garantir la protection des composants associés. Pour parfaire l'isolation et optimiser la protection thermique, nous avons ensuite enveloppé l'ensemble de la structure avec une feuille d'aluminium. Cette dernière étape facilite non seulement la distribution de la chaleur sur la zone visée, mais assure également une protection renforcée contre les risques de brûlure ou d'incendie, comme illustré dans les Figures III.20 à III.22.



**Figure III.20** : Face avant de la plaque métallique avec l'émetteur infrarouge en céramique fixé.



**Figure III.21** : Pose de la laine de verre sur la face arrière de la plaque.



**Figure III.22 :** Assemblage final du module de chauffage avec sa couche isolante et sa protection thermique

Avant d'installer la plaque chauffante finale pour le blindage du système de chauffage, nous avons ajouté un ventilateur fonctionnant sous une tension de 220V. Ce ventilateur a été positionné de manière optimale afin d'assurer un refroidissement efficace de l'ensemble du cadre métallique. Son rôle principal est de prévenir toute surchauffe de la structure, notamment en évacuant l'excès de chaleur généré par l'émetteur infrarouge en céramique. Cette action préventive assure la sécurité du système, protège les composants sensibles et permet de conserver une température constante et contrôlée à l'intérieur du dispositif. Après l'installation de ce système de ventilation, nous avons procédé à l'insertion d'une plaque mince entièrement isolée (composée de laine de verre et recouverte d'une feuille d'aluminium), afin d'assurer à la fois une bonne efficacité thermique et une sécurité optimale

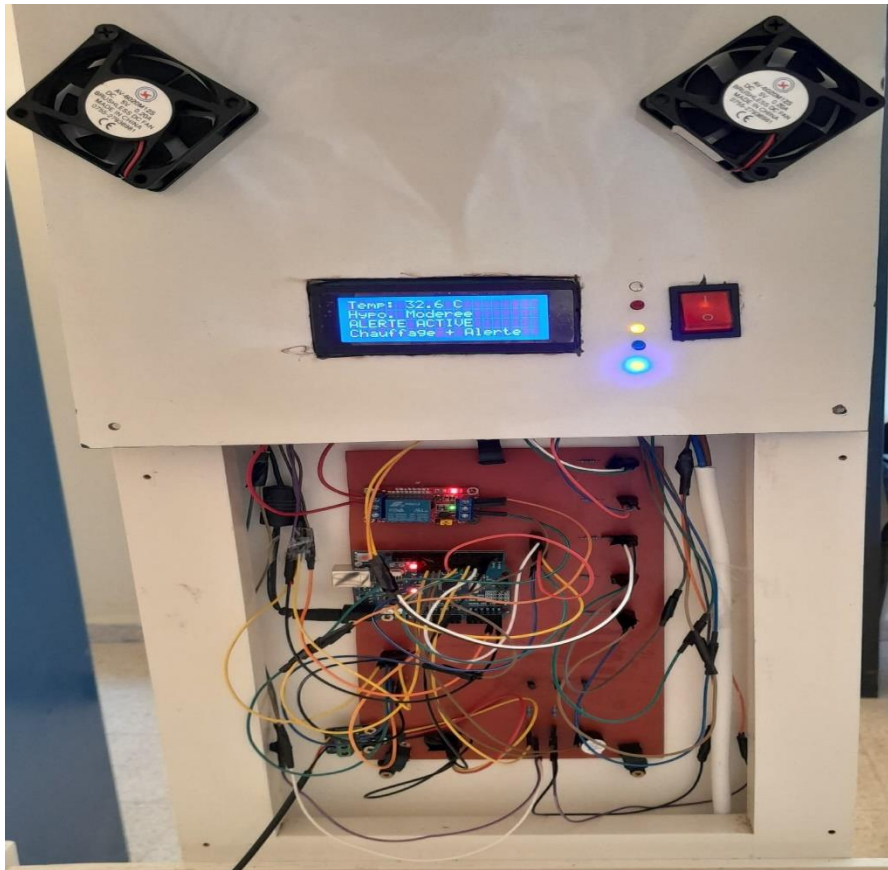


**Figure III.23 :** Vue du ventilateur installé, avant l'intégration de la plaque chauffante.

### III.8.2 Partie d'affichage, signalisation et placement de la carte mère

La section dédiée à l'affichage et à la signalisation est conçue pour fournir une supervision visuelle et performante du système. Elle intègre un écran LCD qui offre à l'utilisateur la possibilité de visualiser en temps réel les données clés. Cinq LED lumineuses sont aussi intégrées, chacune associée à une certaine température ou à un avertissement lors d'un risque, dans le but d'assurer une intervention rapide lors d'une situation critique. Tous ces

éléments visuels ont été disposés stratégiquement afin d'assurer une visibilité optimale. Afin d'éviter une surchauffe suite à l'arrêt du chauffage, deux ventilateurs de 5V sont incorporés pour disperser la chaleur et refroidir le système. Par ailleurs, la carte mère est correctement positionnée dans cette partie pour qu'elle soit solidement fixée tout en restant accessible, facilitant ainsi les interventions de maintenance ou de réparation en cas de panne.



**Figure III.24 :** Intégration de la carte mère avec les éléments visuels et de refroidissement

### III.8.3 Partie de l'emplacement de bébé

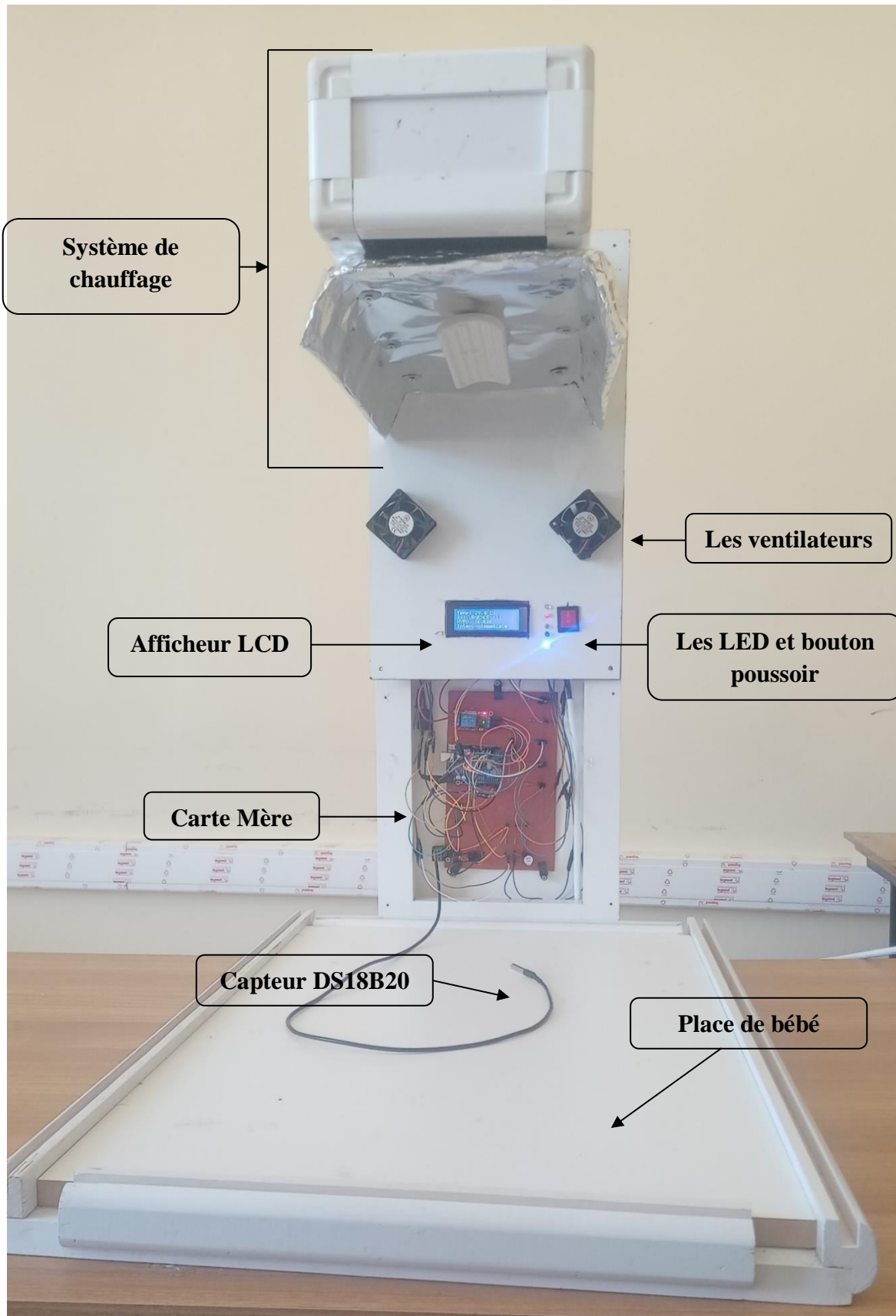
Cette partie ayant déjà été conçue, le choix du matériau a été orienté vers le MDF, une matière capable de supporter le poids du bébé ainsi qu'une petite quantité d'eau. Ce matériau assure une surface stable et sécurisée, adaptée à l'utilisation de la table chauffante.



**Figure III.25** : Partie de placement de nouveau-né.

#### **III.8.4 Assemblage général**

L'ensemble des modules fonctionnels : chauffage, affichage, commande, ventilation et zone de placement a été assemblé avec soin afin d'aboutir à un prototype opérationnel, compact et conforme aux exigences de sécurité et d'efficacité propres à une table chauffante néonatale. La Figure III.26 illustre l'assemblage final du dispositif, mettant en évidence l'intégration harmonieuse de tous les composants.



**Figure III.26 :** Assemblage général du prototype de la table chauffante destinée aux nouveau-nés.

## III.9 Résultats et discussion

### III.9.1 Résultats expérimentaux sur prototype

Afin de valider la conception et le bon fonctionnement de notre prototype, nous avons procédé à une série de tests expérimentaux. Ces essais avaient pour objectif principal d'évaluer la précision du capteur de température utilisé, ainsi que la capacité du système à maintenir une régulation thermique stable et adaptée aux conditions simulées. Le tableau III.1 présente la comparaison entre les températures réelles mesurées à l'aide d'un thermomètre de référence et celles relevées par le capteur DS18B20, en fonction du temps.

**Tableau III.1:** Résultats expérimentaux de comparaison entre thermomètre de référence et capteur DS18B20

Temps (min)	Température DS18B20 (°C)	Température réelle (°C)	Écart (°C)
0	30.6	30.8	0.2
1	32.2	32.1	0.1
2	32.4	32.4	0.0
3	32.5	32.6	0.1
4	32.6	33.3	0.7
5	32.7	32.8	0.1
6	33	33.1	0.1
7	33.2	33.5	0.3
8	34.2	34.1	0.1
9	34.9	35.5	0.6
10	35.4	35.9	0.5
11	35.7	36.1	0.4
12	35.9	36.2	0.3
13	36	36.3	0.3
14	36.5	36.4	0.1
15	37.9	37.5	0.4

L'écart entre les deux mesures reste globalement faible, entre **0.0 °C** et **0.7 °C**, ce qui est **tout à fait acceptable** pour des applications médicales où une précision de  $\pm 1$  °C est souvent considérée comme suffisante.

**NB :** Le thermomètre de référence est le dispositif utilisé pour mesurer la température corporelle du nouveau-né

Dans notre cas, nous avons utilisé les thermomètres Rossmax et SmartCare comme thermomètres de référence.

### **III.10 Conclusion**

Ce chapitre a permis d'assurer le passage de la phase de conception à la réalisation pratique de notre prototype de table chauffante pour bébés. Le développement a été mené avec rigueur afin de garantir une organisation logique et fonctionnelle des différents composants du système. La mise en œuvre a par la suite validé la viabilité du projet, à travers les étapes d'assemblage de la carte mère, de codage et d'intégration de l'ensemble des éléments.

L'étude s'est particulièrement focalisée sur le système de chauffage, élément central de l'appareil. Celui-ci a pour objectif de maintenir une température uniforme, stable et sécurisée, critère essentiel de bien-être des nourrissons. Des aspects complémentaires tels que le système d'affichage, les indicateurs lumineux, les ventilateurs de refroidissement et la conception de la surface où destinée au bébé ont également été pris en compte afin d'assurer à la fois une efficacité technique et une sécurité optimale. Ainsi, cette étape constitue une avancée majeure dans l'élaboration d'un système complet, fiable et adapté aux exigences du service néonatal.

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Ce projet a abordé l'élaboration et la mise en œuvre d'une table chauffante pour nouveau-nés, destinée à répondre aux critères de sécurité, de fiabilité et d'efficacité dans le domaine des soins néonataux. Le dispositif permet de maintenir la température corporelle du bébé aux alentours de  $37\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ , grâce à un émetteur infrarouge en céramique de 800 W, piloté automatiquement selon les données d'un capteur numérique DS18B20.

L'Arduino UNO assure le contrôle global du système, gérant à la fois l'affichage des informations sur un écran LCD 20x4 et le fonctionnement du chauffage ainsi que des ventilateurs, afin d'assurer un refroidissement efficace en cas de surchauffe.

Les différents composants ont été examinés séparément, puis assemblés sur un prototype opérationnel. Les données analysées ont démontré de la stabilité thermique et de la réactivité du système, assurant un contrôle efficace de la température cutanée du nouveau-né.

En outre, la table peut être considérée comme un dispositif multifonction : table de soins, table de réanimation, et même table d'examen ou d'opération lors des premiers moments de vie.

Enfin, ce projet ouvre la voie à diverses améliorations potentielles, telles que :

- Un système de contrôle d'humidité ;
- Une unité de photothérapie ;
- Une unité de réanimation ;
- Un système de contrôle à distance ;
- Une deuxième source de chauffage, comme un matelas chauffant ;
- Un éclairage avec une lampe à intensité lumineuse réglable.

Ces progrès permettront d'améliorer encore la prise en charge des nouveau-nés, notamment dans les établissements hospitaliers disposant de moyens limités.

# *Références bibliographiques*

## *Références bibliographiques*

- [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] Saugstad, O. D. (2016). "Hypothermia in the Newborn: Risk Factors and Prevention." *Acta Paediatrica*, 105(9), 1012-1019. doi :10.1111/apa.13504.
- [3] FERRON. M., « La relation entre qualité de vie et santé : une question épistémologique ». Mémoire de maîtrise, Anthropologie, Université de Montréal, 2011.
- [4] MERAH. A. « L'information sur la santé en Algérie. Etude d'une expérience réussie mais isolée », Algérie, 2009.
- [5] Yatsyk GV, Odinaev ND ; « un guide pratique de néonatalogie »,2008.
- [6] Sermet-Gaudelus, Chadelat, G. « Lenoir La mesure de la température en pratique pédiatrique quotidienne »,2005.
- [7] Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV). (2023). Mesure de la température et thermorégulation du nouveau-né (0-18 ans) (Fiche technique, version 1.0). Service de néonatalogie, Direction des soins infirmiers et des méthodes de soins.
- [8] Organisation mondiale de la Santé, Département Santé et Recherche génésiques « Guide pratique en néonatalogie », 1997.
- [9] 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.
- [10] BLACKBURN, S. T., « Physiologie maternelle, fœtale et néonatale : une perspective clinique », Ouvrage de référence, Physiologie néonatale, Elsevier Health Sciences, 2013.
- [11] T. M. Berger, Lucerne et all, « Prise en charge des nouveau-nés à la naissance », 2000.
- [12] « 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
- [13] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS), « Prise en charge thermique du nouveau-né : guide pour les professionnels de santé », Manuel de santé publique, Organisation mondiale de la Santé, Genève, 1997.
- [14] MAUPIN. T, SAVARY. D, « Le patient hypothermie », URGENCES 2009, Centre Hospitalier d'Annecy, France,2009.
- [15] Développé par le Comité interprofessionnel d'éducation et de recherche Du Programme régional des nouveau-nés maternels de Champlain (CMNRP), Juin 2013.

- [16] Askin. D. « Adaptation du nouveau-né à la vie extra-utérin », 2008.
- [17] Cours du Comité éditorial pédagogique de l'UVMaF, 2011-1012.
- [18] Adjedj. A, Desreumaux. C., Pauchard. V., « Les principaux dispositifs médicaux dédiés à la néonatalogie », Projet MASTER MTS, UTC, 2004-2005.
- [19] Ziemowit Ostrowski et al, « Dry heat loses of newborn baby in infant care bed “, J. Phys.: Conf. Ser. 745 032087, 2016.
- [20] TESSIER, R., « Le rôle de l'incubateur fermé dans la thermorégulation du nouveau-né prématuré », Mémoire de maîtrise, Sciences de la santé, Université de Montréal, 2006.
- [21] LECOCQ, G., « Utilisation des tables chauffantes en néonatalogie : principes, indications et limites », Mémoire de maîtrise, Soins infirmiers – spécialité néonatalogie, Université de Lyon, 2009.
- [22] François DUCHATEL, « Histoire de la réanimation néo-natale », 1979.
- [23] Drägerwerk AG & Co. KGaA. (2023). Babyroo® TN300 – Radiant Warmer. Product Information (Réf. DMC-102130FR). Lübeck, Allemagne: Dräger. Disponible sur :
- [24] Ningbo David Medical Device. (s.d.). *Produit présenté sur MedicalExpo* [Fiche produit]. MedicalExpo. Consulté le 2 mai 2018,
- [25] HEALTHCARE CO., LTD., « HKN-93A – Table chauffante de réanimation néonatale avec chauffage radiant », Fiche technique, Ningbo David Medical Device Co., Ltd., Chine, 2020.
- [26] SHVABE, « SNO – Table chauffante pour nouveau-né avec chauffage radiant », Fiche technique, Shvabe Holding, Fédération de Russie, 2020.
- [27] Polypharma90. (s.d.). *Table de réanimation néonatale HKN-90* [Fiche produit]. Consulté le 2 mai 2018.
- [28] OMS – ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ, « Soins essentiels au nouveau-né : manuel pour les agents de santé », Guide technique, Organisation mondiale de la Santé, Genève, 2010.
- [29] <http://www.ameqs.ru/info/shop/71/>. Date de dernière consultation : 02/05/2018.
- [30] AKSION SCIENTIFIC AND PRODUCTION ENTERPRISE, « UON-04 – Table chauffante néonatale avec chauffage radiant », Fiche technique, Aksion Holding, Oulianovsk, Fédération de Russie, 2021.
- [31] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS), « Soins essentiels au nouveau-né : lignes directrices », Guide clinique, Organisation mondiale de la Santé, Genève, 2022.

- [32] Christian Tavernier " Les Cartes à puces Théorie et mise en œuvre" 2ème édition Dunod, 2011.
- [33] Arduino. (s.d.). *Environment* [Guide, Arduino Integrated Development Environment]. Consulté le 26 juin 2018.
- [34] « Arduino UNO Rev3 – Caractéristiques techniques », Fiche technique, Arduino AG, Italie, 2023.
- [35] Arduino : Premiers pas en informatique embarquée Auteurs : SimonLandrault (Eskimon) et Hippolyte Weisslinger (olyte) Le blog d'Eskimon Édition du 01 juin 2014.
- [36] TX ROBOTIC ROBOTS PARTS & TOOLS " Tableau comparatif des différentes cartes Arduino", 2018.
- [37] Jean- Noël, « livret Arduino en français », centre de ressources art sensitif.
- [38] conception et réalisation d'un système de télésurveillance médicale à base d'une carte Arduino « transmission Bluetooth » présenté par : Mr nachef mhenna universitaire MOULOU MAMMERI tizi-ouzou (2012/2013).
- [39] TP INITIATION ARDUINO FEGI-Département Electronique Master M1Electronique Biomédicale (2015/2016).
- [40] Arduino. (s.d.). *Environment* [Guide de l'environnement de développement Arduino IDE]. Consulté le 26 juin 2018.
- [41] Eric Bartmann "Le grand livre d'Arduino", 2ème édition, éditeur Serial Markers.
- [42] EngineerExperiences. (s.d.). *Advantages and Disadvantages* [Article]. Consulté le 26 juin 2018.
- [43] Arduino. (s.d.). *Arduino UNO Rev3 – Technical specifications*. Consulté le [date à laquelle tu consultes le site].
- [44] Arduino. (s.d.). Microcontrôleur – Arduino UNO [Fichier HTML local]. Consulté le 02 mai 2018.
- [45] ARDUINO, « Arduino UNO Rev3 – Schematic Diagram », Documentation en ligne, <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>.
- [46] Arduino. (s.d.). *Arduino UNO* [Fichier HTML local]. Consulté le 02 mai 2018.
- [47] C. TAVERNIER, "Arduino : Applications avancées : Claviers tactiles, télécommande par Internet, géolocalisation, applications sans fil", dunod ed., 2012.
- [48] <https://www.gcworks.fr/tutoriel/arduino/CarteArduinoUno.html>.
- [49] Camille Diou, LICM, Université de Metz "INTRODUCTION AU BUS I2C", 2015.

- [50] E. BARTMANN, “Le grand livre d’Arduino”, éditions eyrolles ed., 2015.
- [51] MICROCHIP TECHNOLOGY INC., « ATmega328P – 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash », Fiche technique, Microchip Technology, Arizona (États-Unis), 2021.
- [52] <https://bprintemps.wordpress.com/2015/01/09/introduction-au-microcontrleur-decouverte-de-larduino-uno/>.
- [53] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>
- [54] KEYESTUDIO, « Module capteur de température numérique DS18B20 avec interface OneWire pour Arduino », Fiche produit, Keyestudio Electronics, Shenzhen (Chine), 2020.
- [55] “Microcontroller Interface with LCD Display Using I2C Protocol.”  
International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 5, Issue 8, 2016.
- [56] « Afficheur LCD 20 x 04 avec interface I2C – Module alphanumérique compatible Arduino », Fiche technique, DFRobot Electronics, Shenzhen (Chine), 2021.
- [57] <https://create.arduino.cc/projecthub/electropeak/arduino-i2c-lcd-in-5-minutes-3f6f91>.
- [58] CIRCUIT DIGEST, « Interfacing Relay Module with Arduino – Working and Circuit Diagram », Article en ligne, <https://circuitdigest.com>.
- [59] Arduino-France, "Branchement 5V module relais 220V/230V Arduino", 15 juin 2021.
- [60] <https://www.ni.com/en-us/innovations/buzzer.html>.
- [61] <https://www.adafruit.com/product/3368>.
- [62] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/working-with-wire>.
- [63] <https://learn.adafruit.com/breadboards-for-beginners>.
- [64] HKN-2500B Réchauffeur Radiant pour Nourrissons HKN-2500B Infant Radiant Warmer.
- [65] Emetteurs d'infrarouges longs céramique.
- [66] <https://www.acim-jouanin.fr/gamme-produit/emetteurs-infrarouge/infrarouge-long/>.
- [67] <https://www.herschel-infrarouge.fr/fondamentaux/types-de-chauffage-a-infrarouge>.

## Résumé

Ce projet vise à améliorer un équipement médical destiné aux soins des nouveau-nés, plus précisément la table chauffante. L'objectif initial est de concevoir et d'élaborer un prototype automatisé de table chauffante, capable de garantir que la température corporelle du nouveau-né stable à  $37 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Pour cela, le dispositif intègre un émetteur infrarouge en céramique 800W qui assure une répartition uniforme de la chaleur, contrôlé par une carte Arduino UNO. L'évaluation de la température se fait en temps réel à l'aide du capteur numérique DS18B20, tandis que les informations clés sont présentées sur un affichage LCD 20x4. En présence d'une anomalie thermique, un système d'alerte s'active pour assurer la protection du bébé. Pour éviter les dangers d'une surchauffe, deux ventilateurs 5V se mettent en marche automatiquement lorsque le seuil critique est atteint, tandis qu'un ventilateur 220V est installé au-dessus de système de chauffage pour disperser l'excès de chaleur. L'objectif de ce projet est d'offrir une solution à la fois économique, fiable et appropriée aux milieux hospitaliers à budget restreint, tout en garantissant le bien-être et la sécurité des nouveau-nés.

**Mots clés :** Arduino, DS18B20, LCD, carte électronique, émetteur infrarouge en céramique.

## Abstract

This project aims to improve medical equipment intended for newborn care, specifically the warming table. The initial objective is to design and develop an automated prototype of a warming table, capable of ensuring that the newborn's body temperature remains stable at  $37 \pm 1^\circ\text{C}$ .

For this, the device integrates a ceramic infrared emitter that ensures an even distribution of heat, controlled by an Arduino UNO board. The temperature assessment is done in real-time using the DS18B20 digital sensor, while key information is presented on a 20x4 LCD display. In the event of a thermal anomaly, an alert system is activated to ensure the baby's protection. To avoid the dangers of overheating, two 5V fans automatically start when the critical threshold is reached, while a 220V fan is installed above the heating system to disperse excess heat. The objective of this project is to offer a solution that is both economical, reliable, and suitable for hospital environments with limited budgets, while ensuring the well-being and safety of newborns.

**Keywords:** Arduino, DS18B20, LCD, electronic board, ceramic infrared emitter.