



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur**  
**et de la Recherche Scientifique**  
**Université de Tissemsilt**



**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département des Sciences et de la Technologie**

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Académique en

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Présenté par :

**SMATEL Kheira & BELACEL Khalida**

**Thème**

---

# **Etude et simulation d'un capteur de température par une carte Arduino**

---

Soutenu le, 12/06/2023

**Devant le Jury :**

Meharrar Aoued	Président	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
Marich Mohamed	Encadreur	M.C.B.	Univ-Tissemsilt
Habel Elhadj	Co-Encadreur	M.C.B.	Univ-Tissemsilt
Djoudi Lakhdar	Examineur	Prof.	Univ-Tissemsilt

**Année universitaire : 2022-2023**

## REMERCIEMENTS

*Avec les plus grands mots de remerciement, de gratitude et d'appréciation, au vu des déployés visibles et tangibles, nous voudrions remercier dieu en premier lieu, ainsi que tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser cet objectif.*

*Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadreur **Mr MARICH MOHAMED** qui a été à l'origine de ce travail, pour sa confiance qu'il nous a témoignée, ainsi que ses conseils précieux et ses encouragements.*

*Nos vifs remerciements vont également à notre Co-encadreur **HABAL ELHADJ** qui nous a aidé d'accomplir ce travail. Qu'il trouve ici notre profonde reconnaissance.*

*Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements au Docteur **Meharrar Aoued**, qui nous fait l'honneur d'être le président du jury. Nous adressons également nos remerciements au Professeur **Djouidi Lakhidar** d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail. Nous les remercions également pour nous avoir fait bénéficier de leurs compétences scientifiques. Qu'ils trouvent ici l'expression de nos profondes gratitude.*

*Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## DEDICACES

*Merci ALLAH de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.*

*Je dédie ce modeste travail:*

*À celle qui m'a donnée la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée toujours pour mon bonheur et ma réussite. Ma très chère mère MIMOUNA: Enfin maman, mon rêve va enfin voir le jour. Aucune parole ne saurait suffire afin d'exprimer mon amour et mon attachement à toi. ce travail est proprement dit le fruit de tes immenses sacrifices et la consécration de tes grands efforts. Sans toi je ne saurais pas arriver au bout de ce long parcours. Maman tu es l'exemple de la femme et de la maman idéale, tu es ma source de joie, de soutien, et de persévérance. Aucun mot ne saurait exprimer l'égard, la gratitude, l'amour, la profondeur de ma reconnaissance. Merci maman, pour ton amour, ta tendresse et ta patience*

*À mon très cher papa AHMED: Papa je te dédie ce travail en signe de respect, et de reconnaissance pour tout ce que tu as fait pour mon bien être, je ne saurais jamais assez te remercier pour ta confiance, tes prières et tes encouragements qui m'ont soutenu tout le long de ma vie, tu es toujours à mes côtés quand j'en ai besoin. J'espère demeurer toujours digne de ton estime. Puisse le tout puissant, t'accorder la santé, et une longue et heureuse vie afin que je puisse te rendre un minimum de ce que je te dois. Que ce travail soit l'exaucement de tes efforts.*

*À ma chère binôme KHEIRA: tu es une personne merveilleuse, avant d'être un binôme au travail tu étais toujours à mes côtés quand j'avais besoin de toi, heureusement, je t'ai rencontrée dans ma vie merci pour tout. Je te souhaite une meilleure vie personnelle et professionnelle.*

**KHALIDA**

## DEDICACES

*Merci **ALLAH** de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.*

*Je dédie ce modeste travail:*

*À celle qui m'a donnée la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée toujours pour mon bonheur et ma réussite. Ma très chère mère **BAKHTA** que Allah lui fasse miséricorde et lui accorde la paradis: Enfin maman, mon rêve va enfin voir le jour. Aucune parole ne saurait suffir afin d'exprimer mon amour et mon attachement à toi. ce travail est proprement dit le fruit de tes immenses sacrifices et la consécration de tes grands efforts. Sans toi je ne saurais pas arriver au bout de ce long parcours. Maman tu es l'exemple de la femme et de la maman idéale, tu es ma source de joie, de soutien, et de persévérance. Aucun mot ne saurait exprimer l'égard, la gratitude, l'amour, la profondeur de ma reconnaissance. Merci maman, pour ton amour, ta tendresse et ta patience*

*À mon très cher papa **RABAH**: Papa je te dédie ce travail en signe de respect, et de reconnaissance pour tout ce que tu as fait pour mon bien être, je ne saurais jamais assez te remercier pour ta confiance, tes prières et tes encouragements qui m'ont soutenu tout le long de ma vie, tu es toujours à mes côtés quand j'en ai besoin. J'espère demeurer toujours digne de ton estime. Puisse le tout puissant, t'accorder la santé, et une longue et heureuse vie afin que je puisse te rendre un minimum de ce que je te dois. Que ce travail soit l'exaucement de tes efforts.*

*À ma chère binôme **KHALIDA**: tu es une personne merveilleuse, avant d'être un binôme au travail tu étais toujours à mes côtés quand j'avais besoin de toi, heureusement, je t'ai rencontrée dans ma vie merci pour tout. Je te souhaite une meilleure vie personnelle et professionnelle.*

**KHEIRA**

# *Sommaire*

# Sommaire

Remerciement	
Dédicaces	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01

## Chapitre 1

### Généralités sur les thermomètres et capteurs de température

1.1 Introduction	02
1.2 Définitions du capteur	02
1.3 Caractéristiques métrologiques des capteurs	02
1.4 Structure du capteur	03
1.4.1 Corps d'épreuve	03
1.4.2 Elément de transduction	03
1.5 Classification des signaux	03
1.5.1 Signal logique	03
1.5.2 Signal analogique	03
1.5.3 Signal numérique	03
1.6 Différentes types de capteurs	04
1.6.1 Capteurs actifs	04
1.6.1.1 Effets physiques	04
1.6.1.1.1 Effet thermoélectrique	04
1.6.1.1.2 Effet piézo-électrique	04
1.6.1.1.3 Effet d'induction électromagnétique	05
1.6.1.1.4 Effet photo-électrique	05
1.6.1.1.5 Effet Hall	05
1.6.1.1.6 Effet photovoltaïque	05
1.6.2 Capteurs passifs	05
1.7 Qu'est-ce que la température ?	06
1.7.1 Unités de mesure de température	06
1.7.2 Echelles de température	06
1.7.2.1 Echelle absolue	06
1.7.2.2 Echelle Celsius	06
1.7.2.3 Echelle Fahrenheit	07
1.7.2.4 Echelle Rankine	07
1.8 Définition de Thermomètre	07

1.8.1 Types de thermomètre	07
1.8.1.1 Thermomètre à dilatation	08
1.8.1.1.1 Thermomètre à gaz	08
1.8.1.1.2 Thermomètres à dilatation de liquide	08
1.8.1.1.3 Thermomètres à dilatation de solide	09
1.8.1.2 Thermomètres à changement d'état	09
1.8.1.2 .1 Thermomètres à pression de vapeur	09
1.8.1.2 .2 Thermomètres à repères	10
1.8.1.2 .3 Thermomètres à changement de couleur	10
1.8.1.3 Thermomètres optique	10
1.8.1.3.1 Thermomètres à rayonnement total	10
1.8.1.3.2 Pyromètres monochromatiques	10
1.8.1.3.3 Pyromètres bi chromatiques	10
1.8.1.4 Thermomètres électriques	10
1.8.1.4.1 Thermocouple	11
1.8.1.4.1.1 Principe de fonctionnement de thermocouple	11
1.8.1.4.2 Thermistances	12
1.8.1.4.2.1 Caractéristiques des thermistances	12
1.8.1.4.2.1 .1 Résistance à coefficient de température négatif (CTN)	12
1.8.1.4.2.1 .2 Résistance à coefficient de température positif (CTP)	13
1.8.1.4.3 capteur de température LM 335	14
1.8.1.4.3.1 Caractéristiques du capteur LM 335	14
1.8.1.4.3.2 Capteur de température LM 135, LM235	15
1.8.1.4.4 Capteur de température LM 35	15
1.8.1.4.4.1 Caractéristiques du Capteur LM35 sont	15
1.9 Conclusion	15

## Chapitre 2

### Chaîne d 'acquisition des données et carte Arduino

2.1 Introduction	16
2.2 Eléments constituant une chaîne d'acquisition	16
2.2.1 Capteur	16
2.2.2 Conditionneur	16
2.2.2.1 Fonctionnement d'un conditionneur	16
2.2.2.1.1 Conversion de signaux	16
2.2.2.1.2 Linéarisation	17

---

2.2.2.2 Amplification	17
2.2.2.2.1 Amplificateurs d'instrumentation	17
2.2.2.3 Filtrage	18
2.2.2.3.1 Définition	18
2.2.2.3.2 Utilisation des filtres électriques	18
2.2.2.3.3 Types des filtres	19
2.2.3 Conversion Analogique-Numérique	22
2.2.3.1 Définition	22
2.3 Carte Arduino	23
2.3.1 Qu'est-ce que l'arduino ?	23
2.3.2 Définition du module arduino	23
2.3.3 But et l'utilité de la carte Arduino	24
2.3.4 Applications du module Arduino	24
2.3.5 Types de la carte arduino	24
2.3.6 Pourquoi arduino UNO	24
2.3.7 La constitution de la carte Arduino UNO	25
2.3.7.1Partie matérielle	25
2.3.7.1.1 Microcontrôleur ATmega328	25
2.3.7.1.2 Entrées/sorties numériques	26
2.3.7.1.3 Entrées analogiques	26
2.3.7.1.4 Alimentation de la carte ARDUINO- UNO	27
2.3.7.2 Partie programme	28
2.3.7.2.1 L'environnement de la programmation	28
2.3.7.2.2 Structure générale du programme (IDE Arduino)	28
2.3.7.2.3 Injection du programme	29
2.3.7.2.4. Description du programme	29
2.3.7.2.5. Etapes de téléversement du programme	30
2.3.7.2.6 Accessoires de la carte Arduino	31
2.3.7.2.6.1Communication	31
2.3.7.2.6.1.1 Module Arduino Bluetooth	31
2.3.7.2.6.1.2 Module shield Arduino Wifi	32
2.3.7.2.6.2 Capteurs	32
2.3.7.2.6.3 Drivers	33
2.3.7.2.6.3.1 Driver L298N	33
2.4 Conclusion	33



## Chapitre 3

### Simulation et réalisation

3.1 Introduction	34
3.2 Logiciel Proteus	34
3.3 Sélection des composants à utiliser	35
3.4 Schéma synoptique général	35
3.4 Composants utilisés	36
3.4.1 Afficheur LCD (liquid Crystal display)	36
3.4.1.1 Avantages et inconvénients des écrans LCD	37
3.4.2 LED (Light – Emitting Diode)	38
3.4.2.1 Avantages et inconvénients de la LED	38
3.4.3 Moteur DC (Ventilateur)	38
3.4.4 Résistance	39
3.4.5 Relais	39
3.4.5.1 Fonctionnement du relais	40
3.4.6 Transistor	40
3.4.6.1 Caractéristiques électriques du transistor BC 547C	41
3.4.7 Diode	41
3.4.9 Résistance chauffante	41
3.5 Résultats de simulation par « PROTEUS »	42
3.5.1 Premier cas (Température normale )	43
3.5.2 Deuxième cas (Basse température)	44
3.5.3 Troisième cas (Haute température)	45
3.6 Résultats de la réalisation (Partie pratique)	46
3.6.1 Premier cas (Température normale )	46
3.6.2 Deuxième cas (Basse température)	47
3.6.3 Troisième cas (Haute température)	48
3.7 Code de programmation en ARDUINO	48
3.8 Conclusion	50
Conclusion générale	51
Bibliographie	
Résumé	

# *Liste des figures*

## Liste des figures

<b>Fig 1.1</b> : Fonctionnement du capteur.	02
<b>Fig 1.2</b> : Nature de l'information du capteur.	03
<b>Fig 1.3</b> : Effet thermoélectrique.	04
<b>Fig 1.4</b> : Effet piézo-électrique.	04
<b>Fig 1.5</b> : Induction électromagnétique.	05
<b>Fig 1.6</b> : Effet photo-électrique.	05
<b>Fig 1.7</b> : Echelle de températures.	07
<b>Fig 1.8</b> : Thermomètre à gaz .	08
<b>Fig 1.9</b> : Thermomètre à dilatation .	08
<b>Fig 1.10</b> : Bilames.	09
<b>Fig 1. 11</b> : Thermomètre à vapeur.	09
<b>Fig 1.12</b> : Thermocouple.	11
<b>Fig 1.13</b> : Principe de fonctionnement de thermocouple.	11
<b>Fig1.14</b> : Thermistance.	12
<b>Fig1.15</b> : Caractérisitique d'un CTN .	12
<b>Fig 1.16</b> : Caractérisitique d'un CTP .	13
<b>Fig1.17</b> : Représentation schématique.	13
<b>Fig 1.18</b> : Capteur LM 335.	14
<b>Fig1.19</b> : Schéma électrique du capteur de température Le LM335.	14
<b>Fig 1.20</b> : Capteur de température LM35.	15
<b>Fig 2.1</b> : Fonctionnement d'une chaine d'acquisition .	16
<b>Fig 2.2</b> : Brochage d'un amplificateur d'instrumentation.	17
<b>Fig 2.3</b> : Fonction de transfert.	17
<b>Fig 2.4</b> : Schéma d'un filtre passe bas.	18
<b>Fig 2.5</b> : Circuit d'un filtre passe haut.	20
<b>Fig 2.6</b> : Circuit d'un filtre passe bande RLC.	20
<b>Fig 2.7</b> : Circuit d'un filtre coupe bande RLC.	21
<b>Fig 2.8</b> : Convertisseur analogique numérique.	22
<b>Fig 2.9</b> : (1) signal analogique (2) signal échantillonné (3) signal quantifié	22
<b>Fig 2.10</b> : Carte Arduino-UNO.	23
<b>Fig 2.11</b> : Type de carte Arduino.	24
<b>Fig 2.12</b> : MicrocontrôleurATMega328.	25
<b>Fig 2.13</b> : Constitution de la carte Arduino-UNO.	27
<b>Fig2.14</b> : Interface IDE Arduino.	28
<b>Fig 2.15</b> : Paramétrage de la carte.	29
<b>Fig 2.16</b> : Etapes de téléchargement du code.	31
<b>Fig 2.17</b> : Exemples de modules Bluetooth.	32
<b>Fig 2.18</b> : Exemples de modules shield wifi.	32
<b>Fig 2.19</b> : Driver L298N.	33
<b>Fig 2.20</b> : Moteurs électriques.	33
<b>Fig 3.1</b> : Interface du logiciel Proteus.	34
<b>Fig 3.2</b> : Bibliothèque proteus.	35

<b>Fig 3.3:</b> Schéma synoptique du dispositif.	35
<b>Fig 3.4:</b> Afficheur LCD 4*16.	36
<b>Fig 3.5:</b> Diodes électroluminescentes (LED).	38
<b>Fig 3.6 :</b> Ventilateur ( moteur 5V DC).	38
<b>Fig 3.7 :</b> Résistance.	39
<b>Fig 3.8:</b> Relais électrique.	39
<b>Fig 3.9:</b> Transistor NPN.	40
<b>Fig 3.10 :</b> Diode.	41
<b>Fig 3.11 :</b> Résistance chauffante.	41
<b>Fig 3.12 :</b> Circuit électronique à base d'une carte Arduino sous Proteus	42
<b>Fig.3.13 :</b> Premier cas (température normale)	43
<b>Fig.3.14 :</b> Deuxième cas (température basse)	44
<b>Fig.3.15 :</b> Troisième cas ( température haute)	45
<b>Fig.3.16:</b> Premier essai (température normale).	46
<b>Fig.3.17:</b> Deuxième essai (température basse).	47
<b>Fig.3.18:</b> Troisième essai (température haute).	48

# *Liste des tableaux*

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> : Capteurs actifs.	04
<b>Tableau 1.2</b> : Capteurs passifs.	06
<b>Tableau 2.1</b> : Paramètres de l'amplificateur.	17
<b>Tableau 3.1</b> : Paramètres de l'afficheur LCD.	37

# ***Introduction générale***

## **Introduction générale**

La température est une mesure de l'énergie cinétique moyenne des particules dans un échantillon de matière, exprimée en degrés sur une échelle standard. Cette grandeur physique constitue une information importante dans plusieurs processus industriels et de laboratoire. Elle intervient comme une grandeur principale dont la valeur doit être connue avec précision ou comme paramètre influant sur la qualité d'autres mesures. Certains procédés industriels ou biologiques favorisent des environnements de températures spécifiques, ainsi la régulation de température s'impose.

Il est possible de mesurer la température de plusieurs façon différentes qui se distinguent par le coût des capteurs (thermocouple, les thermistances ....etc)

Le thermomètre est un instrument qui sert à mesurer la température. Il est utilisé dans différents domaines (médical, alimentaire, industrie .....etc).

Dans le cadre de notre formation, nous sommes amenés à entreprendre un projet afin d'améliorer nos connaissances en électronique et notre capacité de travailler. L'objectif de ce projet est la réalisation d'un système automatique permettant le contrôle et la régulation de la température par une carte arduino.

Le présent manuscrit est organisé comme suit :

- Le premier chapitre sera des généralités sur les thermomètres et les capteurs de température .
- Le deuxième chapitre porte sur la chaine d 'acquisition de données et carte arduino.
- Dans le troisième chapitre on va présenter la simulation et la réalisation d'un système automatique permettant le contrôle et la régulation de la température à base d'un capteur de température LM35 et une carte ARDUINO-UNO.



***Chapitre 1 :***  
***Généralités sur les***  
***thermomètres et capteurs***  
***de température***

## 1.1 Introduction

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs....), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physique (température ,force , position.....) [1].

Le capteur est le premier élément d'une chaîne de mesure, est par définition un composant qui traduit une grandeur physique, telle une variation de température ou pression , en une grandeur généralement électrique. Son rôle est de donner une image interprétable d'un phénomène physique de manière à l'intégrer dans un processus plus vaste.

Dans un premier temps de ce chapitre, nous allons présenter les différents types des thermomètres et capteurs de température, Ensuite, nous porterons notre attention sur ce fameux capteur de température LM35, donnant ses caractéristiques ainsi son fonctionnement.

## 1.2 Définitions du capteur

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande [2].

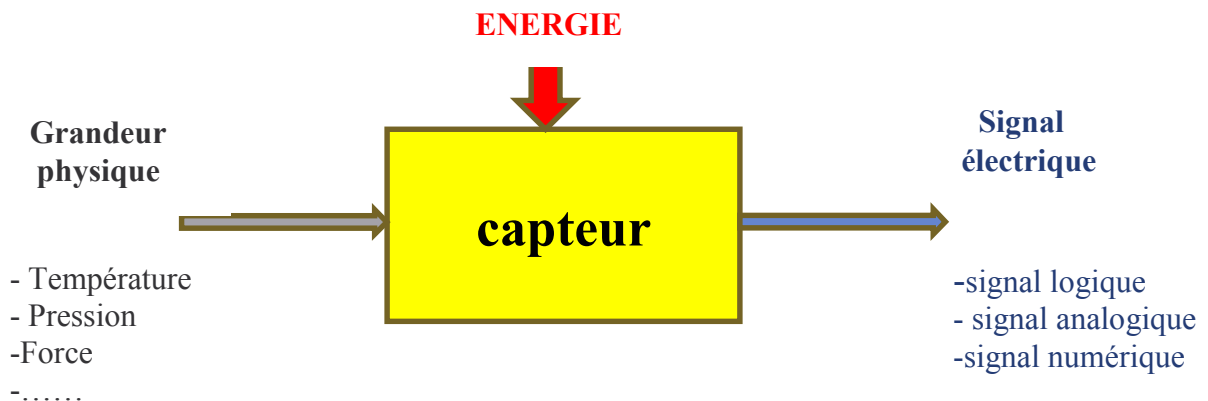


Fig 1.1 : Fonctionnement du capteur.

## 1.3 Caractéristiques métrologiques des capteurs

**Etendue de mesure:** Valeurs extrêmes pouvant être mesurées par le capteur.

$$EM = M_{\max} - M_{\min} .$$

**Résolution:** Plus petite variation de grandeur mesurable par le capteur .

**Sensibilité:** Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.

$$S = \frac{\Delta_{\text{sortie}}}{\Delta_{\text{entrée}}}$$

**Exemple:** Capteur de température LM35 a une sensibilité de 10 mV/c°.

**Précision:** Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.

**Rapidité:** Temps de réaction du capteur, la rapidité est liée la bande passante.

**Linéarité :** Représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.

## 1.4 Structure du capteur

**1.4.1 Corps d'épreuve :** c'est un élément qui réagit sélectivement aux variations de la grandeur à mesurer. Il a pour rôle de transformer cette grandeur en une autre grandeur physique dite mesurable [3].

**1.4.2 Elément de transduction :** c'est un élément lié au corps d'épreuve qui traduit ses réactions en une grandeur physique exploitable [3].

## 1.5 Classification des signaux

Les signaux délivrés par les capteurs peuvent être classés en trois grandes familles [4]:

### 1.5.1 Signal logique

Le signal logique ou Tout Ou Rien peut prendre deux valeurs (0 ou 1).

### 1.5.2 .Signal analogique

Un signal analogique varie de façon continue dans le temps .il peut prendre une infinité de valeurs dans une plage donnée.

### 1.5.3 Signal numérique

Un signal numérique est une suite d'informations logiques qui peuvent être transmises de deux manières différentes .

- En série sur un bit .
- En parallèle sur plusieurs bits .

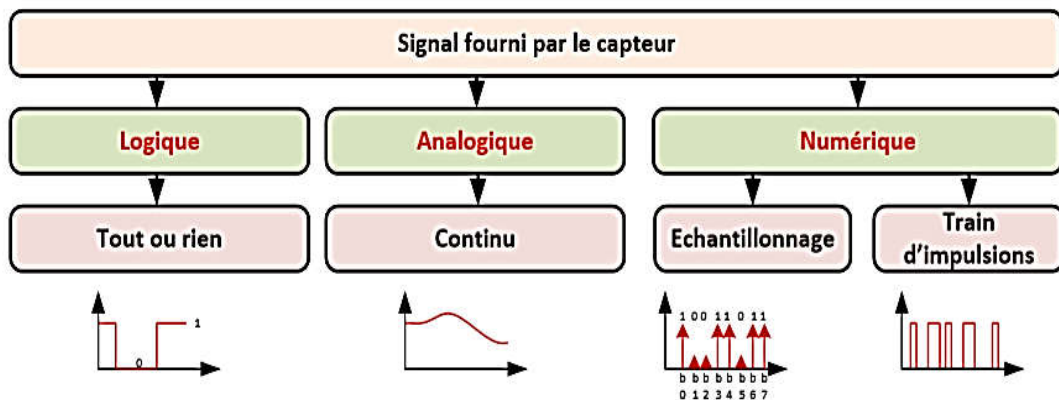


Fig 1. 2 : Nature de l'information du capteur.

## 1.6 Différents types de capteurs

### 1.6.1 Capteurs actifs

Fonctionnent en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à prélever, énergie thermique mécanique ou de rayonnement [2].

Grandeur physique mesurée	Effet utilise	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Photo-émission	Courant
	Effet photovoltaïque	Tension
	Effet photo-électrique	Tension
Force	Piézo-électricité	Charge électrique
Pression		
Accélération	Induction électromagnétique	Tension
Vitesse		
Position(Aimant)	Effet Hall	Tension
Courant		

Tableau 1.1 : Capteurs actifs.

#### 1.6.1.1 Effets physiques

**1.6.1.1.1 Effet thermoélectrique :** Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures  $T_1$  et  $T_2$ , est le siège d'une force électromotrice d'origine thermique  $e(T_1, T_2)$  [2].

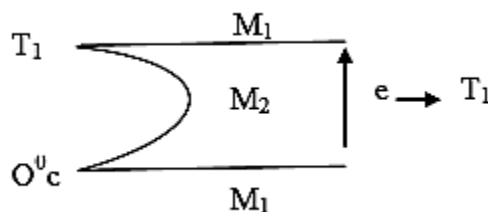


Fig 1.3 : Effet thermoélectrique.

**1.6.1.1.2 Effet piézo-électrique :** L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées [2].

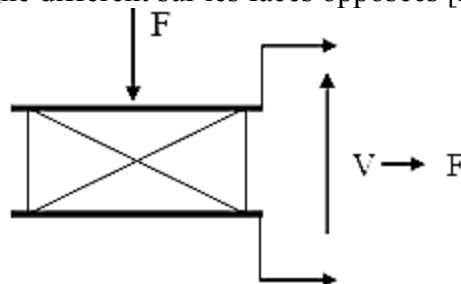
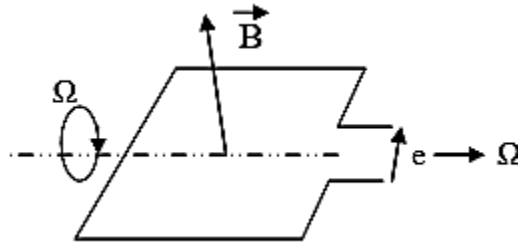


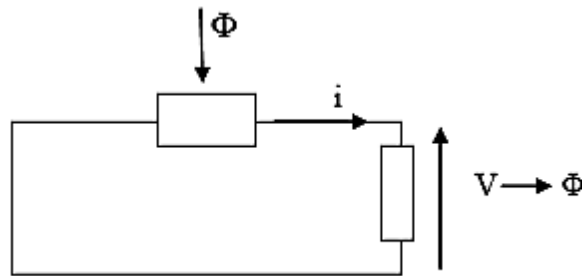
Fig 1.4: effet piézo-électrique.

**1.6.1.1.3 Effet d'induction électromagnétique :** La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique) [2].



**Fig 1.5:** Induction électromagnétique.

**1.6.1.1.4 Effet photo-électrique :** La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique [2].



**Fig 1.6 :** Effet photo-électrique.

**1.6.1.1.5 Effet Hall :** Un champ magnétique  $B$  et un courant électrique  $I$  créent dans le matériau une différence de potentiel  $U_H$  [2].

**1.6.1.1.6 Effet photovoltaïque :** Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes [2].

## 1.6.2 Capteurs passifs

Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.

La variation d'impédance résulte : Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile. Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable) [2].

Grandeur mesurée	Caractéristique électrique sensible	Type de matériau utilisé
Température	Résistivité	Métaux : platine, nickel, cuivre ...
Très basse température	Constante diélectrique	Verre.
Flux de rayonnement optique	Résistivité	Semi-conducteur.
Déformation	Résistivité	Alliage de Nickel, silicium dopé.
	Perméabilité magnétique	Alliage ferromagnétique
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnéto résistants : bismuth, antimoine d'indium.
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium.

**Tableau 1.2** : Capteurs passifs.

## 1.7 Qu' est–ce que la température ?

La notion de température est liée à la sensation du chaud et du froid due au sens du toucher. Soit un corps, solide, liquide ou gazeux au repos. En fait le repos n'est qu'apparent car il se produit en tout point une agitation moléculaire ; les molécules sont précipitées les unes contre les autres à grande vitesse et il y a une transformation de l'énergie cinétique en énergie thermique. La température apparaît donc comme un paramètre susceptible de caractériser le niveau énergétique.

### 1.7.1 Unités de mesure de température

La température est une grandeur intensive, qui peut être mesurée de deux façons différentes :

- A l'échelle atomique, elle est liée à l'énergie cinétique moyenne des constituants de la matière.
- Au niveau macroscopique, certaines propriétés des corps dépendant de la température ( volume massique, résistivité électrique, etc ..... ) peuvent être choisies pour construire des échelles de température [5].

### 1.7.2 Echelles de température

#### 1.7.2.1 Echelle absolue

Son unité est le Kelvin (°k), le **Kelvin** est défini à partir du point du triple de l'eau, qui vaut 273,15 k « Le kelvin est la fraction 1 /273,15 de la température thermodynamique du point triple de l'eau » : 0° K est le zéro absolu(aucune agitation thermique ) [5].

#### 1.7.2.2 Echelle Celsius

Echelle relative : référence à la fusion de la glace à 0° et à l'ébullition de l'eau distillée à 100°C .Elle est défini à partir de l'échelle absolue à travers la relation suivante[5] :

$$T(^{\circ}\text{C})=T (^{\circ}\text{k}) - 273,15 \quad (1.1)$$

Le zéro absolu vaut donc -273,15.

### 1.7.2.3 Echelle Fahrenheit

L'échelle fahrenheit attribue une plage de 180°F entre la température de solidification de l'eau et sa température d'ébullition (solidification de l'eau à 32 °F et point d'ébullition à 212°F) .

Ainsi elle s'obtient de l'échelle précédente par la relation :

$$T(^{\circ}\text{F}) = 9/5 T(^{\circ}\text{C}) + 32 \text{ ou } T(^{\circ}\text{C}) = 5/9 (T(^{\circ}\text{F}) - 32) \quad (1.2)$$

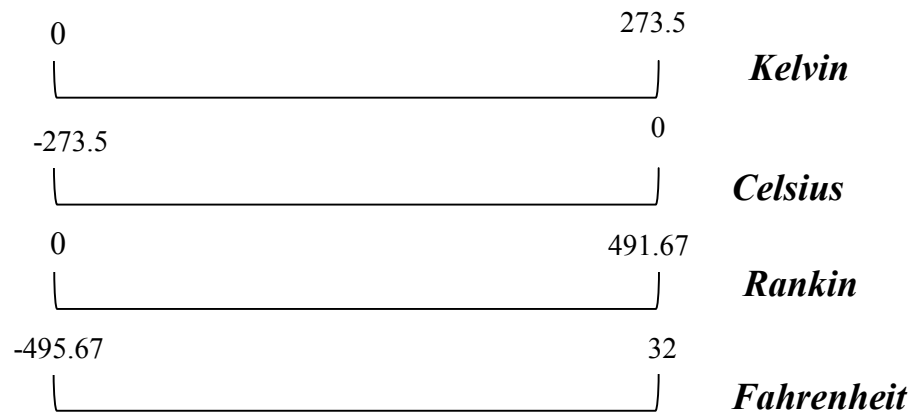
D'une façon générale la relation liant les trois échelles [5] ;

$$\frac{T(^{\circ}\text{K}) - 273.15}{100} = \frac{T(^{\circ}\text{C})}{100} = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{180} \quad (1.3)$$

### 1.7.2.4 Echelle Rankine

Echelle absolue de Fahrenheit ; références aux zéro thermodynamique 0°R et au point triple de l'eau (0.01°C) 459.7°R [5] .

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{R}) - 459.7 \quad (1.4)$$



**Fig 1.7:** Echelle de températures.

## 1.8 Définition de Thermomètre

Un thermomètre est un appareil qui sert à mesurer et à afficher la valeur des températures .

### 1.8.1 Types de thermomètre

- Thermomètre à dilatation;
- Thermomètre a changement d'état;
- Thermomètre Optique;
- Thermomètre Electrique.

### 1.8.1.1 Thermomètre à dilatation

**1.8.1.1.1 Thermomètre à gaz :** Le détecteur est un récipient de gaz, la variation de température du détecteur entraîne une variation de pression que l'on mesure [4].

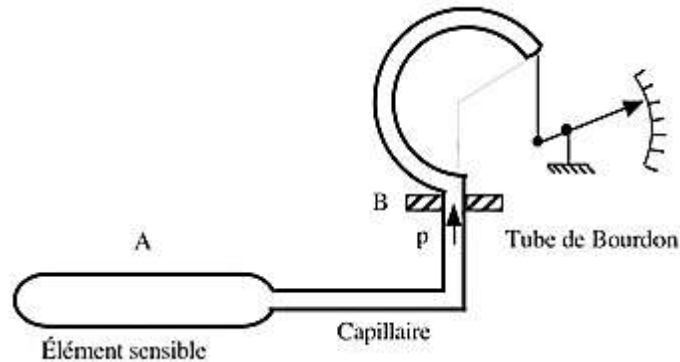


Fig 1.8: Thermomètre à gaz .

**1.8.1.1.2 Thermomètres à dilatation de liquide :** Le détecteur est un récipient rempli de liquide dont on repère la température soit [4]:

- Par la hauteur du liquide dans un tube capillaire en verre comme dans les thermomètres à mercure ou à l'alcool.
- Par le déplacement d'une aiguille liée mécaniquement à un tube métallique contenant le liquide.

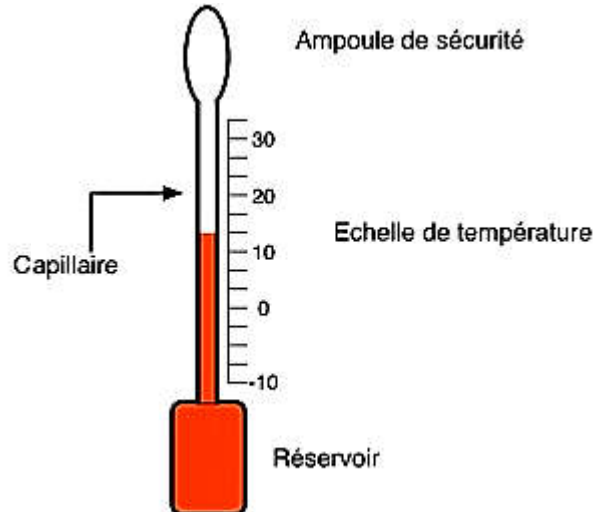


Fig 1.9 : Thermomètre à dilatation .



### 1.8.1.1.3 Thermomètres à dilatation de solide

- Soit la variation de longueur d'une tige métallique.
- Soit la variation différentielle de longueur de deux lames minces accolées l'une à l'autre (bilames) [4].

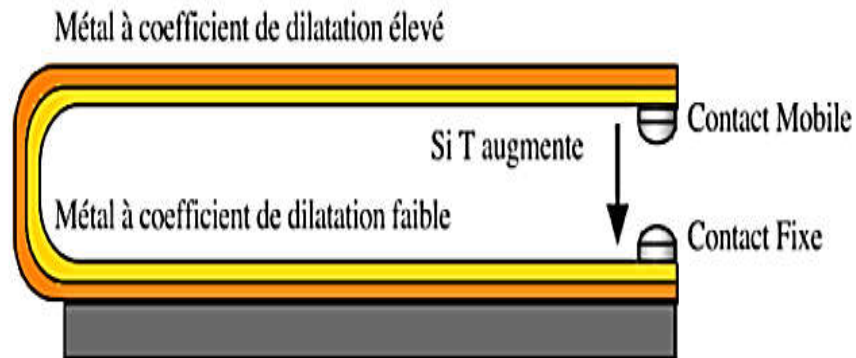


Fig 1.10 : Bilames.

### 1.8.1.2 Thermomètres à changement d'état

#### 1.8.1.2 .1 Thermomètres à pression de vapeur

Lorsque l'on chauffe un liquide sous une pression donnée, un équilibre s'établit entre les phases liquides et gazeux à une température déterminée. La mesure de la pression de vapeur fournit un repère de la température.

Les fluides généralement employés sont l'alcool éthylique, l'eau, le chlorure d'éthyle ...etc [4].

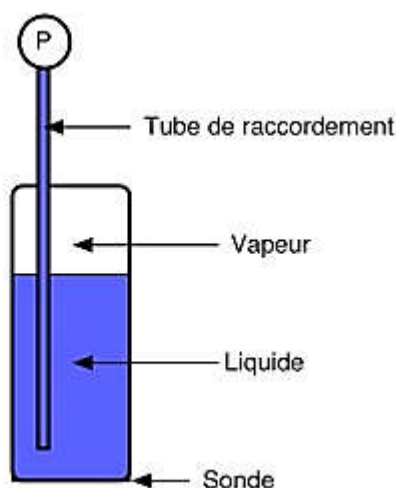


Fig 1. 11 : Thermomètre à vapeur.

### **1.8.1.2 .2 Thermomètres à repères**

Les thermomètres sont constitués par une matière dont l'aspect change à une certaine température. A l'aide de plusieurs thermomètres dont les transformations s'effectuent à différentes températures, on peut situer un point de température par rapport aux repères [4].

### **1.8.1.2 .3 Thermomètres à changement de couleur**

Ce sont généralement des éléments solides dont la couleur change à une température connue [4].

### **1.8.1.3 Thermomètres optique**

On utilise la loi de rayonnement des corps en fonction de la température. La caractéristique importante de ces procédés est qu'il n'y a pas de contact direct du capteur avec le corps étudié [4].

#### **1.8.1.3.1 Thermomètres à rayonnement total**

Le rayonnement issu du corps est reçue à l'intérieur de l'appareil par un détecteur de température (généralement plusieurs thermocouples montés en série) [4].

#### **1.8.1.3.2 Pyromètres monochromatiques**

On ne s'intéresse qu'à une bande étroite du spectre du rayonnement. Le compteur est alors un capteur optique sensible à cette bande de fréquence [4].

#### **1.8.1.3.3 Pyromètres bi chromatiques**

On s'intéresse à deux bandes de fréquences dans le spectre et on détermine la température par comparaison des mesures effectuées dans chaque bande [4].

### **1.8.1.4 Thermomètres électriques**

Les capteurs qui précèdent sont à lecture directe et ne sont pas utiliser dans les régulations industrielles. Les capteurs électriques qui suivent auront l'avantage d'une plus grande souplesse d'emploi (information transmissible, enregistrement) tout en gardant une précision suffisante pour les emplois industriels et beaucoup d'emplois de laboratoire. On décompose les capteurs électriques de température en deux sous catégories [5]:

- Les capteurs passifs, à résistance ou thermistance .
- Les capteurs actifs, à couple thermoélectrique.

### 1.8.1.4.1 Thermocouple

Le thermocouple est un capteur actif, il est basé sur l'effet thermoélectrique qui est l'interaction entre une énergie d'origine thermique (agitation des charges) et une énergie électrique (déplacement de charge)[2].



Fig 1.12 : Thermocouple.

#### 1.8.1.4.1.1 Principe de fonctionnement de thermocouple

Un thermocouple utilise principalement l'effet Seebeck afin d'obtenir une mesure de la température. Si on réunit à une extrémité deux fils métalliques de natures différentes et que l'on élève la température de cette extrémité, il apparaît une tension  $e_{AB}$  aux extrémités restées libres. Il est possible de déterminer la température de l'extrémité chauffée à partir de la mesure de  $e_{AB}$  [6].

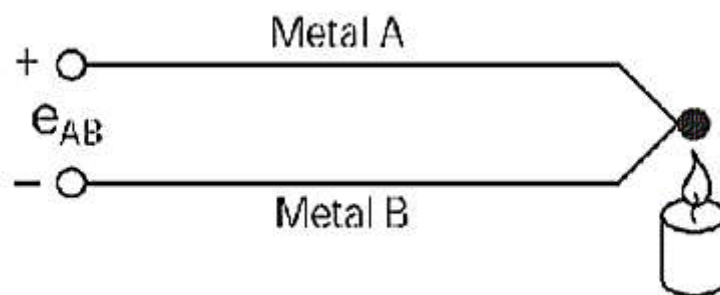


Fig 1.13 : Principe de fonctionnement de thermocouple.

**Soudure chaude :** Jonction de l'ensemble thermocouple soumis à la température à mesurer : c'est la jonction Capteur [6].

**Soudure froide :** Jonction de l'ensemble thermocouple maintenu à une température connue ou à  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  : c'est la jonction Référence [6].

#### Effet Seebeck

Thomas Johann Seebeck (1770-1831) est le premier à avoir mis en évidence le fait que dans un circuit fermé constitué de deux conducteurs de nature différente (un métal A et un métal B), il circule un courant lorsqu'on maintient entre les deux jonctions une différence de température. Ce courant est dû à l'apparition d'une force électromotrice (fém) directement liée à la différence entre les températures  $T_1$  et  $T_2$  des deux jonction [6].

### 1.8.1.4.2 Thermistances

Le fonctionnement des thermomètres à résistance et thermistances est basé sur le même phénomène physique: l'influence de la température sur la résistance électrique d'un conducteur. La mesure d'une température est donc ramenée à la mesure d'une résistance. Comme la caractéristique résistance/température est de nature différente pour un métal et un agglomérat d'oxydes métalliques, deux cas sont distingués. On parlera du thermomètre à résistance d'une part et de thermistance d'autre part [5].

On appelle thermistances, les résistances sensibles aux variations de température. On utilise généralement deux sortes de thermistances les CTN (résistance à coefficient de température négatif) et les CTP (résistance à coefficient de température positif) [4].



Fig1.14: Thermistance.

#### 1.8.1.4.2.1 Caractéristiques des thermistances

##### 1.8.1.4.2.1 .1 Résistance à coefficient de température négatif (CTN)

Les CTN (Coefficient de Température Négatif) sont des thermistances dont la résistance diminue de façon uniforme quand la température augmente et vice-versa, ils obéissent à une loi exponentielle (figure II .03 ) de la forme [4] :

$$R = R_0 \exp \left[ b \left( \frac{1}{T_0} + \frac{1}{T} \right) \right] \quad (1.5)$$

Avec :

B : Coefficient caractéristique de la CTN.

$T_0$  : La température ambiante (23°K-25°K).

$R_0$ : La résistance à la température  $T_0$ (souvent 25 °C).

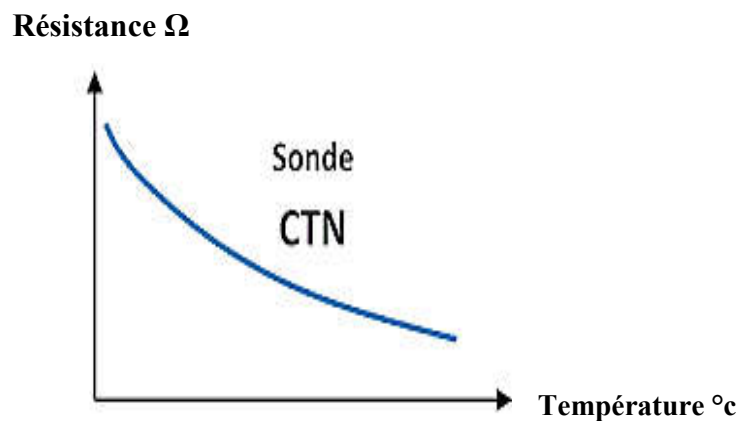


Fig1.15: Caractéristique d'un CTN .

Les CTN sont fabriquées à base d'oxydes de métaux de transition (manganèse, cobalt, cuivre et nickel). Ces oxydes sont semi-conducteurs.

Les CTN peuvent être utilisées dans une large plage de températures, de (-200 °C à + 1 000 °C), et elles sont disponibles en différentes versions : perles de verre, disques, barreaux, pastilles, rondelles, puces... etc.

Les CTN sont utilisées pour les mesures et le contrôle de la température, la limitation d'impulsions transitoires, la mesure de flux de liquides [4].

#### 1.8.1.4.2.1 .2 Résistance à coefficient de température positif (CTP)

Les CTP (Coefficient de Température Positif), sont des thermistances dont la résistance augmente avec la température.

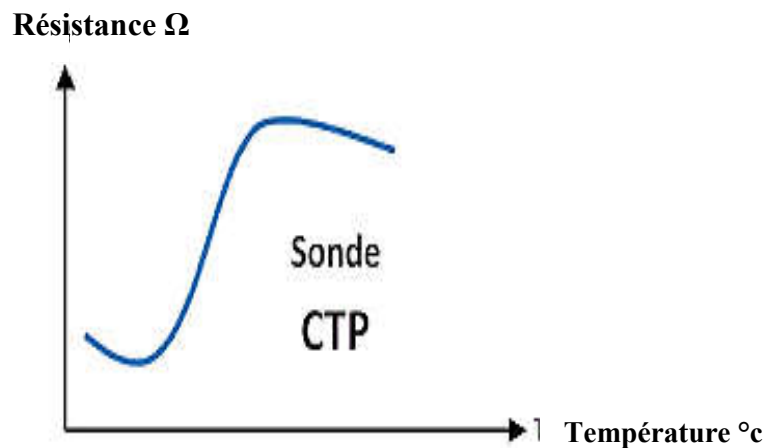


Fig 1.16: Caractéristique d'un CTP .

Les CTP peuvent être utilisées :

- Comme détecteur de température, pour protéger des composants (moteurs, transformateurs) contre une élévation excessive de la température ;
- comme détecteur de niveau de liquide : la température de la CTP et donc sa résistance, sera différente lorsque le capteur est dans l'air ou plongé dans un liquide[4].



Fig1.17: Représentation schématique.

### 1.8.1.4.3 Capteur de température LM 335

LM335 est un capteur de température analogique, est un dispositif à trois broches (comme un transistor) qui convertit la température en tension analogique. Ce capteur nécessite un module ADC (Analog-to-Digital Converter) afin de convertir la tension analogique en donnée numérique [3].

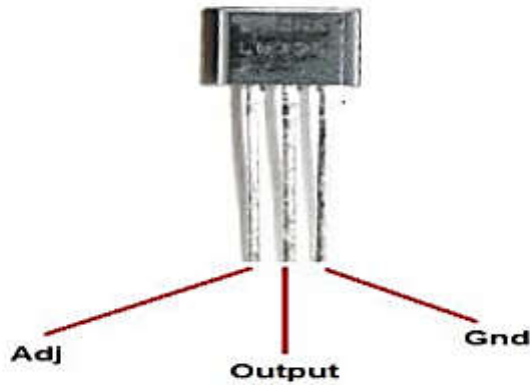


Fig 1.18 : Capteur LM 335.

#### 1.8.1.4.3.1 Caractéristiques du capteur LM 335

- Directement calibré à l'échelle de température kelvin.
- Précision initiale de 1°C disponible.
- Fonctionne de 400  $\mu$ A à 5mA .
- Impédance dynamique de moins 1 $\Omega$ .
- Facilement calibré.
- Large plage de température de fonctionnement (-40°C à 100°C).
- Faible coût.

Le LM335 a une tension de panne directement proportionnelle à la température absolue à 10 mV/°K. Si la tension de sortie du LM335 par exemple est de 3,03 (3030 mV), cela signifie que la température est : 303 °K = 30 °C. Le montage le plus utilisé pour ce composant est donné par la figure suivant [3].

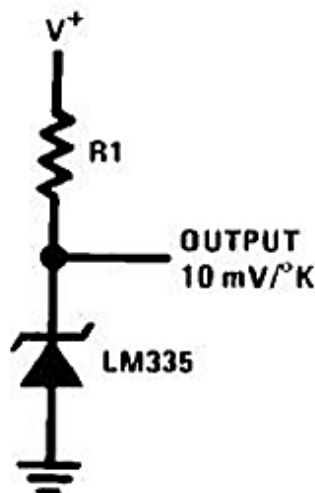


Fig1.19: Schéma électrique du capteur de température le LM335.



***Chapitre 2 :***  
***Chaine d'acquisition des***  
***données et carte Arduino***



## 2.1 Introduction

Le but de la chaîne d'acquisition est de recueillir et transformer la grandeur à mesure sous une forme adaptée à son exploitation. Le capteur est placé en tête de la chaîne d'acquisition, transforme le mesurande en un signal électrique (tension, courant...). Le circuit de conditionnement améliore la caractéristiques du signal de sortie du capteur( filtrage du bruit , amplification, suppression de composant continue ....). Une conversion analogique /numérique du signal peut également être faite afin par exemple de rendre la mesure exploitable par un ordinateur [8].

## 2.2 Eléments constituant une chaîne d'acquisition

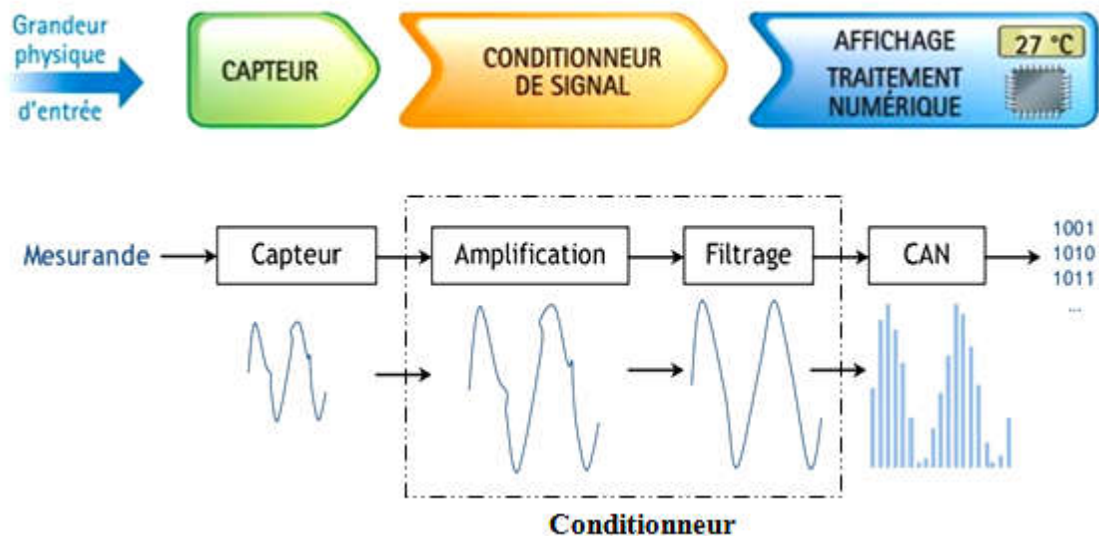


Fig 2.1 : Fonctionnement d'une chaîne d'acquisition.

### 2.2.1 Capteur

Premier élément de la chaîne d'acquisition, le capteur a pour fonction de délivrer un signal électrique de sortie s fonction du mesurande, autrement dit il transforme la mesure de la grandeur physique en grandeur électrique .

### 2.2.2 Conditionneur

Le conditionneur de signaux est le nom de l'instrument que l'on utilise pour convertir un signal d'entrée en un autre signal (sortie) l'objectif est d'amplifier et de convertir le signal [8].

#### 2.2.2.1 Fonctionnement d'un conditionneur

##### 2.2.2.1.1 Conversion de signaux

La fonction principale d'un conditionneur de signal est de capter un signal et de le convertir en un signal électrique plus puissant. La conversion d'un signal est très utile pour les applications industrielles qui utilisent une large gamme de capteurs pour effectuer des mesures. Quand plusieurs capteurs différents sont utilisés, il faut convertir les signaux de sorties pour qu'ils soient utilisable par les instruments auxquels ils sont connectes [8].

### 2.2.2.1.2 Linéarisation

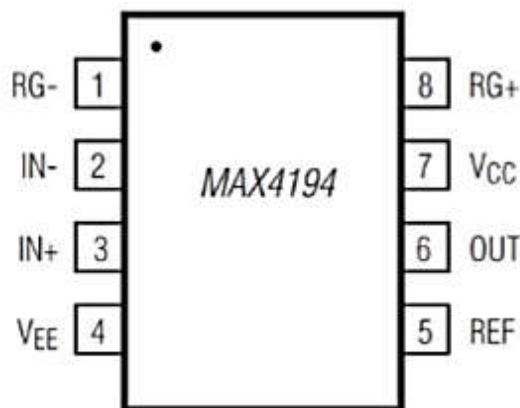
Lorsque le signal produit par le capteur n'est pas linéaire, certains conditionneurs peuvent effectuer une linéarisation qui aura une relation avec la mesure physique. On utilise cette méthode pour avoir plus de précision car certains capteurs ne sont pas complètement linéaire (**Exemple** : thermocouples) [3].

### 2.2.2.2 Amplification

Lorsque les signaux électriques issus des capteurs sont de faible amplitude, il peut être nécessaire de les amplifier pour les adapter à la chaîne de transmission. Il faut savoir que l'amplification (en tension ou en puissance) du signal électrique issu du capteur est un phénomène bruyant: elle s'accompagne d'une dégradation du rapport signal sur bruit. Cela signifie que si l'amplitude du signal utile issue capteur se trouve augmentée, les parasites (bruit) le sont également mais dans des proportions plus grandes encore [12].

#### 2.2.2.2.1 Amplificateurs d'instrumentation

Sont des circuits complets associant plusieurs amplificateurs opérationnels et les composants nécessaires à leur bon fonctionnement: résistances, capacités .... Ils sont destinés aux traitements des faibles signaux électriques. Leur application typique est le traitement de signaux issus de capteurs de mesure. Leur fonctionnement est basé sur le principe de l'amplification différentielle [12].



**Fig 2.2:** Brochage d'un amplificateur d'instrumentation.

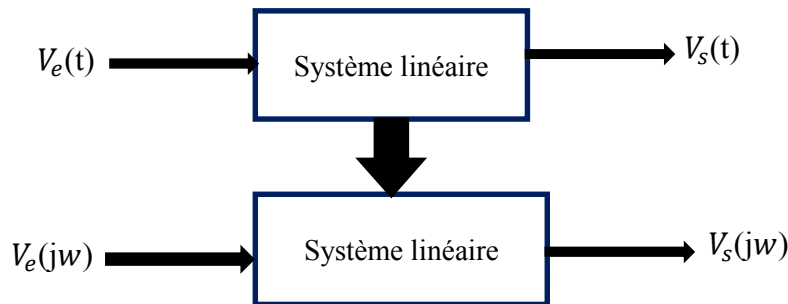
PIN	NOM	FONCTION
1-8	$RG_{-}, RG_{+}$	Connexion de la résistance pour réglé le Gain
2	$IN_{-}$	Entrée inversé
3	$IN_{+}$	Entrée non-inversé
4	$V_{EE}$	Alimentation négative
5	$REF$	Référence de voltage
6	$Out$	Sortie
7	$V_{CC}$	Alimentation positive

**Tableau 2.1:** Paramètres de l'amplificateur.

### 2.2.2.3 Filtrage

#### 2.2.2.3.1 Définition

Le filtrage est une opération linéaire qui consiste à sélectionner certaines parties du spectre d'un signal. Comme tout système linéaire les filtres sont caractérisés par leur fonction de transfert [10].



**Fig 2.3:** Fonction de transfert.

#### 2.2.2.3.2 Utilisation des filtres électriques

Les filtres électriques qui sont très utilisés de nos jours dans plusieurs domaines dont nous citerons :

- Les filtres de radio communication: ils sont utilisés dans les récepteurs, dont une bande de fréquences est sélectionnée par un filtre d'entrée, en éliminant les signaux de fréquences différentes que la fréquences de la bande choisie.
- Les filtre de modulation et de démodulation: dans une transmission, on utilise toujours un signal porteur (fréquence porteuse ), il est alors nécessaire de limiter au maximum le spectre des fréquences émises pour ne pas encombrer le support de transmission.

Ce rôle est rempli par un filtre de modulation: de même à la réception , le filtre de modulation ne retiendra que la bande des fréquences correspondant au signal émis .

- Les filtres d'analyse spectrale: l'analyse d'un signal noyé dans un bruit nécessite l'utilisation d'un filtre en peigne, qui n'est qu'une suite de filtre ne laissant chacun qu'une bande très étroite de fréquences .
- Les filtre améliorant signal / bruit: lorsqu'on connaît les fréquences d'un signal noyé dans un bruit, il est possible d'améliorer la qualité du signal à l'aide d'un filtre qui ne laissera passer que ces fréquences [9].

### 2.2.2. 3.3 Types des filtres

#### A) Filtre passe bas

Un filtre passe bas laisse passer les basses fréquences et qui atténue les hautes fréquences [11].

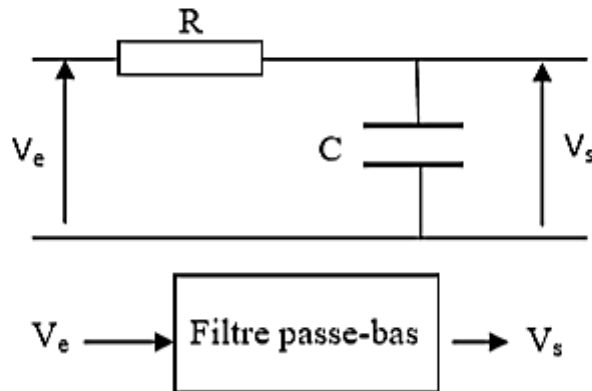


Fig 2.4: Schéma d'un filtre passe bas.

#### -Fréquence de coupure

La fréquence de coupure pour des filtres réels est la fréquence à laquelle l'amplitude de sortie est à  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  de la valeur maximale [11] :  $U_s = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$

#### -Fonction de transfert

La fonction de transfert est définie par [11] ;  $H(j\omega) = \frac{V_s}{V_e}$  (2.1)

On utilise le diviseur de tension :  $V_s = V_e \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = V_e \frac{1}{1 + jRC\omega}$

On pose  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \quad (2.2)$$

$V_e$  : Signal d'entrée.

$V_s$  : Signal de sortie.

Le module de la fonction de transfert :

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \quad (2.3)$$

### B) Filtre passe haut

Un filtre passe-haut est un filtre qui laisse passer les hautes fréquences et qui atténue les basses fréquences, c'est-à-dire les fréquences inférieures à la fréquence de coupure [11].

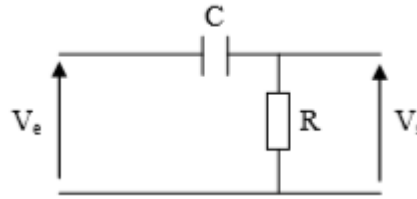


Fig 2.5: Circuit d'un filtre passe haut.

#### -Fonction de transfert

La fonction de transfert est définie par [11] ;  $H(j\omega) = \frac{V_s}{V_e}$

On utilise le diviseur de tension:  $V_s = V_e \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = V_e \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$

On pose  $\omega_0 = \frac{1}{RC}$

$$H(j\omega) = \frac{\frac{\omega}{\omega_0} j}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} \quad (2.4)$$

Le module de la fonction de transfert :

$$|H(j\omega)| = \left| \frac{V_s}{V_e} \right| = \frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \quad (2.5)$$

### C) Filtre passe bande

Un filtre passe-bande c'est un filtre permet de filtrer les fréquences qui sont en dehors de sa bande passante. Ce genre de filtre est un peu plus complexe que les autres filtres [11].

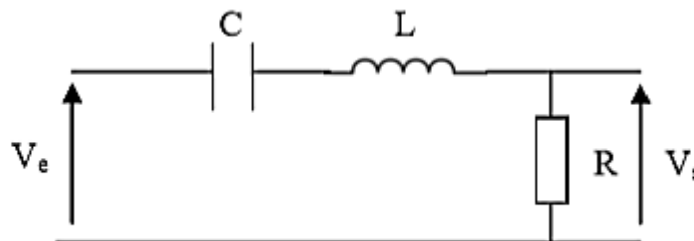


Fig 2.6: Circuit d'un filtre passe bande RLC.

## - Caractéristiques des filtres passe bande

1. **Fréquence centrale  $\omega_0$**  : C'est la fréquence à laquelle la fonction de transfert du filtre est purement réelle. On l'appelle aussi la fréquence de résonance. Pour un filtre passe-bande, l'amplitude de la fonction de la transfert est maximale à la fréquence centrale [11].
2. **Largeur de bande  $\beta$**  : C'est la largeur de la bande passante.
3. **Facteur de qualité  $Q$**  : C'est le rapport entre la fréquence centrale et la largeur de bande. le facteur de qualité est une mesure de la largeur de la bande passante, indépendamment de la fréquence centrale:  $Q = \frac{\omega_0}{\beta}$  [11].

### 4. Fonction de transfert

$$H(j\omega) = \frac{V_s}{V_e}$$

On utilise le diviseur de tension:  $V_s = V_e \frac{R}{R + \frac{1}{jC\omega} + jL\omega}$

$$H(j\omega) = \frac{R}{R + \frac{1}{jC\omega} + jL\omega}$$

On multiplie le numérateur et le dénominateur par  $jC\omega$ .

$$\text{Donc: } H(j\omega) = \frac{jRC\omega}{1 - LC\omega^2 + jRC\omega}$$

On pose:  $\frac{1}{LC} = \omega_0^2$ ,  $\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = Q$

$$H(j\omega) = \frac{jQ\omega_0}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j\frac{\omega}{Q\omega_0}} \quad (2.6)$$

## D) Filtre coupe- bande

Ce genre de filtre permet de tout passer à la sortie sauf certaines fréquences. Un exemple d'application est un filtre qui permet d'éliminer un canal TV d'une transmission [11].

Le circuit de filtre coupe bande est le même circuit que le passe-bande, sauf que la sortie est prise aux bornes de l'inductance et la capacitance en série [11].

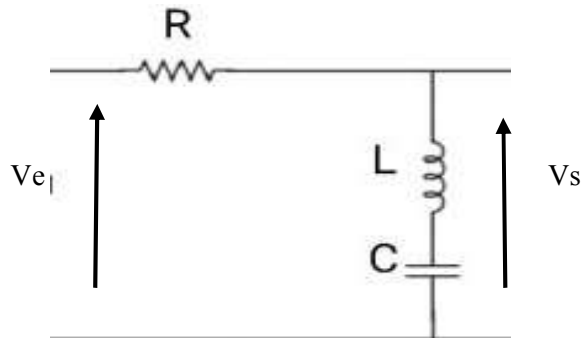


Fig 2.7: Circuit d'un filtre coupe bande RLC.

**-Fonction de transfert**

$$H(j\omega) = \frac{V_s}{V_e}$$

On utilise le diviseur de tension pour calculer :  $V_s = V_e \frac{\frac{1}{jC\omega} + jL\omega}{R + \frac{1}{jC\omega} + jL\omega}$

$$H(j\omega) = \frac{\frac{1}{jC\omega} + jL\omega}{R + \frac{1}{jC\omega} + jL\omega} \tag{2.7}$$

**2.2.3 Conversion Analogique-Numérique**

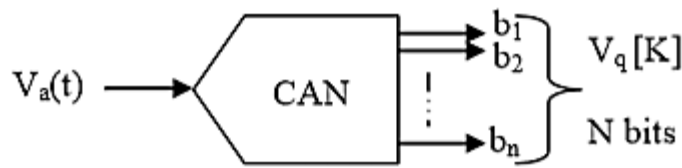
**2.2.3.1 Définition**

Un convertisseur analogique/numérique (CAN) est un dispositif électronique permettant la conversion d'un signal analogique en un signal numérique.

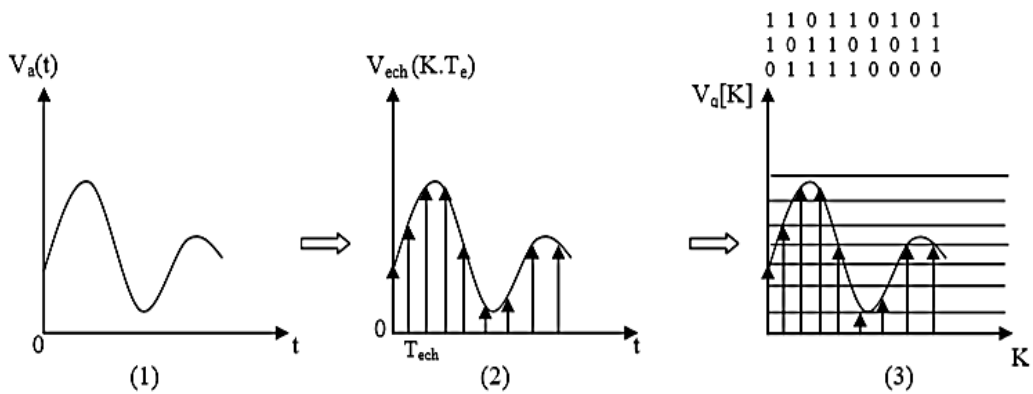
Cette première définition pour être complète on appelle deux autres, celles des signaux analogique et numériques [13].

**Signal analogique :** signal continu en temps et en amplitude.

**Signal numérique :** signal échantillonné et quantifié, discret en temps et en amplitude [13].



**Fig 2.8:** Convertisseur analogique numérique.



**Fig 2.9:** (1) signal analogique (2) signal échantillonné (3) signal quantifié.

### -Echantillonnage

L'échantillonnage d'un signal continu est l'opération qui consiste à prélever des échantillons du signal pour obtenir un signal discret [8].

Le signal analogique,  $v_a(t)$  continu en temps et en amplitude est échantillonné à une période d'échantillonnage constante  $T_{ech}$ . On obtient donc un signal échantillonné  $V_{ech}(k.T_{ech})$  discret en temps et continu en amplitude.

### -Quantification

L'opération de quantification consiste à attribuer un nombre binaire à toute valeur prélevée au signal lors de l'échantillonnage. C'est le CAN qui réalise cette opération. Chaque niveau de tension est codé sur  $p$  bits, chaque bit pouvant prendre deux valeurs (0 ou 1) [8].

$V_{ech}(k.T_{ech})$  est quantifié pour obtenir finalement un signal numérique  $V_q[k]$  discret en temps et en amplitude.

La quantification est liée à la résolution du CAN (son nombre de bits); dans l'exemple précédent  $V_q[k]$  peut prendre huit amplitudes différentes (soit  $2^3$ , 3 est le nombre de bits du CAN).

## 2.3 Carte Arduino

### 2.3.1 Qu'est-ce que l'arduino ?

ARDUINO est une plateforme de prototypage à bas coût sous licence Creative Commons. Basée sur les microcontrôleurs ATMEL, elle permet de réaliser rapidement des projets électroniques sur les trois plateformes Linux, Mac et Windows. Il peut être utilisé pour construire des objets interactifs indépendants (prototypage rapide), ou bien peut être connecté à un ordinateur pour communiquer avec ses logiciels (ex.: Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Usine Holly Höck, Pure Data, Super Collider ...). En 2011, les versions vendues sont préassemblées. Dessin formations sont fournies pour ceux qui souhaitent assembler l'ARDUINO eux-mêmes. Le projet ARDUINO a reçu un titre honorifique à l'Ars Electronica 2006, dans la catégorie Digital Communities [7].

### 2.3.2 Définition du module arduino

Arduino est une carte électronique sur laquelle se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques [14].

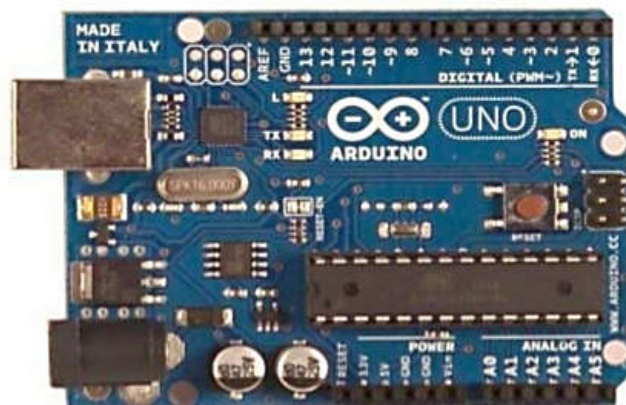


Fig 2.10 : Carte Arduino-UNO.



### 2.3.3 But et l'utilité de la carte Arduino

Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, nous allons programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique.

L'utilité est sans doute quelque chose que l'on perçoit mal lorsque l'on débute, mais une fois que vous serez rentré dans le monde de l'Arduino, vous serez fasciné par l'incroyable puissance dont il est question et des applications possibles [14].

### 2.3.4 Applications du module Arduino

- Contrôler les appareils domestiques..
- Fabriquer votre propre robot.
- Faire un jeu de lumières.
- Communiquer avec l'ordinateur.
- Télécommander un appareil mobile (modélisme)... etc.

### 2.3.5 Types de la carte arduino

Il existe plusieurs types de carte Arduino:

- Arduino UNO.
- Arduino Leonardo.
- Arduino Mega 2560.
- Arduino Nano.

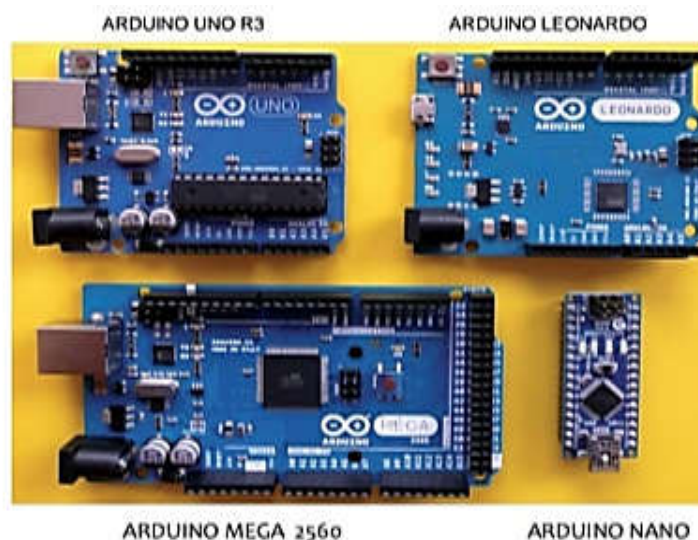


Fig 2.11: Types de carte Arduino.

### 2.3.6 Pourquoi arduino UNO

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation, et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs, tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit[15]:

**Le prix (réduits):** les cartes arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module arduino peut être assemblée à la main.

**Multi plateforme:** le logiciel arduino, écrit en JAVA, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.

**Un environnement de programmation clair et simple:** l'environnement de programmation arduino (le logiciel arduino IDE) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.

**Logiciel Open Source et extensible:** le logiciel arduino et le langage arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le logiciel de programmation des modules arduino est une application JAVA multi plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le programme au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

**Matériel Open source et extensible:** les cartes arduino sont basées sur les Microcontrôleurs atmel ATMEGA8, ATMEGA168, ATMEGA 328, les schémas des modules sont publiés sous une licence créative commons, et les concepteurs des circuits expérimentés peuvent réaliser leur propre version des cartes arduino, en les complétant et en les améliorant. Même les utilisateurs relativement inexpérimentés peuvent fabriquer la version sur plaque d'essai de la carte Arduino, dont le but est de comprendre comment elle fonctionne pour économiser le coût.

### 2.3.7 Constitution de la carte Arduino UNO

Un module arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur ATMEL AVR, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un boot loader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire [10].

#### 2.3.7.1 Partie matérielle

Généralement tout module électronique qui possède une interface de programmation est basé toujours dans sa construction sur un circuit programmable ou plus [15].

##### 2.3.7.1.1 Microcontrôleur ATMega328

Un microcontrôleur ATMega328 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit au temps des pionniers de l'électronique. Aujourd'hui, en soudant un grand nombre de composants encombrants ; tels que les transistors; les résistances et les condensateurs, tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C .

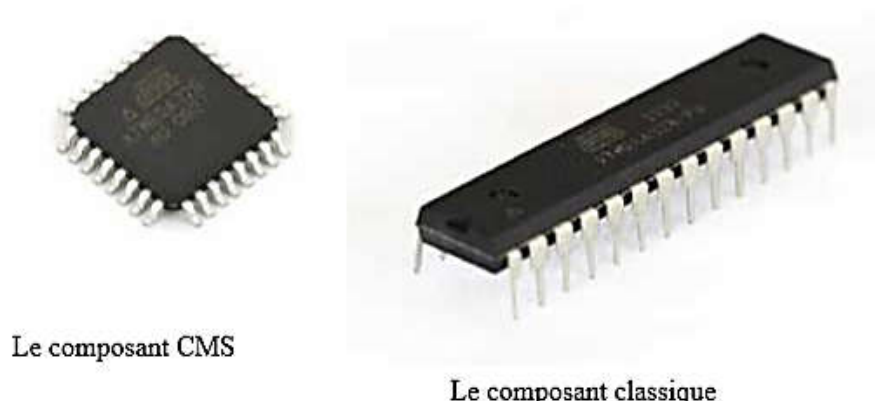


Fig 2.12 : Microcontrôleur ATMega328.

Le microcontrôleur ATmega328 est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur. Globalement, l'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement sur [15] :

**La mémoire Flash:** C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible mémoire programme de 32Ko (dont boot loader de 0.5 ko) [15].

**RAM :** c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 ko.

**EEPROM :** C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme [15].

### 2.3.7.1.2 Entrées/sorties numériques

Chacune des 14 broches numériques de la carte Uno (numérotées de 0 à 13) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions `pinMode()`, `digitalWrite()`, et `digitalRead()` du langage Arduino. Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne «résistance de rappel » (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20 à 50kOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction `digitalWrite(broche,HIGH)` [16].

Il y a entre ces broches celles qui ont des fonctionnalités en plus :

**Communication série:** utilisée pour recevoir (RX) et transmettre (TX) les données séries de niveau TTL. Ces broches sont connectées aux broches correspondantes de circuit intégré ATmega16U2 programmé en convertisseur USB/Série de la carte (composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur). On fait appel à la transmission série travers ces broches avec l'instruction `Serial.Print()`, à condition que le câble USB déconnecté, sinon il va y avoir un chevauchement.

**Interruptions externes :** (broches 2 et 3). Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur.

**Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée):** (broches 3, 5, 6, 9, 10 et 11). Fournissant une impulsion PWM 8 bits à l'aide de l'instruction `analogWrite()`.

**SPI (Interface Série Périphérique):** broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI disponible avec une librairie pour la communication SPI. Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ISCP.

**I2C:** broche 4 (SDA) et (SCL). Supportent les communications de protocole I2C, disponible en utilisant la librairie `Wire/I2C`.

**LED:** broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsqu'elle est au niveau BAS, la LED est éteinte.

### 2.3.7.1.3 Entrées analogiques :

La carte Uno dispose de 6 entrées analogiques (numérotées de 0 à 5), chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (c.à.d sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la très utile fonction `analogRead()` du langage Arduino [16].

**NB:** les broches analogiques peuvent être utilisées en tant que broches numériques : elles sont numérotées en tant que broches numériques de 14 à 19, aux cas où le nombre de broches numériques n'est suffisant.

**Autre broches:** Il y a deux autres broches disponibles sur la carte:

**AREF:** Tension de référence pour les entrées analogiques (si différent du 5V), utilisée avec l'instruction `analogReference()`. Elle utilisée pour comparer la valeur d'une tension d'entrée par rapport à la valeur d'une tension de référence choisie.

**Reset:** Mettre cette broche au niveau BAS entraîne la réinitialisation du microcontrôleur. Cette broche est utilisée pour ajouter un bouton de réinitialisation sur le circuit qui bloque celui présent sur la carte.

### 2.3.7.1.4 Alimentation de la carte ARDUINO- UNO

Pour fonctionner, la carte a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB ou bien par une alimentation externe qui est comprise entre 7V et 12V. Cette tension doit être continue et peut par exemple être fournie par une pile 9V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte. Les broches d'alimentation se répartissent comme suit [7]:

**VIN :** La tension en entrée vers la carte ARDUINO quand on utilise une source d'alimentation externe (par opposition aux 5 V provenant de la connexion USB ou d'une autre source d'alimentation régulée).

**5V :** La broche émet du 5 V régulé depuis le régulateur de la carte. La carte peut être alimentée avec du courant depuis la prise électrique CC (7 à 12 V), le connecteur USB (5V), ou la broche VIN de la carte (7 à 12 V). La tension d'alimentation à travers des broches 5 ou 3,3 V contourne le régulateur et peut endommager votre carte. Nous ne vous le conseillons pas.

**3V :** Une alimentation de 3,3 V générée par le régulateur intégré. Le flux maximum de courant est de 50 mA.

**GND :** Les broches de Terre (masse).

**IOREF :** Cette broche de la carte ARDUINO fournit la tension de référence à laquelle le microcontrôleur fonctionne. Un blindage correctement configuré peut lire la tension de la broche IOREF et sélectionner la source d'alimentation appropriée ou activer les convertisseurs de tension sur les sorties pour travailler à 5 ou 3,3 V [7].

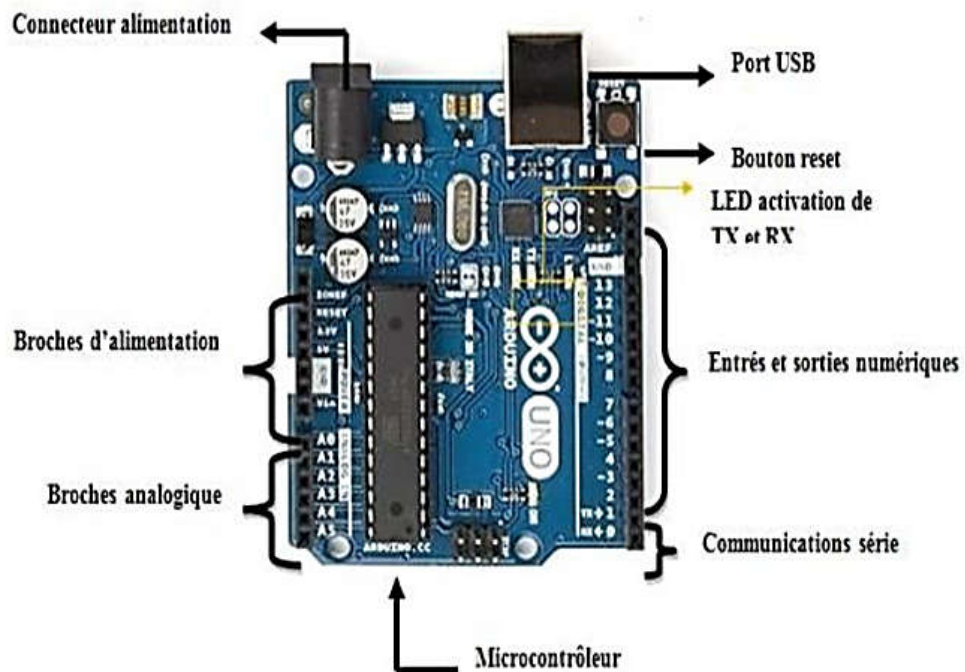


Fig 2.13: Constitution de la carte Arduino-UNO.

### 2.3.7.2 Partie programme

La carte Arduino est une carte électronique qui ne sait rien faire sans qu'on lui dise quoi faire. Pourquoi ? Eh bien c'est dû au fait qu'elle est programmable. Cela signifie qu'elle a besoin d'un programme pour fonctionner.

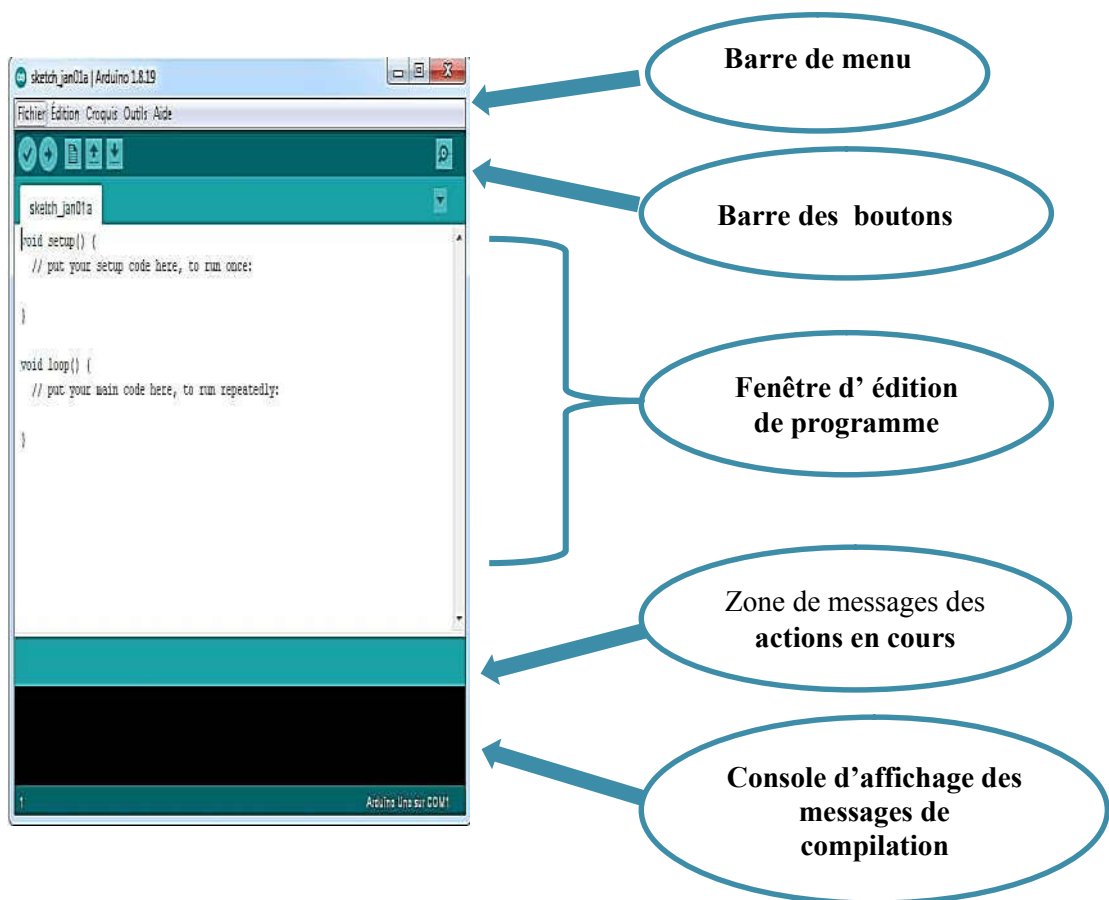
L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux) [14].

#### 2.3.7.2.1 Environnement de la programmation

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino [14].

#### 2.3.7.2.2 Structure générale du programme (IDE Arduino)

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en c [14].



**Fig2.14:** Interface IDE Arduino.

### 2.3.7.2.3 Injection du programme

Avant d'envoyer un programme dans la carte, il est nécessaire de sélectionner le type de la carte (Arduino UNO) et le numéro de port USB (COM 3) comme à titre d'exemple montre cette figure [14].

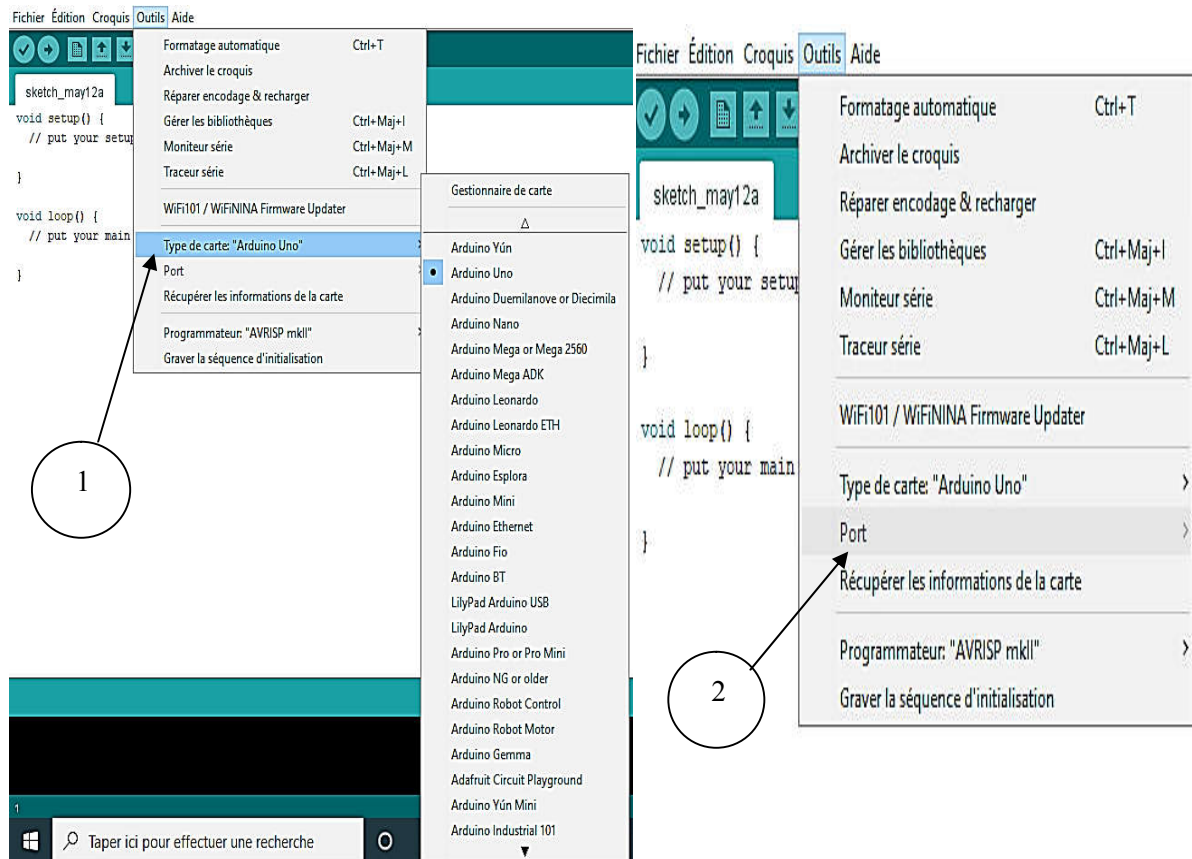


Fig 2.15 : Paramétrage de la carte.

### 2.3.7.2.4. Description du programme

Un programme Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle (ligne par ligne). La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres dans l'ordre défini par les lignes de codes [14].

#### Commentaires

Les commentaires sont, en programmation informatique, des portions du code source ignorées par le compilateur ou l'interpréteur, car ils ne sont pas censés influencer l'exécution du programme [14].

#### Définition des variables

Pour notre montage, on va utiliser une sortie numérique de la carte qui est par exemple la 3<sup>ème</sup> sortie numérique ; cette variable doit être définie et nommée ici moteur pin 3 ; la syntaxe est pour désigner un nombre entier est int.

```
4 int moteur 1 = 3; // mettre le moteur au pin 3-----
```



### Configuration des entrées et des sorties void setup ()

les broches numériques de l'arduino peuvent aussi bien être configurées en entrées numériques ou en sorties numériques; ici on va configurer moteur pin en sortie ; pin mode (nom,état ) est une des quatre fonctions relatives aux entrées – sorties numériques .

```
5 void setup() {-----
6 // mettre le moteur 1 comme sortie:-----
7 pinMode(motor 1, OUTPUT); // lorsque le pin 3 est activé le moteur tourne-----
8 }-----
```

### Programmation des interactions void loop

Dans cette boucle ,on définit les opérations à effectuer dans l'ordre

**digital write** (nom, état) est une autre des quatre fonctions relatives aux entrées – sorties numériques [15].

- delay (temps en mili-seconde ) est la commande d'attente entre deux instructions.
- chaque ligne d'instruction est terminée par un point virgule. ne pas oublier les accolades qu'encadrent la boucle.

```
9 void loop() {-----
10 digital write ( moteur 1,HIGH); -----
11 delay (3000)-----
12 digital Write (moteur 1, LOW);-----
13 delay (1000)-----
14 }-----
```

#### 2.3.7.2.5. Etapes de télé versement du programme

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino via le port USB [15].

1. On conçoit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
2. On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation).
3. Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
4. On charge le programme sur la carte.
5. On câble le montage électronique.
6. L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.
7. On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome (pile 9 volts par exemple).
8. On vérifie que notre montage fonctionne.

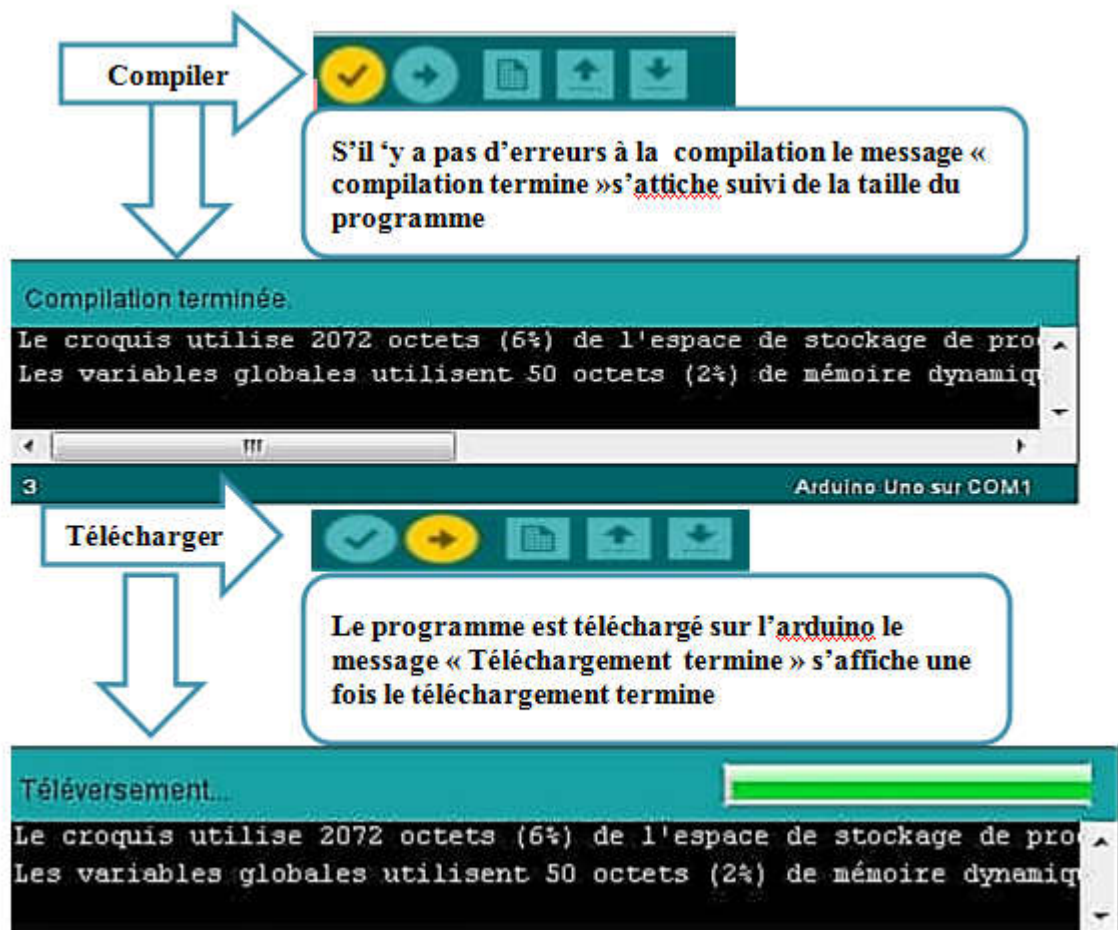


Fig 2.16 : Etapes de téléchargement du code.

### 2.3.7.2.6 Accessoires de la carte Arduino

La carte Arduino généralement est associée aux accessoires qui simplifient la réalisation [15].

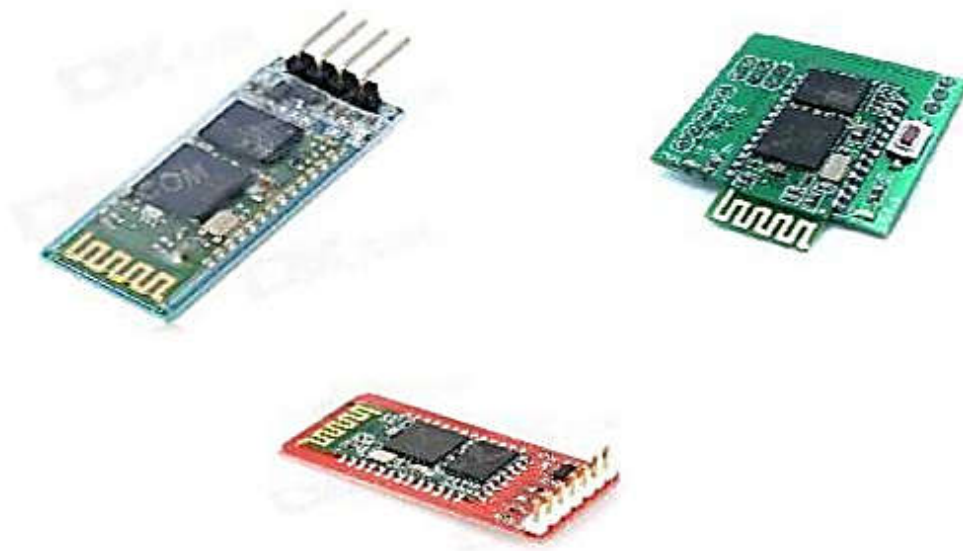
#### 2.3.7.2.6.1 Communication

Le constructeur a suggéré qu'une telle carte doit être dotée de plusieurs ports de communications on peut éclaircir actuellement quelques types.

##### 2.3.7.2.6.1.1 Module Arduino Bluetooth

Le Module Microcontrôleur Arduino Bluetooth est la plateforme populaire Arduino avec une connexion série Bluetooth à la place d'une connexion USB, très faible consommation d'énergie, très faible portée (sur un rayon de l'ordre d'une dizaine de mètres), faible débit, très bon marché et peu encombrant [15].





**Fig 2.17:** Exemples de modules Bluetooth.

#### 2.3.7.2.6.1.2 Module shield Arduino Wifi

Le module Shield Arduino Wifi permet de connecter une carte Arduino à un réseau internet sans fil Wifi [17].



**Fig 2.18:** Exemples de Modules shield wifi.

#### 2.3.7.2.6.2 Capteurs

Un capteur est une interface entre un processus physique et une information manipulable. Il ne mesure rien, mais fournit une information en fonction de la sollicitation à laquelle il est soumis. Il fournit cette information grâce à une électronique à laquelle il est associé [15].

### 2.3.7.2.6.3 Drivers

Il existe plusieurs drivers comme des cartes auxiliaires qui peuvent être attachées avec l'Arduino afin de faciliter la commande ; on peut citer quelques types [15].

#### 2.3.7.2.6.3 .1 Driver L298N

En général, un moteur shield est basé sur le composant **L298N** ou un composant similaire, qui est un double Pont-H conçu spécifiquement pour ce cas d'utilisation. C'est un module extrêmement utile pour le contrôler de robots et ensembles mécanisés. Il peut contrôler deux moteurs à courant continu ou un moteur pas-à-pas 4 fils 2 phases. Il est conçu pour supporter des tensions plus élevées, des courants maximum de 2 A, tout en proposant une commande logique TTL (basse tension, courant faible, idéal donc pour un microcontrôleur). Il peut piloter des charges inductives comme des relais, solénoïdes, moteurs continus et moteurs pas-à-pas. Les deux types de moteurs peuvent être contrôlés aussi bien en vitesse (PWM) qu'en direction. Toutes les sorties en puissance sont déjà protégées par des diodes anti-retour. Il s'agit d'un module prêt à l'emploi.

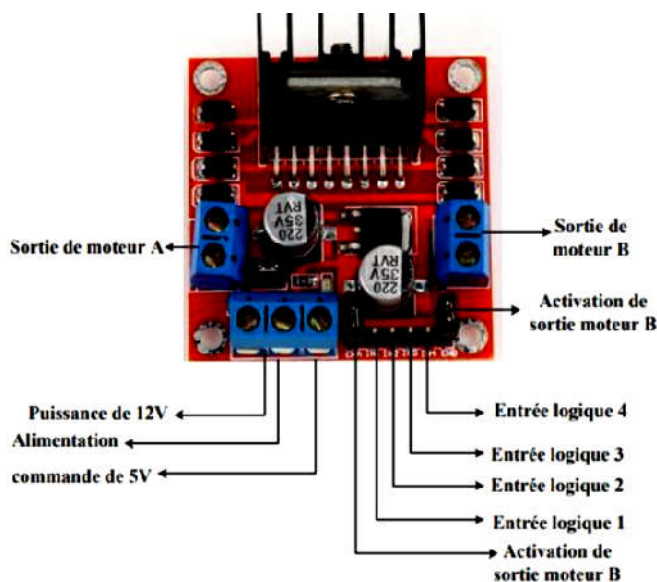


Fig 2.19: Driver L298N.



Fig 2.20: Moteurs électriques.

## 2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné en premier temps des généralités sur la chaîne d'acquisition et ses principaux éléments (capteur, conditionneur, amplificateur, filtrage, convertisseur.....etc). Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons présenté la carte Arduino-Uno, sa définition, ses différents modèles, ses caractéristiques et ses applications.

***Chapitre 3 :***  
***Simulation et réalisation***

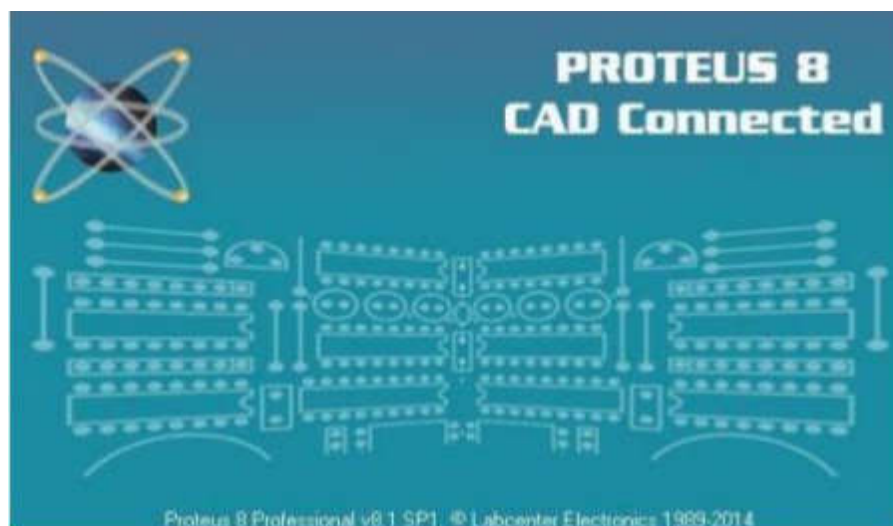
### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, afin de mener à bien la réalisation d'un système de contrôle et de régulation de la température, nous allons, dans un premier temps, présenter les principaux éléments et composants utilisés. Les outils de conception et simulation, et les logiciels de programmation de notre système seront décrits dans la deuxième partie de ce chapitre. Dans la dernière partie nous allons faire une analyse expérimentale du système.

### 3.2 Logiciel Proteus

Proteus est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Electronics, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO (conception assistée par ordinateur) dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES. Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages : Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser. Le support technique est performant. L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement conçu pour éditer des schémas électriques puis procéder à une animation en temps réel du montage. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits [7].



**Fig 3.1:** Interface du logiciel Proteus.

### 3.3 Sélection des composants à utiliser

Pour faire la sélection des éléments qu'on veut utiliser:

Un clique sur l'icône (Component Mode) puis sur bouton parcourir à la bibliothèque[7].

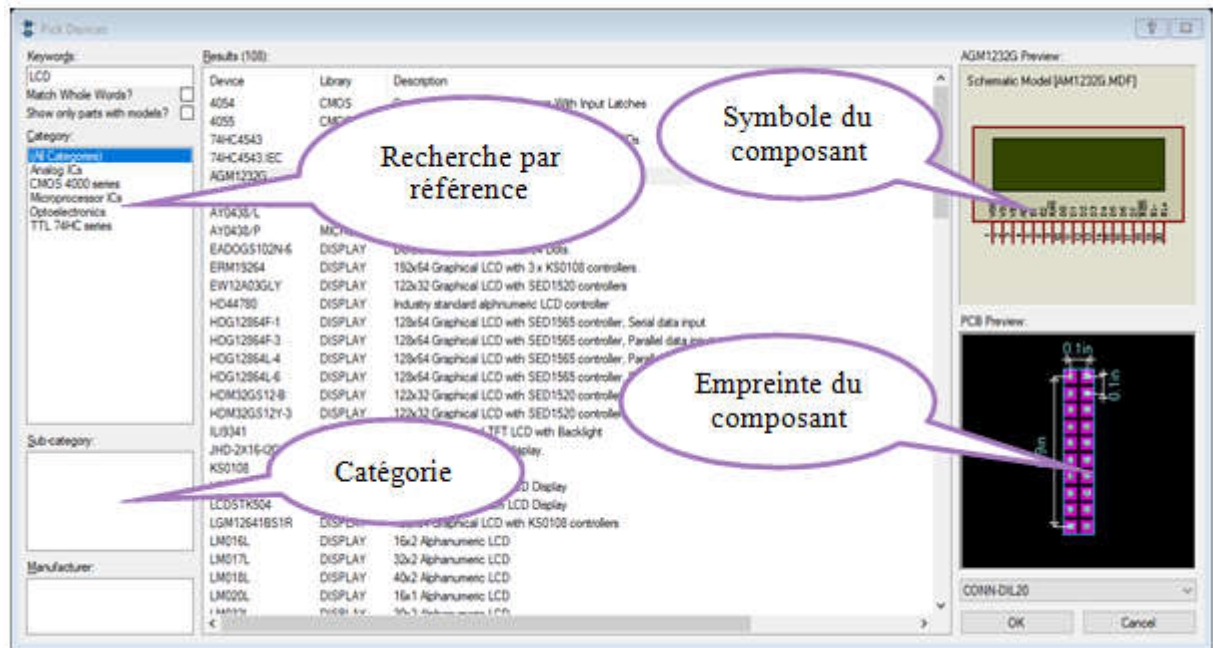


Fig 3.2: Bibliothèque proteus.

### 3.4 Schéma synoptique général

Le schéma synoptique général de notre dispositif est indiqué par la Figure 3.3. En ce qui concerne l'élément principal de ce dispositif, notre choix était la carte ARDUINO UNO.

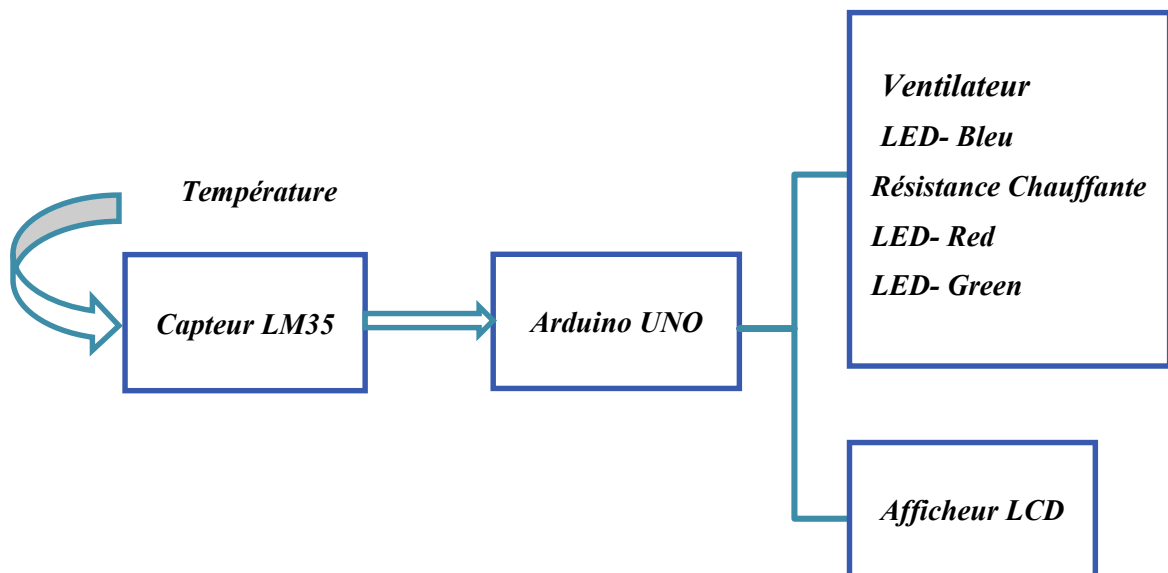


Fig 3.3: Schéma synoptique du dispositif.

### 3.4 Composants utilisés

Dans ce projet on a utilisés les composants suivants:

- Arduino-uno;
- Capteur de température LM 35;
- Afficheur LCD 4\*16;
- LED;
- Ventilateur (Moteur DC);
- Résistances;
- Relais;
- Transistor;
- Diodes;
- Résistance chauffante.

#### 3.4.1 Afficheur LCD (liquid Crystal display)

Les afficheurs à cristaux liquides, appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA).

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), et aussi par leurs caractéristiques techniques et leur tension de service. Certains sont dotés d'un rétro-éclairage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module [7].



**Fig 3.4:** Afficheur LCD 2\*16.

Brochage	Nom	Niveau	Fonction
1	V <sub>SS</sub>	-	Masse
2	V <sub>DD</sub>	-	Alimentation positive +5V
3	VE	0-5V	Cette tension permet, en la faisant varier entre 0 et +5V, l'ajustement du contraste de l'afficheur
4	RS	TTL	Sélection du registre (Register Select) Grâce à cette broche, l'afficheur est capable de faire la différence entre une commande et une donnée. Un niveau bas indique une commande et un niveau haut indique une donnée.
5	R/W	TTL	Lecture ou écriture (Read/Write) L : Écriture/H : Lecture
6	E	TTL	Entrée de validation (Enable) active sur front descendant. Le niveau haut doit être maintenue pendant au moins 450 ns à l'état haut.
7	D0	TTL	
8	D1	TTL	
9	D2	TTL	
10	D3	TTL	D0 → D7 Bus de données bidirectionnel 3 états (haute impédance lorsque E=0)
11	D4	TTL	
12	D5	TTL	
13	D6	TTL	
14	D7	TTL	
15	A	-	Anode rétro éclairage (+5V)
16	K	-	Cathode rétro éclairage (masse)

**Tableau 3.1 :** Paramètres de l'afficheur LCD.

### 3.4.1.1 Avantages et inconvénients des écrans LCD

#### Les avantages

- La faible consommation d'énergie qui est inférieure à celle des écrans CRT et l'absence de dégagement de chaleur. Au niveau de la qualité de l'image.
- Les écrans LCD actuels.
- Démontrant de très bons niveaux de gris et de couleur [7].

#### Les inconvénients

- Manques de luminosité.
- Contraste limité et couleur peu saturée.
- Temps de repense insuffisant pour les images animées et surtout l'angle de vision trop faible [7].

### 3.4.2 LED (Light – Emitting Diode)

Les diodes électroluminescentes (DEL), sont très utilisées en électronique, elles émettent de la lumière lorsqu'elles sont parcourues par un courant. La couleur de cette lumière peut varier selon le matériau utilisé. Les principales couleurs qu'on rencontre sont : rouge, vert et jaune [17].



Fig 3.5: Diodes électroluminescentes (LED).

#### 3.4.2.1 Avantages et inconvénients de la LED

Sa facilité de montage sur un circuit imprimé, sa petite taille, et sa longue durée de vie et d'autres caractéristiques font de la diode électroluminescente un composant de plus en plus inévitable. Certaines critiques, comme le prix de cette technologie dans les écrans de téléviseurs ou la présence de matériaux toxiques dans sa fabrication, tentent cependant de freiner son développement.

Les LED font partie des dispositifs d'éclairage les plus performants du point de vue énergétique, car elles convertissent très peu d'électricité en chaleur[18].

#### 3.4.3 Moteur DC (Ventilateur)

Les moteurs à courant continu sont des appareils qui transforment l'énergie électrique qu'ils reçoivent en énergie mécanique. Comme leur nom l'indique, ils fonctionnent en tensions et en courants continus [18].



Fig 3.6 : Ventilateur (moteur 5V DC).



### 3.4.4 Résistance

Une résistance est un composant électronique ou électrique dont la principale caractéristique est d'opposer une plus ou moins grande résistance (mesurée en ohms) à la circulation du courant électrique. La résistance électrique traduit la propriété d'un composant à s'opposer au passage d'un courant électrique (l'une des causes de perte en ligne d'électricité). Elle est souvent désignée par la lettre R et son unité de mesure est l'Ohm (symbole:  $\Omega$ ). Elle est liée aux notions de résistivité et de conductivité électrique [7].



Fig 3.7 : Résistance.

### 3.4.5 Relais

Un relais électromécanique est un système électrique permettant de dissocier la partie puissance de la partie commande : il permet l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique de par un second circuit complètement isolé. C'est donc un interrupteur qui se commande avec une tension continue de faible puissance. La partie interruptrice sert à piloter des charges secteur de forte puissance (lasers, platine, ou autre partie sur du 220V) [19].

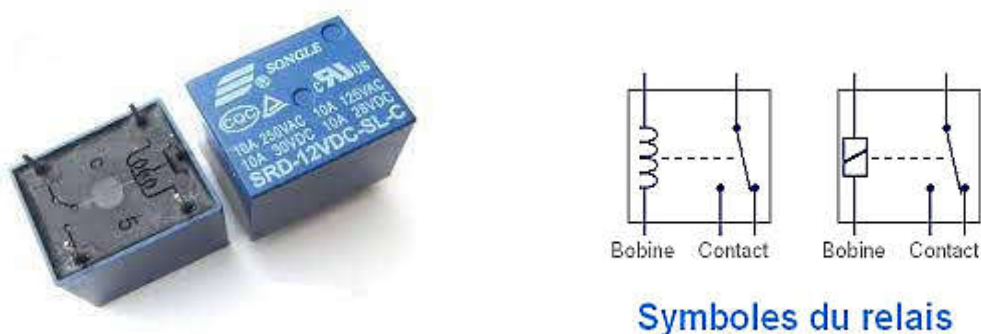


Fig 3.8: Relais électrique.

### 3.4.5.1 Fonctionnement du relais

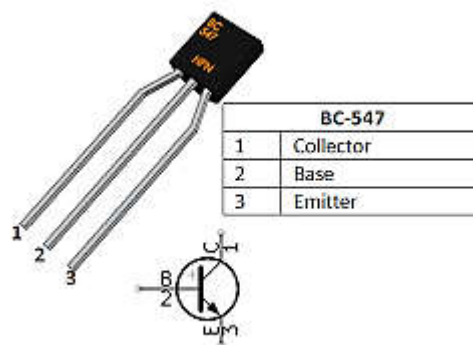
Un relais se compose d'une bobine et d'un ou plusieurs contacts. Si une tension est appliquée à la bobine, cela provoque la création d'un champ magnétique. Par le champ magnétique de la bobine, une plaquette en fer est attirée ce qui a pour effet de réaliser le contact. Si on supprime la tension, le champ magnétique disparaît et la plaquette en fer revient dans sa position de repos par l'action d'un ressort, ce qui désactive le contact [19].

On distingue 3 types de contacts : normalement ouvert, normalement fermé et contact inverseur.

- Un contact normalement ouvert (ou contact à fermeture) est ouvert lorsqu'il n'y a pas de tension de commande et se ferme quand elle est créée.
- Un contact normalement fermé (ou contact de repos) est fermé dans l'état de repos et s'ouvre à la commande.
- Un contact inverseur est une combinaison des deux. Dans l'état de repos, un des deux contacts est fermé et l'autre ouvert, et lorsque le relais est commandé la situation s'inverse.

### 3.4.6 Transistor

Le transistor, également connu sous le nom de transistor bipolaire à jonctions (BJT), est un dispositif à semi – conducteurs alimenté en courant .Il peut servir à régler le flux de courant électrique dans lequel une petite quantité de courant dans la base contrôle un courant plus important entre le collecteur et l'émetteur. Il est possible d'utiliser les transistors pour amplifier un signal faible, comme un oscillateur ou comme un commutateur. Ils sont généralement faits de quartz de silicium où les couches semi-conductrices de type N et P sont superposées [20].



**Fig 3.9:** Transistor NPN.

Le BC547 est fabriqué dans un boîtier plastique TO-92. Lorsque l'on regarde le côté plat avec les fils dirigés vers le bas, les trois fils sortant du transistor sont, de gauche à droite, le collecteur ,la base et l'émetteur.

### 3.4.6.1 Caractéristiques électriques du transistor BC 547C

- Type de transistor : NPN;
- Tension collecteur- émetteur maximum : 45 V;
- Tension collecteur-base maximum : 50 V ;
- Tension émetteur- base maximum : 6 V;
- Courant collecteur continu maximum : 0.1 A;
- Dissipation de puissance maximum : 0.5 W;
- Fréquence de transition minimum : 150 MHz;
- Boîtier : TO-92.

### 3.4.7 Diode

Une diode est un dipôle dont le rôle, dans la plupart des montage, est de ne laisser passer le courant électrique que dans un seul sens . Cela semble bien limite et cependant l'ingéniosité des techniciens en a fait élément essentiel dont les usages sont à la fois très nombreux et très divers.il rare qu'un circuit électronique ne comporte pas une ou plusieurs diodes [17].



Fig 3.10: Diode.

### 3.4.9 Résistance chauffante

La résistance chauffante est utilisée dans divers procédés où la température d'un objet ou procédé doit être augmentée. L'élément chauffant électrique fonctionne en convertissant l'énergie électrique en chaleur. La chaleur est ensuite transférée au procédé par diverses formes de transfert de chaleur [21].



Fig 3.11: Résistance chauffante.

### 3.5 Résultats de simulation par « PROTEUS »

Dans ce travail, nous avons fixé une température ambiante de 20°C jusqu'à 30°C où la température est normale, à l'aide du capteur de température LM35, et un écran LCD pour afficher les valeurs de la température et l'état de l'environnement, la figure 3.12 illustre le circuit électronique global à base d'une carte Arduino sous Proteus, on aura pour ce faire trois cas de figures possibles:

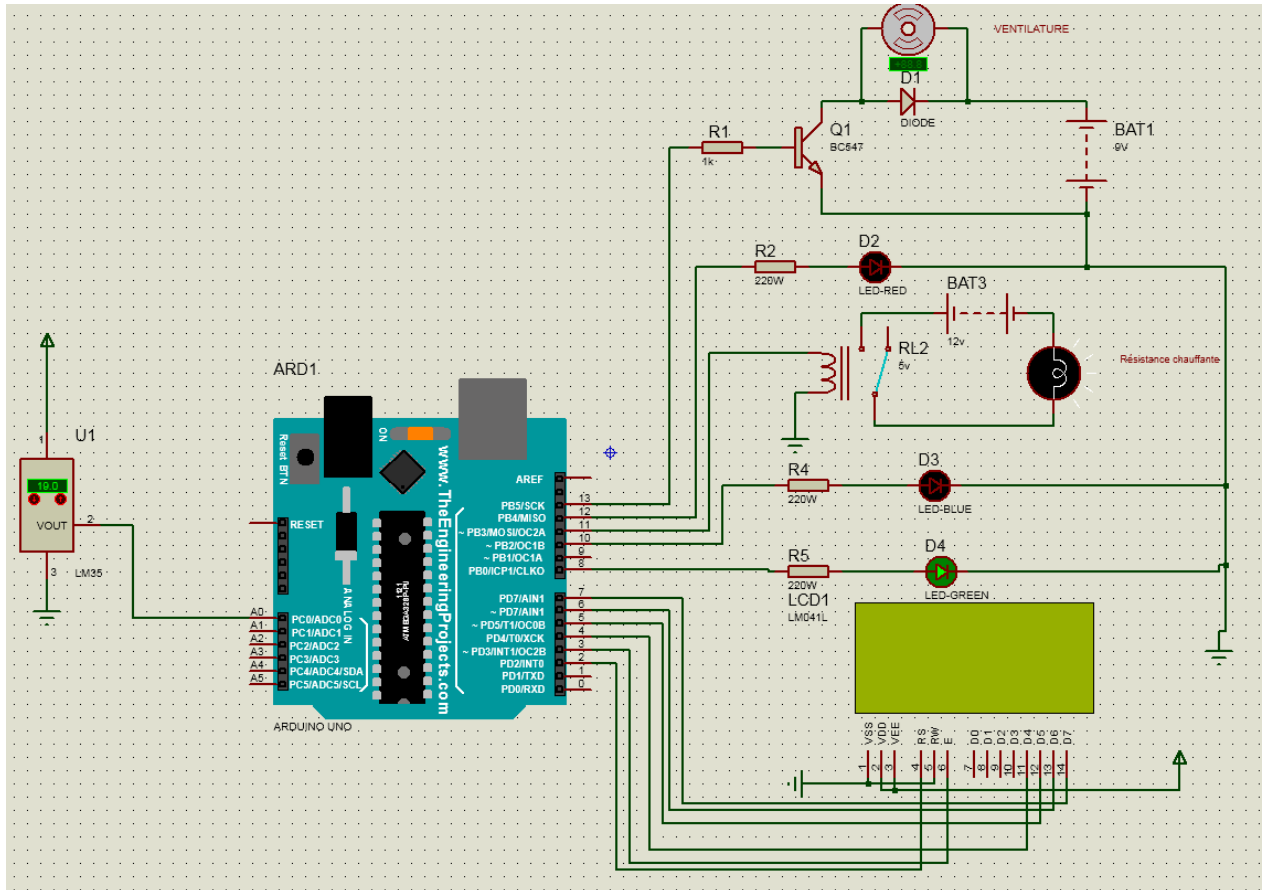


Fig 3.12: Circuit électronique à base d'une carte Arduino sous Proteus.



### 3.5.2 Deuxième cas (Basse température)

Dans le deuxième cas, si la température est inférieure à 20°C, nécessite de chauffer l'environnement, au moyen d'une résistante chauffante, en plus de faire allumer la LED bleue.

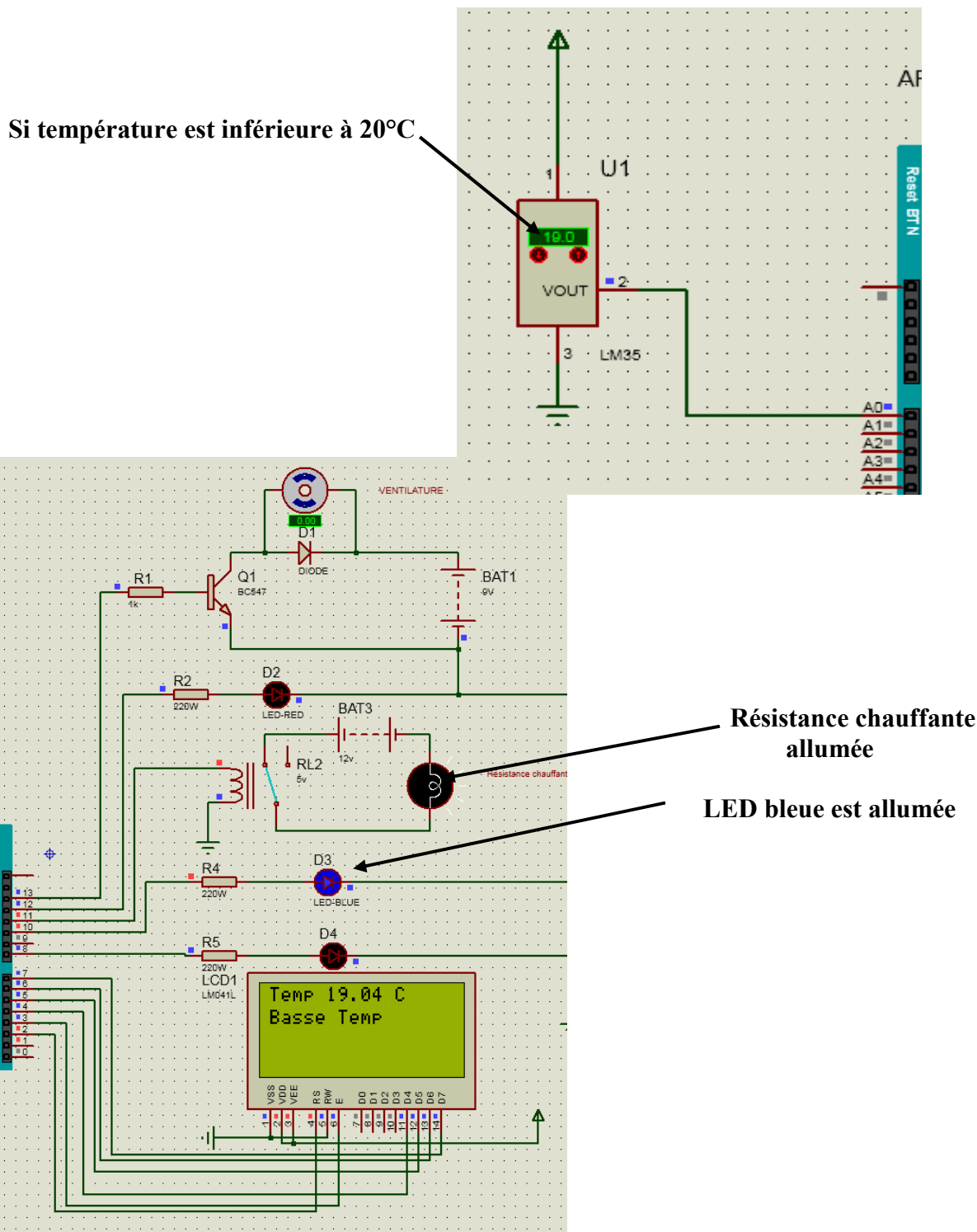
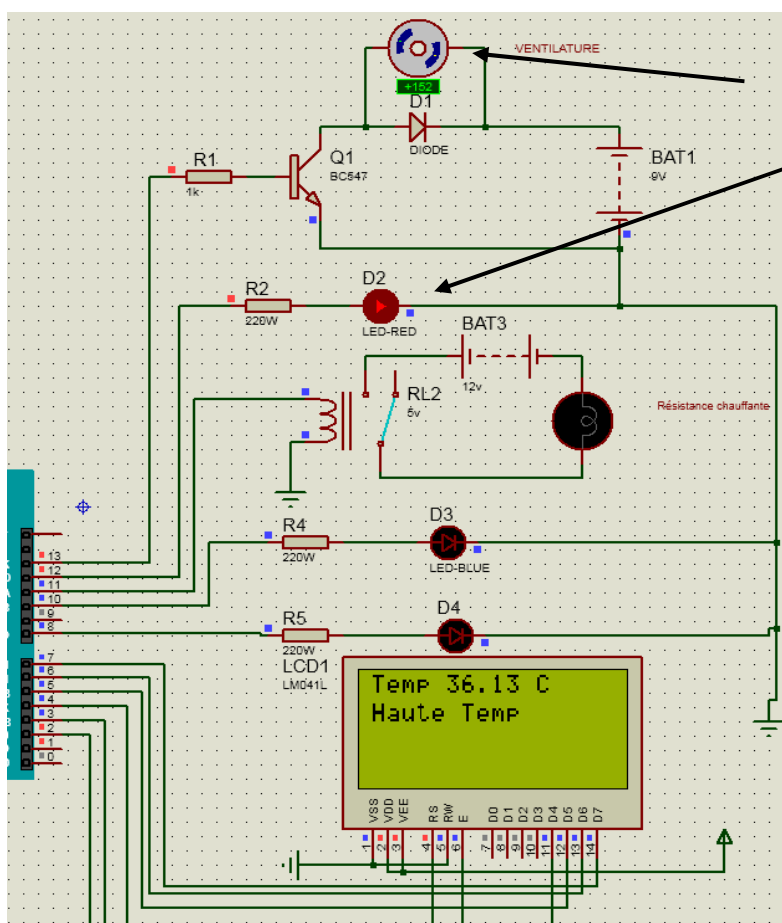
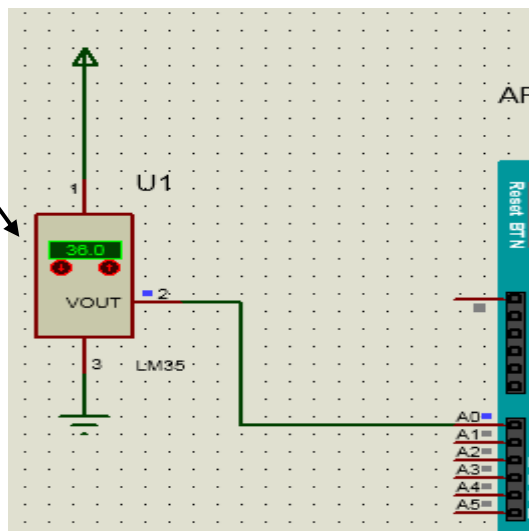


Fig.3.14: Deuxième cas (température basse).

### 3.5.3 Troisième cas (Haute température)

Dans le troisième cas, si la température est supérieure à 30 °C, l'environnement doit être refroidi en allumant le ventilateur et la LED rouge.

Si la température est supérieure à 30°C



Ventilateur démarre  
LED rouge est allumée

Fig.3.15: Troisième cas (température haute).



### 3.6 Résultats de la réalisation (Partie pratique)

Après les étapes de la conception, programmation et simulation du circuit électrique de commande, qui nous ont permis de déceler et corriger certaines erreurs, nous allons passer à la phase de la réalisation et du test pratique, faits au moyen de la plaquette d'essai.

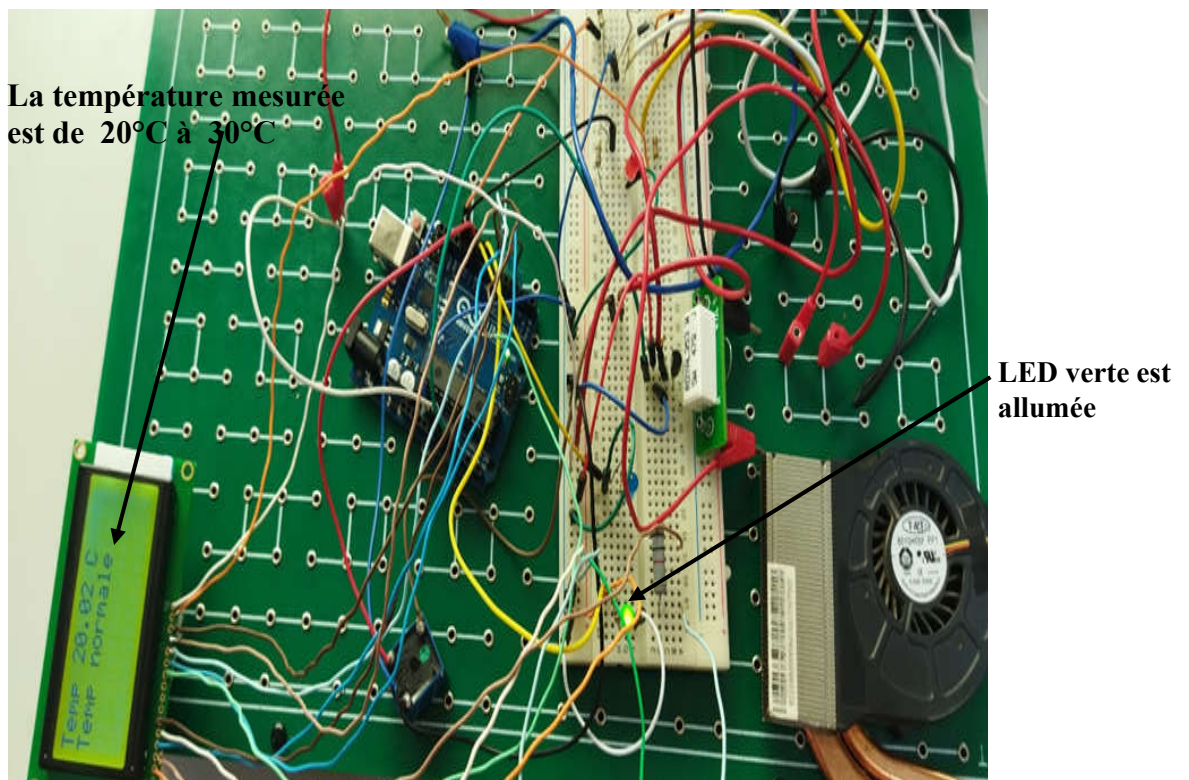
La plaque (plaquette) d'essai ou « Bread Board » est un très bon outil qui permet de réaliser des montages électroniques (afin de les tester) sans souder aucuns composants. C'est une plaque en plastique isolant parsemé de plein de trous. Ces trous sont espacés de 2.54 mm qui est l'espacement standard des composants électroniques que nous utilisons dans nos montages.

Se servir d'une plaque d'essai est très simple, il suffit donc d'enfoncer les composants dans les bons trous et les relier avec des fils. Ces fils sont enfoncés aussi dans les trous afin de réaliser le montage à tester.

#### 3.6.1 Premier cas ( température normale)

Comme illustré sur la Figure 3.16, si la température mesurée ( $T_{Mes}$ ) est inférieure au seuil maximal de la température ( $T_{Max}= 30^{\circ}C$ ) et supérieure au seuil minimal ( $T_{Min}= 20^{\circ}C$ ) la LED verte s'allume.

La température mesurée et les tâches exécutées seront toujours affichées sur l'afficheur LCD.



**Fig.3.16:** Premier essai (température normale)



### 3.6.2 Deuxième cas (Basse température)

Comme illustré sur la Figure 3.17, si la température mesurée ( $T_{Mes}$ ) est inférieure au seuil minimal de la température ( $T_{Min} = 20^{\circ}\text{C}$ ), la LED bleue s'allume, commandée par le relais, la résistance de chauffage se met en marche. La température mesurée et les tâches exécutées seront affichées sur l'afficheur LCD.

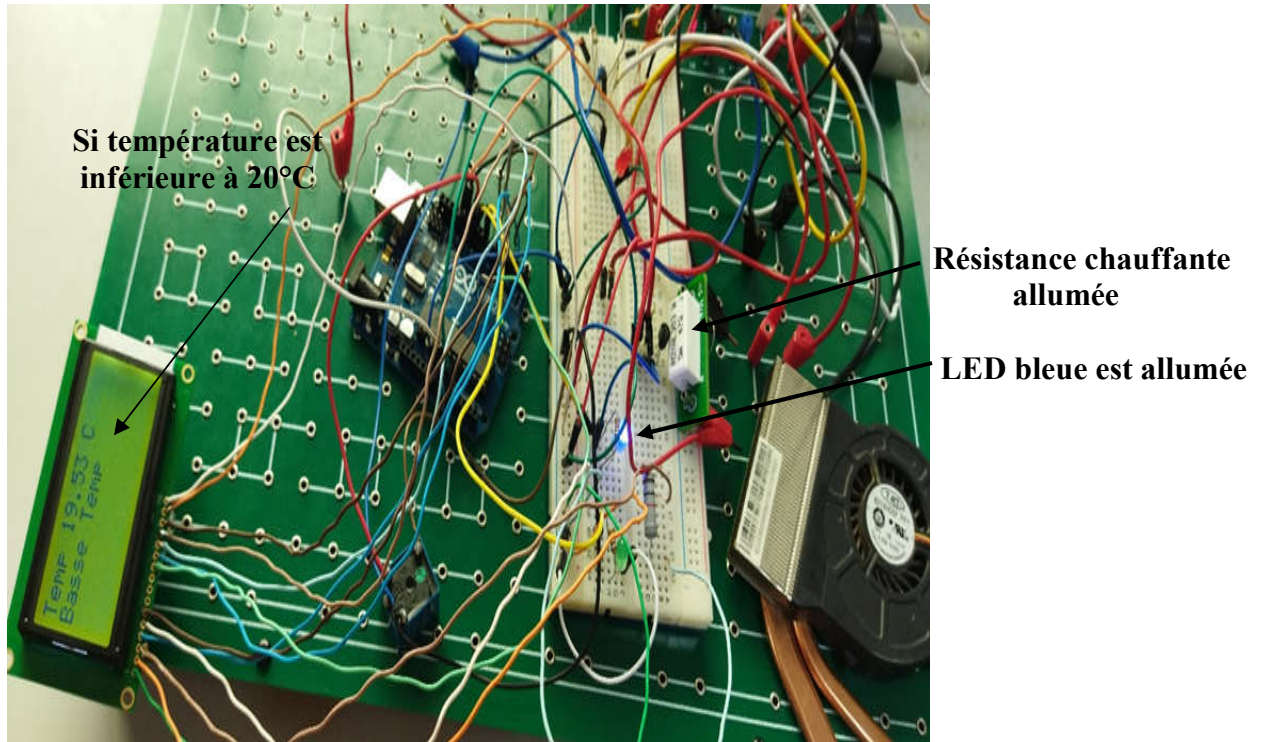


Fig.3.17: Deuxième essai (température basse).

### 3.6.3 Troisième cas (Haute température)

Comme illustré sur la Figure 3.18, si la température mesurée ( $T_{Mes}$ ) est supérieure au seuil maximal de la température ( $T_{Max}=30^{\circ}C$ ), la LED verte s'éteint, la LED bleue s'allume, et commandée par le transistor bipolaire BC 547C, le ventilateur de refroidissement se met en marche.

La température mesurée et les tâches exécutées seront affichées sur l'afficheur LCD.

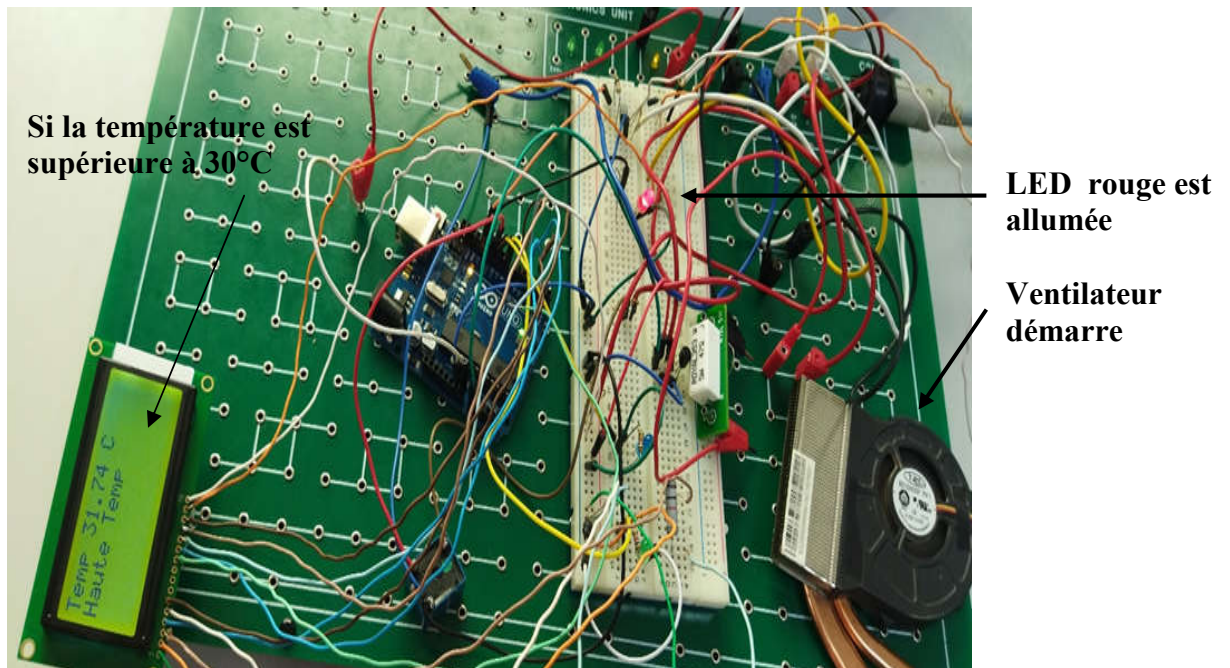


Fig.3.18: Troisième essai (température haute).

## 3.7 Code de programmation en ARDUINO

```
//BELACEL Khalida && SMATEL Kheira
//Dans cette expérience, nous avons fixé une température ambiante de 20°C à 30°C où la
température est normale, à l'aide du capteur de température LM35
//En plus utiliser l'écran LCD pour afficher la température et l'état de l'environnement
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);
int analogpin = 0;
int val ;
int cheffege = 11;
int ventilateur = 13;
int Ledrouge = 12;
int ledbleu= 10;
int ledvert = 8;
int temp;
void setup() {
  lcd.begin(16, 4);
  lcd.clear();
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(10, OUTPUT);
```

```

pinMode(11, OUTPUT);
pinMode(12, OUTPUT);
pinMode(13, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  //Pour ce faire, nous avons divisé le code en trois étape
  // lire la température
  val = analogRead(analogpin);
  temp = val * 4.88 / 10;
  float mv = (val / 1024.0) * 5000;
  float c = mv / 10;

  Serial.println(temp);
  delay(500);

  //Basse température
  //La première étape: si la température est inférieure à 20 °C, nécessite de chauffer
  l'environnement, au moyen d'une résistance de chauffage , en plus faire fonctionner la LED
  bleue.
  if (temp < 20) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Temp ");
    lcd.print(c);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Basse Temp      ");
    Serial.print("Basse température");
    Serial.print("La résistance de chauffage est allumée ");
    digitalWrite(11, HIGH); //La résistance de chauffage est allumée
    digitalWrite(10, HIGH); //La LED bleue est allumée
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(13, LOW);
    digitalWrite(12, LOW); }

  //Haute température
  //La deuxième étape: si la température est supérieure à 30 °C, l'environnement doit être
  refroidi en allumant le ventilateur et la LED rouge
  else if (temp > 30) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Temp ");
    lcd.print(c);
    lcd.print(" C");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Haute Temp      ");
    digitalWrite(13, HIGH); //Le ventilateur est allumé
    digitalWrite(12, HIGH); //Le led rouge est allumé
    digitalWrite(8, LOW);
    digitalWrite(11, LOW);
    digitalWrite(10, LOW);
  }
}

```

```
// la température normale
//La troisième étape, la température est complètement confinée de 20°C à 30°C, ce qui
entraîne le fonctionnement de la LED verte
//et cela signifie que la température ambiante est normale et stable
else {lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Temp ");
lcd.print(c);
lcd.print(" C");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Temp normale          ");
digitalWrite(8, HIGH);/////Le led vert est allumé
digitalWrite(13, LOW);
digitalWrite(10, LOW);
digitalWrite(11, LOW);
digitalWrite(12, LOW);
} delay(1500);
}
```

### 3.8 Conclusion

Dans ce chapitre et dans sa première partie, nous avons présenté le schéma synoptique permettant l'acquisition et le traitement de données, l'élaboration du signal de commande et l'affichage des résultats. Puis, et dans un deuxième temps, nous sommes passés à la simulation des circuits électriques de la partie commande. Cette simulation nous a permis de vérifier le bon fonctionnement du programme qu'on a injecté au microcontrôleur de la carte Arduino, et donc le bon fonctionnement du système à savoir, le contrôle et la régulation de la température.

En dernier lieu, nous avons réalisé et testé sur une plaquette d'essais les circuits électriques des différents blocs constituant la partie commande de notre système. Le circuit électrique de la carte commande global est testé pour différentes valeurs de températures. Les résultats obtenus confirment le bon fonctionnement du système, permettant ainsi le contrôle et la régulation de la température.

## *Conclusion générale*

## Conclusion générale

La température constitue une information importante dans l'industrie, elle intervient comme une grandeur principale dont la valeur doit être connue avec précision. Afin d'avoir un résultat de température exacte, les ingénieurs ont opté pour la mesure automatique et en temps réel de cette grandeur.

Cette étude était focalisée principalement sur la simulation d'un capteur de température avec en arrière-plan la mise en évidence de quelques bases d'électroniques générale, l'électronique numérique en introduisant les notions de capteurs.

Ce projet nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine d'électronique et bien comprendre le fonctionnement des différents composants. C'est dans ce cadre que nous avons mis en pratique nos connaissances acquises ces dernières années, et d'autre connaissance qu'on a appris durant ce mémoire, mais également nous avons appris à nous adapter pour optimiser et en plus appliquer pour simuler notre projet .

Dans la première partie nous avons commencé notre travail par une généralité sur les capteurs de température et thermomètres, et mettre la lumière sur capteur de température LM35, ainsi une étude approfondie sur la carte Arduino utilisée pour recevoir, traiter, transmettre des données, et pour communiquer entre les systèmes électroniques.

La deuxième partie nous avons entamé notre simulation avec le logiciel proteus et en l'appliquant dans réalité. Ce qui nous amène à introduire dans notre schéma les éléments permettant de prendre en compte :

- Le capteur de température LM35 qui mesure la température avec un signal électrique (tension) proportionnel à la température en °C.
- Un afficheur LCD qui permet l'affichage des variations de température en °C .
- La carte Arduino UNO.

Ce projet a été pour nous une expérience enrichissante, elle nous a permis de mettre en pratique nos connaissances acquises lors de notre cursus et nous familiariser avec certains logiciels et outils tels que : Proteus pour la réalisation de schémas électriques, pour la programmation en C++ du microcontrôleur.

En effet, le travail élaboré n'est qu'une étape primaire d'un travail plus avancé. Il est, donc susceptible d'être amélioré. À cet effet, nous proposons en perspective la réalisation intégrante du système (partie électronique et partie puissance).

D'après ces résultats, nous pouvons dire que notre système est simple à réaliser et non coûteux.

# ***Bibliographie***

# Bibliographie

- [1] TSIRIS( PhysiqueAppliquée ) Christian BISSIERES <http://cbissprof.free.fr>.
- [2] Georges Asch et collaborateurs "les capteurs en instrumentation industrielle" 3e édition ,DUNOD,Paris,1987.
- [3] BRADAI IKHLAS, GHEZEL ROUMAÏSSA«etude,simulation d'un thermomètre numérique à base d'arduino » Projet du fin d'études pour l'obtention du diplôme de master , université BELHADJ BOUCHAIB de AIN TEMOUCHENT 2021.
- [4] SAIDI Mohammed Amir TALEB BENDIAB Mohammed El Amin « REALISATION PRATIQUE D'UN THERMOMETRE ELECTRONIQUE » Projet du fin d'études pour l'obtention du diplôme de master, Université ABOU BAKR BELKAID de Tlemcen 2015.
- [5] <http://elearning-facsci.univ-annaba.dz>.
- [6] <https://cira-descartes.Etab.ac-lyon.fr>
- [7] LAKHDARI Yasser , KACEMI Mohammed Yacine « Simulation d'un capteur numérique de Température à l'aide de Arduino Uno » Projet du fin d'études pour l'obtention du diplôme de master, Université BELHADJ BOUCHAIB de AIN TEMOUCHENT 2022.
- [8] SOUAMES Oussama « Étude d'une chaîne d'acquisition de données » Projet du fin d'études pour l'obtention du diplôme de master, Université 8Mai1945–Guelma.2022.
- [9] FILALI KOSSILA. BEKHTAOUI SOFIANE « Etude et simulation d'un filtre passe bande pour des applications radiofréquences » Projet du fin d'études pour l'obtention du diplôme de master, UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU 2018.
- [10] [https://moodle1.ubordeaux.fr/pluginfile.php/287367/mod\\_resource/content/1/Filtrage%20analogique.pdf](https://moodle1.ubordeaux.fr/pluginfile.php/287367/mod_resource/content/1/Filtrage%20analogique.pdf).
- [11] <http://electrosttissemsilte.wordpress.com>
- [12] <http://edusol.Education.fr>
- [13] <https://www.emse.fr>
- [14] BRADAI IKHLAS , GHEZEL ROUMAÏSSA« etude ,simulation d'un thermomètre numérique à base d'arduino » Projet du fin d'études pour l'obtention du diplôme de master, Université BELHADJ BOUCHAIB de AIN TEMOUCHENT 2021.
- [15] KRAMA Abdelbasset ,GOUGUI Abdelmoumen « Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Androïde » Projet du fin d'études pour l'obtention du diplôme de master, UNIVERSITE KASDI MERBAH 2015.
- [16] GUENFOUD Lamia , MOUZARINE Cylia « Conception et réalisation d'un système de contrôle à distance de la qualité de l'air » Projet du fin d'études pour l'obtention du diplôme de master, UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU 2018.



- [17] [https : //eiquarzt.monsite-orange.fr](https://eiquarzt.monsite-orange.fr)[1] Sit web TS IRIS ( Physique Appliquée ) Christian BISSIERES <http://cbissprof.free.fr>
- [18] HOCINI LOTFI GHEMAM « Conception et réalisation d'un variateur de vitesse pour moteur à courant continu » Projet du fin d'études pour l'obtention du diplôme de master, Université MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU 2009.
- [19] [https ://rtmfm .cnes.fr /wp-content/uploads/2022/01 /tutorial-11-comprendre-les-relais.pdf](https://rtmfm.cnes.fr/wp-content/uploads/2022/01/tutorial-11-comprendre-les-relais.pdf)
- [20] ariticle « [https : //w.w.w.digikey.fr](https://w.w.w.digikey.fr) »
- [21] [https :w.w.w.onerge.fr](https://w.w.w.onerge.fr)

## Résumé:

Ce travail est consacré à l'étude et la conception d'un système de contrôle et régulation de la température. Cela, afin de commander automatiquement la température de n'importe quel procédé.

Nous avons conçu un système automatique de suivi et de régulation de la température. Il est chargé d'ajuster la température, afin de maintenir une température normale. Le système est composé d'une partie électronique qui est chargée, non seulement, de l'acquisition, du traitement et de l'affichage des données, mais aussi de la commande de la partie puissance (résistance chauffante et moteur DC (ventilateur)). Nous avons utilisé un capteur de température LM35, un afficheur LCD et une carte Arduino. Une programmation appropriée est réalisée pour assurer le bon fonctionnement du système.

## Mots clés :

Contrôle et régulation automatique, capteur de température LM35, carte Arduino-uno, afficheur LCD, résistance chauffante, moteur DC (ventilateur), LED.

## Abstract :

This work is committed to study and design a system which contains temperature control and regulation. In order to automatically control the temperature of any process. We have designed an automatic temperature monitoring and regulation system. It is responsible for adjusting the temperature, in order to maintain a normal temperature. The system is composed of an electronic part which is responsible not only for the acquisition, processing and display of data, but also the control of the power part (heating resistor and DC motor (fan)). We used an LM35 temperature sensor, an LCD display and an Arduino card. Appropriate programming is carried out to ensure the proper functioning of the system

## Keywords:

Automatic control and regulation, LM35 temperature sensor, Arduino-uno card, LCD display, resistance heater, DC motor (fan), LED .

## ملخص:

هذا العمل مخصص لدراسة وتصميم نظام اتوماتيكي لمراقبة درجة الحرارة وتنظيمها، يتكون النظام من جزء إلكتروني مسؤول ليس فقط في الحصول على معالجة البيانات وعرضها بل أيضا التحكم في أجزاء الطاقة ( مقاومة حرارية ، محرك تيار مستمر (مروحة )) واستخدمنا مستشعر درجة الحرارة وشاشة العرض ولوحة الاردوينو اينو ويتم تثبيت البرمجة المناسبة لضمان التشغيل السليم للنظام.

## الكلمات المفتاحية :

مراقبة وتنظيم الاتوماتيكي ، مستشعر درجة الحرارة LM 35 بطاقة الاردوينو اينو ، شاشة العرض LCD ، مقاومة الحرارية ، محرك التيار المستمر (المروحة) ، صمام ثنائي ضوئي LED.