

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB BLIDA 01**  
**FACULTÉ DES SCIENCES TECHNOLOGIQUES**  
**DÉPARTEMENT DE MECANIQUE.**



## **MEMOIRE**

**Présenté pour obtenir le diplôme de**

**Master en Mécanique**

**Option : installation énergétiques et turbomachines**

**Conception et réalisation d'un datalogger multifonction d'un banc  
didactique de conditionnement d'air**

Présenté par :

Mlle. Boussalem Ahlem

Mlle. Benaoudia Naila

Proposé par monsieur

Dr. Nehal

Année universitaire 2020/201

# Remerciement

*Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de parvenir à la fin de notre parcours universitaire.*

*Nous tenons à remercier notre promoteur, Monsieur K. NEHAL, pour sa patience, sa gentillesse, sa disponibilité et sa rigueur d'esprit qu'il m'a transmises tout au long de ce travail dont il assuré un suivi permanent.*

*Nous adressons aussi nos sincères remerciement à Monsieur le chef de département M. TEMMAR et tous les enseignants de notre département de mécanique.*

*Nos plus sincères remerciement à nos parents, nos frères et sœurs et à toute la famille et tous nos proches et amis, qui nous avons accompagné, aidé, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

## *Dédicace*

*C'est avec une joie immense et cœur ému que nous dédions ce modeste travail à nos chers parents « Nadia et Nacer » « Allae et Fatima Zohra » pour leurs affections inépuisables et leurs précieux conseils, ils n'ont cessé de prier pour nous durant notre cursus scolaire.*

*Nous dédions aussi :*

*Nos frères et sœurs « Dahmane, Mélina et Farah » « Bachir, Hani, Fares, Sidali, Oussama, Djalil, Aymen, Rayane, Nesrine et Nasemine »*

*La famille Benaoudia et la famille Boussalem*

*A nos cousins et cousines*

*Nos chers amis « Manel, Ichrak, Nouzha, Zineddine, Tadjeddine »*

*Mon fiancé « Mohamed Elarbi » 'Ahem'*

*Naila et Ahlem.*





## Résumé :

Ce projet consiste à faciliter le processus de mesure des différents conditions climatique (température, humidité, Pression, et niveau de poussière...etc.) et améliorer l'acquisition des données du banc didactique de conditionnement d'air A573.

Ce mémoire nous permet de plonger dans le domaine d'instrumentation et d'acquisition de données afin d'arriver à réaliser un datalogger qui communique entre (l'unité de conditionnement d'air et la carte Arduino ainsi que les différents capteurs.)

L'objectif préliminaire est de manipuler un langage et programmation (Arduino IDE) et transmettre les résultats de mesure vers un pc via un câble USB et vers un afficheur LCD.

**Mot clés :** carte Arduino, afficheur LCD, Datalogger, acquisition de données, langage de programmation, port série, banc didactique A573, capteurs.

## المخلص :

هذا المشروع يعمل على تسهيل عملية قياس الظروف المناخية المختلفة (درجة الحرارة ، والرطوبة ، والضغط ، ومستوى الهواء A573. الغبار ، وما إلى ذلك) وتحسين الحصول على البيانات لمنصة تدريب تكييف

تتيح لنا هذه الأطروحة الغوص في مجال الأجهزة والحصول على البيانات من أجل الوصول إلى أداة تسجيل البيانات التي تتواصل بين (وحدة تكييف الهواء ولوحة Arduino بالإضافة إلى أجهزة الاستشعار المختلفة) .

الهدف الأولي هو التعامل مع لغة وبرمجة (Arduino IDE) ونقل نتائج القياس إلى جهاز كمبيوتر عبر كبل USB وشاشة LCD .

**الكلمات الرئيسية:** لوحة Arduino ، شاشة LCD ، Datalogger ، الحصول على البيانات ، لغة البرمجة ، المنفذ التسلسلي ، مقعد تعليمي A573 ، أجهزة استشعار.

## Abstract:

This project consists of facilitating the process of measuring different climatic conditions (temperature, humidity, pressure, and dust level, etc.) and improving the data acquisition of the A573 air conditioning training bench.

This thesis allows us to dive into the field of instrumentation and data acquisition in order to achieve a datalogger that communicates between (the air conditioning unit and the Arduino board as well as the various sensors).

The preliminary objective is to handle a language and programming (Arduino IDE) and transmit the measurement results to a PC via a USB cable and to an LCD display.

**Keywords:** Arduino board, LCD display, Datalogger, data acquisition, programming language, serial port, A573 educational bench, sensors.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Unité de conditionnement d'air en laboratoire A573 may 1988.
- [2]. j.Gosse 'Guide technique de thermique',dunod,1981.
- [3]. Mémoire FERROUK Mohamed mémoire de fin d'étude pour d'ingénieur , EN GENIE MECANIQUE Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU 2011/2012.
- [4] : jacques ,B,michel,L.,et jean, 'traitement de l'air' parisienne 1996.
- [5] :<https://www.omega.fr/prodinfo/enregistreursdonnees.html?fbclid=IwAR2RZXUwWIGni9jtZ1-lq9WfgLd8GAX31bXcZ1KXhNg024jvY1-k0ox4bOY96IJJ9>
- [6] : instrumentation cira capteur et transmettent 2006/2007.
- [7] : les capteur en instrumentation industrielle Georges Asch et collaborateurs 1991 .
- [8] : Walid Benlahcene : Un éclairage redondant, mémoire de fin d'étude pour d'ingénieur d'état en instrumentation, Université Batna, (2007).
- [9] : <https://www.aranacorp.com/fr/lire-et-ecrire-sur-une-carte-sd-avec-arduino/>.
- [10] : mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en instrumentation Université Tlemcen 2016.
- [11] : mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en électronique instrumentation Mr,yekhlef faride blida 2019.
- [12] : Hippolyte Weisslinger (olyte), Landrault (Eskimon) Arduino : Premiers pas en informatique embarquée, le Blog d'Eskimon Edition du 19 juin 2014
- [13] : <https://www.eagle-robotics.com/accueil/85-capteur-de-pression-bmp280.html>
- [14] : <https://www.wikipédia.com>
- [15]: <https://www.aranacorp.com/fr/lire-et-ecrire-sur-une-carte-sd-avec-arduino/>.
- [16]: Boudjedir Imen : Un système embarque pour la détection des gaz dangereux a base d'une carte arduino, mémoire de fin d'étude pour master, Université Oum El Bouaghi ,2017.

[17] : mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en électronique instrumentation

Mr,yekhlef faride blida 2019.

[18] : [http://atela.univ-lorraine.fr/docs/documents/Les\\_diodes.pdf/](http://atela.univ-lorraine.fr/docs/documents/Les_diodes.pdf/)

[19] : mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en commande électrique, rechem Djamil , Université Oum El Bouaghi 2018.

[20] : <https://wiki.mdl29.net/.../fetch.php...Arduino-pour-bien-commencer-en-électronique>.

[21] : [https://arduino.technologiescollege.fr/IMG/pdf/cahier\\_0\\_initialisation](https://arduino.technologiescollege.fr/IMG/pdf/cahier_0_initialisation).

[22] : Logiciel Arduino 1.8.1, outil capteur. PC, 2017.

## Liste des figures

**Figure 1.1.** Banc didactique du conditionnement d'air

**Figure 1.2.** Schéma L'unité de conditionnement d'air en laboratoire A573

**Figure 1.3.** Schéma fluide d'une machine frigorifique

**Figure 1.4.** Diagramme enthalpique du cycle frigorifique

**Figure 1.5.** Psychromètre de mesure des températures

**Figure 1.6.** Présentation de la température sèche sur le diagramme.

**Figure 1.7.** Présentation de l'humidité absolue sur le diagramme.

**Figure 1.8.** Présentation de la pression partielle  $P_V$  sur le diagramme.

**Figure 1.9.** Présentation de la température de rosée sur le diagramme

**Figure 1.10.** Présentation de l'humidité relative sur le diagramme.

**Figure 1.11.** Présentation de l'enthalpie spécifique sur le diagramme.

**Figure 1.12.** Présentation de la température humide sur le diagramme.

**Figure 1.13.** Présentation de volume massique sur le diagramme.

**Figure 1.14.** Détermination des grandeurs caractéristiques d'un point sur le diagramme.

**Figure 1.15.** Lecture des grandeurs caractéristiques d'un mélange.

**Figure 1.16.** Evolution d'air dans une batterie chaude.

**Figure 1.17.** Evolution d'air dans une batterie froide

**Figure 1.18.** Evolution d'air dans une batterie froide humide

**Figure 2.1 :** schéma Grandeur physique Signal électrique

**Figure 2.1 :** exemples d'application d'effets physiques à la réalisation de capteurs actifs

**Figure 2.3 :** Capteur de température LM 35

**Figure 2.4:** Câblage de capteur LM35 avec arduino

**Figure 2.5 :** programme de capteur LM35

**Figure 2.6:** Capteur humidité DHT11

**Figure 2.7 :** Le module et le capteur DHT11

**Figure 2.8 :** configuration de broche.

**Figure 2.9:** câblage de capteur DHT11 avec arduino

**Figure 2.10 :** programme de capteur DHT11

**Figure 2.11 :** Capteur DHT22

**Figure 2.12** : câblage capteur DHT22 avec arduino

**Figure 2.13** : programmation de capteur DHT22

**Figure 2.14** : capteur thermocouple MAX6675

**Figure 2.15** : câblage capteur thermocouple avec arduino

**Figure 2.16** : Programme arduino capteur MAX6675

**Figure 2.17** : le capteur de température DS18B20

**Figure 2.18** : câblage capteur DS18B20 avec arduino

**Figure 2.19** : Programme arduino capteur DS18B20

**Figure 2.20** : schéma de principe d'un capteur de gaz dans un module de capteur de gaz

**Figure 2.21** : Capteur MQ

**Figure 2.22**: capteur MQ 135

**Figure 2.23** : Câblage MQ135 avec arduino

**Figure 2.24** : Programme arduino capteur MQ135

**Figure 2.25**: capteur BMP180.

**Figure 2.26**: câblage BME180 avec arduino

**Figure 2.27** : Programme arduino capteur BMP180

**Figure 2.28** : capteur thermistance CTN

**Figure 2.29**: variation de  $R$  en fonction de  $T$  d'une CTN et CTP

**Figure 2.30** : câblage capteur CTN avec arduino

**Figure 2.31** : Programme arduino CTN avec arduino

**Figure 2.32** : Module de carte SD.

**Figure 2.33** : Câblage module SD avec arduino

**Figure 2.34** : Programme arduino module SD

**Figure 2.35**: Afficheur LCD et I2C

**Figure 2.36**: bronchement LCD avec arduino

**Figure 2.37** : programme sur arduino

**Figure 2.38**: Résistance

**Figure 2.39** : résistance fixe

**Figure 2.40** : résistance variable

**Figure 2.41**: code de couleurs de résistance

**Figure 2.42**: câblage des résistances avec arduino

**Figure 2.43** :Les LED

**Figure 2.44**: câblage LED avec l'arduino.

**Figure 2.45** : programme LED sur arduino

**Figure 2.46** : Le potentiomètre

**Figure 2.47** : Câblage Le potentiomètre avec arduino

**Figure 2.48**: Arduino Méga 2560

**Figure 2.49** : Boitier de l'Arduino Méga 2560.

**Figure 2.50** : programme arduino

**Figure 3.1**. Matériel et outillage notre projet

**Figure 3.2**. Les étapes de la réalisation

**Figure 3.3**: montage le capteur DHT11

**Figure 3.4** : montage le capteur BMP180

**Figure 3.5** : montage le capteur thermocouple k MAX6675

**Figure 3.6** : montage le capteur DS18B20

**Figure 3.7** : montage le capteur NTC

**Figure 3.8** : montage l'afficheur LCD

**Figure 3.9** : les capteur d'origine

**Figure 3.10** : les nouveaux capteurs

**Figure 3.11** : Banc didactique avant réalisation

**Figure 3.12** : Banc didactique après réalisation

**Figure 3.14** : le datalogger

**Figure 3.15** : affichage sur écran LCD

**Figure 3.16** : Affichage sur moniteur série

**Figure 3.17**: Affichage sur moniteur série

**Figure 3.18** : programme final

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> : Présentation des grandeurs caractéristiques de l'air humide .....	14
<b>Tableur 2.1.</b> Capteur actif .....	31
<b>Tableur 2.2.</b> Capteur passif .....	32
<b>Tableur 2.3</b> : Brochage du LM35.....	38
<b>Tableau 2.4</b> : signification des broches de Ds18B20.....	50
<b>Tableau 2.5</b> : branchement capteur MQ2 .....	58
<b>Tableau 2.6.</b> Synthèse de caractéristiques.....	81
<b>Tableau 2.7.</b> Barre d'actions.....	86

## Nomenclature

Symbole	Désignation	Unit
T	représente la température en degrés	Kelvin
Z	altitude	[m]
P	La pression totale de l'air humide	[Pa]
P <sub>V</sub>	La pression partielle de la vapeur d'eau	[Pa]
P <sub>AS</sub>	La pression partielle de l'air sec	[Pa]
m <sub>v</sub>	masse de vapeur d'eau dans l'air humide	
m <sub>as</sub>	masse de l'air sec	
R <sub>V</sub> et R <sub>AS</sub>	les constantes massiques de la vapeur d'eau et de l'air sec respectivement	[J / kg K]
R	la constante universelle des gaz parfaits	[J /mole .K]
M <sub>V</sub> et M <sub>AS</sub>	les masses molaires de la vapeur d'eau et de l'air sec respectivement	[kg / mole]
P <sub>VS</sub>	pression partielle de vapeur saturée:	
T <sub>r</sub>	La température de rosée	
r	Teneur en humidité	
r <sub>sat</sub>	Teneur en humidité à la saturation	
C <sub>p AS</sub>	Capacité thermique massique de l'air sec.	
C <sub>p V</sub>	Capacité thermique massique de la vapeur d'eau	[J / kg°C].
L <sub>V</sub>	Chaleur latente de vaporisation de l'eau	[J/kg v].
H <sub>AS</sub> et H <sub>V</sub>	les enthalpies spécifiques de l'air sec et de la vapeur d'eau respectivement.	
$\rho$	La masse volumique de l'air humide	
H	<i>Enthalpie spécifique du mélange</i>	
r <sub>1</sub> , r <sub>2</sub>	Humidité absolue	
h <sub>1</sub> , h <sub>2</sub>	Enthalpie spécifique	



Symbole	Désignation	Unit
$P_{BC}$	La puissance de la batterie chaude.	
$P_{BF}$	Puissance de la batterie froide	
$q_{mas}$	Débit de la masse d'air sec	
$q_{NV}$	Le débit de vapeur d'eau condensé au contact de la surface d'échange.	
$P_{BFK}$	Puissance de la batterie froide humide.	
$h_v$	Enthalpie massique de la vapeur d'eau condensée.	
$T_E, T_S$	représentent la température d'entrée et de sortie de l'eau dans la batterie froide	
$T_r$	Le temps de réponse	
$S$	sensibilité	
$K_H$	dépend du matériau et des dimensions de la plaquette	
$V_H$	courant une tension	
$R$	représente la résistance en Ohms à une température donnée	

### Symboles de arduino :

**GND:** Utilisé pour connecter le module à la masse du système

**Vcc:** Cette broche alimente le module, généralement la tension de fonctionnement est de +5V

**DO :** sortie numérique, Vous pouvez également utiliser ce capteur pour obtenir une sortie numérique à partir de cette broche, en définissant une valeur de seuil à l'aide du potentiomètre

**AO :** Sortie analogique, Cette broche délivre une tension analogique de 0 à 5 V en fonction de l'intensité du gaz

**SCL :** transmet l'horloge pour la synchronisation de communication

**SDA :** transmet les informations (adresses et données).

**SPI, CS :** est la sélection de puce signal de broche circuit régulateur

## INTRODUCTION GENERALE

En ingénierie, la connaissance des propriétés thermo-physique du fluide de travail intervenant dans la machine où l'installation à concevoir est nécessaire. Pour celà, il est essentiel de disposer de sources fiables et de grande précision.

Grâce au conditionnement d'air, le froid permet la création d'environnements propices au travail dans des zones géographiques aux climats chauds et humides. Il permet également de maintenir les conditions climatiques (température, humidité, niveau de poussières ...etc.) nécessaires au bon fonctionnement d'installations essentielles, telles que les blocs opératoires et les salles d'hôpitaux. Certaines applications nécessitent un refroidissement permanent et fiable (salles d'informatiques, musées ...), d'autres ont des besoins plus ponctuels (bureaux, hôtellerie, centres commerciaux,...).

Dans notre projet, nous sommes attelés à développer les instruments de mesure d'un banc didactique du conditionnement d'air par une instrumentation numérique et transmettre les données au pc à l'aide de logiciel Arduino.

Le plan de ce mémoire est scindé en trois chapitres plus une introduction et une conclusion générale.

Le premier chapitre est consacré d'une étude théorique du banc didactique, les caractéristiques de l'air humide et la présentation des techniques de conditionnement d'air et les différents diagrammes utilisés.

Le deuxième chapitre parle des différents capteurs utilisées, de la carte Arduino et son langage de programmation et de datalogger.

Le troisième chapitre est consacré à la conception et la réalisation et la mise en marche d'un datalogger multifonction d'un banc didactique de conditionnement d'air

## 1. UNITE DE CONDITIONNEMENT D'AIR EN LABORATOIRE

**A573 :**



**Figure1.1.** Banc didactique du conditionnement d'air

### 1.1 Définition du Conditionnement d'air :

Le conditionnement de l'air, qui peut être décrit comme le contrôle de l'atmosphère de façon à obtenir la température, l'humidité, la diffusion et le mouvement désirés, est une activité en croissance rapide dans le monde entier.

Les applications évidentes du conditionnement de l'air sont les habitations, les hôpitaux, les lieux publics, les mines, les magasins, les bureaux, les usines, le transport par terre, air et mer, mais il existe également de nombreuses autres applications dans lesquelles le confort de l'homme n'est pas la considération principale. Parmi ces applications, citons les industries du textile et de l'imprimerie, l'informatique, les laboratoires, les industries photographiques et pharmaceutique, la fabrication, l'inspection et le stockage d'équipement sensible ...et bien d'autres [1].

### 1.2 Installation de conditionnement d'air :

Une installation de conditionnement d'air est constituée de plusieurs composants (ventilateurs, filtres, échangeurs thermique, humidificateurs, etc...) placés dans un boîtier en tôle. L'air admis dans l'installation provient habituellement d'une atmosphère extérieure pure et l'émission à partir de l'installation se fait au moyen de canalisation situé à des points de distribution propices.

---

### 1.3 Les Composants de l'unité :

**Filtres : Grossiers** : habituellement en toile métallique. Arrêtent les insectes, les feuilles et autres particules en suspension dans l'air.

Fins : habituellement de type papier ou visqueux. Arrêtent la plupart de la poussière en suspension dans l'air. [1].

#### **Ventilateurs :**

Servent à produire le déplacement de l'air et à compenser la chute de pression due aux résistances des canalisations et des systèmes.

#### **Echangeurs thermiques :**

Sont habituellement à ailettes sur le côté air. Servent à augmenter ou réduire la température de l'air.

Les appareils de chauffage peuvent utiliser vapeur, eau chaude ou électricité comme moyen thermique.

Les appareils de refroidissement existent avec de l'eau glacée, ou peuvent être du type expansion directe, dans laquelle le réfrigérant liquide est porté à ébullition à basse température.

#### **Humidificateurs :**

Servent à accroître l'humidité de l'air. L'eau peut être vaporisée directement dans l'air, elle peut être évaporée à partir d'une surface humide, ou bien de la vapeur peut être injectée dans l'air.

#### **Déshumidificateurs :**

Servent à réduire l'humidité de l'air. Cela est généralement obtenu en refroidissent l'air au-dessous de son point de rosée, afin que l'excédent d'humidité soit précipité. Des matières hygroscopiques sont quelquefois utilisées pour produire la déshumidification, mais, bien sur elles nécessitent une régénération.

#### **Eliminateurs :**

Ce sont des chicanes à la forme spéciale au travers desquelles l'air s'écoule, et qui éliminent les gouttelettes d'eau entraînées dans la veine d'air.

#### **Mélangeurs :**

Servent à mélanger les deux veines d'air afin d'obtenir la condition et l'économie désirée.

### 1.3.1. Instruments et Commandes :

Servent à détecter la condition de l'air aux divers postes, et à modifier le rendement des composants afin d'obtenir la condition finale souhaitée.

L'équipement associé peut comprendre:

#### Chaudière :

Pour l'humidification et/ou les dispositifs de chauffage de l'air.

#### Installation de réfrigération :

Pour les refroidisseurs d'air et les déshumidificateurs. [1].

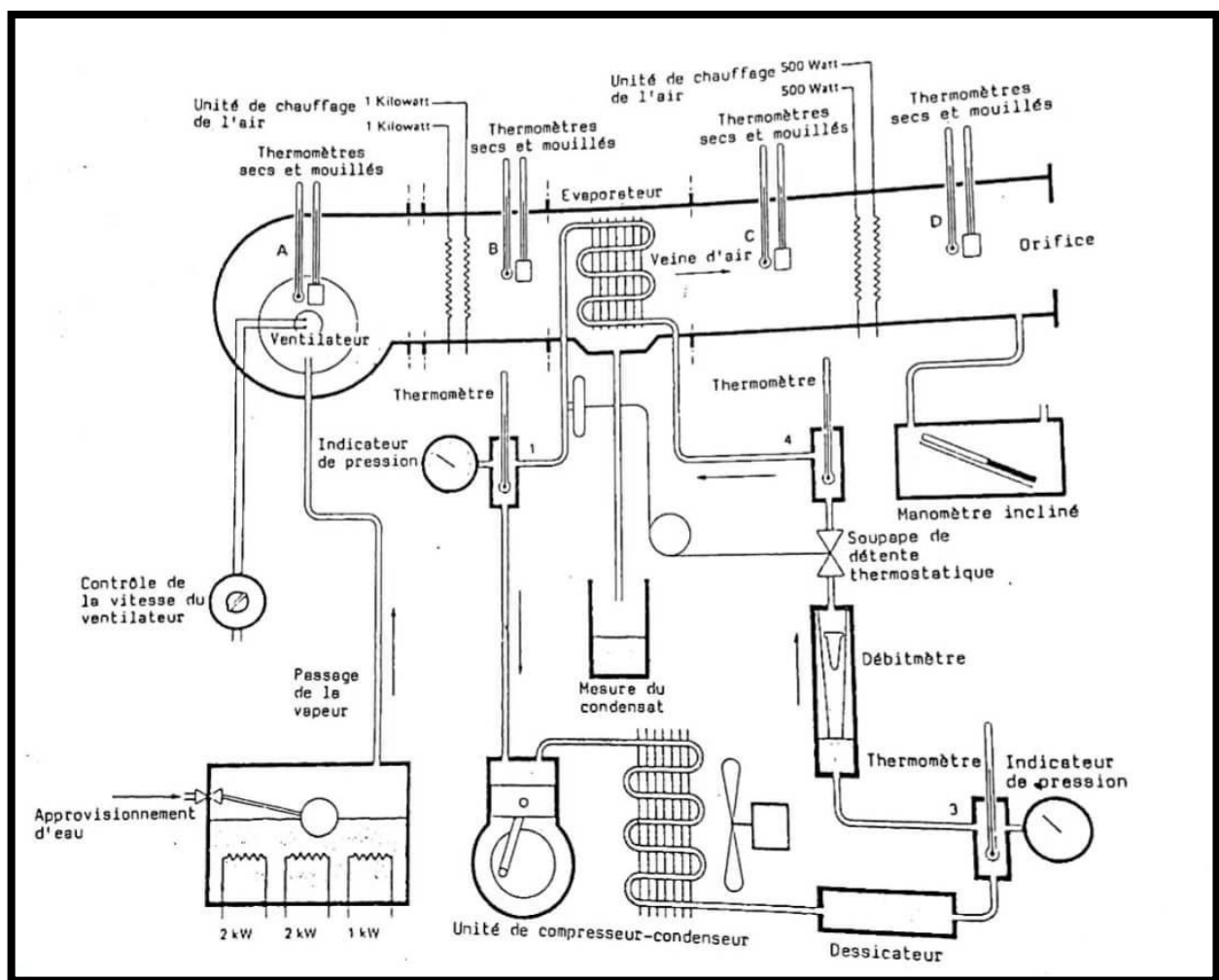


Figure 1.2. Schéma L'unité de conditionnement d'air en laboratoire A573

### 1.4 Unité HILTON de CONDITIONNEMENT D'AIR EN LABORATOIRE A573 :

(Se référer au Figure 1.2.)

A l'exception du filtrage et du mélange, l'unité Hilton de Conditionnement d'air en

Laboratoire a été conçu pour démontrer et évaluer les transferts d'énergie ayant lieu dans tous les traitements requis dans une installation de conditionnement d'air.

L'unité est montée sur un cadre mobile contenant l'unité de réfrigération et le générateur de vapeur.

L'air pénétrant dans les canalisations passe dans :

1. Un ventilateur centrifuge avec contrôle de vitesse.
2. De la vapeur peut être ajoutée dans la roue du ventilateur.
3. Un préchauffeur.
4. Un refroidisseur/déshumidificateur avec écoulement d'eau condensée.
- 5 Un réchauffeur
6. Un orifice de canalisation servant à mesurer l'air.

Les données suivantes peuvent être facilement obtenues :

- la condition de l'air avant et après les divers traitements (au moyen de capteurs à boules sèches et mouillées).
- le taux de transfert énergétique dans chaque appareil de chauffage, de même que dans la chaudière, le ventilateur et l'unité de réfrigération.
- Les débits masse de l'air.
- Les pressions et température du réfrigérant.
- le débit masse du réfrigérant.
- Le taux de précipitation dans le refroidisseur.

Ces informations, associées à l'utilisation des tableaux et schémas d'air et de réfrigérant, permettent l'utilisateur de démontrer et d'évaluer les effets rencontrés dans une installation de conditionnement d'air [1]. .

### **DIMENSIONS :**

Hauteur : 1130mm

Longueur : 2230mm

Profondeur: 500mm

### **1.5 Fonctionnement de l'unité :**

(Se référer au Figure 1.2.)

Brancher l'alimentation d'eau vers la chaudière et vérifier que le niveau d'eau dans le tube à niveau d'eau se stabilise à une hauteur qui couvre tous les éléments de chauffage.

Brancher l'unité à l'aide de l'interrupteur de courant. Le ventilateur doit se mettre en marche aussitôt que l'unité est branchée.

Si de la vapeur est requise, les trois interrupteurs de la chaudière doivent être fermés jusqu'à ce que de la vapeur soit émise du distributeur (cela prend environ 5 minutes), puis le rendement de la chaudière peut être réglé au taux désiré en augmentant par paliers, de 1kw jusqu'à un maximum de 5kw. Une petite quantité de vapeur risque de se condenser sur la surface interne du boîtier du ventilateur, et s'évacuera par un petit orifice au fond du boîtier [1].

### **Ventilateur**

La vitesse du ventilateur est contrôlée par le transformateur variable Régavolt. Le Régavolt ne peut être réglé au-dessous d'une certaine valeur, car il est essentiel qu'il y ait toujours de l'air en circulation dans le tuyau pour éviter le surchauffage.

### **Glace sur l'évaporateur**

Pour des écoulements d'air faibles accompagnés d'une température ambiante basse, il est possible que les conditions d'évaporation de R12 chutent au-dessous de  $0^{\circ}\text{C}/300 \text{ kN m}^{-2}$  (t4 et P4).

Dans un tel cas, il est probable que de la glace se forme sur le côté air des tuyaux et des ailettes de l'évaporateur, et sur la soupape de détente.

Bien que l'unité puisse fonctionner sans dommage dans cette condition pendant quelques minutes, cela est déconseillé car la glace finit par bloquer l'écoulement d'air.

La formation de glace peut être évitée en augmentant le débit d'air et/ou en mettant en marche les préchauffeurs.

## **2. L'unité de réfrigération :**

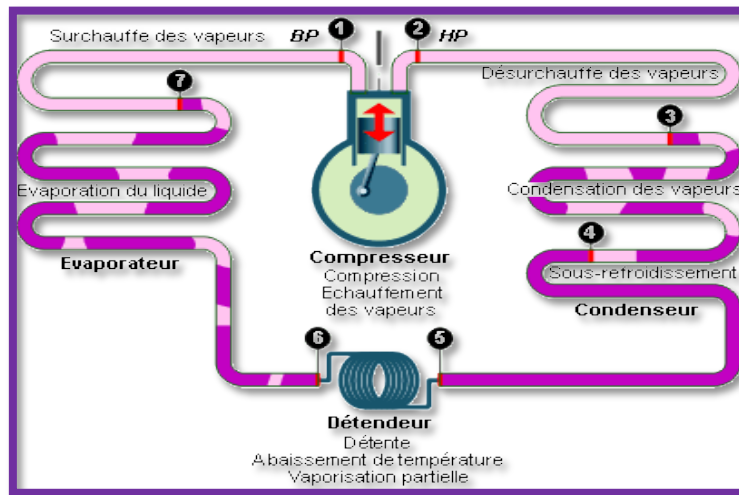
### **2.1 Définition du fluide frigorigène :**

Un fluide frigorigène ou réfrigérant est un fluide pur ou un mélange de fluides purs pouvant être présents en phase liquide, gazeuse ou les deux à la fois en fonction de la température et de la pression de celui-ci. La principale propriété des fluides frigorigènes est de s'évaporer à une faible température sous pression atmosphérique. Les fluides frigorigènes sont utilisés dans les systèmes de production de froid comme la climatisation, la réfrigération, la congélation [1]. .

Le cycle frigorigène de notre banc fonctionne avec le R12, qui est de type chlorofluorocarbures (CFC)

## 2.2 Circulation du fluide frigorigène :

Afin d'améliorer la production du froid, le fluide frigorigène subit plusieurs transformations thermodynamiques dont le détail est donné dans la figure suivante :



**Figure.1.3.** Schéma fluide d'une machine frigorifique

**Dans le compresseur :** le fluide frigorigère arrive à l'entrée du compresseur à l'état gazeux, sous basse pression et basse température. La compression permet d'élever sa pression et sa température. En théorie, la compression est adiabatique. En pratique, la compression est plutôt poly tropique.

**Dans le condenseur :** La condensation du fluide se fait par refroidissement. Ainsi, le gaz chaud venant du compresseur cède sa chaleur à l'air du circuit extérieur. Les vapeurs de fluide frigorigère se refroidissent ("désurchauffe"), puis le fluide se liquéfie, c'est la condensation proprement dite. Le fluide liquide se refroidit encore de quelques degrés (sous-refroidissement) avant de quitter le condenseur.

**Dans le détendeur :** le fluide subit une détente isenthalpique. Le fluide frigorigère se vaporise partiellement, ce qui abaisse sa température.

**Dans l'évaporateur :** le fluide frigorigère s'évapore totalement en absorbant la chaleur provenant du circuit d'eau qui se refroidit. Dans un deuxième temps, le gaz formé est encore légèrement réchauffé par le fluide extérieur ; c'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe.

Dans la tuyauterie d'aspiration, le fluide continue à s'échauffer légèrement. La somme de ces deux augmentations de température est appelée la surchauffe totale du fluide frigorigère.



### 2.3 Diagramme enthalpie-pressure du cycle frigorifique

Le diagramme enthalpie-pressure, dénommé diagramme des frigoristes est très important pour pouvoir calculer les enthalpies de ces différentes transformations thermodynamiques :

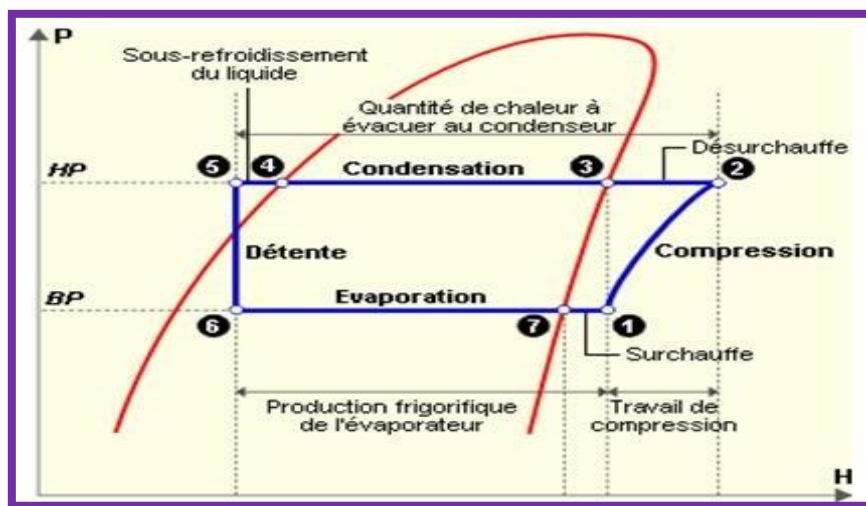


Figure.1.4. Diagramme enthalpie du cycle frigorifique

## 3. Généralité sur l'air humide

### 3.1 Définition :

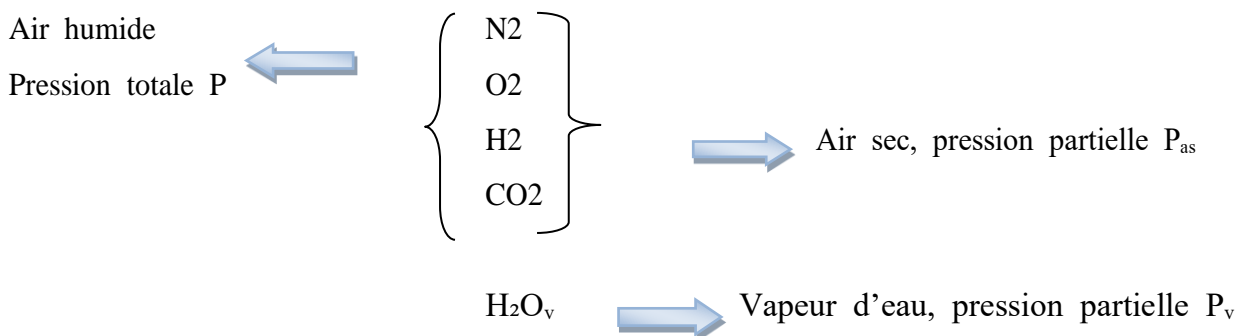
L'air frais contient environ 23% d'oxygène et 76% de nitrogène en masse. Le reste est composé de petites quantités d'autres gaz et vapeurs, dont l'une des plus importantes est la vapeur d'eau. La quantité de vapeur dans l'atmosphère est couramment appelée Humidité.

Bien que la quantité de vapeur d'eau soit généralement très réduite, (habituellement <2%), elle a une incidence considérable sur le taux d'évaporation des surfaces et matières humides. La connaissance approfondie de l'humidité de l'atmosphère et de la manière dont elle peut être contrôlée est une part importante de l'éducation de tous les ingénieurs et technologistes.

$$\text{Air humide} = \text{Air sec} + \text{Vapeur d'eau}$$

### 3.2 Composition volumique (molaire) de l'air humide :

Les principaux constituants de l'air sont l'oxygène et l'azote, l'air n'en contient pas moins un certain nombre d'autres gaz, dont la vapeur d'eau :



### 3.3 Grandeurs caractéristiques de l'air humide :

#### 3.3.1 La Pression totale de l'air humide P :

la pression totale de l'air humide est la pression atmosphérique du lieu considéré.

La pression atmosphérique moyenne est donnée par la formule [2]. suivante :

$$P = 101\,325 - 12 \times z + 5.2 \times 10^{-4} \times z^2 \quad (1.1)$$

Z : altitude [m]

D'autre part, l'air humide est un mélange de deux gaz (d'air sec et de la vapeur d'eau) assimilés à des gaz parfaits à une température  $\theta$  et occupant un même volume V. Alors d'après la loi de DALTON,

la pression du mélange est :

$$\text{On écrit:} \quad P = P_{AS} + P_V \quad (1.2)$$

Avec :

P : La pression totale de l'air humide

$P_V$  : La pression partielle de la vapeur d'eau

$P_{AS}$  : La pression partielle de l'air sec

#### 3.3.1.1. La pression partielle de vapeur d'eau et d'air sec :

La masse de vapeur d'eau dans l'air humide est directement liée à la pression partielle de la vapeur d'eau  $P_V$ . La pression partielle d'un composant d'un mélange assimilé à des gaz parfaits est la pression qu'aurait ce composant s'il occupait seul le volume total du mélange, à même température. Elle s'exprime en [Pa].

D'après l'équation d'état des [2]. gaz parfaits ; on écrit :

$$PV = \frac{m_v R_v T}{V} \quad (1.3)$$

$$P_{AS} = \frac{m_a R_a T}{V} \quad (1.4)$$

avec :

$m_v$  : masse de vapeur d'eau dans l'air humide

$m_{as}$  : masse de l'air sec

$$R_v = \frac{R}{M_v} \quad \text{et} \quad R_{AS} = \frac{R}{M_{AS}}$$

Avec :

$R_v$  et  $R_{AS}$ : les constantes massiques de la vapeur d'eau et de l'air sec respectivement [J / kg K]

$R$  : la constante universelle des gaz parfaits [J / mole .K]

$M_v$  et  $M_{AS}$ : les masses molaires de la vapeur d'eau et de l'air sec respectivement [kg / mole]

On déduit donc ; la pression totale d'air humide :

$$P = \frac{(m_a R_a + m_v R_v) T}{V} \quad (1.5)$$

### 3.3.1.2. La pression partielle de vapeur saturée:

C'est la pression de vapeur maximale que l'air peut supporter à une température donnée. Si on désire augmenter la pression par augmentation de la quantité de vapeur, cette vapeur passe à l'état de saturation la pression de vapeur saturée est notée  $P_{vs}$ , elle s'exprime en [Pa]

### 3.3.2. La température sèche :

Elle est définie comme étant la température réelle de l'air humide  $T$  ou  $\theta$ , observée à l'aide d'un capteur de température ou par un thermomètre non affecté par l'humidité d'air. On la mesure avec le thermomètre peut-être à mercure ou à alcool. Ces derniers, pour la mesure, utilisent le principe de dilatation sous l'effet de la température.

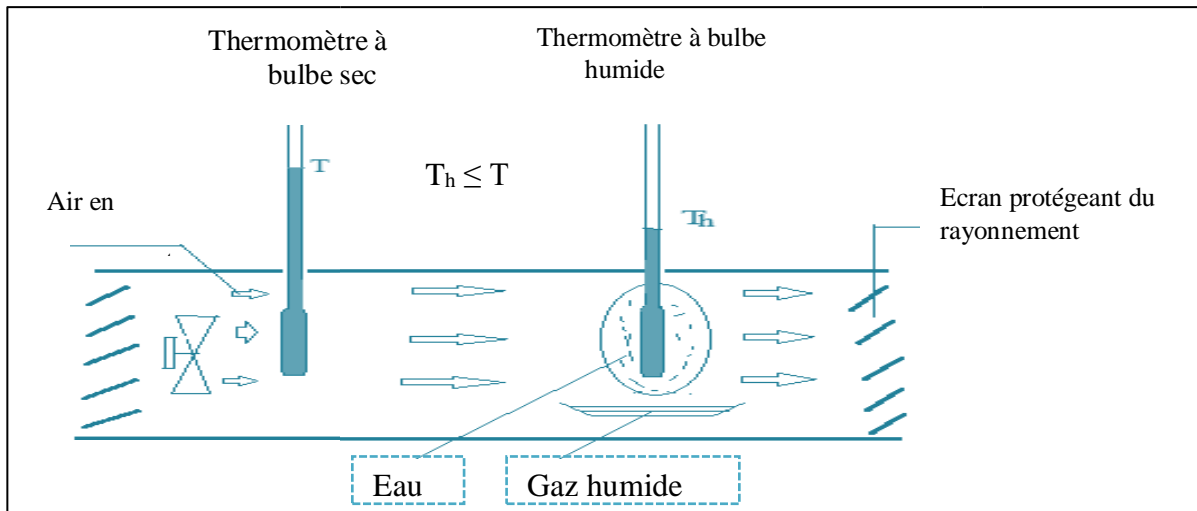
### 3.3.3 La température humide :

C'est la température indiquée par un thermomètre dont le bulbe est entouré d'un gaz mouillé, balayé par de l'air en mouvement et protégée du rayonnement. À la surface du thermomètre à bulbe humide, l'eau se vaporise.

La température humide dépend de la température sèche de l'air et de l'humidité comprise dans cet air.

L'ensemble thermomètre sec plus thermomètre humide est appelé Psychromètre (figure 1.5), noté

$\theta_h$  en [°C] ou  $T_h$  en [K] [3].



**Figure.1.5.** Psychromètre de mesure des températures

### 3.3.4. La température de rosée :

On définit la température de rosée "Tr", la température à partir de laquelle la vapeur d'eau contenue dans un air humide que l'on refroidit à pression constante commence à se condenser au contact d'une surface froide (apparition de gouttelettes d'eau).

La température de rosée peut être calculée par les relations suivantes :

- Si la température sèche  $> 0$  :

$$T_r = \frac{13.761 \log\left(\frac{P_{v\theta}}{613.34}\right)}{1 - \left(0.0569 \log\left(\frac{P_{v\theta}}{613.34}\right)\right)} \quad (1.6)$$

- Si la température sèche  $\leq 0$

$$T_r = \frac{12.139 \log\left(\frac{P_{v\theta}}{613.34}\right)}{1 - \left(0.0445 \log\left(\frac{P_{v\theta}}{613.34}\right)\right)} \quad (1.7)$$

### 3.3.5. Teneur en eau 'r' :

C'est la quantité d'eau que contient un kg d'air sec. Il s'agit du rapport de la masse de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la masse d'air sec. Ce rapport est aussi appelé humidité spécifique de l'air humide, désigne parfois par  $x$  et exprime en kg de vapeur par kg d'air sec [2].

$$r = \frac{m_v}{m_a} = \frac{R_a \theta}{R_v} \frac{P_v}{P - P_v} \quad (1.8)$$

Avec :

$m_v, m_a$  : la masse de vapeur d'eau et d'air sec dans l'air humide respectivement.

$P, P_v$  : la pression de l'air humide et de la vapeur d'eau respectivement.

- Cas particulier à la saturation :  $P_v = P_{vs}$

$$r_{\text{sat}} = \frac{R_{as}}{R_v} \frac{P_{vs}}{P - P_{vs}} \quad (1.9)$$

### 3.3.6. Le degré hygrométrique HR ou $\phi$ :

Le degré hygrométrique représente la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air humide par comparaison à la quantité maximale qu'il pourrait contenir à la même température. Pour cette raison, il est également appelé humidité relative.

$$\phi = \frac{P_v}{P_{vs}} = \frac{r}{r_{\text{sat}}} \quad (1.10)$$

Avec :

$r$  : Teneur en humidité

$r_{\text{sat}}$  : Teneur en humidité à la saturation.

### 3.3.7. L'enthalpie spécifique de l'air humide :

L'enthalpie spécifique, notée  $h$ , représente la quantité de chaleur contenue dans un air humide dont la masse d'air sec est de 1 kg [2].

### 3.3.8. Enthalpie spécifique de l'air sec $h_{AS}$ :

Elle représente la quantité de chaleur qu'il faudrait fournir à 1 kg d'air sec pour élever sa température de 0 à  $\theta$ .

$$H_{AS} = m_{AS} C_{p_{AS}} \theta$$

$$D'o\grave{u} : h_{AS} = C_{p_{AS}} \theta \quad (1.11)$$

$C_{p_{AS}}$  : Capacité thermique massique de l'air sec.

### 3.3.9. Enthalpie spécifique de la vapeur d'eau $h_v$ :

Elle représente la chaleur totale qu'il faut fournir à 1 kg d'eau pris à 0°C pour le porter à l'état de vapeur à la température  $\theta$  [4]. .

$$H_V = m_V C_{p_V} \theta + m_V L_V$$

$$D'o\grave{u}: h_v = C_{p_V} \theta + L_V \quad (1.12)$$

$C_{p_V}$ : Capacité thermique massique de la vapeur d'eau [J / kg°C].

$L_V$ : Chaleur latente de vaporisation de l'eau [J/kg v].

### 3.3.10. Enthalpie de l'air humide :

Un mélange d'air humide contenant  $m_{AS}$  [kg] d'air sec et  $m_V$  [kg] de vapeur d'eau présente une enthalpie totale :

$$H = H_{AS} + H_V$$

$$H = m_{AS} C_{p_{AS}} \theta + m_V (C_{p_V} \theta + L_V) \quad (1.13)$$

On déduit donc, l'enthalpie spécifique de l'air humide :

$$h = \frac{H}{m_{AS}} = C_{p_{AS}} \theta + r (C_{p_V} \theta + L_V) \quad (1.14)$$

Avec :

$H_{AS}$  et  $H_V$  : les enthalpies spécifiques de l'air sec et de la vapeur d'eau respectivement.

### 3.3.11. Le volume spécifique de l'air humide :

C'est le volume occupé par le poids d'un kilogramme d'air sec dans un ensemble de conditions spécifiques.

$$v = \frac{V}{m_{AS}} = \frac{1}{\rho} \quad (1.15)$$

Avec :

$\rho$  : La masse volumique de l'air humide

### 3.4. Relations entre les grandeurs caractéristiques de l'air humide :

#### 3.4.1. Relation entre la teneur en humidité et l'humidité relative :

D'après les équations (1.8) et (1.10) on abouti à la relation suivante :

$$\mathbf{r} = \frac{R_{AS}}{R_v} \frac{\varphi P_{VS}}{(P - \varphi P_{VS})} \quad (1.16)$$

#### 3.4.2. Relation entre la masse volumique $\rho$ , la pression totale $P$ , la température $T$ et la pression de vapeur saturante $P_{VS}$ :

On a :

$$\rho = \rho_{AS} + \rho_v = \frac{m_{AS} + m_v}{V}$$

A partir des équations (1.3), (1.4) et (1.16) on obtient :

$$\rho = \frac{P}{R_{AS} T} - \frac{R_v - R_{AS}}{R_v R_{AS}} \frac{\varphi P_{VS}}{T} \quad (1.17)$$

Avec :

$$R_v = R / M_v \quad \text{et} \quad R = R_{AS} / M_{AS}$$

## 4. Conditionnement d'air et les différents diagrammes utilisés :

Avant de passer aux techniques de conditionnement d'air, il est bon de rappeler en premier lieu, les différents types de diagrammes ainsi que leurs modes d'utilisation.

### 4.1 Diagramme de l'air humide :

On utilise le diagramme de l'air humide, également appelé diagramme psychrométrique, pour calculer les évolutions d'un air humide plutôt que d'utiliser des calculs algébriques.

En effet, les formules permettant de calculer  $r$ ,  $h$ ,  $*$ ,  $v$ ,  $T$ ,  $T_f$  et  $T_h$  ne sont pas d'une utilisation simple et rapide.

Les diagrammes de l'air humide sont généralement établis pour une pression atmosphérique normale de  $P = 101325$  [Pa] et pour des températures allant de  $-15$  à  $55^\circ\text{C}$ .

On distingue deux types de diagrammes :

- Diagramme de Carrier : est le plus utilisé. Il se présente à partir de deux axes perpendiculaires, la température sèche en abscisse et la teneur en eau en ordonnée.
- Diagramme de Mollier : se présente à partir de deux axes obliques l'enthalpie spécifique en abscisse et la teneur en eau en ordonné [3].

## 4.2. Présentation des grandeurs caractéristiques de l'air humide sur le diagramme:

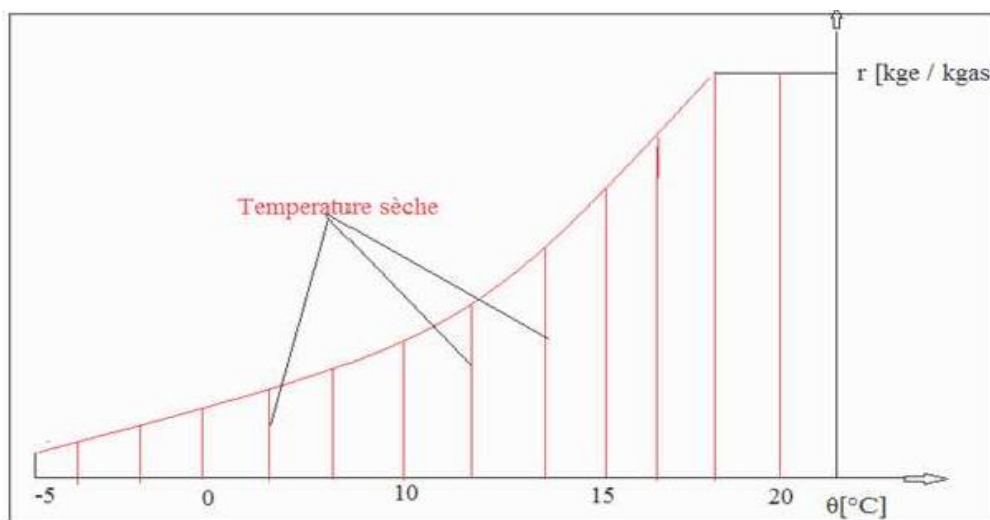
Chaque point du diagramme représente un état de l'air humide considéré, défini par deux grandeurs physiques. Dans ce qui suit, nous donnons les présentations possibles des 7 grandeurs caractéristiques suivantes:

GRANDEUR	SYMBOLE	Unite
Température sèche	$\theta$	[°C]
Température humide	$\theta_h$	[°C]
Température de rosée	$\theta_r$	[°C]
Enthalpie spécifique	h	[kJ/kg]
Humidité absolue	r	[Kg/kgas]
Le volume spécifique	v	[m <sup>3</sup> /kgas]
Humidité relative	HR	[%]

**Tableau 1.1 :** Présentation des grandeurs caractéristiques de l'air humide

### 4.2.1 Température de bulbe sec :

L'axe horizontal représente une grandeur fondamentale du diagramme psychrométrique que l'on appelle plus couramment: température sèche  $\theta$  en °C. Les lignes verticales, appelées isothermes sont des lignes où la température sèche est [3]. constante (fig.1.6).



**Figure.1.6.** Présentation de la température sèche sur le diagramme.



### 4.2.2. Humidité absolue :

L'axe vertical de droite représente cette autre grandeur fondamentale qui indique la teneur en vapeur d'eau de l'air considéré. L'humidité absolue  $r$  s'exprime en kg d'eau par g d'air sec (figure 1.7). Les lignes horizontales sont des lignes à teneur en vapeur d'eau constante.

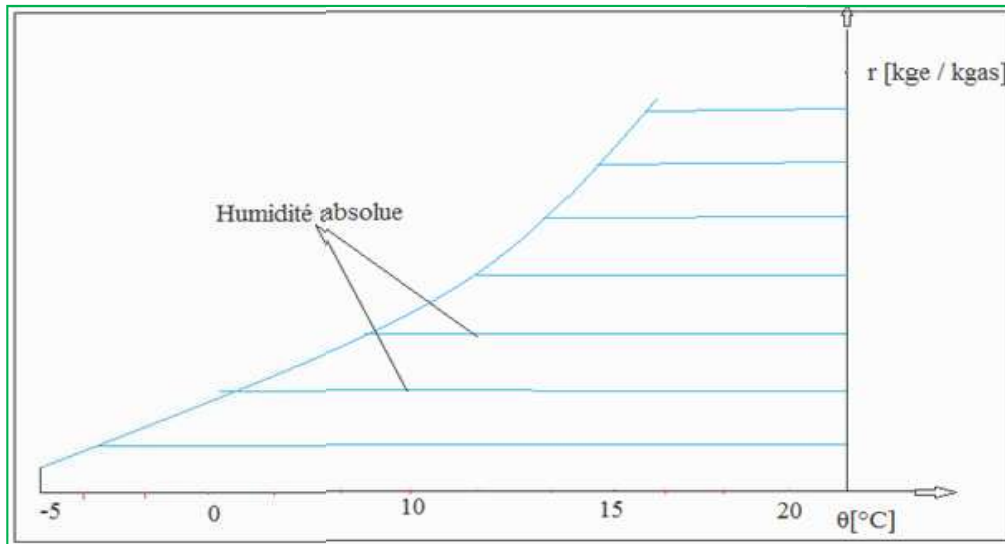


Figure.1.7. Présentation de l'humidité absolue sur le diagramme.

### 4.2.3. Pression partielle de la vapeur d'eau :

L'axe vertical de gauche représente la pression partielle  $P_V$  de la vapeur d'eau contenue dans l'air considéré. Elle s'exprime en "kPa" ou en "mbar". La concentration en vapeur d'eau peut augmenter (en suivant une isotherme) jusqu'à ce que l'air atteigne l'état de saturation ; cet état est représenté par la courbe incurvée la plus à gauche qui permet de déterminer la pression de saturation  $P_{VS}$  lue sur l'axe des pressions (figure 1.8).

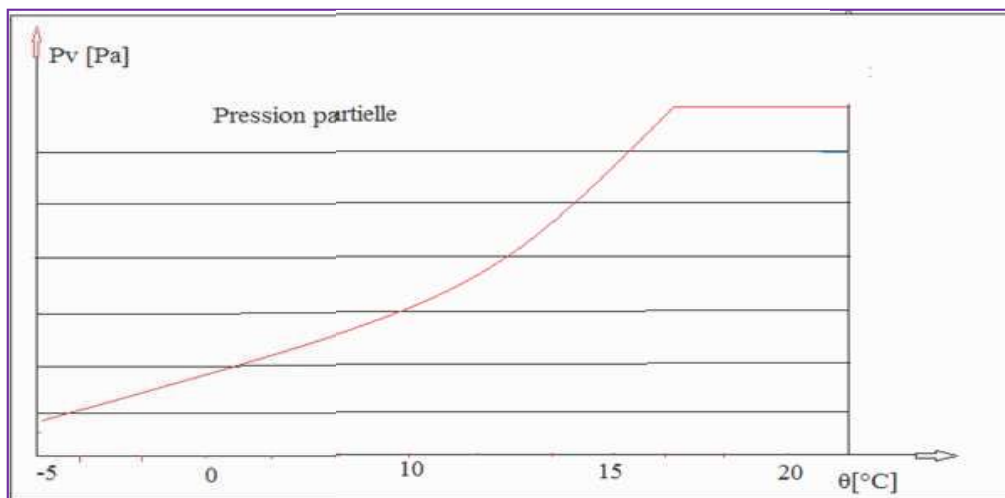
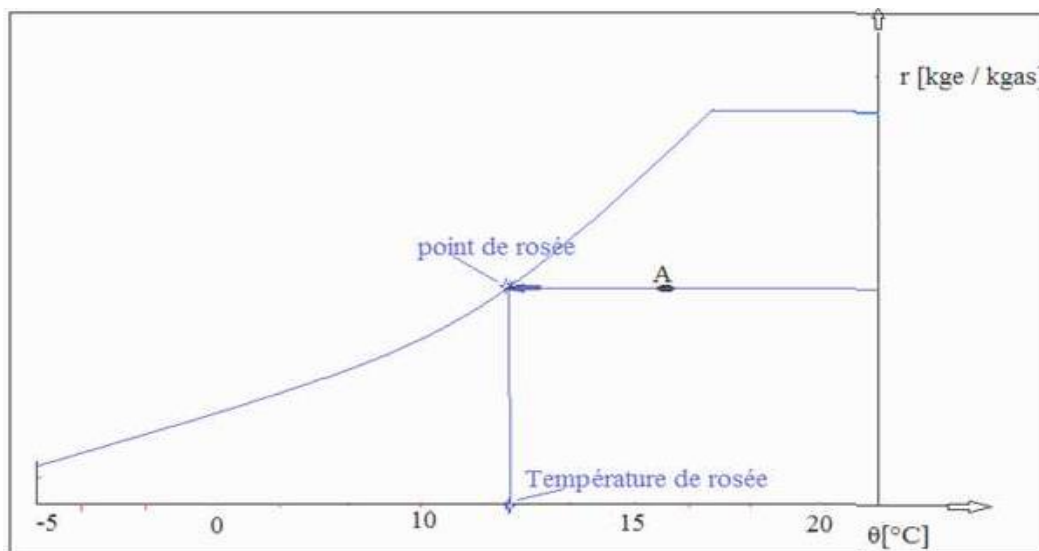


Figure. 1.8. Présentation de la pression partielle  $P_V$  sur le diagramme.

#### 4.2.4. température de rosée $T_r$ :

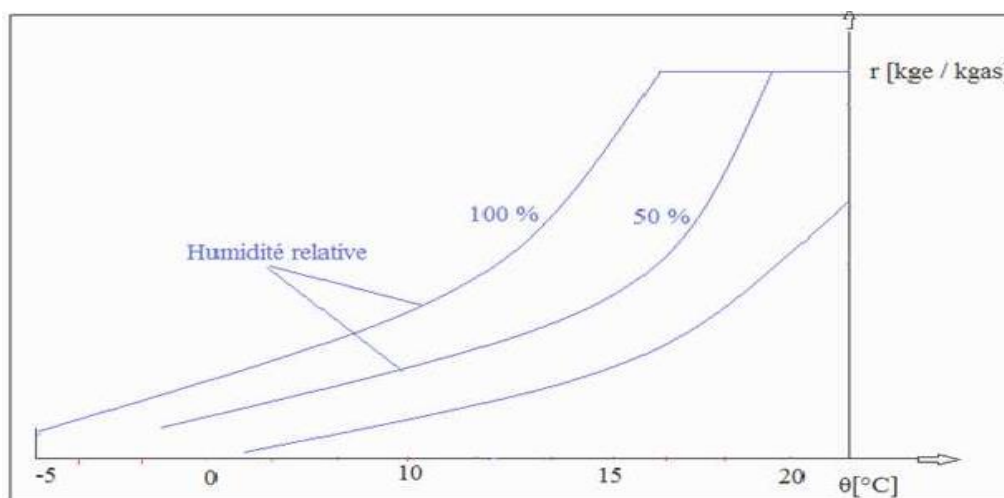
Si on se déplace à partir d'un point A du diagramme, sur une Teneur en eau Constante de droite à gauche on atteint la courbe de saturation en un point appelé **point de rosée**, dont la température lue sur l'axe horizontal est la **température de rosée** de point A est  $\theta_r$  (figure 1.9)



**Figure. 1.9.** Présentation de la température de rosée sur le diagramme.

#### 4.2.5. Humidité relative :

L'air situé sur la ligne de saturation, citée plus haut, est saturé de vapeur d'eau. On dit que son humidité relative **HR** est de 100%. C'est une ligne à l'humidité relative constante. Si l'on divise la teneur en vapeur d'eau par deux, l'air se trouve sur une ligne saturée de moitié, c'est-à-dire à **HR** = 50 %. On peut tracer ainsi un réseau de courbes à différentes valeurs d'humidité relative constante [3] (figure 1.10).



**Figure. 1.10.** Présentation de l'humidité relative sur le diagramme.

#### 4.2.6. Enthalpie spécifique :

L'enthalpie  $h$  est la quantité de chaleur totale de l'air humide considéré. Elle s'exprime en kJ/kg (ou en kcal/kg). On considère que, l'air dont sa température  $\theta = 0^\circ\text{C}$  et sa teneur en vapeur d'eau  $r = 0$  kgeau/kgair sec, a une enthalpie  $h = 0$  kJ/kg. Le réseau de droites obliques perpendiculaires à l'échelle des enthalpies constitue des lignes à enthalpie constante, appelées isenthalpes (figure 1.11).

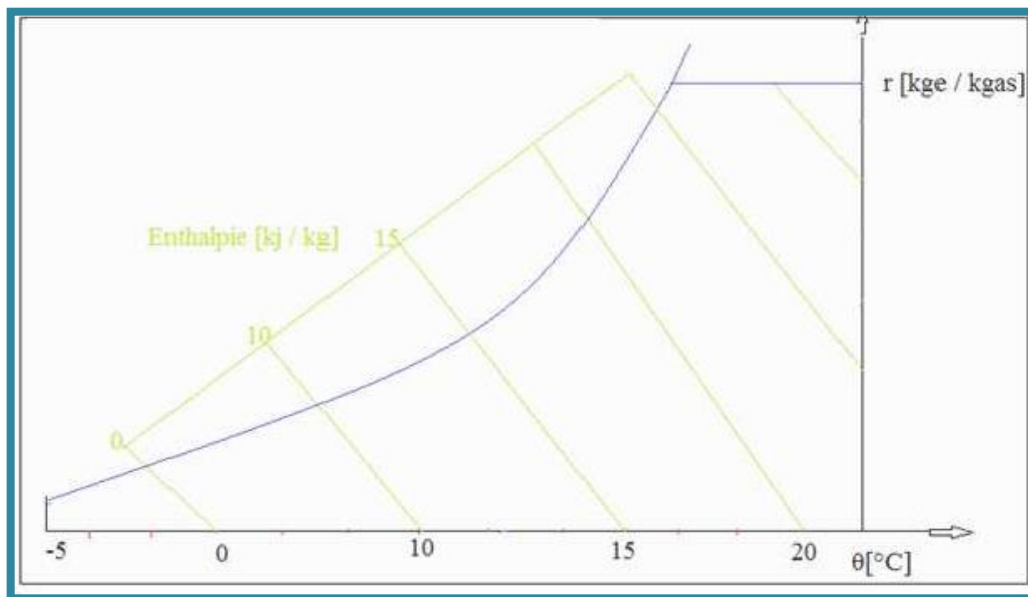


Figure. 1.11. Présentation de l'enthalpie spécifique sur le diagramme.

#### 4.2.7. Température de bulle humide :

Si à partir du point A du diagramme, on se déplace le long d'une isenthalpe pour atteindre la courbe de saturation en un point, alors la température lue en ce point sur l'axe horizontal est appelée température humide  $T_h$  du point initial considéré (figure 1.12).

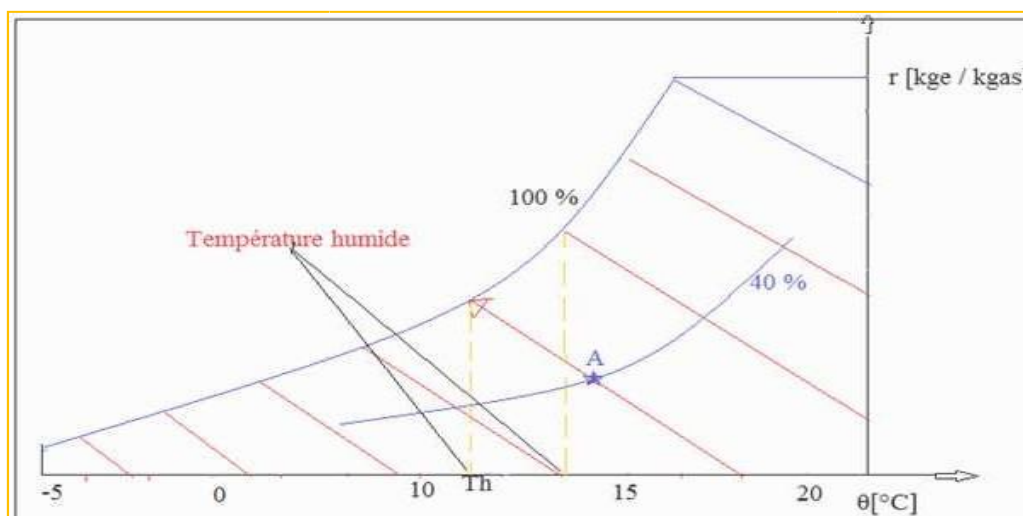


Figure. 1.12. Présentation de la température humide sur le diagramme.

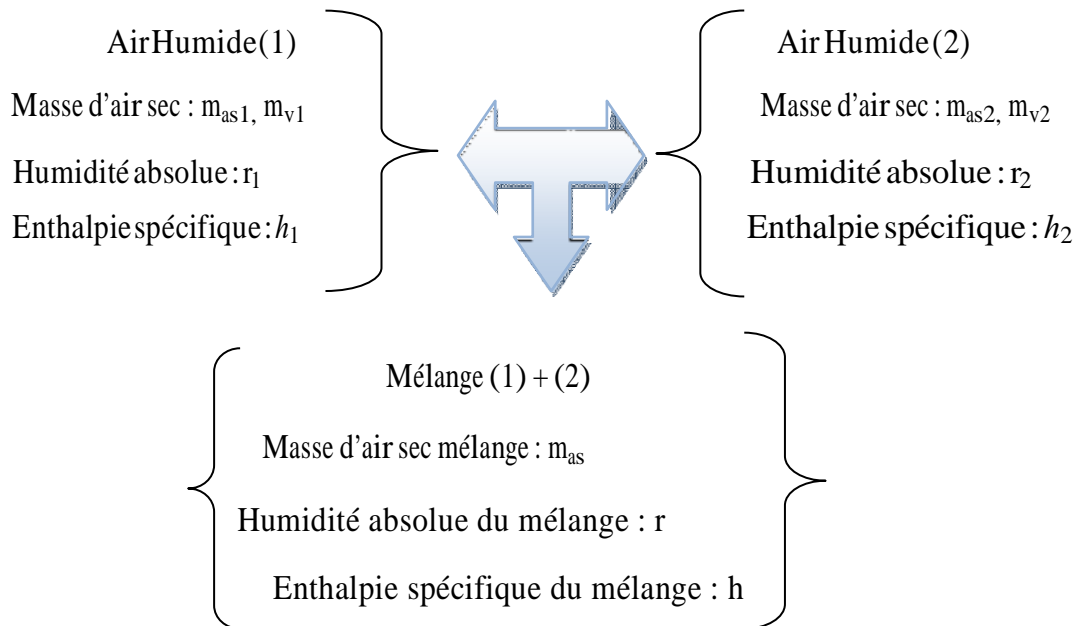


### 4.3. Conditionnement de l'air humide :

Le conditionnement d'air est un moyen qui contribue à assurer le bon fonctionnement et l'amélioration des performances des systèmes techniques tels que la réfrigération, le séchage, etc. ... Il permet aussi de déterminer les paramètres de confort des personnes. Pour cela la connaissance des traitements, que nous rappelons ci après, est indispensable [4].

#### 4.3.1. Mélange de deux airs :

**a. Principe :** Soient deux airs humides ayant les caractéristiques suivantes:



**b. bilans**

D'après les bilans de masse et d'énergie, on peut écrire:

$$m_{as} = m_{as1} + m_{as2} \quad \text{Ou bien} \quad q m_{as} = q m_{as1} + q m_{as2}$$

L'enthalpie totale du mélange est la somme des enthalpies totales apportées par chaque air:

$$H = H_1 + H_2$$

En effet: la quantité de chaleur du mélange est égale à la somme des énergies de chaque air.

On a donc:  $(m_{as1} + m_{as2}) h = m_{as1} h_1 + m_{as2} h_2$

D'où l'enthalpie spécifique du mélange :

$$h = \frac{(m_{as1} h_1 + m_{as2} h_2)}{(m_{as1} + m_{as2})} \quad (1.18)$$

- Bilan en humidité.

La masse d'humidité du mélange est la somme des masses d'humidité apportées par chaque air :  $m_v = m_{v1} + m_{v2}$

Ainsi, l'humidité absolue du mélange est donnée par la relation suivante : (1.19)

$$r = \frac{(m_{as1} r_1 + m_{as2} r_2)}{(m_{as1} + m_{as2})} \quad (1.19)$$

**c. Détermination graphique des caractéristiques du mélange :**

soit c est le centre de gravité des points A et B affectés respectivement des masses  $m_{as1}$  et  $m_{as2}$ .

On a alors la relation:

$$m_{as1} \times CA = m_{as2} \times CB \quad \text{ou encore:} \quad CA / m_{as2} = CB / m_{as1}$$

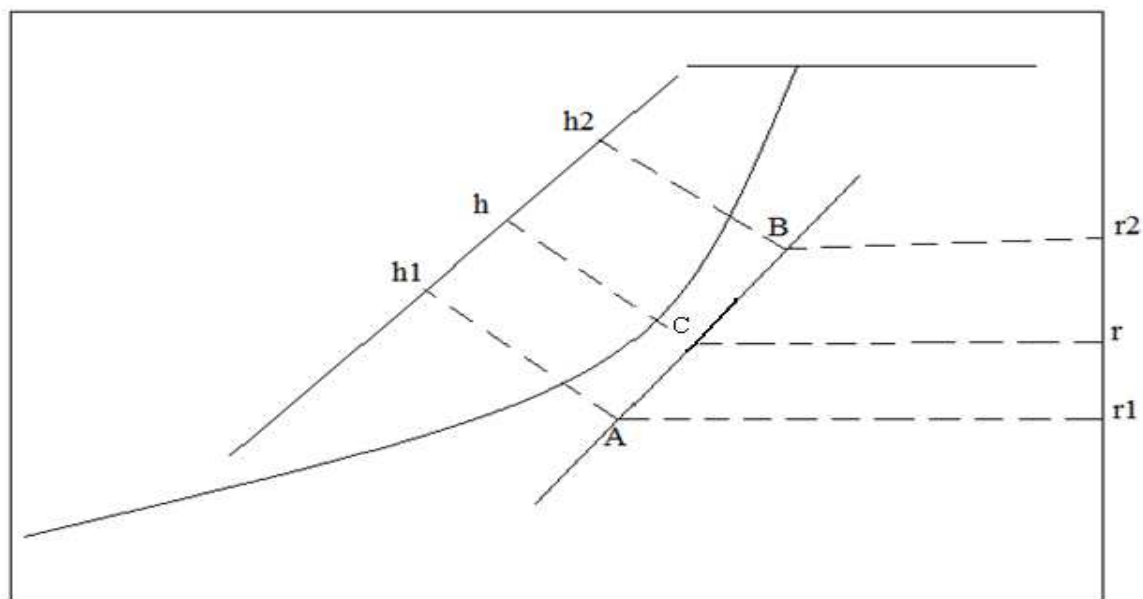
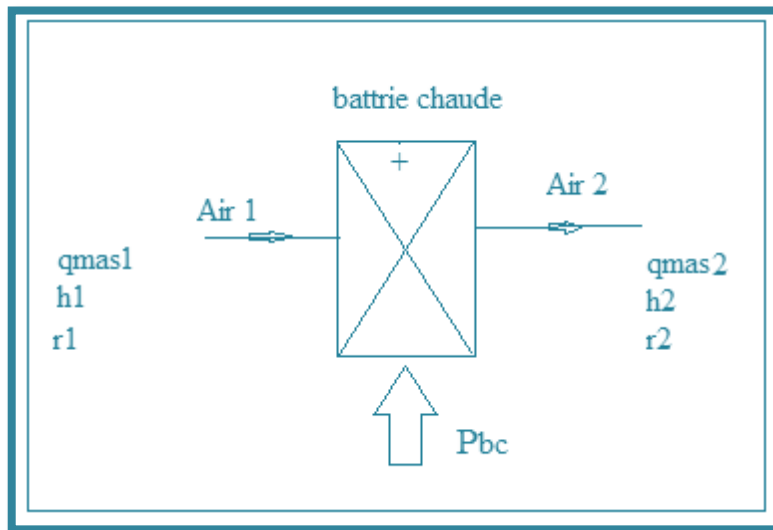


Figure. 1.15. Lecture des grandeurs caractéristiques d'un mélange.

### 4.3.2. Chauffage de l'air :

#### A. Principe :

Le chauffage de l'air est un des traitements fondamentaux en Climatisation. Il consiste uniquement à apporter une puissance  $P$  à l'air. Ce qui augmente son enthalpie sans modifier son humidité absolue [4].



La fonction chauffage est assurée par un échangeur thermique appelé batterie de chauffage. L'énergie thermique est fournie par un fluide primaire (eau chaude, vapeur, fluide frigorigène...) ou bien par l'électricité (effet Joule).

#### B. Bilans :

D'après le bilan de la masse, on peut écrire:

$$m_{as1} = m_{as2} = m_{as} \quad \text{ou} \quad q m_{as1} = q m_{as2} = q m_{as}$$

□ Bilan en humidité

La batterie chaude n'apporte ni n'extrait d'humidité.

En conséquence :

$$m_{v1} = m_{v2} = m_v \quad \text{ou} \quad q m_{v1} = q m_{v2} = q m_v$$

$$r = r1 = r2 \quad (1.20)$$

**Bilan enthalpi que :** La batterie chaude reçoit la puissance PBC et elle occasionne des pertes thermiques.

En régime établi, la somme des puissances entrantes sont égales à la somme des puissances sortantes de la batterie chaude.

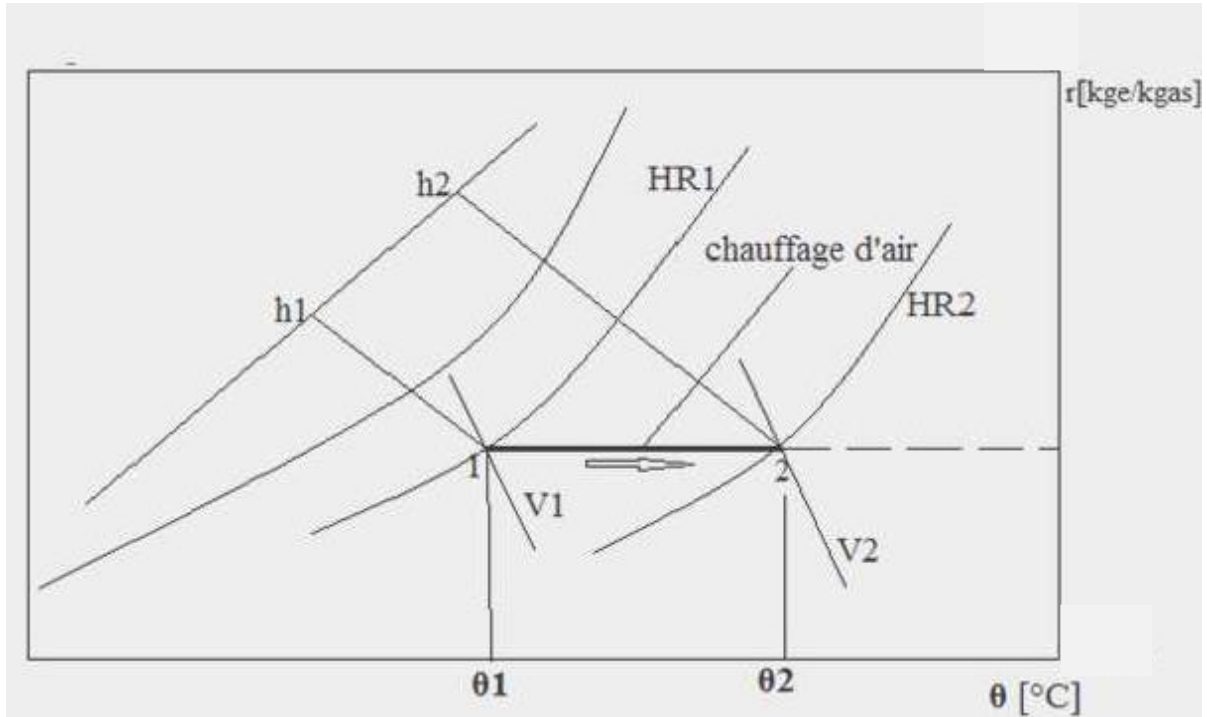
d'air

$$P_{\text{air}1} + P_{\text{BC}} = P_{\text{air}2} \quad \text{alors} \quad q m_{\text{as}} h_1 + P_{\text{BC}} = q m_{\text{as}} h_2$$

$$\text{D'où : } h_2 = h_1 + \frac{P_{\text{BC}}}{q m_{\text{as}}} \quad (1.21)$$

PBC : La puissance de la batterie chaude.

C. Présentation sur le diagramme de l'air humide :



**Figure.1.16.** Evolution d'air dans une batterie chaude.

On constate sur la figure 1.16. Que l'augmentation de l'enthalpie ( $h_2 > h_1$ )

Et la conservation de la teneur en eau ( $r_1 = r_2$ ) a pour conséquence :

- une augmentation de la température  $\theta_2 > \theta_1$
- une diminution du degré hygrométrique  $HR_2 < HR_1$
- une augmentation de volume spécifique  $v_2 > v_1$

### 4.3.3 Refroidissement de l'air :

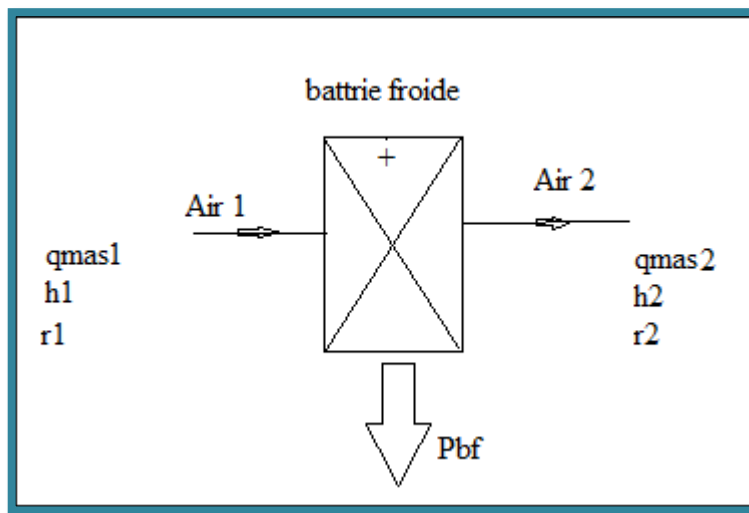
**A. Principe :**



On entend par refroidissement une diminution d'enthalpie de l'air sans variation de la teneur en humidité. La fonction refroidissement est assurée par un échangeur thermique appelé "batterie froide" [4].

**B.Bilans :**

D'après les bilans massique, en humidité et enthalpi que, on a :



D'où :

$$r = r_1 = r_2$$

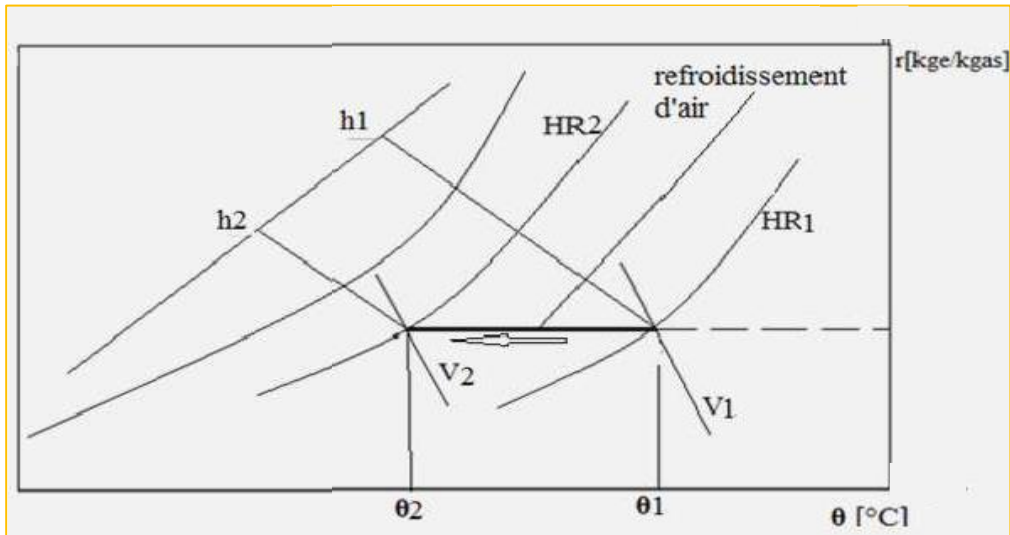
$$h_2 = h_1 + \frac{P_{BF}}{q m_{as}}$$

PBF: Puissance de la batterie froide

$q m_{as}$  : Débit de la masse d'air sec

**c. Évolutions sur le diagramme de l'air humide :**

Le refroidissement se représente sur le diagramme de l'air humide par un vecteur horizontal orienté de la droite vers la gauche.



**Figure.1.17.** Evolution d'air dans une batterie froide.

On constate sur la figure 1.17 que : La diminution de l'enthalpie  $h_2 < h_1$  et la conservation de la teneur  $r_1 = r_2$  ont pour conséquences :

- une diminution de la température  $\theta_2 < \theta_1$
- une augmentation du degré hygrométrique  $HR_2 > HR_1$
- une diminution de volume spécifique  $v_1 > v_2$

#### 4.3.4. Humidification de l'air :

L'humidification de l'air consiste à augmenter la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air ou plus précisément, à élever sa teneur en humidité.

Deux procédés sont utilisés :

- Humidification par pulvérisation d'eau.
- Humidification par injection de vapeur.

#### 4.3.5. Déshumidification de l'air :

La déshumidification de l'air consiste à diminuer la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air ou plus précisément, à abaisser sa teneur en humidité. Il existe plusieurs techniques de la déshumidification.

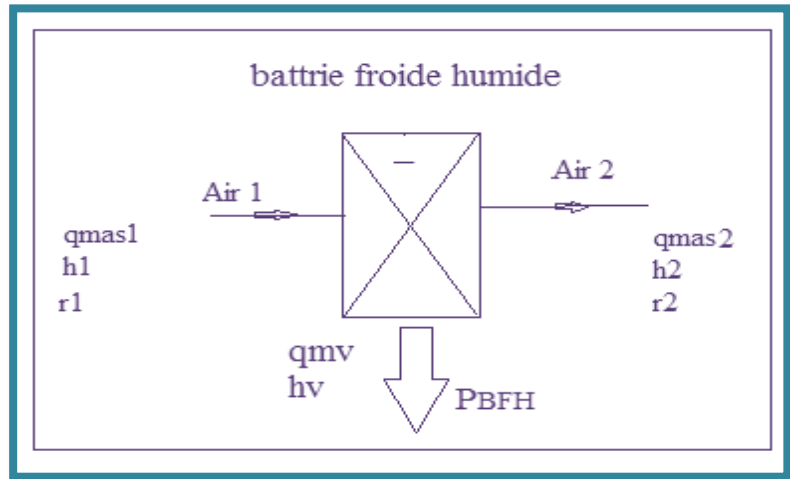
##### 4.3.5.1. Déshumidification par refroidissement :

###### a. principe :

Le principe consiste à refroidir l'air à une température inférieure à sa température de rosée en utilisant un échangeur appelé 'batterie froide'. L'air ainsi refroidi perd une partie de sa vapeur d'eau par condensation. Le fluide de

refroidissement circulant dans l'échangeur soit de l'eau glacée distribuée à partir d'une production de froid centralisée, soit par un fluide frigorigène.

### b. bilans :



o D'après le bilan d'humidité :

$$r_2 = r_1 - \frac{q m_v}{m_{as}}$$

$q N_V$  : Le débit de vapeur d'eau condensé au contact de la surface d'échange.

o D'après le bilan enthalpi que :

$$h_2 = h_1 - \frac{PBF + q m_v}{q m_a} \quad (2.23)$$

$PBFK$  : Puissance de la batterie froide humide.

$h_v$  : Enthalpie massique de la vapeur d'eau condensée.

### c. Evolutions sur le diagramme de l'air humide :

En se basant sur le diagramme de l'air, la détermination du point de sortie

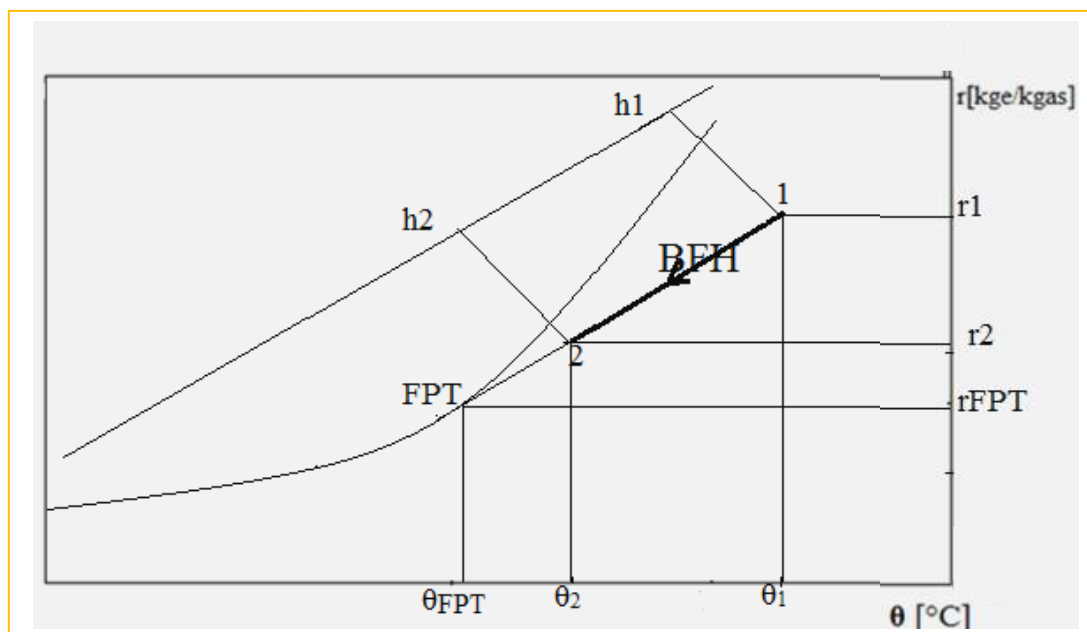
de la batterie nécessite la connaissance de deux paramètres :

- Le point FPT (Fin du Processus Théorique) qui est situé sur la courbe de saturation (HR=100%). La température de point FPT

Dépend de la nature du fluide de refroidissement : dans le cas d'un fluide frigorigène,  $T_{FPT} = T_E$  (température d'évaporation); et dans le cas d'une batterie à eau,

$$T_{FPT} = \frac{T_E + T_S}{2}$$

où  $T_E, T_S$ : représentent la température d'entrée et de sortie de l'eau dans la batterie froide.



**Figure.1.18.** Evolution d'air dans une batterie froide humid



## 1. Acquisition et enregistreur de données (Datalogger) :

### 1.1 Définition :

Un datalogger ou encore appelé enregistreur de données peut être simplement défini autant que n'importe quel dispositif utilisé pour stocker des données. Cela comprend de nombreux dispositifs d'acquisition de données telles que des cartes enfichables ou des systèmes de communication série (enregistrement de données en temps réel). Cependant, dans la pratique commune, un datalogger est un dispositif considéré autonome capable d'acquérir des signaux électriques présentant plusieurs types de sources analogiques en utilisant des capteurs convenables, et de stocker les données numérisées dans une mémoire interne pour plus tard les télécharger sur un ordinateur.

En fait, l'avantage principal des dataloggers est qu'ils peuvent fonctionner indépendamment d'un ordinateur. Cette autonomie est fortement souhaitée lorsqu'on travaille sur des terrains dégagés nécessitant les moindres exigences de câblage et d'alimentation. Ceci s'applique parfaitement sur les maisons agricoles intelligentes.

Les enregistreurs de données sont disponibles en différentes formes et tailles. La gamme comprend des collecteurs de fonction fixe à canal unique qui sont plus simples et économiques, jusqu'à des dispositifs programmables plus puissants qui sont capables de traiter des centaines d'entrées. Un enregistreur de données est un dispositif automatique, voire programmable, qui enregistre des valeurs de mesure individuelles et des séries de mesure sur une longue période (pouvant couvrir plusieurs mois). Elles peuvent être transmises par le biais d'une interface à un afficheur, à un PC muni d'un logiciel (pour visualisation et analyse), une imprimante, ou à un téléphone intelligent [5].

On veut dire par signal mesuré toute grandeur physique telle que: température, humidité relative (% HR), intensité, tension, vitesse du vent, pression, intensité lumineuse et sonore, ainsi que toute grandeur convertible en tension ou courant.

Les dataloggers peuvent être raccordés à des sondes (capteurs) externes (sonde d'immersion, sonde alimentaire de pénétration pour congelés, pour haute température, etc.) et disposer de plusieurs canaux (un canal de mesure par sonde connectée) [5]. L'autonomie du datalogger peut aller jusqu'à l'affichage et l'interaction par mini clavier.

La capacité de mémoire interne (par exemple de type flash) doit être suffisante pour stocker dans certains cas des milliers de données. Dans le cas contraire, il peut être nécessaire, lors de la programmation préalable du microprocesseur, de diminuer la cadence à laquelle la mesure doit être réalisée [5]. Ceci était réalisé dans notre projet.

La connexion de l'interface de l'enregistreur au PC se fait par interface série (RS 232), USB, LAN, Bluetooth, communication en champ proche, etc. Les plus récents peuvent être mis en réseau et servir des pages web, une alimentation par énergie solaire peut être utilisée en complément d'une batterie [5]. Il est à noter que, comme est le cas de tous les instruments de mesure, un enregistreur de données doit être étalonné au moins une fois par an par un laboratoire accrédité.

## 1.2. Applications :

Voici une liste non limitative d'applications:

- En laboratoires, en production (procédés de fabrication).
- Capteur météorologique.
- Diagnostic médical (holter cardiaque...) en logement dans les musées.
- Comptage du trafic routier.
- Surveillance d'ouvrages (ponts, barrages...), comme Jauge de déformation.
- Recherche sur la faune.
- Surveillance de postes électriques.
- Enregistrement d'une station météorologique (par exemple, vitesse / direction du vent, température, humidité relative, rayonnement solaire).
- Enregistrement hydrographique (p. Ex. Niveau de l'eau, profondeur de l'eau, débit de l'eau).
- Enregistrement de pression de gaz.

## 1.3. Avantages :

L'enregistreur de données permet à l'utilisateur de contrôler et de faciliter efficacement les objets à proximité et à distance. L'enregistreur de données de température sert à garantir

que les aliments non transformés sont stockés à la température correcte dans les réservoirs de réfrigérant. Il est également utilisé dans les fours et les lignes de production pour garantir que les aliments sont chauffés à la bonne température pendant la période requise, les enregistreurs de données sont souvent de petites pièces, assez pour être placé dans un récipient isolé ou directement à un produit dans un camion réfrigéré ou un conteneur réfrigéré. Ceci surveille la température des produits expédiés. Pour surveiller la température de l'air.

#### **1.4. Inconvénients :**

L'inconvénient majeur de datalogger est la nécessité de câblages entre Arduino et capteurs ce qui nécessite une certaine prudence et entraîne des risques d'endommagement d'interconnexions lors des travaux quotidiens des agriculteurs comme c'est le cas de notre projet. De plus, il faudra utiliser un grand nombre de capteurs et de câbles afin d'assurer les mesures surtout la maison agricole.

#### **1.5. Structure de base du datalogger :**

La première étape consiste à concevoir une schématique du datalogger. La Figure 2.1 présente la structure principale, permettant de présenter certaines fonctionnalités du datalogger en se servant des capteurs (d'humidité et de température) et module (module de carte SD). Ces scénarios seront implémentés via la carte « arduino Méga » exécutant les instructions embarquées.



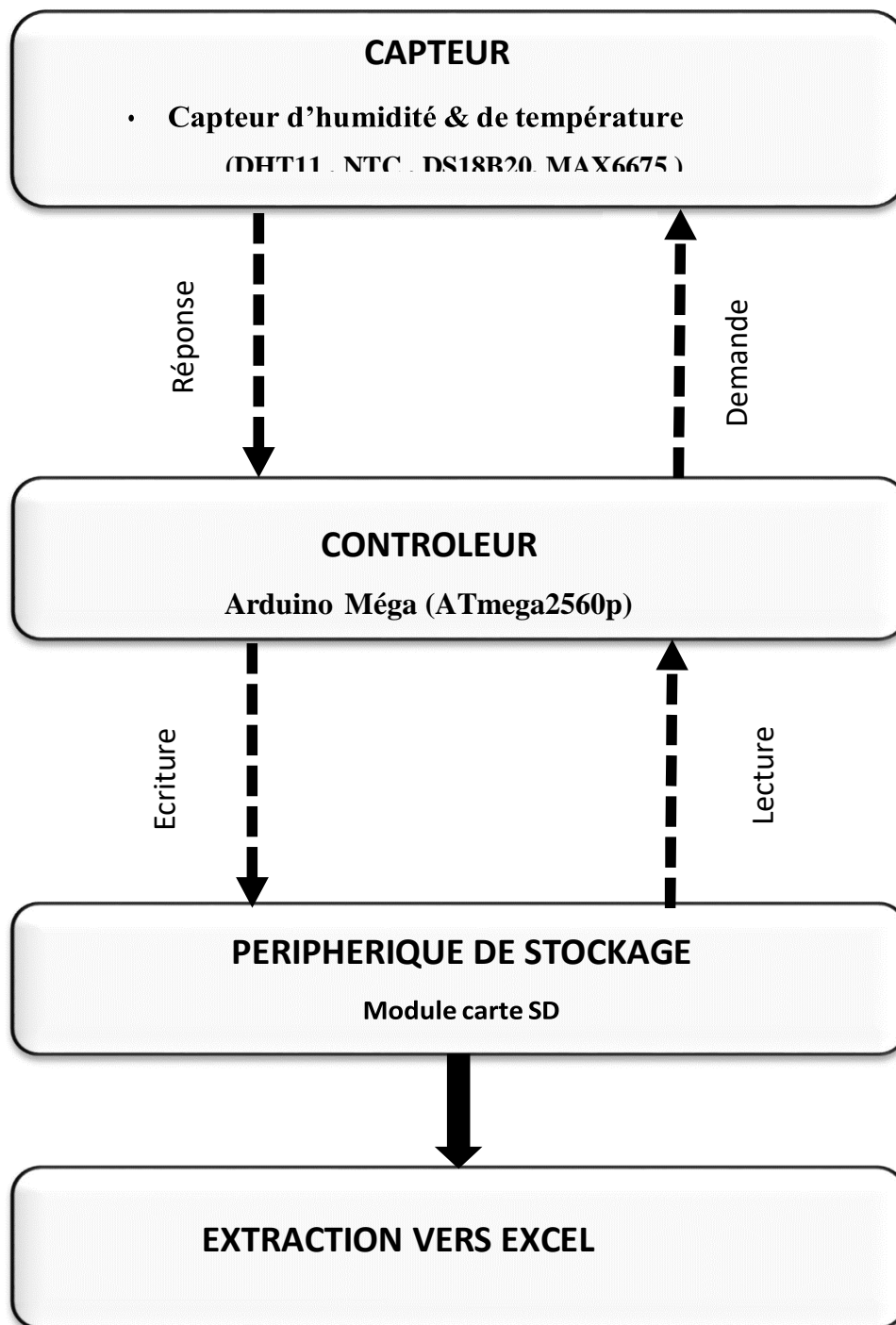


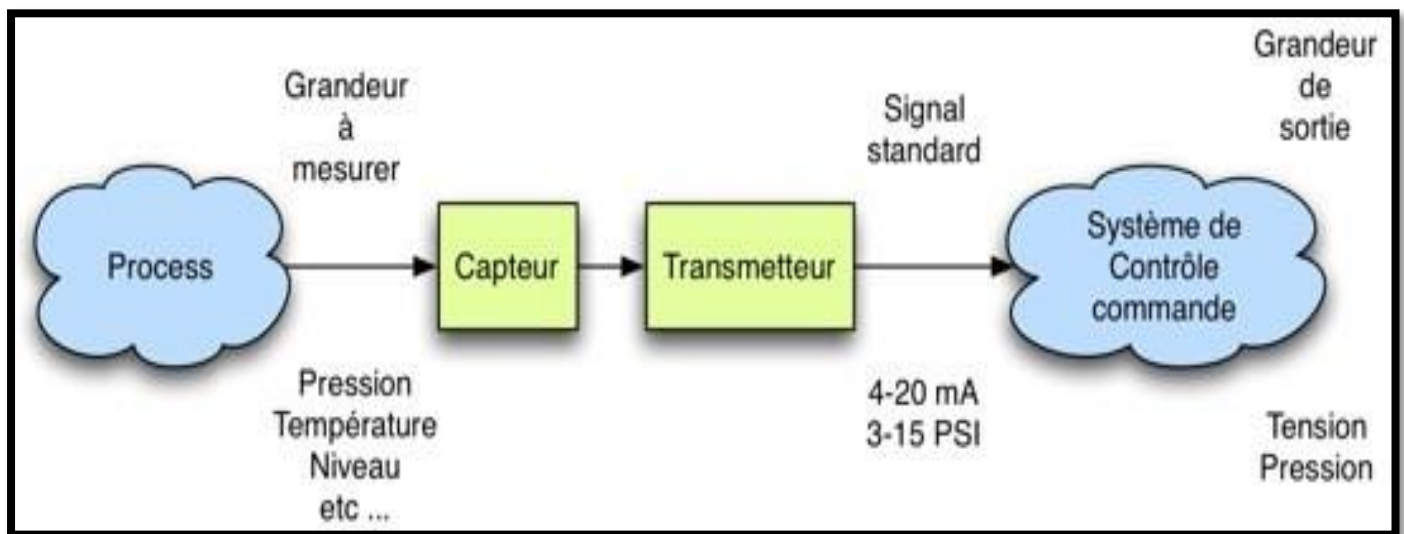
Figure 2-1 : schéma Structure de base du datalogger

## 2. Les capteurs :

### 2.1. Définition :

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle commande. Grandeur physique  
Signal Grandeur physique Signal électrique (T, H, L ...)

Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle, Les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande. Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique, on parlera alors de signal, Les signaux sont généralement de nature électrique ou pneumatique. On peut caractériser les capteurs selon [6]. .



**Figure 2.1. :** schéma Grandeur physique Signal électrique

## 2.2. Grandeurs d'influence

### 2.2.1. Définition:

Grandeurs physiques susceptibles d'entraîner un changement du signal de sortie. On cherche donc à minimiser leurs effets.

**Température** → Caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles enceinte thermo statée

**Pression, accélération** → Déformations enveloppe rigide, supports antivibratoires

**Humidité** → Constante diélectrique, résistivité (isolation électrique ) enceinte étanche

**Champs magnétiques variables ou statiques** → f.é.m. induites pour les premiers et augmentation de la résistivité pour les seconds (matériau magnéto-résistant)

**Tension d'alimentation (amplitude, fréquence)** → Caractéristiques électriques alimentation régulée[6].

### 2.3. Classification des capteurs :

Les capteurs présentent des caractéristique différentes, leurs différences peuvent se faire aussi grâce à :

- ✓ Leur principe de fonctionnement : Capteurs actifs et capteurs passifs
- ✓ Leur principe de traduction du mesurande : Capteur résistif et capteur à effet hall...etc

#### 2.3.1. Capteur actif :

Fonctionnant 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 au mesurant de : énergie thermique, mécanique ou de rayonnement [6].

Mesurande	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux lumineux	Pyroélectricité Photoémission Effet photovoltaïque Effet photoélectromagnétique	Charge Courant Tension Tension
Force Pression Accélération	Piézoélectricité	Charge
Vitesse	Induction électromagnétique	Tension
Position (aimant)	Effet Hall	Tension

**Tableau 2.1.** Capteur actif

### 2.3.2. Capteur passif:

Il s'agit généralement d'impédance (résistance, inductance, capacité) dont l'un des paramètres Déterminants est sensible à la grandeur mesurée.

La variation d'impédance résulte :

- D'une variation de dimension du capteur (capteurs de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile)
- D'une déformation résultant d'une force ou d'une grandeur s'y ramenât (pression accélération) [6].

Mesurande	Caractéristique électrique sensible	Types de matériaux Utilizes
Temperature Très basse temperature	Résistivité Constante diélectrique	Métaux : platine, nickel, cuivre. Semi-conducteurs. Verres.
Flux lumineux	Résistivité	Semi-conducteurs.
Deformation	Résistivité Perméabilité magnétique	Alliages de nickel, silicium dopé. Alliage ferromagnétique.
Position (aimant)	Résistivité	Matériaux magnétorésistants : bismuth, antimoniure d'indium.
Humidité	Résistivité Constante diélectrique	Chlorure de lithium. Alumine ; polymères.

**Tableau 2.2.** Capteur passif

corps d'épreuve : Impédance dont l'un des paramètres est sensible au mesurande.

Les variations d'impédance ne sont mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit électrique. (à alimenter)

$Z = f(\text{géométrie, dimensions, propriétés électriques})$   
 $([\rho], [\mu], [\varepsilon])$

Variations géométrique : Capteur à élément mobile

Capteur à élément déformable

Variation des propriétés des matériaux :

Correspondance univoque entre la valeur de la grandeur et celle de l'impédance du capteur.

## 2. les effets physiques utilisés en instrumentation:

- **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  $e(T_1, T_2)$ . Application : détermination à partir de la mesure de  $e$  d'une température inconnue  $T_1$  lorsque  $T_2$  ( $0^\circ\text{C}$  par exemple) est connue. (**Fig. 2.2a**).
- **Effet pyroélectrique** : Certains cristaux dits pyroélectriques, le sulfate de triglycine par exemple, ont une polarisation électrique spontanée qui dépend de leur température. Application : un flux de rayonnement lumineux absorbé par un cristal pyroélectrique élève sa température ce qui entraîne une modification de sa polarisation qui est mesurable par la variation de tension aux bornes d'un condensateur associé (**Fig. 2.2b**).
- **Effet piézo-électrique** : L'application d'une force et plus généralement d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électriques, le quartz par exemple, entraîne une déformation qui suscite l'apparition de charges électriques égales et de signes contraires. Application : mesure de forces ou de grandeurs s'y ramenant (pression, accélération) à partir de la tension que provoquent aux bornes d'un condensateur associé à l'élément piézo-électrique les variations de sa charge (**Fig. 2.2c**).
- **Effet d'induction électromagnétique** : Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ d'induction fixe, il est le siège d'une f.é.m. proportionnelle à sa vitesse de déplacement. Application : la mesure de la f.é.m. d'induction permet de connaître la

vitesse du déplacement qui est à son origine (**Fig. 2.2d**).

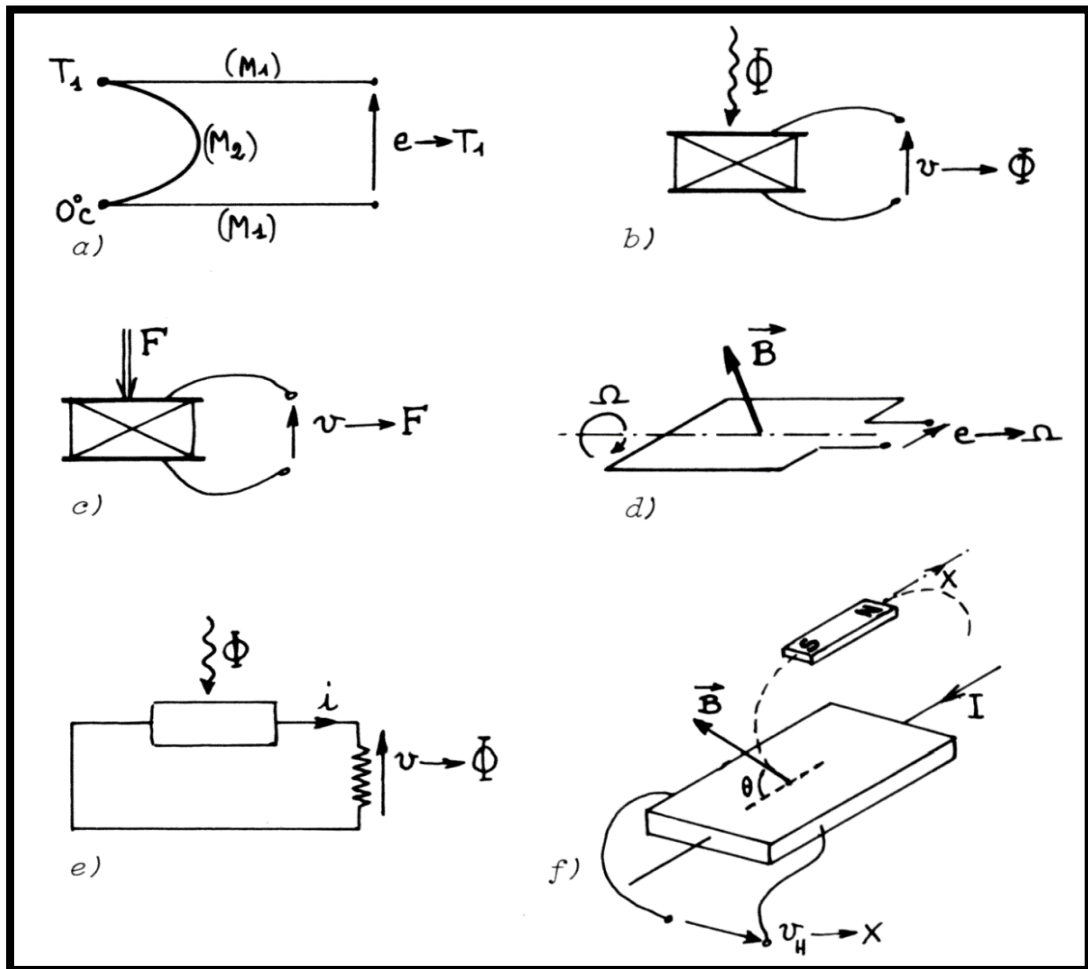
- **Effets photoélectriques** : On en distingue plusieurs, qui diffèrent par leurs manifestations Mais qui ont pour origine commune la libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement électromagnétique, dont la longueur d'onde est inférieure à une valeur seuil, caractéristique du matériau.
- **Effet photoémissif** : Les électrons libérés sont émis hors de la cible éclairée et forment un courant collecté par application d'un champ électrique.
- **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction de semi-conducteurs P et N illuminée ; leur déplacement dans le champ électrique de la jonction modifie la tension à ses bornes.
- **Effet photo électromagnétique** : L'application d'un champ magnétique perpendiculaire au rayonnement provoque dans le matériau éclairé l'apparition d'une tension électrique dans la direction normale au champ et au rayonnement. Applications. Les effets photoélectriques sont à la base de méthodes de mesure des grandeurs photométriques d'une part, et ils assurent d'autre part, la transposition en signal électrique des informations dont la lumière peut être le véhicule (**Fig. 2.2e**).
- **Effet Hall** :. Un matériau, généralement semi-conducteur et sous forme de plaquette, est parcouru par un courant  $I$  et soumis à une induction  $B$  faisant un angle  $\theta$  avec le courant. Il apparaît, [7]. dans une direction perpendiculaire à l'induction et au courant une tension  $v_H$  qui a pour expression :

$$V_H = K_H \cdot I \cdot B \sin$$

où  $K_H$  dépend du matériau et des dimensions de la plaquette.

Application : un aimant lié à l'objet

dont on veut connaître la position détermine les valeurs de  $B$  et  $\theta$  au niveau de la plaquette : la tension  $v$  qui par ce biais est fonction de la position de l'objet en assure donc une traduction électrique (**Fig. 2.1f**).



**Figure.2.2** : exemples d'application d'effets physiques à la réalisation de capteurs actifs

(a) thermoélectricité, (b) pyroélectricité, (c) piézoélectricité, (d) induction électromagnétique, (e) photoélectricité, (f) effet Hall.

### 3. Caractéristiques métrologiques :

#### a) Etalonnage :

L'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer, sous forme graphique ou algébrique, la relation entre le mesurande et la grandeur électrique de sortie. Très souvent l'étalonnage n'est valable que pour une seule situation d'utilisation du capteur [7].

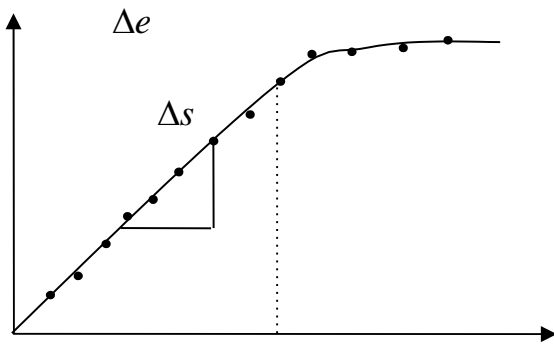
#### b) Limites d'utilisation :

Les contraintes mécaniques, thermiques ou électriques auxquelles un capteur est soumis entraînent, lorsque leurs niveaux dépassent des seuils définis, une modification des

Caractéristiques du capteur. Au-dessus d'un certain seuil l'étalonnage n'est plus valable, au-dessus d'un autre plus grand le capteur risque d'être détruit.

### c) Sensibilité :

Plus un capteur est sensible plus la mesure pourra être précise. C'est une caractéristique importante pour l'exploitation et l'interprétation des mesures.



- réponse linéaire pour  $e < e_0$   
 - sensibilité:  $S = \frac{ds}{de} = \frac{\Delta s}{\Delta e}$

- réponse faible pour  $e > e_0$   
 - sensibilité:  $S = \frac{ds}{de} \rightarrow 0$

Contrainte: constance de la sensibilité :

$$\Delta S = \frac{ds}{de}$$

Dépend de:

- |                                  |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| - La valeur de e                 | (linéarité)             |
| - La fréquence de variation de e | (bande passante)        |
| - Temps                          | (vieillessement)        |
| - Grandeurs physiques parasites  | (grandeurs d'influence) |

### d) Rapidité - Temps de réponse :

La rapidité est la spécification d'un capteur qui permet d'apprécier de quelle façon la grandeur de sortie suit dans le temps les variations du mesurande.



Le temps de réponse  $t_r(\epsilon)$  ou d'établissement à  $\epsilon$  près est défini comme la durée minimale d'attente après l'application d'un échelon à l'entrée, pour que l'écart relatif de la sortie par rapport à sa valeur finale demeure toujours inférieur à  $\epsilon$ .

La grandeur d'entrée : 
$$x(t) = X_1 \cdot U(t)$$

$U(t)=0$  pour  $t < 0$  et  $U(t) = 1$  pour  $t \geq 0$

La grandeur de sortie  $y(t)$  tend vers  $\gamma_1$  quand  $t_1 \rightarrow \infty$

#### e) Finesse :

C'est une spécification qui permet d'estimer l'influence de la présence du capteur et de ses liaisons sur la valeur du mesurande. La finesse doit être la plus grande [7] possible.

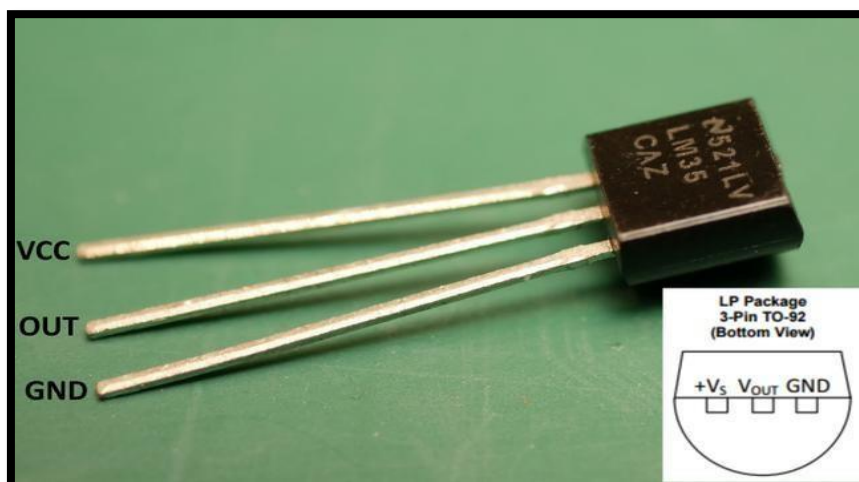
## 4. Différents types de capteurs :

### 4.2. Capteur de Température LM35 :

Le capteur de température est un dispositif qui permet de transformer une grandeur physique (Température) en une grandeur électrique (tension ou courant), Comme le capteur de lumière il existe deux type du capteur (actif et passif), dans notre cas nous allons utiliser un capteur du type actif (Circuit intégré LM35).

Il est extrêmement populaire en électronique, car précis, peu couteux, très simple d'utilisation et d'une fiabilité à toute épreuve.

Le capteur de température LM35 est capable de mesurer des températures allant de  $-55^\circ\text{C}$  à  $+150^\circ\text{C}$  dans sa version la plus précise et avec le montage adéquat, de quoi mesurer n'importe quelle température. [8]



**Figure 2.3 :** Capteur de température LM 35

Si vous soumettez une carte Arduino "classique" à ces températures extrêmes, elle va purement et simplement cesser de fonctionner ou se dégrader très rapidement. Cela est valable pour les cartes Arduino, mais aussi pour tous autres circuits électroniques fabriqués suivant les standards "grand public" (et non "industriels").

Pour information, les gammes de températures classiques en électronique sont les suivantes :

- Grand public : 0°C ~ 70°C
- Industrie : -40°C ~ 85°C
- Militaire : -55°C ~ 125°C

#### **a) Caractéristiques du capteur de température LM 35**

Le capteur LM35 est un capteur de température où la tension de sortie est linéairement proportionnelle à la température en Celsius centigrade. Ce capteur ne nécessite pas de calibrage externe pour fournir une précision de  $\pm 1^\circ\text{C}$  sur une gamme de température de  $-55^\circ\text{C}$  à  $+150^\circ\text{C}$ . Son coefficient est de  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  et dans notre cas le capteur est alimenté par 0-5V, on ne peut mesurer par conséquent que des températures positives [8].

#### **b) Brochage du LM35**

<b><i>Brochage du capteur :</i></b>	
<b>Broches</b>	<b>Désignation</b>
<b>vcc</b>	Alimentation du capteur
<b>Pin 1</b>	Sortie du potentiel proportionnel à la température

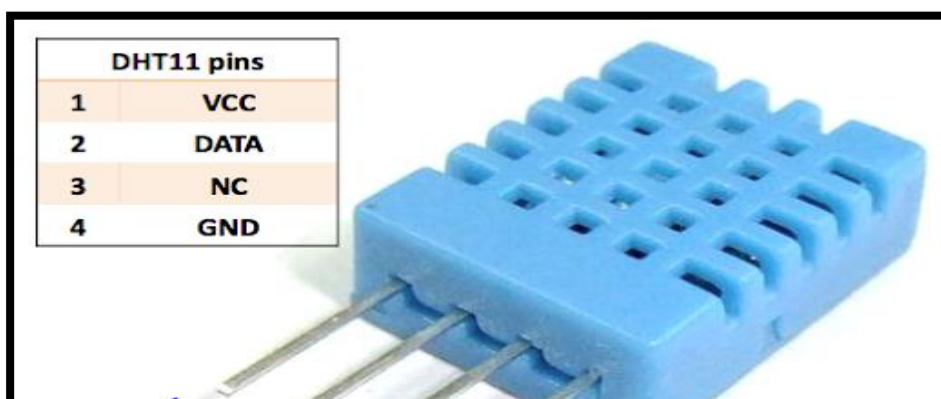


Figure 2.5 : programme de capteur LM35

## 4.2 Capteur humidité DHT11 :

Dans notre système nous avons utilisé un capteur DHT11, il est capable de mesurer des températures de 0 à +50°C avec une précision de +/- 2°C et des taux d'humidité relative de 20 à 80% avec une précision de +/- 5%. Une mesure peut être réalisée toutes les secondes, il est aussi compatible 3.3 volts et 5 volts.

Je possède le DHT11 car c'est le moins cher mais cela fonctionnera de la même manière avec le DHT22 ou encore tout autre capteur du même type (comme le DHT21). La principale différence entre ces modèles est la précision, le DHT22 donne des résultats plus précis et dans une plus grande plage. D'ailleurs ça se voit, mon DHT11 mesure environ 5 degrés de moins que la température réelle [8].



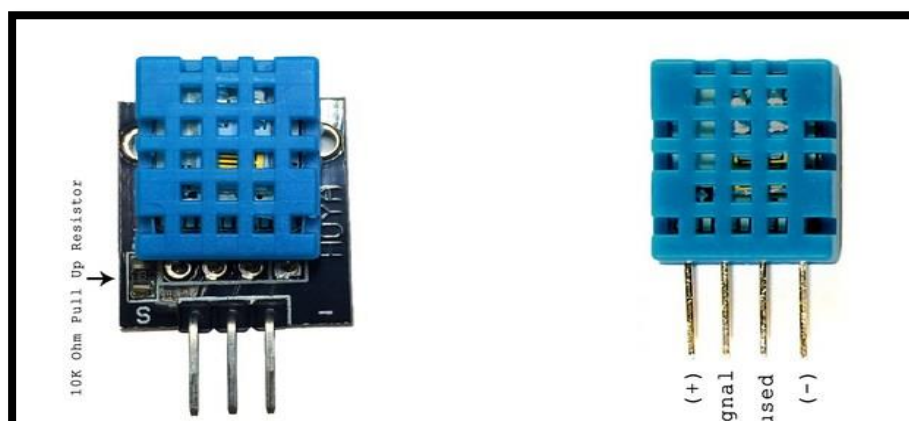
**Figure 2.6:** Capteur humidité DHT11**a) Les caractéristiques de DHT11 :**

- Coût faible
- Alimentation 3 à 5 V
- 2.5mA utilisation maximale actuelle lors de la conversion (lors de la demande dedonnées)
- Bon pour 20-80% de lectures d'humidité avec une précision de 5%
- Bon pour des conférences de température de 0-50 ° C Précision de  $\pm 2$  ° C
- Pas plus de 1 Hz de fréquence d'échantillonnage (une fois par seconde)
- Taille du corps 15.5mm x 12mm x 5.5mm
- 4 broches avec espacement de 0,1

**b) Différence entre le capteur DHT11 et le module :**

Le capteur DHT11 peut être acheté en tant que capteur ou module. Dans les deux cas, les performances du capteur sont identiques. Le capteur sera fournis la forme d'un boîtier à 4 broches dont seules trois broches seront utiliséstandis que le module sera fourni avec trois broches

La seule différence entre le capteur et le module est que le module aura un condensateur de filtrage et une résistance de rappel intégrés, et pour le capteur, vous devez les utiliser en externe si nécessaire.



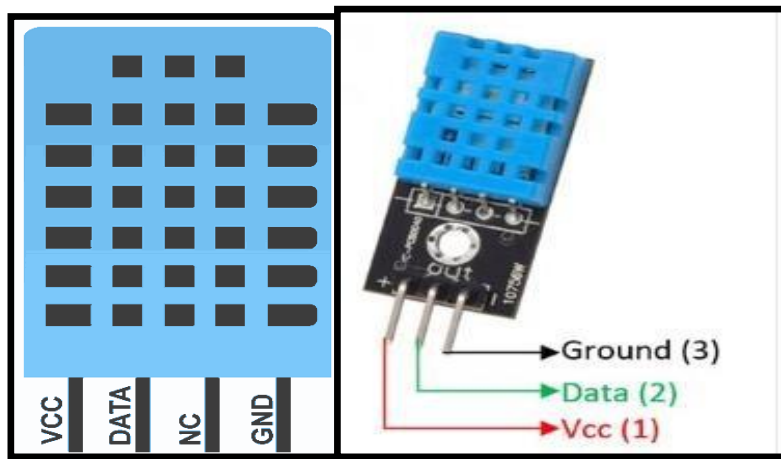
**Figure 2.7** : Le module et le capteur DHT11**a) Fonctionnement de DHT11:**

Le DHT11 détecte la vapeur d'eau en mesurant la résistance électrique entre deux électrodes. Le composant de détection d'humidité est un substrat retenant l'humidité avec des électrodes appliquées sur la surface. Lorsque la vapeur d'eau est absorbée par le substrat, des ions sont libérés par le substrat, ce qui augmente la conductivité entre les électrodes. Le changement de résistance entre les deux électrodes est proportionnel à l'humidité relative. Une humidité relative plus élevée diminue la résistance entre les électrodes, tandis qu'une humidité relative plus faible augmente la résistance entre les électrodes.

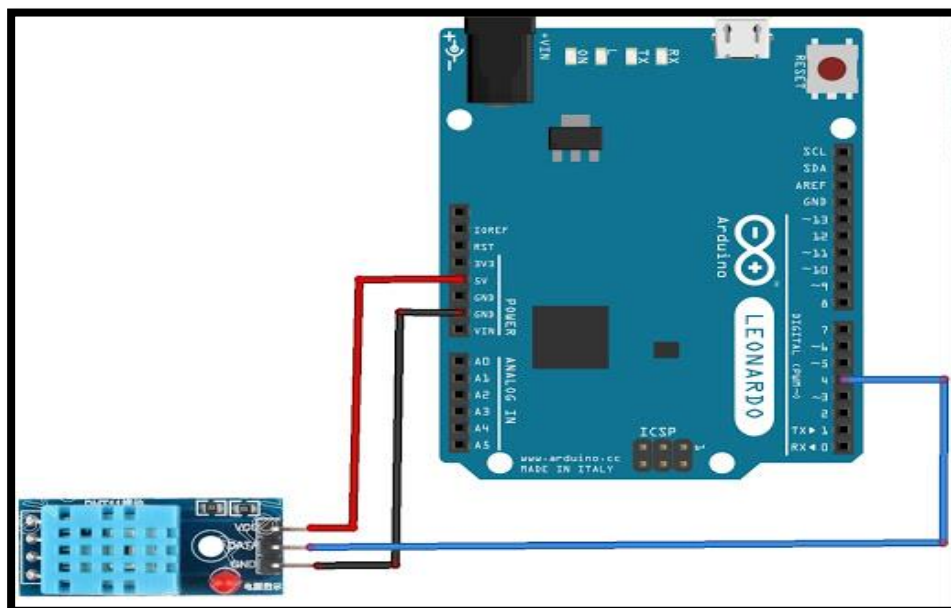
D'autre part, pour mesurer la température, ces capteurs utilisent un capteur de température NTC ou une thermistance. Une thermistance est en fait une résistance variable qui change sa résistance avec le changement de température. Le terme « NTC » signifie « coefficient de température négatif », ce qui signifie que la résistance diminue avec l'augmentation de la température. La plage de température du DHT11 est de 0 à 50 degrés Celsius avec une précision de 2 degrés. La plage d'humidité de ce capteur est de 20 à 80% avec une précision de 5%. Le DHT11 est de petite taille avec une tension de fonctionnement de 3 à 5 volts. Le courant maximum utilisé lors de la mesure est de 2,5 mA [8].

**c) Le brochage du capteur est le suivant**

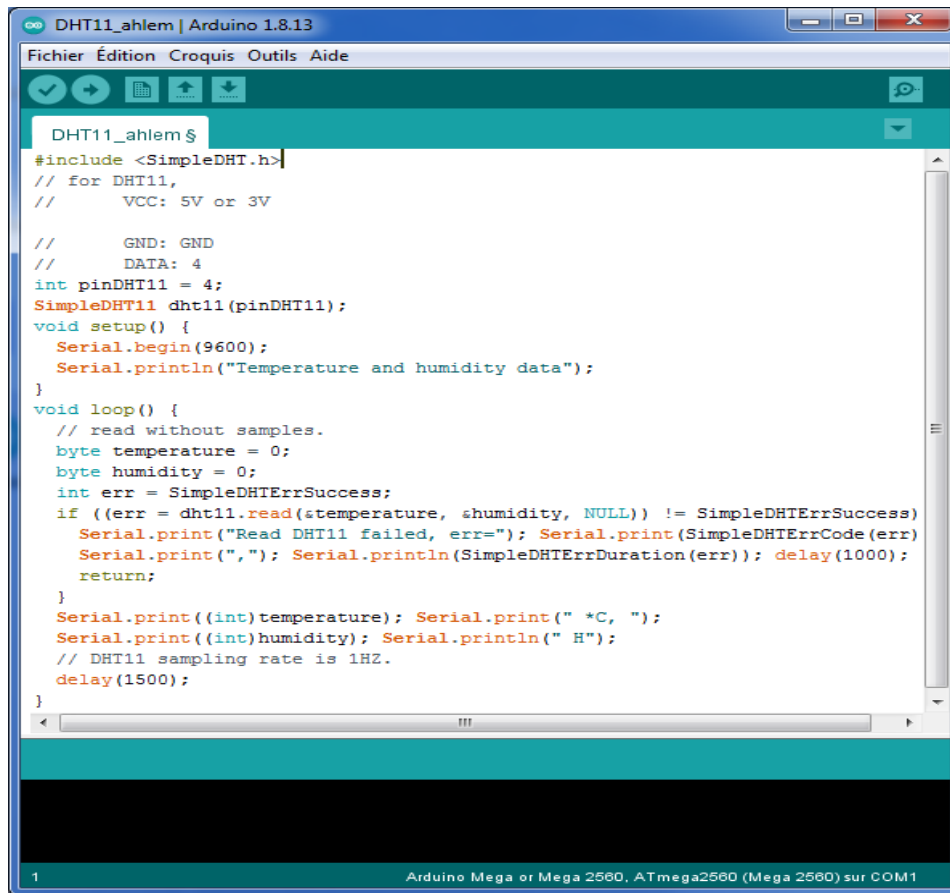
- La broche n°1 est la broche d'alimentation (5 volts ou 3.3 volts).
- La broche n°2 est la broche de communication.
- La broche n°3 n'est pas utilisée et ne doit pas être câblée.
- La broche n°4 est la masse du capteur (GND).

**d) Identification et configuration des broches:****Figure 2.8 :** configuration de broche.**e) Applications de dht11 :**

- La mesure des valeurs d'humidité et de température dans les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation
- Station météo locale
- Contrôle automatique du climat Surveillance de l'environnement

**f) Câblage de DHT11 avec arduino :****Figure 2.9:** câblage de DHT11 avec arduino

## g) Exemple de programme arduino capteur DHT11 :



```

DHT11_ahlem | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide
DHT11_ahlem $
#include <SimpleDHT.h>
// for DHT11,
//   VCC: 5V or 3V

//   GND: GND
//   DATA: 4
int pinDHT11 = 4;
SimpleDHT11 dht11(pinDHT11);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Temperature and humidity data");
}
void loop() {
  // read without samples.
  byte temperature = 0;
  byte humidity = 0;
  int err = SimpleDHTErrSuccess;
  if ((err = dht11.read(&temperature, &humidity, NULL)) != SimpleDHTErrSuccess)
    Serial.print("Read DHT11 failed, err="); Serial.print(SimpleDHTErrCode(err));
    Serial.print(","); Serial.println(SimpleDHTErrDuration(err)); delay(1000);
    return;
  }
  Serial.print((int)temperature); Serial.print(" *C, ");
  Serial.print((int)humidity); Serial.println(" H");
  // DHT11 sampling rate is 1HZ.
  delay(1500);
}
1 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) sur COM1

```

Figure 2.10 : programme de capteur DHT11

## 4.3 Capteur humidité DHT22 :

Le capteur de température et d'humidité DHT22 (ou AM2302) communique avec un microcontrôleur via un port série. Le capteur est calibré et ne nécessite pas de composants supplémentaires pour pouvoir être utilisé [8].

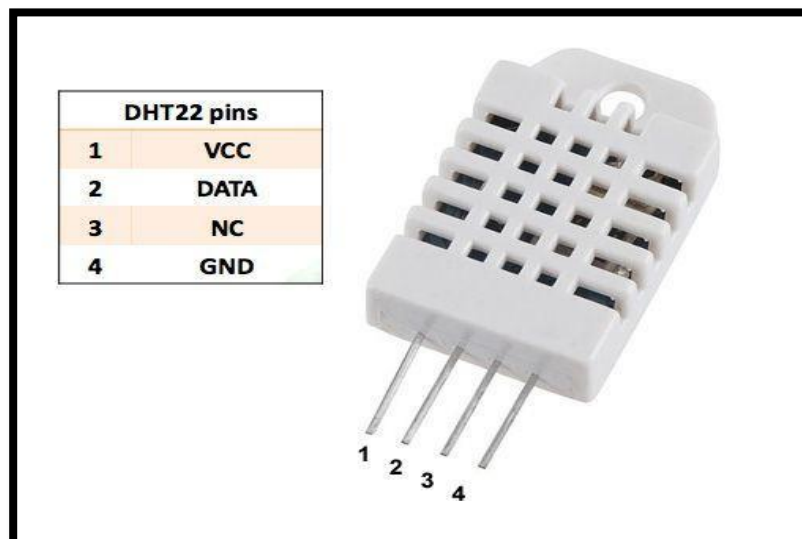




Figure 2.11 : Capteur DHT22

## a) Les caractéristiques de DHT22

- Alimentation: 3,3 à 6 Vcc
- Consommation maxi: 1,5 mA
- Consommation au repos: 50  $\mu$ A
- Plage de mesure:
  - température: -40 à +80 °C
  - humidité: 0 à 100 % RH
- Précision:
  - température:  $\pm 0,5$  °C
  - humidité:  $\pm 2$  % RH
- Dimensions: 25 x 15 x 9 mm

## b) Câblage Capteur DHT22 avec arduino :

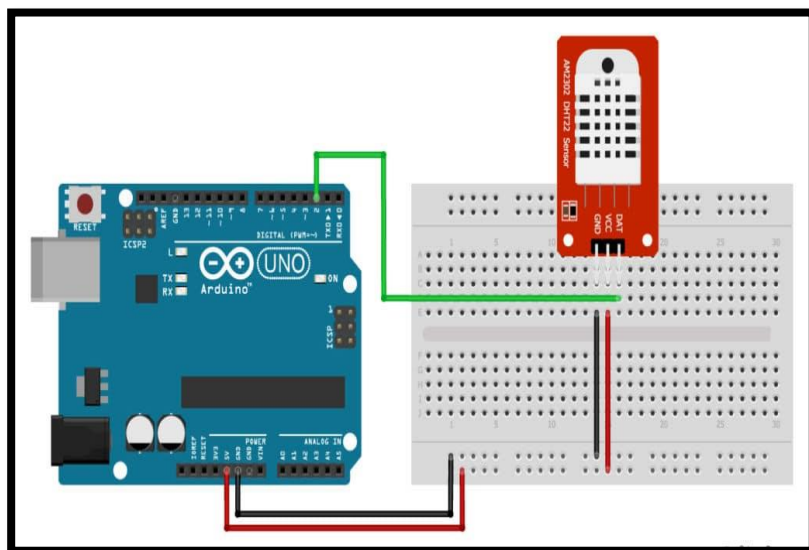
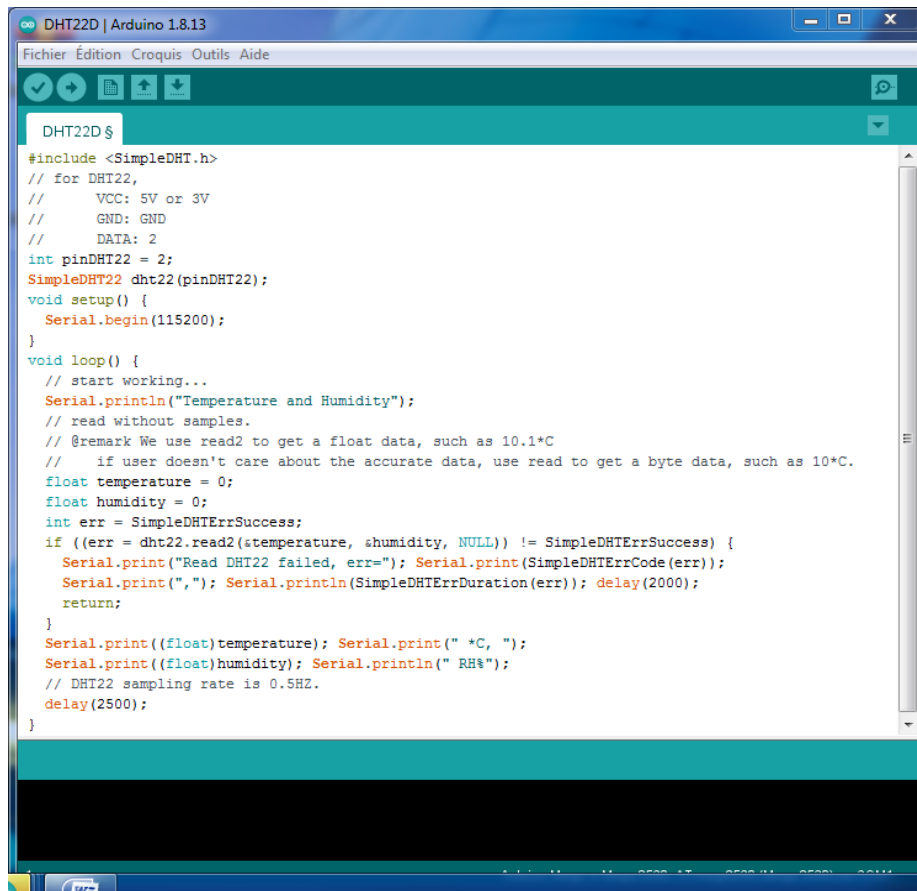


Figure 2.12 : câblage le DHT22 avec arduino

### c) Exemple de Programmation capteur DHT22



```
DHT22D $
#include <SimpleDHT.h>
// for DHT22,
//   VCC: 5V or 3V
//   GND: GND
//   DATA: 2
int pinDHT22 = 2;
SimpleDHT22 dht22(pinDHT22);
void setup() {
  Serial.begin(115200);
}
void loop() {
  // start working...
  Serial.println("Temperature and Humidity");
  // read without samples.
  // @remark We use read2 to get a float data, such as 10.1*C
  //   if user doesn't care about the accurate data, use read to get a byte data, such as 10*C.
  float temperature = 0;
  float humidity = 0;
  int err = SimpleDHTErrSuccess;
  if ((err = dht22.read2(&temperature, &humidity, NULL)) != SimpleDHTErrSuccess) {
    Serial.print("Read DHT22 failed, err="); Serial.print(SimpleDHTErrCode(err));
    Serial.print(","); Serial.println(SimpleDHTErrDuration(err)); delay(2000);
    return;
  }
  Serial.print((float)temperature); Serial.print(" *C, ");
  Serial.print((float)humidity); Serial.println(" RH%");
  // DHT22 sampling rate is 0.5HZ.
  delay(2500);
}
```

Figure 2.13 : programme de capteur DHT22

#### 4.4 Le thermocouple de type K avec module d'amplification MAX6675 :

Le thermocouple de type K (figure 2.14) comporte une injection entre chrome (alliage nickel + chrome) et allume (alliage nickel +aluminium + silicium). Une faible amplifie puis on convertit la mesure analogique en signal numérique en utilisant le module d'interface de conversion MAX6675, une liaison SPI permet de transmettre facilement à un microcontrôleur (Arduino) le résultat [9].



**figure 2.14** :capteur thermocouple max6675**a) Principe de fonctionnement**

Un thermocouple est simplement formé de 2 fils métalliques différents soudés ensemble. Le type K comporte une jonction entre chrome (alliage nickel + chrome) et allume (alliage nickel +aluminiumsilicium).

Une faible différence de potentiel électrique apparaît à la jonction sous l'effet de la température. Le signal est faible, typiquement 50 micro V par degré, la réponse est non linéaire, et il faut une compensation de soudure froide (on mesure un écart de température entre deux jonctions, pas unetempératureabsolue).

Malgré ces inconvénients, le thermocouple est très intéressant car il est simple d'emploi, robuste à la chaleur, il couvre une très grande plage de mesure de température avec une forte précision. On amplifie puis on convertit la mesure analogique en signal numérique, une liaison SPI permet de transmettre facilement à un microcontrôleur (Arduino) le résultat

Le module d'interface de conversion utilisé ici est un MAX6675, il assure l'amplification et la conversion sur 12 bits [9].

**b) Caractéristiques du k thermocouple + MAX6675 :**

- Mesure de température jusqu' à 1024 °C.
- Résolution 0.25 °C.
- Compensation de jonction de température froide.
- Alimentation 3.0 - 5V DC.
- Note : le thermocouple K se distingue facilement des autres types, il est attiré par un fort aimant.

**c) Branchements capteur thermocouple type K MAX6675 avec arduino :**

Le thermocouple comporte deux fils avec codage couleur, à brancher sur le bornier à vis, **rouge**

sur + (chromel) et **bleu** sur - (allume).

Le module se branche via son port série SPI avec les 5 pins GND, VCC, SCK, CS, SO.  
Module --> Arduino

- GND --> Gnd masse Arduino
- Vcc --> Vcc arduino +5V
- DO Data Output --> pin 4
- CS Chip Select --> pin 5
- CLK clock --> pin 6

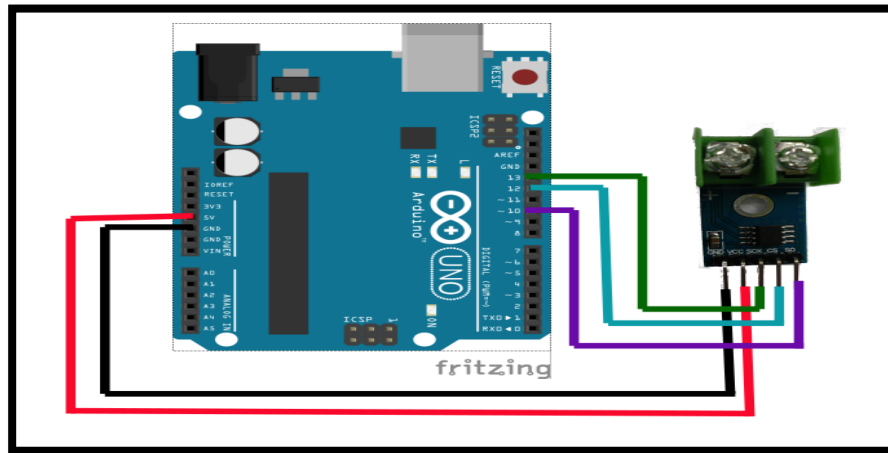


Figure 2.15 : câblage le thermocouple MAX6675 avec arduino

#### d) Exemple de Programmation capteur thermocouple type K MAX6675 :

```

serialthermocouple | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide
Vérifier
serialthermocouple $
#include "max6675.h"

int thermoDO = 4;
int thermoCS = 5;
int thermoCLK = 6;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  Serial.println("MAX6675 test");
  // wait for MAX chip to stabilize
  delay(500);
}
void loop() {
  // basic readout test, just print the current temp
  Serial.print("C = ");
  Serial.println(thermocouple.readCelsius());
  Serial.print("F = ");
  Serial.println(thermocouple.readFahrenheit());

  // For the MAX6675 to update, you must delay AT LEAST 250ms between reads!
  delay(1000);
}

```

**Figure 2.16** : Programme de capteur MAX6675

## 4.5 Capteur température DS18B20 :

### a) Définition :

Le capteur DS18B20 est un capteur numérique qui permet la mesure de la température sur la plage de  $-55^{\circ}\text{C}$  à  $+125^{\circ}\text{C}$  et son équivalente fahrenheit  $-67^{\circ}\text{F}$  à

$+257^{\circ}\text{F}$  est avec un pas de  $0.5^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ), (La plage d'alimentation est 3.0V à 5.5V). Le capteur de température DS1820 s'appuie sur le protocole **One-wire** pour communiquer avec le microcontrôleur et transmettre sa mesure. Comme son nom l'indique, un seul fil est nécessaire (même si plusieurs périphériques sont utilisés) [10].

### b) Description générale :

Le thermomètre numérique DS18B20 fournit 9-bit à 12-bit. Les mesures de température Celsius et possède une alarme fonction avec rémanente programmable par l'utilisateur supérieur et points de déclenchement inférieurs.

Le DS18B20 communique sur le protocole **One-wire** bus qui par définition est nécessaire qu'une seule ligne de données (et la masse) pour une communication avec un microprocesseur central. En outre, le DS18B20 peut dériver la puissance directement à partir de la ligne de données «de puissance parasite », en éliminant la nécessité d'une alimentation externe.

Chaque DS18B20 contient un numéro de série unique de silicium, qui permet à plusieurs DS18B20s de fonctionner sur le même **One-wire** autobus. Ainsi, il est simple à utiliser un microprocesseur contrôlé de nombreux DS18B20s répartis sur une grande surface. Les applications qui peuvent bénéficier de cette fonctionnalité incluent HVAC Les contrôles

environnementaux, la surveillance des systèmes de température à l'intérieur des bâtiments, des équipements ou des machines, et la surveillance des processus et des systèmes de contrôle) [10].



Figure 2.17 : capteur température Ds18B20

c) description des broches :

N°	Broches(PIN)	Signification
01	GND	Ground (la masse)
02	DQ	Data In/Out
03	VDD	Power Supply Voltage
04	NC	No Connecté

Tableau 2.4 : signification des broches Ds18B20

d) Applications :

- ✓ Contrôles thermostatiques

- ✓ Systèmes industriels
- ✓ Produits de consommation
- ✓ Thermomètres
- ✓ Systèmes thermosensible

**e) Avantages et caractéristiques :**

- ✓ Unique **One-wire** Interface Nécessite un seul port Pin pour la communication
- ✓ Réduire le nombre de composants avec un Capteur de température intégré etEEPROM
- ✓ Mesure des températures de  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  à  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-67\text{ }^{\circ}\text{F}$  à  $+257\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
- ✓ Résolution programmable de 9 bits à 12 bits
- ✓ Mode de puissance Parasite est nécessite que deux broche pour l'opération(DQ et GND)
- ✓ Chaque appareil a un code 64 bits de série unique stocké dans On-Board ROM
- ✓ Paramètres flexible d'alarme définissables par l'utilisateur non volatile (NV)
- ✓ avec alarme Commande de recherche identifie les dispositifs avec Températures en dehors des limites programmées
- ✓ Disponible en 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin  $\mu\text{SOP}$ , et 3-Pin TO-92 packages.

**f) Branchements capteur DS18B20 avec arduino :**

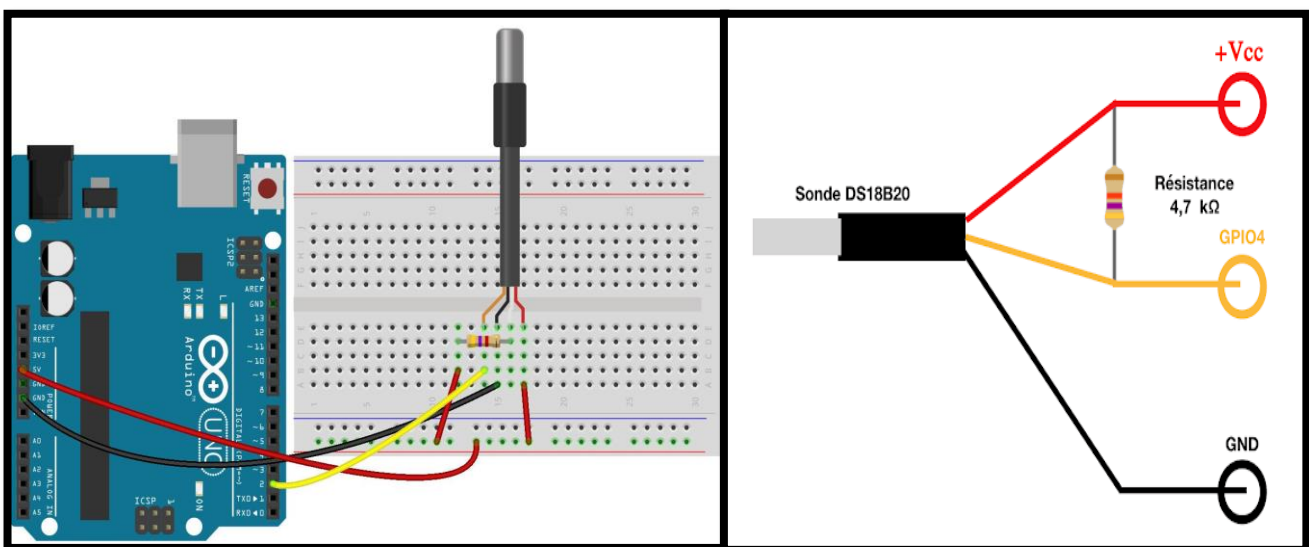
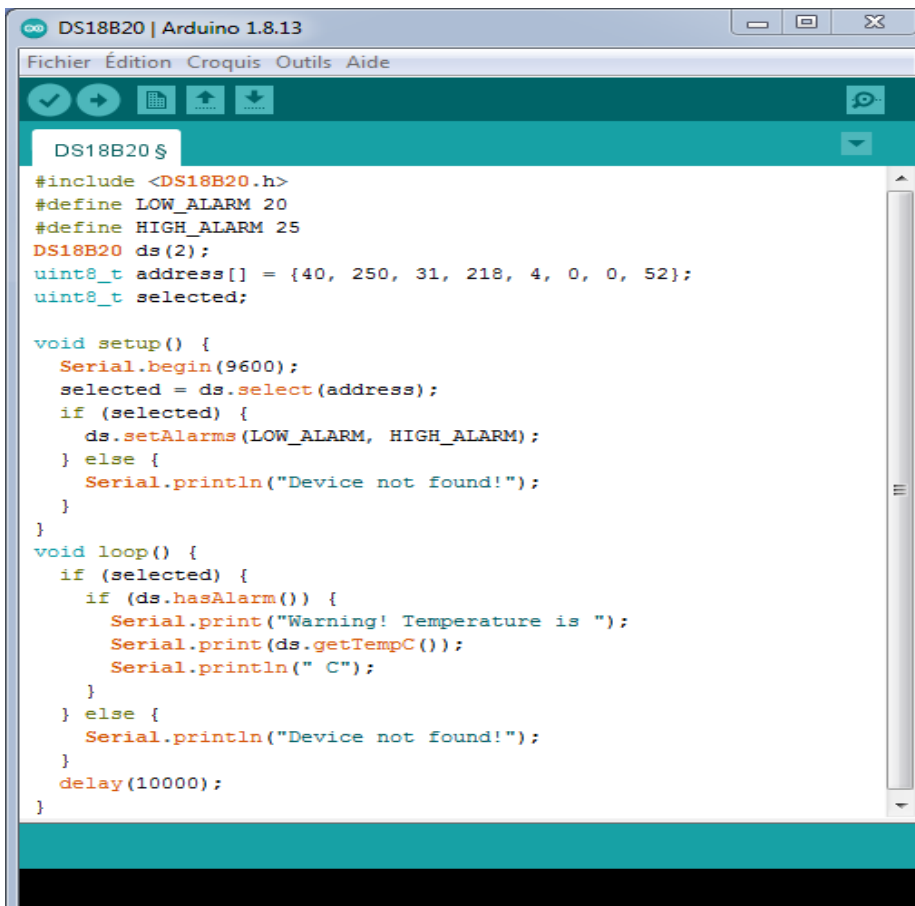


Figure 2.18 : câblage le DS18B20 avec arduino

## h) Exemple de Programmation capteur DS18B20 :



```
DS18B20 | Arduino 1.8.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide
DS18B20 $
#include <DS18B20.h>
#define LOW_ALARM 20
#define HIGH_ALARM 25
DS18B20 ds(2);
uint8_t address[] = {40, 250, 31, 218, 4, 0, 0, 52};
uint8_t selected;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  selected = ds.select(address);
  if (selected) {
    ds.setAlarms(LOW_ALARM, HIGH_ALARM);
  } else {
    Serial.println("Device not found!");
  }
}

void loop() {
  if (selected) {
    if (ds.hasAlarm()) {
      Serial.print("Warning! Temperature is ");
      Serial.print(ds.getTempC());
      Serial.println(" C");
    }
    else {
      Serial.println("Device not found!");
    }
  }
  delay(10000);
}
```

Figure 2.19 : Programme arduino capteur DS18B20

## 4.6. Les capteurs MQ :

### a) Définition :

Lorsqu'il s'agit de mesurer ou de détecter un gaz particulier, les **capteurs degaz de la série MQ** sont les plus couramment utilisés. Ils sont parmi les plus appréciés, car ils permettent - dans les différentes applications - la détection de différents types de gaz). De plus, ils sont très bon marché et peuvent être facilement acquis.

Les capteurs MQ sont constitués d'un élément chauffant, appelé réchauffeur, et d'un capteur électrochimique ; le réchauffeur est nécessaire pour amener le capteur aux conditions de fonctionnement appropriées, car seulement à certaines températures la surface sensible du capteur (généralement, un oxyde métallique) réagira et laissera les gaz et les particules (ceux que nous souhaitons détecter) le pénétrer.

Le composant réagissant à la variation du gaz a été traité chimiquement, afin de modifier sa résistance électrique en fonction de la présence de gaz spécifiques. En pratique, il s'agit d'une

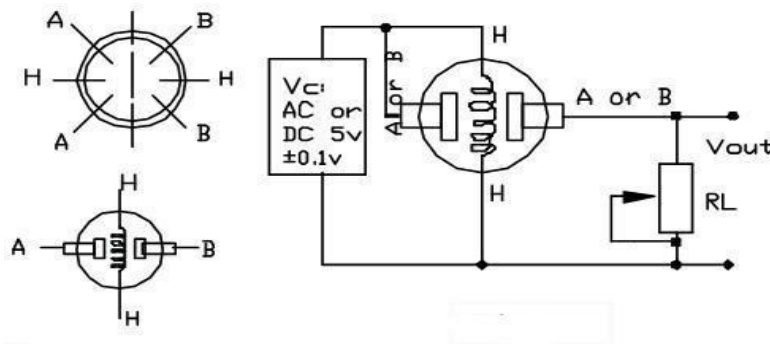


résistance variable, dont les fluctuations dépendent de la quantité de gaz se trouvant dans l'air dans laquelle se trouve le capteur [11].

### b) Schéma de principe d'un capteur de gaz dans un module de capteur de gaz :

A et B sont les bornes d'entrée et de sortie et H est la borne de la bobine de chauffage. Le but de la résistance variable est d'ajuster la tension de sortie et de maintenir une sensibilité élevée.

Si aucune tension d'entrée n'est appliquée à la bobine de chauffage, le courant de sortie sera très inférieur. Lorsqu'une tension suffisante est appliquée à la borne d'entrée et à la bobine de chauffage, la couche de détection se réveille et est prête à détecter tout gaz combustible à proximité



**Figure 2.20 :** schéma de principe d'un capteur de gaz dans un module de capteur de gaz

### c) Caractéristiques des capteurs MQ :

La plupart des capteurs de la série MQ fonctionnent avec des tensions de travail qui sont généralement à 5 V

Les capteurs de la série MQ sont principalement utilisés dans des environnements fermés qui ne devraient de toute façon pas être particulièrement froids ou chauds. Chaque capteur de la série réagit à plus d'un gaz. Vous trouverez une liste des principaux capteurs, ainsi que les gaz qu'ils détectent le plus, comme suit :

**Capteur de gaz MQ2 :** Sensible au méthane, au butane, au GPL, à la fumée. Ce capteur est sensible aux gaz inflammables et combustibles.

**Capteur de gaz MQ3 :** Sensible à l'alcool, à l'éthanol, à la fumée

**Capteur de gaz MQ4 :** Sensible au méthane et au GNC / gaz naturel.

Capteur de gaz MQ5 : Sensible au gaz naturel et au GPL.

Capteur de gaz MQ6 : Sensible au GPL, au gaz naturel, au charbon et au butane

Capteur de gaz MQ7 : Sensible au monoxyde de carbone

Capteur de gaz MQ8 : Sensible à l'hydrogène gazeux

Capteur de gaz MQ9 : Sensible au monoxyde de carbone, aux gaz inflammables.

Capteur de gaz MQ131 : Sensible à l'ozone

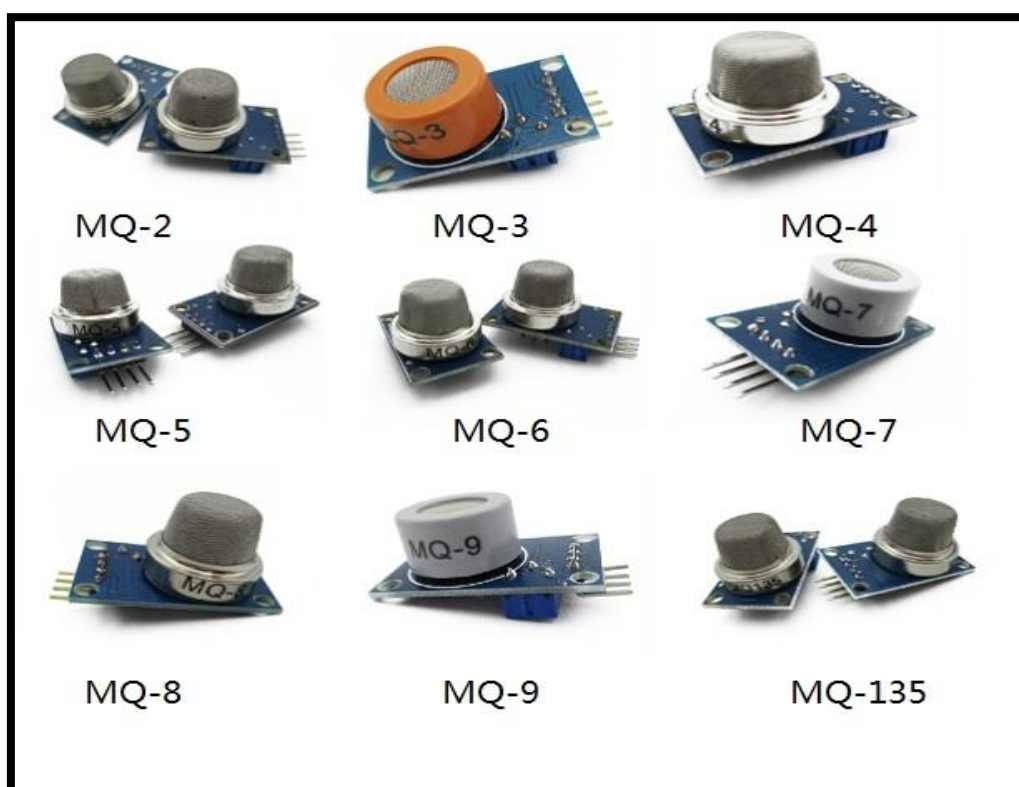
Capteur de gaz MQ135 : Pour la qualité de l'air. Sensible au benzène, à l'ammoniac, à l'alcool et à la fumée.

Capteur de gaz MQ136 : Sensible au sulfure d'hydrogène gazeux.

Capteur de gaz MQ137 : Sensible à l'ammoniac.

Capteur de gaz MQ138 : Sensible au benzène, au toluène, à l'alcool, à l'acétone, au propane, au formaldéhyde et à l'hydrogène.

Dans notre projet nous avons utilisé le capteur MQ135



**Figure 2.21 : Capteur MQ****d) Applications des MQ :**

- Industries de contrôle des processus
- Surveillance de l'environnement
- Contrôle de chaudière
- Détection d'incendie
- Tests d'alcoolémie
- Détection de gaz nocifs dans les mines
- Sécurité à la maison
- Classement des agro-produits comme le café et les épices

**e) Traits :**

- Haute sensibilité
- Une réponse rapide
- Large plage de détection
- Performances stables et longue durée de vie

**4.6.1 Le capteur de qualité de l'air MQ-135**

Capteur facile à utiliser pour mesurer la concentration de divers gaz toxiques tels que le benzène, l'alcool, la fumée et les contaminants en suspension dans l'air. Le MQ-135 mesure une concentration de gaz de 10 à 1000 ppm et est idéal pour détecter une fuite de gaz, comme alarme de gaz ou pour d'autres projets de robotique et de microcontrôleur.

Les capteurs de la série MQ utilisent un petit élément chauffant avec un capteur chimique électronique. Ils sont sensibles à divers gaz et conviennent à une utilisation dans les pièces.

Le capteur a une sensibilité élevée et un temps de réponse rapide, mais il faut quelques minutes avant de produire des valeurs mesurées exactes car le capteur doit chauffer en premier. **Les**

valeurs mesurées du capteur sortie en tant que valeur analogique, qui peut être facilement évalué avec un microcontrôleur [12].

Ce capteur est prêt à être connecté à un microcontrôleur, comme une carte Arduino. MEGA

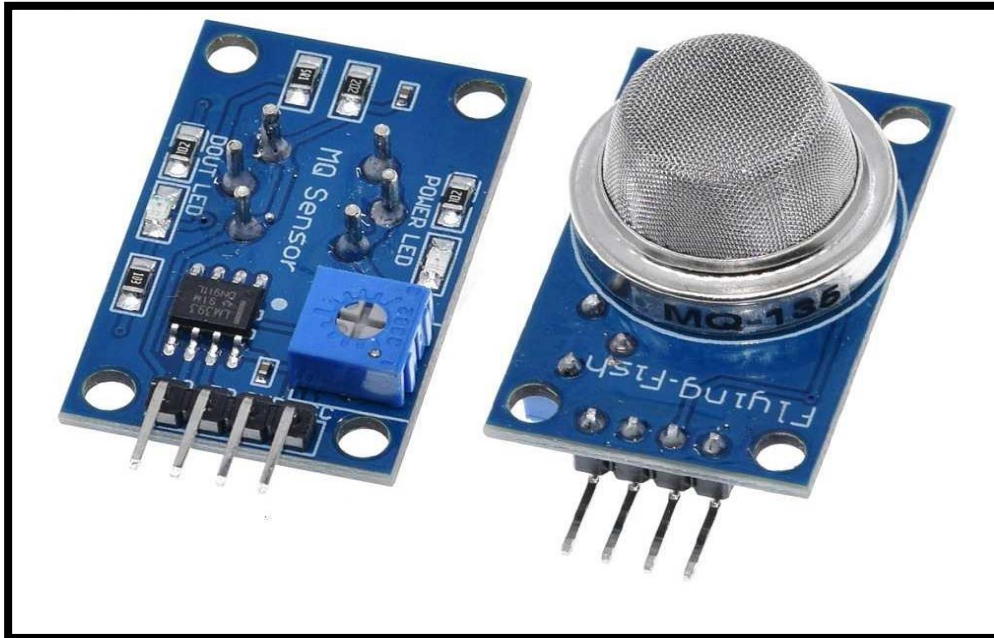


Figure 2.22: capteur MQ 135

**a) Affectation des broches:**

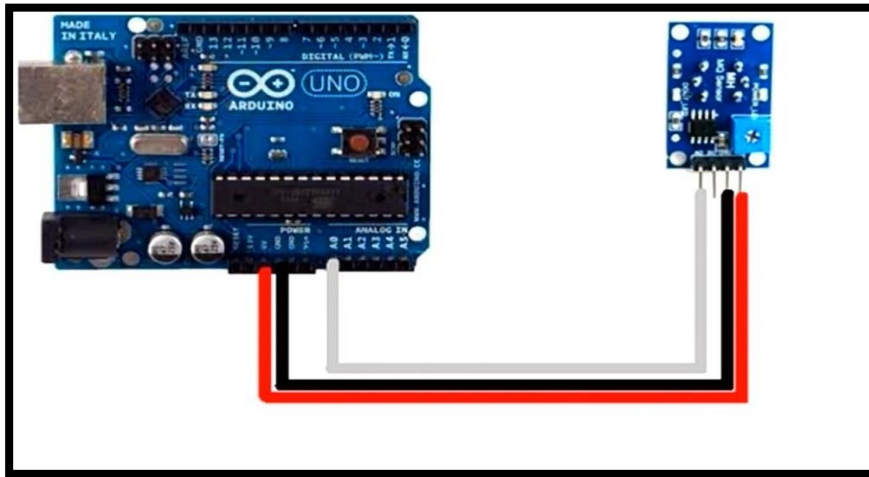
- VCC - alimentation 5V
- GND - connexion à la terre
- AOUT - Sortie analogique
- DOUT - sortie numérique

Le module possède un potentiomètre pour régler la valeur seuil. Le capteur émet uniquement un 0 ou 1 sur la broche numérique, selon que le seuil défini est dépassé.

**Attention:** Le capteur chauffe pendant le fonctionnement!

**b) Détails:**

- Résolution : 10 ~ 1000ppm
- Résistance sensible : 2K $\Omega$  à 20K $\Omega$  en 100ppm CO
- Précision :  $\geq 3\%$
- Temps de réponse:  $\leq 1s$
- Temps de réponse après la mise en marche:  $\leq 30s$
- Courant de chauffage :  $\leq 180mA$
- Tension de chauffage : 5,0 V  $\pm$  0,2 V / 1,5  $\pm$  0,1 V
- Tension d'entrée : 5V
- Puissance énergétique de chauffage env .: 350mW
- Dimensions : environ 30 mm (longueur) \* 20 mm (largeur)

**c) Câblage capteur MQ135 avec arduino :****Figure 2.23:** Câblage MQ135 avec arduino**d) Exemple de Programmation capteur MQ135 :**

```
Module_MQ135_Bon
//connect MQ-135 VCC pin to Arduino Mega VCC pin
//connect MQ-135 A0 pin to Arduino Mega A0 analog pin
//*****

int sensorValue;
void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Baud rate 9600
}
void loop()
{
  sensorValue = analogRead(A0); // Read analog input pin A0
  Serial.println(sensorValue, DEC); // Print the value read
  delay(1000);
}
```

**Figure 2.24 :** Programme arduino capteur DS18B20

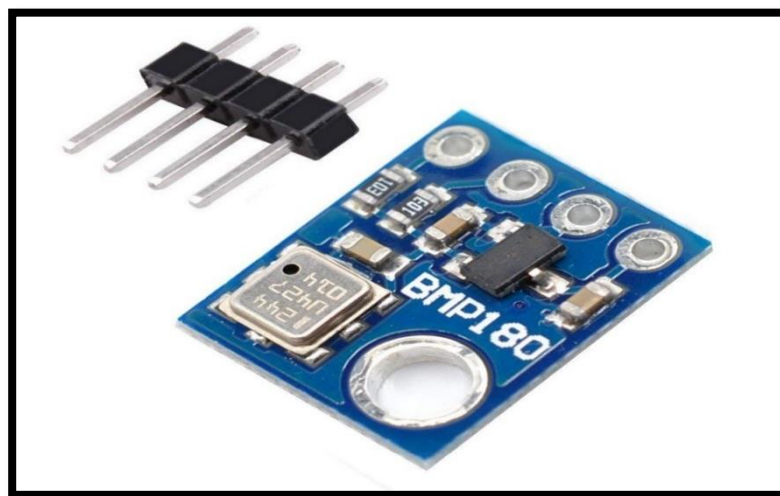
## 4.7. Capteur BMP180 :

### a) Définition :

Les capteurs de pression sont l'un des capteurs les plus utilisés et peuvent être trouvés dans les sondes pour les mesures en laboratoire, mais plus souvent dans des milliards d'appareils, y compris les smartphones, les vêtements portables, les automobiles, les drones, les centres météorologiques et les instruments médicaux.

Le module capteur BME280 lit la pression la température et l'humidité. La pression change avec l'altitude, vous pouvez également estimer l'altitude.

Il existe plusieurs Versions de ce module capteur. Le capteur BMP180 utilise le protocole de communication I2C pour échanger des [13] Données avec un microcontrôleur nous pouvons l'utiliser comme altimètre avec une précision de  $\pm 1$  mètre (précision de la pression =  $\pm 1$  hPa).

**Figure 2.25:** capteur BMP180

**b) Caractéristiques :**

- Tension d'alimentation: 1.8 – 5V DC
- Une interface I2C (jusqu'à 3.4MHz), SPI (jusqu'à 10 MHz),
- Gamme opérationnelle: Température: -40 à + 85 ° C Humidité: 0-100%
- Pression: 300-1100 hPa
- Résolution: Température: 0,01 °C
- Humidité: 0,008% Pression: 0.18Pa
- Exactitude: Température: + -1 ° C Humidité : + -3% Pression: + -1Pa adresse :
- I2C

**c) Brochage capteur BMP180 :**

Le module BMP180 ne dispose que de 4 broches qui le connectent au monde extérieur. Les connexions sont les suivantes.

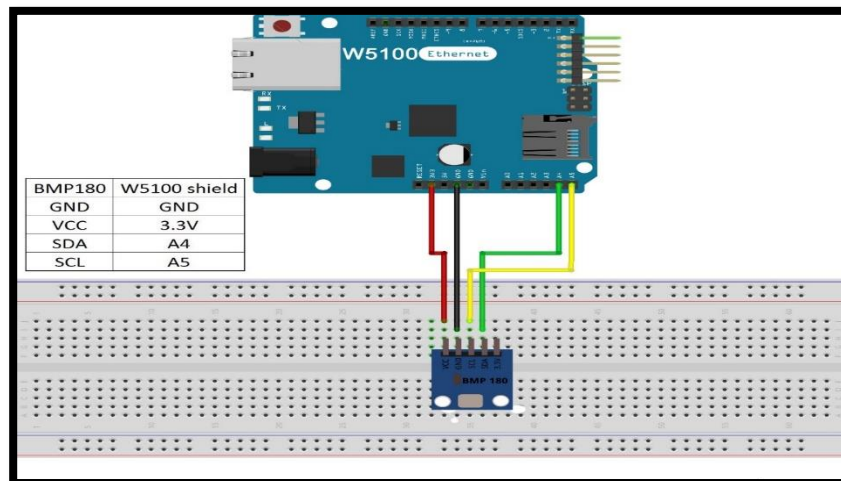


Figure 2.26: câblage le BMP180 avec arduino

**d) Exemple de Programmation capteur BMP180 :**

```

bmp180-code-bon | Arduino 1.8.13 (Windows Store 1.8.42.0)
Fichier Édition Croquis Outils Aide
bmp180-code-bon
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  bmp.begin();
}

void loop() {
  Serial.print("Temperature = ");
  Serial.print(bmp.readTemperature());
  Serial.println(" *C");

  Serial.print("Pressure = ");
  Serial.print(bmp.readPressure());
  Serial.println(" Pa");
  Serial.println();
  delay(1500);
}

```



Figure 2.27 : Programme arduino capteur BMP180

#### 4.8. Le module thermistance CTN :

Ce module intègre une thermistance CTN dont la valeur de sa résistance varie en fonction de la température ambiante.



Figure 2.28 : capteur thermistance CTN

##### a) Classification :

On distingue deux types de thermistances : les CTN et les CTP mais il existe aussi les CCTPN.

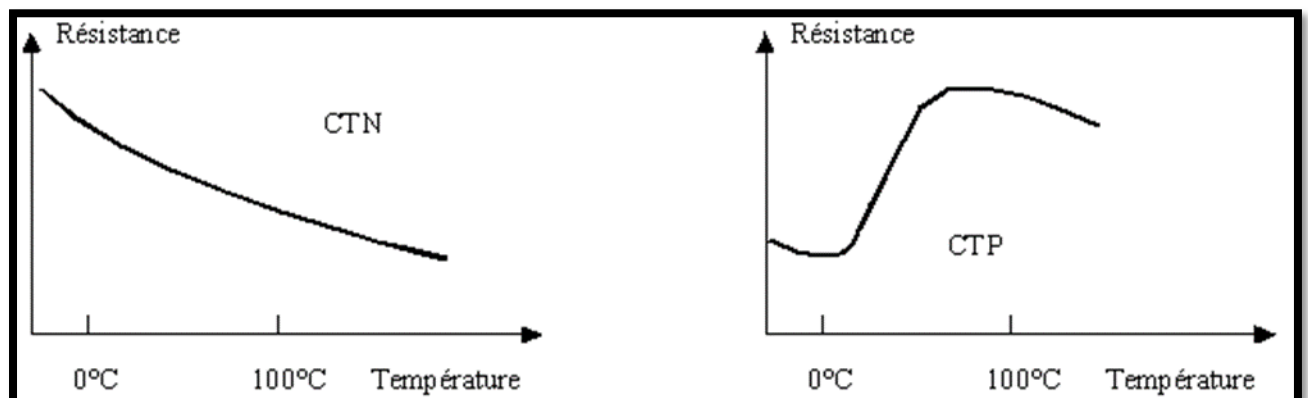




Figure 2.29: variation de R en fonction de T d'une CTN et CTP

## b) Caractéristiques:

- CTN type : NTC-MF52 3950K
- Plage de mesure: -55°C à +125°C
- Précision:  $\pm 0,5^\circ\text{C}$
- Avec résistance de Pull-up 10 KOhms
- 3 broches (Signal / + / -) au pas de 2,54 mm
- Dimensions: 20 x 15 x 5 mm
- La formule pour mesurer la température [14], est la suivante:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C[\ln(R)]^3$$

Où:

T :représente la température en degrés Kelvin

R :représente la résistance en Ohms à une température donnée

A, B, C :sont des coefficients de Steinhartd-hart qui varient en fonction du type thermistance et de la plage de température

## c) Câblage capteur CTN avec arduino :

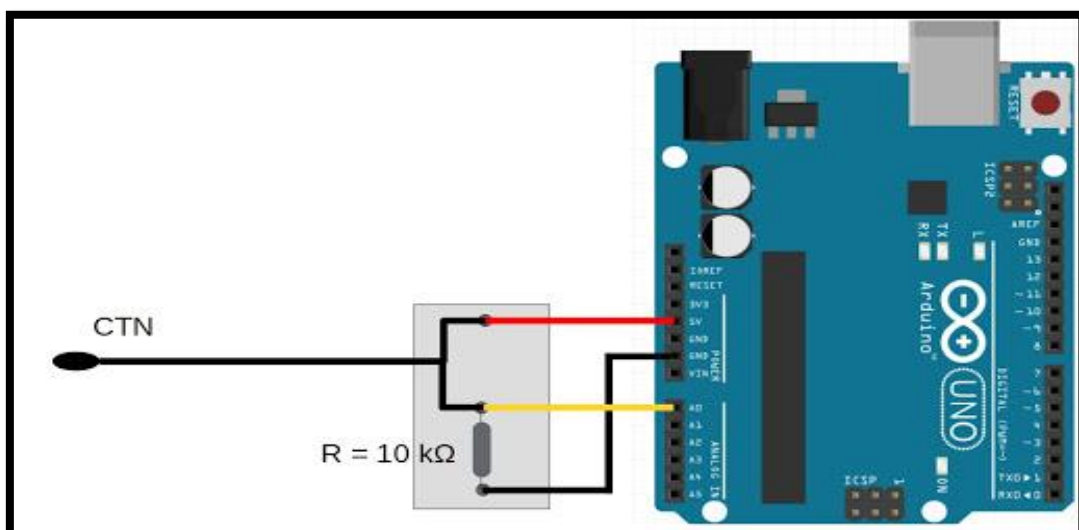
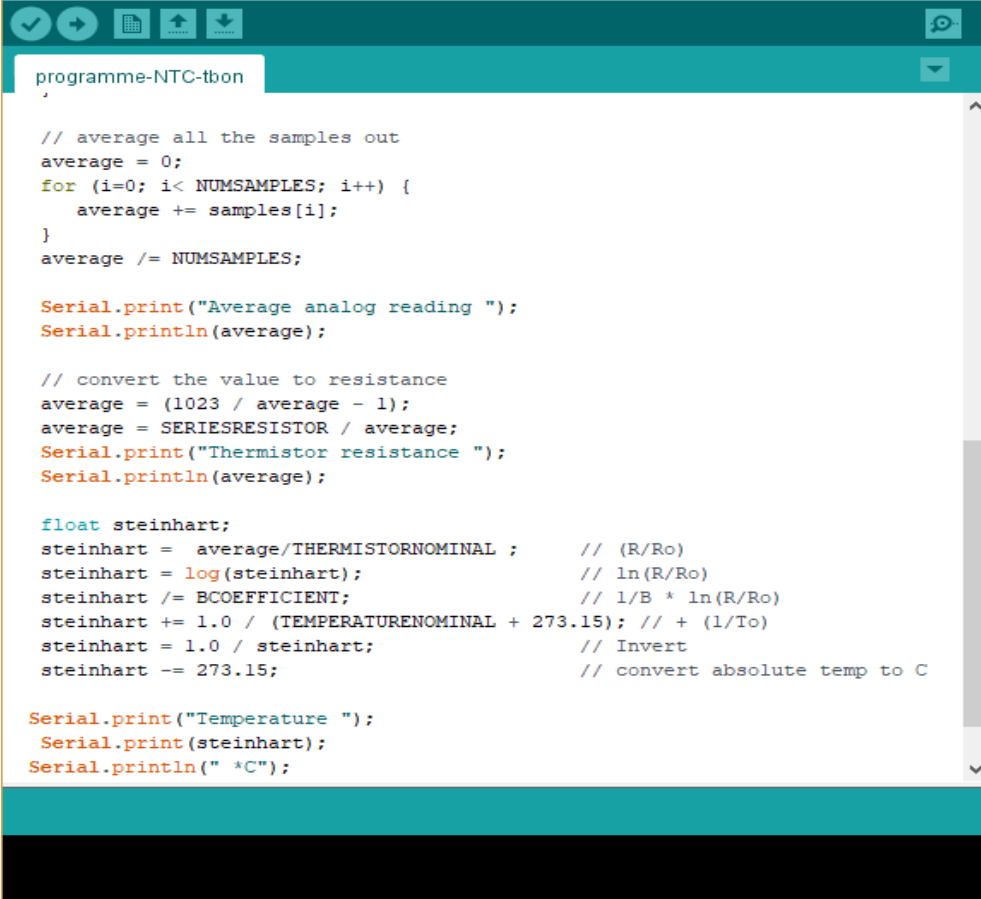


Figure 2.30 : Câblage capteur CTN avec arduino

d) Programme CTN sur arduino :



```

programme-NTC-tbon
,
// average all the samples out
average = 0;
for (i=0; i< NUMSAMPLES; i++) {
  average += samples[i];
}
average /= NUMSAMPLES;

Serial.print("Average analog reading ");
Serial.println(average);

// convert the value to resistance
average = (1023 / average - 1);
average = SERIESRESISTOR / average;
Serial.print("Thermistor resistance ");
Serial.println(average);

float steinhart;
steinhart = average/THERMISTORNOMINAL ; // (R/Ro)
steinhart = log(steinhart); // ln(R/Ro)
steinhart /= BCoefficient; // 1/B * ln(R/Ro)
steinhart += 1.0 / (TEMPERATURENOMINAL + 273.15); // + (1/To)
steinhart = 1.0 / steinhart; // Invert
steinhart -= 273.15; // convert absolute temp to C

Serial.print("Temperature ");
Serial.print(steinhart);
Serial.println(" *C");

```

Figure 2.31 : Programme arduino capteur CTN

#### 4.9. Module de carte SD :

Nous allons montrer comment utiliser un module de carte SD (Figure 2.34) avec Arduino pour lire et écrire des fichiers sur une carte SD.

Le module de carte SD est particulièrement utile pour les projets nécessitant un enregistrement de données, l'Arduino peut créer un fichier sur une carte SD pour écrire et sauvegarder des données à l'aide de la bibliothèque SD.

Il existe différents modèles de différents fournisseurs, mais ils fonctionnent tous de manière similaire, en utilisant le protocole de communication SPI. Le module (adaptateur de carte Micro SD) est un module de carte Micro SD de lecteur, et l'interface SPI via le pilote de système de fichiers, système de microcontrôleur pour compléter la carte Micro SD lire et écrire fichiers. Les utilisateurs Arduino peuvent utiliser

directement l'Arduino IDE qui est livré avec une carte SD pour finaliser l'initialisation de carte, de bibliothèque et lecture-écriture...

Les fonctionnalités du module sont les suivants : Support Micro SD carte ( $\leq$  Taille: 4.1 x 2.4cm).

L'interface de contrôle se présente comme suit: Un total de six broches (**GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS**),

**GND** à la masse,

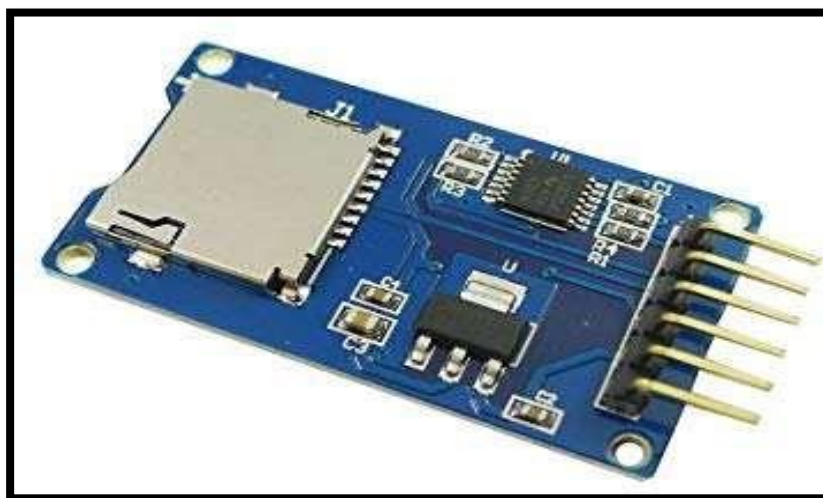
**VCC** est l'alimentation,

**MISO, MOSI, SCK** est le bus

**SPI, CS** est la sélection de puce signal de broche circuit régulateur

**3.3V**: LDO sortie du régulateur 3.3V comme puce de convertisseur de niveau, carte Micro SD alimentation circuit de conversion de niveau: carte Micro SD dans le sens des signaux en 3.3V, carte Micro SD vers la direction du signal MISO d'interface de commande est également converti en 3.3V, système de microcontrôleur AVR générale peut lire le signal [15].

2G), carte Micro SDHC ( $\leq$  32G) (haute carte de débit). Le niveau de conversion carte de circuit qui peut interface niveau est 5 v ou 3.3 V, carte d'interface de communication (standard SPI interface 4 M2 trous de vis de positionnement pour une installation facile



**Figure 2.32 :** Module de carte SD.

## a) Câblage module SD avec arduino :

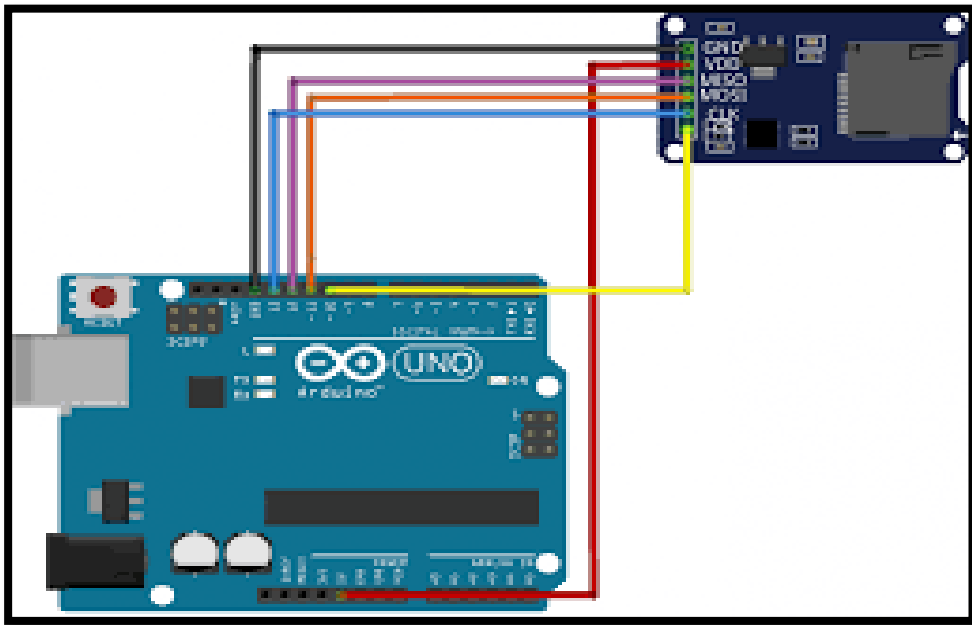


Figure 2.33 : Câblage module SD avec arduino

## b) Programme SD capteur sur arduino :

```
programme-sd-card

void setup()
{
  // Open serial communications and wait for port to open:
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for Leonardo
  }

  Serial.print("Initializing SD card...");

  if (!SD.begin()) {
    Serial.println("initialization failed!");
    return;
  }
}
```

**Figure 2.34** :Programme SD capteur sur arduino

#### 4.10 Afficheur LCD16x2 et I2C :

- a) **L'écran à cristaux liquides** : LCD en anglais "Liquid Crystal Display" et se traduit, en français, par "Écran à Cristaux Liquides" pour permet la création d'écran plat à faible consommation d'électricité. Aujourd'hui ces Écrans sont utilisés presque tous les affichages électroniques.

Les écrans a cristaux liquides utilisent la polarisation de la lumière par des filtres polarisants et la biréfringence de certains cristaux liquides en phase nématique, dont on peut faire varier l'orientation en fonction du champ électrique. Du point de vu optique [16] ,l'écrans a cristaux liquides est un dispositif passif : il n'émet pas de lumière , seul sa transparence varie, et il doit donc disposer d'un éclairage.

- b) **L'I2C (Inter Integrated Circuit bus)** : a été créé par PHILIPS dans les années 80. Il a été adopté par un grand nombre de constructeurs. L'I2C est un protocole de communication de niveau physique

fil nommé SCL transmet l'horloge pour la synchronisation de communication alors que la ligne SDA transmet les informations (adresses et données). Un seul boîtier maître peut commander plusieurs boîtiers esclaves, (chacun d'entre eux répondant à une adresse unique).

Un esclave ne s'exprime que sur ordre d'un maître et plusieurs maîtres peuvent partager le même réseau [16].

Le module s'ajoute simplement à un afficheur LCD standard afin de le commander en I2C.

Le module est un petit PCB qui peut être soudée à l'arrière d'un écran LCD de sorte que vous puissiez le commander au travers d'un bus I2C. Il est basé sur le composant PCA 8574.

## Chapitre 2 Acquisition et enregistreur de données et capteur utilise dans notre projet

De manière générale, en utilisant ce produit pour réduire le nombre de broches (seulement 2 broches sont nécessaires pour l'I2C), et simplifier la connectivité avec les écrans LCD.

Il est compatible avec plusieurs types d'écrans LCD à cristaux liquides, tels que le LCD16x01, le LCD16x02, le LCD16x04 et le LCD20x04.

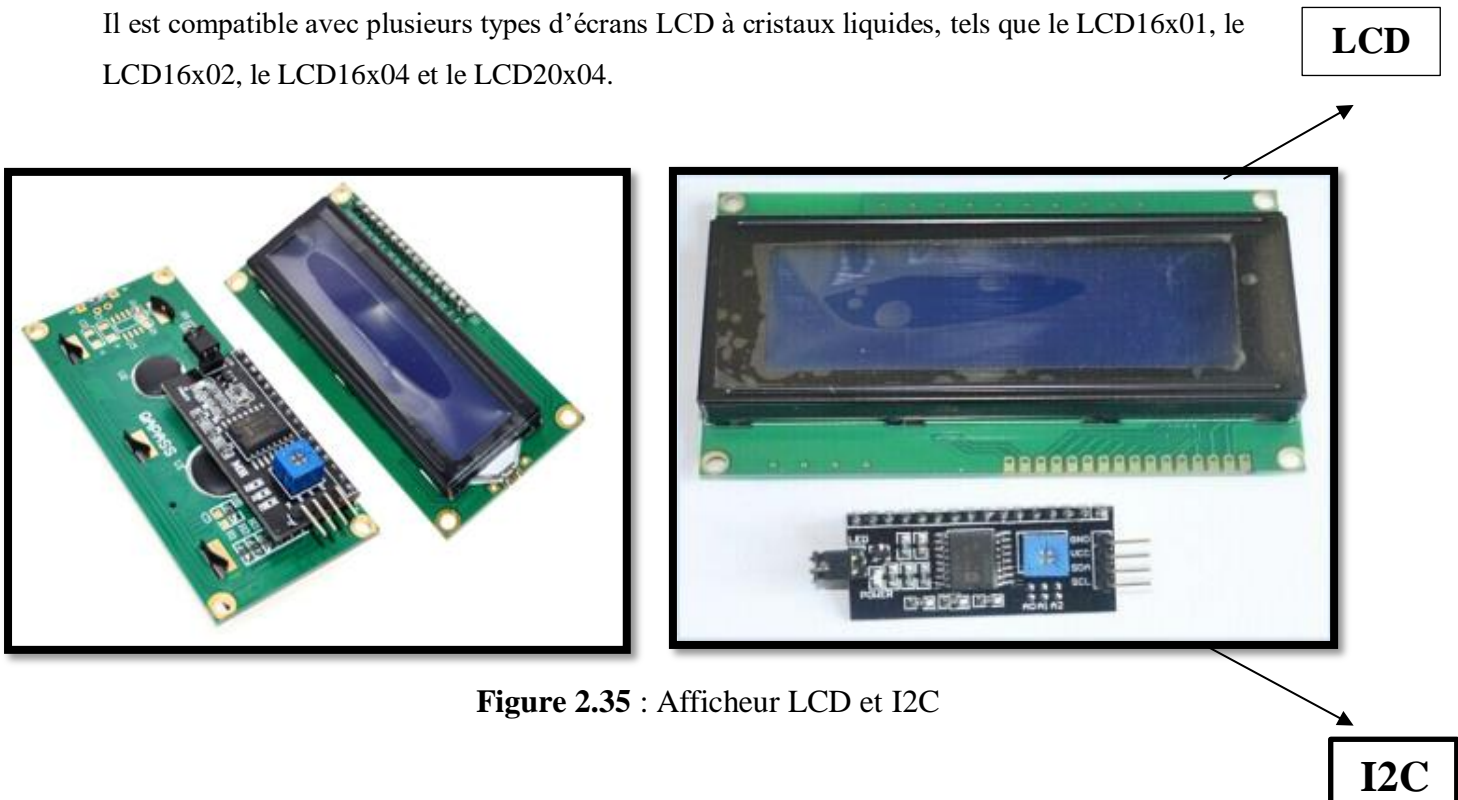


Figure 2.35 : Afficheur LCD et I2C

### b) Câblage LCD avec arduino :

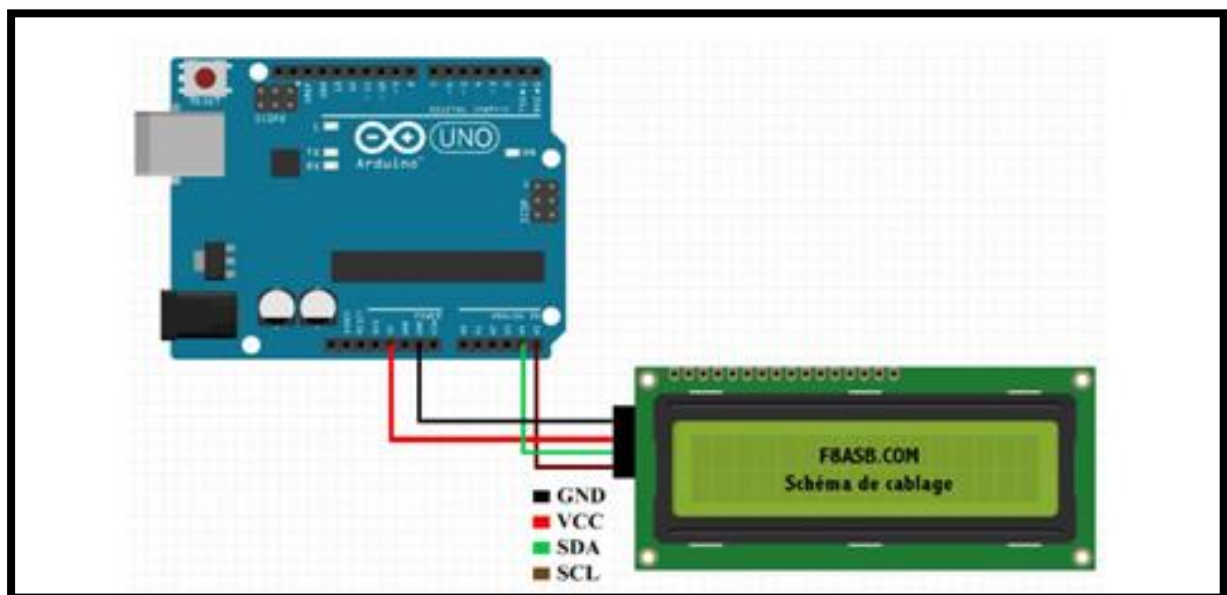
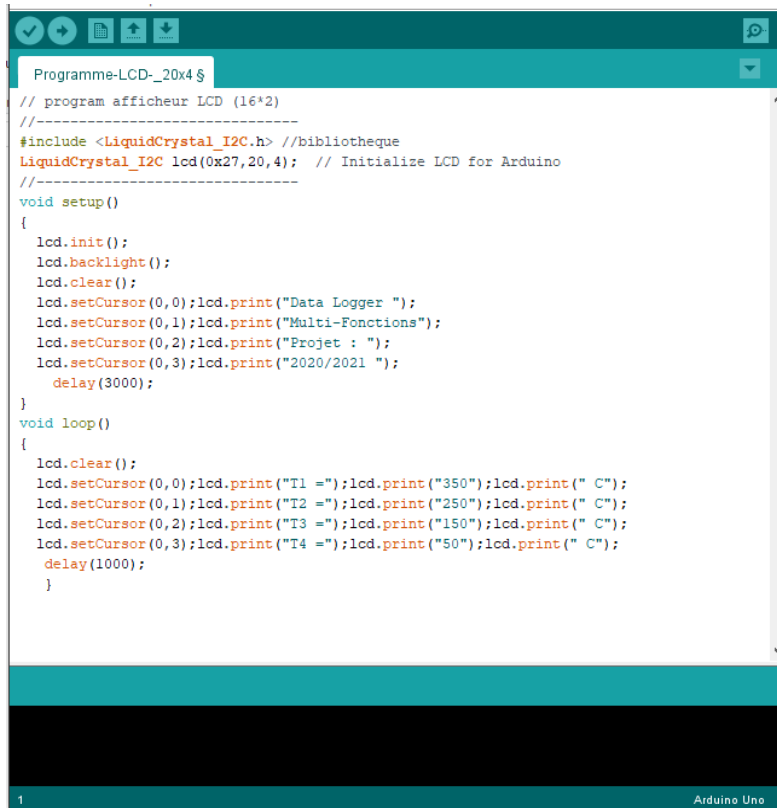


Figure 2.36: Câblage LCD avec arduino

## c) Programme de l'afficheur LCD :



```

Programme-LCD-_20x4 $
// program afficheur LCD (16*2)
//-----
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //bibliothèque
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // Initialize LCD for Arduino
//-----
void setup()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);lcd.print("Data Logger ");
  lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Multi-Fonctions");
  lcd.setCursor(0,2);lcd.print("Projet : ");
  lcd.setCursor(0,3);lcd.print("2020/2021 ");
  delay(3000);
}
void loop()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);lcd.print("T1 =");lcd.print("350");lcd.print(" C");
  lcd.setCursor(0,1);lcd.print("T2 =");lcd.print("250");lcd.print(" C");
  lcd.setCursor(0,2);lcd.print("T3 =");lcd.print("150");lcd.print(" C");
  lcd.setCursor(0,3);lcd.print("T4 =");lcd.print("50");lcd.print(" C");
  delay(1000);
}

```

Figure 2.37 :programme sur arduino

## 5. composent électrique utilisé :

## 5.1. Les résistances :

## a) Définition :

La résistance est un composant électrique passif pour créer une résistance dans le flux de courant électrique. Dans presque tous les réseaux électriques et circuits électroniques, ils peuvent être trouvés. La résistance est mesurée en ohms. Un ohm est la résistance qui se produit lorsqu'un courant d'un ampère passe à travers une résistance avec une chute d'un volt à ses bornes. Le courant est proportionnel à la tension aux bornes. Ce rapport est représenté par la loi d'Ohm :  $R=V/I$ .

Il existe un grand nombre de types de résistance différents qui peuvent être achetés et utilisés. Les propriétés de ces différentes résistances varient et cela aide à obtenir le bon type de résistance pour une conception donnée afin de garantir les meilleures performances.

Il existe deux symboles de circuit principaux utilisés pour les résistances. Le plus ancien est encore largement utilisé en Amérique du Nord et se compose d'une ligne dentelée représentant le fil utilisé dans une résistance. L'autre symbole de circuit de résistance est un petit rectangle, et cela est souvent appelé le symbole de résistance international et il est plus largement utilisé en Europe et en Asie [17].

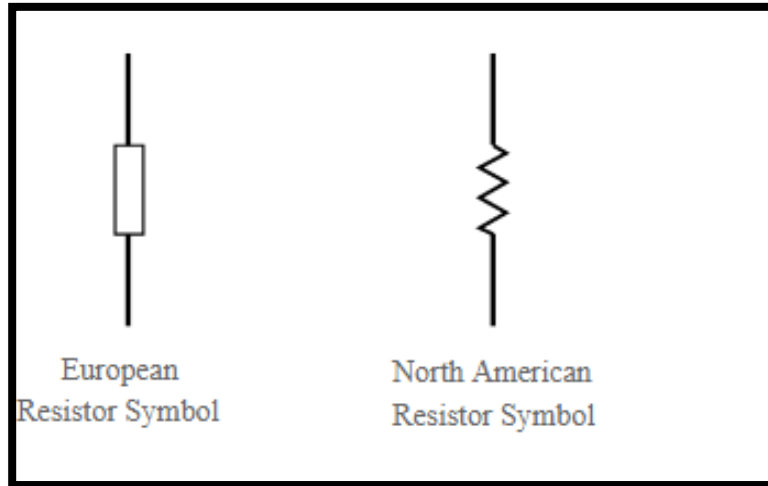


Figure 2.38 : Résistance

### b) Les types de résistances :

Il existe 2 types de résistances :

- **Résistances fixes** : les résistances fixes sont de loin le type de résistance le

Plus utilisé, Ils sont utilisés dans les circuits électroniques pour définir les bonnes conditions dans un circuit. Leurs valeurs sont déterminées pendant la phase de conception du circuit, et elles ne devraient jamais avoir besoin d'être modifiées pour "ajuster" le circuit. Il existe de nombreux types de résistance différents qui peuvent être utilisés dans différentes circonstances et ces différents types de résistance sont décrits plus en détail ci-dessous.

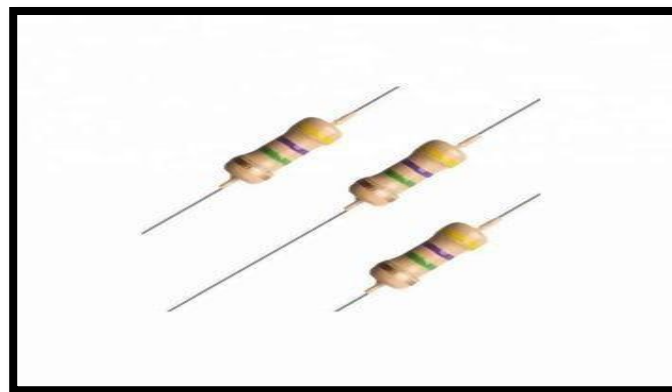


Figure 2.39 : résistance fixe.



- Résistances variables** : Ces résistances se composent d'un élément de résistance fixe et d'un curseur qui tapote sur l'élément de résistance principal. Cela donne trois connexions au composant : deux connectées à l'élément fixe et la troisième est le curseur. De cette façon, le composant agit comme un diviseur de potentiel variable si les trois connexions sont utilisées. Il est possible de se connecter au curseur et à une extrémité pour fournir une résistance à résistance variable [17].



Figure 2.40: résistance variable

c) Code des couleurs de résistance :

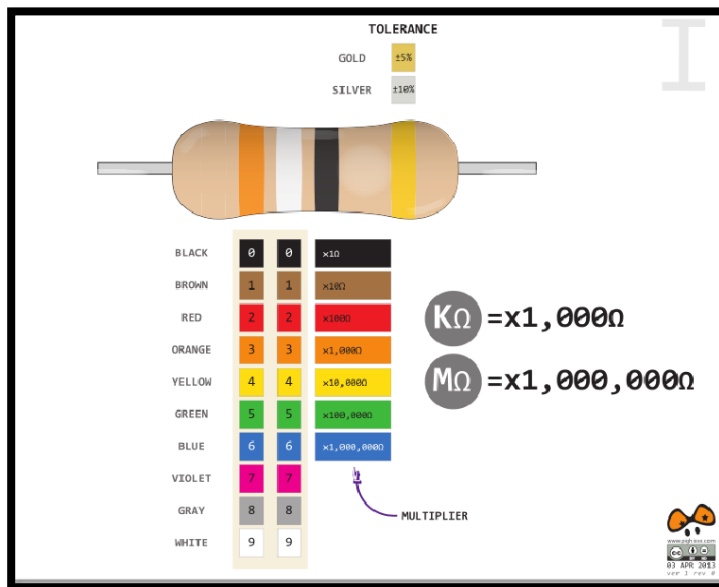


Figure 2.41: code de couleurs de résistance

d) Applications :

Les résistances sont utilisées à de nombreuses Champs. Quelques exemples incluent la délimitation du courant électrique, la division de la tension, la génération de chaleur, les circuits d'adaptation et de chargement, le gain de contrôle et les constantes de temps fixes. Ils sont disponibles dans le

Commerce avec des valeurs de résistance sur une plage de plus de neuf ordres de grandeur. Ils peuvent être utilisés comme freins électriques pour dissiper l'énergie cinétique des trains, ou être plus petits qu'un millimètre carré pour l'électronique.

### e) Câblage des résistances avec arduino :

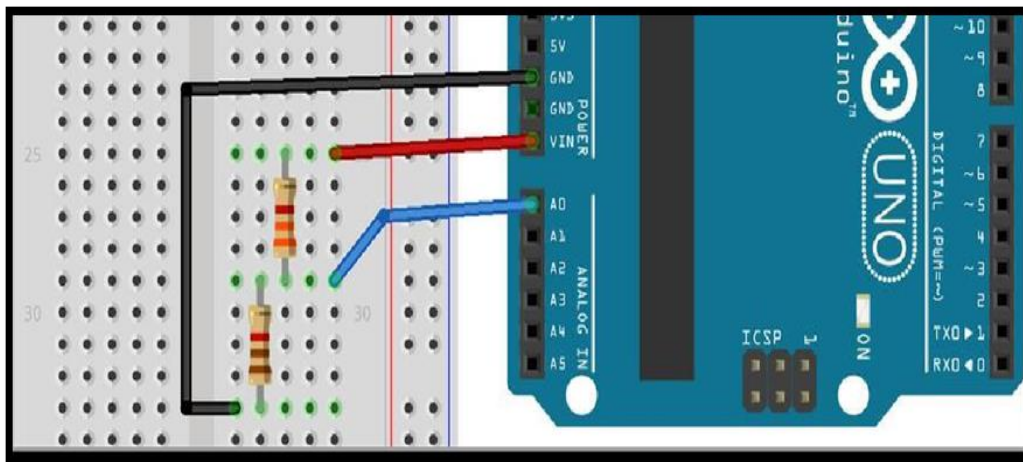


Figure 2.42: câblage des résistances avec arduino

## 5.2. LES LED :

### a) Définition :

Nous avons utilisé des led pour l'alarme du danger.

Une diode électroluminescente (LED) est un dispositif semi - conducteur qui émet de la lumière visible lorsqu'un courant électrique la traverse.

Les LED sont des sources de lumière à semi-conducteur qui combinent un semi-conducteur de type P (concentration de trous plus importante) avec un semi-conducteur de type N (concentration d'électrons plus

importante). L'application d'une tension directe suffisante entraînera la recombinaison des électrons et des trous à la jonction PN, libérant de l'énergie sous forme de lumière.

La sortie d'une LED peut aller du rouge (à une longueur d'onde d'environ 700nanomètres) au bleu-violet (environ 400 nanomètres) [18] . Certaines LED émettent de l'énergie infrarouge ( IR ) (830 nanomètres ou plus).

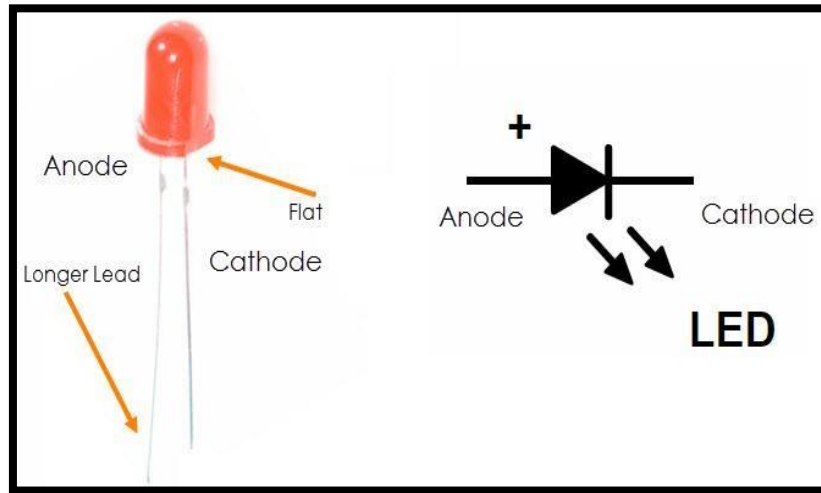


Figure 2.43 : Les LED

### b) Avantage des LED :

Les avantages des LED par rapport aux dispositifs d'éclairage incandescents et fluorescents, comprennent :

- **Faible consommation d'énergie** : la plupart des types peuvent fonctionner avec des alimentations par batterie.
- **Haute efficacité** : la majeure partie de l'énergie fournie à une LED est convertie en rayonnement sous la forme souhaitée, avec une production de chaleur minimale.
- **Longue durée de vie** : Lorsqu'elle est correctement installée, une LED peut fonctionner pendant des décennies.

### c) Les applications des led :

- **Voyants lumineux** : ceux-ci peuvent être à deux états (c.-à-d., Marche /arrêt), à barres ou à affichage alphabétique-numérique.
- **Rétro-éclairage du panneau LCD** : des LED blanches spécialisées sont utilisées dans les écrans d'ordinateur à écran plat.

- **Transmission de données par fibre optique** : la facilité de modulation permet une large bande passante de communication avec un minimum de bruit, résultant en une vitesse et une précision élevées.
- **Télécommande** : la plupart des "télécommandes" de divertissement à domicile utilisent des IRED pour transmettre des données à l'unité principale.
- **Optoisolateur** : les étapes d'un système électronique peuvent être connectées ensemble sans interaction indésirable.

#### d) Câblage de led avec arduino :

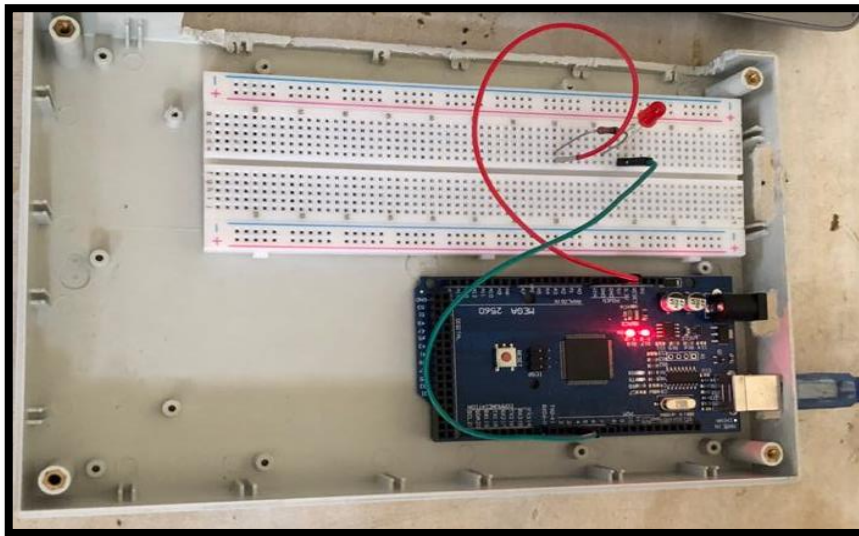


Figure 2.44: câblage le led avec arduino.

#### e) Exemple programme led sur arduino :

```
VOTRE_NOM_blink | Arduino 1.6.13
Fichier Édition Croquis Outils Aide

VOTRE_NOM_blink
void setup()
{
  pinMode(13,OUTPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(13,HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(13,LOW);
  delay(600);
}

Téléversement terminé

Le croquis utilise 948 octets (2%) de l'espace de stockage de program
Les variables globales utilisent 9 octets (0%) de mémoire dynamique,

11 Arduino/Genuino Uno sur COM8
```

**Figure 2.45 :** programme led sur arduino

### 5.3. Le potentiomètre de réglage :

#### a) Définition :

Un potentiomètre est un type de résistance variable à trois bornes, dont une est reliée à un curseur se déplaçant sur une piste résistante terminée par les deux autres bornes.

Les potentiomètres sont couramment employés dans les circuits électroniques. Ils servent par exemple à contrôler le volume d'une radio. Ils convertissent une position en une tension [19].

**Figure 2.46 :** Le potentiomètre

#### b) Types de potentiomètres :

Un potentiomètre peut être :

- Rectiligne ou rotatif ;
- linéaire ou **logarithmique** (« audio ») ou **anti-logarithmique** (« audio inverse ») ;
- Analogique ou numérique ;
- Mono ou stéréo ;
- Avec position d'arrêt ou pas (présence d'un petit cran lorsqu'on le tourne à fond à gauche, lié à un interrupteur) ;
- Avec cran central (« cranté », permet d'avoir une position « zéro » au centre de la piste) ;
- Couplé (potentiomètre numérique commandé par un potentiomètre analogique).

### d) Câblage potentiomètres avec arduino :

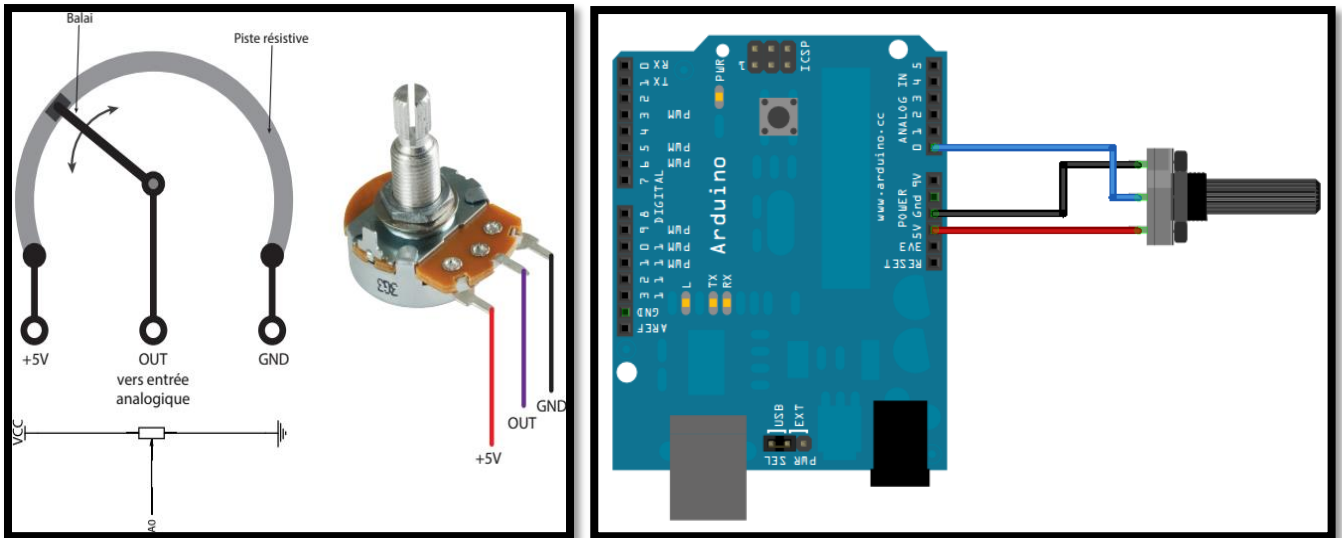


Figure 2.47 : branchement Le potentiomètre avec arduino

## 6. Présentation d'Arduino :

### 6.1. Définition :

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Sans tout ne connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne [20].

Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine. Arduino est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions.

### 6.2. Applications

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une

application dans tous les domaines, nous pouvons donner quelques exemples :

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

Avec Arduino, nous allons faire des systèmes électroniques tels qu'une bougie électronique, une calculatrice simplifiée, un synthétiseur, etc. Tous ces systèmes seront conçus avec pour base une carte Arduino et un panel assez large de composants électroniques.

### 6.3. Bonnes raisons de choisir Arduino :

Il existe pourtant dans le commerce, une multitude de plateformes qui permettent de faire la même chose.

Notamment les microcontrôleurs « PIC » du fabricant Micro chip. Nous allons voir pourquoi choisir l'Arduino.

- **Le prix :** En vue des performances qu'elles offrent, les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses, ce qui est un critère majeur pour le débutant.
- **La liberté :** C'est un bien grand mot, mais elle définit de façon assez concise l'esprit de

l'Arduino. Elle constitue en elle-même deux choses :

**Le logiciel :** gratuit et open source, développé en Java, dont la simplicité d'utilisation relève du savoir cliquer sur la souris.

**Le matériel :** cartes électroniques dont les schémas sont en libre circulation sur internet.

Cette liberté a une condition : le nom « Arduino » ne doit être employé que pour les cartes « officielles ». En somme, vous ne pouvez pas fabriquer votre propre carte sur le modèle Arduino et lui assigner le nom « Arduino ». Les cartes non officielles, on peut les trouver et les acheter sur Internet et sont pour la quasi-totalité compatibles avec les cartes officielles Arduino.

- **La compatibilité :** Le logiciel, tout comme la carte, est compatible sous les plateformes les plus courantes (Windows, Linux et Mac), contrairement aux autres outils de programmation du commerce qui ne sont, en général, compatibles qu'avec Windows.
- **La communauté :** La communauté Arduino est impressionnante et le nombre de ressources à son sujet est en constante évolution sur internet. De plus, on trouve les

références du langage Arduino ainsi qu'une page complète de tutoriels sur le site [arduino.cc](http://arduino.cc) (en anglais) et [arduino.cc](http://arduino.cc) (en français).

### 6.4 Outils Arduino :

A présent, rapprochons-nous de « l'utilisation » du système Arduino et voyons comment il se présente. Il est composé de deux choses principales, qui sont : **le matériel** et **le logiciel**. Ces deux outils réunis, il nous sera possible de faire n'importe quelle réalisation.

Le matériel ; Il s'agit d'une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur ATMEGA du fabricant ATMEL, dont le prix est relativement bas pour l'étendue possible des applications.

Le logiciel ; Le logiciel va nous permettre de programmer la carte Arduino. Il nous offre une multitude de fonctionnalités.

### 6.5. Types de cartes :

Il y a trois types de cartes :

1. Les dites « officielles » qui sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel : Smart Project
2. Les dits « compatibles » qui ne sont pas fabriqués par Smart Projects, mais qui sont totalement compatibles avec les Arduino officielles.
3. Les « autres » fabriquées par diverse entreprise et commercialisées sous un nom différent (Freeduino, Seeduino, Femtoduino, ...).

## 7. Présentation d'Arduino Méga 2560 :



La carte Arduino repose sur un circuit intégré (un mini ordinateur appelé également microcontrôleur) associée à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes [21]:

Côté entrées, des capteurs qui collectent des informations sur leur environnement comme la variation de température via une sonde thermique, le mouvement via un détecteur de présence ou un accéléromètre, le contact via un bouton-poussoir, etc.

Côté sorties, des actionneurs qui agissent sur le monde physique telle une petite lampe qui produit de la lumière, un moteur qui actionne un bras articulé, etc. Comme le logiciel Arduino, le circuit électronique de cette plaquette est libre et ses plans sont disponibles sur internet. On peut donc les étudier et créer des dérivés.

Plusieurs constructeurs proposent ainsi différents modèles de circuits électroniques programmables et utilisables avec le logiciel Arduino. Il existe plusieurs variétés de cartes Arduino. La figure ci-dessous montre par exemple ; la carte Arduino Méga.

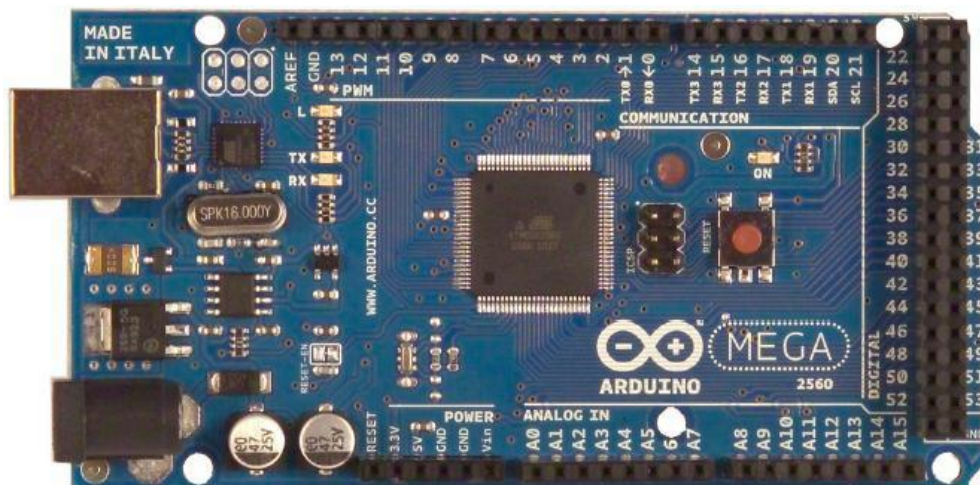


Figure 2.48 : Arduino Méga 2560

## 7.1. Caractéristiques de l'Arduino Méga 2560 :

Cette carte dispose :

- De 54 broches numériques d'entrées/sorties (dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée) ;
- De 16 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques);
- De 4 UART (port série matériel) ;
- D'un quartz 16Mhz ;
- D'une connexion USB ;
- D'un connecteur d'alimentation jack ;
- D'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit") ;
- Et d'un bouton de réinitialisation (reset) ;

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur; pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

## 7.2. Description générale de l'Arduino Méga 2560 :

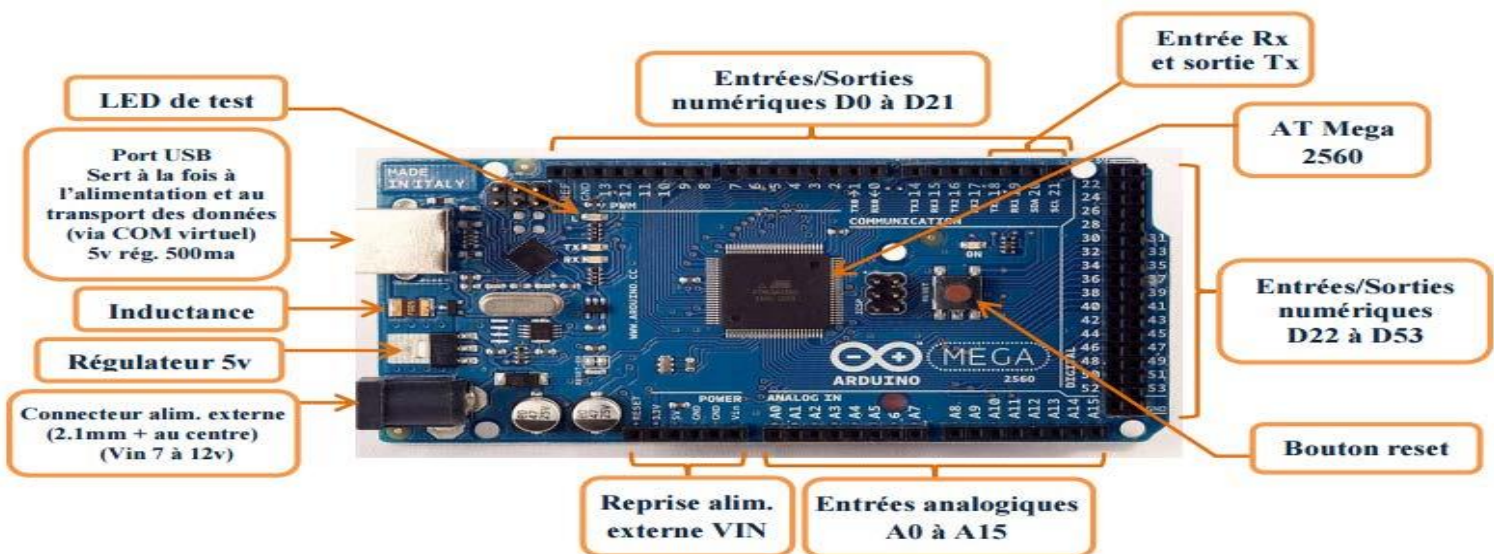


Figure 2.49 : Boitier de l'Arduino Méga 2560.

### 7.3. Synthèse des caractéristiques :

Microcontrôleur	AT Méga2560
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	54 (dont 14 d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	16 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 Ma
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V - 500 mA	Fonction de l'alimentation utilisée port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	256 KB dont 8 KB sont utilisés par le boot loader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	8 KB
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	4 KB
Vitesse d'horloge	16 MHz

Tableau 2.6. Synthèse des caractéristiques.

### 7.4. Alimentation :

La carte Arduino Méga 2560 peut-être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte. L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un Adaptateur secteur (pouvant fournir typiquement de 3V à 12V sous 500mA) ou des piles (ou des accus).

L'adaptateur secteur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm positif au centre dans le connecteur jack de la carte. Les fils en provenance d'un bloc de piles ou d'accus peuvent être insérés dans les connecteurs des broches de la carte appelées Gnd (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) du connecteur d'alimentation. La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts.

Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la

carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte Uno est entre 7V et 12V.

La carte Arduino Méga 2560 diffère de toutes les cartes précédentes car elle n'utilise pas le circuit intégré FTDI usb-vers-série. A la place, elle utilise un Atmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- ✓ **VIN** : la tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée).
- ✓ **5V** : la tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte.
- ✓ **3V3** : une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATMega) de la carte est disponible : ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V).
- ✓ **GND** ; broche de masse (ou 0V).The power pins are as follows.

### 7.5. Mémoire :

L'ATMega 2560 a 256Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme (dont 8Ko également utilisés par le boot loader). L'ATMega 2560 a également 8 ko de mémoire SRAM (volatile) et 4Ko d'EEPROM (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM).

Pour info ; le boot loader est un programme préprogrammé une fois pour toute dans l'ATMega et qui permet la communication entre l'ATMega et le logiciel Arduino via le port USB, notamment lors de chaque programmation de la carte .

### 7.6. Entrées et sorties numériques :

Chacune des 54 broches numériques de la carte Mega peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions pin Mode(), digital

Write () et digital Read() 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 de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50 KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction digital-Write (broche, HIGH).

De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- **Communication Série** ; port Série Serial : 0 (RX) and 1 (TX); Port Série Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Port Série Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Port Série Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX). Utilisées pour recevoir (RX) et transmettre (TX) les données séries de niveau TTL. Les broches 0 (RX) and 1 (TX) sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur.
- **Interruptions Externes**: Broches 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), et 21 (interrupt 2). 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. Voir l'instruction attach-Interrupt() pour plus de détails.
- **Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée)**: Broches 0 à 13 ; fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction analog-Write.
- **SPI (Interface Série Périphérique)**: Broches 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS) ; ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI. Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Uno , Duemilanove et Diecimila.
- **I2C**: Broches 20 (SDA) et 21 (SCL) ; supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface - Interface "2 fils"), disponible en utilisant la librairie Wire/I2C (ou TWI - Two-Wire interface - interface "2 fils") . Noter que ces broches n'ont pas le même emplacement que sur les cartes Uno, Duemilanove ou Diecimila.

- **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, lorsque la broche est au niveau bas, la LED est éteinte.

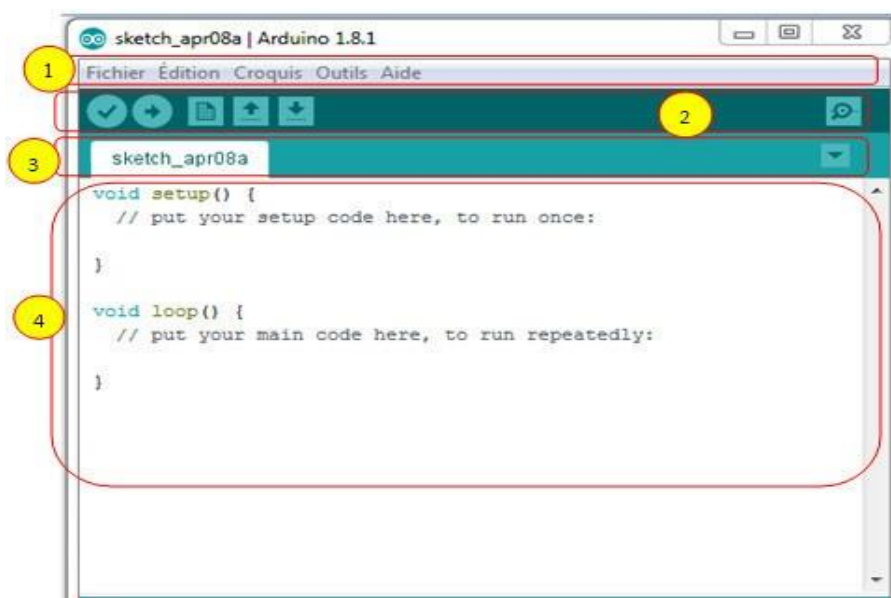
## 7.7. Principaux fonctionnements :

Les principales fonctionnalités de l'interface de l'application Arduino vous permet de créer et éditer un programme (appelé sketch) qui sera compilé puis téléversé sur la carte Arduino. Ainsi, lorsque vous apportez des changements sur le code, ces changements n'ont effet qu'une fois le programme téléversé sur la carte. Il est à noter que ce manuel fait référence à la version en anglais de ce logiciel puisqu'elle comporte habituellement des mises à jour plus récentes que la version en français.

Que les non-anglophones se rassurent : le nombre réduit de fonctionnalités et l'utilisation d'icônes rendent l'interface du logiciel simple d'utilisation.

## 8. Fenêtre générale de l'application Arduino :

La fenêtre de l'application Arduino comporte les éléments suivants [22]:



**Figure 2.50 : programme arduino**

1. Un menu ;
2. Une barre d'actions ;
3. Un ou plusieurs onglets correspondant aux sketches ;
4. Une fenêtre de programmation ;
5. Une console qui affiche les informations et erreurs de compilation et de téléversement du programme.

**a) Eléments du menu :**

Les différents éléments du menu vous permettent de créer de nouveaux sketches, de les Sauvegarder, de gérer les préférences du logiciel et les paramètres de communication avec votre carte Arduino.

**b) Dossier de travail :**

Dans les préférences (File > Préférences), il vous est possible de spécifier votre dossier de travail. Il s'agit du dossier où seront sauvegardés par défaut vos programmes et les bibliothèques qui pourront y être associées. Lorsqu'un programme est sauvegardé, un dossier portant le nom du programme est créé. Celui-ci contient le fichier du programme portant le nom que vous lui aurez donné suivi de l'extension. Pu ainsi qu'un dossier intitulé applet qui contient les différents éléments créés et nécessaires lors du processus de compilation du programme et de téléversement vers la carte.



- c) **Exemples** : Une série d'exemples est disponible sous File > Exemples. Ces exemples peuvent vous aider à découvrir et comprendre les différentes applications et fonctions d'Arduino.


Outils de configuration (Tools) :

Dans le menu Tools, il vous est possible et essentiel de spécifier le type de carte Arduino que vous utiliserez. Sous Tools > Board, il vous faut spécifier pour quel type de carte vous compilez et télé-versez le programme. Le type de carte est généralement inscrit sur la carte elle-même. Il est également nécessaire lorsqu'on branche une nouvelle carte Arduino ou que l'on change de carte de spécifier le port sériel virtuel qui sera utilisé pour la communication et le télé-versement du programme.





Pour ce faire, il faut aller sous Tools > Serial Port et choisir le port approprié. Sous Windows, il s'agit la plupart du temps du port ayant un numéro supérieur à 3. Sous Mac OS X, il s'agit habituellement du premier élément de la liste. Une bonne technique pour déterminer quel port correspond à votre carte Arduino consiste à débrancher celui-ci, attendre

Un peu et de prendre note des ports déjà présents. Lorsque vous rebrancherez votre carte Arduino et après un peu d'attente (ou un redémarrage de l'application), vous remarquerez le port qui se sera ajouté à la liste. Il s'agit du port sériel virtuel lié à votre carte Arduino.

- d) **Barre d'actions** :

	Bouton « Verify » (Vérifier) ; il permet de compiler votre programme et de vérifier si des erreurs s'y trouvent. Cette procédure prend un certain temps d'exécution et lorsqu'est terminée, elle affiche un message de type « Binary sketch size : ... » indiquant la taille du sketch téléversé.
---	---



	Pour transmettre le sketch compilé avec succès sur la carte Arduino dans le microcontrôleur.
	Bouton « New » (Nouveau) ; ce bouton permet de créer un nouveau sketch.
	Bouton « Open » (Ouvrir) ; il fait apparaître un menu qui permet d'ouvrir un sketch qui figure dans votre dossier de travail ou des exemples de sketches intégrés au logiciel.
	Bouton « Save » (Sauvegarder) ; il permet de sauvegarder votre sketch.

**Tableau 2.52.** Barre d'actions.

1. MATERIEL ET OUTILLAGE NECESSAIRES A LA REALISATION :

La réalisation de notre projet s’est déroulée au niveau de laboratoire « transfert chaleur » de notre département de mécanique.

En plus de l’outillage et des capteurs déjà cité au chapitre précédent, la réalisation de notre datalogger à nécessité des composants qui sont essentiels, dont certains sont donnée en photo dans la figure (3.1) , la liste complété avec les prix et donnée en annexe de ce mémoire.

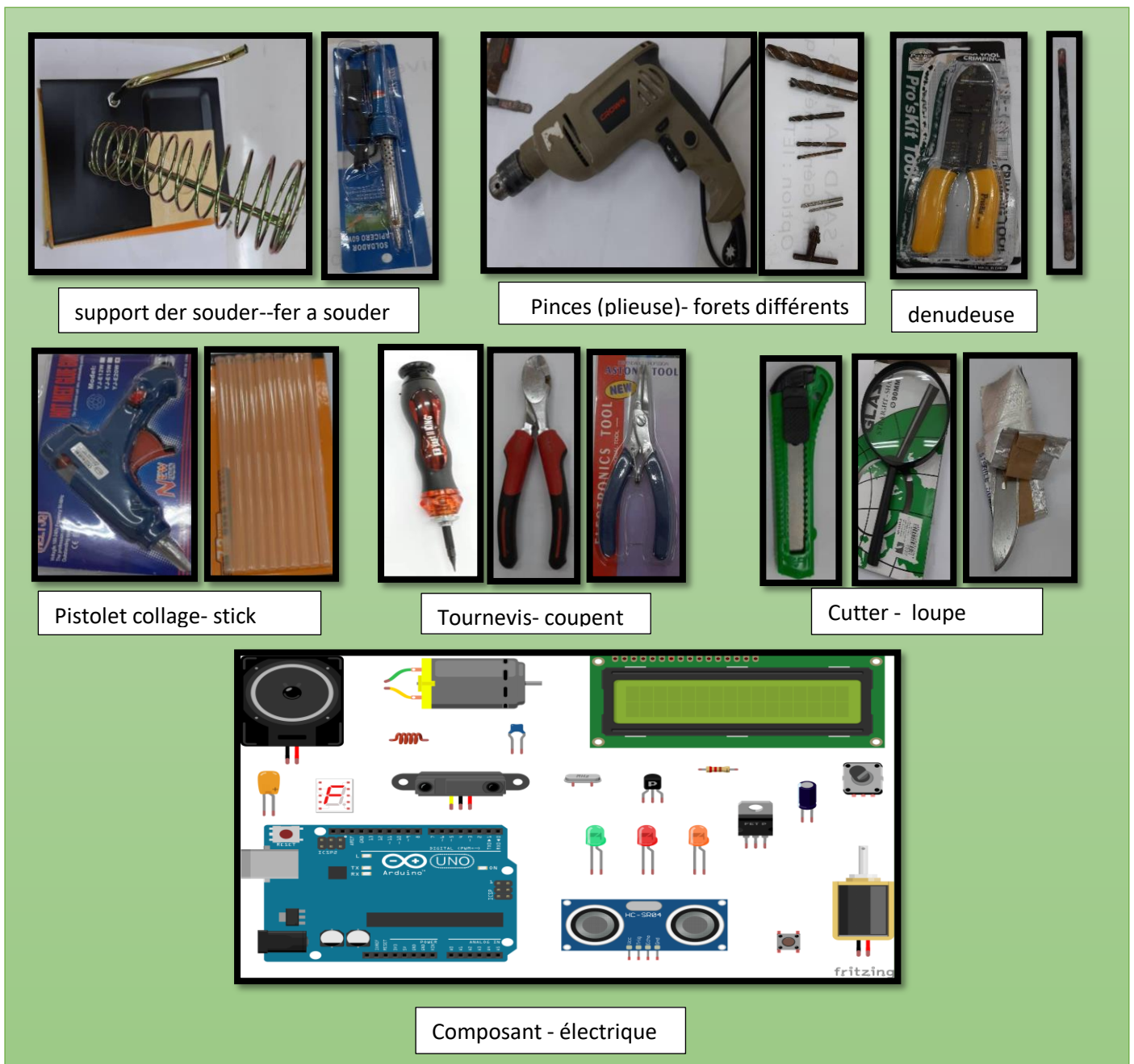


Figure 3.1. Matériel et outillage notre projet

## 1.1 Organigramme de la réalisation :

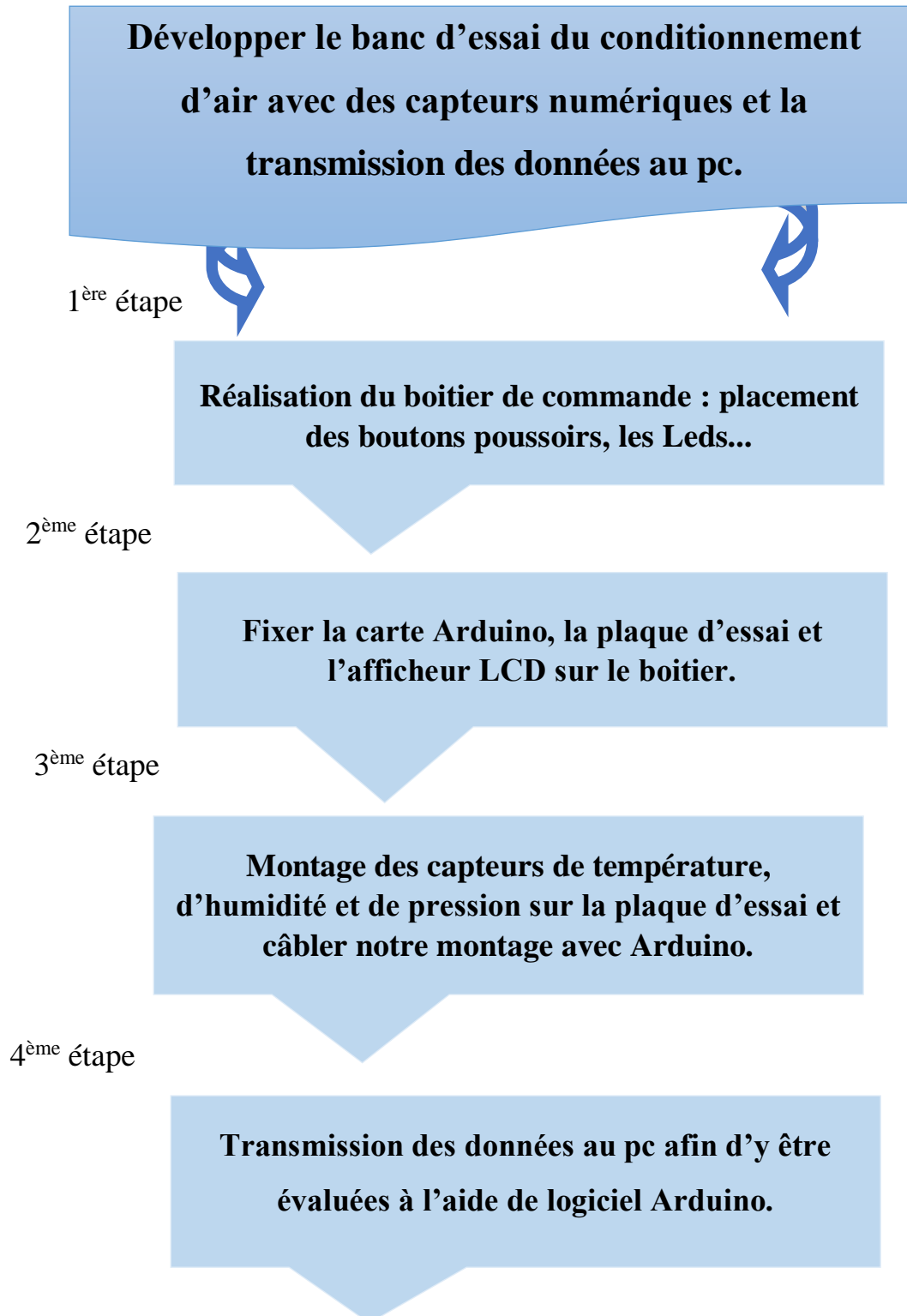
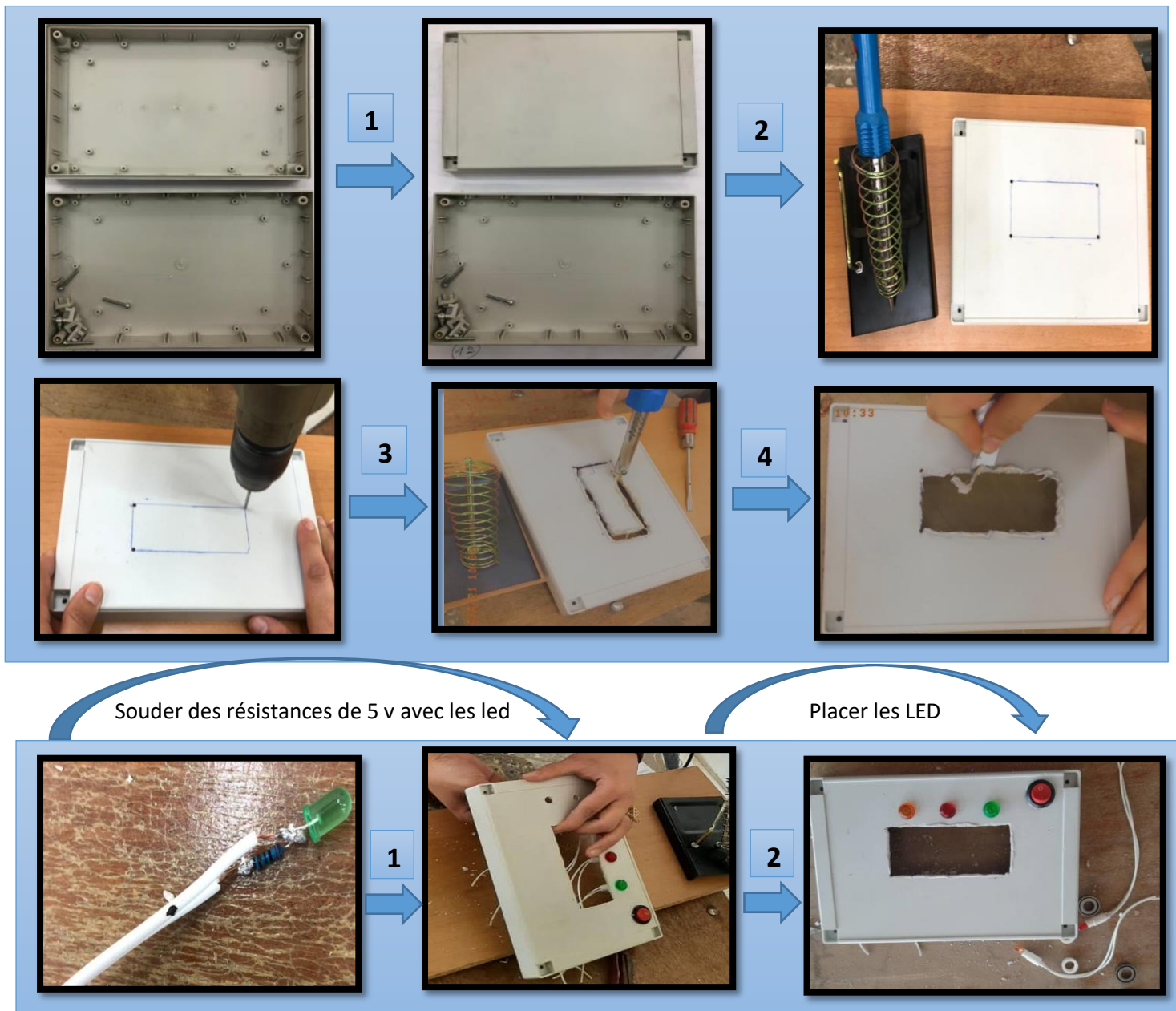


Figure 3.2. Les étapes de la réalisation

**a) 1ère étape : réalisation du boîtier de commande :**

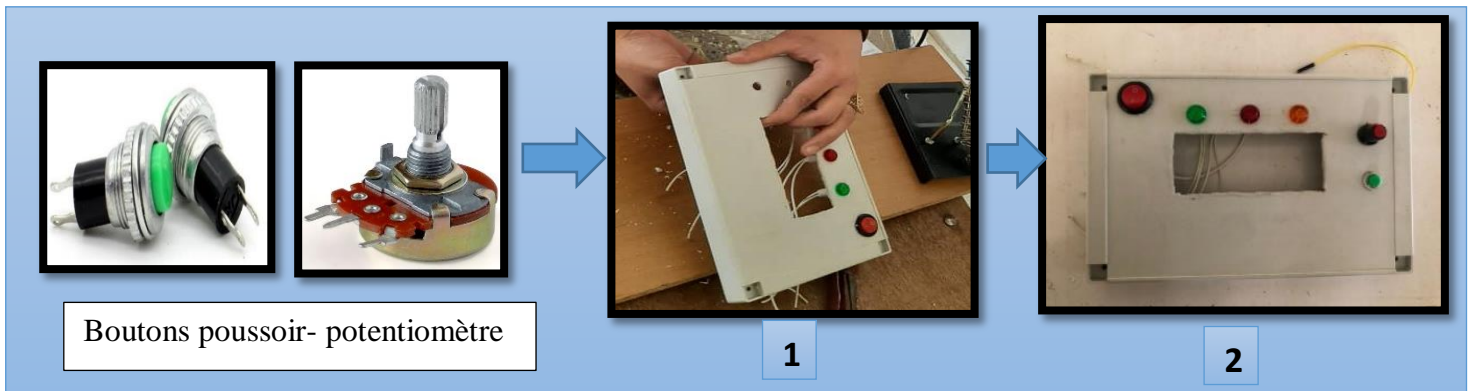
La boîtier commande a été réalisé en deux étapes la première à consiste à découper un rectangle de (.....cm \*.....cm) pour placer l’afficheur LCD et à faire des trous (à l’aide d’une perceuse et d’un fer à souder) pour introduire les composants électrique suivants :

- un boutons d’arrêt
- 2 boutons poussoir
- 3 LED
- potentiomètre



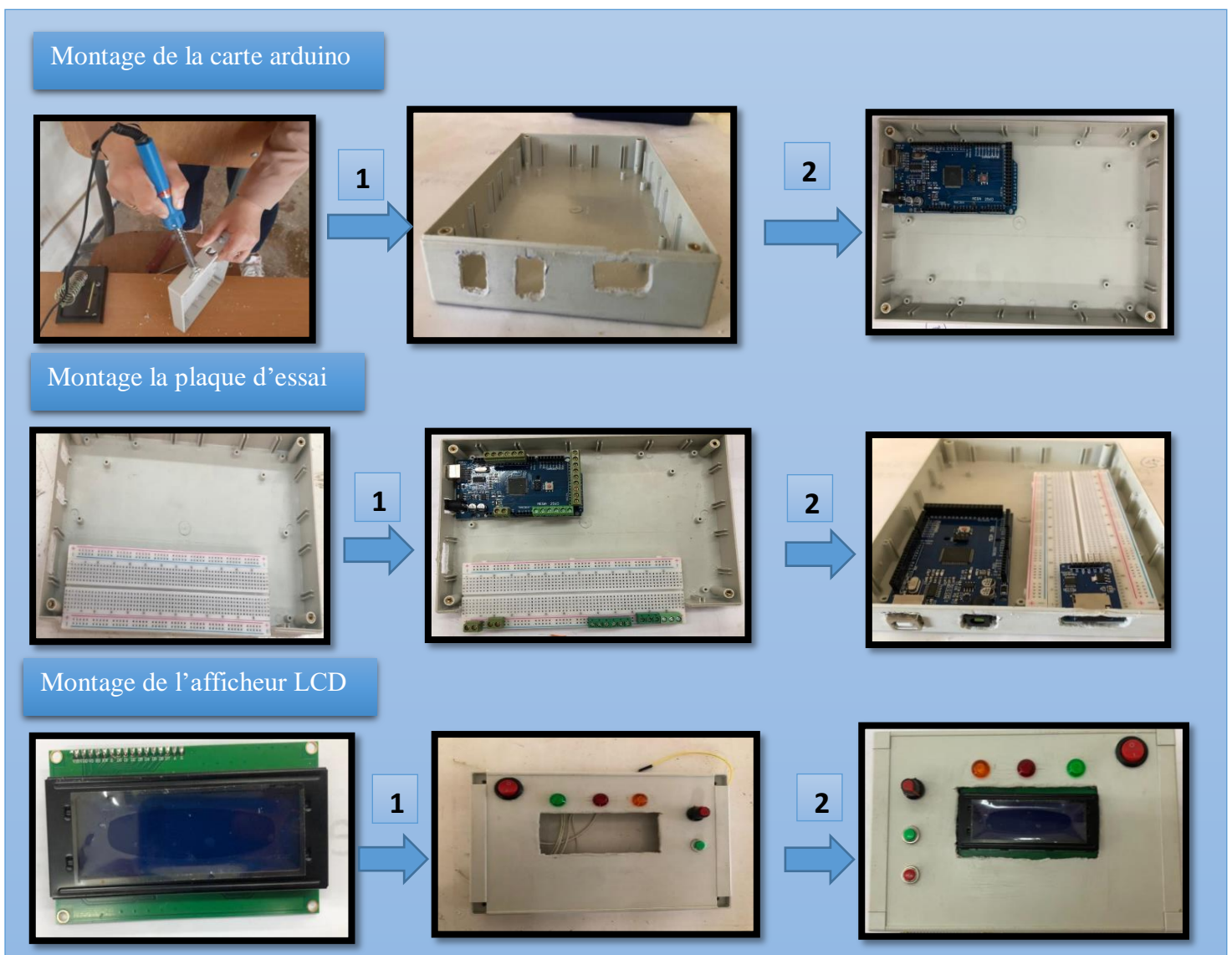
Souder des résistances de 5 v avec les led

Placer les LED



**b) 2ème étape : fixer la carte arduino et la plaque d'essai et l'afficheur sur le boîtier :**

Dans cette étape on a fixé notre carte, la plaque d'essai et l'afficheur LCD ainsi que le module SD (la carte mémoire) (à l'aide d'un pistolet à colle pour faciliter le travail).





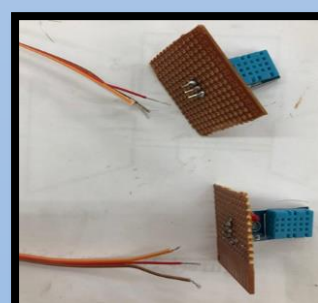
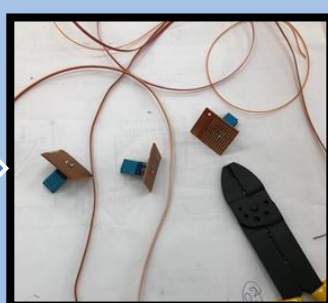
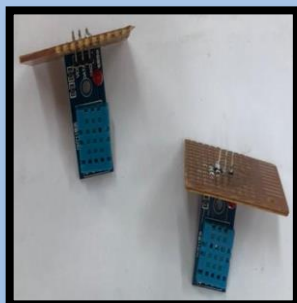
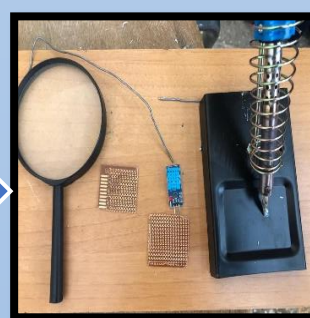
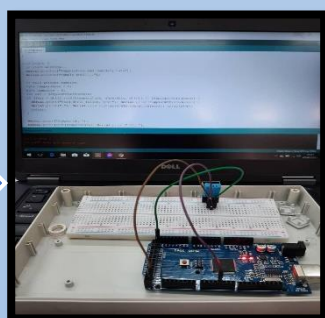
c) Montage des capteurs :

3<sup>ème</sup> étape : montage des différents capteurs sur la place d'essai et a banc didactique, et câbler notre montage avec ardin

Après la réalisation du boîtier et la fixation de la carte et la plaque et l'afficheur on passe au montage des capteur de température et d'humidité avant et après l'évaporateur , le surchauffeur , condenseur , compresseur et le reste des capteur sur la plaque d'essai ensuite on fait le câblage avec arduino en respectant le branchement des pins de chaque capteur

CAPTEUR TEMPERATURE DHT11

Essaie capteur dht11



Montage du capteur

Sur la machine

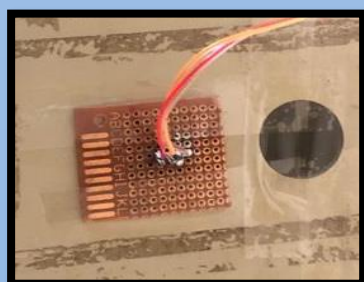


Figure 3.3: montage le capteur DHT11

**CAPTEUR DE PRESSION BMP 180**

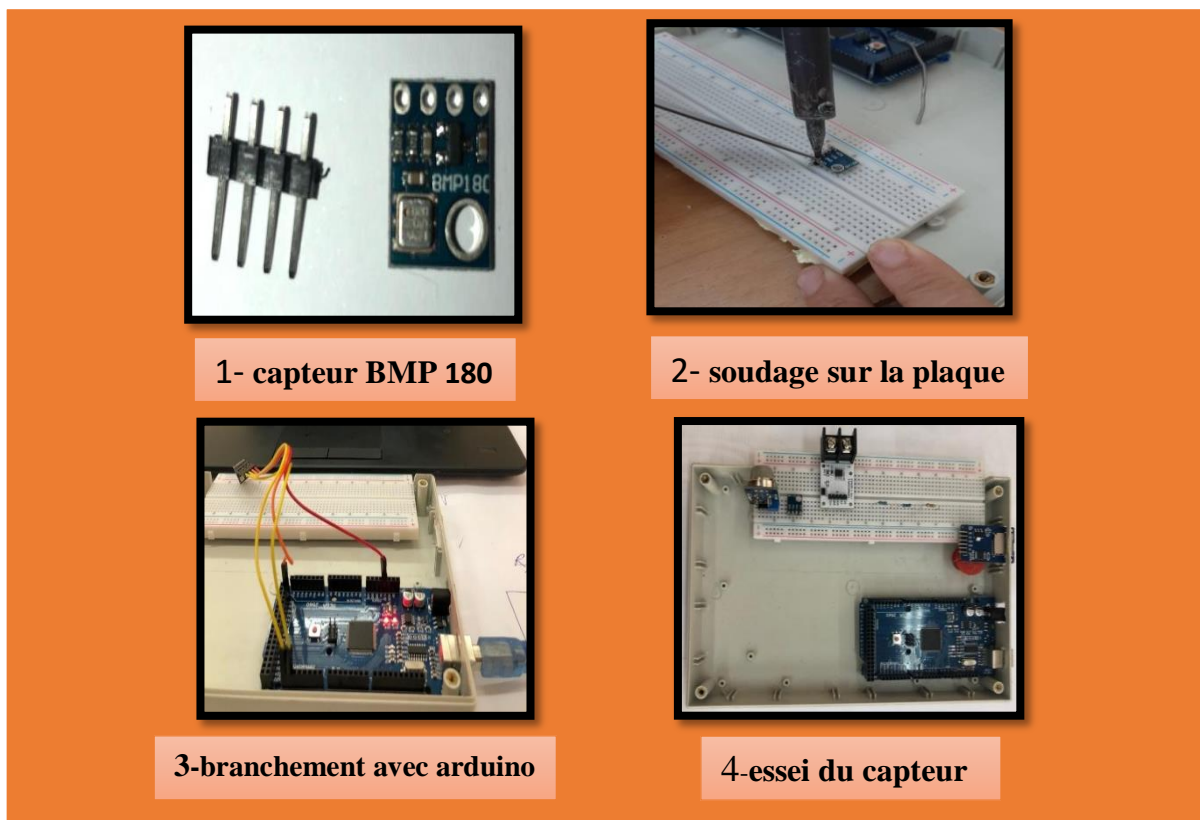


Figure 3.4 : montage le capteur BMP180

**CAPTEUR DE TEMPERATURE THERMOCOUPLE K AMPLIFICATEUR MAX6675**

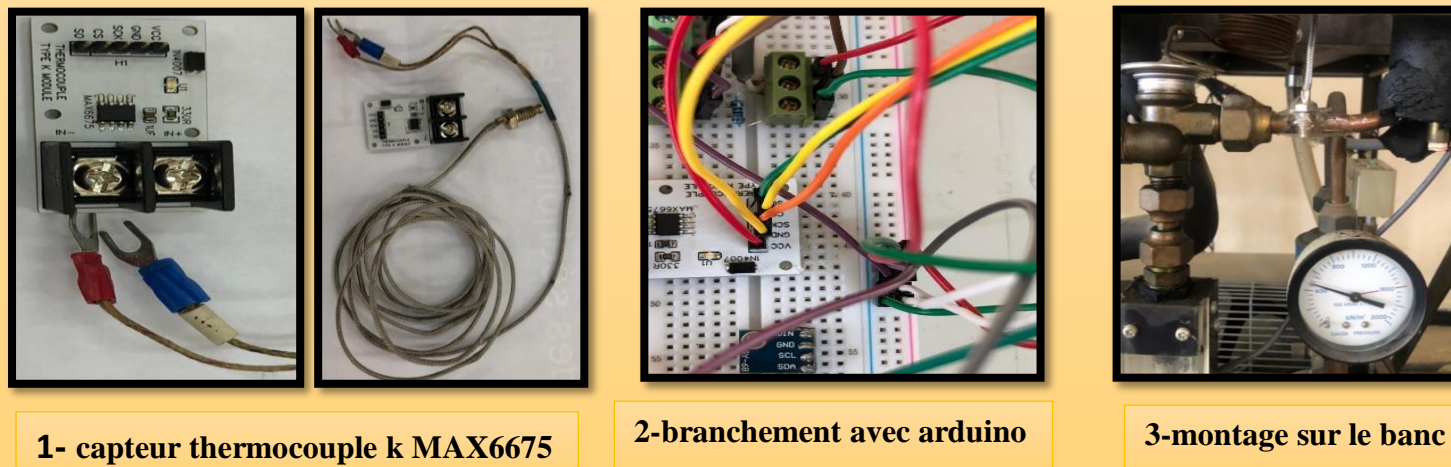
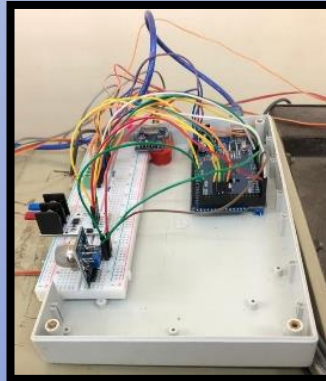
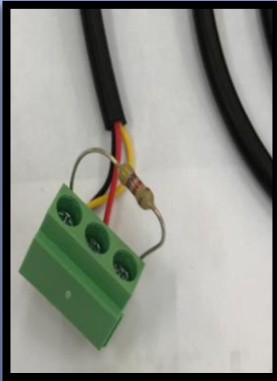


Figure 3.5 : montage le capteur thermocouple k MAX6675

CAPTEUR DE TEMPERATURE DS18B20



1- capteur DS18B20



2-branchement avec arduino



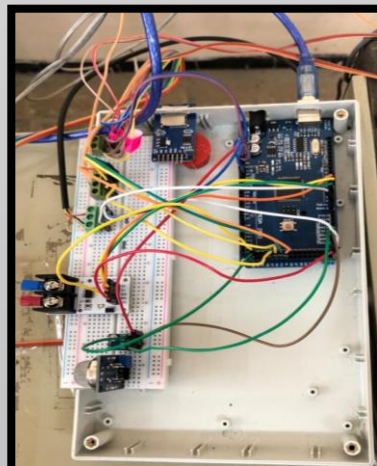
3- montage sur le banc

Figure 3.6 : montage le capteur DS18B20

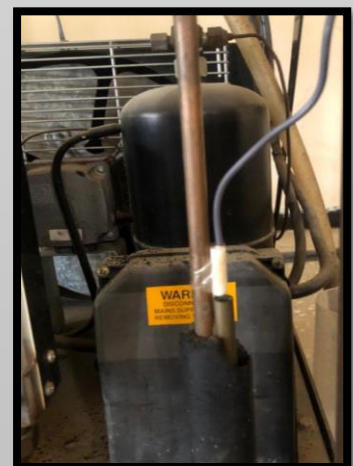
CAPTEUR DE TEMPERATURE THERMISTANCE NTC



1- capteur NTC



2- branchement avec arduino

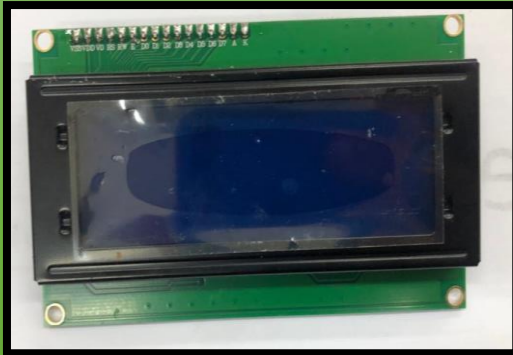


3- montage sur le banc

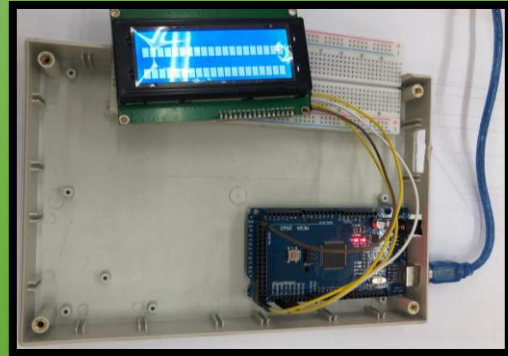
Figure 3.7: montage le capteur NTC



L'afficheur LCD



1- L'afficheur LCD



2- branchement avec arduino

Figure 3.8 : montage l'afficheur LCD

## 2. MISE EN MARCHE DU BANC DIDACTIQUE AVEC ARDUINO :

### 2.1 Procédure de vérification avant mise en service:

Avant la mise en marche, on doit tout d'abord procéder aux vérifications suivantes :

- ✓ Vérification de fonctionnement de notre banc.
- ✓ Vérification de bon branchement des capteurs au banc didactique et leurs câblages avec Arduino.
- ✓ On vérifie le programme final sur logiciel Arduino (compilation).

### 2.2 Procédure de mise en marche :

Tout d'abord la programmation et le câblage doit être terminé avec l'unité de conditionnement d'air. La procédure de mise en marche est décrite ci-dessous :

- Alimentation électrique et en eau du banc.
- Démarrage du ventilateur.
- Branchement de l'unité à l'aide de l'interrupteur de courant.
- Injecter le code vers Arduino via le port USB.
- Mise en marche de l'afficheur LCD.
- S'assurer du bon fonctionnement de notre datalogger.

## 3. Procédure de vérification du bon fonctionnement :

Lors de la première mise en marche on a constaté le bon fonctionnement du banc et de nos instruments de mesures et du programme.

Les résultats transmétés par les capteurs seront affichés au moniteur série sur pc, et sur l'afficheur LCD.

- **Banc didactique avec les capteurs d'origine (avant réalisation du datalogger) :**



Figure 3.9 : les capteur d'origine

- **Banc didactique avec les nouveaux capteurs (après réalisation du datalogger) :**

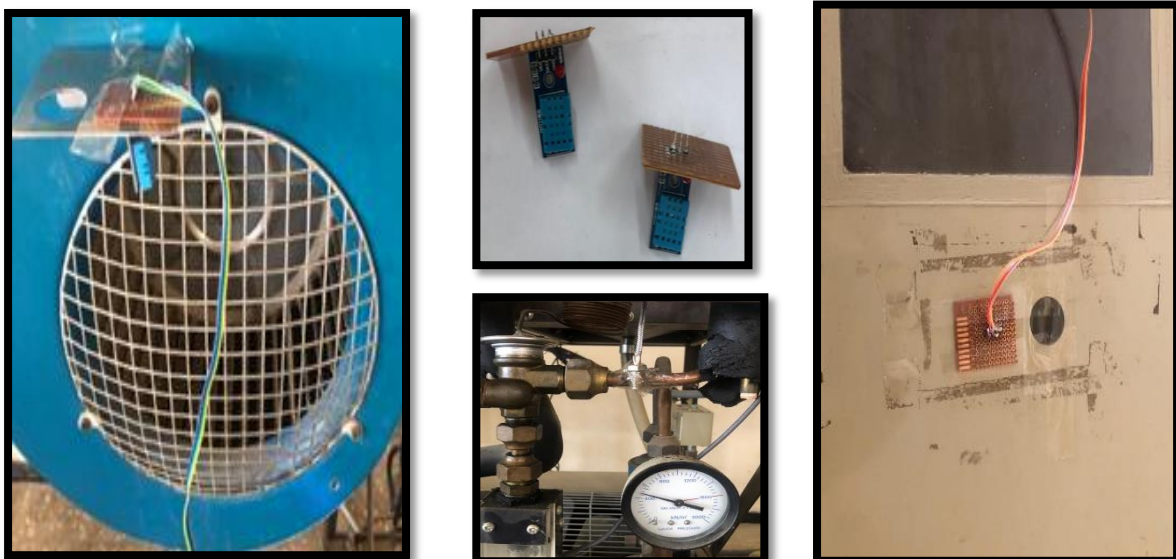


Figure 3.10 : les nouveaux capteurs

➤ Banc didactique avant réalisation du datalogger :



Figure 3.11 : Banc didactique avant réalisation

➤ Banc didactique après réalisation du datalogger :



Figure 3.12 : Banc didactique après réalisation



## 4. Photo final du datalogger :

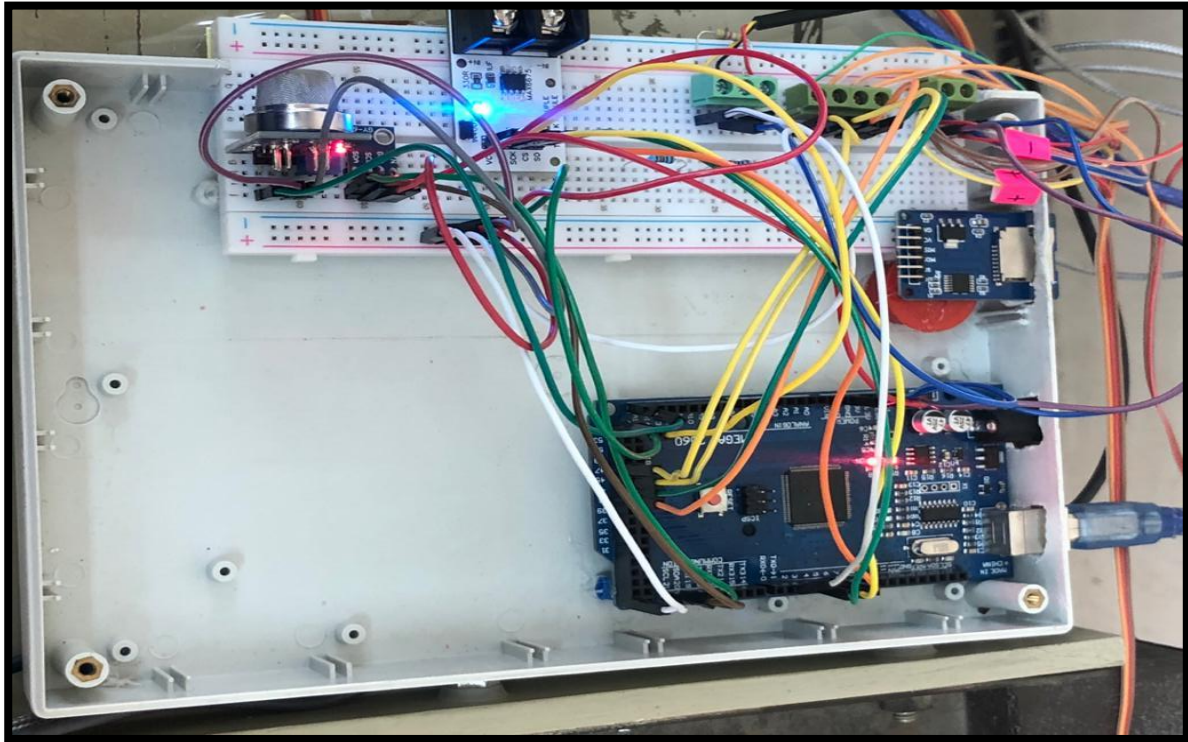


Figure 3.14 : le datalogger

## 5. Affichage sur écran LCD :

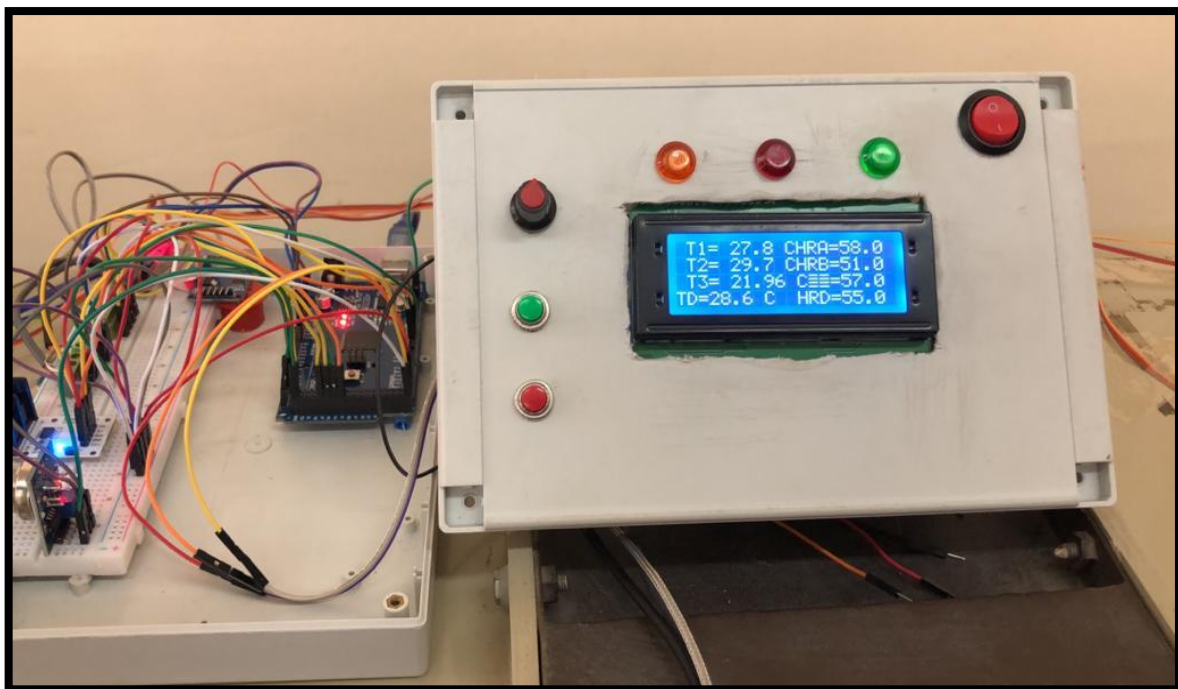


Figure 3.15 : affichage sur écran LCD

6. Affichage sur moniteur série :

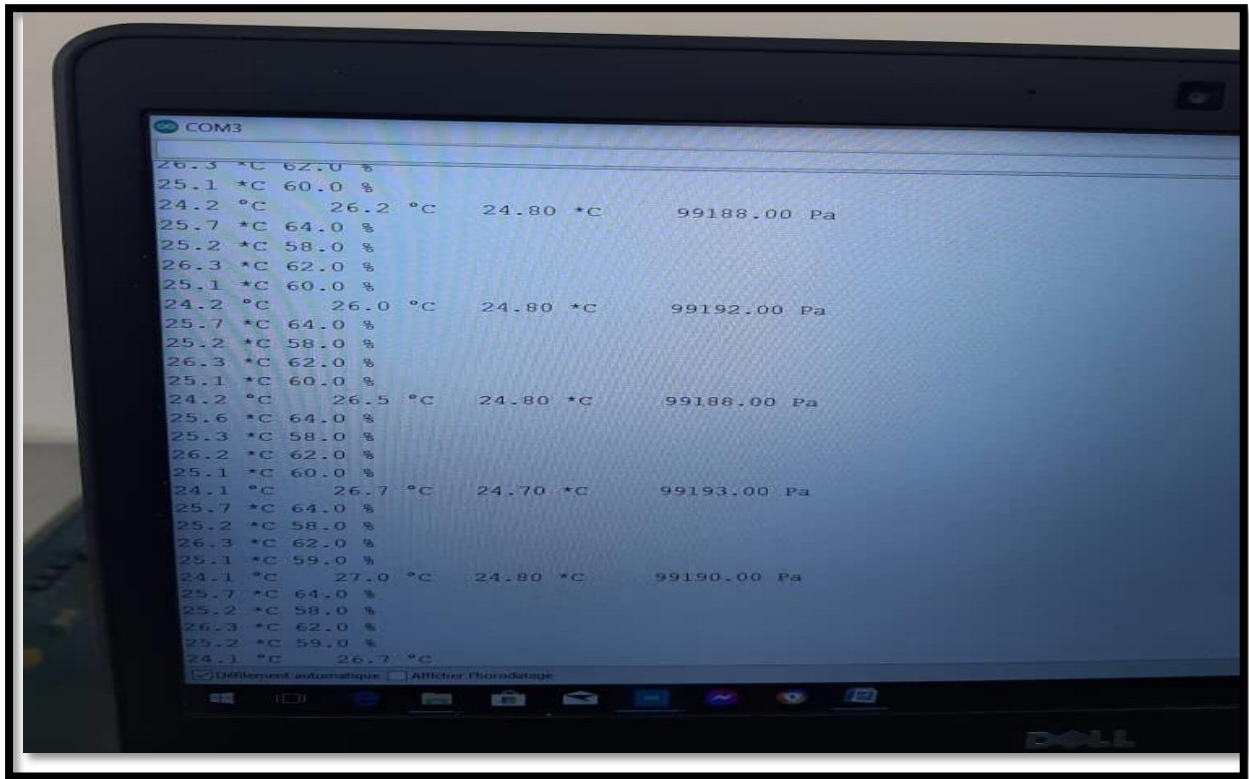


Figure 3.16 : Affichage sur moniteur série

7. Enregistrement des donnée sur carte mémoire :

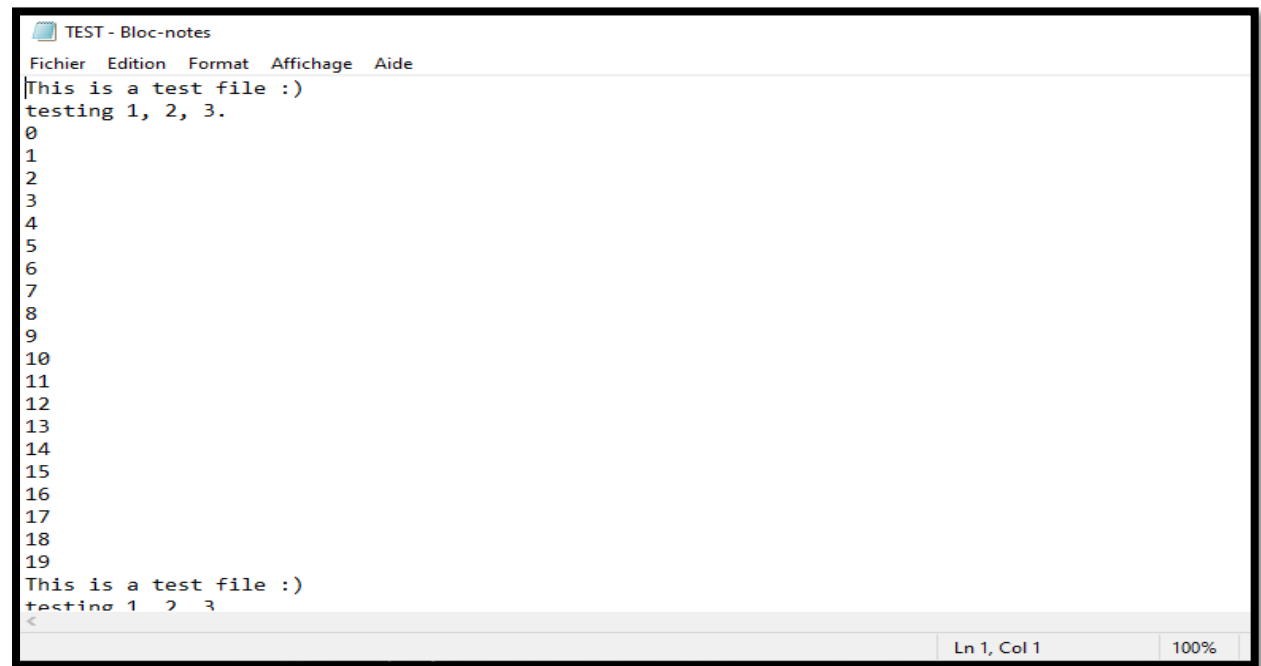


Figure 3.17: Affichage sur moniteur série

## 8. programme final de l'acquisition de donnée :

```

code-FINAL1 | Arduino 1.8.15
Fichier Édition Croquis Outils Aide

//=====
//projet:Data logger conditionnement d'air
//Programme: Thermocouple+DS18B20+DHT11+MQ135+BMP180+NTC+SDCARD+Pot+3LED+LCD(20x4)
//=====
// NTC which analog pin to connect
#define NTC_PIN A7
// resistance at 25 degrees C
#define THERMISTORNOMINAL 10000
// temp. for nominal resistance (almost always 25 C)
#define TEMPERATURENOMINAL 22
// how many samples to take and average, more takes longer
// but is more 'smooth'
#define NUMSAMPLES 5
// The beta coefficient of the thermistor (usually 3000-4000)
#define BCOEFFICIENT 3960
// the value of the 'other' resistor
#define SERIESRESISTOR 10000

int samples[NUMSAMPLES];
//****Branchement capteur BMP180****
//GND du BMP180 - GND de l'Arduino
//SCL du BMP180- SCL de l'Arduino
//SDA de BMP180 - SDA de l'Arduino
//VCC de BMP180 - 3.3V de l'Arduino
//****Branchement des capteurs DHT11****
//GND des DHT11 - GND de l'Arduino

//Analog output du DHT11 N°1- Pin N° 41 de l'Arduino
//Analog output du DHT11 N°2- Pin N° 43 de l'Arduino
//Analog output du DHT11 N°3- Pin N° 45 de l'Arduino
//Analog output du DHT11 N°4- Pin N° 47 de l'Arduino

//*****debut Programme*****
//-----Initialisation et Appel des Bibliotheques-----

#include <max6675.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LCD_I2C.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <MQ135.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>
#include "DHT.h"
#define DHT1_PIN 41 // DHT module 1
#define DHT2_PIN 43 // DHT module 2
#define DHT3_PIN 45 // DHT module 3
#define DHT4_PIN 47 // DHT module 4
#define DHTTYPE DHT11 // type DHT 11
//Adafruit_BMP085 bmp;
DHT dht1(DHT1_PIN, DHTTYPE);
DHT dht2(DHT2_PIN, DHTTYPE);

DHT dht3(DHT3_PIN, DHTTYPE);
DHT dht4(DHT4_PIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
//MQ135
const int ANALOGPIN=15;
MQ135 gasSensor = MQ135(ANALOGPIN);
//DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS_1 2
OneWire oneWire_1(ONE_WIRE_BUS_1);
DallasTemperature sensors_1(&oneWire_1);
float temp_DS18B20_1;
//thermocouple
int thermoDO_1 = 4; // N°digital pin pour SO ou DO (MAX6675_1)
int thermoCS_1 = 5; // N°digital pin pour CS (MAX6675_1)
int thermoCLK_1 = 6; // N°digital pin pour SCK (MAX6675_1)
float temp_thermocouple_1 = 0;//initialisation
MAX6675 thermocouple_1(thermoCLK_1, thermoCS_1, thermoDO_1);
//SD card
File myFile;
const int chipSelect = 10; //pin N°.

//-----Setup-----
void setup() {
//SD.begin();
//bmp.begin();
dht1.begin();
dht2.begin();
dht3.begin();
dht4.begin();
//Monitor setup
Serial.begin(9600);
//LCD setup
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);lcd.print(" Data logger");
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(" Condit. d'Air");
lcd.setCursor(0,2);lcd.print("Benaoudia Naila ");
lcd.setCursor(0,3);lcd.print("Boussaleem Ahlem ");
delay(500);
}
//-----Loop-----
void loop() {
//NTC
uint8_t i;
float average;

// take N samples in a row, with a slight delay
for (i=0; i< NUMSAMPLES; i++) {
samples[i] = analogRead(NTC_PIN);
delay(1000);
}
}
    
```

1

2

3

4

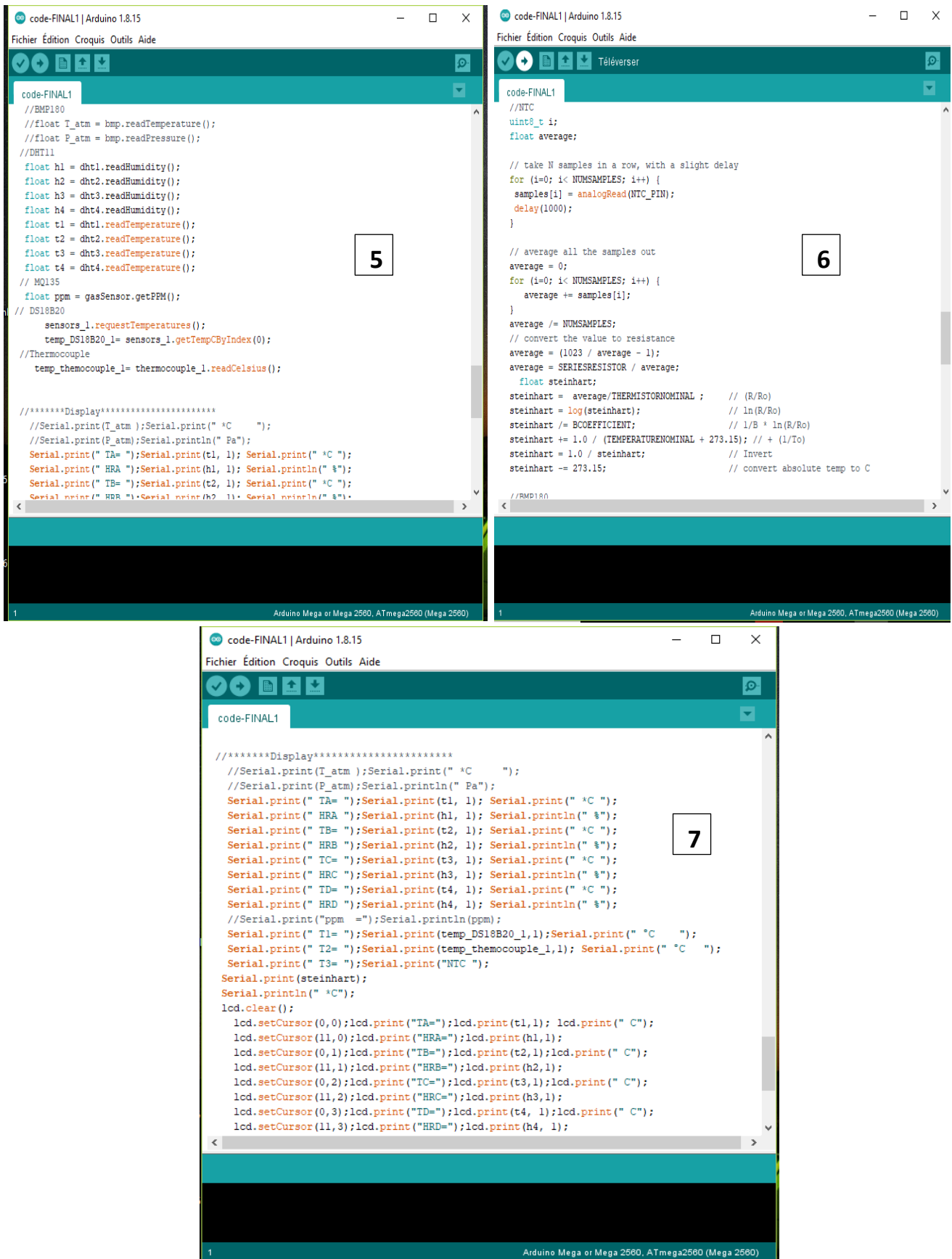


Figure 3.18 : programme final



## 8.programme final de l'acquisition de donnée :

```

code-FINAL1 | Arduino 1.8.15
Fichier Édition Croquis Outils Aide

//=====
//projet:Data logger conditionnement d'air
//Programme: Thermocouple+DS18B20+DHT11+MQ135+BMP180+NTC+SDCARD+Pot+3LED+LCD(20x4)
//=====
// NTC which analog pin to connect
#define NTC_PIN A7
// resistance at 25 degrees C
#define THERMISTORNOMINAL 10000
// temp. for nominal resistance (almost always 25 C)
#define TEMPERATURENOMINAL 22
// how many samples to take and average, more takes longer
// but is more 'smooth'
#define NUMSAMPLES 5
// The beta coefficient of the thermistor (usually 3000-4000)
#define BCOEFFICIENT 3960
// the value of the 'other' resistor
#define SERIESRESISTOR 10000

int samples[NUMSAMPLES];
//****Branchement capteur BMP180****
//GND du BMP180 - GND de l'Arduino
//SCL du BMP180- SCL de l'Arduino
//SDA de BMP180 - SDA de l'Arduino
//VCC de BMP180 - 3.3V de l'Arduino
//****Branchement des capteurs DHT11****
//GND des DHT11 - GND de l'Arduino

//Analog output du DHT11 N°1- Pin N° 41 de l'Arduino
//Analog output du DHT11 N°2- Pin N° 43 de l'Arduino
//Analog output du DHT11 N°3- Pin N° 45 de l'Arduino
//Analog output du DHT11 N°4- Pin N° 47 de l'Arduino

//*****debut Programme*****
//-----Initialisation et Appel des Bibliotheques-----

#include <max6675.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LCD_I2C.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <MQ135.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>
#include "DHT.h"
#define DHT1_PIN 41 // DHT module 1
#define DHT2_PIN 43 // DHT module 2
#define DHT3_PIN 45 // DHT module 3
#define DHT4_PIN 47 // DHT module 4
#define DHTTYPE DHT11 // type DHT 11
//Adafruit_BMP085 bmp;
DHT dht1(DHT1_PIN, DHTTYPE);
DHT dht2(DHT2_PIN, DHTTYPE);

DHT dht3(DHT3_PIN, DHTTYPE);
DHT dht4(DHT4_PIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
//MQ135
const int ANALOGPIN=15;
MQ135 gasSensor = MQ135(ANALOGPIN);
//DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS_1 2
OneWire oneWire_1(ONE_WIRE_BUS_1);
DallasTemperature sensors_1(&oneWire_1);
float temp_DS18B20_1;
//thermocouple
int thermoDO_1 = 4; // N°digital pin pour SO ou DO (MAX6675_1)
int thermoCS_1 = 5; // N°digital pin pour CS (MAX6675_1)
int thermoCLK_1 = 6; // N°digital pin pour SCK (MAX6675_1)
float temp_thermocouple_1 = 0;//initialisation
MAX6675 thermocouple_1(thermoCLK_1, thermoCS_1, thermoDO_1);
//SD card
File myFile;
const int chipSelect = 10; //pin N°.

//-----Setup-----
void setup() {
//SD.begin();
//bmp.begin();
dht1.begin();
dht2.begin();
dht3.begin();
dht4.begin();
//Monitor setup
Serial.begin(9600);
//LCD setup
lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);lcd.print(" Data logger");
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(" Condit. d'Air");
lcd.setCursor(0,2);lcd.print("Benaoudia Naila ");
lcd.setCursor(0,3);lcd.print("Boussaleem Ahlem ");
delay(500);
}
//-----Loop-----
void loop() {
//NTC
uint8_t i;
float average;

// take N samples in a row, with a slight delay
for (i=0; i< NUMSAMPLES; i++) {
samples[i] = analogRead(NTC_PIN);
delay(1000);
}
}
    
```

1

2

3

4

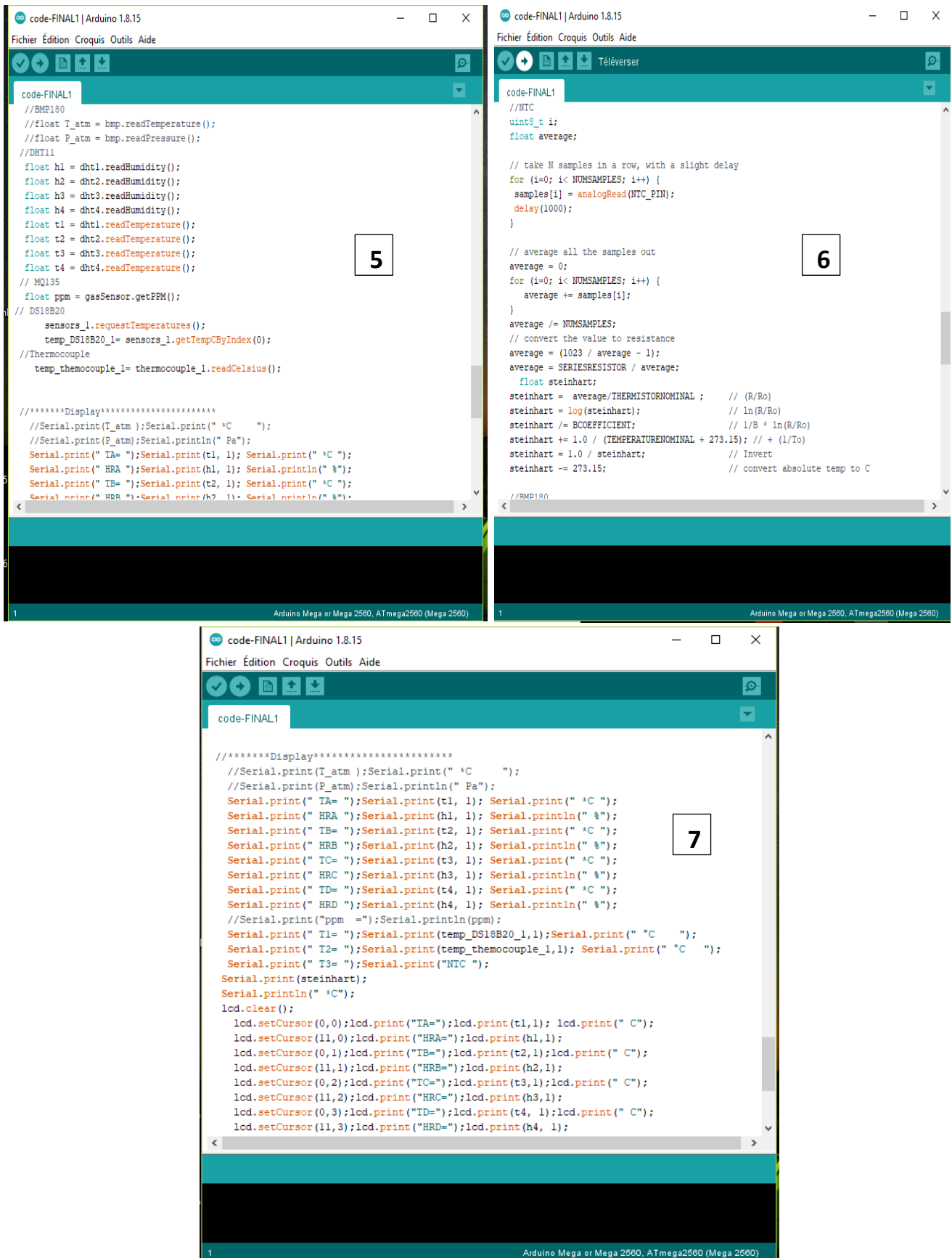


Figure 3.18 : programme final

## Conclusion

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons réalisé un système permettant d'afficher la température, l'humidité, la qualité d'air et la pression dans notre banc didactique.

Le système réalisé permet d'enregistrer ces différents paramètres dans une base de données.

Pour concrétiser notre projet :

- ✓ Nous avons fait une étude sur le banc didactique, la conception des capteurs puis la réalisation d'un datalogger
- ✓ Celui-ci est basé sur l'utilisation de la carte arduino Méga 2560
- ✓ Nous avons connectés à cette carte plusieurs capteurs comme le DHT11 pour la température et l'humidité ,et le MQ135 pour qualité d'air et le BMP180 pour la pression atmosphérique, le capteur de température DS18B20 , CTN , THERMOCOUPLE K
- ✓ Affichage de donnée sur LCD
- ✓ Enregistrement de donnée sur carte SD

Les testes que nous avons effectuées montrent le bon fonctionnement de notre réalisation, en effet nous avons pu afficher ces paramètres sur le moniteur série de arduino et LCD. Nous avons transféré ces grandeurs vers un pc grâce au module SD, (la carte mémoire ) .

Ce projet nous a permis premièrement d'approfondir nos connaissances, dans le domaine de l'instrumentation et l'acquisition et enregistrement des données.

Désaxement nous avons pu améliorer l'acquisition de donnée du banc didactique de conditionnement d'air A573 qui se trouve au niveau du laboratoire de transfert de chaleur de notre département.

Nous recommandons que ce travail soit poursuivi en utilisant le datalogger réalisé dans ce projet et les équations du chapitre 1 pour réaliser une interface graphique  
De notre banc, comme indiqué ci-dessous

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Unité de conditionnement d'air en laboratoire A573 may 1988.
- [2]. j.Gosse 'Guide technique de thermique',dunod,1981.
- [3]. Mémoire FERROUK Mohamed mémoire de fin d'étude pour d'ingénieur , EN GENIE MECANIQUE Université MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU 2011/2012.
- [4] : jacques ,B,michel,L.,et jean, 'traitement de l'air' parisienne 1996.
- [5] :<https://www.omega.fr/prodinfo/enregistreursdonnees.html?fbclid=IwAR2RZXUwWIGni9jtZ1-lq9WfgLd8GAX31bXcZ1KXhNg024jvY1-k0ox4bOY96IJJ9>
- [6] : instrumentation cira capteur et transmettent 2006/2007.
- [7] : les capteur en instrumentation industrielle Georges Asch et collaborateurs 1991 .
- [8] : Walid Benlahcene : Un éclairage redondant, mémoire de fin d'étude pour d'ingénieur d'état en instrumentation, Université Batna, (2007).
- [9] : <https://www.aranacorp.com/fr/lire-et-ecrire-sur-une-carte-sd-avec-arduino/>.
- [10] : mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en instrumentation Université Tlemcen 2016.
- [11] : mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en électronique instrumentation Mr,yekhlef faride blida 2019.
- [12] : Hippolyte Weisslinger (olyte), Landrault (Eskimon) Arduino : Premiers pas en informatique embarquée, le Blog d'Eskimon Edition du 19 juin 2014
- [13] : <https://www.eagle-robotics.com/accueil/85-capteur-de-pression-bmp280.html>
- [14] : <https://www.wikipédia.com>
- [15]: <https://www.aranacorp.com/fr/lire-et-ecrire-sur-une-carte-sd-avec-arduino/>.
- [16]: Boudjedir Imen : Un système embarque pour la détection des gaz dangereux a base d'une carte arduino, mémoire de fin d'étude pour master, Université Oum El Bouaghi ,2017.

[17] : mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en électronique instrumentation

Mr,yekhlef faride blida 2019.

[18] : [http://atela.univ-lorraine.fr/docs/documents/Les\\_diodes.pdf/](http://atela.univ-lorraine.fr/docs/documents/Les_diodes.pdf/)

[19] : mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en commande électrique, rechem Djamil , Université Oum El Bouaghi 2018.

[20] : <https://wiki.mdl29.net/.../fetch.php...Arduino-pour-bien-commencer-en-électronique.>

[21] : [https://arduino.technologiescollege.fr/IMG/pdf/cahier\\_0\\_initialisation.](https://arduino.technologiescollege.fr/IMG/pdf/cahier_0_initialisation.)

[22] : Logiciel Arduino 1.8.1, outil capteur. PC, 2017.