

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA  
-ADRAR-

جامعة



أحمد دراية-أدرار

Année/2021

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

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master en

**Physique**

**Option : Physique Energétique et Energies Renouvelables**

# Thème

**Etude et réalisation d'une station météorologique**

**Présenté par :**

*M<sup>elle</sup>*.Chaib Messaouda

et

*M<sup>elle</sup>*.Daoulhadj Assia

**Devant le jury composé de:**

<b>Dr.Dahbi Abdeldjalil</b>	Rapporteur	MRA	Unité de recherche en énergies renouvelables en milieu saharien (URERMS)- Adrar
<b>Dr.Boussaide Mohammed</b>	Co-encadreur	MCA	Université Ahmed Draia-Adrar
<b>Mr.</b>	Président	Grade	Université Ahmed Draia-Adrar
<b>Mr.</b>	Examineur	Grade	Université Ahmed Draia-Adrar

**Année Universitaire 2020/2021**



## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail:*

*À mes parents :*

*Grace à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

*À mes adorables frères et mes sœurs, chacun en son nom qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.*

*À la femme de mon frère B. Mabrouka pour sa gentillesse et son soutien, et la petite-fille de la famille Soudjoud. Que dieu les prolonge son vie.*

*À l'âme de mon grand-père AHMED qui nous a quitté, que j'aurais tant aimé voir présent aujourd'hui.*

*Que dieu le tout puissant lui accorde sa miséricorde et l'accueille dans son vaste paradis.*

*À toutes les bougies qui ont supporté de se bruler pour éclairer les autres, mes professeurs dans tous les niveaux académiques, en particulier celui qui m'a appris à faire mes premiers pas en physique, mon professeur BOUKHARI HADJ MEHAMMED et NASRI MEHAMMED,*

*À tous mes amis en particulier, Meriem, Razika, Halima & Mbarka que j'ai partagé avec eux des bons moments et des bons souvenirs.*

*À mon collègue Abdellah Abdellah qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche universitaire.*

*Au délégué de la promo de physique énergétique Abdelkader Ghitaoui. Cordialement, merci pour votre gentillesse.*

*À mon binôme Assia Daoulhadj.*

**Mess Aouda**

## *Dédicaces*

---

*Je dédie ce modeste travail:*

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leurs amours, leurs tendresses, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études,...que dieu les garde*

*À mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leurs soutiens moral.*

*À mes chers frères pour leurs appuis et leurs encouragements.*

*À la femme de mon frère N. Khadidja pour sa gentillesse et son soutien, que dieu prolonge sa vie.*

*Merci d'être toujours là pour moi*

*À mon collègue Zineb Ali\_kassou.*

*À tous mes amis de près ou de loin.*

*À mon binôme Messaouda Chaib.*

**Assia**

## **Remerciements**

*Nous tenons à remercier tout premièrement Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'études.*

« الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله »

*Aussi, nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur Dr .DAHBI ABDELDJALIL pour sa patience, le temps qu'il nous a consacré malgré ses occupations, son choix de ce thème qui est très important, notamment en ce qui concerne la quantité d'informations qui nous l'avons reçu. Grace à cette occasion de travailler sous sa direction, il nous a ouvert plusieurs horizons de recherches scientifiques et d'innovations à l'avenir.*

*Sans lui nous ne sommes convaincus que nous n'avions jamais pu terminer ce projet. Cordialement, nous remercions notre encadreur pour sa gentillesse, son partage de la connaissance, son soutien moral, son sourire, la confiance qu'il nous a accordé, et surtout ses judicieux conseils à nous pour devenir des cadres.*

*Je prie le Dieu de lui bénir et protéger. En espérant qu'il sera brillé toujours*

*Et nous remercions aussi Dr BOUSSAIDE MOHEMMED.*

*Nos remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté d'examiner notre travail et qui nous ont fait le grand honneur en acceptant de juger notre modeste travail, en espérant qu'il soit digne de leurs intérêts.*

*Nous tenons à remercier vivement mes enseignants pour leurs efforts durant toutes nos années d'étude à l'université. Enfin je remercie tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour accomplir ce travail.*

---

# Sommaire

## Contenu

Introduction générale .....	1
<i>CHAPITRE.I.....</i>	<i>2</i>
<i>Généralités sur les stations météorologiques .....</i>	<i>2</i>
I.1.    Introduction .....	2
I.2.    Définition des stations météorologiques.....	2
I.3.    Historique .....	3
I.3.1.  L'histoire de l'observation météorologique .....	3
I.3.2.  Stations météorologiques analogiques ou numériques .....	3
I.4.    Quelques paramètres météorologiques à mesurer .....	3
I.4.1.  Température .....	3
I.4.2.  Humidité .....	7
I.4.3.  Radiation solaire.....	8
I.4.4.  Pression atmosphérique .....	10
I.4.5.  Le vent .....	11
I.5.    Systèmes météorologiques existent.....	12
I.6.    Conclusion .....	15
<i>CHAPITRE.II.....</i>	<i>16</i>
<i>DESCRIPTION DE L'ARDUINO ET LES CAPTEURS.....</i>	<i>16</i>
II.1.   Introduction .....	16
II.2.   Définition des capteurs .....	16
II.3.   Les différentes classes des capteurs.....	17
II.4.   Quelques types des capteurs .....	18
II.5.   Les capteurs d'une station météo .....	19

---

---

II.5.1.	Capteur de température .....	19
II.5.2.	Le capteur de température et le capteur d'humidité (DHT11)      20	
II.5.3.	Capteur de pression(BMP180) .....	20
II.5.4.	Capteur de l'intensité lumineuse (radiation solaire) .....	21
II.5.5.	Capteur de détection de la pluie .....	22
II.5.6.	Capteur de niveau d'eau .....	22
II.5.7.	Capteur de vitesse du vent (anémomètre) .....	23
II.5.8.	Capteur de son .....	23
II.6.	Carte Arduino .....	24
II.6.1.	Définition .....	24
II.6.2.	Bref historique de l'Arduino .....	24
II.6.3.	Avantages de la carte Arduino .....	26
II.6.4.	Choix et description de la carte Arduino .....	26
II.6.5.	Description de la carte Arduino MEGA .....	27
II.6.6.	Présentation du logiciel .....	28
II.7.	Conclusion .....	31
<b>CHAPITRE.III</b> .....		<b>32</b>
<b>RÉALISATION D'UNE STATION DE MÉTÉOROLOGIE CONNECTÉE À DISTANCE</b> .....		<b>32</b>
III.1.	Introduction .....	32
III.2.	Utilisation de logiciel Fritzing pour les Schémas électriques .....	33
III.3.	Branchement et programmation des capteurs de la station de météorologie .....	34
III.4.	Résultats de la station météorologique réalisée .....	41
III.5.	Stockage des données sur carte SD .....	47
III.6.	Création de la communication à distance .....	50
III.7.	Réalisation complète de la station météorologique connectée à distance .....	56
III.8.	Conclusion .....	58

---

CONCLUSION GENERALE.....59  
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....61  
ANNEXE A- CALCUL DE LA VITESSE DU VENT .....63

---

---

## Liste des figures

---

Figure I.1. Station météorologique. ....	2
Figure I.2. Exemples de thermomètre à métal en 1841 (à gauche) et à alcool en 1589 (à droite).....	5
Figure I.3. Exemples des instruments actuels de mesure de la température.....	5
Figure I.4. Distribution de température mondiale le 9 janvier 2008. ....	6
Figure I.5 Température mensuelle à Adrar. ....	6
Figure I.6. Hygromètre de Saussure (à gauche) et de psychromètre du 20 <sup>ème</sup> siècle (à droite).....	8
Figure I.7. Longueur d'onde et décomposition du rayonnement solaire.....	8
Figure I.8. Rayonnement net mensuel en $W/m^2$ .....	10
Figure I.9. Baromètre à mercure (à droite), et autre à aiguille (à gauche). ....	11
Figure I.10. Anémomètre et la girouette dans une station météo.....	11
Figure I.11. Station météorologique classique. ....	13
Figure I.12. Station météorologique analogique.....	13
Figure I.13. Station météorologique professionnelle (toute équipée).....	14
Figure I.14. Station météorologique connectées par Bluetooth. ....	14
Figure I.15. Station météorologique connectées par WIFI.....	14
Figure II.1. Schéma d'un capteur.....	17
Figure II.2. Schéma bloc d'un capteur passif.....	17
Figure II.3. Schéma bloc d'un capteur actif.....	18
Figure II.4. Capteur de température.....	20
Figure II.5. Capteur de température et d'humidité (DHT11).....	20
Figure II.6. Capteur de pression(BMP180). ....	21
Figure II.7. Capteur de l'intensité lumineuse. ....	21
Figure II.8. Capteur de détection de la pluie.....	22
Figure II.9. Capteur de niveau de l'eau. ....	23
Figure II.10. Capteur de vitesse du vent.....	23
Figure II.11. Capteur de son.....	24
Figure II.12. Schéma électrique de l'Arduino UNO.....	25
Figure II.13. Quelques types des cartes Arduino.....	25
Figure II.14. Description de la carte Arduino MEGA 2560.....	28
Figure II.15. L'interface de programme Arduino.....	29
Figure II.16. Les boutons de l'interface Arduino IDE. ....	30
Figure III.1 Schéma bloc de la station de météorologie réalisée.....	32

---

---

Figure III.2 Interfaçage de logiciel de simulation Fritzing.....	33
Figure III.3 Schéma électrique.....	33
Figure III.4. Schéma de montage sur la plaque d'essai.....	34
Figure III.5. Schéma de branchement du capteur DHT 11.....	34
Figure III.6. Schéma de branchement réel du capteur DHT 11.....	35
Figure III.7. Schéma de branchement du capteur de détection de la pluie. ....	35
Figure III.8. Schéma de branchement réel du capteur de pluie. ....	35
Figure III.9. Schéma de branchement du capteur de niveau d'eau.....	36
Figure III.10. Schéma de branchement réel du capteur de niveau d'eau. ....	36
Figure III.11. Étapes de réalisation de pluviomètre. ....	37
Figure III.12. Pluviomètre fini.....	37
Figure III.13. Schéma de branchement du capteur de pression BMP 180.....	38
Figure III.14. Schéma de branchement réel du capteur de pression BMP 180.....	38
Figure III.15. Schéma de branchement du capteur d'irradiation solaire. ....	38
Figure III.16. Schéma de branchement réel du capteur d'irradiation solaire. ....	39
Figure III.17. Schéma de branchement du capteur de bruit. ....	39
Figure III.18. Schéma de branchement réel du capteur de bruit avec l'étalonnage.....	39
Figure III.19. Schéma de principe du capteur photoélectrique de vitesse (LM393).....	40
Figure III.20. Schéma de branchement du capteur photoélectrique de vitesse (LM393).....	40
Figure III.21. Anneau préféré fabriqué pour le capteur photoélectrique.....	41
Figure III.22. Anneau préféré et capteur photoélectrique montés sur le corps de l'anémomètre. ....	41
Figure III.23. Montage des mesures de température et d'humidité.....	42
Figure III.24. Résultats des mesures de la température et d'humidité.....	42
Figure III.25. Résultats des mesures d'irradiation solaire sur moniteur série.....	43
Figure III.26. Résultats des mesures d'irradiation solaire sur traceur série.....	43
Figure III.27. Résultats des mesures de pluviomètre réalisé sur le moniteur sérié.....	44
Figure III.28. Résultats des mesures de niveau d'eau sur traceur sérié.....	44
Figure III.29. Résultats des mesures du capteur de pression sur le moniteur sérié.....	45
Figure III.30. Résultats des mesures du capteur de bruit sur le traceur série.....	46
Figure III.31. Résultats des mesures du capteur de bruit sur le moniteur série.....	46
Figure III.32. Étalonnage à l'aide du Décibel mètre.....	47
Figure III.33. Résultat du capteur du bruit sur le traceur série.....	47
Figure III.34. Outils du système de stockage.....	48
Figure III.35. Schéma de branchement de système de stockage.....	48
Figure III.36. Schéma de branchement de DHT11.....	48
Figure III.37. Schéma de branchement réel du système de stockage.....	49

---

---

Figure III.38. Affichage des données (date, temps, température, humidité) sur le moniteur. ....	49
Figure III.39. Données dans le fichier(TXT) enregistrées sur la carte mémoire SD. ....	49
Figure III.40. Module Bluetooth HC-06. ....	50
Figure III.41. Schéma de branchement de module Bluetooth (HC-06). ....	51
Figure III.42. Conception de l'écran de l'application Android. ....	51
Figure III.43. Module Lora 868MHz. ....	52
Figure III.44. Branchement de module LoRa émetteur-récepteur. ....	53
Figure III.45. Résultats sur le moniteur série. ....	53
Figure III.46. Test de transmission des mesures à distance supérieur à 300 mètres. ....	54
Figure III.47. Résultats de test sur le moniteur série. ....	54
Figure III.48. Résultats de test, côté mesures et émetteur. ....	55
Figure III.49: Résultats de test, côté mesures et récepteur. ....	55
Figure III.50. Diagramme de l'algorithme de gestion des capteurs d'Arduino . ....	56
Figure III.51: Schéma global de la station météorologique réalisée. ....	57
Figure III.52. : Montage et réalisation réel de la station météorologique. ....	57

---

---

## *Liste des tableaux*

---

Tableau II.1.Types des capteurs .....	19
Tableau II.2. Caractéristiques de différentes cartes Arduino .....	26
Tableau II.3.Description de l'Arduino MEGA 2560 .....	28
Tableau II.4.Les boutonsde l'interface Arduino IDE .....	30
Tableau III.1. Résultats des mesures de la température et d'humidité. ....	42
Tableau III.2. Résultats des mesures d'irradiation solaire.....	43
Tableau III.3. Résultats des mesures du capteur de pression BMP180. ....	45
Tableau III.4. Comparaison des résultats obtenus (moniteur série, SD). ....	50
Tableau III.5. Résultats de comparaison entre les mesures et les données reçues. ....	53

---

---

## *Listes des Acronymes et Symboles*

---

### Liste des Abréviations

MPPT	Maximum Power Point tracking
ONM	L'Office National de la Météorologie
PC	(Personal Computer) : Ordinateur Personnel.
UV	Les rayons ultraviolets
IR	Les rayons Infrarouges
(N,S,E,O)	(Nord , Sud, Est, West)
CapteurTOR	capteurs Tout Ou Rien
A/N	Analogique /Numérique
DC	Continue
SPI	Serial Peripheral Interface, type de câblage
I2C	Inter-Integrated Circuit, type de câblage
V <sub>CC</sub>	Le pole positif de la tension continue
GND	(Ground) le pole négatif de la tension continue
SDA	SerialDATA (données en série)
SCL	Serial Clock (horloge série)
LCD	Liquid Cristal Diode (c'est un dispositif d'affichage)
AO	Analogue Output (Sortie analogique)
DO	Digital Output (Sortie numérique)
AVR	(Automatic Voltage Regulator) régulateur de tension, ce terme est utilisé par Atmel pour désigner le cœur du processeur et la famille de microcontrôleurs qui le mettent en œuvre
PIC	(Programmable Interface Controller), contrôleur programmable
TX	Transmitter (émetteur)
RX	Receiver (recepteur)
IDE	Integrated Development Environment, environnement de développement intégré

---

**Symboles :**

$^{\circ}K$	Température en Kelvin
$^{\circ}C$	Température en degré Celsius
$^{\circ}F$	Température en Fahrenheit
mmHg	Millimètre de mercure
inHg	Pouces de mercure
hPa, Pa	Hectopascal, Pascal
MHz	Mega Hertz
mm	Millimètre
( <i>m/s</i> )	Vitesse du vent en Mètre par second
( <i>Km/h</i> )	Vitesse du vent en Kilomètre par heure
mA	Milli Ampère
rpm	révolution per minute= tour par minute [tr/min]
$R_{ané}$	Rayon de l'anémomètre
$N$	Vitesse angulaire de rotation de l'anémomètre [tr/min]
$\omega$	Vitesse angulaire de l'anémomètre [rad/s]

---

---

# INTRODUCTION GENERALE

---

À notre époque, la nécessité d'obtenir des informations en temps réel sur les paramètres environnementaux devient très importante pour nombreuses applications industrielles et scientifiques, surtout dans le domaine aéronautique, écologique et navigation, en particule ici les énergies renouvelables ou on utilise ces mesures pour estimer les gisements ou effectuer les commandes telles que la commande de maximisation de la puissance MPPT. Cependant le manque des stations installées par l'office national de météorologie l'ONM dans tout le territoire Algérien, et le coût élevé d'installation présentent un défi contre la récolte des bonnes mesures. Dans ce contexte, nous avons proposé la réalisation d'une station de mesure autonome avec un coût moins cher. Dans ce mémoire nous allons réaliser une station météo qui peut fournir les données et les informations de manière simple et à distance à toutes les personnes qui veulent être informées sur la situation météorologique d'une manière régulière.

Le prototype de la station météorologique qui sera réalisé, comportera différents capteurs des grandeurs utilisables dans les applications des énergies renouvelables, à savoir, la température, l'humidité, la vitesse du vent (capteur réalisé), la pression, l'irradiation solaire, le bruit, détecteur de la pluie et la quantité de la pluie (capteur réalisé). Dans le but de transférer sans fil les données mesurées de ces capteurs vers le Micro-ordinateur (PC) et Smart phone et Tablet, nous avons programmé une carte d'acquisition à base d'Arduino ainsi qu'une application mobile sur l'Android.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres commençant par une introduction générale. Le premier chapitre donne quelques informations générales sur les stations météorologiques. Le second chapitre est consacré à la partie électronique, notamment les éléments principaux en charge de l'acquisition et de l'envoi des données seront présentés. Celle-ci tourne autour de l'utilisation d'un module du type Arduino. Le troisième chapitre est réservé à l'étude et la réalisation du prototype de la station météorologique. On présentera les caractéristiques essentielles et les branchements des capteurs utilisés. Ce système est équipé par des dispositifs qui permettent d'effectuer le stockage des données mesurées sur une carte mémoire pour qu'elles soient exploitées et traitées. Dans le but de consulter ces données à distance, nous allons réaliser deux types de la communication à distance via Bluetooth et module Lora. Ensuite, nous allons programmer une application de 'Smart phone' sur l'Android. Après, nous présenterons les tests, les essais et l'étalonnage de la station avec les résultats et discussions. Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion générale et perspective.

---

# CHAPITRE.I

## GENERALITES SUR LES STATIONS METEOROLOGIQUES

---

### I.1. Introduction

Aujourd'hui la météorologie joue un rôle très important pour de nombreuses activités humaines qui nécessite une parfaite connaissance sur les variations des phénomènes climatiques de l'environnement de la planète, mais elle était toujours difficile de prévoir le mauvais temps sans instruments de mesure.

Dans ce chapitre, nous allons donner des notions sur la météo et l'histoire des stations météorologiques.

### I.2. Définition des stations météorologiques

Une station météorologique c'est un ensemble des appareils de mesure, constitué de différents capteurs qui enregistrent et fournissent des informations concernant les mesures physiques liées aux variations du climat. Ces grandeurs physiques peuvent être la température, la vitesse du vent, la pluviométrie, etc.

Les stations météorologiques sont très intéressantes. Elles sont utilisées dans plusieurs domaines, tel que la sécurité routière, la navigation aérienne pour surveiller les conditions optimales des circulations et assurer la sécurité des passagers et le trafic continu des avions. Les données sont également utilisées dans des programmes de prévision de climat ainsi que l'estimation des gisements des énergies renouvelables.

Les stations de mesure météorologique se composent généralement d'une maquette sur lequel des capteurs sont installés. Ces derniers sont reliés au boîtier qui fait l'enregistrement sur une base de données et l'envoi des mesures, généralement via le réseau mobile. La photo ci-dessous montre un exemple de station de mesure [1].



Figure I.1. Station météorologique.

Les stations météorologiques sont liées par un câble ou sans fil. Les câblés sont utilisés pour fixer la console d'affichage à l'intérieur d'un boîtier des capteurs intégrés. Ceux-ci sont généralement moins chers que leurs homologues sans fil. Cependant, les utilisateurs sont obligés à percer un trou dans le mur pour passer le câble. Les stations météorologiques sans fil, le plus cher, elles utilisent des signaux radio ou GSM au lieu d'un câble pour permettre aux capteurs à communiquer avec la console intérieure. La distance de transmission du signal à la console dépend du type de porteur du signal et le milieu de transports [2].

### **I.3. Historique**

#### **I.3.1. L'histoire de l'observation météorologique**

Les outils météorologiques modernes n'ont pas commencé à se développer avant le 1400. Avant cela, l'observation météorologique était extrêmement rudimentaire, principalement basée sur l'apparence du ciel et la sensation de l'air. Une grande partie du développement de ces outils météorologiques n'était pas seulement nécessaire par l'agriculture, mais aussi en raison d'une augmentation des déplacements en mer. Parce que les tempêtes en mer peuvent être mortelles ainsi que les navires ont été propulsés par le vent. Donc, la capacité de prédire les conditions météorologiques était extrêmement importante. [3]

#### **I.3.2. Stations météorologiques analogiques ou numériques**

Au début des années 1800 et 1900, les stations météorologiques locales contiennent généralement quelques outils analogiques spécialisés. Les jauges d'humidité mesurent les changements d'humidité dans l'air, tandis que les jauges de pluie et les baromètres aident à déterminer les mesures précédentes et futures.

Aujourd'hui, il existe des stations météorologiques numériques qui peuvent mieux mesurer et signaler les informations météorologiques. Certaines stations météorologiques peuvent même se connecter à des applications Android de téléphones intelligents ou aux services en ligne afin que les gens puissent accéder à leurs informations météorologiques de n'importe quel moment et n'importe quelle place.

Les observateurs météorologiques modernes peuvent utiliser ces informations pour gérer leurs jardins, surveiller leurs fermes. Les stations météorologiques numériques deviennent plus précises et plus faciles à utiliser [4].

### **I.4. Quelques paramètres météorologiques à mesurer**

#### **I.4.1. Température**

##### **I.4.1.1. Définition et unités**

Le terme « *température* » est employé dans la vie courante. Elle est considérée comme une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. La température est un phénomène généré à l'échelle macroscopique par des mouvements des atomes et des molécules. Ainsi une température élevée signifie une grande « agitation » atomique, [5].

L'unité internationale de la température est le kelvin (*K*). En Europe, une autre unité très courante est Celsius (degrés Celsius). La plus basse température du système Celsius est (-273,15 °C) correspondant au (0 *K*).

Certains pays anglo-saxons et les Etats-Unis utilisent une autre unité: le degré Fahrenheit (°F).

Les formules de transformations entre les unités sont les suivantes :

$$^{\circ}\text{C} = 0,55x (^{\circ}\text{F} - 32) \quad (\text{I.1})$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15 \quad (\text{I.2})$$

#### **I.4.1.1. Mesure et historique**

La plupart des appareils mesurant la température fonctionnent sur un principe similaire. Un élément de référence possède des caractéristiques connues qui varient selon la température. Pour illustrer ce propos, prenons le cas du thermomètre à mercure. Lorsque la température est élevée, le mercure se dilate, alors qu'il se contracte lors de basses températures. Dans ce cas, la caractéristique qui permet de mesurer la température est la dilatation des corps (solides, liquides ou gazeux). Cependant, il peut également s'agir de toute autre propriété physique comme la variation électrique dans le cas de thermocouple et de thermistor ou l'identification de la couleur d'émission de la lumière pour les senseurs infrarouge. Ce principe général de mesure de la température est mis en application de façon très diverse selon les besoins (plages de températures à mesurer, nature des matériaux à étudier, etc.) [5].

Les premières mesures de la température à la surface du globe ont démarré en 1856. Lorsque la société météorologique britannique a commencé à rassembler des données partout dans le monde. Afin de connaître la température avant cette date, les scientifiques ont mis au point des méthodes de mesure « indirecte » à partir de données recueillies dans l'environnement naturel (événements historiques, cernes des arbres, coraux, glace, palynologie). Par exemple, les arbres produisent un anneau de croissance par année dont l'épaisseur dépend de la température et de l'aridité. Connaissant la largeur, la densité du bois, la composition isotopique en hydrogène et en oxygène des anneaux de croissance et les caractéristiques du site (glissements de terrain, chute de pierres,...), il est possible d'estimer les températures passées. De même, on peut utiliser les cernes des coraux formés de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Grâce à ces techniques indirectes, il est possible de reconstituer la température jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années.

Le thermomètre à air ou thermoscope de Santorre Santorio (1561-1636), représente le premier appareil mesurant la température. Cet appareil possède uniquement trois graduations : la température de l'air refroidi par la neige, la température de l'air réchauffé par la flamme d'une bougie et le point médian [5].

Dans cette partie, on donne en bref historique de l'instrument de mesure de la température, [1] :

**En 1641** : les premiers thermomètres à tube scellé contenant du liquide, des études sont effectuées sur le choix du liquide thermométrique le plus adapté. Ensuite, le mercure remplace progressivement l'eau et l'alcool.

**Début XVIIIème siècle** : Daniel Fahrenheit est l'auteur de la plus ancienne échelle de température encore employée de nos jours. Il fixe à  $0^{\circ}$  la température d'un mélange d'eau, de glace, de sel de mer et de sel d'ammoniac, à  $32^{\circ}$  celle d'un mélange d'eau et de glace et à  $96^{\circ}$  celle du corps d'une personne en bonne santé.

**1742** : L'astronome suédois Anders Celsius, qui a donné son nom à l'échelle centésimale publiait un article dans lequel il présente un thermomètre pour lequel  $100^{\circ}$  est le point d'ébullition de l'eau, et  $0^{\circ}$  est le point de congélation (inversée par rapport à celle de Celsius).

C'est le Lyonnais Jean Pierre Christien qui construit un thermomètre à mercure dont l'échelle centésimale correspond à l'échelle actuelle.

**Fin du XVIIIème siècle:** des thermomètres biméalliques utilisant la déformation des métaux par la chaleur, et des thermomètres enregistreurs à tube de Bourdon, aussi appelés thermographe sont inventés. Un thermographe est un instrument de mesure composé stylet qui enregistre mécaniquement les variations de température sur un diagramme.

**1848 :** A la suite de la découverte de l'équivalence entre la chaleur et le travail, l'anglais William Thomson (Lord Kelvin) introduit une échelle absolue de température. Par la suite, la théorie cinétique établit que la température absolue quantifie l'agitation moléculaire qui est continuelle au sein d'un gaz et que la valeur 0 correspond à un état dans lequel toutes les particules seraient immobiles.

Les figures ci-dessous représentent des instruments de mesure de la température [6] :



Figure I.2. Exemples de thermomètre à métal en 1841 (à gauche) et à alcool en 1589 (à droite).



a : Thermomètre



b : Thermistance



c : Thermocouple

Figure I.3. Exemples des instruments actuels de mesure de la température.

Notons sur les figures précédentes l'évolution des instruments de mesure de la température. Actuellement, des recherches arrivent à estimer la température à partir des images satellitaires et des algorithmes basés sur l'intelligence artificielle.

#### I.4.1.2. Evolution spatio-temporelle de la température

La course de la terre autour du soleil et son inclinaison engendre une influence grandement sur la température, et plus particulièrement sa variation au cours du temps et de l'espace. En conséquence, au fur et à mesure de la progression de la terre sur son orbite autour du soleil, l'orientation des rayons solaires varie au cours de l'année selon la latitude [1].

L'altitude influence également la température. Ainsi, la latitude, la période de l'année et l'altitude influencent la température. La figure ci-dessus donne un exemple de la répartition mondiale des températures pour une journée [1].

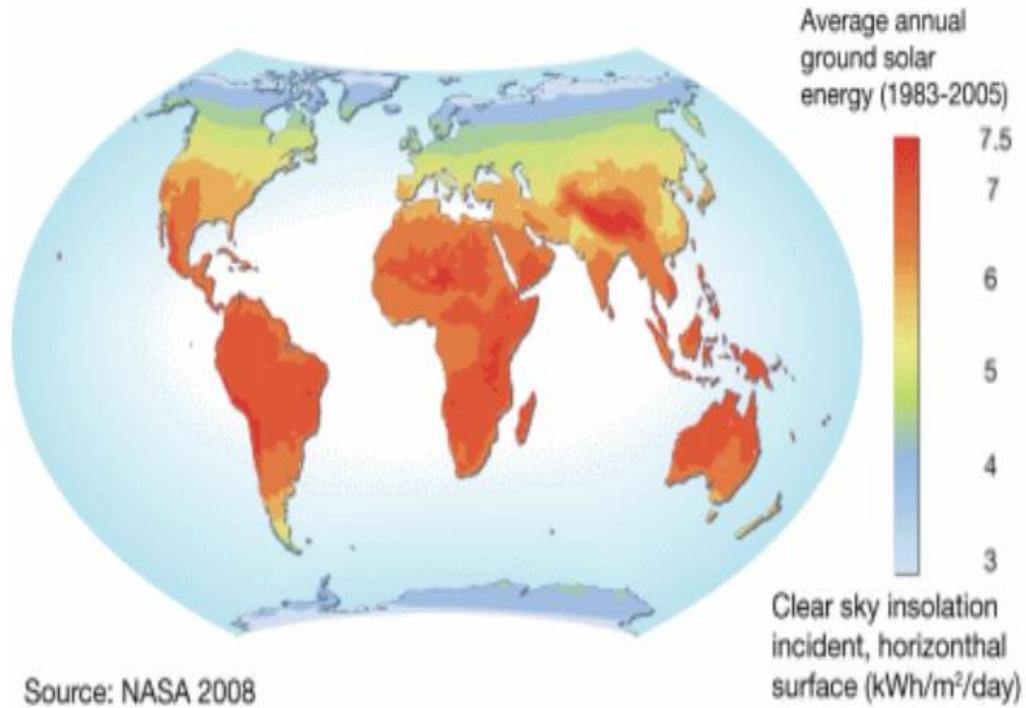


Figure I.4. Distribution de température mondiale le 9 janvier 2008.

Etant donné que les moyennes annuelles de la température pour un même lieu ne varient pas beaucoup. Il est plus intéressant d'observer les moyennes mensuelles ou saisonnières qui sont plus pertinentes pour comprendre et analyser les climats. En 2016 à Adrar, on remarque qu'une saison chaude qui s'étend d'avril à octobre et une saison froide en hiver (de novembre à mars).

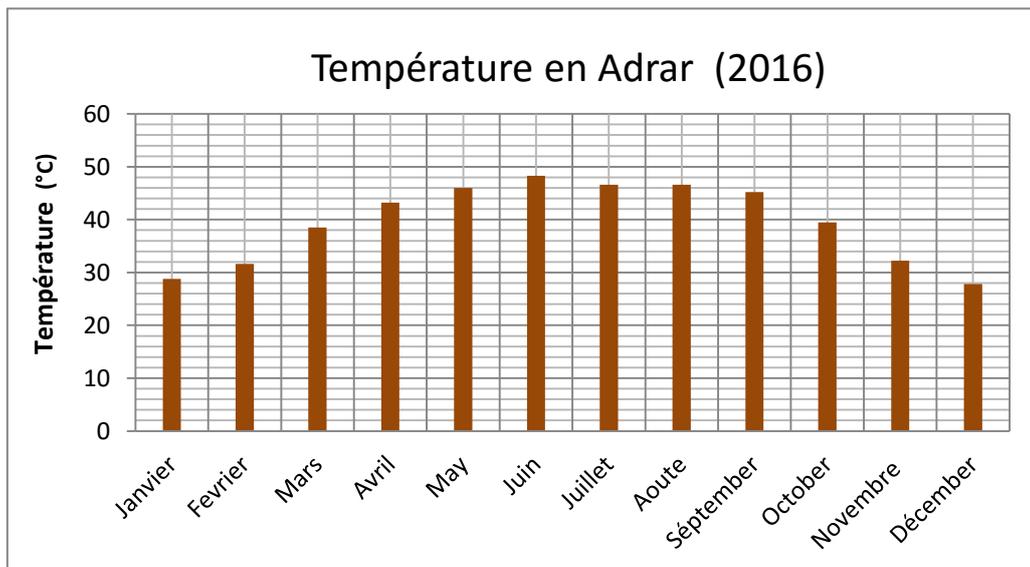


Figure I.5 Température mensuelle à Adrar.

(Source : INFOCLIMAT 'Station météorologique d'Adrar'. Indicatif : 60620)

## I.4.2. Humidité

### I.4.2.1. Définition et unités de mesure [7]

Le paramètre humidité désigne en météorologie la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. La vapeur d'eau est l'une des formes que l'eau – indispensable à la vie – peut prendre sur terre. Les autres sont la forme liquide (océans, lacs, pluie...) et la forme solide (glaciers, banquise, neige...).

En météorologie, on quantifie l'humidité de l'air de deux manières : l'humidité absolue et l'humidité relative.

- **L'humidité absolue**

On définit l'humidité absolue comme le rapport de la masse de vapeur d'eau, généralement en g sur le volume d'air humide en  $m^3$  à la pression et la température considérées. On peut aussi la définir comme le produit de l'humidité relative par l'humidité absolue de saturation [4], [1].

- **L'humidité relative**

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante à la même température et pression. Ce rapport changera si on change la température ou la pression, ce qui rend sa mesure complexe. L'humidité relative est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. L'humidité relative est souvent appelée degré hygrométrique. Elle suit une échelle allant de 0 à 100 %. Un air saturé en vapeur d'eau a une humidité relative de 100 % ; un air très sec, une humidité de 10 à 20 %. La pression de vapeur saturante et l'humidité relative dépendent de la température, plus la température de l'air est élevée, plus il peut contenir de vapeur d'eau. L'humidité relative s'exprime en pourcentage(%). [1]

### I.4.2.2. Mesure et historique

L'hygrométrie, c'est-à-dire la mesure de l'humidité de l'air, est un domaine où les progrès ont été très lents en raison des difficultés rencontrées pendant des siècles pour comprendre la nature exacte de la vapeur d'eau. La mesure de l'humidité relative peut se faire grâce à deux types d'instrument : l'hygromètre et le psychromètre.

L'hygromètre utilise la propriété d'un élément (cheveux, boyau, crin de cheval,...) de s'allonger ou se raccourcir lorsque l'humidité varie.

Psychromètre est de principe suivant. Deux tubes permettent de mesurer l'humidité relative ; un tube mesure la température de l'air ambiante ; l'autre mesure la température du thermomètre mouillé parce que la sonde est trempée dans de l'eau. Plus les 2 températures se rapprochent, plus l'humidité relative est élevée. Les incertitudes de cet instrument sont le plus souvent liées à l'instrument lui-même ainsi qu'à sa localisation [4].

Le psychromètre reste l'instrument de mesure de l'humidité utilisé dans l'abri météorologique pendant très longtemps, figure (I.6).

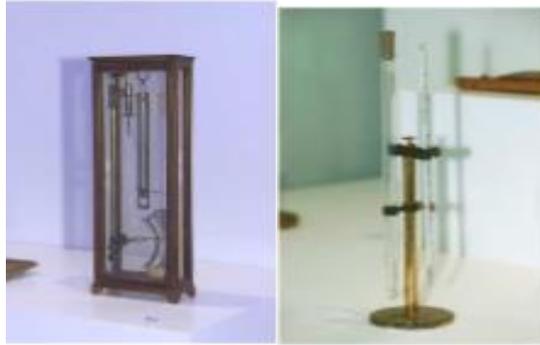


Figure I.6. Hygromètre de Saussure (à gauche) et de psychromètre du 20<sup>ème</sup> siècle (à droite)

Actuellement, suite à l'essor des sondes électroniques, il existe des hygromètres à sondes capacitatives dont les propriétés diélectriques varient en fonction de l'humidité de l'air [1].

### I.4.2.3. Evolution spatio-temporelle d'Humidité

Il est difficile de quantifier les variations d'humidité et son évolution et ses tendances. Car, l'humidité relative est étroitement liée à d'autres grandeurs physiques (la température et la pression). Cependant, la plupart des modèles numériques qui modélisent le climat donnent à penser qu'une augmentation de la température entrainerait une croissance de l'évaporation au-dessus des océans. Par conséquent il y aurait une augmentation de l'humidité dans l'air, [1].

### I.4.3. Radiation solaire

#### I.4.3.1. Introduction et contexte

Sur la terre, le soleil est l'origine de toutes sources d'énergie naturelle. La fusion nucléaire s'opérant dans le cœur du soleil libère une énergie colossale qui nous parvient quelques minutes plus tard sous forme d'ondes électromagnétiques (vitesse de la lumière dans le vide : 300 000 km/s).

Ces ondes que l'on appelle aussi rayonnement solaire émettent plusieurs types de rayons, on peut les regrouper en trois grandes familles en fonction de leur longueur d'onde que l'on exprime en nanomètre (nm) [1], [2]

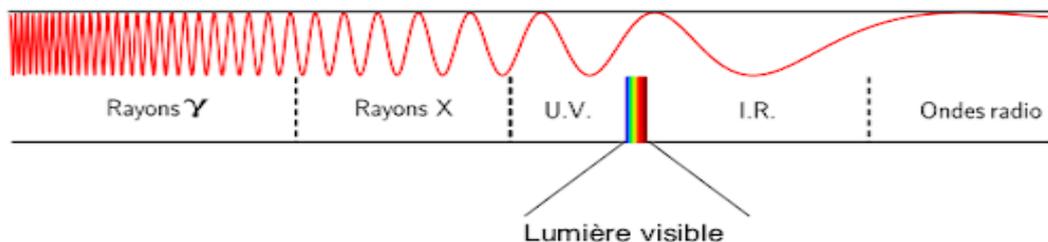


Figure I.7. Longueur d'onde et décomposition du rayonnement solaire.

1. **Les rayons à longueur d'ondes courtes**, invisibles pour notre œil, comprennent :
  - ✓ les rayons gamma de la radioactivité (0.001 à 0.01 nm),
  - ✓ les rayons X utilisés lors des radiographies (entre environ 0.1 à 10 nm)
  - ✓ les rayons ultraviolets<sup>6</sup>, (UV) responsables de notre bronzage (entre 10 et 400 nm).

Ils ne représentent qu'environ 6 % de l'énergie totale émise par le soleil. Les rayons gamma et X sont extrêmement dangereux, mais heureusement ils sont bloqués par l'atmosphère de la terre. Quant au rayon UV, ils sont partiellement filtrés par la couche d'ozone [1].

2. **La lumière visible** représente environ 46 % de l'énergie totale émise par le soleil et dont les longueurs d'onde s'étendent d'environ 380 nm à 780 nm.

3. **Les rayons de la longueur d'ondes longues** : également invisibles par l'œil humain. Ils comprennent les rayons IR (entre 1000 et 300 000 nm), les micro-ondes (entre 3 et 10cm) et les ondes radio (> 10 cm). Ils représentent environ 48 % de l'énergie totale émise par le soleil [4].

#### **I.4.3.2. Définition et unités**

Le rayonnement solaire est une onde, provenant du soleil, fournissant de l'énergie. Son unité est le Watts par mètre carré ( $W/m^2$ )

L'énergie solaire est d'origine des rayonnements solaires, cette énergie peut se convertir selon autre formes :

- ✓ d'une part le solaire photovoltaïque, qui transforme directement le rayonnement du soleil en électricité grâce à des panneaux formés de cellules de semi-conducteurs.
- ✓ d'autre part le solaire thermique qui capte la chaleur du soleil. La chaleur collectée est utilisée comme telle ou bien transformée en énergie mécanique, puis en électricité. Dans ce dernier cas, on parle de solaire thermodynamique.

Lorsque l'altitude augmente, la couche d'atmosphère à traverser est plus réduite : dans les sites de montagnes, l'intensité du rayonnement augmente car les rayons solaires sont moins filtrés. Ainsi, altitude et latitude influencent la quantité d'énergie.

#### **I.4.3.3. Mesure et historique**

Il existe différents appareils de mesure en fonction de la longueur d'ondes observées et du lieu d'observation (Terre ou espace). En 1853, Campbell invente l'héliographe. Puis, en 1879 Stokes le modifie.

L'héliographe est une sphère de verre constituant une lentille convergente qui concentre les rayons du soleil sur une bande de mesure (bande de carton, cellules photovoltaïque) permettant d'estimer la durée d'insolation.

Le pyranomètre mesure le rayonnement solaire global provenant du soleil. Alors que le pyréliomètre, ou actinomètre, mesure le rayonnement solaire direct provenant seulement du disque solaire [1].

#### **I.4.3.4. Evolution spatiale et temporelle de radiation solaire**

L'inclinaison de la terre est responsable des variations saisonnières. L'énergie solaire reçue par mètre carré est plus faible aux pôles qu'à l'équateur. Cette inclinaison est constante tout au long de la course autour du soleil. Aux équinoxes de printemps et d'automne (21 mars, 21 septembre), à midi, le rayonnement est perpendiculaire à l'équateur (latitude  $0^\circ$ ).

- ✓ **Au solstice d'été** (21 juin), les rayons solaires sont perpendiculaires au tropique du Cancer (latitude  $23^\circ 27'$  N). Ainsi pendant nos mois d'été, l'hémisphère nord est tourné vers le soleil. Les jours sont alors plus longs que les nuits. De plus, le soleil ne se couche jamais dans les régions du globe situées à l'intérieur du cercle arctique.

- ✓ *Au solstice d'hiver* (22 décembre), c'est le tropique du Capricorne (latitude 23°27' S) qui bénéficie d'un rayonnement perpendiculaire.

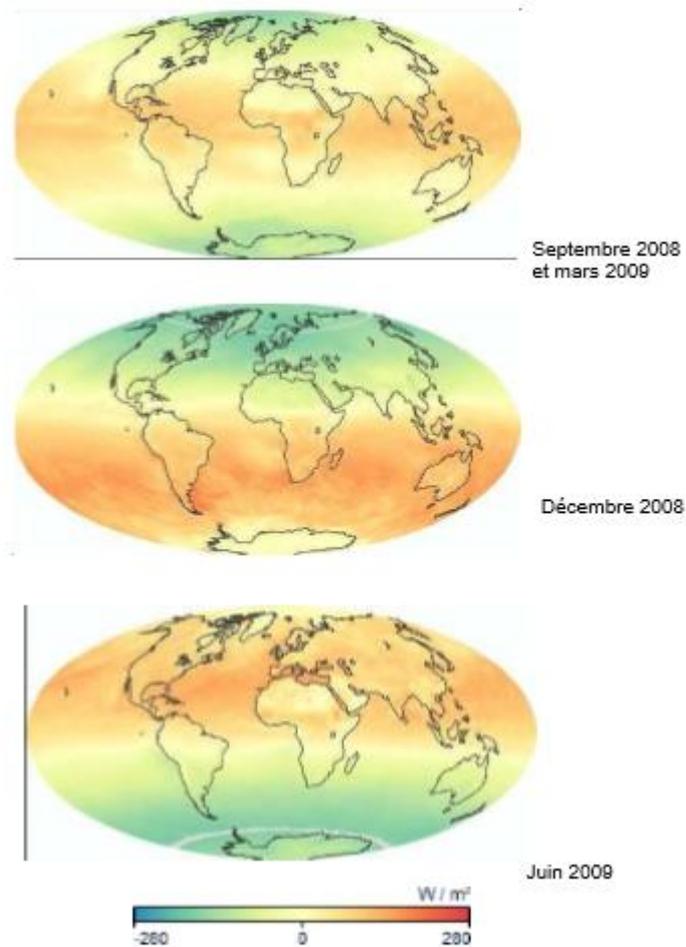


Figure I.8. Rayonnement net mensuel en  $W/m^2$  [1]

Dans applications d'énergie renouvelables, les mesures de rayonnements sont très importantes pour l'estimation de gisement solaire dans une région, ainsi que dans la caractérisation du capteur solaire (tel que les panneaux photovoltaïques) et le calcul du rendement [1].

#### I.4.4. Pression atmosphérique

##### I.4.4.1. Définition et unité

La pression est une notion physique fondamentale. La pression atmosphérique est la pression de l'air en un point quelconque d'une atmosphère. La pression atmosphérique se mesure à l'aide généralement d'un baromètre. Depuis longtemps Elle a été mesurée en millimètre de mercure (mm Hg) en raison de l'utilisation courante de baromètre à colonne de mercure. Après l'adoption du pascal comme unité de pression, les météorologues utilisent un multiple de cette unité, l'hectopascal (1 hPa = 100 Pa). En moyenne, au niveau de la mer, la pression atmosphérique avoisine 1.013,25 hectopascals (hPa) [2].



Figure I.9. Baromètre à mercure (à droite), et autre à éguille (à gauche).

**I.4.5. Le vent**

**I.4.5.1. Définitions et unités**

Le vent désigne le mouvement de l'air. Il naît lorsqu'il existe une différence de pression entre deux points. L'air circule de l'endroit où la pression est la plus élevée vers l'endroit où elle est la moins élevée. Dans le langage des météorologues, on dit que l'air se déplace de la haute pression (anticyclones) vers la basse pression (dépressions).

La direction et la vitesse du vent sont des grandeurs mesurables dont la connaissance est nécessaire à l'étude de la dynamique des masses d'air et le gisement éolien. La direction indique d'où souffle le vent. Ses unités sont soit les points cardinaux (N, S, E, O) ou les degrés centigrades. La vitesse s'exprime soit en mètre par seconde (m/s), soit en kilomètre par heure (km/h) soit en nœud.

1 nœud correspond à une distance de 1 mille nautique parcouru en 1 heure, soit 1,852 km/h, 1 m/s équivaut à 3,6 km/h et environ 2 nœuds.



Figure I.10. Anémomètre et la girouette dans une station météo.

### **I.4.5.2. Formation du vent**

Le vent et la pression sont fortement liés. L'origine des vents est liée à la différence de distribution de la pression atmosphérique. Ces variations sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire reçue à la surface de la terre, et aux différences dans les propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans.

### **I.4.5.3. Bref historique sur l'instrument de mesure du vent**

Actuellement, l'instrument qui permet de mesurer la vitesse du vent c'est l'anémomètre. Cet instrument se compose de 3 petites coupelles hémisphériques, disposées à l'extrémité de bras métalliques espacés de 120°. Un compteur relié à l'axe de rotation permet de lire la vitesse et de l'enregistrer.

Mais, le développement de l'instrument de mesure du vent a traversé de nombreuses étapes :

**I<sup>er</sup> ou II<sup>ème</sup> siècle** : La tour des vents, construite à Athènes, est un monument octogonal encore visible près de l'Acropole. Chacun des murs est surmonté par une frise où un personnage mythologique porte le nom du vent qui souffle depuis la direction à laquelle il fait face.

**Moyen Âge** : Des girouettes découpées dans du métal, généralement en forme d'animal, surmontent souvent le clocher des églises. Il s'agit souvent d'éléments décoratifs car à cause des frottements, mais le vent doit être assez fort pour les faire tourner.

**1450** : Le premier anémomètre est décrit par Léon Batista Alberti. Il s'agit d'un anémomètre à pression : la force du vent est estimée d'après l'angle que fait une plaque mobile autour d'un axe horizontal avec la position verticale qu'elle occupe au repos.

**1673** : Le premier anémomètre à rotation (la vitesse du vent est déduite de la vitesse de rotation d'un moulinet ou d'une hélice) est décrit dans un livre qui semble être l'œuvre de René Grillet.

**1797** : Georg Friedrich Parrot invente une girouette munie d'un contrepoids et de deux plaques écartés d'un angle de 20 degrés. Cela permet d'améliorer la stabilité et la sensibilité pour en faire un instrument scientifique. **1806** : L'amiral anglais sir Francis Beaufort introduit une échelle numérique de la force du vent, de 0 à 12, en utilisant comme référence la voilure d'une frégate à trois mâts.

**1835** : C'est dans un article « Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps » que Gaspard-Gustave Coriolis décrit mathématiquement la force qui porte son nom.

**1846** : L'astronome irlandais Thomas Romney Robinson invente un anémomètre muni d'un moulinet à quatre coupelles hémisphériques, monté sur un axe vertical, [1].

## **I.5. Systèmes météorologiques existents**

On distingue deux types de stations météo : les stations météo classiques et les stations météo professionnelles.

### I.5.1. Classique

#### 1. Stations météorologiques locales de base

Elles sont des appareils qui enregistrent et fournissent des informations concernant les mesures physiques liées aux variations climatiques, elles servent à connaître les conditions météorologiques au niveau d'un seul lieu. Elles sont équipées d'un baromètre mécanique. L'essentiel de ces stations est de donner la température et quelques grandeurs, cependant, il existe des variantes permettant d'optimiser au mieux leur utilisation.

#### 2. Les stations météo régionales

Celles permettent d'avoir une prévision précise pour trois ou quatre jours, selon le cas, dans la location sélectionnée. Ces stations météo reçoivent les prévisions locales officielles. Certaines d'entre elles donnent même des messages en cas d'alerte. Ce type de station est adapté à ceux qui planifient des vacances ou un voyage d'affaire dans la région sélectionnée [4].



Figure I.11. Station météorologique classique.

#### 3. La station météorologique analogique

La station météorologique analogique domotique pour un usage à l'intérieur (baromètre, thermomètre, hygromètre), est en hêtre naturel avec des pointes en aluminium. La station météorologique analogique domotique est se compose de trois indicateurs circulaires analogiques mais avec une conception moderne. Ce type des stations fournissent des mesures météorologique faciles à lire, précises et en temps opportun. Elles sont désignées pour maison, bureau, jardin ou bateau, figure (I.12), [8].



Figure I.12. Station météorologique analogique.

4. Les stations météorologiques professionnelles

Les stations météorologiques professionnelles en général donnent plus d’informations que les stations classiques avec une grande précision, telles que la température, vitesse/direction du vent, précipitations, humidité, pression barométrique...etc.



Figure I.13. Station météorologique professionnelle (toute équipée).

I.5.2. Les stations météorologiques connectées (météorologiques aux téléphones intelligents)

Les stations météorologiques connectées, comme leur nom l’évoque, se démarquent des stations traditionnelles par la liaison de leurs capteurs à d’autres avec une plate-forme (consoles, Smartphones, logiciel, Internet) qui servent généralement à l’affichage et au partage des données. Cette connexion peut s’établir sur un réseau Ethernet ou Internet ou via GSM ou les fréquences radio traditionnelles. La lecture des données ne se fait donc plus sur les capteurs, mais s’effectue à distance. D’ailleurs, plusieurs modèles de ces stations météo connectées ne possèdent même pas un écran[9].



Figure I.14. Station météorologique connectées par Bluetooth.



Figure I.15. Station météorologique connectées par WIFI.

## **I.6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les stations météorologiques, en commençant par une définition des différentes stations météorologiques, ainsi que les grandeurs principales avec les outils de mesure utilisés. Un bref historique a été associé dans le but de savoir l'évolution de ces stations. Enfin, nous avons donné les différents types des stations météorologiques jusqu'à l'arrivée aux stations intelligentes sans fil qui font l'objet de notre travail.

---

## CHAPITRE.II

### DESCRIPTION DE L'ARDUINO ET LES CAPTEURS

---

#### II.1. Introduction

Durant ces dernières années la technologie de fabrication des cartes de commande à base de microcontrôleurs a connu une évolution remarquable. Cette révolution prodigieuse de la microélectronique a conduit à la fabrication des systèmes de commande de plus en plus complexes, offrant des meilleurs avantages tels que: la simplicité de la programmation, la vitesse d'exécution, les ports d'entrée/sortie... etc. Les progrès réalisés dans les domaines de la microélectronique permettent aussi de produire des composants de quelques millimètres cubes de volume, appelés des capteurs. Pour atteindre une fonctionnalité complète, les capteurs doivent passer par une unité de réception, traitement et transmission des données.

Dans ce qui suit de ce chapitre, à la présentation de la partie matérielle composée des différents capteurs utilisés pour la collecte d'informations, de microcontrôleur du type Arduino qui serve la fonction d'unité de traitement.

#### II.2. Définition des capteurs

Un capteur est un instrument qui transforme une mesure physique observée en une mesure généralement électrique ; cette dernière sera traduite à une donnée binaire, exploitable et compréhensible par un système d'information. Parmi les différents types de mesures enregistrées par les capteurs, on peut citer par exemple : la température, l'humidité, la luminosité, l'accélération, le son... etc. La notion d'un capteur s'est évoluée avec le temps puisque leur domaine d'application s'est élargi. Les premiers capteurs n'étaient dédiés qu'à un unique type de mesure. Les capteurs contemporains sont une la combinaison de plusieurs dispositifs capables de mesurer différentes mesures physiques [9].

Selon le type de sortie, il existe trois familles des capteurs :

- **Capteurs TOR** : permettent de détecter un événement ou un objet, le signal électrique en sortie est du type logique (2niveaux logiques 0 ou 1) appelés aussi capteurs tout ou rien [14].
- **Capteurs Numériques** : leur signal de sortie peut être du type numérique de valeurs discrètes représentées par un code binaire ou du train d'impulsion [2].
- **Capteurs Analogiques** : la sortie est une grandeur électrique dont la valeur est en fonction de la grandeur physique mesurée par le capteur. Elle peut prendre une infinité de valeurs continues.

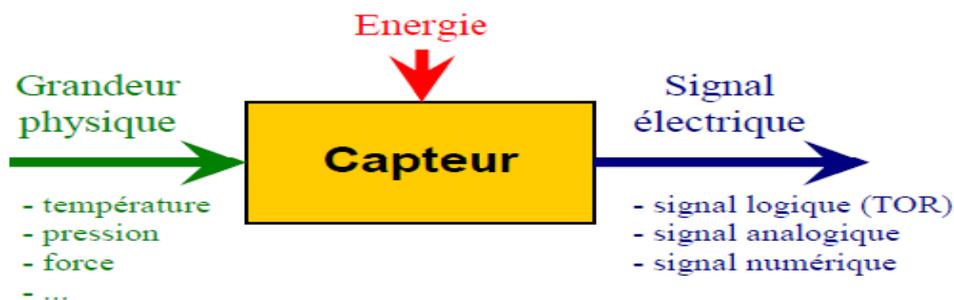


Figure II.1. Schéma d'un capteur.

## II.3. Les différentes classes des capteurs

### II.3.1. Capteur passif

Il s'agit d'une impédance sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte:

- Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre du capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile
- Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (Armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable). L'impédance d'un capteur passifs et ses variations ne sont plus mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit de conditionnement électronique qui permet de fournir son alimentation et l'adaptation du signal à la sortir [19].

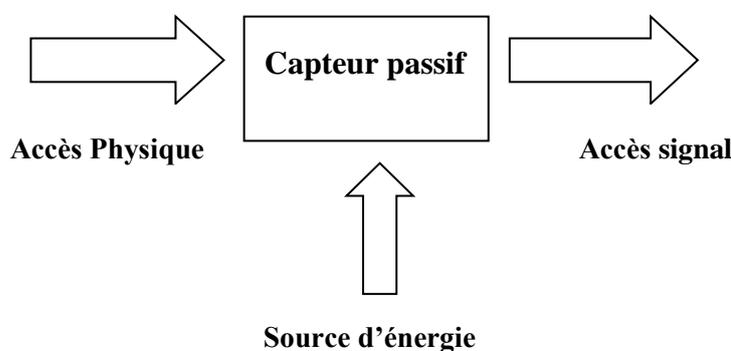


Figure II.2. Schéma bloc d'un capteur passif.

### II.3.2. Capteur actif

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

Donc, un capteur actif produit lui-même un signal électrique de sortie par conversion de l'énergie fournie par la grandeur d'entrée ou de ces variations.

On va schématiser sur la Figure (II.3) ce type du capteur par un bloc possédant un accès "physique" et un accès "signal"[19].

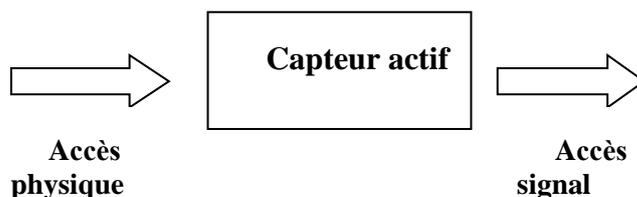


Figure II.3. Schéma bloc d'un capteur actif.

Les effets physiques les plus rencontrés en instrumentation sont :

- Effet thermoélectrique;
- Effet piézo-électrique;
- Effet d'induction électromagnétique ;
- 
- Effet photo-électrique;
- Effet de hall;
- Effet photovoltaïque [9].

#### II.4. Quelques types des capteurs

Le tableau ci-dessous représente quelques différents types des capteurs [14] :

LES CAPTEURS LES PLUS FREQUENTS		
Inductif	Produisent dans l'axe du capteur un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par un système constitué d'une self et d'une capacité montée en parallèle. Lorsqu'un objet métallique pénètre ce champ, il engendre une perturbation de ce champ, avec une atténuation du champ oscillant.	
Capacitif	Capteurs de proximité qui permettent de détecter des objets métalliques. Lorsqu'un objet entre dans le champ de détection des électrodes sensibles du capteur, la fréquence des oscillations est modifiée en même temps que la capacité de couplage du condensateur	

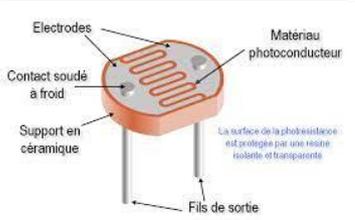
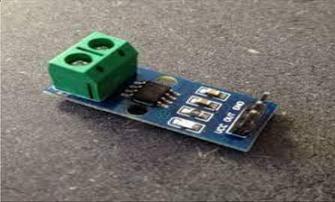
<p>Capteur photoélectrique ou optique</p>	<p>Ce sont des capteurs à contact. Ils peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple, d'une bille. L'information donnée par ce type de capteur est de type tout ou rien. Elle peut être électrique ou pneumatique.</p>	
<p>Capteur de lumière</p>	<p>photodiode ou phototransistor, capteur photographique contenant une cellule photoélectrique.</p>	
<p>Capteur de courant</p>	<p>Capteur du courant à effet Hall, permet de mesurer le courant d'une charge ou il est branché.</p>	

Tableau II.1.Types des capteurs [14].

## II.5. Les capteurs d'une station météorologique

Le monde qui nous entoure est composé d'innombrables du capteur. Ils peuvent revêtir des formes très variées et conçues pour des usages divers. Il est donc nécessaire de doter notre maquette de plusieurs capteurs [10].

### II.5.1. Capteur de température

Le capteur de température à trois bornes nécessite une alimentation maximale de 5,5 V. Ce type du capteur est constitué d'un matériau qui fonctionne en fonction de la température pour faire varier la résistance. Ce changement de résistance est détecté par le circuit et permet de calculer la température. Lorsque la tension augmente, la température augmente également [10].

Ce capteur de température est directement connecté à l'entrée du microprocesseur. Donc il est capable d'assurer une communication directe et fiable avec les microprocesseurs. L'unité du capteur peut communiquer efficacement avec des processeurs à faible coût sans avoir besoin de convertisseurs A / N.

La figure suivante représente un exemple d'un capteur de température (LM35).

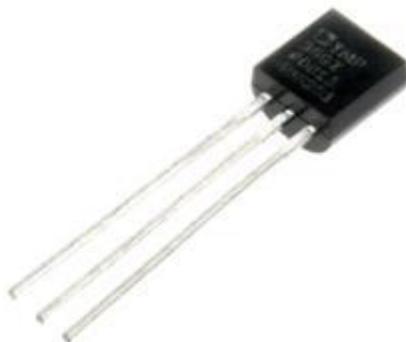


Figure II.4. Capteur de température.

La série LM35 est des capteurs de température à circuit intégré de précision, dont la tension de sortie est linéairement proportionnelle à la température Celsius. Le LM35 fonctionne entre  $-55^{\circ}$  et  $+120^{\circ}\text{C}$  [10].

### II.5.2. Le capteur de température et le capteur d'humidité (DHT11)

DHT11 est un capteur numérique de température et d'humidité. Ce capteur contient une sortie de signal numérique calibré. Le capteur comprend un sens résistif de composants humides et un dispositif de mesure de température. Il est connecté avec un microcontrôleur à 8 bits haute avec des bonnes performances.

Le capteur DHT11 capable de mesurer des températures de  $0$  à  $+50^{\circ}\text{C}$  avec une précision de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  et des taux d'humidité relative de  $20$  à  $80\%$  avec une précision de  $\pm 5\%$ . Une mesure peut être réalisée toutes les secondes [11].

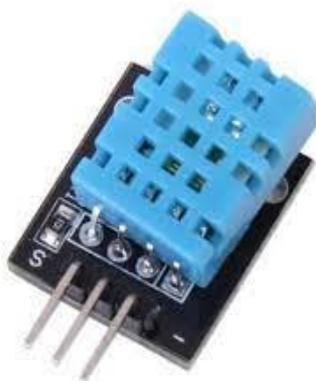


Figure II.5. Capteur de température et d'humidité (DHT11).

### II.5.3. Capteur de pression (BMP180)

Le BMP180 est un circuit intégré mis au point par Bosch Sensoriel. Il est de base conçu spécialement pour mesurer la pression atmosphérique. Mais typiquement, il est utilisé pour des observations météorologiques et pour la détermination de l'altitude à partir de la pression. Le circuit intégré est très petit et il ne nécessite pas des composants supplémentaires pour mesurer la pression barométrique, l'altitude et la température.

### II.5.3.1 Principales caractéristiques du capteur de pression(BMP180)

Les caractéristiques de ce capteur sont [12] :

- Tension d'alimentation: 3.3V DC
- Interface: I2C (jusqu'à 3,4 MHz), SPI (jusqu'à 10 MHz)
- Température: -40 à + 85 ° C
- Humidité: 0-100%
- Pression: 300-1100 hpa

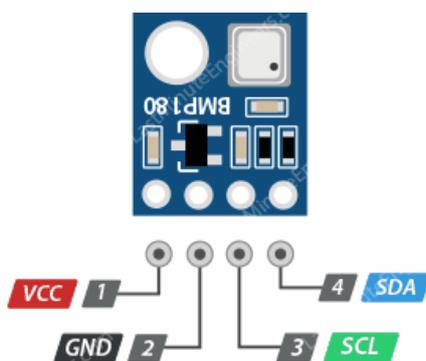


Figure II.6. Capteur de pression(BMP180).

Alors, ce capteur est très bénéfique, ou on peut mesurer plusieurs grandeurs avec un seul petit capteur.

### II.5.4. Capteur de l'intensité lumineuse (radiation solaire)

Le de l'intensité lumineuse BH1750FVI (GY-30) est un circuit intégré numérique du capteur d'intensité de lumière ambiante pour l'interface du bus I2 C. Comme une autre application, ce type de circuit intégré peut ajuster la lumière de fond de l'écran LCD et du clavier en fonction des données d'intensité de la lumière collectée. Il est capable de détecter une large gamme de changements d'intensité lumineuse avec une haute résolution.

#### II.5.4.1 Principales caractéristiques d'intensité lumineuse

- Alimentation: 3 - 5V
- Fonction de rejet de bruit léger : 50Hz / 60Hz
- Connexion I2C.



Figure II.7. Capteur de l'intensité lumineuse.

Dans notre travail, nous allons l'utiliser pour mesurer l'irradiation solaire.

### II.5.5. Capteur de détection de la pluie

Ce capteur est idéal pour détecter la présence et l'absence de la pluie, surtout dans les projets de domotiques dans l'agriculture. Le capteur est accompagné d'un module d'interfaçage équipé d'un potentiomètre pour le réglage de la sensibilité, et des bornes pour le choix entre la sortie numérique et sortie analogique.

Le capteur de pluie détecte les gouttes d'eau lorsque celles-ci court-circuitent les pistes des circuits imprimés. Le capteur agit comme une résistance variable qui va changer d'état : 100k ohms lorsqu'il est mouillé et 2M ohms lorsqu'il est sec. Il dispose de 2 sorties : Une sortie numérique (1 ou 0), ainsi que d'une sortie analogique (0 à 1023), [12].

#### II.5.5.1 Principales caractéristiques du capteur détecteur de pluie [12]

- Dimension du capteur : 39 mm x 54 mm
- Tension : 3,3V-5V
- Leds de contrôle

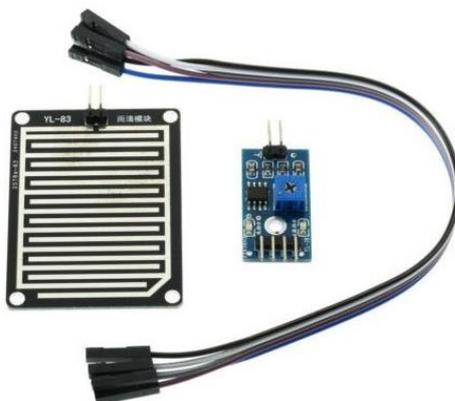


Figure II.8. Capteur de détection de la pluie.

Malgré que ce capteur peut détecter la présence de la pluie, mais il ne put pas mesurer la quantité de précipitation, alors nous avons fabriqué un pluviomètre à base du capteur de niveau de l'eau.

### II.5.6. Capteur de niveau d'eau

Le module capteur de niveau d'eau délivre une tension analogique en fonction du niveau d'eau grâce à ses pistes imprimées. Il contient une série des lignes parallèles qui permettent de mesurer et déterminer niveau d'eau. La sortie de valeur analogique peut être lu directement par Arduino, [13].

#### II.5.6.1 Principales caractéristiques du capteur de niveau d'eau

- Alimentation: 5 Vcc
- Sorties: Signal, Vcc, GND
- Dimensions: 60 x 21 x 7 mm

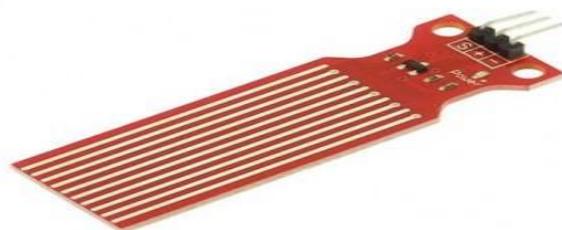


Figure II.9. Capteur de niveau de l'eau.

### II.5.7. Capteur de vitesse du vent (anémomètre)

L'anémomètre est un appareil qui permet de mesurer la vitesse du vent. C'est une grandeur essentielle dans les stations météo. Cet anémomètre a été conçu pour un usage extérieur. Dans le prochain chapitre, nous avons fabriqué un anémomètre pour mesurer la vitesse du vent au moyen d'une carte Arduino et d'un capteur approprié [14].



Figure II.10. Capteur de vitesse du vent.

### II.5.8. Capteur de son

Ce capteur est constitué d'un micro avec un amplificateur pour délivrer un signal analogique et un signal digital en fonction de l'intensité sonore reçue. Le seuil de déclenchement du signal digital est réglable via un potentiomètre ajustable. Nous allons utiliser ce capteur pour détecter et mesurer les sons et le bruit ambiants depuis en utilisant l'Arduino.

#### II.5.8.1 Principales caractéristiques du capteur de son

- Alimentation: 3,3 ou 5 V
- Micro à électret
- Sorties: AO, Gnd, + et DO
- Plage de mesure: 50 Hz à 20 kHz
- T° de service: -40 à 85 °C
- Dimensions: 36 x 15 x 13 mm

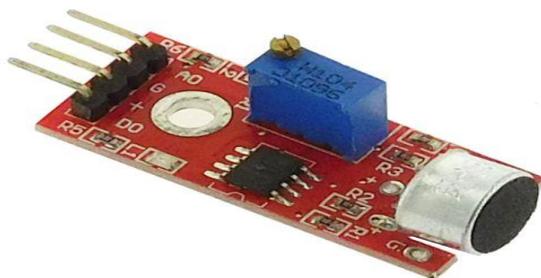


Figure II.11. Capteur de son.

## II.6. Carte Arduino

### II.6.1. Définition

L'Arduino est une carte électronique composée d'un circuit électronique 'Open source' avec un microcontrôleur (de la famille Atmel, AVR), ce dernier est intégré sur une carte programmable par l'ordinateur. C'est une plate-forme à (entrée/sortie) simple qui est destinée à la réalisation des projets électroniques plus développés. La programmation de son microcontrôleur a un accès libre. Elle est plus simple par rapport aux PICs. La programmation peut être effectuée à l'aide de logiciel Arduino ou même par Matlab, en utilisant le port USB. L'Arduino est un microcontrôleur programmé (qui est le cerveau de la carte), contenant un circuit imprimé standard qui englobe les plus importants composants pour tester et produire des signaux électriques, de manière à effectuer plusieurs tâches comme les techniques d'électroniques. On peut dire que l'Arduino c'est un circuit standard qui peut remplacer le PIC combiné avec le programmeur de PIC [2].

La carte Arduino peut communiquer avec plusieurs et différents types des capteurs. On retrouve par exemple diverse forme de robot, des stations météo. D'autres exemples d'applications sont disponibles par tous. Il peut être alimentée soit par le port USB ou à l'aide d'une alimentation externe (batteries ou autre source d'énergie).

### II.6.2. Bref historique de l'Arduino

L'Arduino a été créé en 2005 dans l'institut de Design Interaction d'Ivrea en Italie, par les fondateurs, Massimo Banzi et David Cuartielles et Hernando Barragan, dans le cadre de leur projet thèse de fin d'études, où ils avaient entrepris le développement d'une carte électronique dénommée Wiring, accompagnée d'un environnement de programmation libre et ouvert.

Dans leur travail, Hernando Barragan réutilisait à mettre les sources du projet 'Processing' en se basant sur un langage de programmation facile d'accès et adaptée aux développements des projets de designers. Alors, le projet Arduino est inspiré de la carte Wiring(2005). Comme pour Wiring, l'objectif était d'arriver à un dispositif simple à utiliser, dont les coûts seraient peu élevés, les codes et les plans « libres », [17].

Évidemment, tous les composants d'une carte électronique ne sont pas forcément reliés entre eux. Le câblage des composants suit un plan spécifique à chaque carte électronique, qui se nomme le schéma électronique, figure (II.12).

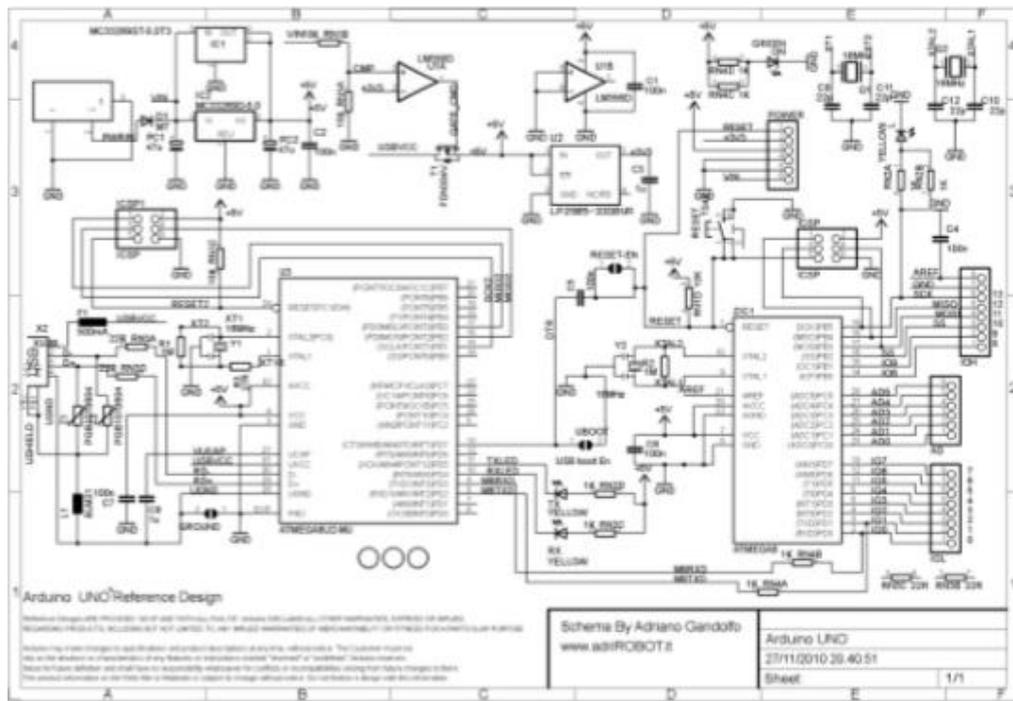


Figure II.12. Schéma électrique de l'Arduino UNO.

Il existe plusieurs types des cartes Arduino, que ce soit originaux ou les compatibles (fabriquée par : Freeduino, Seeduino, Femtoduino, ...), parmi les cartes les plus utilisées surtout dans les systèmes embarqués: Leonardo, NANO, UNO, MEGA, DUE, et Yun...etc



A. Arduino UNO



B. Arduino Méga



C. Arduino Nano



D. Arduino Yun

Figure II.13. Quelques types des cartes Arduino.

### II.6.3. Avantages de la carte Arduino

- Pas cher ;
- Environnement de programmation clair et simple;
- Multi plate-forme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux;
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées;
- Logiciel et matériel open source et extensible;
- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne;
- Existence de « shield ».

### II.6.4. Choix et description de la carte Arduino

Le choix de la carte électronique « Arduino » se fera suivant ses caractéristiques, le microcontrôleur et le coût (il veut mieux d'optimiser le coût avec le besoin et les performances requis).

Arduino	Processeur	Flash Ko	EEP RO M	SR A M  Ko	Broches D'entrée Numérique	PW M	Broches D'entrée Analogique	Type USB
<b>Décimal</b>	ATméga168	16	0.5	1	14	6	6	FIDI
<b>Due- milanove</b>	ATméga168 /328P	16/32	0.5/1	½	14	6	6	ATméga 32U4
<b>Leonardo</b>	ATméga32 U4	32	1	2.5	20	7	12	FIDI
<b>Méga</b>	ATméga128 0	128	4	8	54	15	16	ATméga8 U2
<b>UNO</b>	ATméga328	32	1	2	14	6	6	A8U2

Tableau II.2. Caractéristiques de différentes cartes Arduino

D'après ces paramètres on a constaté que la carte Arduino MEGA est la plus adéquat pour notre projet [18].

En plus, il existe autres caractéristiques ci-dessous :

- Les dimensions;
- Le nombre d'entrées sorties;
- Le poids;
- La taille mémoire;
- Les connecteurs disponibles;

- Le besoin de souder les connecteurs.

Dans notre travail, on a choisi la carte MEGA, puisque on doit enregistrer et archiver une grande quantité des données ce qui nécessite beaucoup d'espace mémoire ainsi que le nombre élevé des ports. En addition, elle est disponible chez nous et son prix reste abordable.

### II.6.5. Description de la carte Arduino MEGA

L'Arduino Méga 2560 est basé sur le microcontrôleur AT méga 2560, plus puissant par rapport Uno et Nano, ce qui permet à la carte de traiter des projets plus complexes qui nécessitent une puissance et rapidité du calcul,[19].

- **L'alimentation** : la carte Arduino Mega 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. La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts.
- **Visualisation** : il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13 de petite taille pour tester le matériel avec le branchement avec microcontrôleur. Les autres LEDs sont pour indiquer l'émission et la réception pendant le téléchargement de programme dans le microcontrôleur.
- **Communication Série**: 4 paires des Ports Séries: 0 (RX) et 1 (TX); Port Série Serial 1: 19 (RX) et 18 (TX); Port Série 2: 17 (RX) et 16 (TX); Port Série 3: 15 (RX) et 14 (TX).
- **Interruptions Externes**: Broches 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4).
- **SPI (Interface Série Périphérique)**: broches 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Ces broches supportent la communication SPI.
- **I2C**: Broches 20 (SDA) et 21 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C.

Les autres caractéristiques de cette carte sont résumées dans le tableau et la figure suivants [19] :

Microcontrôleur	ATmega2560
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation	7V à 12V
Tension	6-20V
GND	0V
V <sub>cc1</sub>	3.3V
V <sub>cc2</sub>	5V
Digital I/O	54 (dont 14 disposent de sortie PWM : MLI : Modulation de largeur d'impulsion)
Entrées analogiques	16
Courant DC, I/O , 40 mA par Pin (port)	DC Current per I/O Pin 40 mA

Courant DC, I/O , 40 mA par Pin (port)	DC Current for 3.3V Pin 50 mA
Mémoire programme Flash	256KB dont 8 KB utilisés en bootloader
Mémoire SRAM	8 KB
Mémoire EEPROM	4 KB
Vitesse d'horloge	16 MHz

Tableau II.3.Description de l'Arduino MEGA 2560

La figure ci-dessous représente la description de la carte Arduino MEGA 2560 :

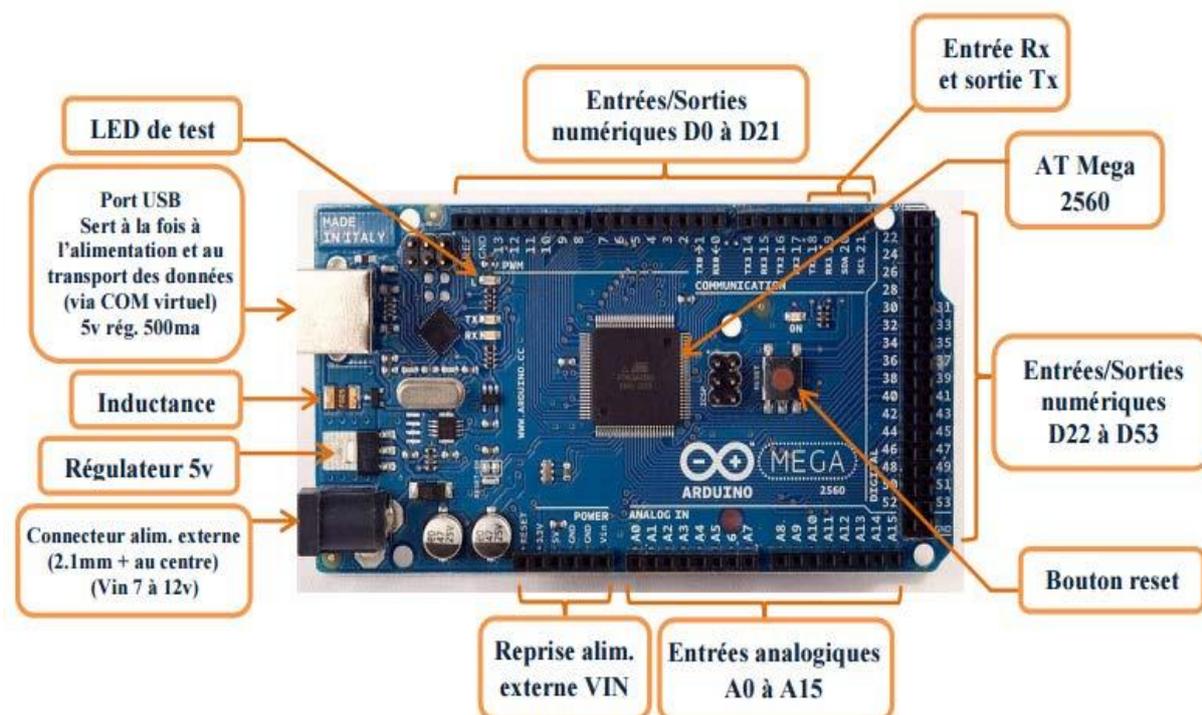


Figure II.14. Description de la carte Arduino MEGA 2560.

## II.6.6.Présentation du logiciel

### II.6.6.1. Arduino IDE

L'Arduino IDE est le logiciel qui permet de programmer la carte Arduino, ce qui signifie 'Integrated Development Environment' ou encore Environnement de Développement Intégré. En effet, cette application intègre l'édition des programmes, la téléversement dans la carte Arduino et plusieurs bibliothèques. L'IDE existe pour les trois systèmes d'exploitation Windows, MacOS X, Linux[20].

L'IDE Arduino permet:

- d'éditer le code ;
- de compiler ce code dans le langage de l'Arduino;
- de communiquer avec la carte Arduino grâce au terminal;
- Téléversement dans la carte Arduino.

### II.6.6.2. L'interface de logiciel

L'interface de l'IDE Arduino est plutôt simple. C'est une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Elle est dotée de :

- Un éditeur de code avec coloration syntaxique;
- Une barre d'outils rapide : Ce sont les éléments les plus importants et les plus utilisés de l'interface;
- Une barre de menus plus classique qui est utilisée pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE;
- Enfin, une console d'affichage des résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc.

Ces éléments sont présents sur la figure ci-dessous :



Figure II.15. L'interface de programme Arduino.

### II.6.6.2. Les boutons de l'interface Arduino IDEs

Nous présentons ici à quoi servent les boutons numérotés sur la figure (II.16) comme suivant :



Figure II.16. Les boutons de l'interface Arduino IDE.

Le tableau suivant représente en bref les fonctions de chaque bouton.

Bouton 1	(Verify): Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme.
Bouton 2	(Upload): Compiler et envoyer le programme vers la carte.
Bouton 3	(new): Créer un nouveau fichier.
Bouton 4	(open): Charger un programme existant.
Bouton 5	(save): Sauvegarder le programme en cours.
Bouton 6	(serial monitor): Permet d'accéder au port série (en RX/TX).

Tableau II.4.Les boutons de l'interface Arduino IDE

### II.6.6.3. Langage de l'Arduino

Le langage Arduino est basé sur le C/C++.Le langage de programmation d'Arduino est en effet une implémentation de Wiring (une plate- forme open source similaire de physical computing qui proposait elle-même une bibliothèque appelée Wiring qui simplifie les opérations d'entrée/sortie

Il contient deux fonctions principales :

- **La fonction setup** : contient toutes les opérations nécessaires à la configuration initiale de la carte (entrées/ sorties, débits de communications série, etc.).
- **La fonction loop** : elle exécute boucle après l'exécution de la fonction setup. Elle continue la boucler indéfiniment tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu'ils n'ont pas du système. En effet, si l'on omet cette boucle, à la fin du code produit, il sera impossible de reprendre la main sur la carte Arduino qui exécute alors du code aléatoire [20].

## **II.7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons décrit brièvement les principes des différentes technologies utilisées dans la mise en œuvre de notre projet.

Nous avons mis la lumière sur la partie matérielle. Les différents types des capteurs utilisés dans les stations météorologiques. Ensuite, nous avons présenté les cartes Arduino en générale avant arrivé à l'Arduino MEGA qui sera utilisée dans la suite du travail. En fin, nous avons expliqué le mode d'exploitation de l'interface de l'Arduino IDE, ainsi que la manière de programmation de la carte d'Arduino Méga pour réaliser un prototype d'une station météo qui est notre objectif.

---

# CHAPITRE.III

## RÉALISATION D'UNE STATION DE MÉTÉOROLOGIE CONNECTÉE A DISTANCE

---

### III.1. Introduction

Vue de l'importance d'exploitation des mesures météorologiques pour les applications des énergies renouvelables, tel que l'estimation des gisements éoliens et photovoltaïques dans n'importe quel site, ainsi que les commandes de maximisation de la puissance de ces systèmes, nous impose à construire des stations des mesures autonomes, efficace et moins cher.

Ce chapitre est consacré à la réalisation pratique d'un prototype d'une station de météorologie.

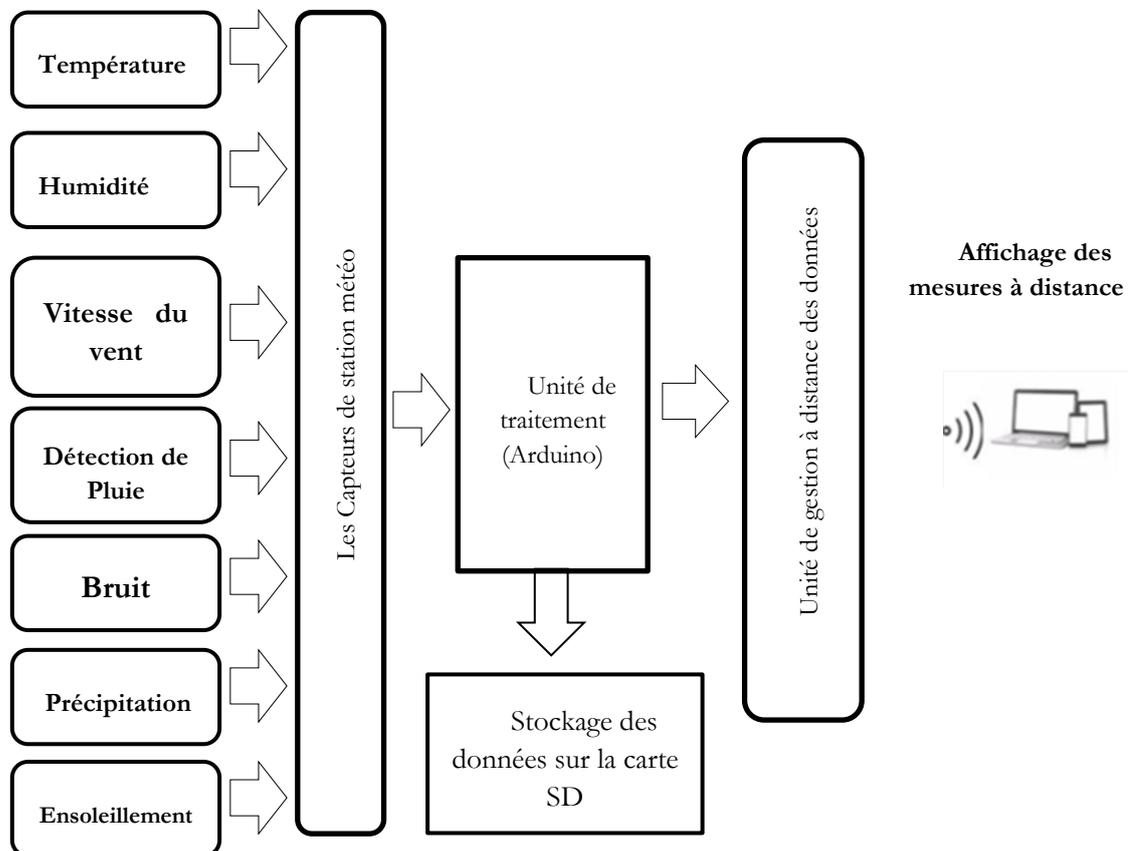


Figure III.1 Schéma bloc de la station de météorologie réalisée.

Ce système est divisé en quatre parties, la première est les capteurs physiques (température, humidité, vitesse du vent, détection de la pluie, précipitation, bruit, ensoleillement...). La deuxième partie est l'unité de traitement des données (la carte Arduino) qui reçoit et envoie les mesures des capteurs. La troisième partie est la gestion à distance des données (HC\_06, Lora).

### III.2. Utilisation de logiciel Fritzing pour les Schémas électriques

Tous d'abord on a tracé le schéma électrique du système sur le logiciel Fritzing. Le logiciel Fritzing est un outil de création des projets et des circuits électroniques. Il permet aussi l'édition des circuits imprimés. Il est disponible gratuitement sur internet. Il est notamment bénéfique pour l'apprentissage de la conception des circuits, [9].

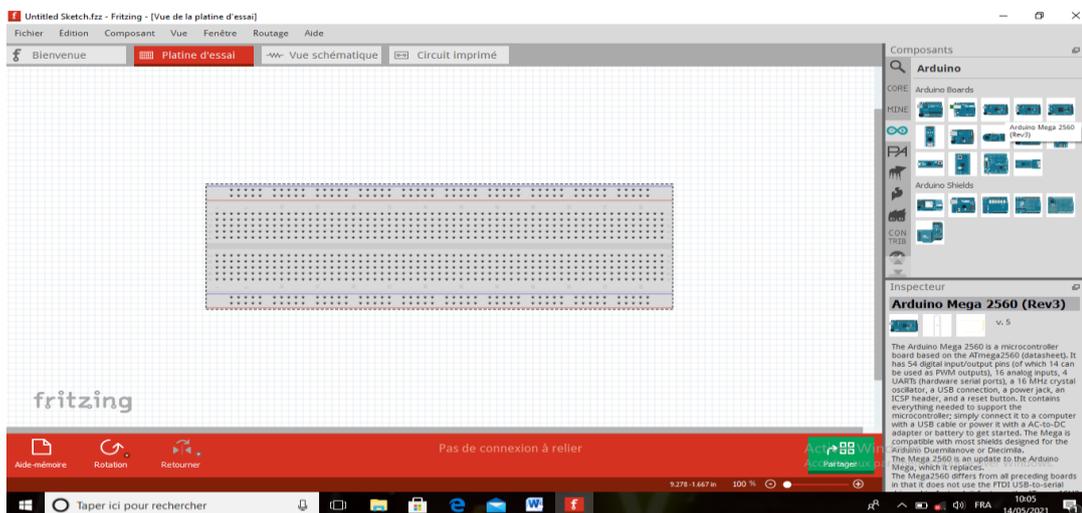


Figure III.2 Interfaçage de logiciel de simulation Fritzing.

Le logiciel se compose de trois vues principales:

- La « Platine d'essai », où l'on voit les composants tels qu'ils sont dans la réalité et où l'on construit le montage.
- La « Vue schématique », représentant le schéma fonctionnel du circuit.
- Le « Circuit imprimé », représentant la vue du circuit imprimé tel qu'il sera sorti en PDF pour être imprimé [10].

Les figures 3 et 4 représentent respectivement le schéma électrique tracé sur Fritzing et le montage de notre système sur la plaque d'essai obtenu aussi par Fritzing.

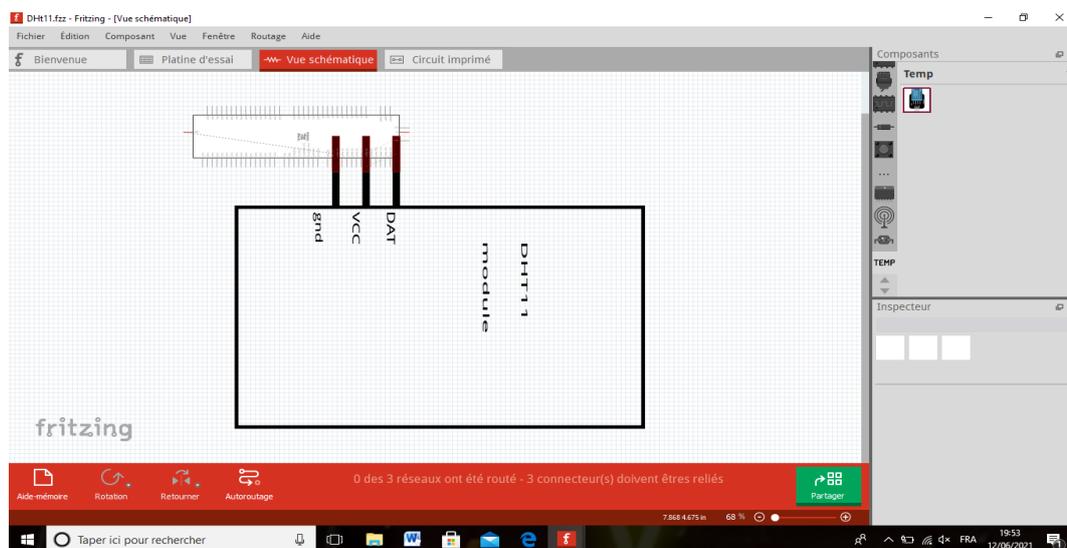


Figure III.3 Schéma électrique.

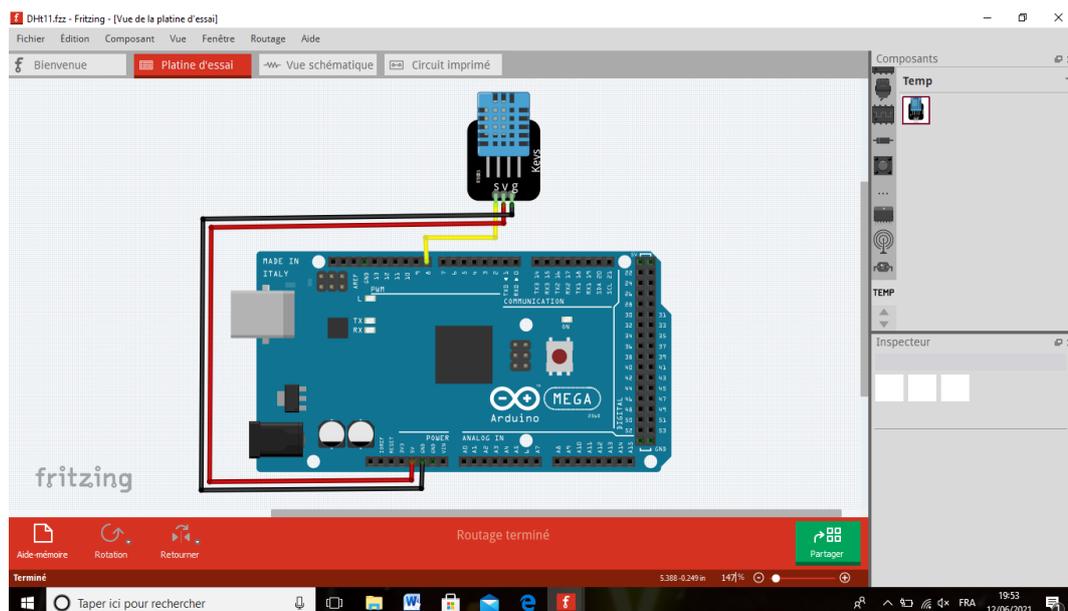


Figure III.4. Schéma de montage sur la plaque d'essai.

Ce logiciel permet de représenter les circuits d'une façon très organisée.

### III.3. Branchement et programmation des capteurs de la station de météorologie

Nous avons utilisé et programmé les capteurs disponibles qui permettent de mesurer les grandeurs météorologiques. La programmation a été effectuée à l'aide du logiciel Arduino IDE.

#### III.3.1 Capteur de température et d'humidité (DHT11)

Ce capteur peut mesurer à la fois la température et l'humidité. Nous avons programmé ce module pour donner la température en degré Celsius et l'humidité en pourcentage.

Le branchement est montré dans la figure (III.5) :

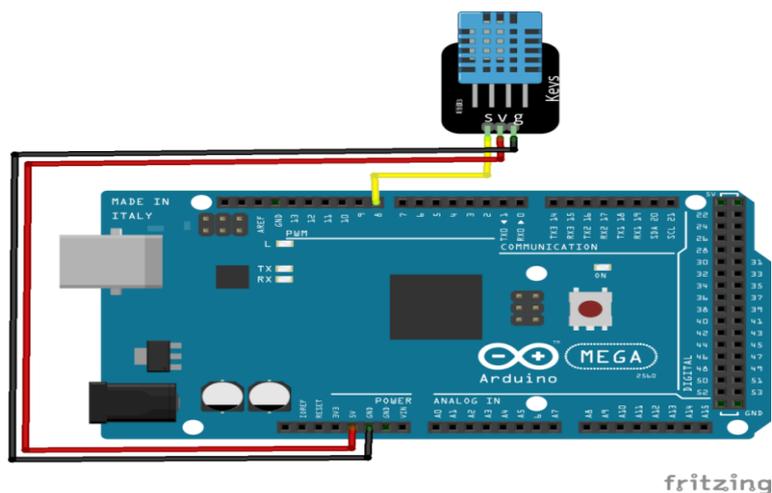


Figure III.5. Schéma de branchement du capteur DHT 11.

La connexion de ce capteur est très simple, il suffit de relier le premier pin à gauche à l'alimentation (3.3V ou 5V), le pin central sur un pin Arduino déclaré comme entrée (INPUT), et le pin de droite à la masse (GND).

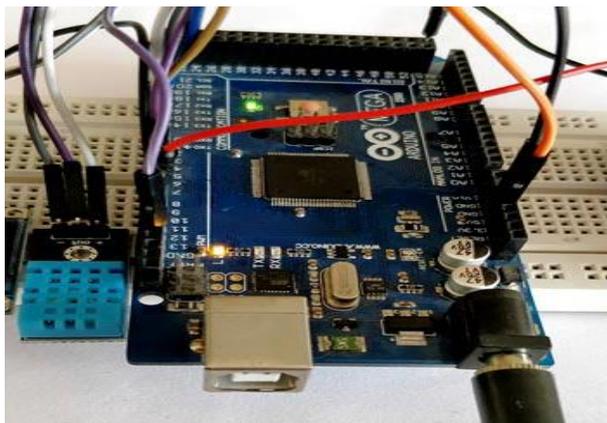


Figure III.6. Schéma de branchement réel du capteur DHT 11.

### III.3.2 Capteur de détection de la pluie

Ce capteur est très important dans le domaine d'irrigation, il permet de nous informer s'il y a de pluie ou non, pour éviter l'excès d'irrigation, figures (III.7, III.8).

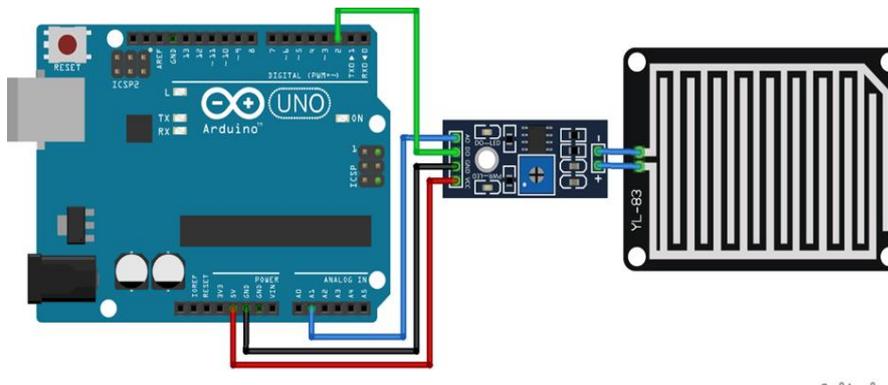


Figure III.7. Schéma de branchement du capteur de détection de la pluie.

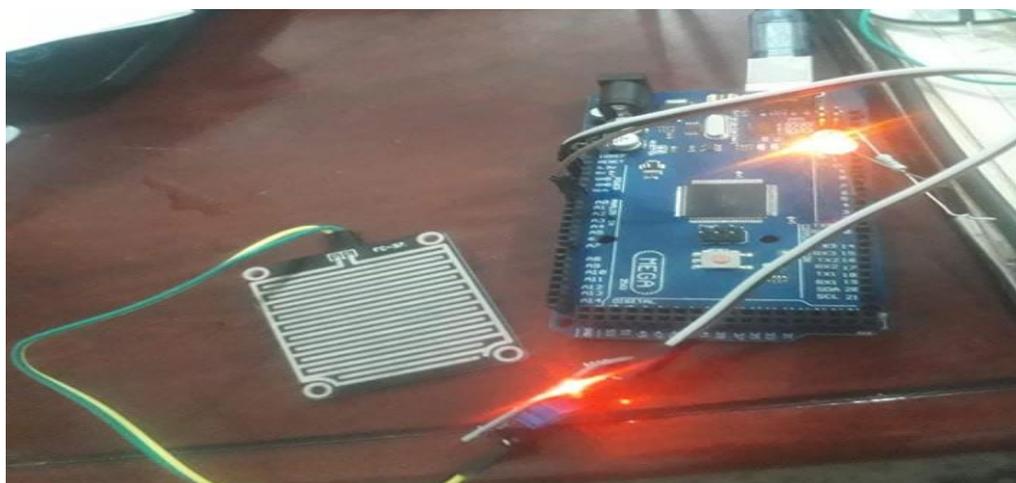


Figure III.8. Schéma de branchement réel du capteur de pluie.

### III.3.3 Capteur de précipitation de pluie (pluviomètre)

Dans le but de mesurer la précipitation dans notre station météorologique, nous avons réalisé un pluviomètre à l'aide d'un capteur de niveau d'eau. Ce dernier délivre une tension analogique en fonction du niveau d'eau grâce à ses pistes imprimées, figures (III.9, III.10).

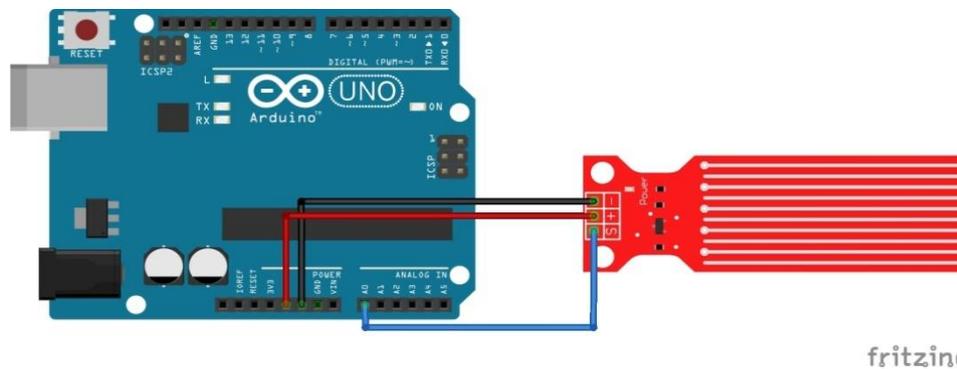


Figure III.9. Schéma de branchement du capteur de niveau d'eau.



Figure III.10. Schéma de branchement réel du capteur de niveau d'eau.

Par la suite, nous avons réalisé un dispositif qui nous permet de déterminer le niveau d'eau reçu de la pluie avec des outils simples (un récipient cylindrique gradué et bien choisi, un entonnoir).

Afin d'assurer une bonne mesure de pluviomètre réalisé, nous avons effectué un étalonnage et comparaison entre l'échelle gradué de niveau d'eau, et les valeurs reçues.

Les figures (III.11, III.12) représentent les étapes de réalisation de ce pluviomètre.



Figure III.11. Étapes de réalisation du pluviomètre.

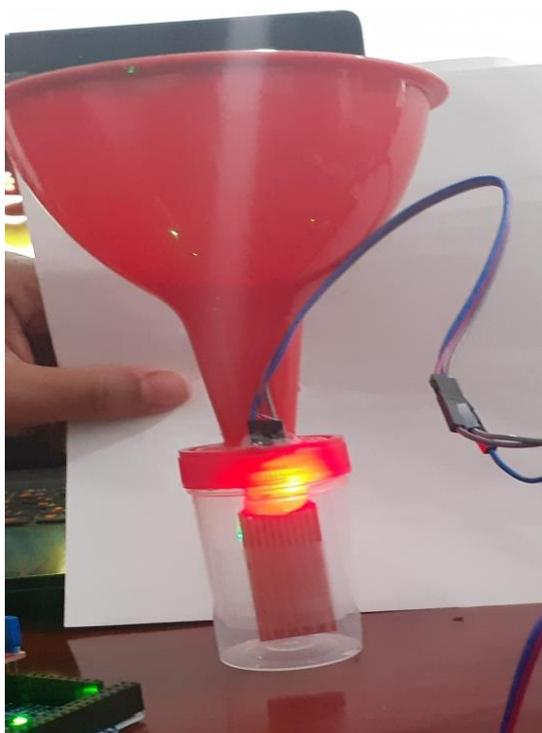


Figure III.12. Pluviomètre fini.

Nous avons réussi de le réaliser avec des moyens simples et moins chers. Il nous a donné des bons résultats.

### III.3.4 Capteur de pression BMP180

Ce capteur peut mesurer la pression atmosphérique, l'altitude et la température. Nous avons programmé ce module pour donner la température en degré Celsius, la pression atmosphérique en Atmosphère, et l'altitude en mètre (et en feet).

Les figures (III.13, III.14) représentent le schéma de branchement et le montage réalisé.

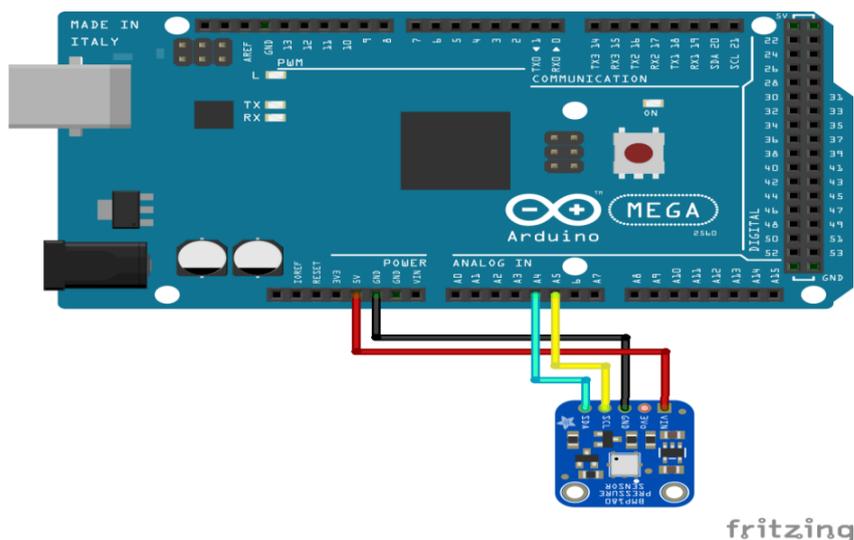


Figure III.13. Schéma du branchement du capteur de pression BMP 180.

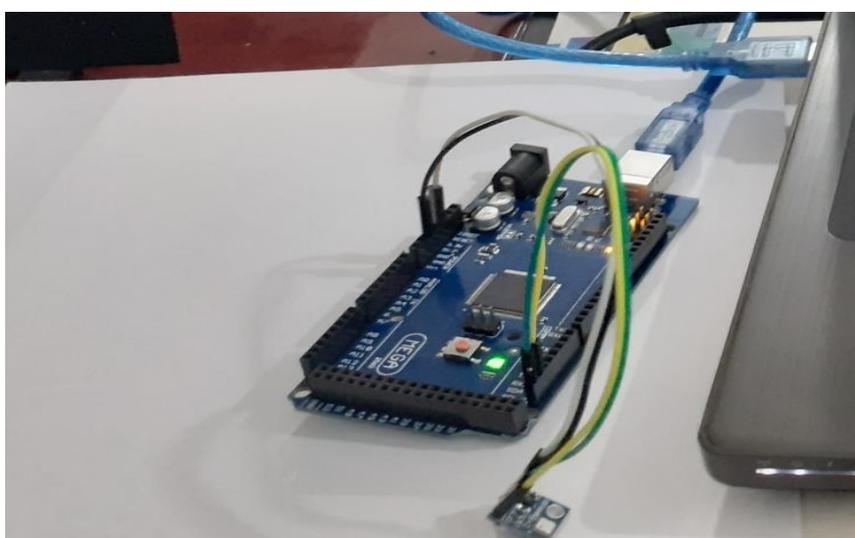


Figure III.14. Schéma du branchement réel du capteur de pression BMP 180.

### III.3.5 Intensité lumineuse (Irradiation solaire, GY30)

Ce capteur permet de mesurer l'irradiation solaire. Nous avons programmé ce module pour donner l'intensité d'irradiation solaire en Lux.

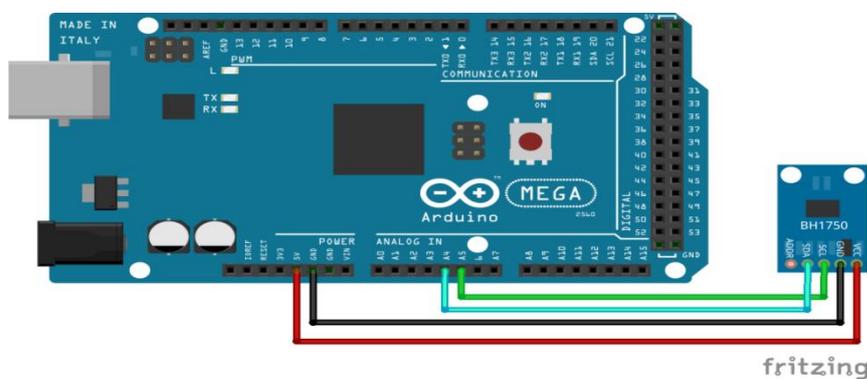


Figure III.15. Schéma du branchement du capteur d'irradiation solaire.

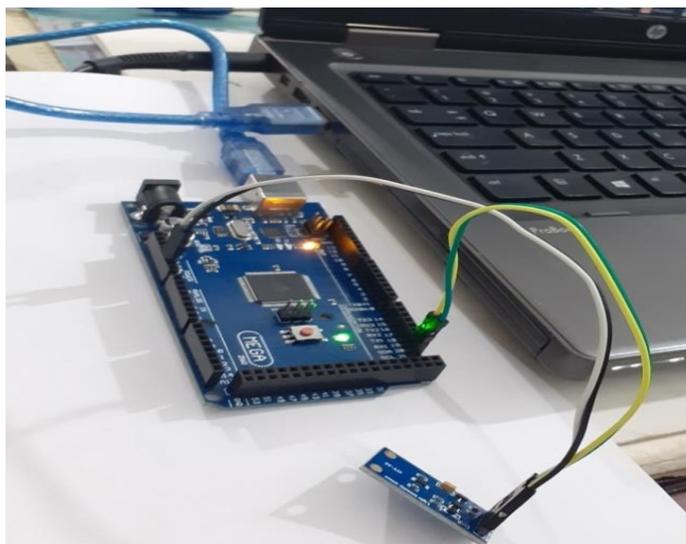


Figure III.16. Schéma de branchement réel du capteur d'irradiation solaire.

### III.3.6 Capteur du bruit

Ce capteur peut mesurer le niveau de vibration de son. Nous avons programmé ce module pour donner des valeurs numériques proportionnelles au niveau du son, figures (III.17,III.18).

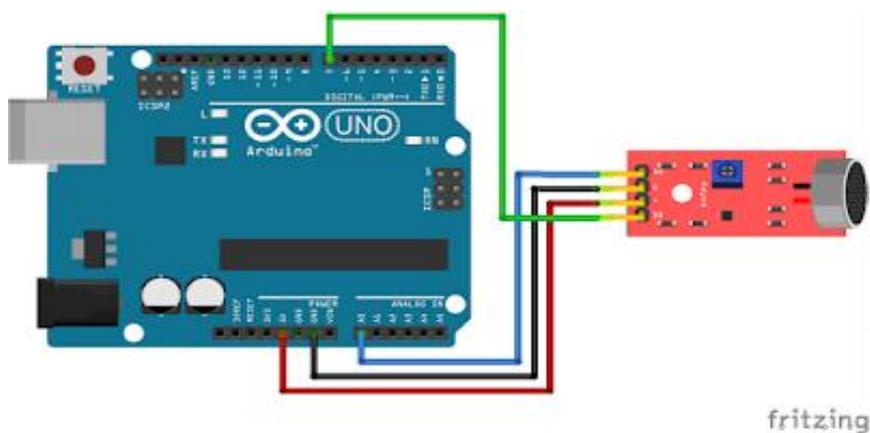


Figure III.17. Schéma de branchement du capteur du bruit.

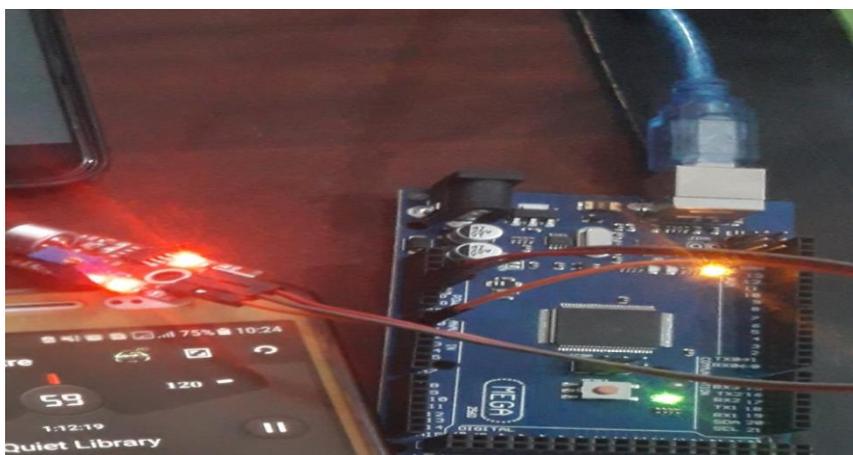


Figure III.18. Schéma du branchement réel du capteur du bruit avec l'étalonnage.



**A.** Avant fabrication**B.** Après fabrication

Figure III.21. Anneau préféré fabriqué pour le capteur photoélectrique.

Après avoir réalisé l'anneau, nous avons le monté sur la partie mobile de l'anémomètre et entre les deux extrémités du capteur (LM393), figure (III.22).



Figure III.22. Anneau préféré et capteur photoélectrique montés sur le corps de l'anémomètre.

Nous avons testé le calcul de la vitesse comme expliqué sur (Annexe A.1), ensuite nous avons fait l'étalonnage et la conversions de la vitesse sur le programme éditer sur l'Arduino.

### **III.4. Résultats de la station météorologique réalisée**

Dans l'objectif de découvrir le fonctionnement de la station de météorologie réalisée, nous avons effectué plusieurs tests.

#### **III.4.1 Résultats de DHT11**

Le montage réel et les résultats du capteur de température et l'humidité, sont représentés sur les figures (III.23, III.24), et Tableau (III.1).

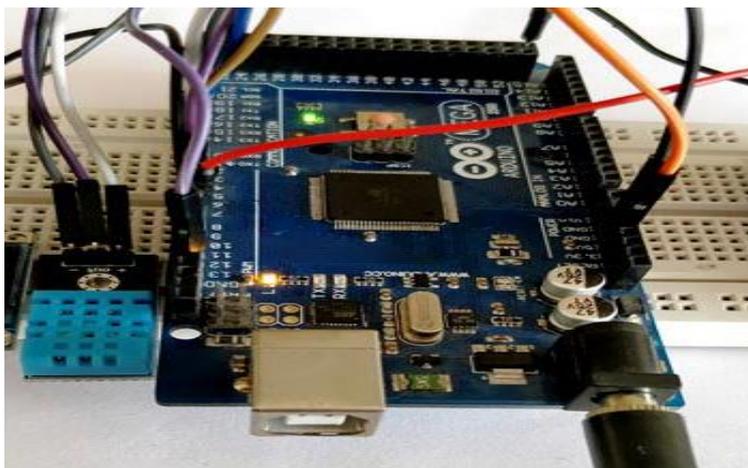


Figure III.23. Montage des mesures de température et d'humidité.

```

10:30:22.837 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 14.00 %
10:30:24.869 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 14.00 %
10:30:26.873 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 14.00 %
10:30:28.911 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 15.00 %
10:30:30.915 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 41.00 %
10:30:32.954 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 29.00 %
10:30:34.962 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 46.00 %
10:30:37.000 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 48.00 %
10:30:39.011 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 36.00 %
10:30:41.019 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 17.00 %
10:30:43.028 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 15.00 %
10:30:45.062 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 15.00 %
10:30:47.065 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 14.00 %
10:30:49.101 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 14.00 %
10:30:51.108 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 15.00 %
10:30:53.150 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 15.00 %
10:30:55.155 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 15.00 %
10:30:57.193 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 15.00 %
10:30:59.196 -> Temperature = 28.00 *C Humidity = 15.00 %
10:31:01.199 -> Temperature = 29.00 *C Humidity = 14.00 %
  
```

Figure III.24. Résultats des mesures de la température et d'humidité.

Température (°C)	Humidité (%)
28	15
28	41
28	29
28	46
28	48
28	36

Tableau III.1. Résultats des mesures de la température et d'humidité.

On remarque que les mesures sont bien effectuées. L'humidité est affichée en pourcentage, alors que la température est affichée en degré Celsius.

### III.4.2 Résultats du Capteur d'irradiation solaire

Les résultats du capteur d'irradiation solaire sont représentés sur les figures (III.25, III.26), et Tableau (III.2).

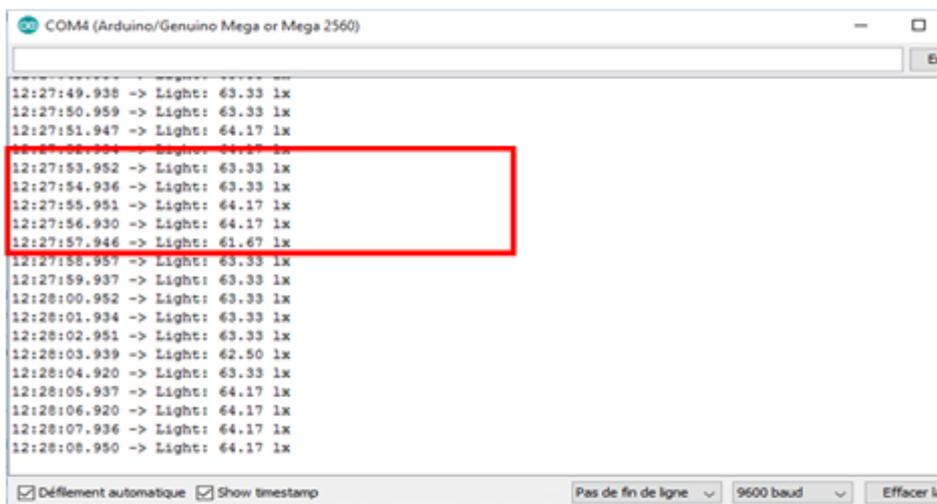


Figure III.25. Résultats des mesures d’irradiation solaire sur moniteur série.

Irradiation (Light) lux
64.17
63.33
63.33
64.17
64.17

Tableau III.2. Résultats des mesures d’irradiation solaire.

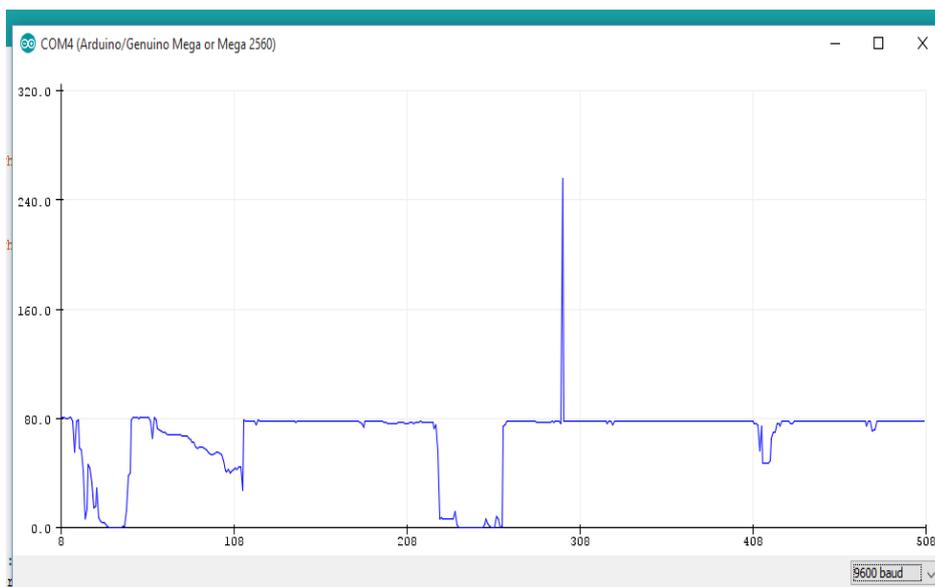


Figure III.26. Résultats des mesures d’irradiation solaire sur traceur série.

Nous avons testé ce capteur dans un milieu sombre et sous la lumière directe, nous avons trouvé des bons résultats. L’intensité de la lumière est affichée en Lux.

### III.4.3 Résultats de pluviomètre réalisé

Les résultats de ce capteur réalisé sont représentés sur les figures (III.27, III.28).

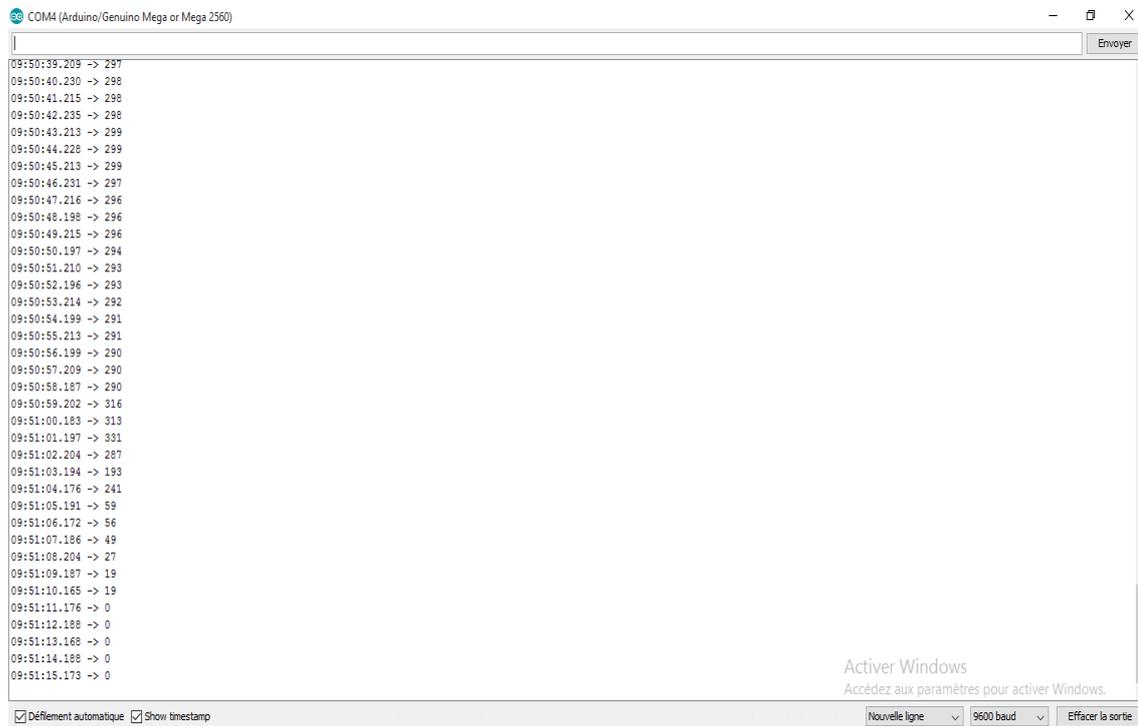


Figure III.27. Résultats des mesures de pluviomètre réalisé sur le moniteur sérié.

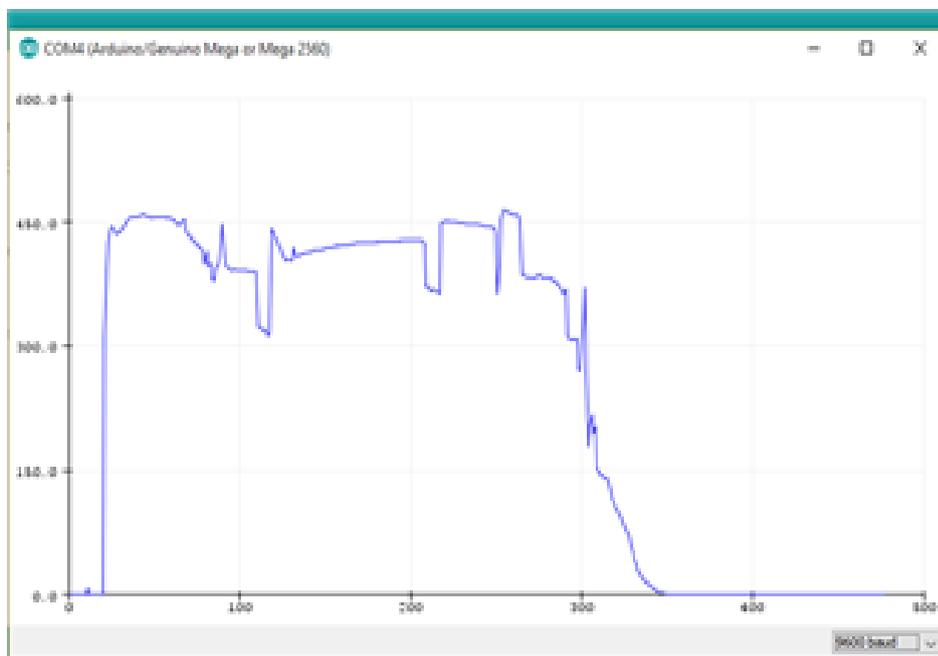


Figure III.28. Résultats des mesures de niveau d'eau sur traceur sérié

On remarque que les mesures sont bien effectuées. La quantité de l'eau est affichée en ml.

### III.4.4 Résultats du capteur de pression BMP180

Les résultats du capteur de pression sont présentés sur la figure (III.29), et Tableau (III.3).

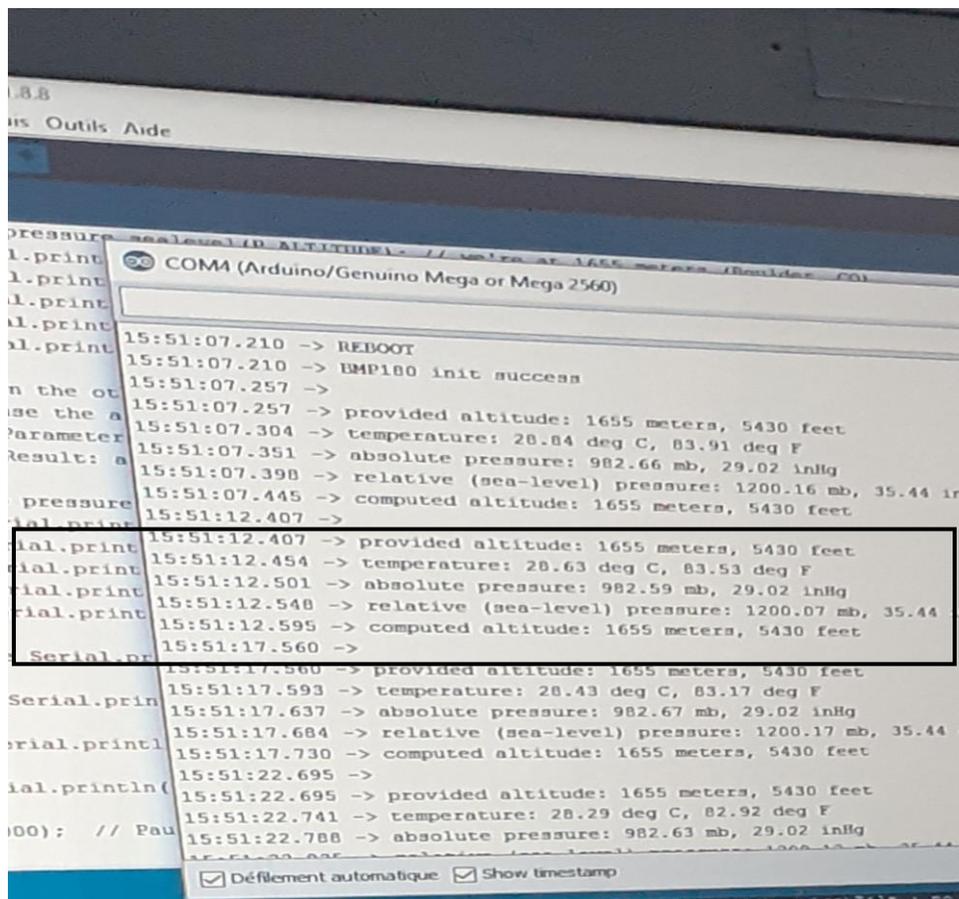


Figure III.29. Résultats des mesures du capteur de pression sur le moniteur série.

L' altitude (Provided altitude)	1655 metres	5430 feet
Temperature	28.63 °C	83.53 F
Pression absolute (Absolut pressure)	982.59 mb	29.02 inHg
Pression relative (Relative pressure)	1200.07mb	35.44 inHg

Tableau III.3. Résultats des mesures du capteur de pression BMP180.

On remarque que le capteur délivre plusieurs mesures et avec différentes unités.

### III.4.5 Résultats de capteur de bruit

Les résultats du capteur de bruit sont représentés sur les figures (III.30), (III.31), et Tableau (III.4).

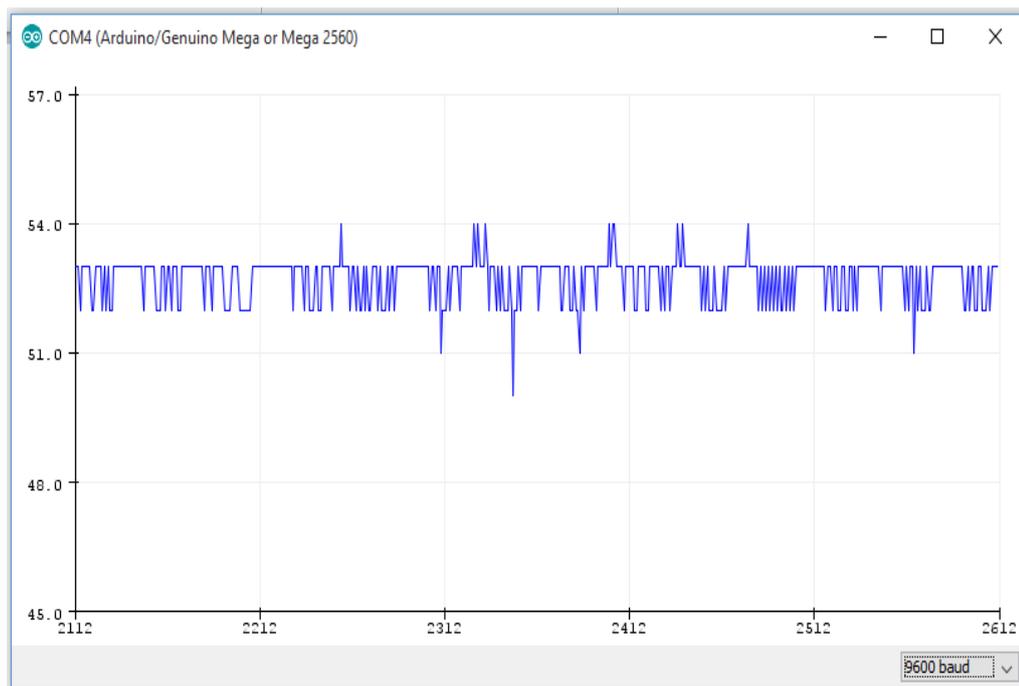


Figure III.30. Résultats des mesures du capteur de bruit sur le traceur série.

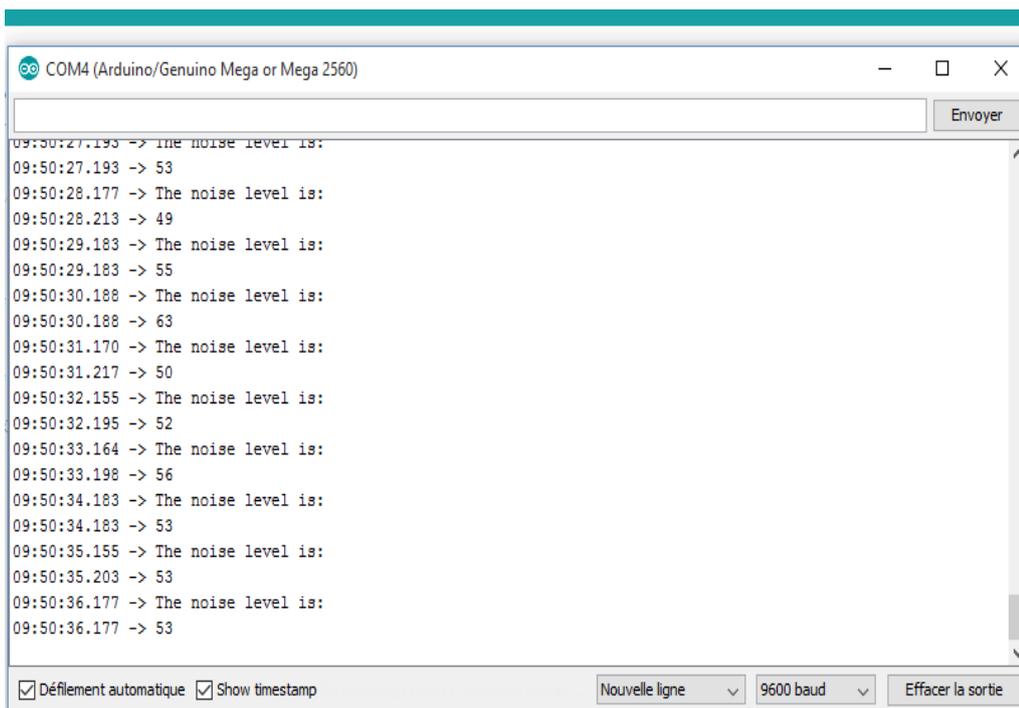


Figure III.31. Résultats des mesures du capteur de bruit sur le moniteur série.

On remarque que le bruit est dans l'intervalle 49 à 53 au volume moyen de son.

#### III.4.5.1. Étalonnage du capteur avec le décibel mètre

Dans le but de découvrir le fonctionnement et la précision du capteur du son, nous avons effectué plusieurs tests et l'étalonnage à l'aide d'un décibel mètre et une application sur le smart phone.



Figure III.32. Étalonnage à l'aide du Décibel mètre.

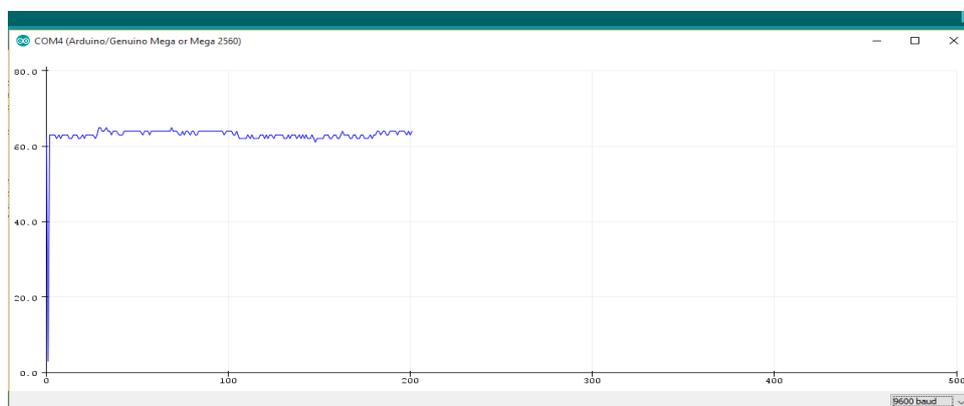


Figure III.33. Résultat du capteur du bruit sur le traceur série.

On remarque que les valeurs mesurées par le capteur du son sont presque identiques aux valeurs affichées sur le décibel mètre et le smart phone, avec une incertitude mais elle très faible.

Toutes les données collectées des capteurs précédents sont affichés sur le PC en premier lieu, mais ce dernier nécessite le branchement avec la carte Arduino, ou cette solution engendre des pertes lorsque le câble est long, et endommage le PC lorsque ce dernier est exposé aux différents changements climatiques.

Pour surmonter ces problèmes, nous avons en premier temps développé un système qui permet de stocker les données sur un fichier. Parallèlement nous avons recouru à la création d'un système qui permet d'afficher toutes les données mesurées sans avoir besoin d'aucun branchement (communication à distance).

### III.5. Stockage des données sur carte SD

Afin d'assurer le stockage des données de la station de météorologie, nous avons utilisé une carte mémoire avec un module spécial et support de la carte. L'utilisation de ce module nécessite l'insertion de module RTC (Real Time Clock) pour sauvegarder les données en fonction du temps réel, figures (III.34, III.35).



Figure III.34. Outils du système de stockage.

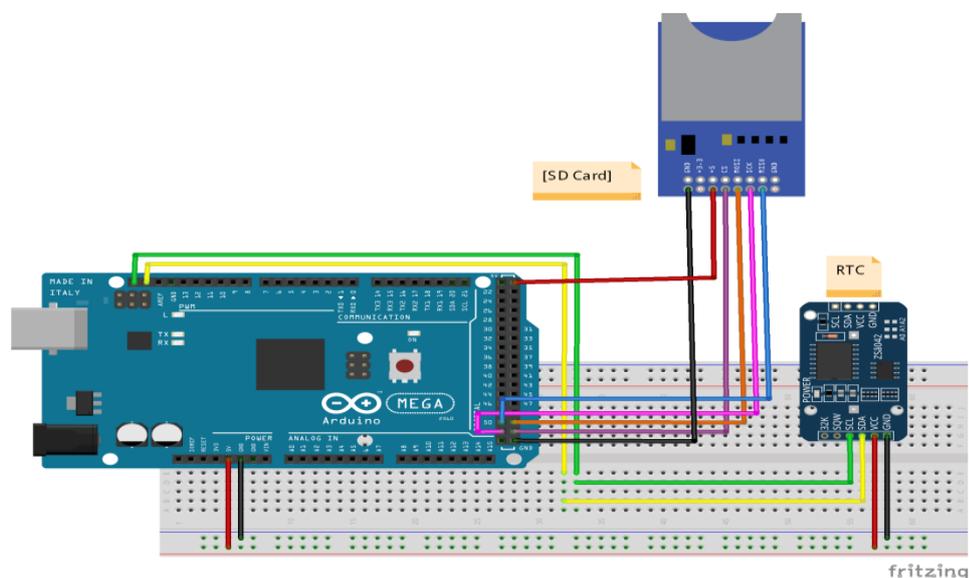


Figure III.35. Schéma du branchement du système de stockage.

Dans le but de découvrir le fonctionnement du système réalisé, nous avons inséréle DHT11et effectué plusieurs tests.

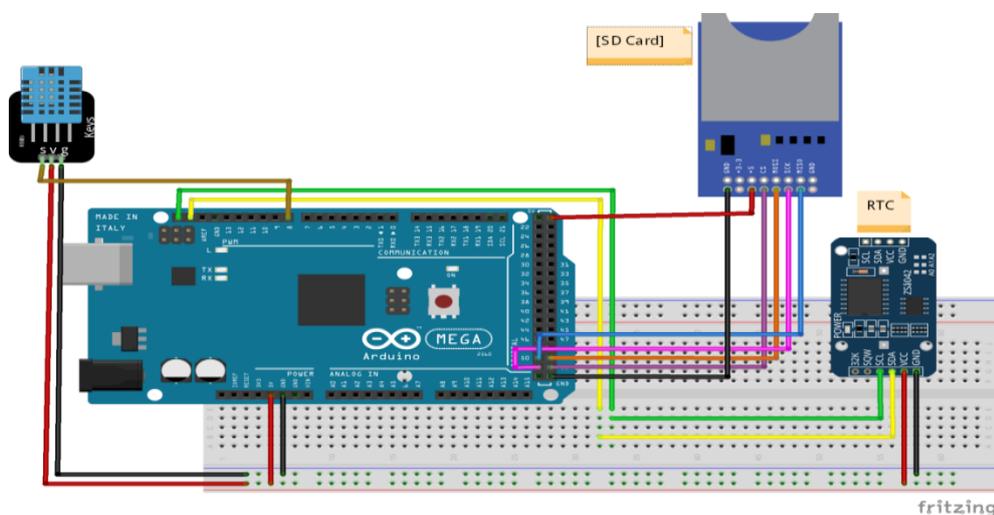


Figure III.36. Schéma du branchement de DHT11.

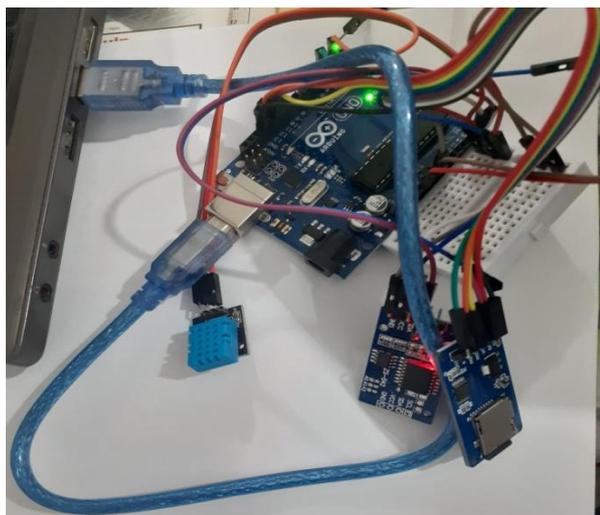


Figure III.37. Schéma réel du branchement réel du système du stockage.

Ce branchement permet d'enregistrer les données sur la carte SD en temps réel grâce au module RTC.

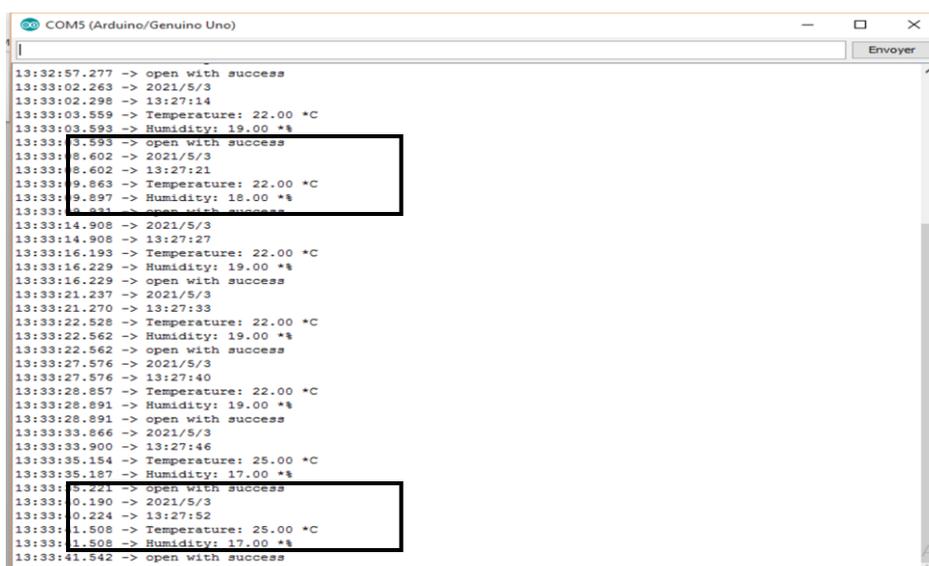


Figure III.38. Affichage des données (date, temps, température, humidité) sur le moniteur.

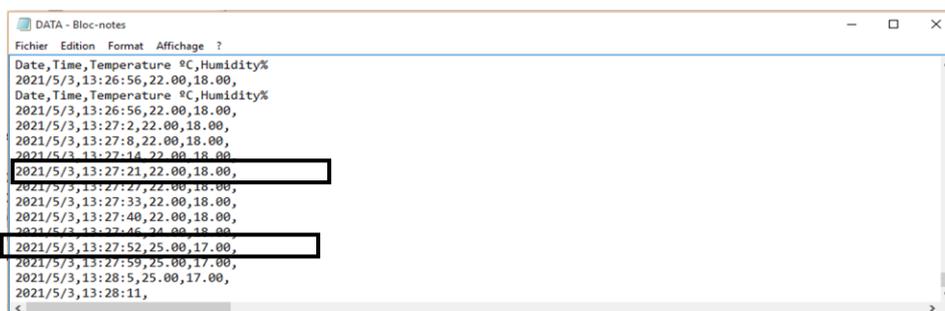


Figure III.39. Données dans le fichier(TXT) enregistrées sur la carte mémoire SD.

	Temps : 2021/5/3, 13 :27 :21	
	Température	Humidité
Résultats sur le moniteur série	22	18
Résultats sur le fichier	22	18
	Temps : 2021/5/3, 13 :27 :52	
Résultats sur le moniteur série	25	17
Résultats sur le fichier	25	17

Tableau III.4. Comparaison des résultats obtenus (moniteur série, SD).

On remarque que les valeurs sont identiques et synchronisées avec une bonne précision. Nous pouvons donc adopter ce système de stockage pour stocker toutes les données météorologiques mesurées.

### III.6. Création de la communication à distance

#### III.6.1. Par Bluetooth

Afin d'assurer la communication à distance entre le Smartphone (qui contient l'application Android développée) et la station de météorologie, nous avons utilisé un module Bluetooth (HC-06).L'utilisation de ce module est facile, il présente un bon compromis (coût performances).



Figure III.40. Module Bluetooth HC-06.

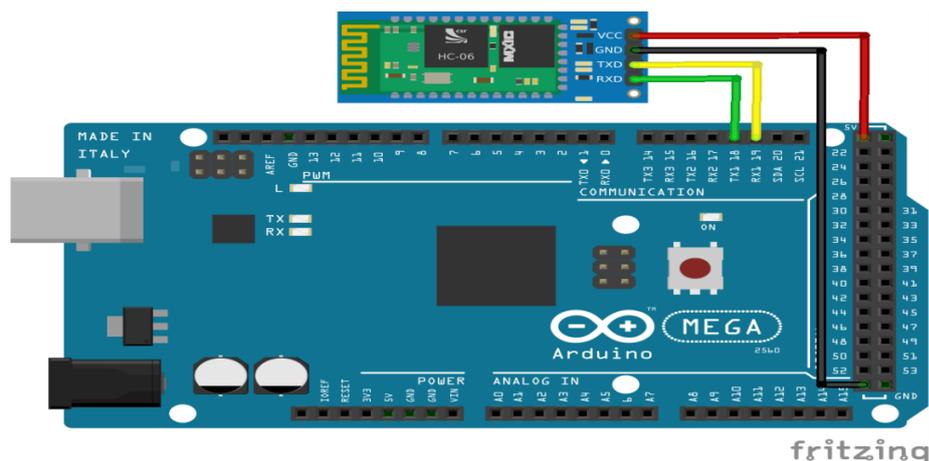
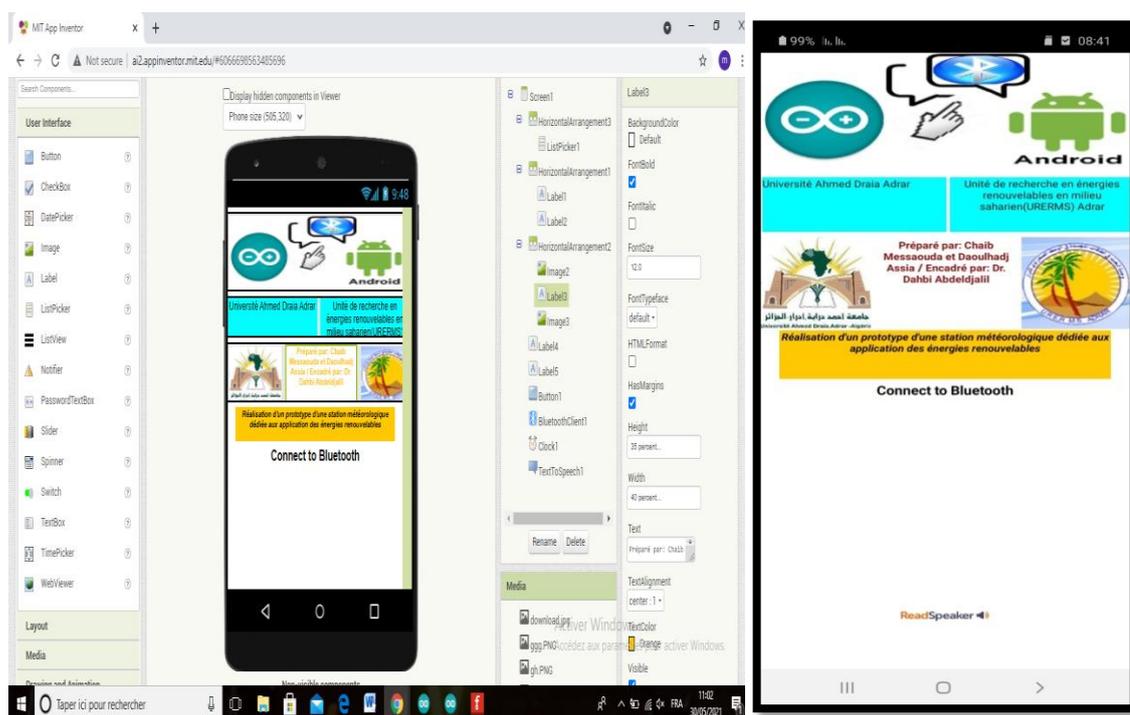


Figure III.41. Schéma de branchement de module Bluetooth (HC-06).

Ce module permet de transmettre les données au mobile via Bluetooth. Tandis que le mobile nécessite la programmation d'une application Android pour afficher ces données.

### III.6.1.1. Création de l'application Android de Mobile

Pour l'afficher les données mesurées sur un 'Smart phone', nous avons programmé une application par Android. Nous avons commencé par la conception de l'écran, puis la programmation des conditions et les instructions.



A. Conception de l'application

B. Affichage sur mobile

Figure III.42. Conception de l'écran de l'application Android.

Notons que nous avons équipé cette application par la possibilité de la lecture vocale des mesures.

Après avoir programmé l'application, nous avons l'installé sur le mobile et activé le Bluetooth comme montré sur la figure (III.42.B).

Afin d'obtenir les données de la mesure à une longue distance relativement et augmenter la portée, nous avons utilisé le module Lora.

### III.6.2. Par module Lora

Comme nous avons vu précédemment ; pour éviter le problème de la liaison permanente entre la station et le PC nous avons recouru à la création d'un système qui permet d'afficher les données mesurées de notre station par Bluetooth. Mais le problème posé est lorsqu'on veut consulter les données à une longue distance, puisque la portée du Bluetooth est limitée à quelques mètres.

Pour surmonter ces problèmes, nous avons recouru à la création d'un système qui permet d'afficher les données mesurées à une longue distance relativement (quelques kilomètres). Afin d'assurer le fonctionnement de ce système nous avons utilisé un Module émetteur-récepteur sans fil à longue distance « LORA ». Ce module présente plusieurs avantages: faible consommation d'énergie, transmission sécurisée des données, l'utilisation de ce module est facile, il est disponible et présente un bon compromis (coût acceptable-performances).

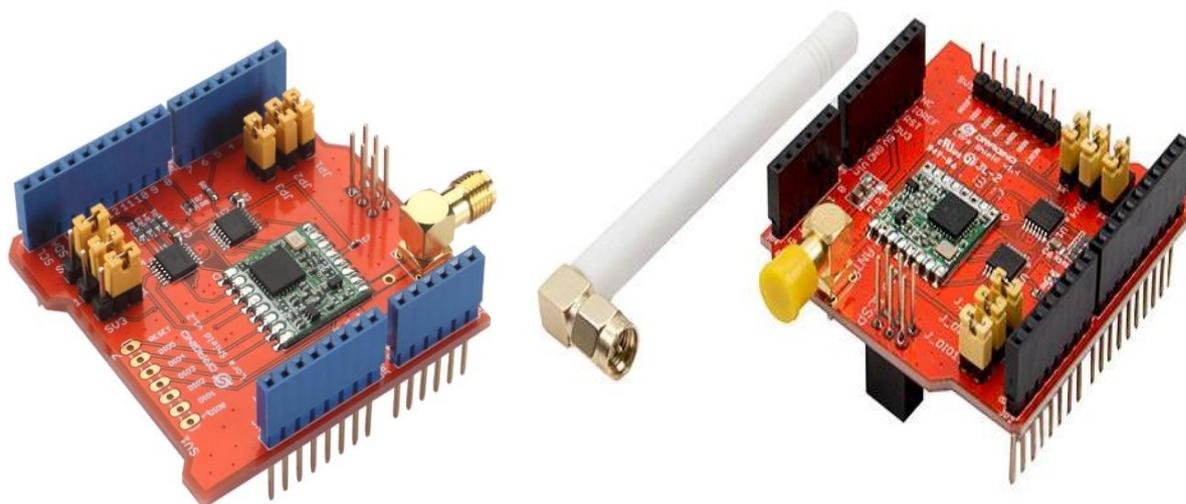
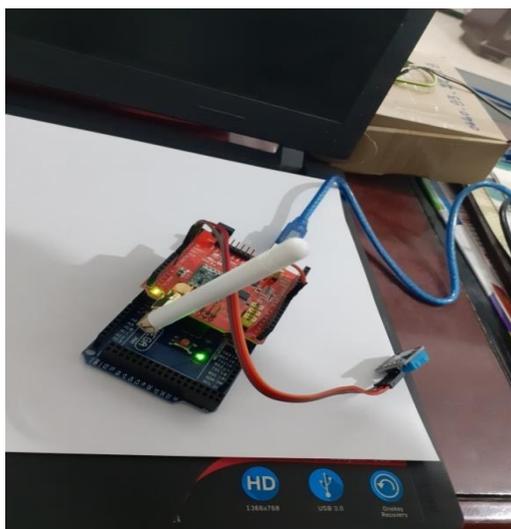


Figure III.43. Module Lora 868MHz.

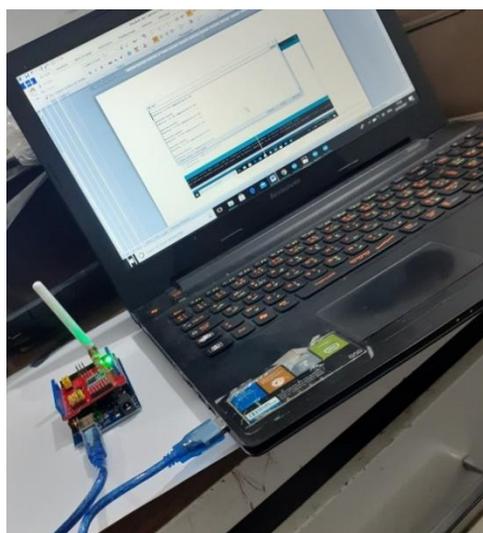
Ce module est se compose de deux partie : émetteur est récepteur.

- **Émetteur** : (system serveur), ce branchement est contient la station météo réalisée, parallèlement, il est piloté par un programme Arduino qui permet d'envoyer les mesures des capteurs à une long distance au client.
- **Récepteur** : Permet d'afficher les données reçues par la station météorologique.

Dans l'objectif de découvrir le fonctionnement du module LORA, nous avons effectué un test de transmission des mesures du capteur de température et humidité au récepteur. Sont branchement est représenté sur la figure(III.44).



A. Émetteur



B. Récepteur

Figure III.44. Branchement du module LoRa émetteur-récepteur.

Dans ce cas nous avons affiché les mesures sur le moniteur série. L’affichage des résultats est synchronisé et optionnel, figure (III .45), Tableau (III.5).

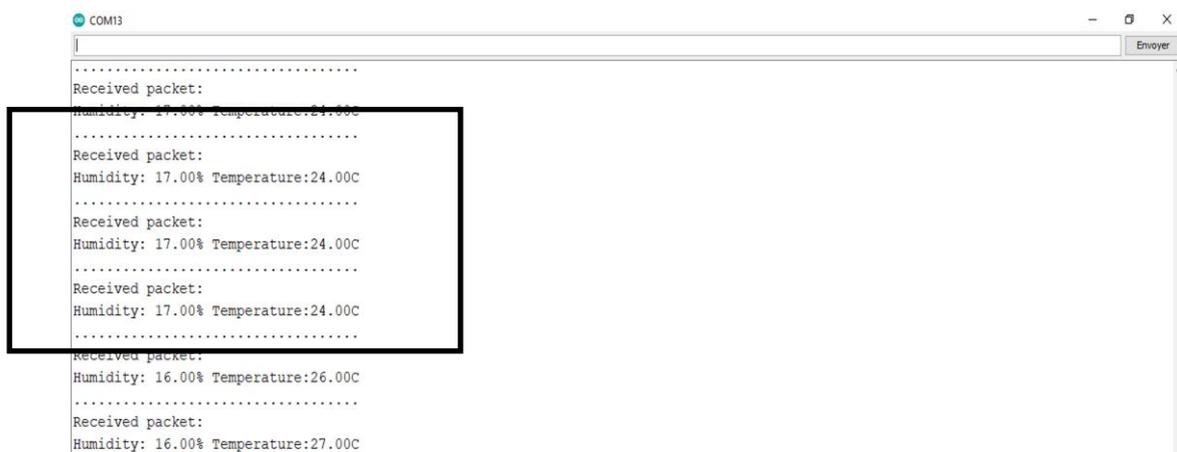


Figure III.45. Résultats sur le moniteur série.

Mesures envoyées		Données reçues	
Humidité %	Température °C	Humidité %	Température °C
17	24	17	24
17	24	17	24
17	24	17	24
16	26	16	26

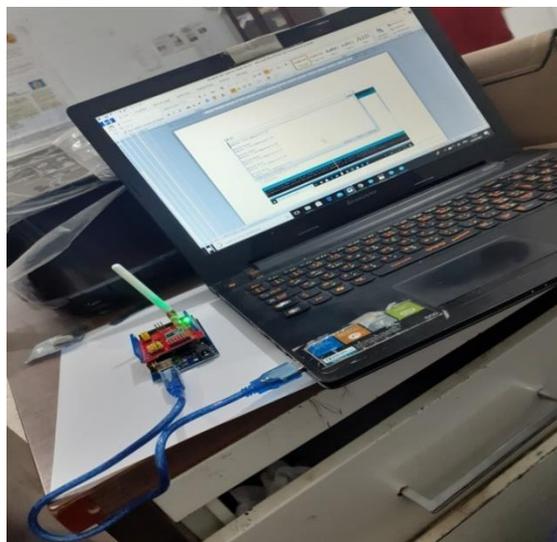
Tableau III.5. Résultats de comparaison entre les mesures et les données reçues.

Après avoir assuré le bon fonctionnement du système de transmission-réception, nous avons effectué un test de transmission des mesures à une distance qui dépasse 300 mètres.

Nous avons branché le système émetteur avec une alimentation extérieure (panneau photovoltaïque) et le laissé à l'extérieur de la salle. Parallèlement nous avons reçue les résultats du capteur sur le moniteur série connecté au système receveur, figure(III.46).



A. Hors la salle



B.À l'intérieur de la salle

Figure III.46. Test de transmission des mesures à distance supérieur à 300 mètres.

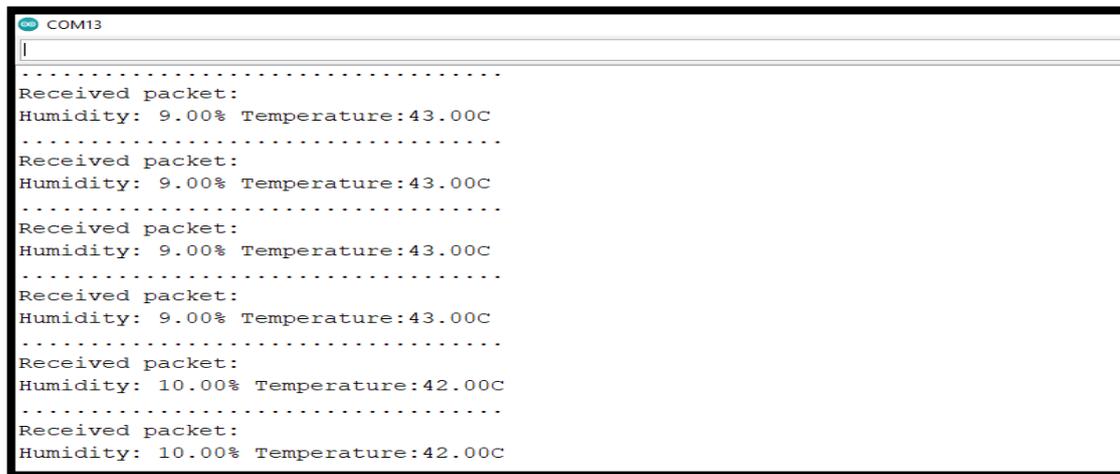


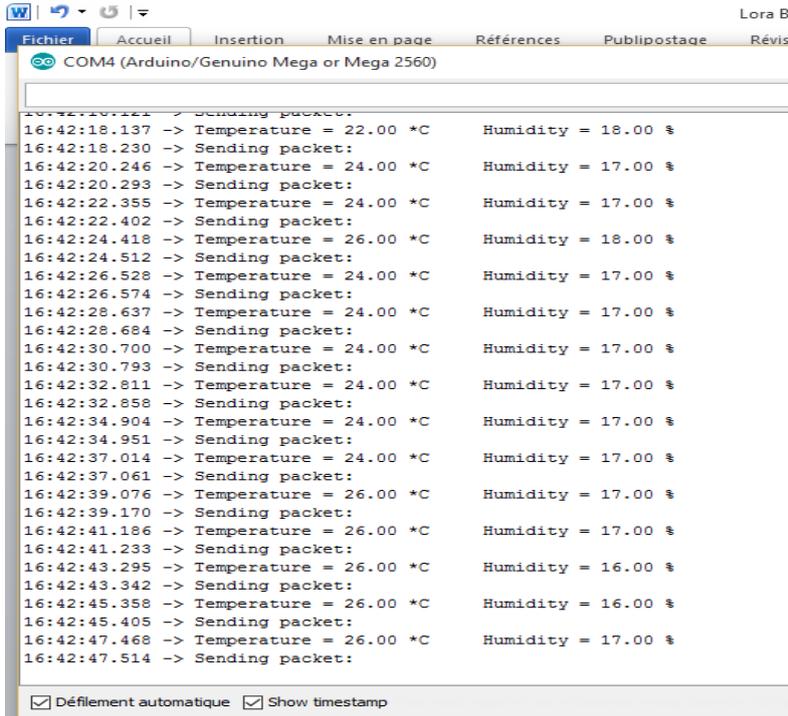
Figure III.47. Résultats du test sur le moniteur série.

On remarque que les données sont transmises avec succès vers une longue distance.

D'autre part, nous avons essayé de faire l'affichage des données de la station par Bluetooth sur l'application Android sans l'utilisation de PC dans les deux coté émetteur-récepteur. Alors on peut dire que nous sommes arrivés à la réalisation d'une station météorologique autonome qui n'a pas besoin d'aucun branchement à l'ordinateur.

Par la suite, nous avons confirmé cette idée par un test de comparaison entre des résultats affichés sur les 'Smarts Phones' et les deux PCs en même temps dans les deux côtés : émetteur-récepteur.

Les résultats du test de comparaison sont présentés sur les figures ci-dessous :

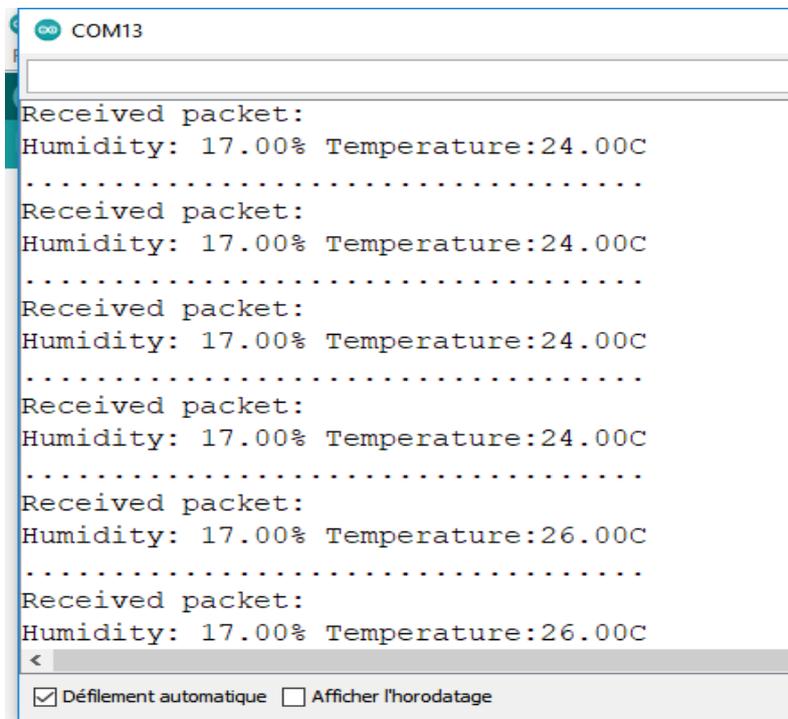


A.Sur le PC N°1



B. Sur le Smartphone N°1

Figure III.48. Résultats du test, côté mesures et émetteur.



A.Sur le PC N°2



B. Sur le Smartphone N°2

Figure III.49. Résultats du test, côté mesures et récepteur.

### III.7. Réalisation complète de la station météorologique connectée à distance

Le diagramme qui explique le fonctionnement de la station est comme suit :

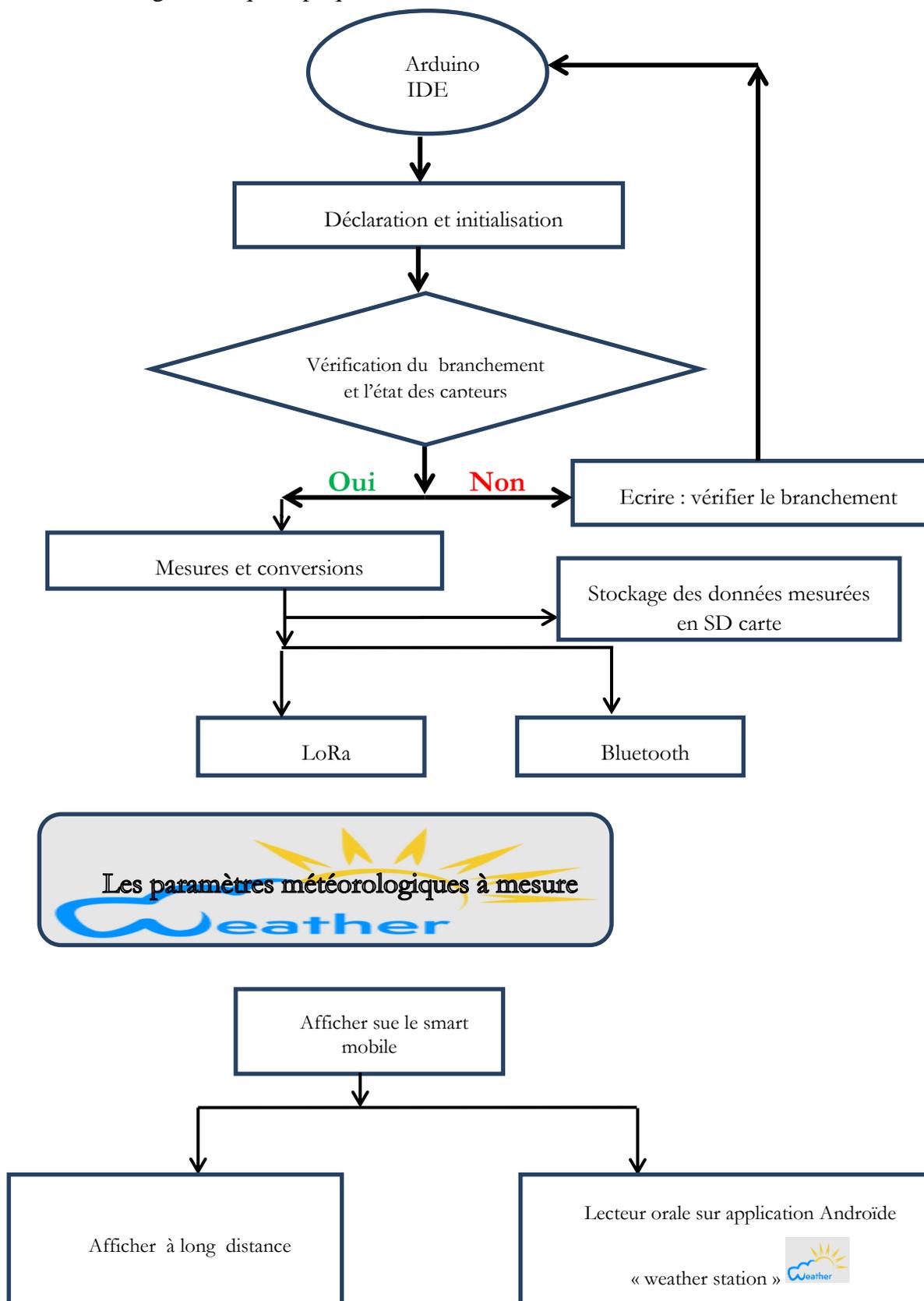


Figure III.50. Diagramme de l'algorithme de gestion des capteurs d'Arduino .

Le schéma global de la station météorologique implanté sur le logiciel Fritzing est montré sur la figure (III.51).

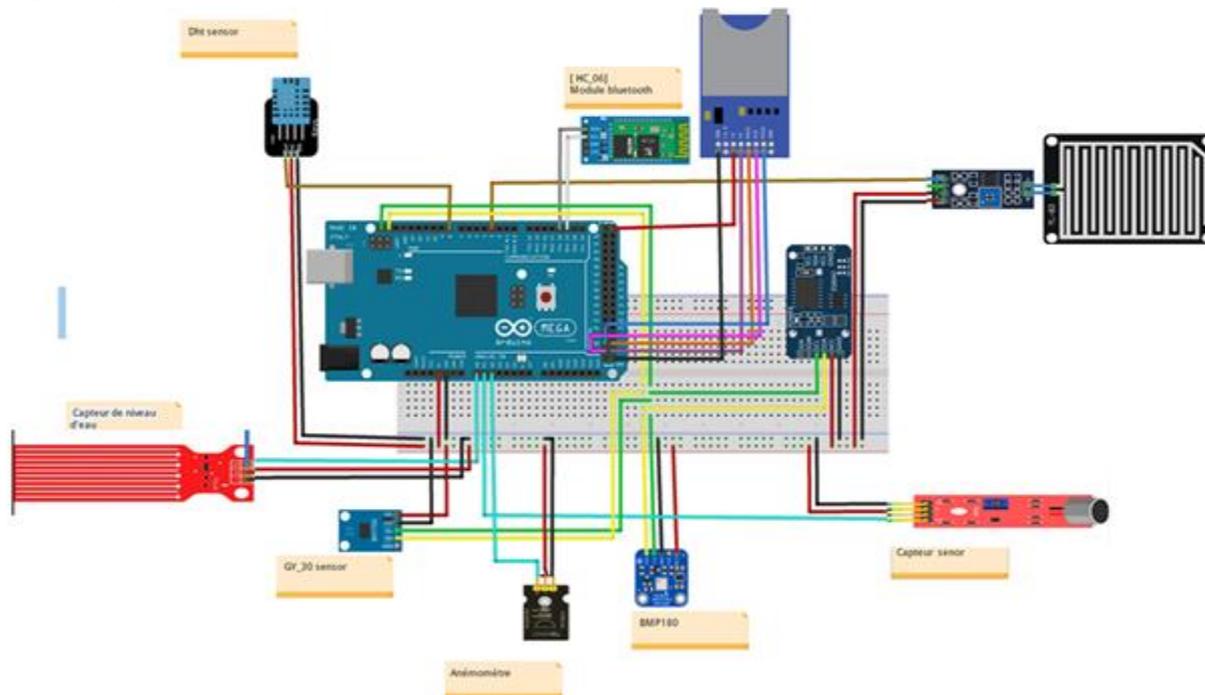


Figure III.51: Schéma global de la station météorologique réalisée.

La station météorologique connectée à distance réalisée est montré sur la figure (III.51).



Figure III.52. : Montage et réalisation réel de la station météorologique.

Après toutes ces étapes, nous avons réussi de réaliser une station météorologique connectée à distance via Bluetooth et Lora pour différente distance. L'objectif est réussi, ou cette station peut mesurer plusieurs grandeurs météorologiques qui sont primordiales aux différentes applications. Elle permet d'afficher les résultats sous différentes manières (PC, Smart phone, tablette, SD...). Tous ces avantages, avec un coût incomparable par rapport les stations météorologiques disponibles aux marchés.

### **III.8. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons réalisé avec succès un prototype d'une station météorologique. Différents capteurs utilisables dans les applications des énergies renouvelables sont utilisés pour mesurer des grandeurs importants, à savoir: la température, l'humidité, détection la pluie, précipitation, la vitesse du vent, l'irradiation solaire, pression atmosphérique et altitude.

En premier lieu, nous avons programmé chaque capteur sur Arduino IDE, puis donné les schémas de branchement de chaque capteur sur le simulateur Fritzing. Ensuite, nous avons réalisé un système du comptage de la vitesse afin de réaliser un anémomètre qui nous a permis de mesurer la vitesse du vent. Après, nous avons fabriqué un Pluviomètre qui peut déterminer la quantité de la pluie tombée.

Par la suite, nous avons créé en premier temps une communication à distance via Bluetooth, qui transfère les données des capteurs au 'Smart phone' à l'aide d'une application Android que nous avons programmé pour afficher les résultats visuellement et les lire vocalement. Parallèlement, nous avons créé une communication à des distances plus longues (quelques kilomètres) à l'aide d'un Module émetteur-récepteur sans fil « LORA ».

Dans le but d'assurer une bonne autonomie de la station et de la rendre autonome, nous avons associé une alimentation externe. Par la suite, nous avons testé différents états des capteurs. Après, nous avons affichés les résultats à distance sur les mobiles. Les résultats trouvés sont très satisfaisants et ils nous encouragent à adopter cette station pour des applications des énergies renouvelables et autres études et recherches.

---

# CONCLUSION GENERALE

---

L'élaboration de ce travail dans le cadre du projet fin de cycle nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques en électronique et en physique et énergies renouvelables, ainsi que l'acquisition d'une bonne expérience au niveau pratique.

Dans ce projet nous nous sommes concentrés à la conception et la réalisation d'une station météorologique pour l'acquisition des données grâce aux capteurs réalisés et implantés. Nous avons réalisé un système de mesure en temps réel de plusieurs phénomènes physiques à base d'une carte Arduino (UNO; MEGA) qui joue le rôle de traitement des données délivrées par les capteurs utilisées.

Dans le but de concevoir le principe des stations météorologiques, nous avons fourni des informations nécessaires pour la compréhension des grandeurs physiques météorologiques, les principes de la météorologie et les utiles de mesure. Après, un historique et un état de l'art des différentes stations ont été présentées. Ensuite, nous avons sélectionné un type des stations météorologiques portatif et moderne.

Par la suite, nous avons donné une description sur les différents types des capteurs les plus utilisés dans les stations météorologiques. Puis, nous avons présenté les cartes Arduino en générale avant arrivé à l'Arduino MEGA utilisée dans la suite du travail. Cette présentation est accompagnée par l'explication du mode d'exploitation de l'interface de l'Arduino IDE, ainsi que la manière de programmation.

Dans la partie pratique, nous avons réalisé avec succès un prototype d'une station météorologique connectée à distance.

Cette station est composée d'un ensemble des capteurs qui sont plus utilisés dans les applications des énergies renouvelables et l'agricole pour mesurer des grandeurs très importants, à savoir, la température, l'humidité, la pluie, la précipitation, la pression, l'intensité lumineuse, la vitesse du vent et le bruit. Sachant que nous avons réalisé avec des moyens de bore simple un anémomètre et un pluviomètre. Le microcontrôleur joue le rôle de traitement des données issues des différents capteurs. Dans le but d'envoyer à distance les mesures provenant de la carte Arduino vers le Smart mobile, un module Bluetooth a été associé.

Pour surmonté le problème de portée limité de la technologie Bluetooth, nous avons utilisé un module qui permet d'envoyer les donnés vers une longue distance de la station (LORA).

La conception de ce système est passée par trois étapes principales qui sont : la réalisation des mesures des différents capteurs connectés à la carte Arduino avec le stockage sur une carte mémoire, puis leur transmission à distance vers le Smart mobile à travers le module Bluetooth avec la programmation d'une application Android. Ensuite, la transmission des données à une longue distance qui dépasse 10 km.

En premier étape, nous avons branché chaque capteur sur Arduino, ensuite, nous avons programmé

et test ces capteurs.

Afin de mesurer la précipitation, nous avons fabriqué un prototype qui contient (un entonnoir, un réservoir pour collecter la quantité de pluie qui tombe) en utilisant un capteur spécial pour mesurer la quantité d'eau comme un pluviomètre professionnel. De même, afin de mesurer de la vitesse du vent, nous avons réalisé un système du comptage de la vitesse pour créer un anémomètre. Tous les capteurs ont été schématisés à l'aide de logiciel Fritzing.

Dans la deuxième étape, nous avons créé une communication à distance via Bluetooth. Après ça, nous avons programmé une application d'Android (APP INVOTORE) pour afficher les résultats sur le 'Smart mobile'. Par la suite, nous avons testé avec succès les différents états des capteurs sur le moniteur série de l'Arduino puis sur le 'Smart Mobile'.

D'après la création du système de communication à distance via Bluetooth, nous avons programmé et installé une Unité de stockage des données sur n'importe quelle carte mémoire (carte SD).

Après ça, nous avons programmé et installé des modules radiofréquence Émetteur et récepteur (Lora) utilisé pour améliorer la communication à une long distance et d'envoyer les données.

Nous avons connecté tous les capteurs sur le module Lora placé sur l'Arduino. Puis des tests un par l'autre avec la programmation sur le Arduino IDE sont effectués. L'envoyer des données du module émetteur vers le module récepteur a été également testé pour plusieurs distances différentes. Enfin, nous avons stoker les données sur une carte SD avec l'affichage sur le 'Smart Mobile' sur l'application Android dans les deux côtés.

Comme perspective, on veut prévoir la météo en utilisant cette station.

Nous espérons que ce mémoire sera utile pour les futures recherches.

---

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

---

- [1] Vincent Luyet «Stations météo», Rapport, Février 2010.
- [2] Foudil Zahra; « Réalisation d'un prototype d'une station météorologique dédiée aux applications des énergies renouvelables», Mémoire de Master, Université de Béchar, 2020.
- [3] History of Home Weather Stations: <https://www.acurite.com/learn/history-of-homeweather-stations>. Mise à jour Mai 2021.
- [4] Hilab Mouaiz ;« Réalisation d'une station météorologique à base d'Arduino UNO», Mémoire de master, université de Biskra, 2018.
- [5] Mahmoud Bacha Aissa; « Conception et réalisation d'une plateforme station météo connectée», Mémoire de Master, Université de Boumerdes, Algérie, 2017
- [6] Kara Lydia, GUELLAL Sofiane ; « Conception et réalisation d'un système de mesure et transmission de paramètres météorologiques», Mémoire de Master, Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2018.
- [7] [<http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/parametres-observees/humidite>. Mise à jour Mars 2021.
- [8] [<https://www.pce-france.fr/fiches-mesureurs/station-meteorologique-analogique-domestique-hetre.htm>]. Mise à jour Avril 2021.
- [9] F.Nour Elhouda ,R.Nadjlaa « Réalisation d'une station météo connectée», Mémoire de Master, Université de Aboubakerbelkaid, Telmcen, 2019.
- [10] <https://www.elprocus.com/temperature-sensors-types-working-operation/>Mise à jour Mars 2021.
- [11] <https://www.carnetdumaker.net/articles/utiliser-un-capteur-de-temperature-et-dhumidite-dht11-> ,Mise à jour Avril 2021.
- [12] <http://electroniqueamateur.blogspot.com/2016/06/mesurer-la-pression-atmospherique-avec.html>, Mise à jour Mai 2021.
- [13] <https://fluxworkshop.com/blogs/getting-started/lets-workshop-gy-30-light-intensity-sensor-module-1>, Mise à jour Avril 2021.
- [14] <https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/maths/astuce/tous-niveaux-7/tpe-2010->, Mise à jour Mai 2021.
- [15] T.Hocine/A.Radouwan Cherif « Conception et réalisation d'un robot mobile à base d'Arduino »,Mémoire de master, université **Amar Telidji- Laghout 2014-2015**
- [16] CH.Ahmedcherif, H.Sid Ahmed ; « Conception et réalisation d'une station avec télétransmission», Mémoire de Master, Université de BLIDA de SAAD DAHLAB, 2015.
- [17] <https://www.cours-gratuit.com/cours-arduino/tutoriel-de-programmation-arduino-mega-2560-pdf>, ,Mise à jour Avril 2021.

- [18] <https://boutique.semageek.com/fr/904-anemometre-capteur-de-vitesse-du-vent-analogique-3003451013428.html>, Mise à jour Juin2021.
- [19] R. Imadeddine, A. Yassine, « Etude et réalisation d'une station météo connectée par wifi », Mémoire de master, université MOHAMED BOUDIAF - M'SILA2017.

---

## ANNEXE A- CALCUL DE LA VITESSE DU VENT

---

Dans cette annexe, nous donnons les formules de calcul de la vitesse du vent.

### A. Les formules de calcul de la vitesse

En mettant un point de référence sur une roue. La vitesse angulaire d'une roue en rotation est définie par  $N$ , elle est exprimée en tours par minute [tr/min] ou bien [rpm]. Cette vitesse angulaire peut être convertie en  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$  grâce à la formule suivante :

$$\omega[\text{rad/s}] = \frac{2\pi}{60} N[\text{tr/min}] \quad (\text{A.1})$$

Cela signifie également que la roue tourne de  $\omega$  radians pendant une seconde. Au cours de la même seconde, le point de référence a parcouru une distance de  $R_{\text{ané}} \times \omega$  mètres. Cela implique également que la vitesse de l'objet est aussi égale à  $R_{\text{ané}} \times \omega$ . Alors, la conversion vers la vitesse linéaire [m/s] peut être calculée par la formule suivante :

$$v[\text{m/s}] = R_{\text{ané}} \cdot \omega[\text{tr/min}] = R_{\text{ané}} \cdot \frac{2\pi}{60} N [\text{tr/min}] \quad (\text{A.2})$$

Et vice versa

$$N [\text{tr/min}] = R_{\text{ané}} \cdot \frac{60}{2\pi} \cdot v[\text{m/s}] \quad (\text{A.3})$$

Dans notre application,  $R_{\text{ané}} = 10.45 \text{ cm}$ , donc :

$$v[\text{m/s}] = 10.45 \cdot 10^{-2} \cdot \omega[\text{tr/min}] = 0.0151 \cdot N[\text{tr/min}] \quad (\text{A.4})$$

## ملخص :

في هذا العمل المتواضع، قمنا بتحقيق نموذج أولي لمحطة أرصاد جوية مخصصة لتطبيقات الطاقات المتجددة للحصول على البيانات بفضل مستشعرات مختلفة: درجة الحرارة والرطوبة، مقياس مطر مجسد، الإشعاع الشمسي، الضغط، الضوضاء وسرعة الرياح. يتم توصيلها بلوحة إلكترونية مزودة بوحدة معالجة تتمثل في الأردوينو Arduino حيث تنقل البيانات إلى الكمبيوتر وتخزنها على بطاقة الذاكرة. كما قمنا أيضاً ببرمجة تطبيق أندرويد Android لعرض النتائج وقراءتها عن بعد بصريا وصوتيا على "الهاتف الذكي" أو الجهاز اللوحي.

الكلمات المفتاحية: محطة إرصاد جوية\_أردوينو\_أندرويد

## Résumé :

Dans ce modeste travail, nous avons réalisé un prototype d'une station météorologique dédiée aux applications des énergies renouvelables pour l'acquisition des données grâce aux différents capteurs : température, humidité, pluviomètre réalisé, irradiation solaire, pression, bruit et capteur de vitesse de vent réalisé. Ces derniers sont connectés sur une plaque électronique équipée par une unité de traitement à base de l'Arduino qui assure le transfert des données au PC et les stocke sur une carte mémoire. Nous avons également programmé une application d'Android pour afficher et lire visuellement et vocalement à distance les résultats sur n'importe quel 'Smart mobile' ou tablette.

## **Mots Clés :**

Station météorologique- Arduino- Android-

## Abstract:

In this modest work, we have realized a weather station prototype useful in renewable energies applications in order to obtain data from different sensors: temperature, humidity, realized rain sensor, solar irradiation, pressure, noise and realized wind speed sensor. These latter are connected to an electronic board equipped with an Arduino-based processor unit which transfers data to the PC and stores it in the memory card SD. We have also programmed an Android application to display and read results on any Smartphone or electronic board.

## **Key Words :**

Weather station- Arduino-Android