

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Électronique**

Spécialité : **Électronique industrielle**

Présenté par

AOUDIA Walid

SAMAH Massinissa

Thème

Conception et réalisation d'une station météorologique connectée à base de l'arduino et ESP32

Mémoire soutenu publiquement le 30 / 06 / 2024

devant le jury composé de :

M^{me} AIT ABDELMALEK Ghania..... MCA.....Présidente

M^{elle} OURAHMOUN Ourida MCA.....Encadreur

M^{elle} SIDI SAID Amel.....MAA.....Examinatrice

Promotion : 2023-2024

Remercîment

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Au parcours de ce travail, nous tenons à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous remercions notre promotrice Mme OURAHMOUN Ourida maître de conférence classe A à l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, d'avoir encadré ce travail et pour son aide tout au long de ce parcours, sa gentillesse et ses conseils

Nous tenons également à remercier Mme AIT ABDELMALEK Ghania maitre de conférences classe A à l'Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, pour avoir accepté présider notre mémoire et Mme SIDI SAID Amel maître assistante classe 'A' à l'Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou pour avoir accepté examiner notre mémoire.

Nous tenons enfin, à exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail, ainsi qu'à toute personne qui fera l'effort de lire ce document.

Dédicace

A ma mère et mon père ; Aucune dédicace ne saurait rendre hommage à ce que je vous dois. A travers vos prières, votre confiance indéfectible, votre patience et votre amour vous avez tous fait pour mon bonheur et ma réussite. J'espère que ce travail reflète vos innombrables sacrifices et témoigne de mon amour et de ma gratitude éternelle.

A mes frères ABDELGHANI et YUCEF

Ghani, ta sagesse et ton soutien constant m'ont été d'une aide inestimable tout au long de ce parcours. Merci pour tes conseils avisés et ton encouragement indéfectible.

Youcef, ton inspiration et ta motivation m'ont poussé à donner le meilleur de moi-même. Ta présence, même à distance, a été une source de force et de détermination.

À vous deux, je vous exprime ma profonde gratitude et mon amour fraternel. Ce travail est le reflet de votre influence positive dans ma vie.

A tous mes amis, Pour leurs soutiens et aide dans les moments difficiles.

A toute la promotion électronique industrielle 2024.

A toute ma famille,

Dédicaces

Du plus profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

A mon cher père

Ton amour, ta sagesse et ta force ont façonné la personne que je suis aujourd'hui. Bien que tu sois parti, ton esprit et tes enseignements continuent de m'accompagner dans chaque étape de ma vie. Ce mémoire est le fruit de ton héritage et de tes valeurs, que je chéris profondément.

A ma chère mère,

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

« A vous mes parents, les êtres les plus chères à mes yeux, je vous remercie d'avoir fait de moi celui qui je suis aujourd'hui, aucun mot ni phrase ne pourra exprimer mes respects, mes considérations et ma grande admiration pour vous. Puisse ce travail vous témoigner mon affection et mon profond amour. Merci pour tout et que dieu vous garde pour moi »

À mon cher grand frère Youcef, à son épouse, et à leur adorable bébé Cherif,

Votre présence dans ma vie a été une source inestimable de soutien et d'inspiration. Youcef, ta sagesse et ton dévouement m'ont toujours guidé, et ta famille est un exemple vivant de l'amour et de la solidarité. Cherif, ta venue au monde a apporté une nouvelle lumière dans nos vies, remplissant nos cœurs de joie et d'espoir.

À mon cher frère Rafik, mon ami au-delà des frontières, et à sa femme,

Même à des milliers de kilomètres, notre lien fraternel reste aussi fort que jamais. Tu es plus qu'un frère pour moi, tu es un véritable soutien et guide dans ma vie. Ta présence est une source constante de soutien et de réconfort. Avec ta femme, vous incarnez l'amour et la complicité, malgré la distance.

À mes chères sœurs, Sonia et Ouiza,

Votre amour et votre soutien inconditionnels ont été des piliers essentiels tout au long de ma vie. Sonia, en tant que ma sœur aînée et figure maternelle, tu as été une source précieuse de guidance. Ouiza, tu es toujours là à mes côtés, prête à offrir ton soutien inconditionnel. Sonia, malgré la distance qui nous sépare, tes enfants Léa et Aksel, avec leur innocence et leur joie de vivre, ont illuminé ma vie d'une manière indescriptible.

A mon meilleur ami, et binôme, Walid et sa famille,

Qui a toujours été là pour moi, à me soutenir et à m'encourager. Et pour sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet. Merci.

A ma grand-mère, mes oncles et leurs enfants, ma chère tante,
Que dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous mes cousins et cousines,
Que dieu vous protège et vous offre la chance et le bonheur.

A tous mes amis,
Pour leur soutiens et aide dans les moments difficiles.

A toute la promotion électronique industrielle 2024.

A toute ma famille,

Table des matières

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur les stations météorologiques

I.1 Introduction 4

I.2 Définition des stations météorologiques 4

I.3 Stations météorologiques connectées 5

I.4 Station météo analogique 5

I.5 Station météo numérique..... 5

I.6 Les type de stations météorologiques..... 5

I.6.1 Stations météo analogiques 5

I.6.2 Stations météo professionnelles..... 6

I.6.3 Stations météo portables 7

I.6.4 Stations météo agricole..... 8

I.6.5 Stations météorologiques marines 9

I.7 Les variables des stations météo à mesurer..... 10

I.7.1 Température 10

I.7.2 Humidité 11

I.7.3 Pression Atmosphérique 12

I.7.4 Les précipitations..... 12

I.7.5 Le vent 13

I.8 Conclusion..... 14

Chapitre II : Description du matériel et des logiciels utilisés pour la réalisation de la station météo connectée

II.1 Introduction..... 16

II.2 Définition d'un capteur 16

II.3 Les familles des capteurs 17

II.4 Les différentes classes des capteurs 18

II.4.1 Capteur actif 18

II.4.2 Capteur passif..... 18

II.5 Quelques types des capteurs 19

II.6 Les composants d'une station météorologique	20
II.6.1 Capteur de pression BMP280	20
II.6.1.1 Les caractéristiques du capteur de pression BMP280	20
II.6.2 Capteur de température	21
II.6.3 Capteur d'humidité	22
II.6.4 Capteur de température et le capteur d'humidité DHT22.....	22
II.6.4.1 Les caractéristiques du capteur DHT22	22
II.6.5 Capteur de qualité d'air MQ-135	23
II.6.5.1 Les caractéristiques du capteur de qualité d'air	23
II.6.6 Capteur de détection de pluie.....	24
II.6.6.1 Les caractéristiques du capteur de détection de pluie	24
II.6.7 La résistance dépendante de la lumière (LDR).....	25
II.6.7.1 Les caractéristiques de la résistance dépendante de la lumière.....	25
II.7 La carte ESP32.....	26
II.7.1 Définition	26
II.7.2 Description de la carte ESP32	26
II.7.3 Champs d'applications de l'ESP32	27
II.7.4 Justification du choix	28
II.8 Présentation du logiciel de programmation	29
II.8.1 Arduino IDE.....	29
II.8.2 L'interface du logiciel	29
II.8.3 Les boutons de l'interface du logiciel Arduino IDE	30
II.8.4 Langage de programmation de l'Arduino	31
II.9 Arduino IDE et carte ESP32	32
II.10 Conclusion	34

Chapitre III : Réalisation de la station météorologique

III.1 Introduction	36
III.2 Utilisation du logiciel Fritzing pour les schémas électriques	36
III.3 Test des différents capteurs sur lab d'essai.....	37
III.4 Réalisation du circuit imprimé	37
III.4.1 Les étapes de la fabrication de la plaque.....	38
III.5 Branchement et programmation des capteurs de la station	38
III.5.1 Capteur de pression BMP280	38
III.5.2 Capteur de température et d'humidité DHT22	39
III.5.3 Capteur de qualité d'air.....	40
III.5.4 Capteur de détection de pluie.....	41
III.5.5 Résistance dépendante de la lumière (LDR).....	42
III.5.6 Afficheur OLED	42
III.6 Résultats de la station météorologique réalisée	43

III.6.1 Résultats du BMP280	43
III.6.2 Résultats du DHT22.....	44
III.6.3 Résultats du capteur de qualité d'air	45
III.6.4 Résultats du capteur de détection de pluie	46
III.6.5 Résultats de LDR	48
III.7 Création de la communication à distance	49
III.7.1 Configurer ThinSpeak.....	50
III.7.2 Créer un canal ThingSpeak	50
III.7.3 Configurer l'envoi des données.....	51
III.7.4 Recevoir les données sur le smartphone	52
III.8 Réalisation complète de la station météorologique connectée à distance	55
III.9 Installation de la carte à l'extérieur du laboratoire et affichage des résultats obtenus	57
III.10 Conclusion	61
Conclusion générale.....	63
Références bibliographique	66
Annexes.....	68
Résumé	

Listes des figures

Figure I.1. Station météo	4
Figure I.2 Station météo analogique.....	6
Figure I.3 Station météo professionnelle	7
Figure I.4 Station météo portable	8
Figure I.5 Station météo agricole	9
Figure I.6 Station météo marine.....	10
Figure I.7 Exemple d’affichage de température pour une période de 4 jours	11
Figure I.8 Affichage d’un taux d’humidité de 43% pour une température de 70°F.....	11
Figure I.9 Pression Atmosphérique.....	12
Figure I.10 Précipitations	13
Figure I.11 Le vent	14
Figure II.1 fonctionnement d’un capteur	17
Figure II.2 Capteur analogique	17
Figure II.3 Capteur numérique	18
Figure II.4 Capteur TOR	18
Figure II.5 Capteur de pression BMP280	21
Figure II.6 Capteur de température et d’humidité DHT22	23
Figure II.7 Capteur de qualité d’air	23
Figure II.8 Capteur de détection de pluie	24
Figure II.9 Capteur de luminosité	25
Figure II.10 Carte ESP32	27
Figure II.11 L’interface du logiciel Arduino IDE	30
Figure II.12 Les boutons de l’interface de Arduino IDE	30

Figure III.1 Interface du logiciel Fritzing	37
Figure III.2 Typon de la station	38
Figure III.3 Schéma du branchement du capteur de pression BMP280	39
Figure III.4 Schéma du branchement du capteur DHT22	40
Figure III.5 Schéma du branchement du capteur de qualité d'air	41
Figure III.6 Schéma du branchement du capteur de détection de pluie	41
Figure III.7 Schéma du branchement de l'LDR	42
Figure III.8 Schéma du branchement de l'afficheur OLED	43
Figure III.9 Résultats des mesures du capteur de pression	44
Figure III.10 Résultats des mesures de la température et de l'humidité	45
Figure III.11 Résultats des mesures capteur de qualité d'air	46
Figure III.12 Résultats du capteur de pluie en cas de précipitation	47
Figure III.13 Résultats du capteur en l'absence de pluie	47
Figure III.14 Résultats de mesure de l'intensité de luminosité sous la lumière	48
Figure III.15 Résultats de mesure de l'intensité de luminosité dans un milieu sombre	48
Figure III.16 Interface de la plateforme ThingSpeak	49
Figure III.17 Interface de la plateforme MIT Inventor	52
Figure III.18 Conception de l'écran de l'application Android	54
Figure III.19 Organigramme du fonctionnement de la station	55
Figure III.20 Schéma globale de la station météorologique réalisée	56
Figure III.21 Montage et réalisation réel de la station météorologique	56
Figure III.22 Changement de la Température pour la période allant du 17 juin au 20 juin 2024.....	58
Figure III.23 Changement de la Pression pour la période allant du 17 juin au 20 juin 2024.....	58

Figure III.24 Changement d'altitude pour la période allant du 17 juin au 20 juin 2024.....	59
Figure III.25 Changement de l'intensité de luminosité pour la journée du 22 juin 2024.....	59
Figure III.26 Changement de l'humidité pour la période allant du 17 juin au 20 juin 24 2024.....	60
Figure III.27 Changement du volume de précipitation pour la période allant du 17 juin au 20 juin 2024	60
Figure III.28 Changement de quantité de CO2 dans l'air pour la période allant du 17 juin au 20 juin 2024.....	61

Liste des tableaux

Tableau II.1 Divers types de capteurs	19
Tableau II.2 Les boutons de l'interface de Arduino IDE	31
Tableau III.1 Résultats des mesures du capteur de pression BMP280	44
Tableau III.2. Résultats des mesures de la température et d'humidité.....	45
Tableau III.3: Résultats des mesures du capteur de qualité d'air MQ135	46

Liste des abréviations

PC (Personal computer) : Ordinateur personnel

CVC : Chauffage, climatisation et ventilation

TOR : Tout ou Rien

GPS (Global Positioning System) : Système de positionnement mondial

MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) : systèmes micro-électro-mécaniques

DC (Direct current) : Courant Continu

LDR (Light Dependent Resistor) : résistance de lumière dépendante

IoT (Internet of Things) : Internet des objets

WLAN (Wireless Local Area Network): Réseau Local sans Fil

I2C (Inter-Integrated Circuit) : Circuit Inter-intégré

ADC (Analog-to-Digital Converter) : convertisseur analogique-numérique

DAC (Digital-to-Analog Converter) : convertisseur numérique-analogique

PWM (Pulse Width Modulation) : Modulation de Largeur d'Impulsion

IDE (Integrated Development Environment) : Environnement de développement intégré

OLED (Organic Light-Emitting Diode): Diode Électroluminescente Organique

Introduction générale

L'histoire de la météorologie remonte à l'antiquité. Mais la météorologie scientifique est née au XVII^e siècle avec les premiers instruments de mesure, en particulier le baromètre et le thermomètre. La démarche scientifique peu à peu a permis de définir les grandeurs physiques fondamentales de l'atmosphère et de découvrir les lois qui les régissent [1]. Les longs cheminements de la compréhension des phénomènes atmosphériques, de la connaissance du climat et de la prévision du temps se sont appuyés sur une imbrication de progrès de l'électronique et des techniques de mesure.

Au fil du temps, le perfectionnement des instruments de base et l'invention de nouveaux moyens d'investigation (radars, avion, fusées, satellites artificiels) ont permis d'acquérir une connaissance de plus en plus précise des phénomènes atmosphériques. La météorologie exige l'observation simultanée en un très grand nombre de points de la planète ainsi que la collecte et le regroupement des données pour leur traitement et leur analyse. La météorologie dépend de la collecte de la valeur des variables atmosphériques. Les instruments comme le thermomètre et l'anémomètre ont d'abord été utilisés individuellement, puis souvent regroupés dans des stations météorologiques terrestres. Par conséquent, une station météorologique au sol permet de mesurer et collecter le maximum d'informations sur l'évolution des paramètres météorologiques, cela nous facilite l'observation et le suivi des phénomènes météorologiques.

Dans notre travail nous allons réaliser une station météo de mesure des phénomènes physiques existants. Cette station sera connectée par le réseau WIFI. La station sera composée de plusieurs capteurs tels que : capteur de température, capteur d'humidité, capteur de pression, capteur d'ensoleillement, un détecteur de pluie et un capteur de qualité de l'air.

Pour pouvoir transférer, sans fil, les données mesurées depuis ces capteurs vers un micro-ordinateur (PC), un smartphone et une tablette, nous avons programmé une carte d'acquisition ESP32.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres, comme suit :

- Dans un premier temps, nous commençons par une introduction générale.
- Dans le premier chapitre, nous abordons les différents types de stations météorologiques et quelques paramètres physiques à mesurer avec, et leurs définitions.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude du matériel utilisé pour la réalisation de notre station météo. Notamment les différents capteurs, ensuite nous présenterons une description détaillée de la carte ESP32 utilisée comme microcontrôleur, et le logiciel Arduino IDE utilisé pour la programmation.

- Le troisième chapitre est réservé pour l'étude et la réalisation de notre station météo. Nous présentons les principaux résultats obtenus.
- Enfin, nous terminons notre mémoire par une conclusion générale. Ainsi nous proposons quelques perspectives pour améliorer le système réalisé

CHAPITRE I :
Généralités sur les stations
météorologiques

I.1 Introduction

Aujourd'hui la météorologie joue un rôle très important pour de nombreuses activités humaines qui nécessitent une parfaite connaissance sur les variations des phénomènes climatiques, mais elle était toujours difficile de prévoir les intempéries 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 est un ensemble d'appareils de mesure, constituée de différents capteurs qui enregistrent et fournissent des informations sur plusieurs paramètres climatiques, ces paramètres peuvent être la température, la vitesse du vent, la pluviométrie, etc.

Les stations météorologiques sont utilisées dans plusieurs domaines, tels que la sécurité routière, la navigation aérienne, elles permettent une surveillance optimale des circulations, ce qui assure la sécurité des passagers et du trafic aérien. 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 sont composées généralement d'une maquette sur laquelle des capteurs sont installés. Ces derniers sont reliés à un boîtier qui enregistre et envoi les mesures, généralement via le réseau mobile. La figure I.1 montre un exemple de station de mesure [1].



Figure I.1. Station météorologique

I.3 Stations météorologiques connectées

Certaines stations météo modernes peuvent envoyer en temps réel les données collectées, ce qui permet aux utilisateurs de certaines applications météo d'accéder à des informations météorologiques fiables de n'importe où. Ce type de stations modernes peut aussi être utilisé par des particuliers pour surveiller leurs jardins et surveiller les fermes. Ces stations ont tendance à être plus précises et plus faciles à utiliser.

I.4 Station météo analogique

Il s'agit d'un simple capteur de température/humidité qui accède aux appareils à usage général, un simple capteur de température et d'humidité qui est un type d'analogique certifié autonome qui ressemble à un cadran circulaire avec des aiguilles qui affichent les mesures de température et d'humidité.

I.5 Station météo numérique

Une station météo numérique est un ensemble d'instruments de mesure météorologique qui utilisent des capteurs électroniques pour collecter et enregistrer des données sur les conditions météorologiques. Elles peuvent mesurer une gamme variée de paramètres météorologiques, tels que la température, l'humidité, la pression atmosphérique, la vitesse et la direction du vent, les précipitations, etc. Elles peuvent également inclure des fonctionnalités supplémentaires telles que la connectivité sans fil pour transmettre les données à un ordinateur ou à un service en ligne, des alertes météorologiques, des prévisions météorologiques locales, des graphiques et des historiques de données, entre autres.

Les stations météo numériques offrent généralement une plus grande précision et une plus grande facilité d'utilisation par rapport aux stations météo analogiques. Elles permettent également de stocker et d'analyser des données sur une plus longue période, ce qui est précieux pour la recherche scientifique, l'agriculture, la navigation maritime, la prévision météorologique et de nombreuses autres applications. En raison de leur polyvalence et de leur convivialité, les stations météo numériques sont devenues de plus en plus populaires auprès des particuliers, des professionnels et des organismes météorologiques.

I.6 Les type de stations météorologiques**I.6.1 Stations météo analogiques**

Ce type est souvent une station météorologique en bois avec un cadran d'horloge mural, certains assez petits pour s'asseoir sur un bureau. De nombreux modèles ressemblent à des

stations météorologiques, mais intègrent les dernières technologies. L'échelle la plus intéressante est le baromètre analogique. Les baromètres analogiques sont utiles pour la prédiction. Quelques nuages se créent sur le cadran. Appuyez sur le devant du verre pour supprimer temporairement les nuages. Ce sont de véritables répliques d'une ancienne station météorologique du 18ème siècle [2]. La figure II.2 montre une photo d'une station analogique.



Figure I.2. Station météo analogique [2].

I.6.2 Stations météo professionnelles

Ce type de station météorologique populaire est conçu dans un souci de fiabilité, de durabilité et de précision. Les stations météorologiques professionnelles doivent respecter les normes météorologiques internationales et dépasser les exigences de précision du National Institute of Standards and Technologies. Les stations météo professionnelles de qualité commencent par les meilleures stations météo d'intérieur et utilisent des réseaux multi-stations, des stations météo spécialisées et des répéteurs pour envoyer des informations météorologiques,

parfois sur de longues distances [2]. Un exemple de station météo professionnelle est représenté sur la figure I.3.



Figure I.3. Stations météo professionnelle [3].

I.6.3 Stations météo portables

Une station météo portable est un dispositif compact et facilement transportable conçu pour mesurer et surveiller les conditions météorologiques en divers endroits, que ce soit en intérieur ou en extérieur.

Contrairement aux stations météo fixes qui sont souvent installées à un emplacement permanent, les stations météo portables sont conçues pour être transportées et utilisées là où les utilisateurs en ont besoin. L'observatoire météorologique portable est utilisé par les experts en CVC non seulement pour mesurer le débit d'air et la température, mais également par les chasseurs et les tireurs. Certaines unités comprennent un ordinateur balistique. Les randonneurs et les campeurs peuvent trouver des fonctionnalités haut de gamme telles que les altimètres qui sont utiles dans les événements de sport automobile. Pour stocker les moteurs et pneus pneumatiques et régulés en température [2]. Une photo d'une station météo portable est représentée sur la figure I.4.



Figure .1.4. Station météo portable [4].

I.6.4 Stations météo agricole

Une station météo agricole est une station météorologique spécialement conçue pour répondre aux besoins spécifiques de l'agriculture. Ces stations sont utilisées pour collecter des données météorologiques pertinentes pour la planification et la gestion des activités agricoles, telles que la plantation, l'irrigation, la fertilisation, la gestion des cultures, la lutte antiparasitaire, etc.

Les stations météo agricoles mesurent généralement les mêmes paramètres météorologiques que les stations météo traditionnelles, tels que la température, l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent, les précipitations,...etc. Cependant, elles peuvent également être équipées de capteurs spécifiques adaptés aux besoins agricoles, tels que des capteurs de température du sol, des capteurs d'humidité du sol, des capteurs de rayonnement solaire, etc [2].



Figure I.5. Station météo agricole [5].

I.6.5 Stations météorologiques marines

Une station météorologique marine est un ensemble d'instruments conçus spécifiquement pour mesurer et surveiller les conditions météorologiques dans les environnements marins, tels que les océans, les mers et les lacs. Ces stations sont généralement installées sur des navires, des plates-formes offshore, des bouées océanographiques ou des installations côtières pour collecter des données météorologiques essentielles dans ces régions.

Tous ce qui se trouve à proximité de l'eau salée provoquent des problèmes de corrosion. Les stations météorologiques maritimes doivent être résistantes à la corrosion et étanches à l'air. Ceci s'applique aux stations d'eau et terrestres. Certains fabricants de stations météorologiques suggèrent de rester à moins de 1/4 mile de sous la plage, mais les stations météorologiques de qualité océanique ont tendance à être chères [2].



Figure I.6. Station météo marine [6].

I.7 Les variables des stations météo à mesurer

Il y a plusieurs variables à mesurer dans une station météo : la température, l'humidité, la pression atmosphérique, les précipitations, les radiations solaires et le vent.

I.7.1 Température

Elle est examinée comme une grandeur physique en relation avec le concept de chaleur et de froid immédiats. La température est une manifestation du mouvement des atomes et des molécules à un niveau macroscopique. Par conséquent, une température élevée signifie "l'excitation" de nombreux atomes. L'unité de la température internationale est Kelvin (K). Celsius (°C) est une autre unité commune en Europe. Certains pays anglo-saxons et les États-Unis utilisent une unité différente appelée Fahrenheit (°F). La température minimale dans le système Celsius est de 273,15, ce qui correspond à 0 ° K. La formule de conversion d'unité est la suivante [3] :

- $^{\circ}\text{C} = 0,55 \times (^{\circ}\text{F} - 32)$
- $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15, ^{\circ}\text{F} = 32 + (1,8 \times ^{\circ}\text{C})$.



Figure I.7. Exemple d’affichage de température pour une période de 4 jours [7].

I.7.2 Humidité

Terme décrivant la quantité de vapeur d'eau dans l'air. L'humidité dépend de la température et de la pression barométrique. Plus l'air est chaud, plus il transporte de vapeur d'eau. L'air est dit saturé en vapeur d'eau lorsqu'il contient le maximum de vapeur d'eau qu'il peut transporter à une température et une pression donnée. La comparaison de la quantité de vapeur d'eau dans l'air à la quantité de vapeur d'eau qui peut être retenue lorsque l'air est saturé s'appelle l'humidité relative. Si l'air ne contient que la moitié de la quantité de vapeur d'eau, l'humidité sera de 50 %. L'atmosphère entourée de nuages et de brouillard est saturée d'humidité, auquel cas l'humidité relative est de 100 %. De même, les basses couches d'air au-dessus de l'océan sont presque saturées lorsque l'humidité atteint 100 %. Dans les zones sahariennes et désertiques subtropicales, l'humidité relative chute à seulement 10% [4].



Figure I.8. Affichage d’un taux d’humidité de 43% pour une température de 70°F [8].

I.7.3 Pression Atmosphérique

La pression atmosphérique est la force exercée par l'air sur une surface donnée en raison du poids de la colonne d'air au-dessus de cette surface. Elle est générée par les collisions entre les particules d'air et la surface terrestre ainsi que par la gravité terrestre qui attire l'atmosphère vers le sol. La pression atmosphérique varie en fonction de l'altitude, de la météo et de la masse d'air en mouvement. Elle est souvent mesurée en hectopascals (hPa), en millibars (mb) ou en pouces de mercure (in Hg) [5].



Figure I.9. Pression Atmosphérique [9].

I.7.4 Les précipitations

Les précipitations météorologiques font référence à l'eau qui tombe de l'atmosphère vers la surface terrestre sous forme liquide (pluie) ou solide (neige, grêle). Les précipitations sont un élément crucial du cycle de l'eau sur terre et jouent un rôle essentiel dans de nombreux aspects de la météorologie, de l'hydrologie et de l'écologie [6].

Les précipitations peuvent être classées en plusieurs types :

1. **Pluie** : les gouttes d'eau liquide qui tombent de l'atmosphère vers la surface terrestre.
2. **Neige** : les cristaux de glace qui tombent de l'atmosphère et qui se forment lorsque les températures sont suffisamment basses pour que l'eau se solidifie.
3. **Grêle** : des petits grains de glace qui se forment dans les nuages et qui tombent sous forme de précipitations solides.
4. **Bruine** : de fines gouttelettes d'eau qui tombent de l'atmosphère et qui sont plus petites que les gouttes de pluie.
5. **Averse** : des précipitations de courte durée, souvent intenses, qui se produisent soudainement et peuvent être accompagnées de vents forts.

Les précipitations sont mesurées à l'aide de divers instruments appelés pluviomètres. Ces dispositifs recueillent l'eau tombée sur une surface définie et mesurent ensuite la quantité d'eau recueillie [6].



Figure I.10. Précipitations [10].

I.7.5 Le vent

Le vent est le déplacement horizontal de l'air à la surface de la terre, généralement causé par des différences de pression atmosphérique. Ces différences de pression sont principalement dues au chauffage inégal de la surface terrestre par le soleil, à la rotation de la terre, aux variations de température entre les régions, et à d'autres facteurs géographiques et météorologiques.

Le vent est souvent décrit en termes de sa vitesse et de sa direction. La vitesse du vent est mesurée en unités telles que les kilomètres par heure (km/h) ou les nœuds (unité de vitesse maritime équivalant à un mille marins par heure). La direction du vent indique la direction d'où le vent souffle, généralement exprimée en points cardinaux (nord, sud, est, ouest) ou en degrés (par exemple, vent venant du nord à 30 degrés).

Le vent est un élément essentiel de la météorologie et a un impact sur de nombreux aspects de notre vie quotidienne. Il influence les conditions météorologiques locales, notamment la température, l'humidité, les précipitations, et il peut également affecter la navigation, l'aviation, la dispersion des polluants atmosphériques, la production d'énergie éolienne, etc.

Les instruments utilisés pour mesurer le vent comprennent : les girouettes pour détecter la direction du vent et les anémomètres pour mesurer la vitesse du vent. Ces données sont collectées par les stations météorologiques et sont utilisées pour émettre des prévisions météorologiques, surveiller les conditions météorologiques en temps réel et étudier les climats régionaux et mondiaux [6].



Figure I.11. Anémomètre de détection des paramètres de vent [11].

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des généralités sur les différents types de stations météorologiques. Ainsi que les différents appareils de mesures et de détection des paramètres d'une station météo.

CHAPITRE II :

**Description du matériels et
du logiciel utilisés pour la
réalisation de la station
météo connectée**

II.1 Introduction

Dans le domaine de la météorologie, les capteurs jouent un rôle essentiel en fournissant des données précieuses sur les conditions atmosphériques, aidant ainsi les météorologues à comprendre et à prévoir les phénomènes météorologiques. Les capteurs utilisés dans une station météorologique sont variés et spécialisés, chacun étant conçu pour mesurer un aspect spécifique des conditions météorologiques. Parmi les capteurs les plus couramment utilisés dans une station météorologique, on trouve des capteurs de température, d'humidité, de pression atmosphérique, de vitesse et de direction du vent, de précipitations, de rayonnement solaire, et bien d'autres encore.

L'intégration de ces capteurs dans une station météorologique permet de collecter des données précises sur les conditions météorologiques locales, qui sont ensuite utilisées pour diverses applications, telles que la prévision météorologique, la recherche climatique, l'agriculture, l'aviation, la navigation maritime, la gestion de l'eau, la surveillance environnementale, et bien d'autres encore.

II.2 Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif ayant pour tâche de transformer une mesure physique observée en une mesure généralement électrique qui sera à son tour traduite en une donnée binaire exploitable et compréhensible par un système d'information. Parmi les différents types de mesures enregistrées par les capteurs, on peut citer entre autres : la température, l'humidité, la luminosité, l'accélération, la distance, les mouvements, la position, la pression, la présence d'un gaz, la vision (capture d'image), le son... etc. La notion de 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 la combinaison de plusieurs dispositifs capables de mesurer différentes mesures physiques. En outre, à ces possibilités de mesures multiples, les capteurs actuels ont vu se gérer des fonctionnalités qui leur permettent, en plus de l'enregistrement et de la détection d'événements mesurables, le traitement de ces données et leur communication vers un autre dispositif [7].

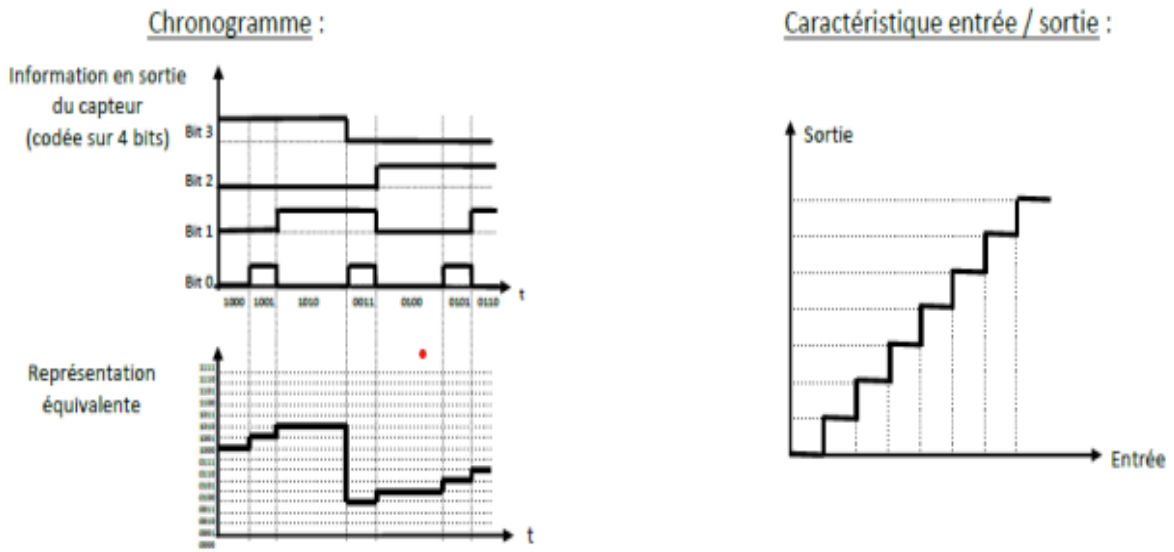


Figure II.3. Capteur numérique.

- **Capteur Tout ou Rien (TOR)** : ces capteurs génèrent une information électrique de type binaire (vrai ou faux, 0 ou 1) qui caractérise le phénomène à détecter. On parle alors plutôt de détecteurs[8].

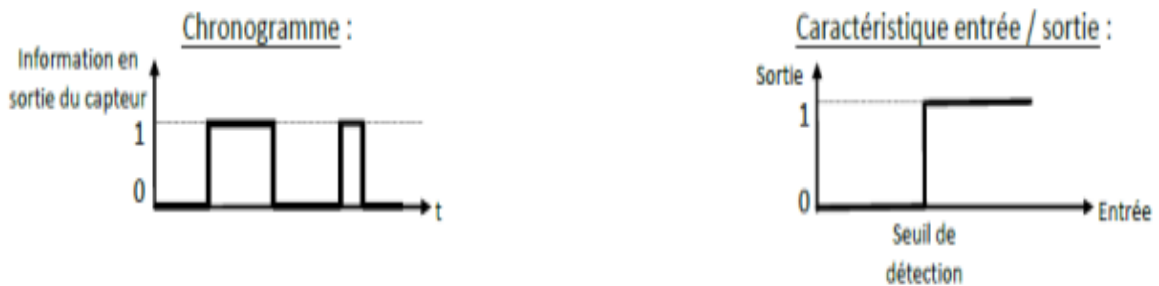


Figure II.4. Capteur TOR

II.4 Les différentes classes des capteurs

II.4.1 Capteur actif

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



II.4.2 Capteur passif

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

- Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteur de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile.
- Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable) [9].

II.5 Quelques types des capteurs

Le tableau II.1 représente quelques types des capteurs.

<p>Inductif</p>	<p>Produisent dans l'axe du capteur un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par un système me constitue d'une self et d'une capacité monte en parallèle. Lorsqu'un objet métallique pénètre ce champ, il engendre une perturbation de ce champ, avec une atténuation du champ oscillant.</p>	
<p>Capacitif</p>	<p>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>	


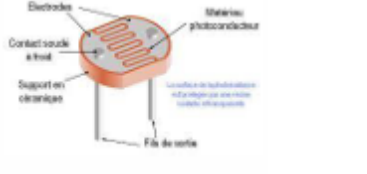
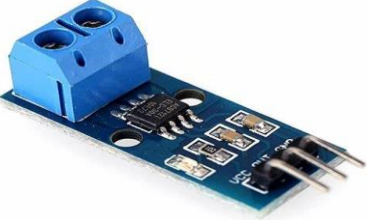
<p>Capteur Photoélectrique ou optique</p>	<p>Ce sont des capteurs à contact. Ils peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple, d'une bille. L'information donnée par ce type du capteur est de type tout ou rien. Elle peut être électrique ou pneumatique.</p>	
<p>Capteur de lumière</p>	<p>Photodiode 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. Divers types de capteurs.

II.6 Les composants d'une station météorologique

II.6.1 Capteur de pression BMP280

Le capteur de pression BMP280 est un dispositif électronique utilisé pour mesurer la pression atmosphérique et la température. Il est souvent utilisé dans diverses applications telles que la météorologie, la navigation GPS, les drones, les montres intelligentes, les smartphones et d'autres dispositifs électroniques.

Le BMP280 est fabriqué par Bosch Sensortec, et il utilise la technologie MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) pour fournir des mesures précises de la pression et de la température. Il est capable de détecter de petites variations de pression atmosphérique et de les convertir en données numériques exploitables par un microcontrôleur ou un processeur [10].

II.6.1.1 Les caractéristiques du capteur de pression BMP280

- Alimentation : 3,3 à 5 Vcc
- Interface I2C :
 - sur connecteur Qwiic ou Stemma QT

- sur pastilles femelles au pas de 2,54 mm
- Interface SPI :
 - sur pastilles femelles au pas de 2,54 mm
- Plages de mesure :
 - température : -40°C à 85°C
 - pression : 30 à 110 kPa
 - altitude : en fonction de la pression
- Précision :
 - température : $\pm 1^{\circ}\text{C}$
 - pression : ± 1 hPa
 - altitude : ± 1 m
- Sortie 3,3 Vcc/100 mA maxi
- Dimensions : 19,2 x 17,9 x 2,9 mm
- Poids : 1,3 g [10].



Figure II.5. Capteur de pression (BMP280).

II.6.2 Capteur de température

Un capteur de température est un dispositif électronique utilisé pour mesurer et détecter les variations de température dans un environnement donné. Cet outil est largement utilisé dans de nombreux domaines tels que la météorologie, l'industrie, la recherche scientifique et même dans la vie quotidienne.

Les capteurs de température se basent sur différents principes de fonctionnement pour mesurer avec précision les changements de température. Certains capteurs utilisent des matériaux sensibles à la chaleur, tandis que d'autres utilisent des propriétés électriques pour convertir la température en signaux électriques.

II.6.3 Capteur d'humidité

Un capteur d'humidité est un dispositif conçu pour mesurer la quantité d'humidité présente dans l'air ou dans un matériau donné. Ces capteurs sont largement utilisés dans divers domaines, notamment la météorologie, la domotique, l'agriculture, l'industrie alimentaire, les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC), ainsi que dans les applications de contrôle de l'environnement.

II.6.4 Capteur de température et le capteur d'humidité DHT22

Le capteur DHT22 est un type spécifique de capteur de température et d'humidité en un. Également connu sous le nom d'AM2302, le DHT22 est un capteur numérique qui permet de mesurer à la fois la température et l'humidité relative de l'air environnant. Il est largement utilisé dans divers projets électroniques et applications, en raison de sa fiabilité et de sa facilité d'utilisation [11].

II.6.4.1 Les caractéristiques du capteur DHT22

- Alimentation 3,3V à 6V
- Consommation de courant de 2,5 mA
- Signal de sortie numérique
- Plage de température de -40 °C à 125 °C
- Précision pour mesurer la température à 25 °C de variation de 0.5 °C
- La résolution pour mesurer la température est de 8 bits, 0,1 °C
- L'humidité peut mesurer de 0% HR à 100% HR
- Humidité précise de 2 à 5% HR pour des températures comprises entre 0 et 50 °C
- La résolution est de 0,1% HR, il ne peut pas capter des variations inférieures à cela
- Taux d'échantillonnage de 2 échantillons par seconde : 2Hz [11].

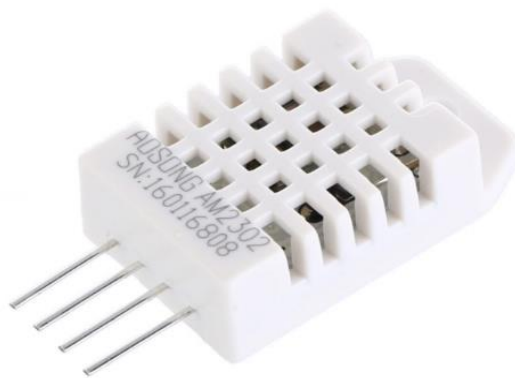


Figure II.6. Capteur de température et d'humidité DHT22.

II.6.5 Capteur de qualité d'air MQ-135

Le capteur de qualité de l'air MQ-135 est utilisé pour détecter les gaz dangereux dans l'environnement. Il utilise un matériau sensible à faible conductivité, l'oxyde d'étain (SnO_2), qui réagit aux gaz présents dans l'air. Ce capteur est idéal pour détecter des gaz tels que l'ammoniac, le sulfure, la vapeur de benzène et la fumée nocive.

Le capteur MQ-135 peut être utilisé pour surveiller les fuites de gaz dans les maisons et les usines. Il convient aux gaz de pétrole liquéfié, au butane, au propane, au méthane et à la fumée, entre autres [12].



Figure II.7. Capteur de qualité d'air.

II.6.5.1 Les caractéristiques du capteur de qualité d'air

- Conception à double panneau de haute qualité
- Sortie de signal TTL numérique et sortie analogique
- Signal de sortie TTL faible
- Tension de sortie analogique proportionnelle à la concentration de gaz
- Facile à installer avec quatre trous de vis de positionnement

- Longue durée de vie et stabilité fiable
- Réponse rapide et caractéristique de récupération
- Tension d'entrée : DC 5V
- Consommation d'énergie : 150mA

II.6.6 Capteur de détection de pluie

Un détecteur de pluie est un dispositif électronique conçu pour détecter la pluie et déclencher automatiquement diverses actions en fonction de cette détection. Ces dispositifs sont couramment utilisés dans les systèmes d'irrigation automatique, les systèmes d'essuie-glaces automatiques des voitures, ainsi que dans les systèmes de surveillance météorologique.

Le fonctionnement d'un détecteur de pluie repose généralement sur la détection de gouttes de pluie ou d'humidité sur une surface spécifique. Lorsqu'il pleut, les gouttes d'eau tombent sur le capteur du détecteur, ce qui provoque un changement dans ses propriétés électriques ou optiques [13]. Le capteur agit comme une résistance variable qui va changer d'état de $100K\Omega$ à $2M\Omega$ lorsqu'il est sec. Malgré ce capteur peut détecter la présence de pluie, mais il ne peut pas mesurer la quantité de précipitation.



Figure II.8. Capteur de détection de pluie.

II.6.6.1 Les caractéristiques du capteur de détection de pluie

- Dimension du capteur : 39 mm x 54 mm

- Tension : 3,3V-5V
- Leds de contrôle

II.6.7 La résistance dépendante de la lumière (LDR)

Une résistance dépendante de la lumière, souvent désignée par l'acronyme LDR (Light Dependent Resistor), est un composant électronique dont la résistance varie en fonction de l'intensité lumineuse à laquelle elle est exposée. Ces dispositifs sont largement utilisés dans de nombreuses applications, allant des systèmes d'éclairage automatique aux capteurs de lumière dans les appareils photo [14].

Dans une station météorologique, un LDR est un capteur utilisé pour mesurer l'intensité de la lumière ambiante. Le LDR fonctionne en modifiant sa résistance électrique en réponse aux variations de la luminosité environnante. Cette caractéristique permet à la LDR de détecter les changements dans la quantité de lumière solaire reçue à un emplacement spécifique et à un moment donné.

Dans le contexte d'une station météorologique, la LDR peut être utilisée pour mesurer la lumière du soleil, ce qui permet de suivre les variations diurnes de l'intensité lumineuse. Ces données peuvent être utilisées pour étudier les modèles climatiques, surveiller les niveaux d'ensoleillement et évaluer les conditions météorologiques locales.



Figure II.9. Résistance dépendante de la lumière.

II.6.7.1 Les caractéristiques de la résistance dépendante de la lumière

Les LDR sont caractérisés par plusieurs spécifications importantes, telles que :

- Sensibilité spectrale : la gamme de longueurs d'onde de la lumière à laquelle la LDR est la plus sensible.
- Résistance en obscurité : la résistance de la LDR est très grande lorsqu'elle n'est pas exposée à la lumière.
- Résistance à la lumière : la résistance de la LDR est très faible lorsqu'elle est exposée à une lumière spécifique. résistance
- Temps de réponse : le temps nécessaire pour que la de la LDR change en réponse à une variation de lumière [14].

II.7 La carte ESP32

II.7.1 Définition

La carte ESP32 est une carte de développement électronique basée sur un microcontrôleur à double cœur, doté de fonctionnalités Wi-Fi et Bluetooth intégrées. La carte ESP32 est largement utilisée dans le développement de projets IoT (Internet des objets), grâce à ses capacités de connectivité sans fil, sa faible consommation d'énergie et sa flexibilité.

La carte ESP32 dispose de nombreux ports d'entrée/sortie (E/S) pour connecter différents capteurs, actionneurs et périphériques, tels que des capteurs de température, des capteurs de lumière, des afficheurs LED, des servomoteurs, etc. Elle est également compatible avec de nombreuses plates-formes de développement logiciel telles que Arduino, Micropython, ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework) et plus encore.

La carte ESP32 est disponible dans une variété de formats et de configurations, allant des cartes de développement simples aux modules intégrés, en passant par les cartes de développement avec écran tactile et les cartes de développement de petite taille pour les projets embarqués. Elle est largement utilisée dans des projets tels que la domotique, la surveillance à distance, la robotique, la sécurité, le contrôle industriel et plus encore [15].

II.7.2 Description de la carte ESP32

La carte ESP32 est développée par la société Espressif, est une carte de développement à faible coût dédié à l'internet des objets (IoT) et les applications embarquées. Le module ESP32 est une petite carte électronique, appelée microcontrôleur, facile à prendre en main grâce à ses ressemblances avec la carte Arduino qui est bien plus répandue. C'est un SOC développé par la société Espressif dédié à l'internet des objets (IoT) et plus particulièrement les

communications sans fil Wifi et Bluetooth pour un coût réduit. Il a été décliné en version module l'ESP-WROOM-32 qui a lui-même été intégré par différents fabricants (Essentiellement Chinois) sur des cartes de développement. L'ESP 32 Wroom est le petit dernier de la famille des ESP de Espressif. C'est une gamme de cartes de développement particulièrement à la mode en ce moment car leur prix mini, leur faible consommation et leur petite taille en font un produit idéal pour la réalisation de petits projets IoT.

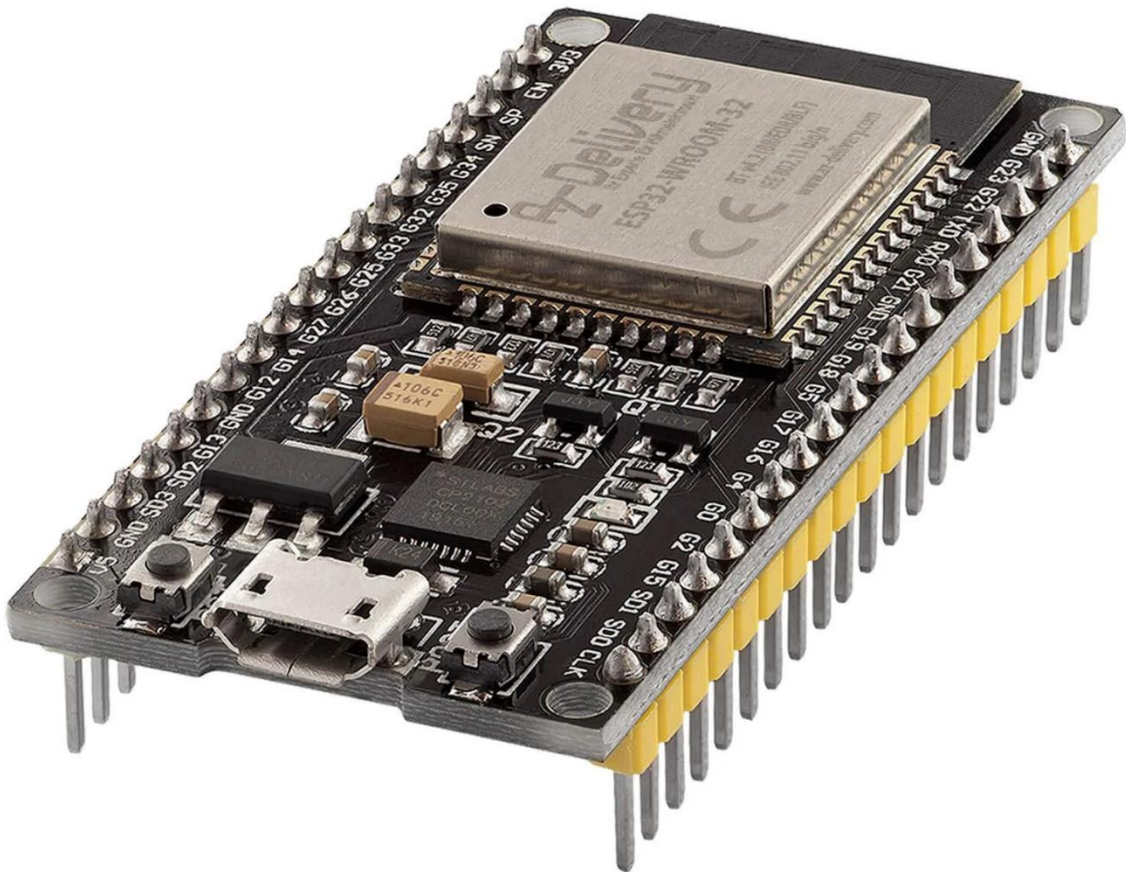


Figure II.10. Carte ESP32.

II.7.3 Champs d'applications de l'ESP32

Voici quelques domaines d'application de l'ESP32

- **Domotique** : l'ESP32 peut être utilisé pour créer des systèmes de domotique, permettant de contrôler à distance les lumières, les appareils électroménagers, le chauffage, la climatisation, etc.

- **Surveillance et sécurité** : en utilisant les capacités sans fil de l'ESP32, il est possible de créer des systèmes de surveillance à distance, tels que des caméras de sécurité, des systèmes d'alarme, des capteurs de mouvement, etc.
- **Systèmes de suivi et de localisation** : l'ESP32 peut être utilisé pour créer des systèmes de suivi et de localisation en temps réel, tels que des trackers GPS, des dispositifs de suivi des animaux domestiques et des systèmes de suivi de véhicules.
- **Contrôle** : l'ESP32 peut être utilisé dans le domaine de contrôle, tels que les robots, les drones, les jouets télécommandés, etc.
- **Automatisation industrielle** : l'ESP32 est utilisé dans des applications d'automatisation industrielle pour surveiller et contrôler les machines et les processus de fabrication.
- **Dispositifs audios** : l'ESP32 dispose de capacités audios intégrées, ce qui le rend idéal pour la création de projets liés à l'audio et à la musique, tels que des lecteurs audio Wi-Fi, des haut-parleurs intelligents, des synthétiseurs, etc.
- **Réseaux de capteurs** : l'ESP32 peut être utilisé pour connecter des capteurs au sein d'un réseau, tels que des capteurs de température, d'humidité, de luminosité, de mouvement, etc., qui peuvent communiquer avec d'autres appareils via WLAN ou Bluetooth. C'est dans ce domaine que notre projet s'inscrit.

II.7.4 Justification du choix

Dans notre projet, nous avons choisi l'ESP32 comme microcontrôleur parmi plusieurs autres circuits en se basant sur un certain nombre de paramètres. En effet, l'ESP32 présente les avantages qui en font un choix populaire pour de nombreux projets IoT :

- **Connectivité Wi-Fi et Bluetooth** : l'ESP32 dispose d'une connectivité Wi-Fi intégrée, ce qui permet aux appareils de se connecter facilement. Il prend également en charge le Bluetooth, offrant ainsi des options supplémentaires de connectivité sans fil.
- **Puissance de traitement** : l'ESP32 est équipée d'un processeur dual-core à haute fréquence de 240 MHz, ce qui lui confère une puissance de calcul supérieure par rapport à certains autres microcontrôleurs. Cela permet d'exécuter des applications plus complexes et de traiter des tâches simultanément.
- **Faible consommation d'énergie** : l'ESP32 est conçu pour être économe en énergie, ce qui le rend adapté aux projets nécessitant une efficacité énergétique. Il offre également des modes de veille avancée pour réduire davantage la consommation d'énergie en absence de transmission.

- **Grande capacité de mémoire** : l'ESP32 dispose d'une mémoire flash intégrée de 4 Mo qui offre suffisamment d'espace pour le stockage du programme et des données. Il est également équipé d'une mémoire RAM de 520 Ko qui permet d'exécuter des applications complexes.
- **Polyvalence des interfaces** : l'ESP32 offre une gamme complète d'interfaces périphériques, notamment des interfaces UART, I2C, SPI, ADC, DAC, PWM, etc. Cela permet de se connecter facilement à une variété de capteurs, d'actionneurs et d'autres dispositifs.
- **Communauté et documentation active** : l'ESP32 bénéficie d'une communauté de développeurs active et de nombreuses ressources en ligne. Il existe de nombreuses bibliothèques, tutoriels et exemples de projets disponibles, ce qui facilite le développement et l'apprentissage.
- **Coût abordable** : comparé à certains autres microcontrôleurs avec des fonctionnalités similaires, l'ESP32 offre un excellent rapport qualité-prix. Il est relativement abordable, ce qui est en fait un choix économique pour les projets de développement commercial.

II.8 Présentation du logiciel de programmation

II.8.1 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, le téléversement dans la carte Arduino et plusieurs bibliothèques. L'IDE existe pour les trois systèmes d'exploitation Windows, MacOS X, Linux [16].

L'IDE Arduino permet :

- D'éditer le code
- De compiler ce code dans le langage de l'Arduino
- De communiquer avec le microcontrôleur grâce au terminal
- De téléverser dans le microcontrôleur.

II.8.2 L'interface du 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 utilisé 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 II.11.

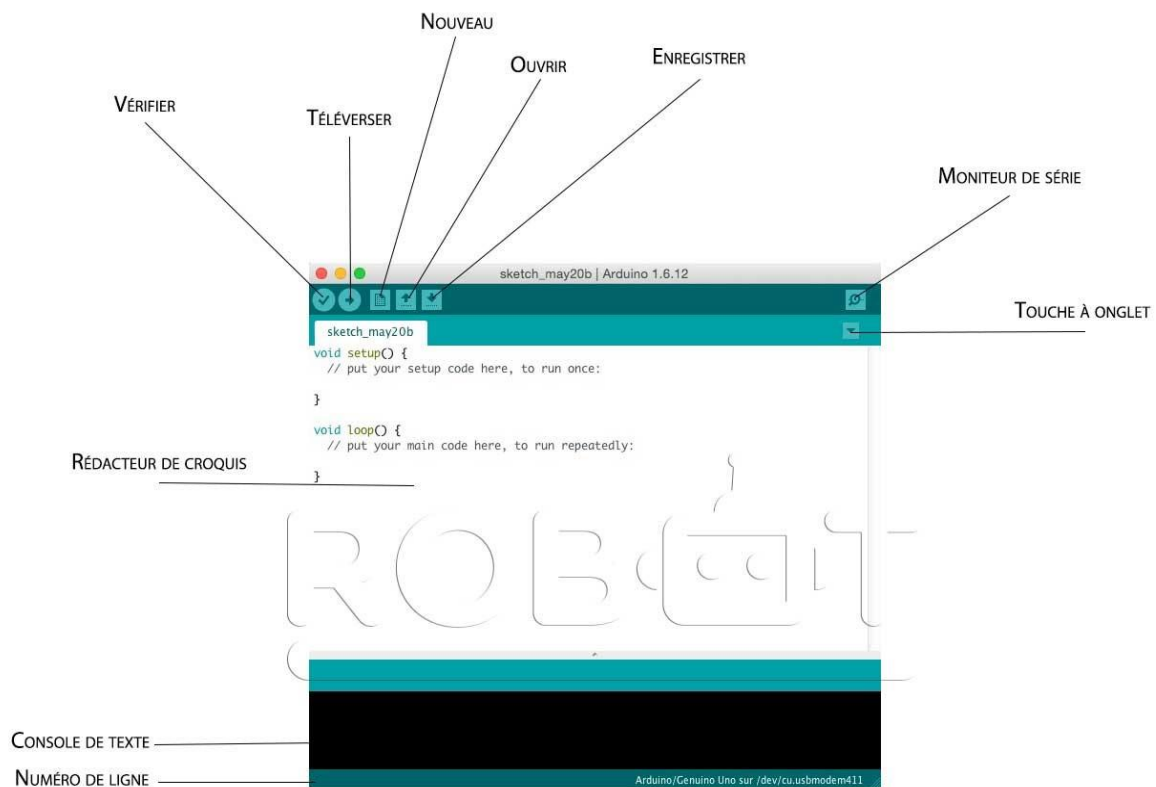


Figure II.11. L'interface du logiciel Arduino IDE.

II.8.3 Les boutons de l'interface du logiciel Arduino IDE

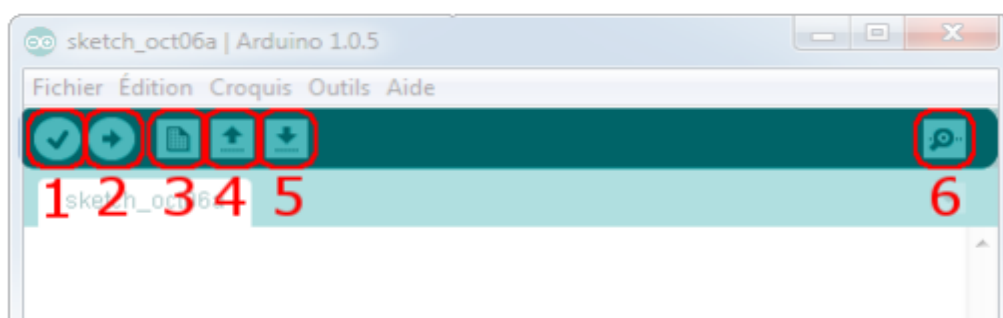


Figure II.12 Les boutons de l'interface de Arduino IDE.

Le tableau II.2 représente les fonctions de chaque bouton de l'interface Arduino IDE :

Bouton 1	Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme.
Bouton 2	Charge (téléverse) le programme dans la carte
Bouton 3	Créer un nouveau fichier
Bouton 4	Charger un programme existant
Bouton 5	Sauvegarder le programme en cours
Bouton 6	Permet à accéder au port série

Tableau II.2. Les boutons de l'interface de Arduino IDE

II.8.4 Langage de programmation de l'Arduino

Le langage de programmation Arduino est très similaire au C, C ++, un langage courant dans le monde informatique. Le langage Arduino peut être divisé en trois parties principales : structures, valeurs (variables et constantes), et fonctions. L'écriture des codes Arduino se fait en anglais.

Un programme Arduino comporte trois parties :

- déclaration des variables (optionnelle)
- configuration des entrées/sorties : la fonction `setup ()` ; contient toutes les opérations nécessaires à la configuration initiale de la carte (entrées/ sorties, débits de communications série, etc.).
- principale qui s'exécute en boucle : la fonction `loop ()` ; elle exécute la 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.

Lorsque le code est écrit dans Arduino IDE, certains mots apparaissent en différentes couleurs qui clarifient le statut des différents éléments.

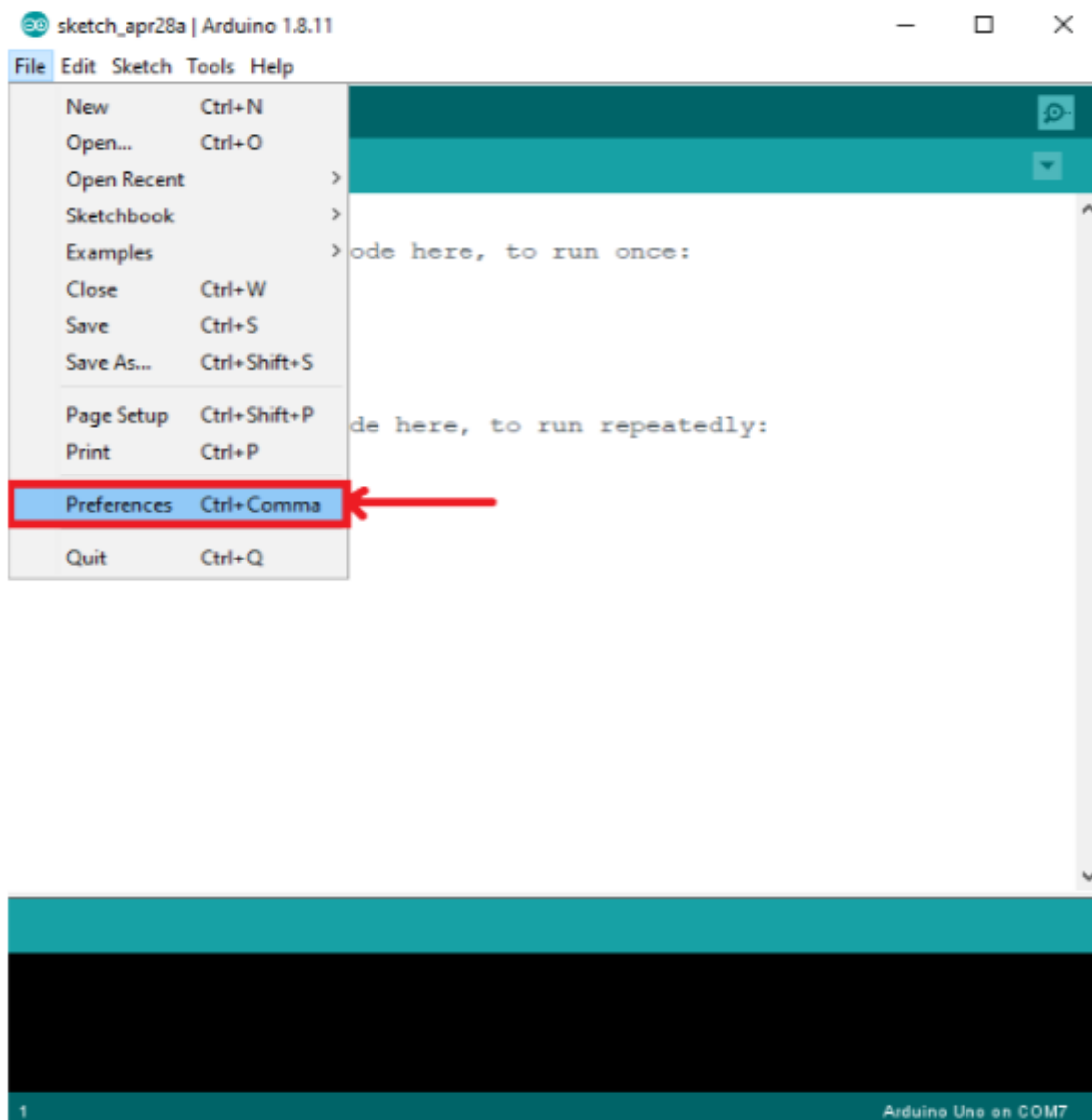
- **En orange**, apparaissent les mots-clés reconnus par le langage Arduino comme des fonctions.

- *En bleu*, apparaissent les mots-clés reconnus comme des types de données ou constantes.
- *En vert*, apparaissent les mots-clés reconnus par le langage Arduino comme structure.
- *En gris*, apparaissent les commentaires qui ne seront pas exécutés dans le programme [17].

II.9 Arduino IDE et carte ESP32

Dans notre projet nous avons programmé la carte ESP32 avec le logiciel Arduino IDE, et nous avons suivi les étapes suivantes :

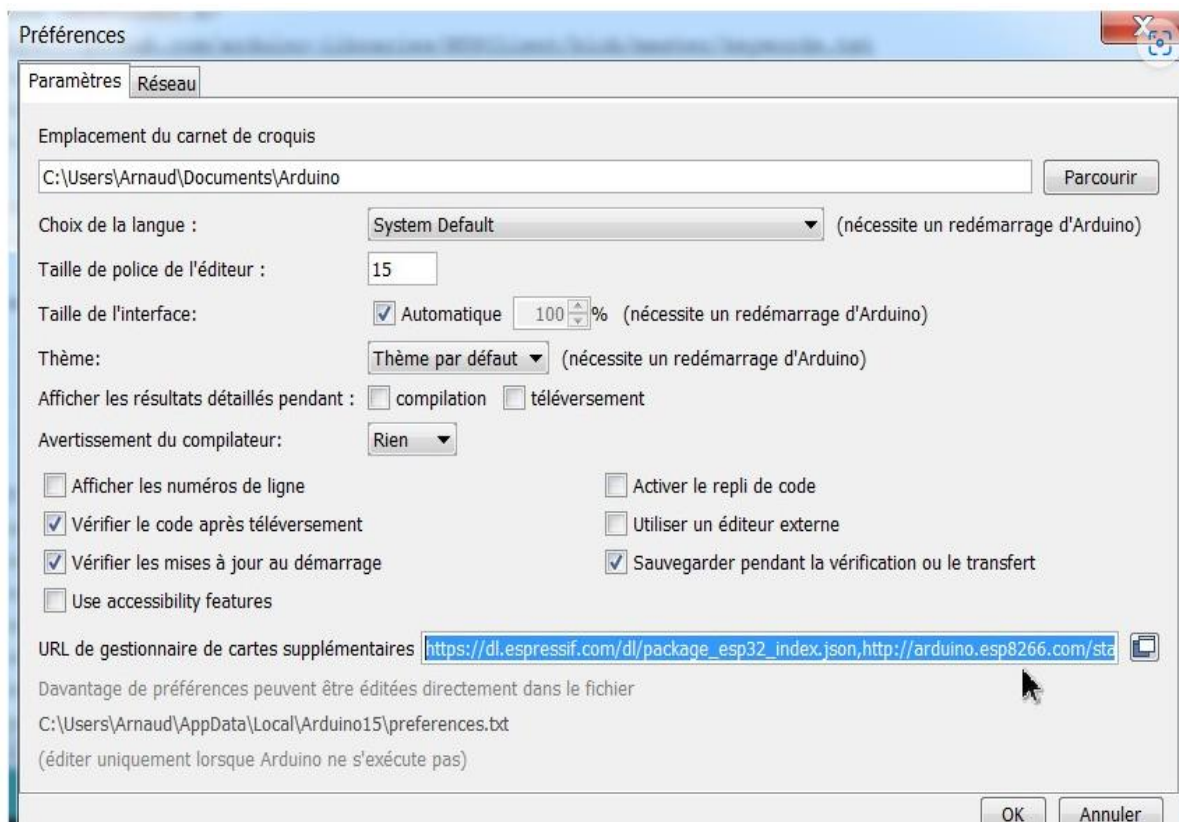
- On ouvre le programme Arduino IDE et dans la barre des menus on choisit “File” après “préférences”.



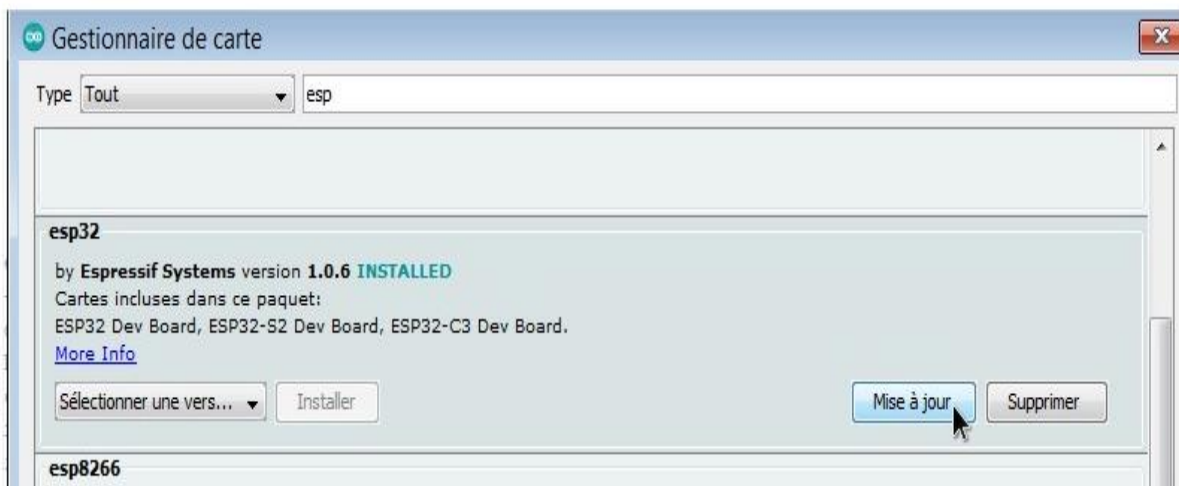
- Dans URL de gestionnaire de cartes supplémentaires copier :

https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json,http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json

https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json



- On clique sur “OK”.
- Aller dans Outils – Type de carte – Gestionnaire de cartes
- Chercher les cartes esp (barre de recherche) ... puis installer les ESP32 et ESP8266 et mettre à jour.



- Ensuite dans le Menu Outils – Type de carte, sélectionner la bonne carte[18].

II.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit brièvement les différents capteurs utilisés pour la réalisation de notre station météorologique. Ainsi, une présentation de la carte ESP32 a été faite en donnant tous les détails techniques de cette dernière. 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 ESP32 pour réaliser un prototype d'une station météo qui est notre objectif.

CHAPITRE III :
Réalisation de la station
météorologique

III.1 Introduction

Le besoin d'observer et de contrôler des phénomènes physiques, tels que la température, la pression, l'humidité ou encore la luminosité, est essentiel pour de nombreuses applications industrielles et scientifiques, cette nécessité nous a dirigé de réfléchir à la réalisation d'une nouvelle station météo qui peut mesurer ces grandeurs et les envoyer vers un ordinateur par une connexion sans fil (wifi) en utilisant une carte ESP32.

Dans ce chapitre nous allons donner une description détaillée sur le mode de fonctionnement de ces capteurs dans notre station et comment on peut les connecter avec la carte ESP32, ensuite on va développer une application de type Internet des Objets pour utiliser le site *ThingSpeak*, qui va nous permettre de connecter notre système par wifi. On va présenter à la fin de ce chapitre les résultats obtenus après la réalisation de cette station.

III.2 Utilisation du logiciel Fritzing pour les schémas électriques

Le logiciel Fritzing est un outil de réalisation de projets électroniques, il permet aussi l'édition de circuits imprimés, il est disponible gratuitement sur internet. Il a notamment pour vocation de favoriser l'échange de circuits électroniques libres et d'accompagner l'apprentissage de la conception de circuits. Le logiciel comporte trois vues principales :

- *La « Platine d'essai »*, où on voit les composants tels qu'ils sont dans la réalité et où 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 [19].

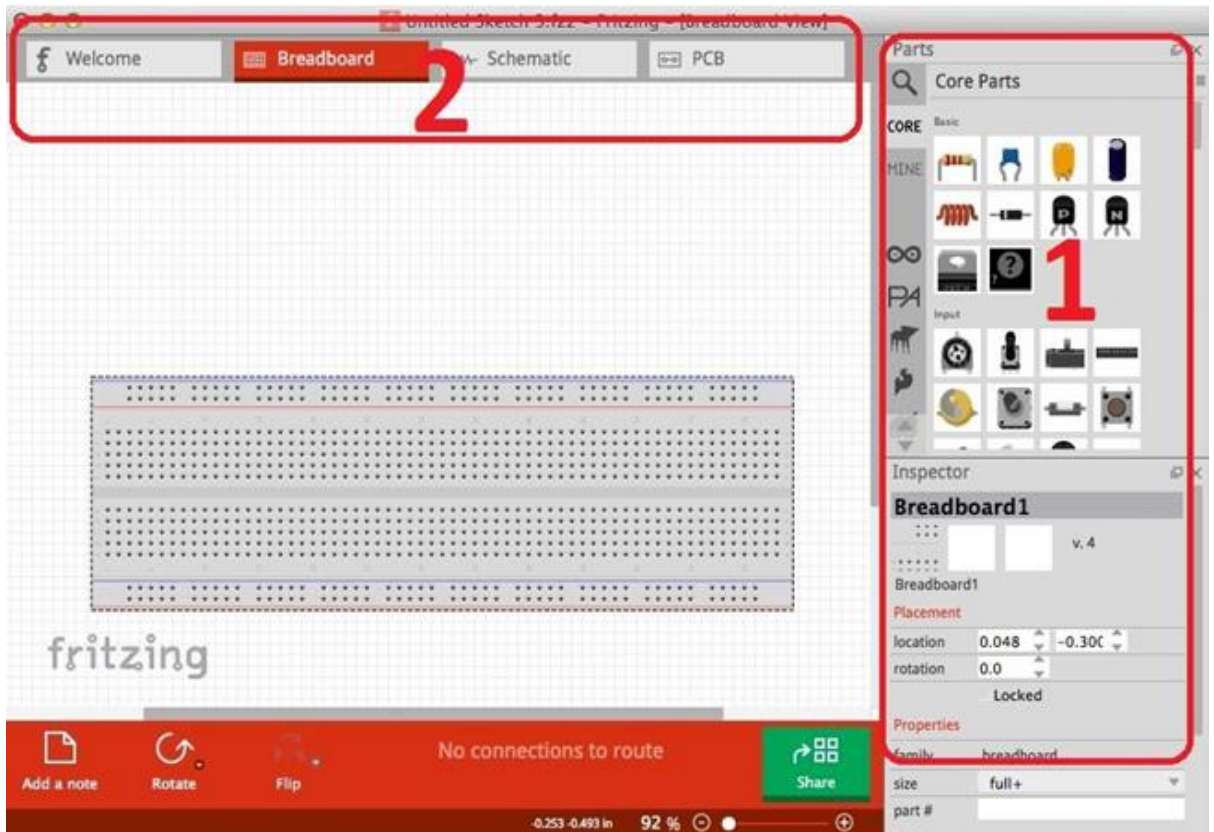


Figure III.1. Interface du logiciel Fritzing.

III.3 Test des différents capteurs sur lab d'essai

Avant de procéder au routage et à l'impression du typon, nous avons testé et programmé avec Arduino indépendamment le bon fonctionnement des différents capteurs sur lab d'essai. Puis nous avons analysé les résultats obtenus.

Pour cela, nous avons implanté les composants constituant la station sur le lab d'essai, nous avons par la suite effectué les liaisons entre les composants en suivant le schéma de simulation.

III.4 Réalisation du circuit imprimé

Après des tests concluants sur le lab d'essai, on passe à la réalisation du circuit imprimé qui consiste en une plaque permettant de relier un ensemble de composants électroniques entre eux. Ce circuit imprimé ne peut être réalisé que si on possède un typon. Ce dernier est un dessin des pistes et des pastilles réalisées à l'aide du module *ARES de Proteus*, puis imprimé sur un support transparent (calque). Il est utilisé lors de la première étape de fabrication du circuit imprimé. La figure III.2 représente le typon de la station.

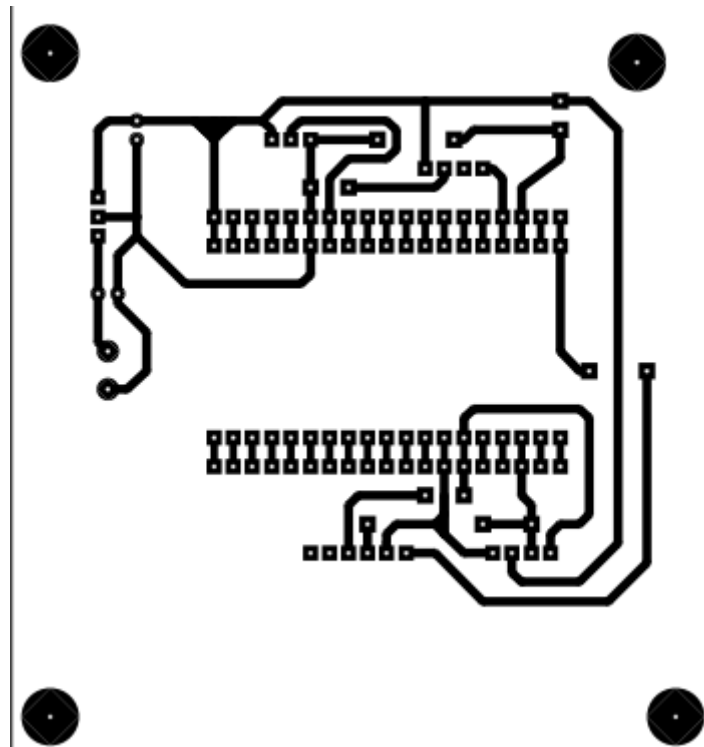


Figure III.2. Typon de la station

III.4.1 Les étapes de la fabrication de la plaque

- **Insolation** : On place le typon sur la plaque pré-sensibilisée au contact de la résine photosensible. L'ensemble est placé dans une insoleuse UV pour une exposition pendant quelques minutes à une lumière ultraviolette.
- **La révélation** : En second lieu, on met la plaque insolée dans un bac contenant du révélateur. Les zones de résine fragilisées par la lumière ultraviolette seront détruites.
- **La gravure** : Après l'étape révélation, on place la plaque dans un bac contenant du perchlorure de fer qui va dissoudre les parties de la couche de cuivre non protégées par la résine.

III.5 Branchement et programmation des capteurs de la station

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

III.5.1 Capteur de pression BMP280

Le capteur BMP280 peut mesurer la pression atmosphérique, l'altitude et la température. Nous avons programmé ce module pour donner la pression atmosphérique en

atmosphère, et l'altitude en mètre. La figure III.3 représente le schéma de branchement et le montage réalisé.

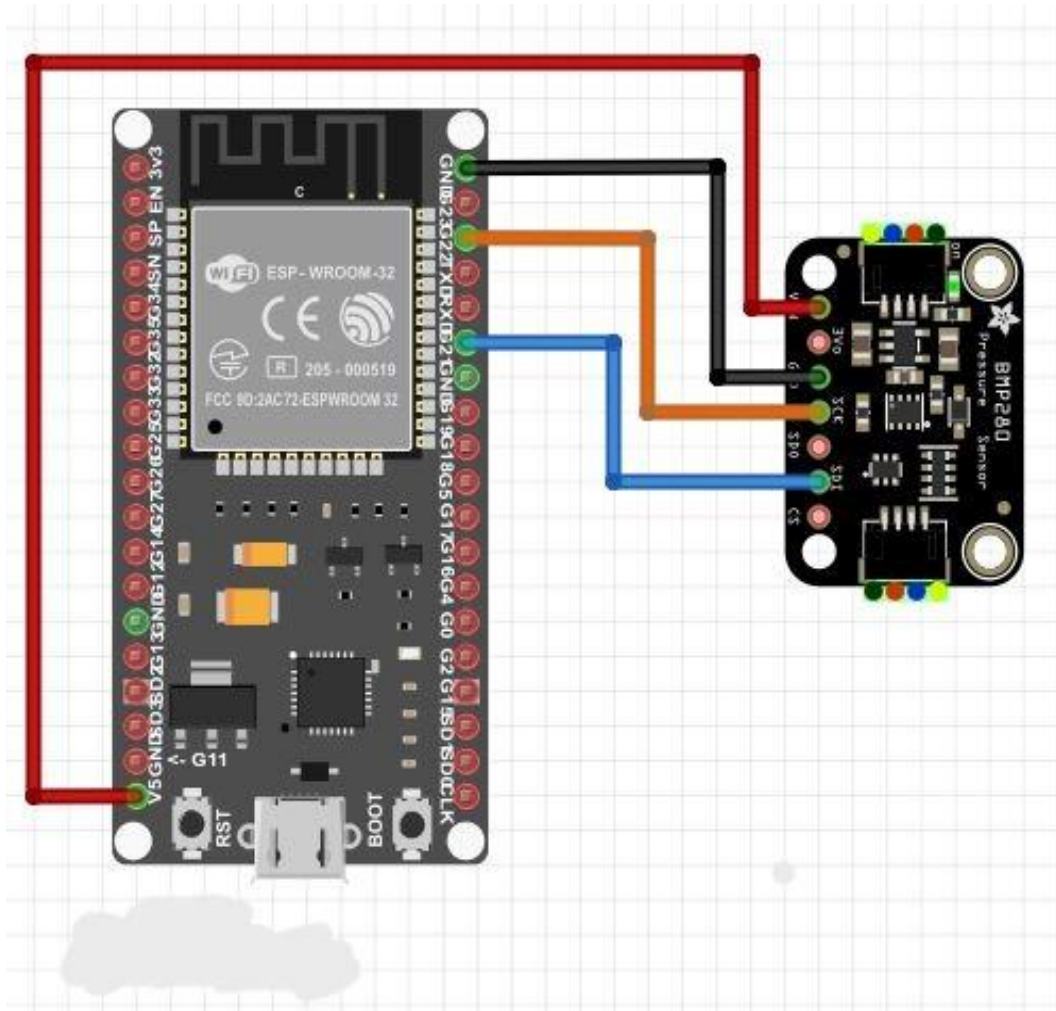


Figure III.3 : Schéma du branchement du capteur de pression BMP 280.

III.5.2 Capteur de température et d'humidité DHT22

Le capteur DHT22 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.

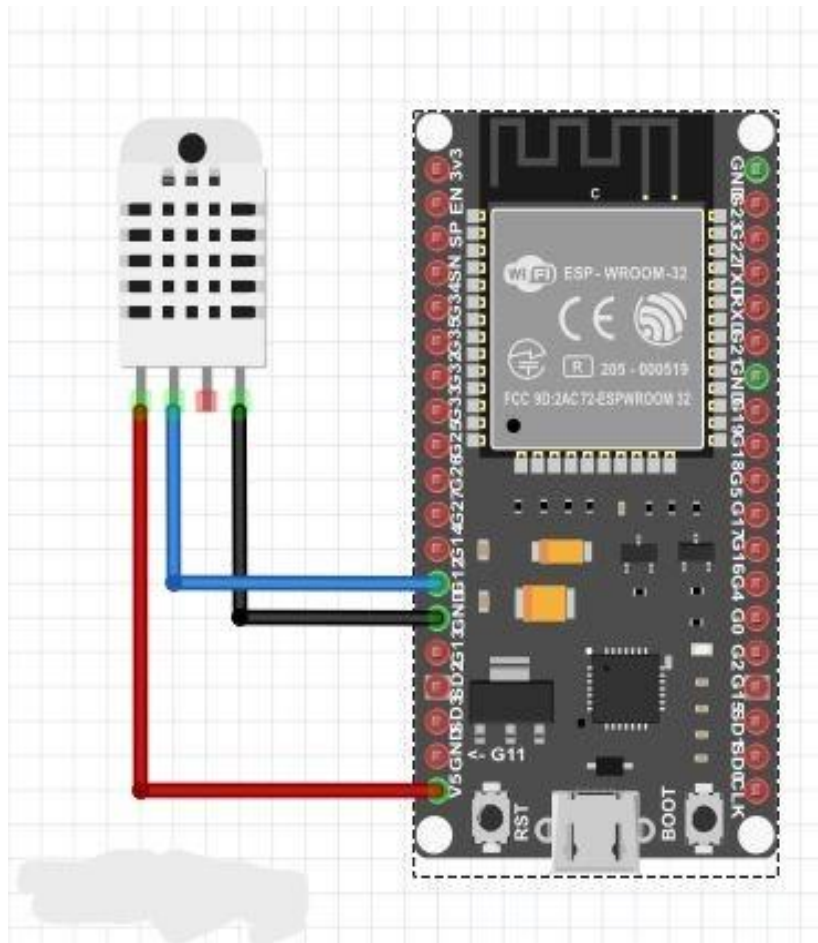


Figure III.4. Schéma de branchement du capteur DHT22.

La connexion de ce capteur est très simple, il suffit de relier le premier pin à gauche à l'alimentation 5V, le pin central sur un pin de la carte ESP32 déclaré comme entrée INPUT, et le pin de droite à la masse GND.

III.5.3 Capteur de qualité d'air

Ce capteur peut détecter les gaz dangereux dans l'environnement tels que l'ammoniaque, le sulfure et la fumée nocive. Nous l'avons programmé pour surveiller les fuites de gaz dans les maisons et les usines.

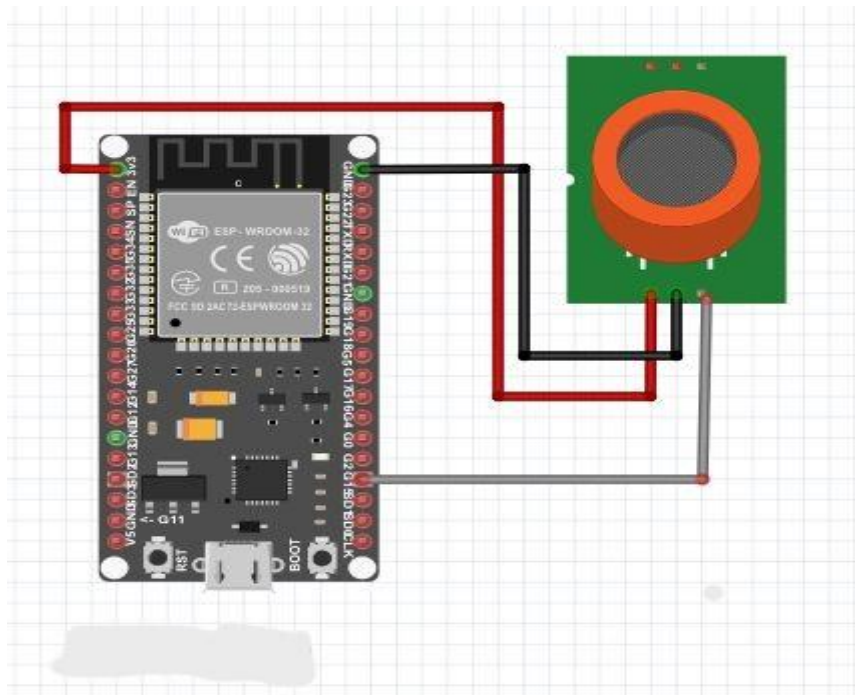


Figure III.5. Schéma de branchement du capteur de qualité d'air.

III.5.4 Capteur de détection de pluie

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

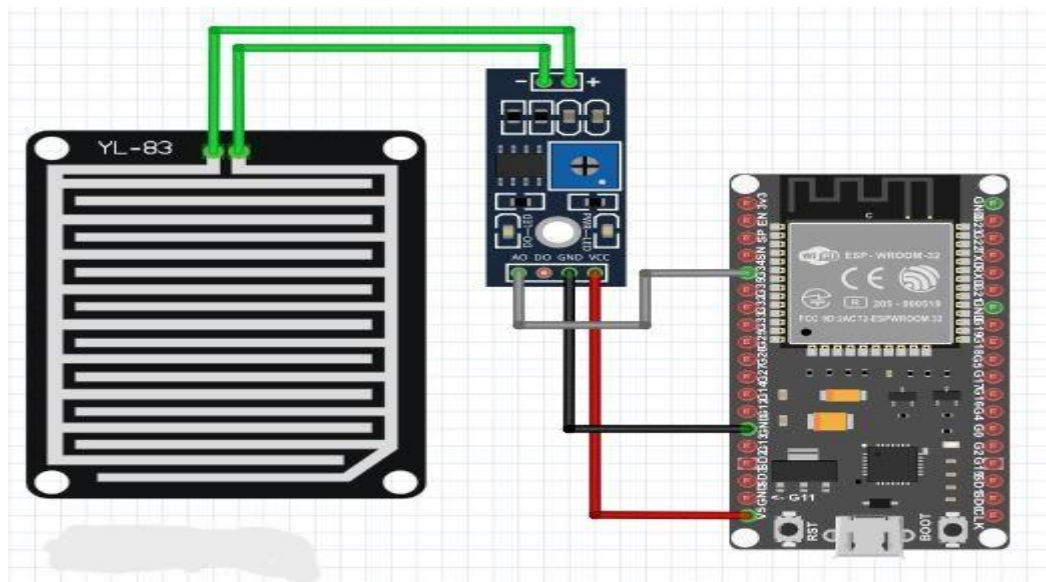


Figure III.6. Schéma de branchement du capteur de détection de la pluie.

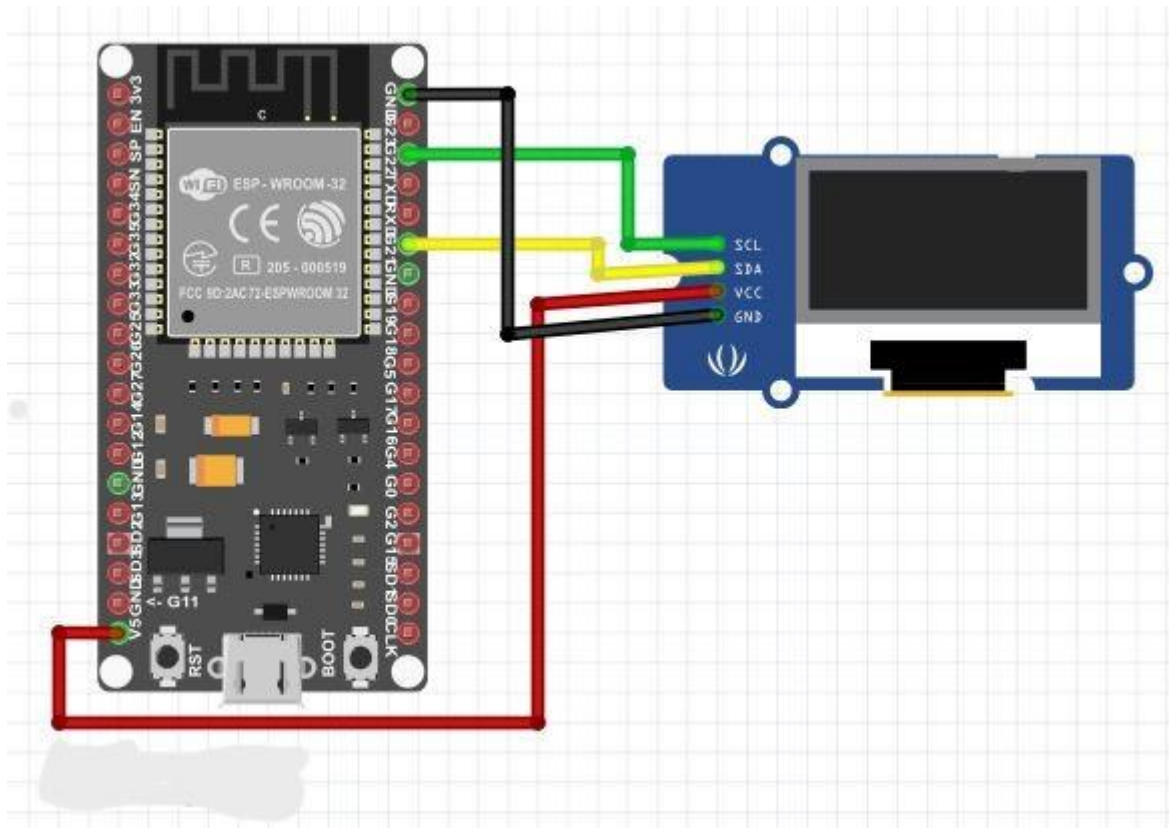


Figure III.8. Schéma de branchement de l'afficheur OLED.

III.6 Résultats de la station météorologique réalisée

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

III.6.1 Résultats du BMP280

Les résultats du capteur de pression sont présentés sur la figure III.9, et le tableau III.1.

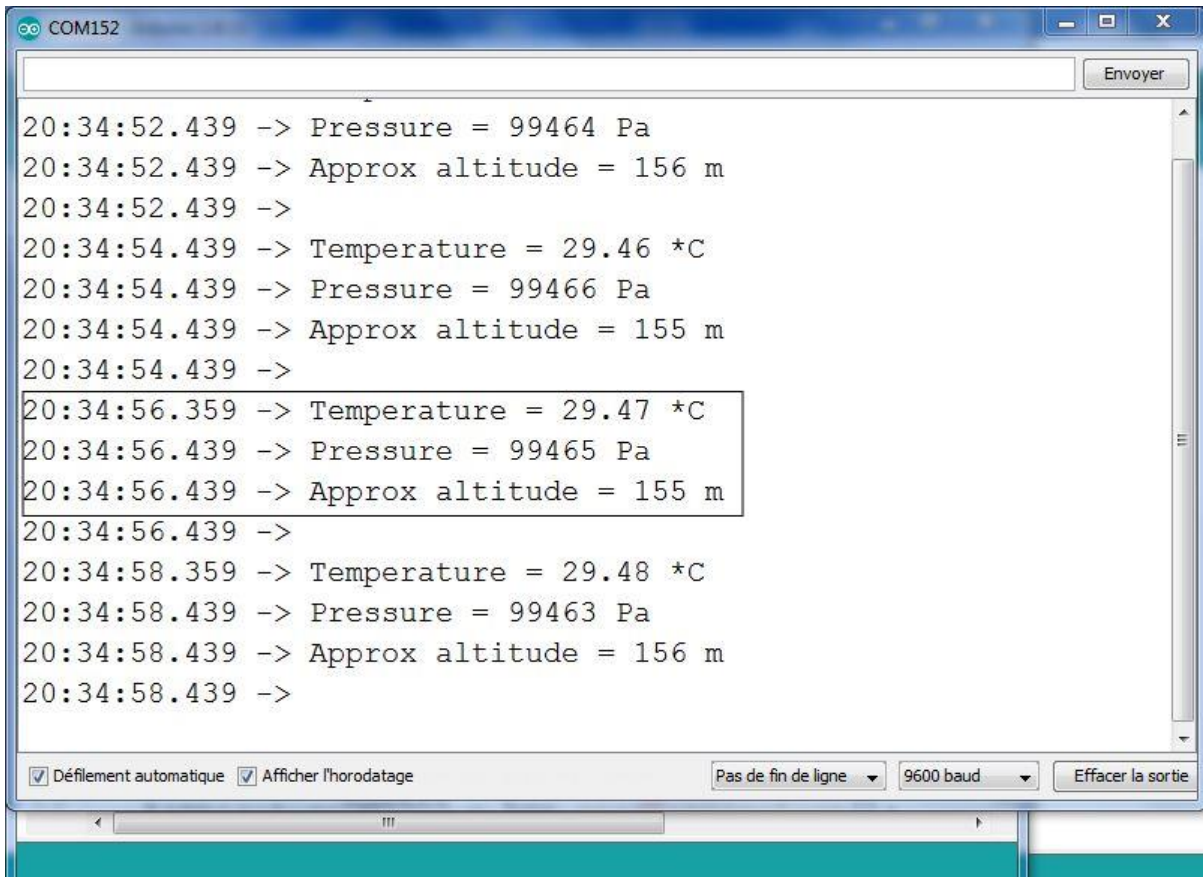


Figure III.9. Résultats des mesures du capteur de pression

L'altitude (provided altitude)	155 m
Température	29.47°C
Pression	99463 Pa

Tableau III.1. Résultats des mesures du capteur de pression BMP280.

Nous constatons que les mesures réalisées avec le BMP280 sont précises et fiables. La température en degrés Celsius (°C) de l'ordre de 29.47°C, et la pression en Pascal (Pa) de l'ordre de 99.463hPa, et l'altitude en Mètre(m) est de 155 m.

III.6.2 Résultats du DHT22

Les résultats du capteur de température et d'humidité, sont représentés sur la figure III.10, et le tableau III.2. La température est de l'ordre de 29.1 °C et l'humidité est de l'ordre de 61.40%.

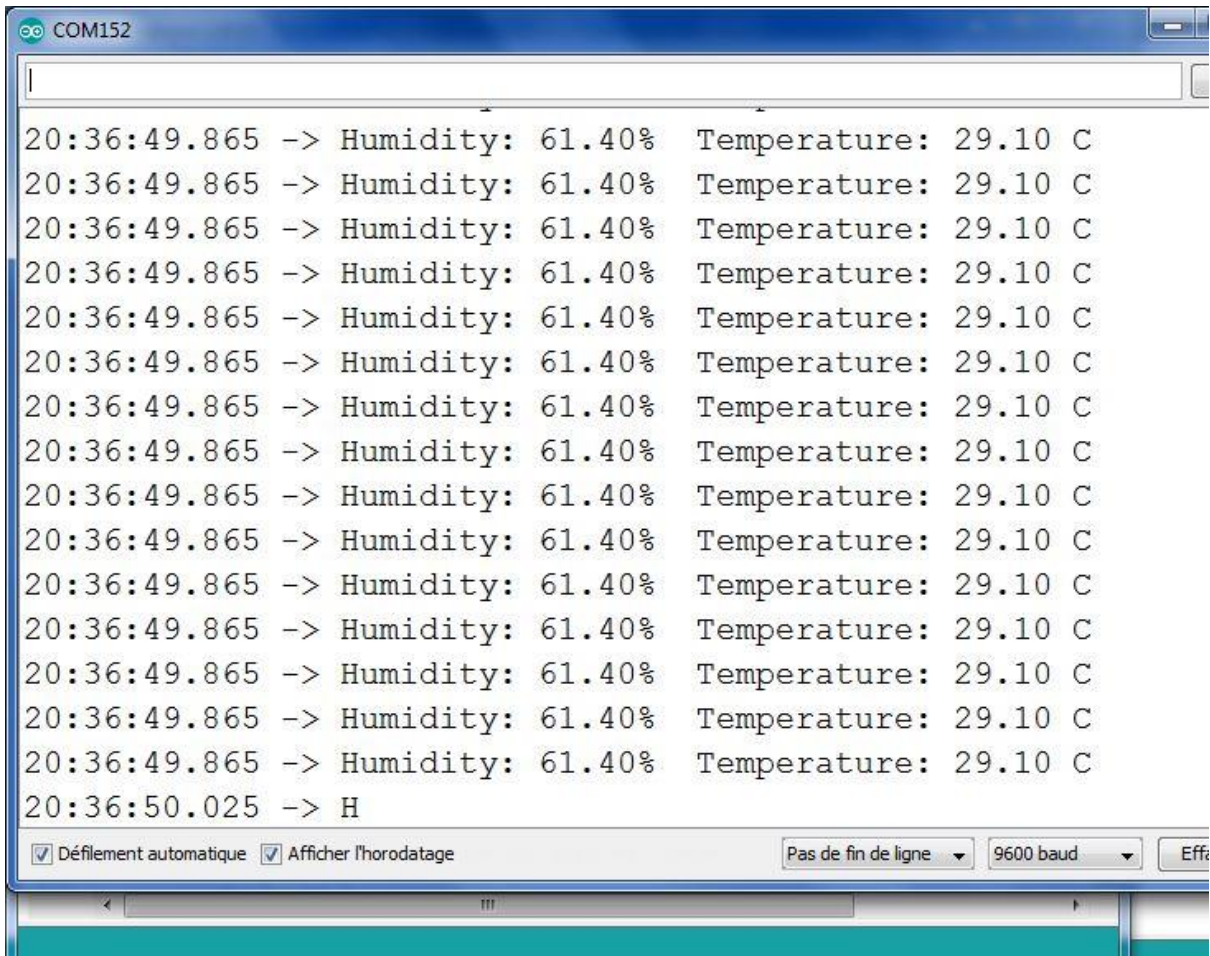


Figure III.10. Résultats des mesures de la température et de l’humidité

Température (°C)	Humidité (%)
29.10	61.40
29.10	61.40

Tableau III.2. Résultats des mesures de la température et de l’humidité

Nous observons que les mesures sont bien effectuées. L’humidité est affichée en pourcentage (%), 61.40%, alors que la température est affichée en degré Celsius (°C), 29.10°C.

III.6.3 Résultats du capteur de qualité d’air

Les résultats du capteur de qualité d’air sont représentés sur la figure III.11 et le tableau III.3.

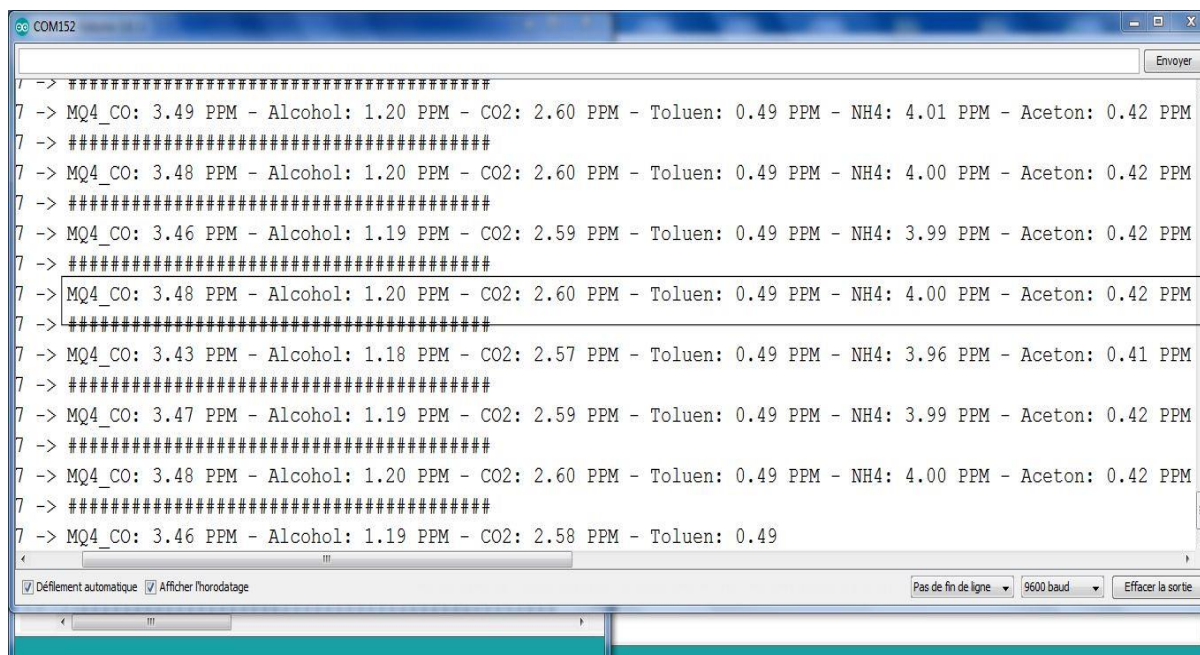


Figure. III.11. Résultats des mesures du capteur de qualité d’air.

Qualité d’Air	Quantité d’Air (PPM)
MQ4_CO	3.46
Alcohol	1.20
CO2	2.60
Toluen	0.49
NH4	4.00
Aceton	0.42

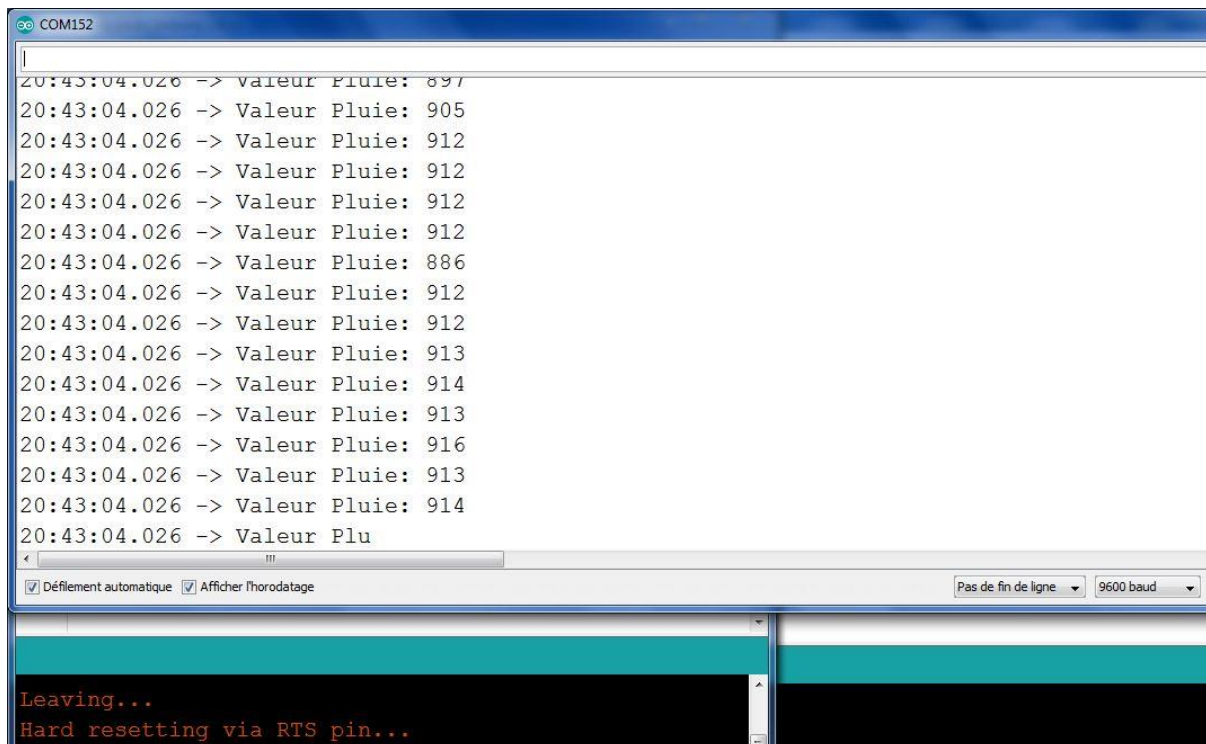
Tableau III.3. Résultats des mesures du capteur de qualité d’air MQ135

On remarque que le capteur a délivré les quantités des différents gaz, les résultats sont affichés en partie par millions (ppm).

III.6.4 Résultats du capteur de détection de pluie

Le capteur de pluie a été testé en versant de l'eau dessus pour simuler des conditions de pluie.

Les résultats de ce capteur réalisé en cas de précipitation sont représentés dans les figures III.12.

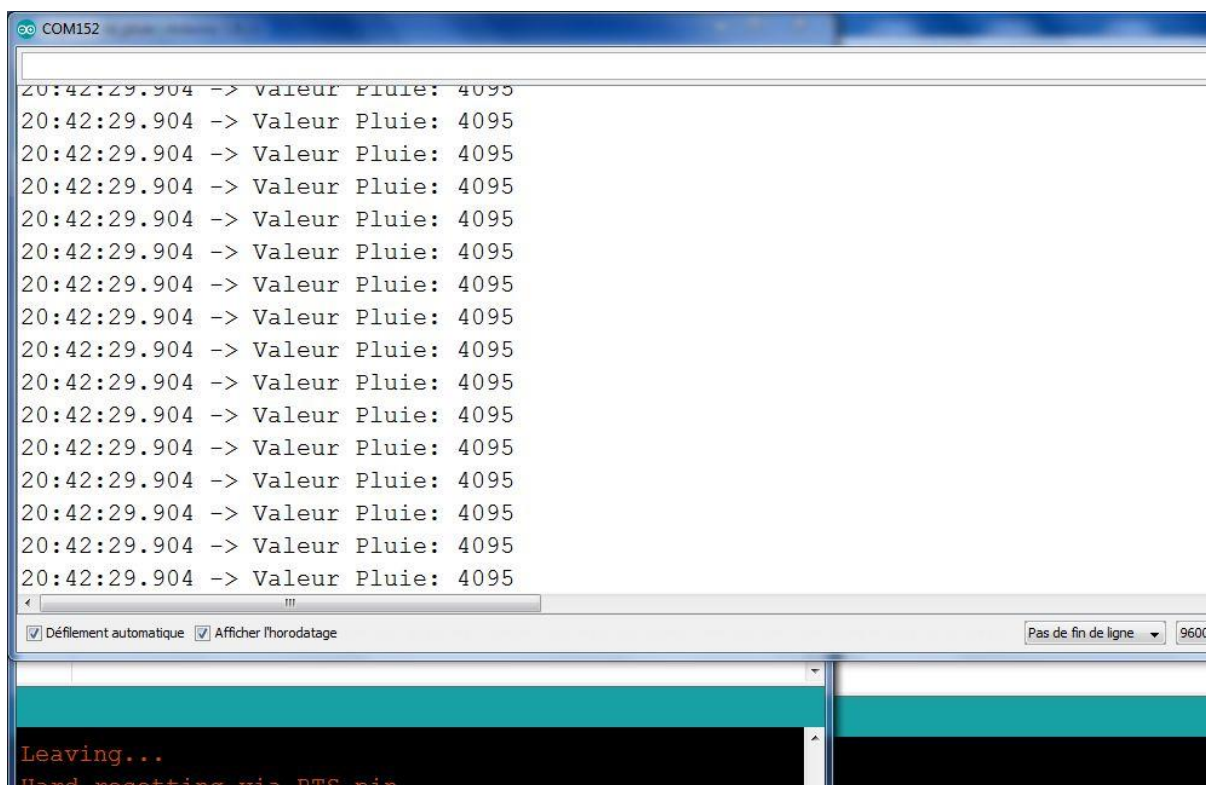


The screenshot shows a terminal window titled 'COM152' with a list of data points. Each line consists of a timestamp followed by a right-pointing arrow and the text 'Valeur Pluie:' followed by a numerical value. The values range from 897 to 916. The last line is truncated. Below the terminal window, a status bar contains the text 'Défilement automatique' and 'Afficher l'horodatage' with checkboxes, and a dropdown menu set to 'Pas de fin de ligne' and '9600 baud'. At the bottom, a console window shows the text 'Leaving...' and 'Hard resetting via RTS pin...'.

```
20:43:04.026 -> valeur Pluie: 897
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 905
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 912
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 912
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 912
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 912
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 886
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 912
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 912
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 913
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 914
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 913
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 916
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 913
20:43:04.026 -> Valeur Pluie: 914
20:43:04.026 -> Valeur Plu
```

Figure III.12. Résultats du capteur de pluie en cas de précipitation

Les résultats du capteur de pluie en l'absence de précipitation sont représentés dans la figure III.13.



The screenshot shows a terminal window titled 'COM152' with a list of data points. Each line consists of a timestamp followed by a right-pointing arrow and the text 'Valeur Pluie:' followed by the value 4095. The last line is truncated. Below the terminal window, a status bar contains the text 'Défilement automatique' and 'Afficher l'horodatage' with checkboxes, and a dropdown menu set to 'Pas de fin de ligne' and '9600'. At the bottom, a console window shows the text 'Leaving...' and 'Hard resetting via RTS pin...'.

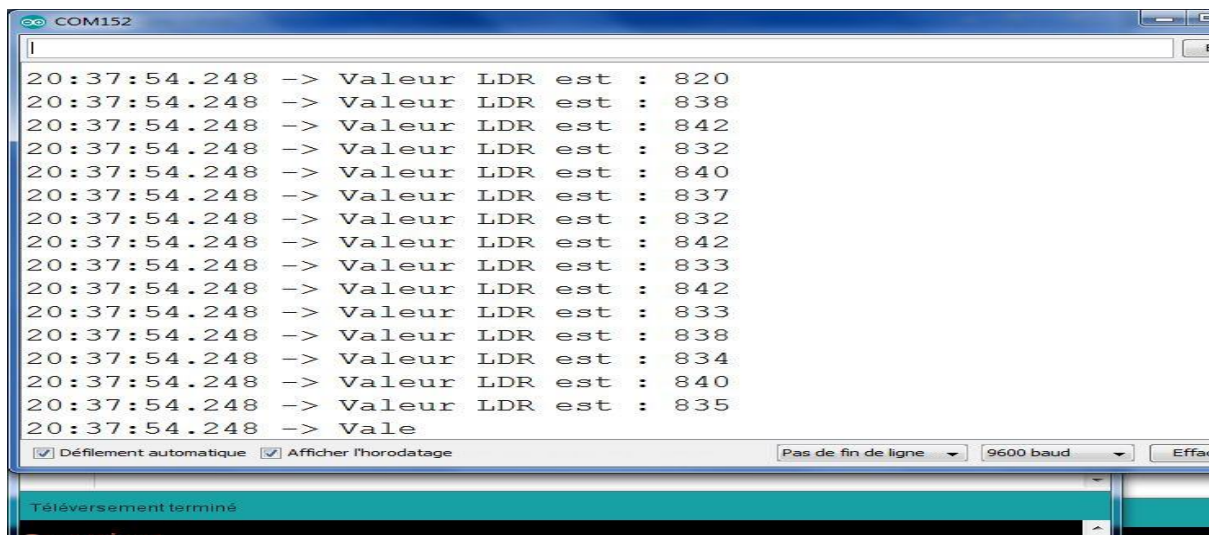
```
20:42:29.904 -> valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
20:42:29.904 -> Valeur Pluie: 4095
```

Figure III.13. Résultats du capteur en l'absence de pluie.

Les résultats sont bien effectués, la valeur de la pluie est affichée dans les deux cas : absence et présence de précipitation.

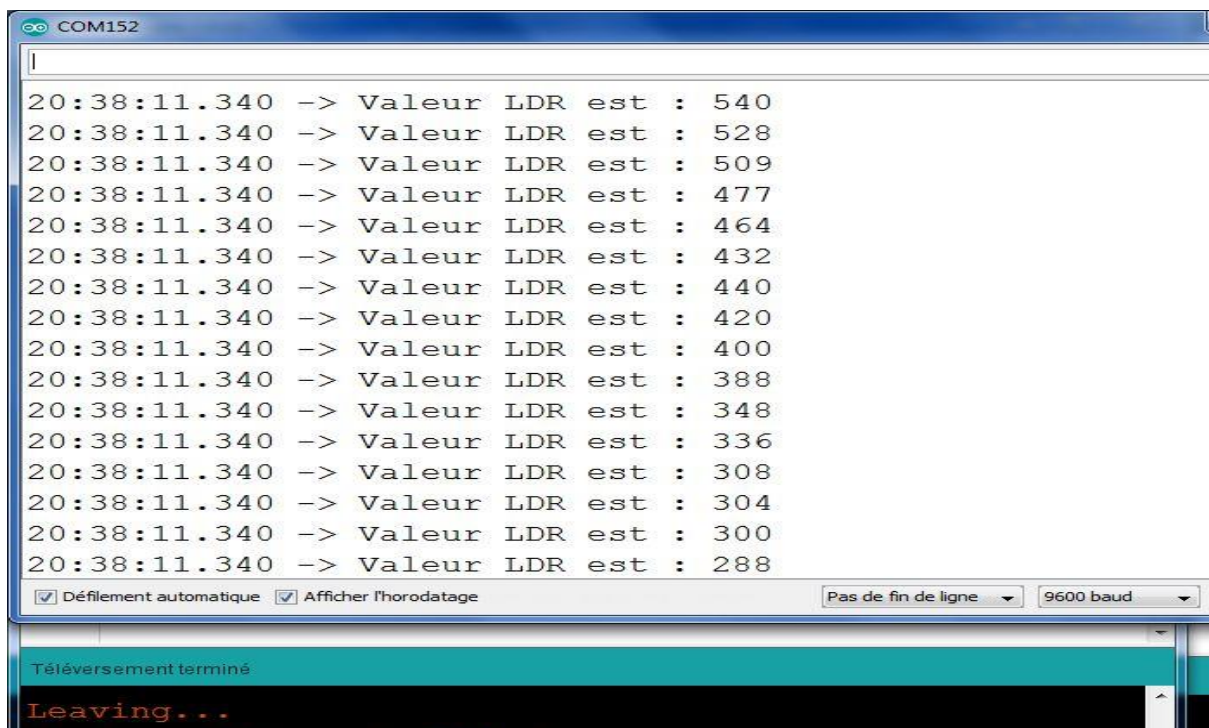
III.6.5 Résultats de LDR

Les résultats de mesure de l'intensité lumineuse sont donnés dans les figures III.14 et III.15.



```
COM152
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 820
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 838
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 842
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 832
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 840
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 837
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 832
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 842
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 833
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 842
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 833
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 838
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 834
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 840
20:37:54.248 -> Valeur LDR est : 835
20:37:54.248 -> Vale
 Défilement automatique  Afficher l'horodatage
Pas de fin de ligne 9600 baud Effac
```

Figure III.14. Résultats de mesure de l'intensité de luminosité sous la lumière.



```
COM152
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 540
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 528
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 509
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 477
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 464
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 432
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 440
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 420
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 400
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 388
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 348
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 336
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 308
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 304
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 300
20:38:11.340 -> Valeur LDR est : 288
 Défilement automatique  Afficher l'horodatage
Pas de fin de ligne 9600 baud
```

Figure III.15. Résultats de mesure de l'intensité de luminosité dans un milieu sombre

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

III.7 Création de la communication à distance

ThingSpeak qui est une plateforme open-source développée par MathWorks, principalement utilisée pour l'Internet des objets (IoT). Elle permet de collecter, visualiser et analyser des données provenant de capteurs et d'autres appareils connectés à Internet.

ThingSpeak permet aux utilisateurs de créer des canaux de données où les capteurs envoient périodiquement leurs mesures tels que la température, l'humidité, et d'autres paramètres. Ces données peuvent ensuite être analysées en temps réel, visualisées sous forme de graphiques et partagées avec d'autres utilisateurs. ThingSpeak est populaire dans les applications de surveillance environnementale, de suivi des conditions météorologiques, de gestion des bâtiments intelligents, et dans d'autres domaines où la collecte et l'analyse de données en temps réel sont essentielles[20]. La figure III.16 représente l'interface de la plateforme ThinkSpeak.

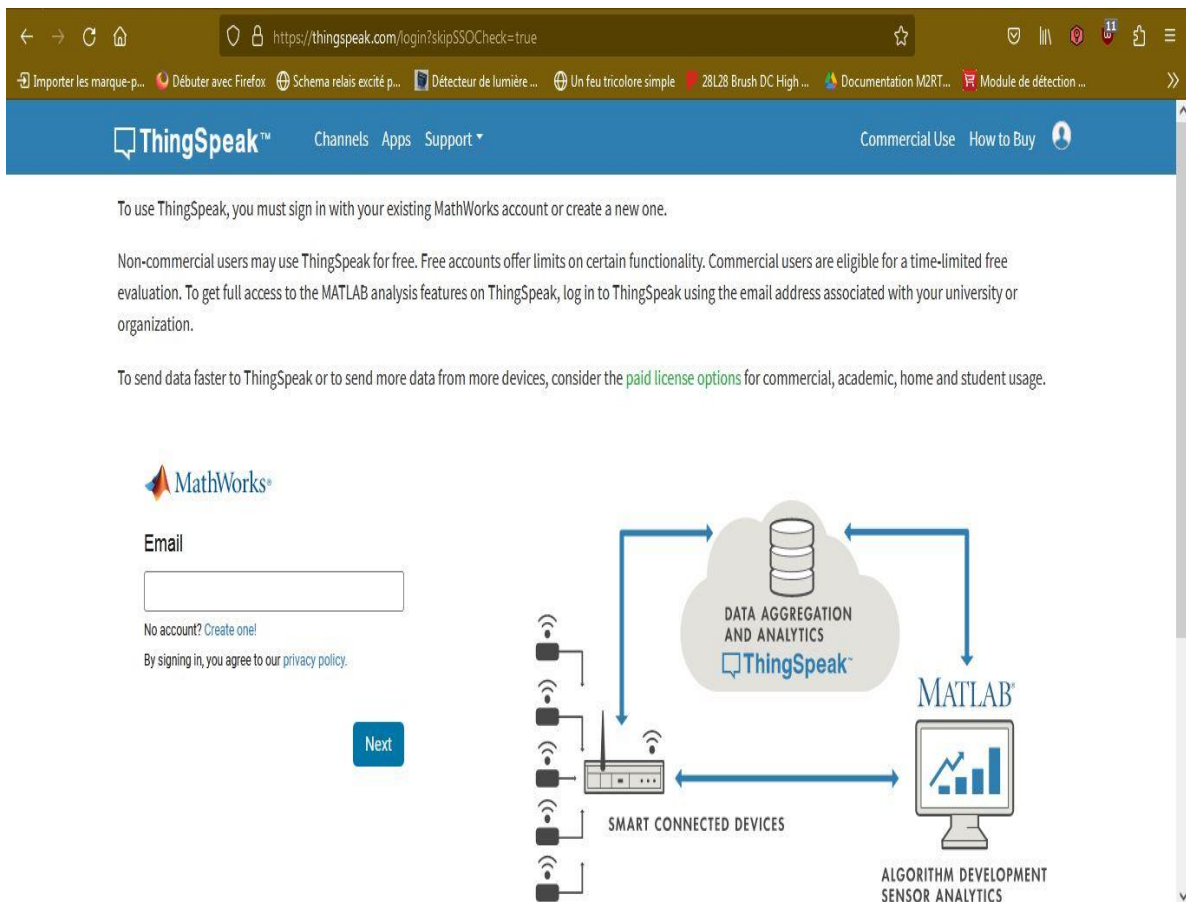


Figure III.16. Interface de la plateforme ThingSpeak.

Pour lancer la communication entre la station météorologique et le smartphone on passe par plusieurs étapes.

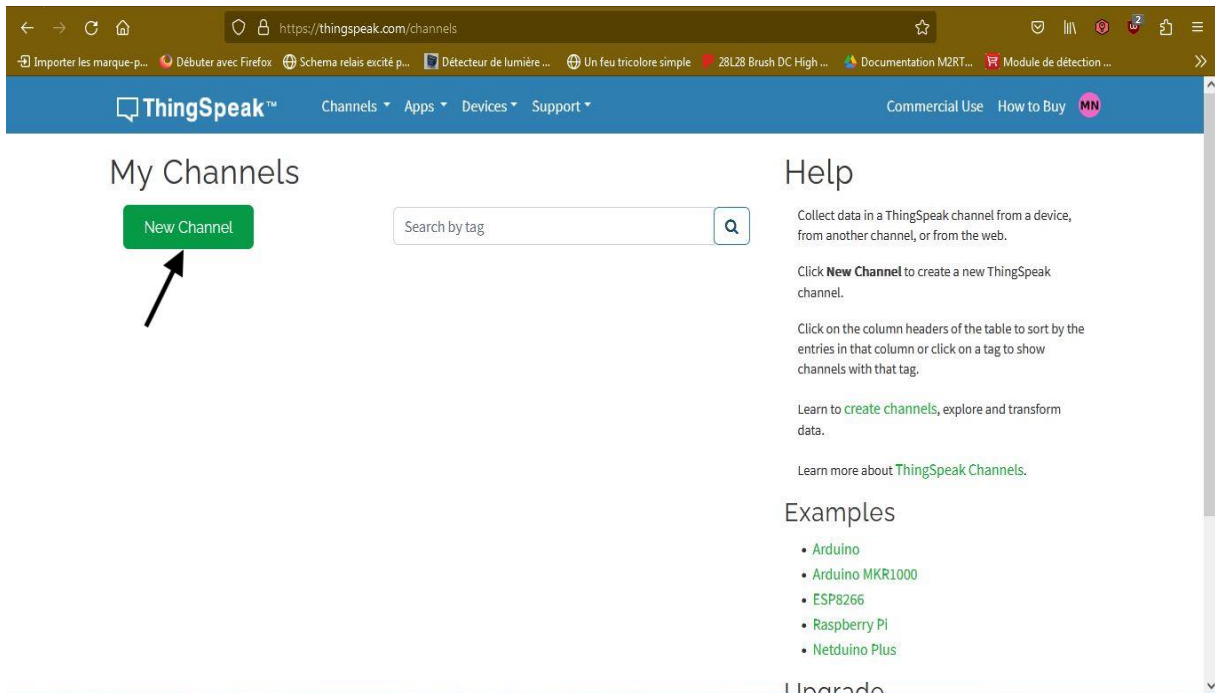
III.7.1 Configurer ThinSpeak

- Créer un compte thingSpeak en suivant la procédure qui s’affiche.

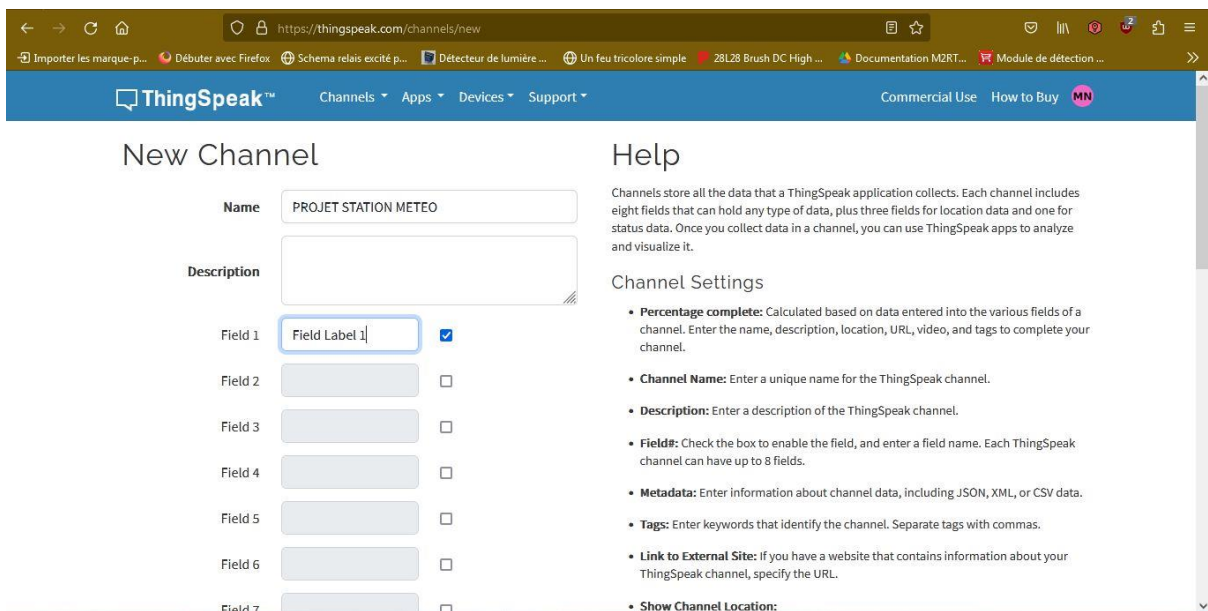
The image shows a screenshot of a web browser displaying the ThingSpeak login page. The browser's address bar shows the URL `https://thingspeak.com/login?skipSSOCheck=true`. The page header includes the ThingSpeak logo and navigation links for 'Channels', 'Apps', and 'Support'. Below the header, there is a message: 'To use ThingSpeak, you must sign in with your existing MathWorks account or create a new one.' This is followed by text explaining that non-commercial users can use ThingSpeak for free, while commercial users are eligible for a time-limited free evaluation. A link for 'paid license options' is provided. The main section is titled 'Create MathWorks Account' and contains a form with fields for 'Email Address', 'Location' (set to 'United States'), 'First Name', and 'Last Name'. A red error message states 'Missing required information' and provides a tip: 'To access your organization's MATLAB license, use your school or work email.' To the right of the form is a diagram illustrating the data flow: 'SMART CONNECTED DEVICES' send data to a cloud labeled 'DATA AGGREGATION AND ANALYTICS ThingSpeak'. This cloud then connects to a 'MATLAB' computer icon, which is labeled 'ALGORITHM DEVELOPMENT SENSOR ANALYTICS'.

III.7.2 Créer un canal ThingSpeak

- Créez un nouveau canal ThingSpeak en cliquant sur "Channels" dans le tableau de bord ThingSpeak, puis sur "New Channel".



- Définissez les champs pour les différentes données que votre station météo collecte (par exemple : température, humidité, pression atmosphérique, ensoleillement).



III.7.3 Configurer l'envoi des données

- Pour envoyer les données depuis l'ESP32 vers ThingSpeak, on doit installer les bibliothèques suivantes sur le logiciel Arduino IDE :
 - Wifi.h (pour la connexion Wi-Fi de l'ESP32).
 - ThingSpeak.h (pour l'envoi de données vers ThingSpeak).

```

40 #include <WiFi.h>
41 const char* ssid = "AlgerieTelecom_4GLTE_F56AC0"; // Your SSID (Name of your WiFi)
42 const char* password = "16D47DD7"; //Your Wifi password
43 const char* host = "api.thingspeak.com";
44 String api_key = "Z6NY063CY86V28TU"; // Your API Key provied by thingspeak
45 long EtatRepos;
46 //*****
47
48 void setup() {
49 //***** Moniteur Serie *****
50 Serial.begin(9600);

```

III.7.4 Recevoir les données sur le smartphone

Pour recevoir les données sur notre smartphone on doit créer une application avec MIT Inventor 2.

Pour créer cette application on doit :

- Accédez à MIT App Inventor et connectez avec le compte Google.

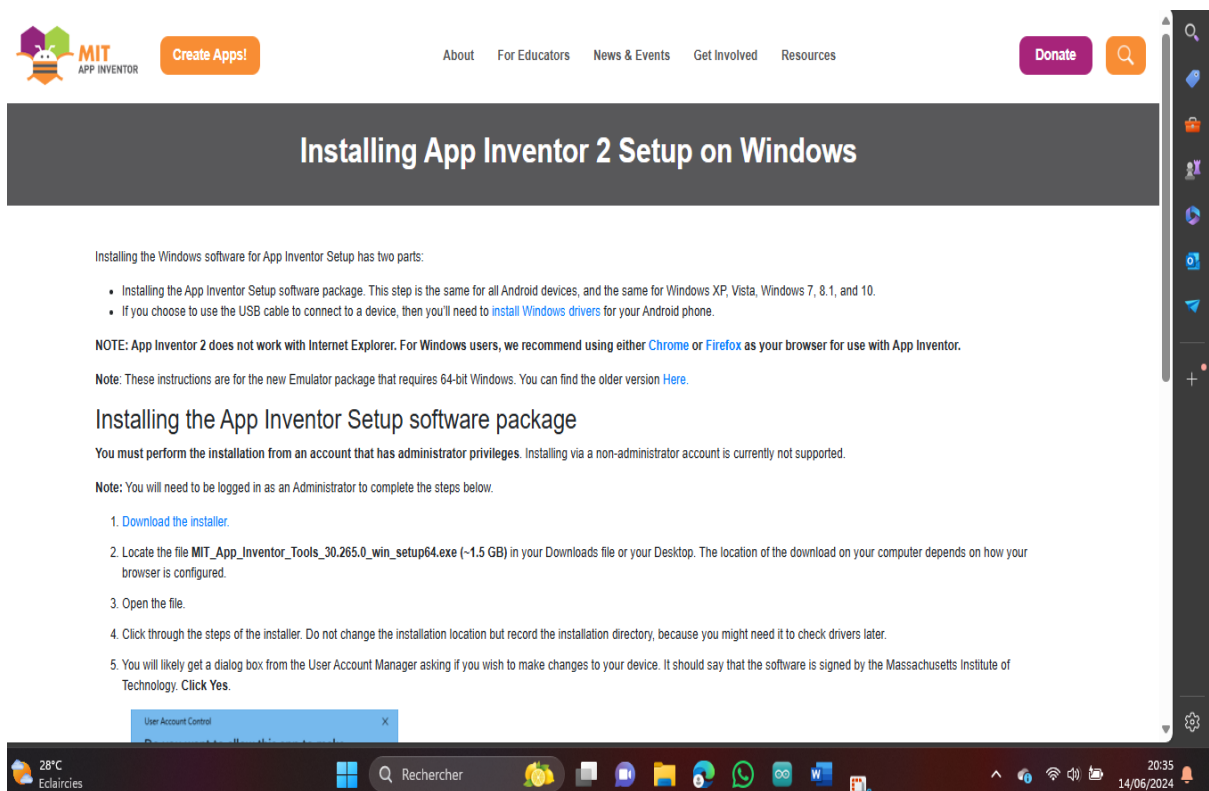
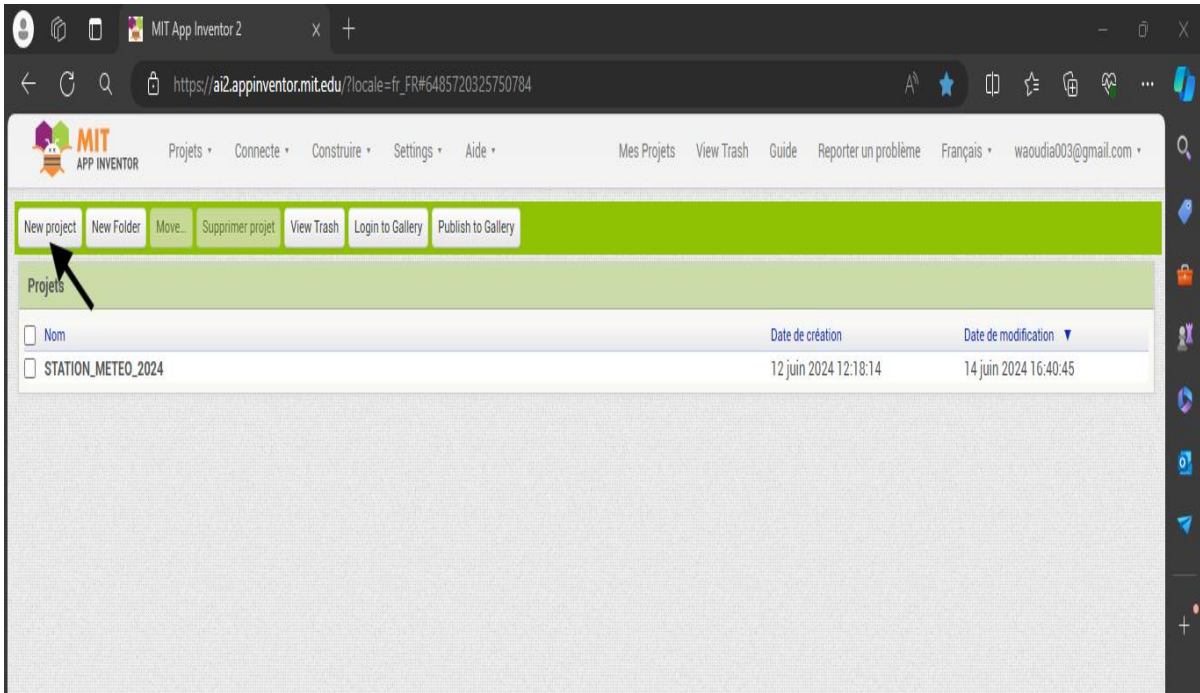
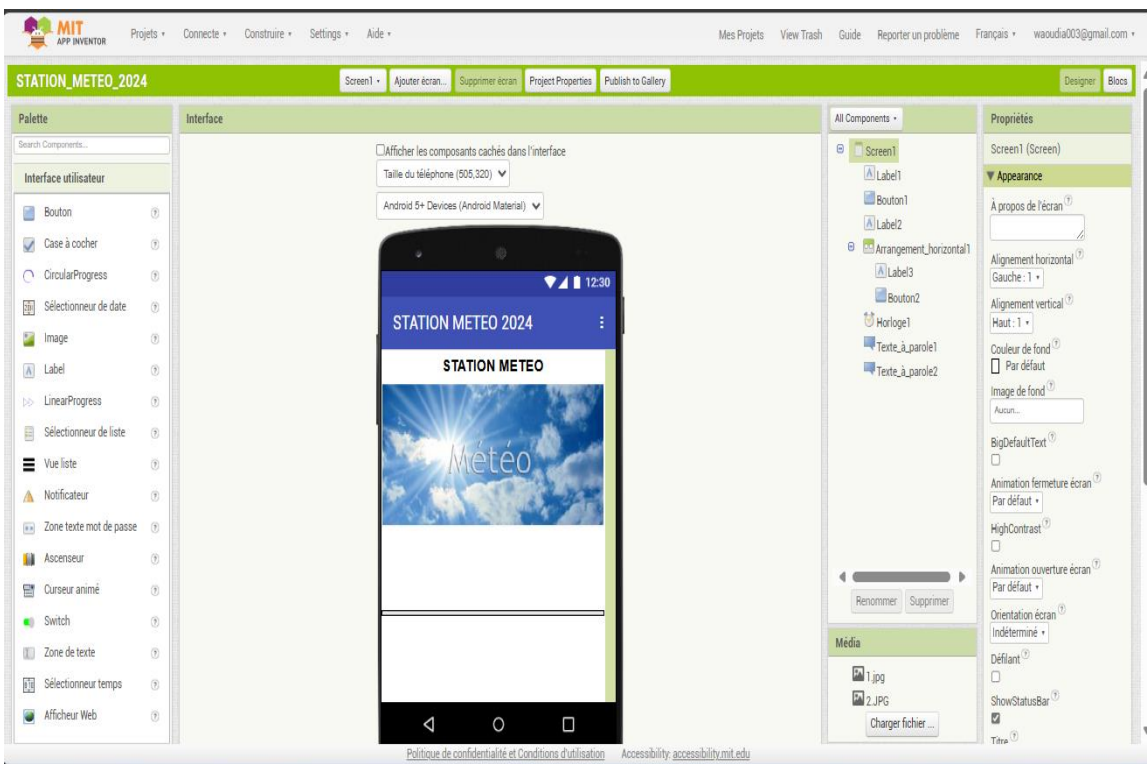


Figure III.17. Interface de la plateforme MIT Inventor.

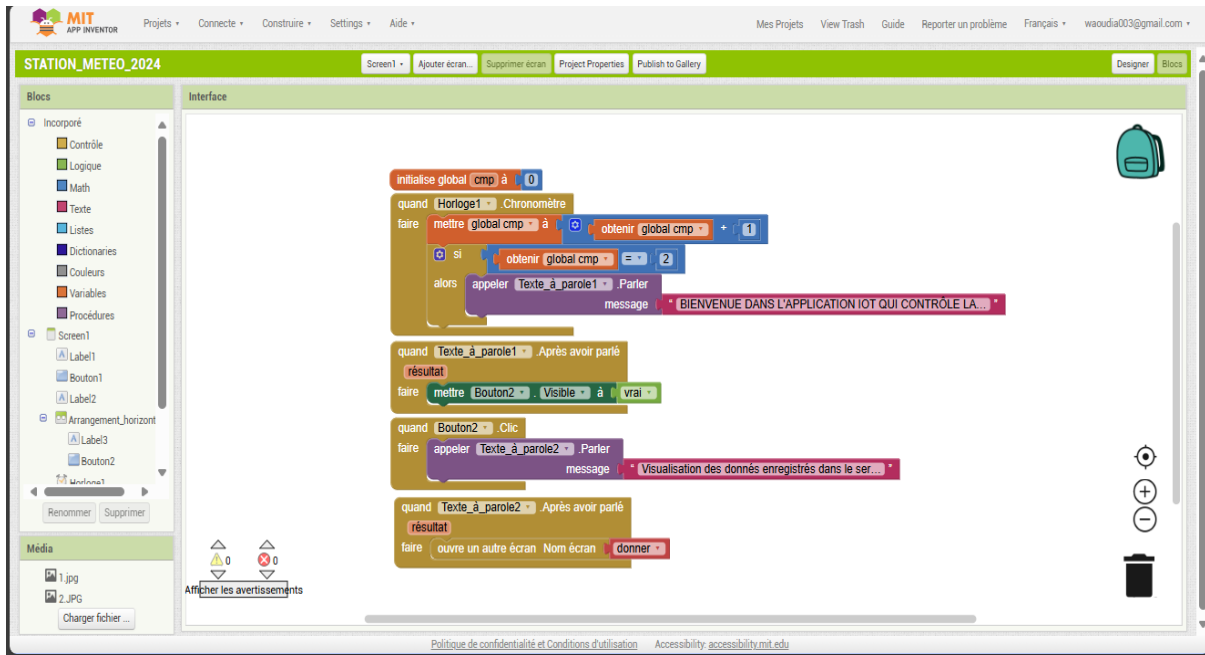
- Créez un nouveau projet en cliquant sur "Start new project" > "Blank project".



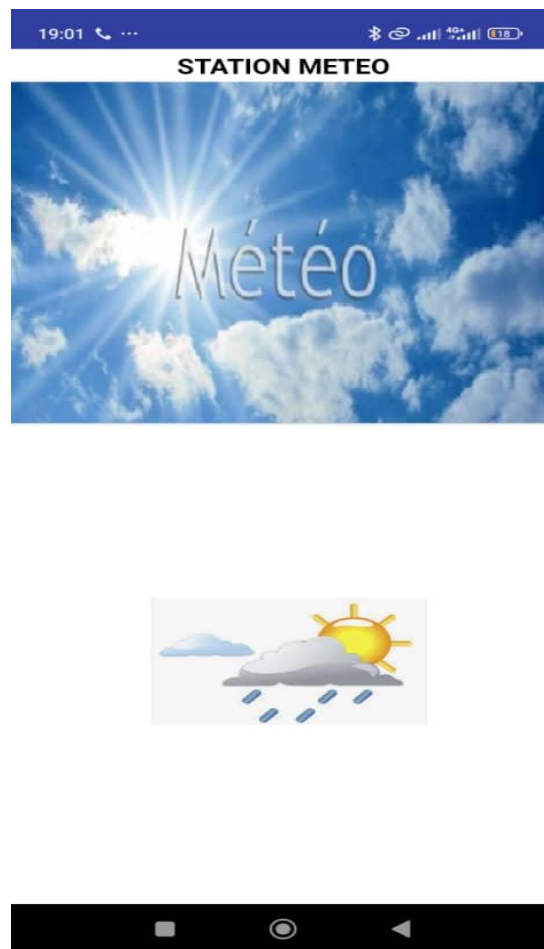
Pour afficher les données mesurées sur un ‘Smart phone’, nous avons programmé une application par Android. Nous avons commencé par la conception de l’écran, puis la programmation des conditions et les instructions.



A



B



C

Figure III.18.(A, B et C) Conception de l'écran de l'application Android.

III.8 Réalisation complète de la station météorologique connectée à distance

Le diagramme qui explique le fonctionnement de la station réalisée est représenté sur la figure III.19. Le montage expérimental réalisé est représenté sur la figure III.21.

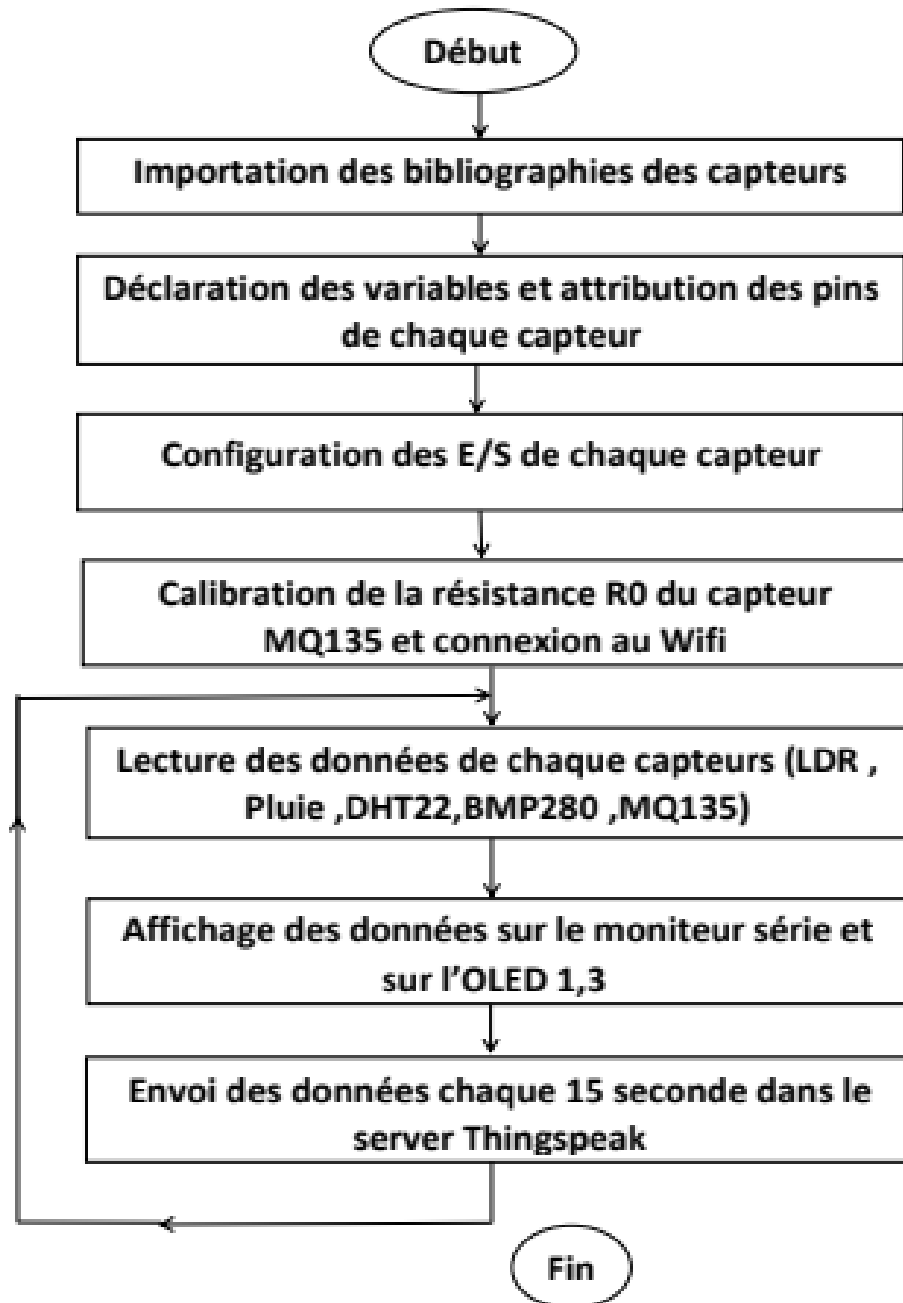


Figure III.19. Organigramme du fonctionnement de la station

Le schéma global de la station météorologique implanté sur le logiciel Fritzing est montré sur la figure III.20.

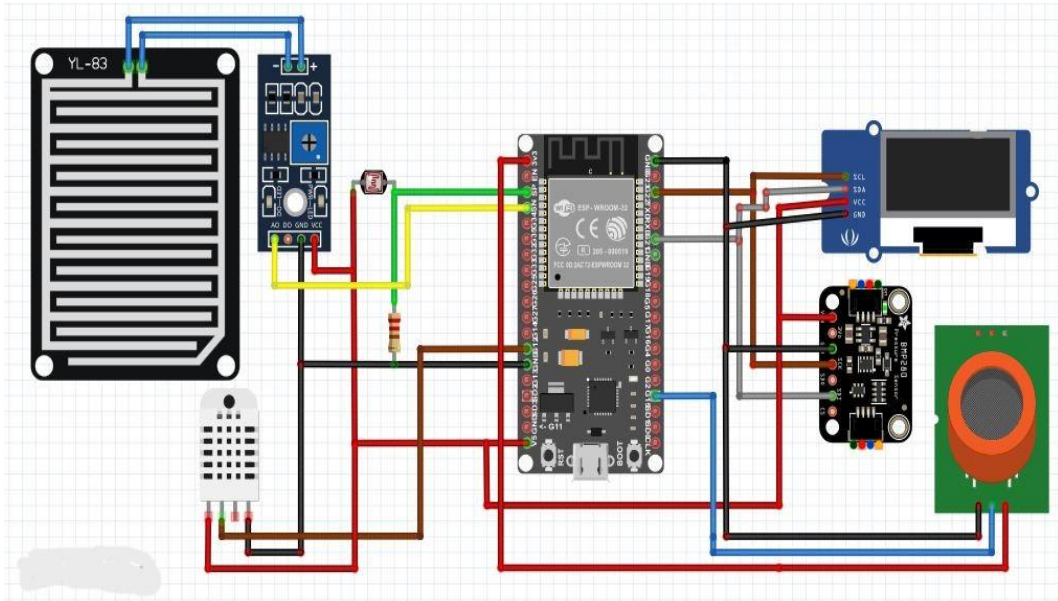
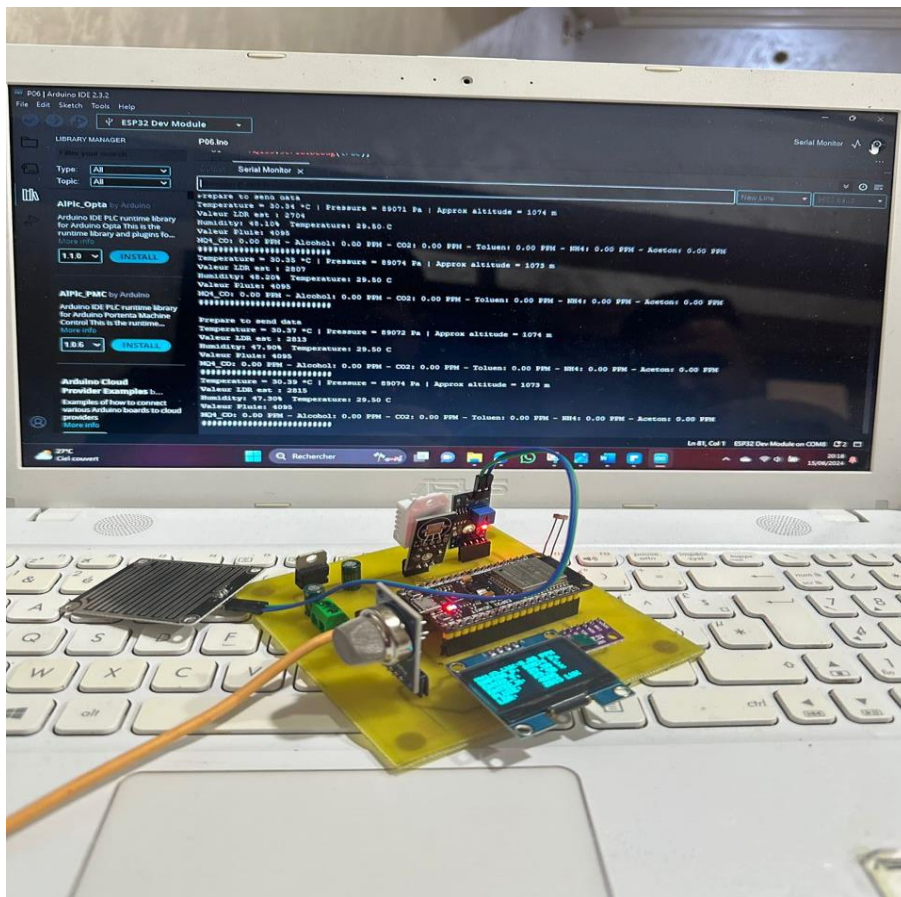


Figure III.20. Schéma global de la station météorologique réalisée



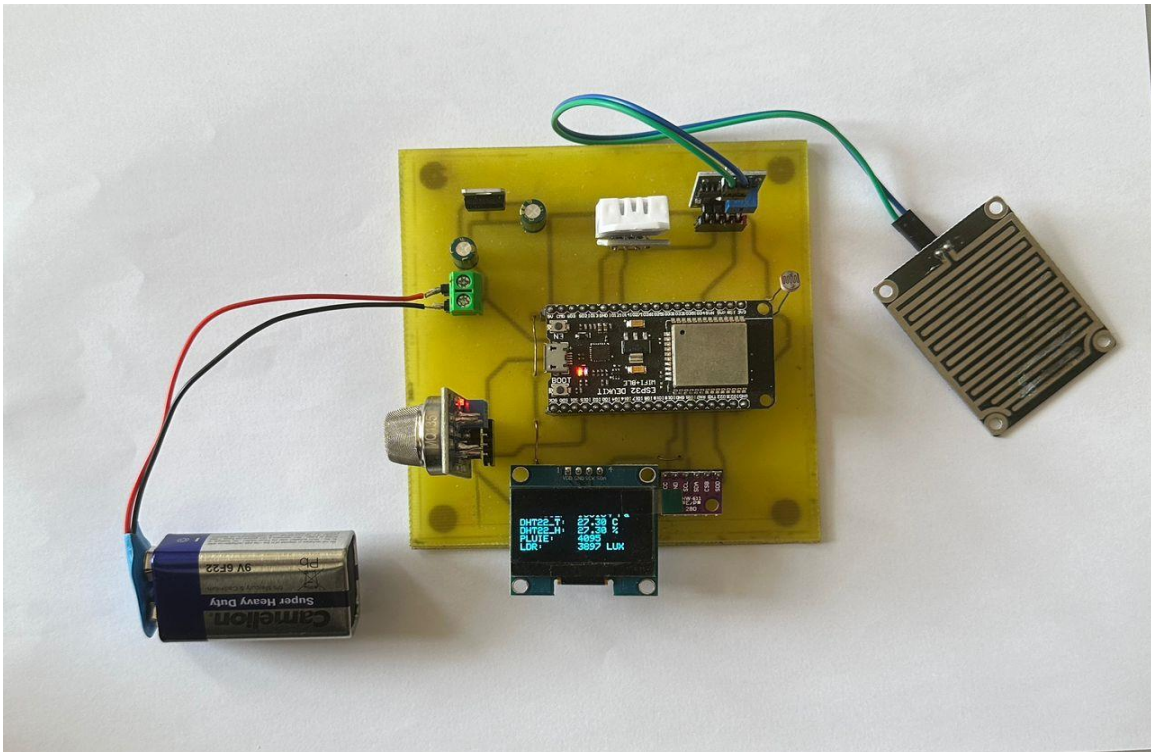


Figure III.21. Montage et réalisation réel de la station météorologique.

III.9 Installation de la carte à l'extérieur du laboratoire et affichage des résultats obtenus

Nous avons installé la carte à l'environnement afin d'effectuer des mesures de tous les phénomènes physiques à différents moments de la journée pour savoir le changement de la température, d'humidité, de la pression et la luminosité tout au long de la journée. La présence du réseau WIFI est nécessaire dans le site choisi. En fin de journée nous avons acquis les mesures représentées sur les figures III.22 à III.28.

Remarque : ces résultats concernent la commune IFERHOUNENE de la wilaya de Tizi Ouzou. Sont mesurée pendant quatre jours, du 17 juin à 20 juin 2024.

La température varie entre 25 °C et 30°C comme le montre la figure III.22. La pression varie entre 90KPa et 100 KPa comme le montre la figure III.23. L'Altitude est de l'ordre de 1000 m entre le 17 et 19 juin, et diminue à 100 m entre 19 et 20 juin comme le présente la figure III.24.

La figure III.25 représente la variation de la luminosité mesurée le 20 juin. Avant 8h :00 la luminosité est faible, entre 8h :00 et 16h :00 la luminosité augmente, et après 16h :00 la luminosité diminue. Ceci s'explique par le levé et le coucher du soleil.

Nous observons sur la figure III.26 que l'humidité varie entre 40 et 60%. Sur la figure III.27, est montré le volume de précipitations, sachant que nous avons pulvérisé de l'eau sur le

pluviomètre pour simuler la pluie. La figure III.28 montre que la concentration en CO₂ dans l'air est presque constante pendant ces quatre jours.

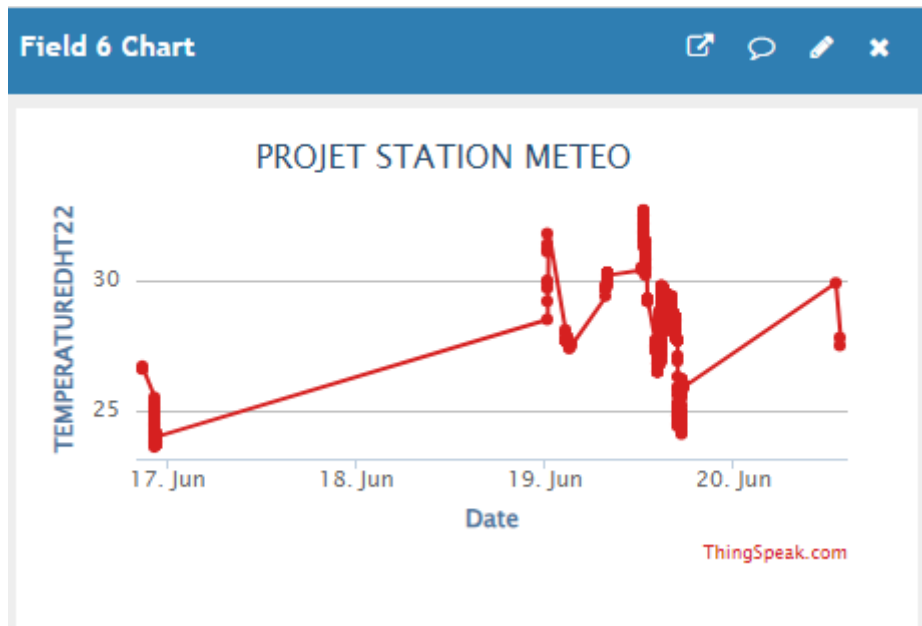


Figure III.22. Changement de la température pour la période allant de 17 juin à 20 juin.

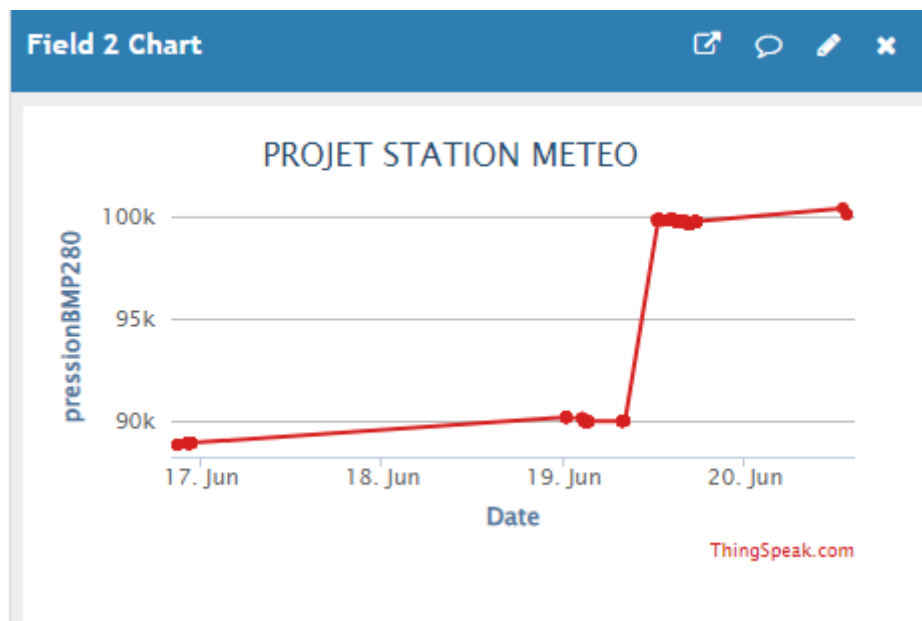


Figure III.23. Changement de la Pression pour la période allant de 17 juin à 20 juin 2024.

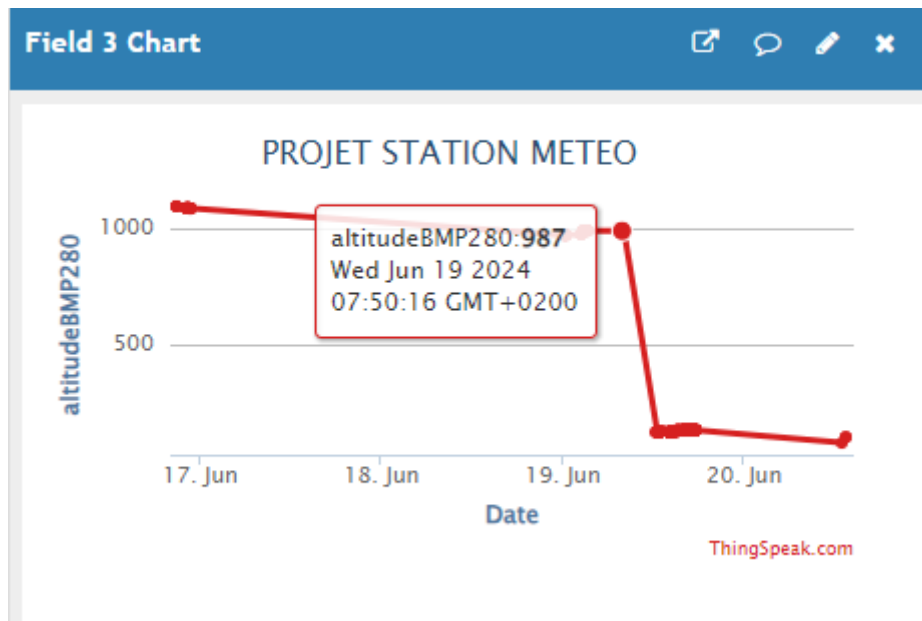


Figure III.24. Changement d'altitude pour la période allant de 17 juin à 20 juin 2024.

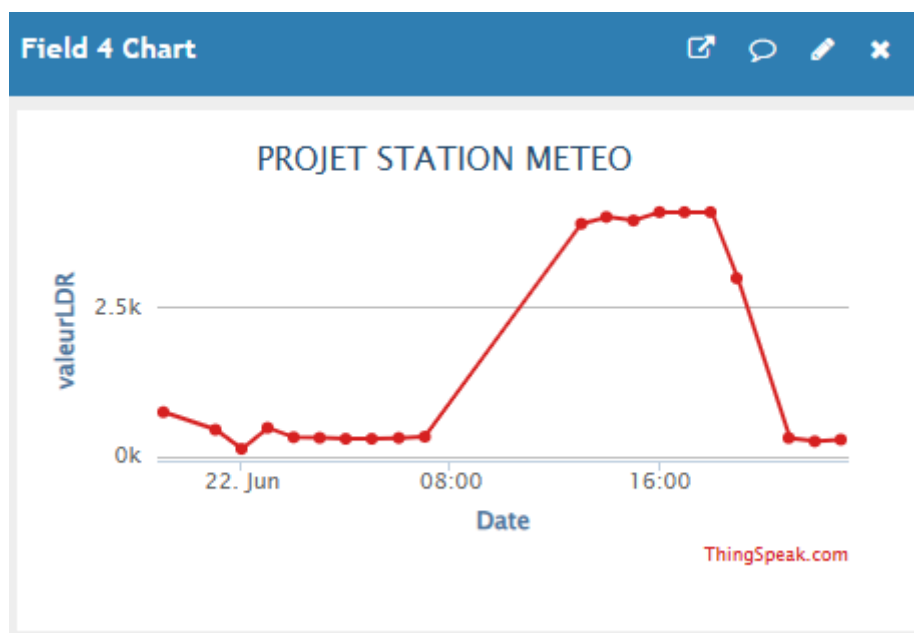


Figure III.25. Changement de la luminosité pour la journée de 22 juin 2024.

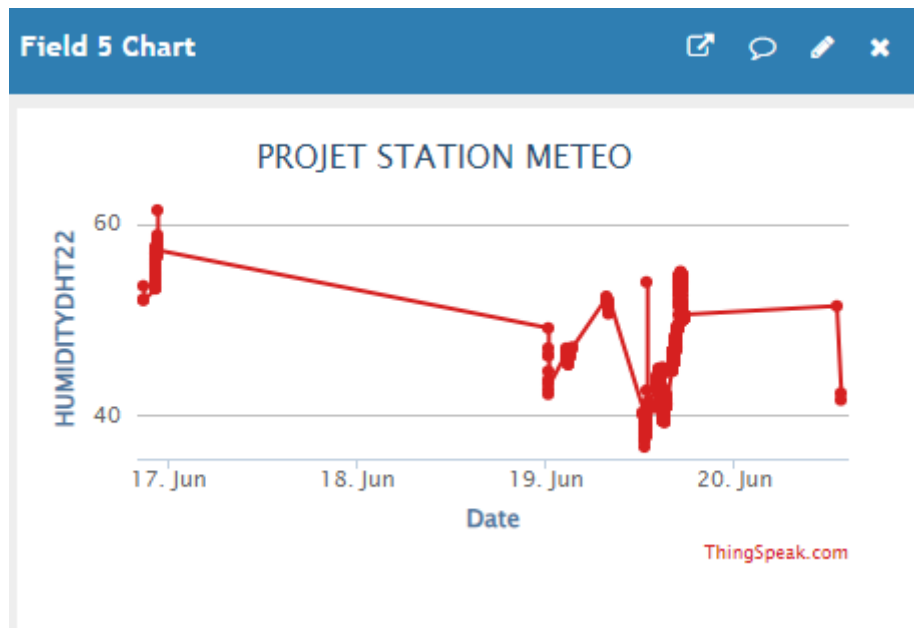


Figure III.26. Changement de l’humidité pour la période allant de 17 juin à 20 juin 2024.

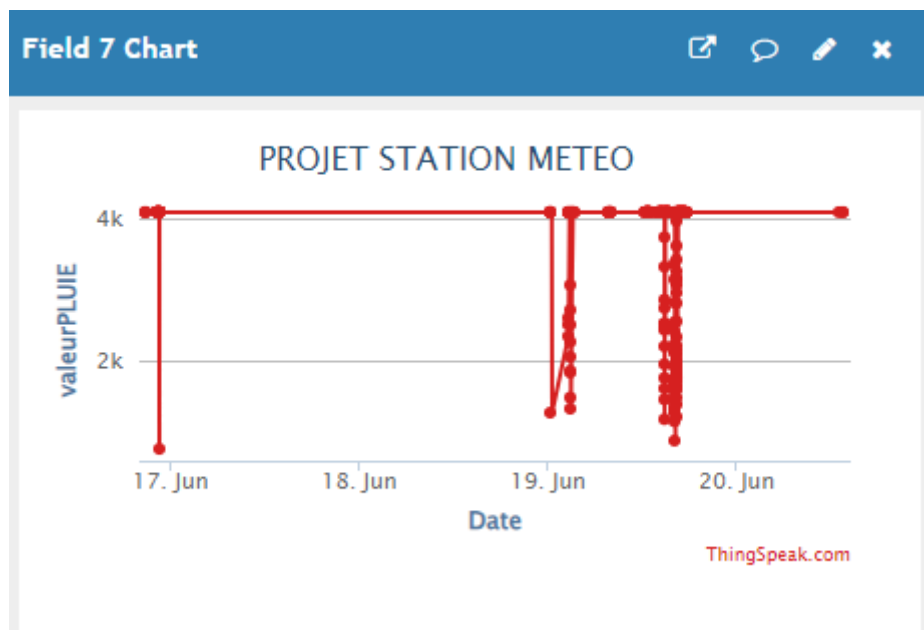


Figure III.27. Changement du volume de précipitation pour la période allant de 17 juin à 20 juin 2024.

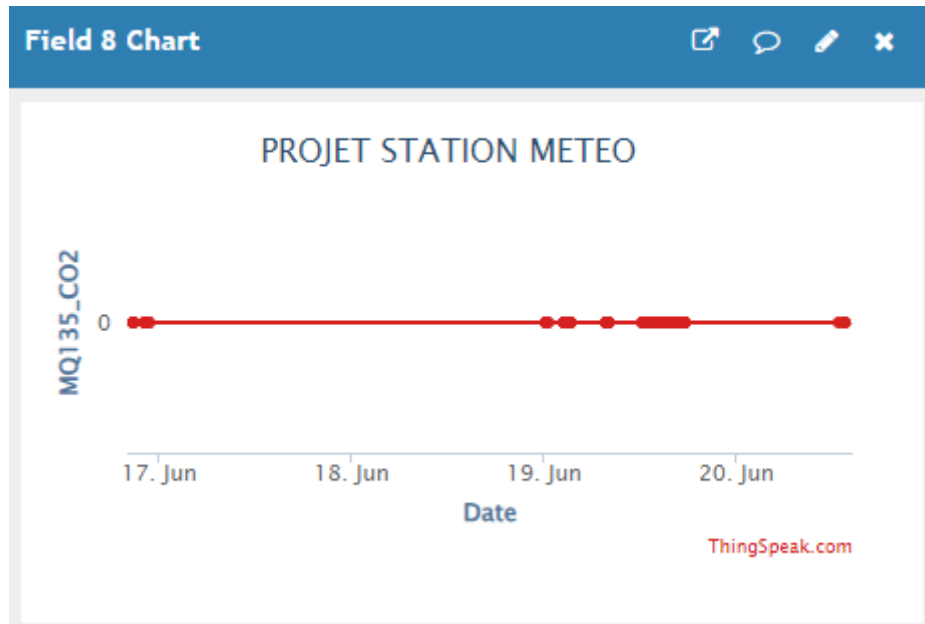


Figure III.28. Changement de quantité de CO₂ dans l'air pour la période allant de 17 juin à 20 juin 2024.

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé avec succès un prototype d'une station météorologique. Différents capteurs sont utilisés pour mesurer des grandeurs importantes, à savoir : la température, l'humidité, détection de pluie, l'intensité de la luminosité, pression atmosphérique et altitude.

En premier lieu, nous avons donné les étapes de la réalisation du circuit imprimé, ensuite nous avons programmé chaque capteur sur Arduino IDE, puis nous avons donné les schémas de branchement de chaque capteur sur le simulateur Fritzing, ensuite nous avons montré les tests qui nous ont permis de vérifier le bon fonctionnement de chaque capteur, et la mesure des différents paramètres météorologiques.

Nous avons aussi créé en premier temps une communication à distance via Wifi, 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.

Pour finir, nous avons fait des mesures expérimentales en dehors de laboratoire pour voir la variation des phénomènes physiques tels que la température, la pression, l'altitude, l'humidité et la luminosité. Les résultats des mesures pour une durée de 4 du 17 juin au 20 juin 2024 sont montrés sous forme de graphes en fonction du temps.

Conclusion générale

L'élaboration de ce travail dans le cadre du projet de fin de cycle nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques en électronique, 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 implantés. Nous avons réalisé un système de mesure en temps réel de plusieurs phénomènes physiques à base d'une carte *ESP32* qui joue le rôle de traitement des données délivrées par les capteurs utilisés.

La première partie de cette étude est consacrée à la définition des stations météorologiques de façon globale et sa méthode opératoire, par la suite, nous avons donné les différents types de stations existants et leurs utilisations, puis nous avons mentionné quelques variables que peut mesurer une station météorologique.

Dans la deuxième partie nous avons présenté le matériel utilisé pour la réalisation de notre système. Nous avons présenté une description détaillée des différents *capteurs*, du microcontrôleur qui est la carte *ESP32* dans notre projet, et du logiciel *Arduino IDE* que nous avons utilisé pour la programmation des capteurs.

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 de capteurs qui sont utilisés dans les applications de divers domaines pour mesurer des grandeurs très importantes, à savoir, la température, l'humidité, la pluie, la précipitation, la pression et l'intensité lumineuse. 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 *ESP32* vers le Smart phone.

La conception de ce système est passée par trois étapes principales qui sont : la réalisation des mesures des différents capteurs connectés à la carte *ESP32*, puis la création d'une plateforme *thingspeak* qui nous a permis de collecter, stocker, analyser et visualiser les données provenant des capteurs en temps réel. Après ça, nous avons programmé une application *Android* sur la plateforme *MIT App Inventor* pour afficher les résultats sur le 'Smartphone'.

Par la suite, nous avons testé avec succès les différents états des capteurs sur le moniteur série de l'Arduino IDE puis sur le 'Smartphone'.

Comme perspectives de ce projet, nous envisageons à réaliser une station qui peut fournir des alertes en cas de tempête, de rafales, de gel ou encore de canicules et de vagues de

Conclusion générale

chaleurs. Nous envisageons aussi à mesurer d'autres paramètres tels que : le niveau d'eau, la vitesse et la direction de vent, les rayonnements solaires globale. L'amélioration de la station peut être réalisée par l'utilisation de nouveaux capteurs qui permettent l'affichage de tous les paramètres physiques qui permettent de prédire le temps ou le climat des jours à venir.

Pour réduire la consommation en énergie et rendre le système autonome, des panneaux photovoltaïques avec des batteries de stockage peuvent être utilisé pour alimenter notre station météo.

Références bibliographiques

- [1] Vincent Luyet, « Stations météo », Rapport, Février 2010.
- [2] Les différents types des stations météorologiques, <https://www.almrsl.com>
- [3] Hilab Mouzia , « réalisation d'une station météorologique à base d'arduino UNO », mémoire de master, 2018, Université Mohmed khider Biskra, [https:// http://archives.univ-biskra.dz](https://http://archives.univ-biskra.dz).
- [4] humidity, <https://www.marefa.org>
- [5] Climatologie-pression-atmosphérique, <https://www.futura-sciences.com>
- [6] Wikipédia, <https://fr.wikipedia.org>.
- [7] ALLAM Yassine, « Etude et réalisation d'une station météo connectée par wifi », université Mohamed Boudiaf, M'Sila,2016-2017.
- [8] Les capteurs, cours, [https:// f2school.com](https://f2school.com).
- [9] SLIMANI Rachid, « Modélisation par éléments finis d'un capteur magnétostrictif », mémoire master, UMMTO, 2017, <https://www.ummtto.dz>.
- [10] BMP280 Bosch Sensortec| Capteurs, transducteurs, [https://www. DigiKey.fr](https://www.DigiKey.fr)
- [11] DHT22 : le capteur de température et d'humidité de précision, [https://www.,hwlibre.com](https://www.hwlibre.com).
- [12] MQ-135: Capteur de détection gaz dangereux. - Test et Avis, <https://www.raspberrypi.ma>.
- [13] Comprendre le Fonctionnement d'un Détecteur de Pluie, <https://Deficars.fr>.
- [14] Résistances dépendantes de la lumière (LDR) | Comment ça marche, application et avantages, www.https://electricity-magnetism.org.
- [15] Présentation de la carte ESP32, [https:// www.robotique.site](https://www.robotique.site).
- [16] Logiciel : IDE, Arduino : l'essentiel, <https://arduino.blaise-pascal.fr>.
- [17] [WIKI] Arduino Langage de programmation pour les nuls, <https://arduino-france.site>.
- [18] Arduino IDE : Installer les cartes ESP32 et ESP8266, <https://arduino.blaise-pascal.fr>.
- [19] Fritzing, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Fritzing>.
- [20] Think speak for IOT projects, <https://thingspeak.com>

Annexes

```
/** ***** Capteur BMP280 ***** */
#include <Adafruit_BMP280.h>
Adafruit_BMP280 bmp; // I2C
float temperatureBMP280;

int pressionBMP280;
int altitudeBMP280;
/** ***** Capteur LDR ***** */
int CapteurLDR=A0;
int valeurLDR;
/** ***** Capteur DHT22 ***** */
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 14 // Digital pin connected to the DHT sensor
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
/** ***** Capteur de Pluie ***** */
int valeurPLUIE;
int CapteurPLUIE=A3;
/** ***** Capteur MQ135 ***** */
#include <MQUnifiedsensor.h>
#define placa "ESP32"
#define Voltage_Resolution 3.3
#define pin A13 //Analog input a4 of your arduino
#define Type "MQ-135" //MQ135
#define ADC_Bit_Resolution 12 // For arduino UNO/MEGA/NANO
#define RatioMQ135CleanAir 3.6//RS / R0 = 3.6 ppm
MQUnifiedsensor MQ135(placa, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, pin, Type);
float
MQ135_CO,MQ135_Alcohol,MQ135_CO2,MQ135_Toluen,MQ135_NH4,MQ135_Aceton;
/** ***** Afficheur OLED ***** */
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SH110X.h>
```

```

#define i2c_Address 0x3c //initialize with the I2C addr 0x3C Typically eBay OLED's
#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels
#define OLED_RESET -1 // QT-PY / XIAO
Adafruit_SH1106G display = Adafruit_SH1106G(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT,
&Wire, OLED_RESET);
//***** WIFI
//***** ThingSpeak *****
#include <WiFi.h>
const char* ssid = "AlgerieTelecom_4GLTE_F56ACO"; // Your SSID (Name of your WiFi)
const char* password = "16D47DD7"; //Your Wifi password
const char* host = "api.thingspeak.com";
String api_key = "Z6NY063CY86V28TU"; // Your API Key provied by thingspeak
long EtatRepos;
//*****

void setup() {
  //***** Moniteur Serie *****
  Serial.begin(9600);
  //***** Capteur BMP280 *****
  if (!bmp.begin(0x76)) {
    Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor, check wiring!"));
    while (1);
  }
  //***** Capteur LDR *****
  pinMode(CapteurLDR,INPUT);
  //***** Capteur DHT22 *****
  dht.begin();
  //***** Capteur de Pluie *****
  pinMode(CapteurPLUIE,INPUT);
  //***** Capteur MQ135 *****
  MQ135.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
  /***** MQ Init
  *****/

```

```

//Remarks: Configure the pin of arduino as input.

/*****
*****/

MQ135.init();
Serial.print("Calibrating please wait.");
float calcR0 = 0;
for(int i = 1; i<=10; i++){
  MQ135.update(); // Update data, the arduino will read the voltage from the analog pin
  calcR0 += MQ135.calibrate(RatioMQ135CleanAir);
  Serial.print(".");
}
MQ135.setR0(calcR0/10);
Serial.println(" done!.");

if(isinf(calcR0)) {Serial.println("Warning: Conection issue, R0 is infinite (Open circuit
detected) please check your wiring and supply"); while(1);}
if(calcR0 == 0){Serial.println("Warning: Conection issue found, R0 is zero (Analog pin shorts
to ground) please check your wiring and supply"); while(1);}

/*****                               MQ                               CAlibration
*****/

MQ135.serialDebug(true);
/***** OLED 1.3"
display.begin(i2c_Address, true); // Address 0x3C default
/***** Connecte to wifi *****/
Serial.println();
WiFi.begin(ssid, password);
Serial.print("Connecting to WiFi...");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED){
  delay(500);
  Serial.print(".");
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(SH110X_WHITE);

```

```
display.setCursor(12,0);
display.println(" WIFI NO CONNECTED");
}
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SH110X_WHITE);
display.setCursor(14,0);
display.println(" WIFI CONNECTED");
Serial.print("WIFI CONNECTE");
Serial.println();
Serial.print("IP Address: http://");
Serial.println(WiFi.localIP());
delay(2000);
}

void loop(){
  /******* Capteur BMP280 *****/
  temperatureBMP280 = bmp.readTemperature();
  pressionBMP280 = bmp.readPressure();
  altitudeBMP280 = bmp.readAltitude(1013.25);
  /******* Capteur LDR *****/
  valeurLDR = analogRead(CapteurLDR);
  /******* Capteur DHT22 *****/
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();
  if(isnan(h) || isnan(t)){
    Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
    return;
  }
  /******* Capteur de Pluie *****/
  valeurPLUIE= analogRead(CapteurPLUIE);
  /******* Capteur MQ135 *****/
  MQ135.update(); // Update data, the arduino will read the voltage from the analog pin
```

```
MQ135.setA(110.47); MQ135.setB(-2.862); // Configure the equation to to calculate NH4
concentration

MQ135_CO2 = MQ135.readSensor(); // Sensor will read PPM concentration using the
model, a and b values set previously or from the setup
//*****
if(millis()-EtatRepos>5000){

Send_Data(temperatureBMP280,pressionBMP280,altitudeBMP280,valeurLDR,h,t,valeurPL
UIE,MQ135_CO2);

EtatRepos=millis();
}
//*****

display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(SH110X_WHITE);
display.setCursor(0,9);
display.print("MQ135_CO2: ");
display.setCursor(60,9);
display.print(MQ135_CO2);
display.print(" PPM");
display.setCursor(0,18);
display.print("BMP280_P: ");
display.setCursor(60,18);
display.print(pressionBMP280);
display.print(" Pa");
display.setCursor(0,27);
display.print("DHT22_T: ");
display.setCursor(60,27);
display.print(t);
display.print(" C");
display.setCursor(0,36);
display.print("DHT22_H: ");
display.setCursor(60,36);
display.print(t);
```

```
display.print(" % ");
display.setCursor(0,45);
display.print("PLUIE: ");
display.setCursor(60,45);
display.print(valeurPLUIE);
display.setCursor(0,54);
display.print("LDR: ");
display.setCursor(60,54);
display.print(valeurLDR);
display.print(" LUX");
display.display();
//#####
//***** Affichage *****
Serial.print("Temperature = ");
Serial.print(temperatureBMP280);
Serial.print(" *C | ");
Serial.print("Pressure = ");
Serial.print(pressionBMP280);
Serial.print(" Pa | ");
Serial.print("Approx altitude = ");
Serial.print(altitudeBMP280);
Serial.println(" m");
Serial.print("Valeur LDR est : ");
Serial.println(valeurLDR);
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(h);
Serial.print("% Temperature: ");
Serial.print(t);
Serial.println(" C ");
Serial.print("Valeur Pluie: ");
Serial.println(valeurPLUIE);
Serial.print("MQ4_CO: ");
Serial.print(MQ135_CO);
Serial.print(" PPM - Alcohol: ");
```

```
Serial.print(MQ135_Alcohol);
Serial.print(" PPM - CO2: ");
Serial.print(MQ135_CO2);
Serial.print(" PPM - Toluen: ");
Serial.print(MQ135_Toluen);
Serial.print(" PPM - NH4: ");
Serial.print(MQ135_NH4);
Serial.print(" PPM - Aceton: ");
Serial.print(MQ135_Aceton);
Serial.println(" PPM");
Serial.println("#####");

delay(2000);
}

//*****

void Send_Data(float temperatureBMP280,float pressionBMP280,float altitudeBMP280,float
valeurLDR,float h,float t,float valeurPLUIE,float MQ135_CO2){
    // map the moist to 0 and 100% for a nice overview in thingspeak.
    Serial.println("");
    Serial.println("Prepare to send data");
    // Use WiFiClient class to create TCP connections
    WiFiClient client;
    const int httpPort = 80;
    if (!client.connect(host, httpPort)) {
        Serial.println("connection failed");
        return;
    }
    else{
        String data_to_send = api_key;
        data_to_send += "&field1=";
        data_to_send += String(temperatureBMP280);
        data_to_send += "&field2=";
        data_to_send += String(pressionBMP280);
```

```
data_to_send += "&field3=";
data_to_send += String(altitudeBMP280);
data_to_send += "&field4=";
data_to_send += String(valeurLDR);
data_to_send += "&field5=";
data_to_send += String(h);
data_to_send += "&field6=";
data_to_send += String(t);
data_to_send += "&field7=";
data_to_send += String(valeurPLUIE);
data_to_send += "&field8=";
data_to_send += String(MQ135_CO2);
data_to_send += "\r\n\r\n";
client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
client.print("Connection: close\n");
client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + api_key + "\n");
client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
client.print("Content-Length: ");
client.print(data_to_send.length());
client.print("\n\n");
client.print(data_to_send);
delay(1000);
}
client.stop();
}
```

Résumé

Dans ce travail, nous avons réalisé une station météo connectée pour l'acquisition des données météorologiques grâce aux capteurs de température, d'humidité, de pression réunis sur une plaque électronique.

Toutes les données récupérées seront traitées par une carte de traitement, la carte ESP32 et transférées au PC smartphone à travers une liaison WIFI

La carte ESP32 permet d'établir une bonne liaison WIFI entre la station et le PC afin d'afficher toutes les données en temps réel.

Mots-clés : Station météo, Arduino, ESP 32, Données météorologiques, capteurs, temps réel.

Summary

In this work, we have built a connected weather station for data acquisition using temperature, humidity, and pressure sensors integrated on an electronic board.

All collected data will be processed by a processing unit, the ESP32 board, and transferred to a computer or a smartphone via Wi-Fi.

The ESP32 board enables a reliable Wi-Fi connection between the station and the computer, allowing all data to be displayed in real-time.

Keywords: Weather station, Arduino, ESP 32, Meteorological data, sensors, real time.