

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université - Blida 1
Faculté de Technologie
Département des énergies renouvelables



Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme Master en énergies renouvelables

Option : conversion photovoltaïque

Thème :

**Conception et réalisation d'une station météo
à base d'une carte Arduino Uno**

Présenté par :

KECHOUT Aboubakar

GAILA Said

Soutenue le 29 juin 2024 devant les membres du jury :

Mr.T.DOUMAZ

U. BLIDA 1

Président

Dr.M. BOUZAKI

U. BLIDA 1

Examineur

Dr.A. BENAHEMED

U. BLIDA 1

Promoteur

ملخص :

يتكون مشروعنا من إنشاء وتصميم محطة طقس مستقلة تعتمد على لوحة Arduino Uno ، تعمل بواسطة نظام كهر وضوئي (لوحة شمسية وبطارية) لمراقبة التغيرات في البيانات المناخية. تستخدم المحطة مستشعرات لقياس درجة الحرارة والرطوبة والضغط (BMP280+AHT20) ، والضوء (TSL2561). يتم عرض هذه البيانات على شاشة LCD ، بالإضافة إلى حفظها وتسجيل التغيرات على بطاقة SD. كما تتيح المحطة مراقبة التغيرات المناخية عن بُعد عبر وحدات الاتصال GSM، مما يسمح بإرسال واستقبال الرسائل النصية ونقل البيانات عبر الشبكة المحمولة.

الكلمات المفتاحية : Arduino Uno ، محطة طقس مستقلة. البيانات المناخية ، نظام كهر وضوئي ، مستشعرات القياس ، شاشة LCD ، بطاقة SD ، وحدات الاتصال GSM ، TSL2561 ، BMP280+AHT20.

Résumé :

Notre projet consiste à créer et concevoir une station météorologique autonome basée sur une carte Arduino Uno , alimentée par un système photovoltaïque (panneau solaire et batterie) pour surveiller les changements des données climatiques. La station utilise des capteurs pour mesurer la température, l'humidité et la pression (BMP280+AHT20) et la luminosité (TSL2561). Ces données sont affichées sur un écran LCD, en plus d'être enregistrées et archivées sur une carte SD. La station permet également la surveillance à distance des changements climatiques via des modules de communication GSM, permettant l'envoi et la réception de messages texte ainsi que le transfert de données via le réseau mobile.

Les mots clés : Arduino Uno, Station météorologique autonome, Système photovoltaïque, données climatiques, capteurs de mesures BMP280+AHT20, TSL2561, Ecran LCD, Carte SD, Module de communication GSM.

Abstract:

Our project involves creating and designing a standalone weather station based on an Arduino Uno board, powered by a photovoltaic system (solar panel and battery) to monitor changes in climate data. The station uses sensors to measure temperature, humidity and pressure (BMP280+AHT20), and light (TSL2561). These data are displayed on an LCD screen, in addition to being saved and recorded on an SD card. The station also allows for remote monitoring of climate changes via GSM communication modules, enabling the sending and receiving of text messages as well as data transfer over the mobile network.

Key words: Arduino Uno, standalone weather station, photovoltaic system, climatic data, measurement sensors DHT11, BME280, TSL2561, LCD Screen, SD Card, GSM communication modules.

Dédicaces

*Avec tous nos affections,
nos profondes reconnaissances,
Nous dédions ce modeste travail :*

A nos très chers parents

A nos familles

A tous nos collègues

Remerciements

Nous commençons par remercier Allah pour ses bénédictions.

Le présent travail a été effectué dans le département des énergies renouvelables de la faculté des sciences et de la technologie de l'université Saad Dahleb Blida 1.

Nous exprimons toute notre gratitude à Monsieur T. DOMAZ, maître au département, pour ses efforts et ses précieux conseils qui nous ont guidés tout au long de ce travail. Ses remarques et suggestions ont grandement contribué à faire progresser nos recherches. Nous remercions également les membres du jury pour leurs critiques constructives.

Nous exprimons nos vifs remerciements à Monsieur A. BENAHMED, en particulier, à Monsieur BOUZAKI, ainsi qu'à toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont aidés et soutenus pendant cette formation. Nous exprimons notre gratitude à l'école ' Innovation world ' pour ses efforts en nous fournissant les informations et les directives scientifiques nécessaires à la réussite du projet.

Table des matières

Sommaire

Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités Sur La Météorologie	2
I.1. Introduction :.....	2
I.2. La Météorologie :.....	2
I.3. Station Météorologique :.....	2
I.4. Les Types De Stations Météorologiques :.....	3
I.4.1. Station Météo Manuelle (Traditionnel) :.....	3
I.4.2. Station Météo Automatique :	4
I.5. Les Variables Météorologiques :.....	4
I.5.1. Le Température :.....	4
I.5.2 L'humidité :	5
I.5.3. L'ensoleillement :	5
I.5.4. Le Vent :	5
I.5.5. La Précipitation :	5
I.5.5.1. La Pluie :	5
I.5.5.2. La Grêle :.....	5
I.5.5.3. La Neige :.....	5
I.5.6. La Luminosité :	6
I.5.7. La Pression Atmosphérique :.....	6
I.6. Les Moyennes D'acquisition Des Données Météorologiques :.....	6
I.6.1. Satellite Météorologique :	7
I.6.2. Les Radars Météorologiques :.....	8
I.6.3. Les Stations Météorologiques Automatiques :.....	8
I.7. Domaine D'application Des Stations Météorologiques :.....	9
I.7.1. Aéronautique :	9
I.7.2. Climatologie :.....	9
I.7.3. Agrométéorologie :.....	9
I.7.4. Sécurité Civile :.....	10
I.8. L'état De L'art :	10
I.9. Conclusion :	11

Chapitre II : Étude Des Différents Composants De La Station Météo	12
II.1. Introduction :	12
II.2. Les Instruments De Mesure Météorologique :	12
II .2.1. Le Baromètre :	12
II .2.2. L’hygromètre	13
II .2.3. L’anémomètre :	14
II .2.4. La Girouette :	15
II .2.5. Le Pluviomètre :	15
II .2.6. Le Nivomètre :	16
II .2.7. L’Héliographe :	17
II .2.8. Le Pyranomètre :	19
II .2.9. Le Thermomètre :	19
II.3. Conclusion :	21
Chapitre III : Conception Et Réalisation De La Station Météo	22
III.1. Introduction :	22
III.2. Réalisations De La Station :	22
III.2.1. Matériels Utilisés :	22
III.2.1.1. Carte Arduino :	22
III.2.1.2. Les Types De La Carte Arduino :	22
III.2.1.3. La Carte Arduino Uno :	23
III.2.1.3. Description Des Captures Utilisées :	24
III.2.1.3.1. Capture De Température Et Pression, Humidité (Bmp280+Aht20) :	24
III.2.1.3.2. Capteur De Luminosité Tsl2561 :	26
III.2.1.3.3. Le Module Rtc Ds3231 :	28
III.2.1.3.4. Module Carte Sd :	29
III.2.1.3.5. Afficheur Lcd-I2c :	31
III.2.1.3.6. La Batterie :	32
III.2.1.3.7. Module Gsm 800l :	33
III.2.1.3.8. Plaque D’essai :	34
III.2.1.3.9. Module Pv :	35
III.2.1.3.10. Régulateur Pwm :	36
III.2.1.3.11. L’abri :	37

III.2.1.3.12. La Station Météo :	38
III.2.1.3.13. Logiciel De Programmation De Carte Arduino :	39
III.2.1.3.14. Fritzing :	40
III.3. Conclusion :	41
Chapitre Iv : Resultat Et Discussion.....	42
IV.1. Introduction :	42
IV.2. Organigramme Du Programme :	42
IV.3. Les Résultats :	44
IV.3.1 Discussion :	47
IV.3.2 Discussion :	48
IV.3.3 Discussion :	49
IV.4. Conclusion :	50
Conclusion Générale :	51
Anexe	52
Les Références :	57

LISTE DES GRAPHIQUES ET TABLEAUX

LISTE DES GRAPHIQUES

Figure I.1 : Station météorologique.....	2
Figure I.2 : station météorologique manuelle.	3
Figure I.3 : station météorologique automatique.....	4
Figure I.4 : Différents variables météorologiques.....	6
Figure I.5 : système d'observation météorologique globale.....	7
Figure I.6 : Schéma montrant les orbites des satellites météorologiques.....	7
Figure I.7 : Fonctionnement d'un radar météorologique.....	8
Figure I.8 : Station météorologique terrestre.....	9
Figure II.1 : différents instruments de mesure météorologique.....	12
Figure II.2 : (a) Baromètre a mercure, (b)Baromètre anéroïde, (c)Baromètre électronique..	13
Figure II.3 : (a)L'hygromètre à cheveu, (b)L'hygromètre à condensation, (c)L'hygromètre capacitif , (d)L'hygromètre résistif.....	13
Figure II.4 : L'anémomètre à coupelles.....	14
Figure II.5 : (a) L'anémomètre à ultrasons 3D , (b) L'anémomètre à ultrasons	14
Figure II.6 : La girouette meteorologique.....	15
Figure II.7 : pluviomètre a auget.	16
Figure II.8 : pluviomètres à pesée.	16
Figure II.9 : Le nivomètre.....	17
Figure II.10 : le nivomètre à rayons gamma.....	17
Figure II.11 : L'héliographe à boule de verre.....	18
Figure II.12 : héliographe à cellules photovoltaïques.....	18
Figure II.13 : Le pyranomètre.....	19
Figure II.14 : (a)Thermomètres à résistance,(b)Thermomètres thermistance,(c)Thermomètres aspirés à résistance de platine.....	20
Figure III.1 : Carte Arduino Uno.....	23
Figure III.2 : Capteur BMP280+AHT20.....	24
Figure III.3 : Schémas électriques de capteur (BMP280+AHT20) avec Arduino Uno.....	25
Figure III.4 : Montage réel de capteur (BMP280+AHT20) avec Arduino Uno.....	25
Figure III.5 : capteur de luminosité TSL2561.....	26
Figure III.6 : Schéma électrique de capteur TSL2561.....	27

Figure III.7: Montage réel de TSL2561 avec Arduino Uno.....	27
Figure III.8: Le module RTC DS3231.....	28
Figure III.9: Schéma électrique de Module RTC DS3231.....	28
Figure III.10: Montage réel de module RTC DS3231 avec Arduino Uno.....	29
Figure III.11: Module carte SD.....	29
Figure III.12: Schéma électrique de Carte SD avec Arduino Uno.....	30
Figure III.13: Connexion de la carte SD avec Arduino Uno.....	30
Figure III.14: l’afficheur LCD I2C.....	31
Figure III.15: schéma électrique de l’afficheur LCD I2C.....	31
Figure III.16: Connexion de l’afficheur LCD I2C avec Arduino Uno.....	32
Figure III.17: Batterie plomb-acide (12V/7Ah).....	32
Figure III.18: Le module GSM SIM800L.....	33
Figure III.19: Schéma électrique de module GSM 800L avec Arduino Uno.....	33
Figure III.20: Connexion de module GSM 800L avec Arduino Uno.....	34
Figure III.21: plaque d’essai.....	34
Figure III.22: le Module PV.....	35
Figure III.23: le régulateur PWM.....	36
Figure III.24: Le schma électrique des capteurs de la station météo.....	36
Figure III.25: Connexion des capteurs utilisés dans la station.....	37
Figure III.26 : L’abri réaliser.....	37
Figure III.27 : La station météo réaliser.....	38
Figure III.28: Une page vierge dans le logiciel Arduino.....	39
Figure III.29: Détail de barre de bouton.....	39
Figure III.30: logiciel fritzing.....	40
Figure(IV.1): Image satellite du site de Blida.....	42
Figure(IV.2): Organigramme de programmation.....	43
Figure(IV.3): Programme de simulation.....	44
Figure(IV.4): Les résultats sous format TXT.....	45
Figure(IV.5): Les résultats dans logiciel Excel	46
Figure(IV.6): température et pression donnée par la station en fonction du temps.....	47
Figure(IV.7)): température et humidité donnée par la station en fonction du temps.....	48

Figure(IV.8) : température et éclairage donnée par la station en fonction du temps..... 49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III.1 : les différents types d'Arduino.....	22
Tableau III.2 : les caractéristiques de la carte Arduino Uno.....	23
Tableau III.3 : Les caractéristiques de capteur de BMP280+AHT20.....	24
Tableau III.4 : Les caractéristiques de capteur de luminosité TSL2561.....	26
Tableau III.5 : Fiche technique de Module PV.....	35

LISTE D'ABRÉVIATIONS

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

ONM : Office Nationale de la Météorologie.

SD : Secure Digital (Carte Mémoire).

AWS : Automated Weather Station (Station Météo Automatisée).

PIC : Programmable Interface Controller (Contrôleur d'Interface Programmable).

DHT : Digital Humidity and Temperature (Humidité et Température Numériques).

TSL : Integrated Development Environment.

I2C : Inter-Integrated Circuit (Circuit Inter-Intégré).

GSM : Global System for Mobile Communications (Système Global pour les Communications Mobiles).

ATMEL : Advanced Technology for Memory and Logic (Technologie Avancée pour la Mémoire et la Logique)

BMP : Barometric Pressure (Pression Barométrique).

Uno : Uno (Première version d'une série de cartes Arduino).

AVR : Advanced Virtual RISC (Reduced Instruction Set Computer).

GPRS : General Packet Radio Service (Service Général de Radiocommunication par Paquets).

PCB : Printed Circuit Board .

PWM : Pulse Width Modulation.

PV : panneaux photovoltaïques.

LCD : Liquid Crystal Display (Écran à Cristaux Liquides).

Introduction générale

À notre époque, la nécessité d'obtenir des informations en temps réel sur les paramètres environnementaux devient très importante pour nombreuses applications industrielles et scientifiques, surtout dans le domaine aéronautique, écologique et navigation, en particule ici les énergies renouvelables ou on utilise ces mesures pour estimer les gisements ou effectuer les commandes telles que le commande de maximisation de la puissance MPPT. Cependant la manque des stations installées par l'office national de météorologie l'ONM dans tout le territoire Algérien, et le cout élevé d'installation présentent un défi contre la récolte des bonnes mesures.[1]

L'évolution des composants électroniques intelligents permet de réduire le coût et l'encombrement des installations complexes, ouvrant la voie à de nombreuses possibilités pour réaliser facilement des stations météorologiques.

Une station météorologique est équipée d'un ensemble de capteurs qui enregistrent diverses mesures climatiques, telles que la température, la pression atmosphérique, l'humidité de l'air, la vitesse et la direction du vent, ainsi que le rayonnement solaire global, etc. [2]

La création d'une station météo à base d'Arduino offre une occasion excitante de combiner technologie et météorologie. Ces stations météorologiques sont des outils essentiels pour surveiller et comprendre les conditions atmosphériques locales, fournissant des données précieuses pour diverses applications. Elles sont utiles pour la planification agricole, la gestion des ressources naturelles et la sécurité publique.

Notre travaille vise à concevoir et réaliser une station météorologique basée sur une carte Arduino UNO. Cette station sera équipée de plusieurs capteurs permettant de mesurer divers paramètres environnementaux tels que la température, la pression atmosphérique, l'humidité et l'éclairement. De plus, nous intégrons un module GSM (Global System for Mobile Communications) ainsi une carte SD pour collecter, traiter et transmettre les données météorologiques. L'objectif principal de ce projet est de constituer une base de données météorologique. Ces données seront stockées sur la carte SD puis transférées et rendues accessibles à distance via le réseau GSM.

Nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres :

Dans Le premier chapitre nous avons donné quelques informations générales sur les stations météorologique.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des différents composants de la station météo.

Le troisième chapitre est consacré à la conception et la réalisation de la station météo.

Le chapitre quatre est réservé aux tests et résultats et nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre I : Généralités sur la météorologie

I.1. Introduction :

De nos jours, la météorologie joue un rôle très important pour de nombreuses activités humaines qui nécessitent une compréhension approfondie des variations climatiques de notre planète. Pourtant, il a toujours été difficile de prévoir le mauvais temps sans instruments de mesure.

Dans ce chapitre, nous présentons une description détaillée d'une station météorologique en générale, afin de répondre aux caractéristiques spécifiques de notre région.

I.2. La météorologie :

La météorologie est la science qui étudie l'atmosphère terrestre. Son objectif est de comprendre les différents états de l'atmosphère et les phénomènes qui s'y produisent afin de décrire les conditions météorologiques actuelles et de les prédire. Pour ce faire, elle se concentre sur l'observation et l'étude des 30 premiers kilomètres de l'atmosphère, ceux en contact direct avec la surface terrestre. Ces observations permettent de mieux comprendre les interactions entre l'atmosphère et la surface de la Terre, ainsi que les dynamiques atmosphériques qui influencent notre climat quotidien. [3]

I.3. Station météorologique :

Une station météorologique est un équipement professionnel destiné à collecter, analyser et traiter les données météorologiques. En collectant et en analysant la température, l'humidité, la pression atmosphérique, la luminosité, les précipitations, le point de rosée, la vitesse du vent, la direction du vent et d'autres éléments météorologiques, elle prévoit les changements climatiques et répond à divers désastres météorologiques.

L'apparence générale d'une station météorologique se compose d'un mât autonome supportant divers capteurs météorologiques et l'unité centrale de collecte au sommet. Habituellement, le périmètre et le sommet du site d'installation sont éloignés des bâtiments et autres obstructions afin de garantir la précision des données de mesure. [4]



Figure (I.1): Station météorologique. [5]

I.4. Les types de stations météorologiques :

Les différentes catégories de stations météorologiques offrent une gamme variée de capacités pour surveiller et comprendre les conditions météorologiques.

Il existe deux types de station météorologique elles sont définies comme suit :

I.4.1. Station météo manuelle (traditionnel) :

Les stations météorologiques manuelles, également appelées stations traditionnelles, sont des installations où les données météorologiques sont collectées à l'aide d'instruments analogiques par des observateurs humains. Ces stations utilisent une variété d'instruments pour mesurer différents paramètres météorologiques, qui sont ensuite enregistrés manuellement dans des journaux ou des bases de données. Ces stations sont souvent situées dans des zones rurales ou isolées où l'automatisation peut ne pas être pratique ou faisable.

Les observateurs humains lisent ces instruments à intervalles réguliers, généralement plusieurs fois par jour, et consignent les données dans des registres. Ces données sont ensuite transmises aux centres météorologiques pour analyse et prévision. [6]



Figure (I.2): station météorologique manuelle. [7]

I.4.2. Station météo automatique :

Les stations météorologiques automatiques (AWS) sont des installations équipées de capteurs électroniques et de systèmes d'enregistrement de données automatisés. Ces stations fonctionnent sans intervention humaine directe, mesurant et enregistrant les paramètres météorologiques en continu.

Les stations météo automatiques sont souvent équipées de systèmes de communication qui permettent la transmission des données en temps réel à des centres de traitement ou de prévision météorologique. Les données peuvent également être stockées localement sur des dispositifs de stockage numérique pour une récupération ultérieure. [6, 8]

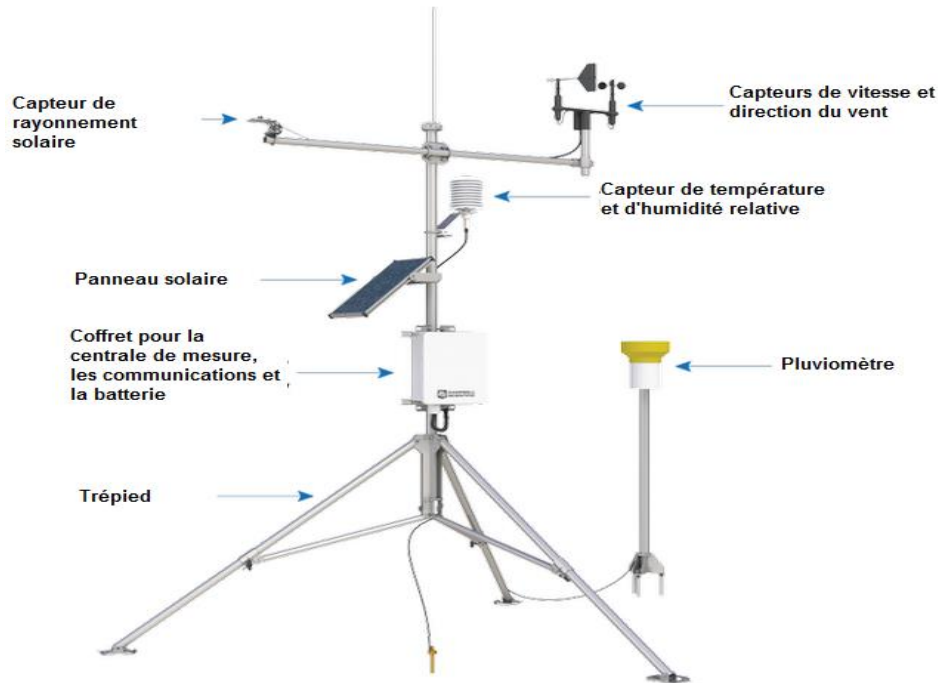


Figure (I.3): station météorologique automatique. [9]

I.5. Les variables météorologiques :

Les paramètres météorologiques les plus pertinents pour définir les conditions météorologiques sont : [10, 11]

I.5.1. Le température :

La température est une mesure numérique d'une chaleur, sa mesure se fait par détection de rayonnement thermique, la vitesse des particules, l'énergie cinétique, ou par le comportement de la masse d'un matériau thermométrique. La mesure de la température est calibrée selon l'une des différentes échelles de température : degrés Celsius, degrés Fahrenheit, ou Kelvin. L'unité S.I. de la température est le Kelvin (K), mais le degré Celsius (°C) est couramment utilisé. Le degré Fahrenheit (°F) est principalement utilisé aux États-Unis.

I.5.2 L'humidité :

L'humidité relative est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air et la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir à une température donnée. Elle s'exprime en pourcentage. Une humidité relative de 100% correspond à un air saturé en vapeur d'eau (risque de nuage, pluie, brouillard, rosée ou givre), tandis qu'une humidité relative de 0% correspond à un air parfaitement sec. L'humidité relative se mesure à l'aide d'un hygromètre ou d'un psychromètre.

I.5.3. L'ensoleillement :

Aussi appelée insolation, c'est la mesure du rayonnement solaire reçu par une surface sur une période donnée, exprimée en mégajoules par mètre carré (MJ/m²) ou en watts-heures par mètre carré (Wh/m²). La durée d'ensoleillement ou durée d'insolation effective est un indicateur climatique mesurant le temps pendant lequel un endroit reçoit un rayonnement solaire suffisamment intense pour produire des ombres nettes. Cet indicateur est lié à la nébulosité, c'est-à-dire la part du ciel couverte par les nuages, et ne doit pas être confondu avec l'ensoleillement, qui mesure la quantité d'énergie solaire reçue sur une surface donnée. La durée d'ensoleillement est généralement exprimée en heures par an ou par jour.

I.5.4. Le vent :

En météorologie, le vent est le mouvement horizontal de l'air, mesuré en fonction de sa direction et de sa vitesse (en km/h ou m/s). Cette mesure est une moyenne sur une période donnée, généralement entre dix minutes et une heure, pour éviter l'influence des fluctuations rapides ou lentes. La vitesse du vent est déterminée à l'aide d'un anémomètre et résulte du déplacement de l'air des zones de haute pression vers les zones de basse pression, causé par les différences de températures en surface dues au rayonnement solaire. Dans la couche limite atmosphérique, le vent présente une structure turbulente avec des variations d'amplitude et de fréquence influencées par la hauteur, la rugosité du sol et la topographie du site.

I.5.5. La précipitation :

Les précipitations désignent les gouttes d'eau ou les cristaux de glace formés après condensation et agglomération dans les nuages, devenant trop lourds pour rester en suspension dans l'air, et tombant ainsi au sol ou s'évaporant avant de l'atteindre. Ces précipitations peuvent prendre différentes formes, les plus courantes étant la pluie, la neige et la grêle, parmi les plus fréquents :

I.5.5.1. La pluie :

se forme depuis des gouttelettes ou des cristaux de glace qui dans leur chute, ne sont pas soumis à des températures inférieures au seuil de congélation.

I.5.5.2. La grêle :

correspond à des billes de glaces pouvant tomber jusqu'à la vitesse de 160 km/h, avec des tailles parfois impressionnantes, certaines fois proches de celle d'une balle de tennis.

I.5.5.3. La neige :

se forme dans des conditions particulières, lorsque la vapeur d'eau se transforme directement en cristaux de glace qui s'agglomèrent de telle façon qu'ils forment des flocons, tout en traversant des couches dont la température leur permet de ne pas fondre au cours de leur chute.

I.5.6. La luminosité :

La lumière est une portion extrêmement étroite du rayonnement électromagnétique qui nous entoure, se déplaçant à une vitesse de 300 000 km/s. Ce rayonnement est caractérisé par sa longueur d'onde λ en mètres, ou par sa fréquence f en hertz ($\lambda = c/f$). Ce que nous appelons "lumière" correspond à la partie de ce rayonnement perceptible par l'œil humain, située entre 0,38 μm et 0,78 μm (380 nm et 780 nm). En réalité, notre œil ne perçoit pas la lumière directement, mais seulement celle qui est émise ou réfléchie par des objets.

I.5.7. La pression atmosphérique :

La pression atmosphérique correspond à la force exercée par une colonne d'air en un point donné. Elle s'exprime en pascals (Pa), unité équivalente au newton par mètre carré (N/m²). En météorologie, les basses pressions, souvent synonymes de mauvais temps dans les régions tempérées, sont couramment mentionnées. Au-dessus de 1020 hPa, on parle de hautes pressions, qui apportent généralement du soleil à ces mêmes latitudes.

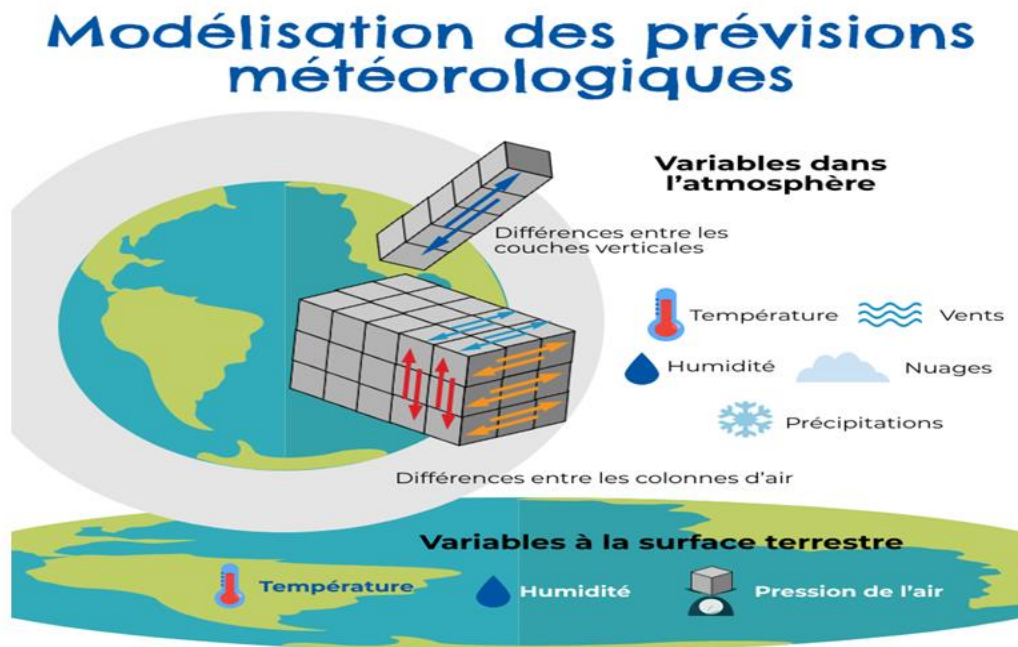


Figure (I.4): Différents variables météorologiques. [12]

I.6. Les moyennes d'acquisition des données météorologiques :

Afin de regrouper un maximum de données météorologiques pour réaliser des prévisions précises et fiables à l'échelle locale ou mondiale, les météorologues utilisent divers moyens de mesure et de collecte d'informations météorologiques dans différents endroits du globe. Cela leur permet de représenter fidèlement tous les phénomènes météorologiques. [13]

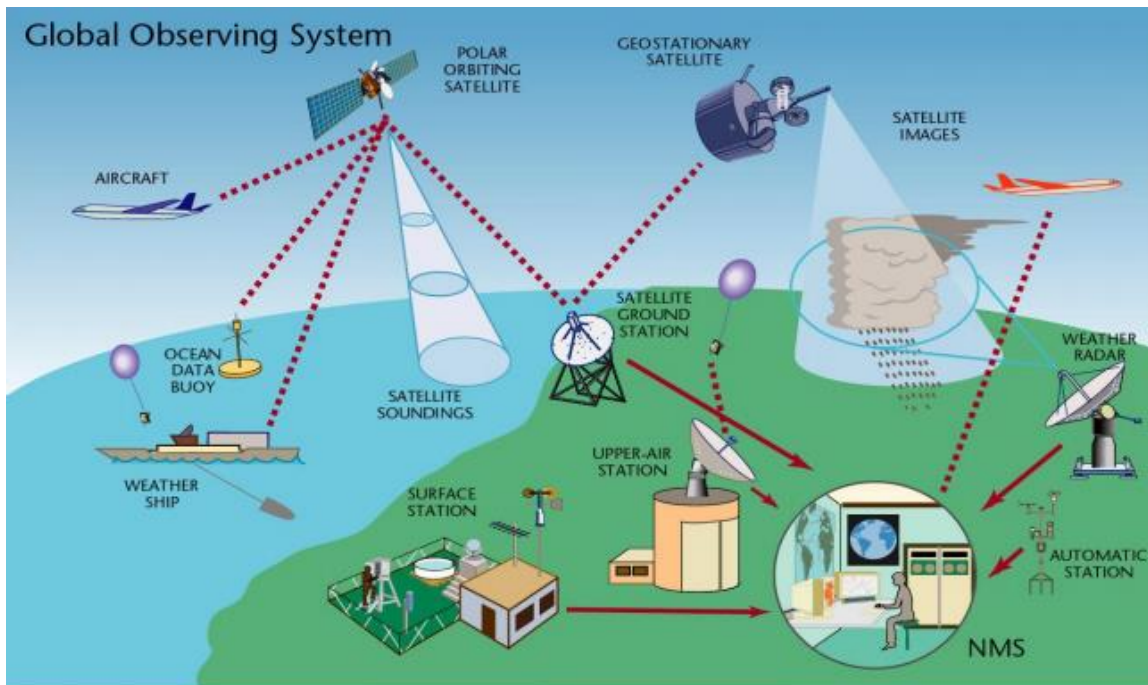


Figure (I.5): système d'observation météorologique globale. [14]

I.6.1. Satellite météorologique :

Un satellite météorologique a pour mission de collecter des données essentielles pour la surveillance du temps et du climat terrestre. Équipé de capteurs ultra-précis, il permet de mesurer divers paramètres météorologiques avec une grande exactitude, ce qui facilite la distinction entre les différents phénomènes météorologiques tels que les nuages, les précipitations, les vents et le brouillard. [13]

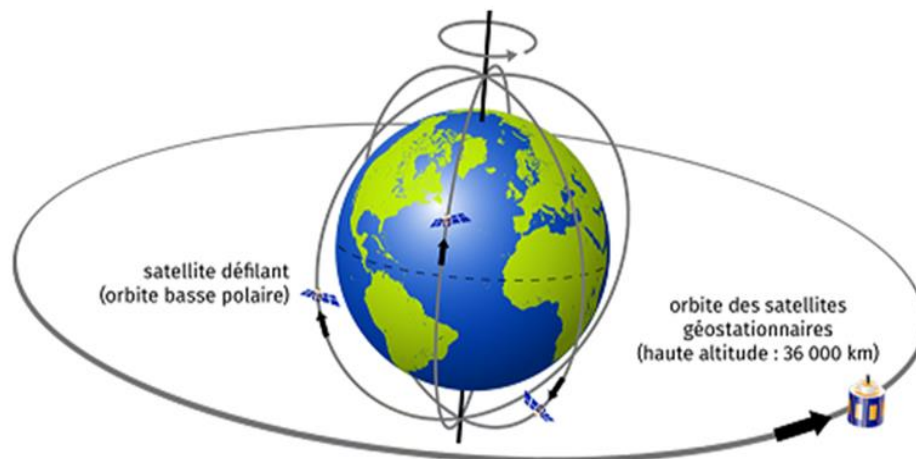


Figure (I.6): Schéma montrant les orbites des satellites météorologiques. [15]

I.6.2. Les radars météorologiques :

Les radars sont des outils d'observation essentiels pour détecter et quantifier les précipitations. Les radars météorologiques permettent de localiser les précipitations et de mesurer leur intensité en temps réel. Ils ont une portée d'environ 100 km pour mesurer la quantité de précipitations et environ 200 km pour détecter des phénomènes dangereux. Un radar est traditionnellement composé d'une antenne parabolique, d'un système d'émission-réception et d'un ordinateur. [13]

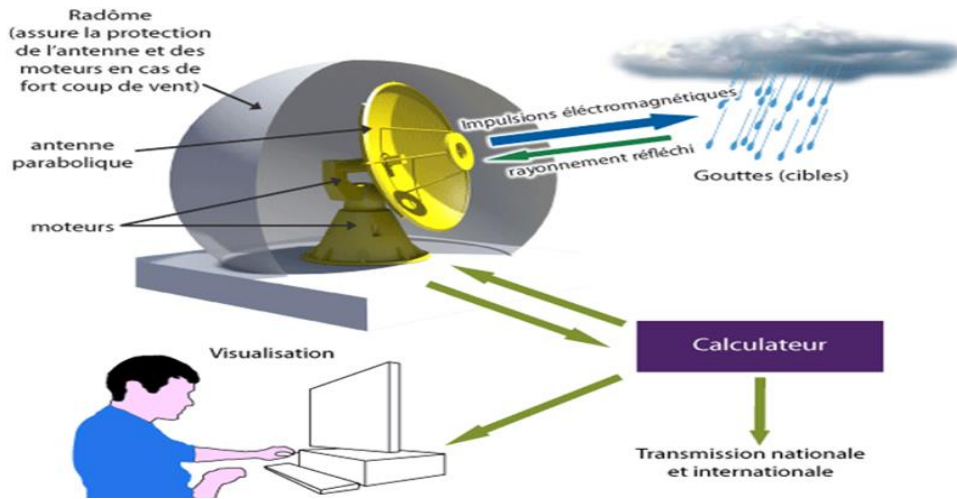


Figure (I.7): Fonctionnement d'un radar météorologique. [16]

I.6.3. Les stations météorologiques automatiques :

Une station météorologique est un ensemble de capteurs qui enregistrent et fournissent des mesures des paramètres météorologiques. Elle peut être fixée au sol ou montée sur des bateaux ou des avions. Les stations peuvent comporter des capteurs pour l'ensemble ou seulement une partie de ces informations, en fonction de leur domaine d'utilisation : agro-météorologie, aéroportuaire, météorologie routière, ou climatologie. [13]



Figure (I.8): Station météorologique terrestre. [17]

I.7. Domaine d'application des stations météorologiques :

Les stations météorologiques sont essentielles dans divers domaines, chacun bénéficiant de données précises et en temps réel pour des applications spécifiques : [18]

I.7.1. Aéronautique :

Dans les aéroports, des stations météorologiques automatiques sont installées pour assurer la sécurité des décollages et des atterrissages. Elles surveillent des phénomènes météorologiques critiques tels que le vent et les précipitations, qui peuvent affecter les opérations aéronautiques.

I.7.2. Climatologie:

Les stations météorologiques jouent un rôle clé dans l'étude du climat. Elles rassemblent des données sur de longues périodes, permettant de suivre les variations climatiques, telles que les changements de température, et d'analyser les tendances à long terme.

I.7.3. Agrométéorologie :

L'utilisation de la station météorologique pour étudier les paramètres météorologiques pour améliorer la gestion de l'agriculture en exploitant les données récoltées pour optimiser les décisions sur le traitement des cultures, et l'anticipation de l'éclosion des insectes ravageurs et l'irrigation.

I.7.4. Sécurité civile :

L'application des stations météorologiques à l'amélioration de la protection des personnes et des biens dans le cas d'événements météorologiques dangereux ou destructeurs.

I.8. L'état de l'art :

➤ Mémoire 1 :

-ChETIOUI Hamza, Conception d'une mini-station météorologique automatique (Comparaison avec les données d'une station synoptique).

-Dans ce travail, ils ont conçu une station météorologique basée sur une carte Arduino afin de suivre et d'acquérir les changements climatiques (température, luminosité, humidité, vitesse du vent, direction du vent). D'une part, ces données sont affichées à l'aide d'un écran LCD et d'autre part, ces variations sont sauvegardées dans un autre logiciel et comparées avec celles de la station météorologique. Ce travail sera orienté vers la gestion du climat d'une serre agricole afin de réduire le coût de son contrôle en énergie.

➤ Mémoire 2 :

-AIT ALLOUCHE Sonia, r MAZARI Idir, Conception et réalisation d'un réseau de stations météorologiques à base de cartes Arduino.

-Dans ce projet, deux stations météorologiques ont été créées, ainsi qu'un logiciel d'affichage pour la collecte et l'analyse des différents paramètres. Pour élargir le champ de mesure, l'une des stations sera connectée à l'interface de traitement par un fil et la deuxième par Bluetooth (que l'on peut remplacer par une carte réseau pour une portée plus longue).

➤ Mémoire 3 :

-KOUIDER ARABI Moncef, HOUACHMI Mammar, conception et réalisation d'un station météo à base d'Arduino.

- Dans cette étude, une station météorologique basée sur Arduino a été créée pour surveiller la température, l'humidité, l'humidité relative, ainsi que la température et l'humidité du sol dans la serre solaire.

➤ Article :

-Yassine Mesbahi, Abdelali Ed-Dahhak, Mohammed Guerbaoui, Abdelouahed Selmani and Abdesalam Lachhab, Data Acquisition of a Photovoltaic Installation using ESP8266 card and MQTT Protocol Réaliser un système d'acquisition pour contrôler la température et l'humidité d'un panneau solaire en utilisant un protocole de transport de télémétrie par messages.

-Ce travail met en évidence l'utilisation des systèmes d'acquisition de données dans les installations photovoltaïques. En utilisant l'Internet des objets (IdO) et le protocole MQTT, les données sont collectées en temps réel via la carte ESP8266, puis envoyées à la plateforme ThingSpeak pour analyse et stockage. Cela permet un suivi pratique de la production photovoltaïque via divers appareils électroniques.

I.9. Conclusion :

Les stations météorologiques représentent un outil indispensable pour comprendre et prévoir les conditions atmosphériques, permettant ainsi une meilleure adaptation et réponse aux défis environnementaux et climatiques actuels, Dans ce chapitre nous avons intéressons aux informations générales sue les stations météorologiques. Le chapitre suivant porte sur l'étude des différents composants des stations météo.

Chapitre II : Étude des différents composants de la station météo

II.1. Introduction :

Une station météorologique est composée de plusieurs instruments et capteurs destinés à mesurer divers paramètres atmosphériques. Chaque instrument joue un rôle essentiel dans la collecte de données précises et fiables, permettant ainsi aux météorologues d'analyser les conditions atmosphériques et de prévoir les phénomènes météorologiques avec une grande précision.

Ces instruments et capteurs incluent des dispositifs pour mesurer la température, la pression atmosphérique, la vitesse et la direction du vent, l'humidité, les précipitations, et bien d'autres paramètres.

II.2. Les instruments de mesure météorologique :

Les instruments utilisés pour mesurer les paramètres météorologiques sont représentés par une variété d'appareils sophistiqués, chacun destiné à collecter des données précises sur des aspects spécifiques des conditions atmosphériques, la figure (II.1) représente les différents composants utilisés dans les stations météorologiques : **(Figure II.1) . [19]**

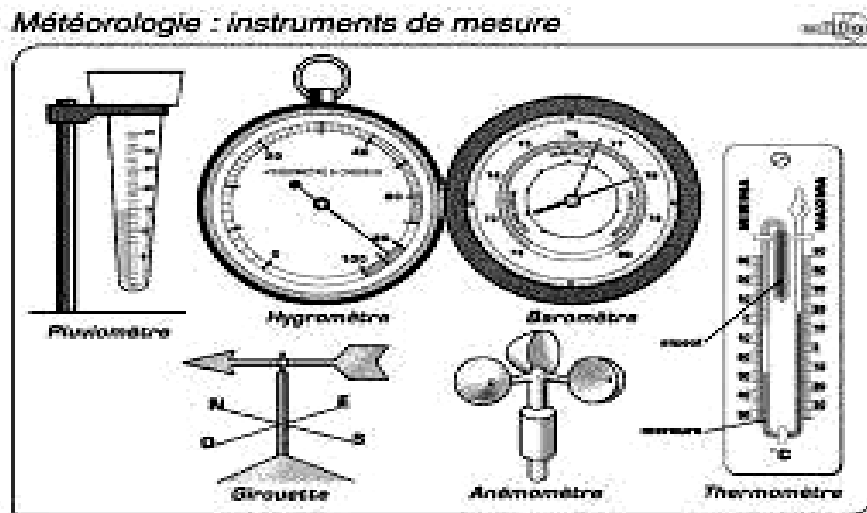


Figure (II.1): différents instruments de mesure météorologique. [19]

Dans la section suivante, nous présentons ces appareils de mesure.

II.2.1. Le baromètre :

Le baromètre est un instrument de mesure, utilisé en physique et en météorologie, qui sert à mesurer la pression atmosphérique. Elle varie suivant le déplacement des masses d'air qui font le temps. On distingue principalement **(Figure II.2) : [20]**

- Le baromètre à mercure.
- Le baromètre anéroïde.
- Les baromètres électroniques.



(a)



(b)



(c)

Figure (II.2): (a) Baromètre a mercure, (b) Baromètre anéroïde, (c) Baromètre électronique. [21, 22,23]

II.2.2. L'hygromètre :

Un hygromètre est un instrument mesurant l'humidité relative de l'atmosphère, l'hygrométrie, et permettant de déterminer le point de rosée. Aujourd'hui, Il existe plusieurs modèles d'hygromètres(**Figure II.3**) , construits selon différents principes physique: [52]

- L'hygromètre à cheveu.
- L'hygromètre à condensation.
- L'hygromètre capacitif.
- L'hygromètre résistif.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure (II.3): (a) L'hygromètre à cheveu , (b) L'hygromètre à condensation, (c) L'hygromètre capacitif (d) L'hygromètre résistif. [24, 25, 26,27]

II.2.3. L'anémomètre :

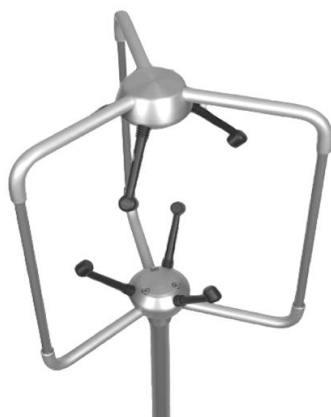
L'anémomètre est un instrument de mesure utilisé dans les stations météorologiques pour déterminer la vitesse et la direction du vent. Il existe différents types d'anémomètres, les plus courants étant l'anémomètre à coupelles et l'anémomètre à ultrasons.

- **L'anémomètre à coupelles** : comporte généralement 3 ou 4 coupelles hémisphériques montées sur des bras horizontaux qui tournent autour d'un axe vertical. La vitesse de rotation est proportionnelle à la vitesse du vent. La direction du vent est déterminée à l'aide d'une girouette fixée au même mât (**Figure II.4**) . [28]



Figure (II.4): L'anémomètre à coupelles. [29]

- **L'anémomètre à ultrasons** utilise la vitesse de propagation d'ondes ultrasonores entre plusieurs paires d'émetteurs-récepteurs pour déterminer la vitesse et la direction du vent en 2D ou 3D. (Figure II.5) Il n'a pas de pièces mobiles, ce qui réduit l'usure et nécessite moins de maintenance. [30]



(a)



(b)

Figure (II.5): (a) L'anémomètre à ultrasons 3D , (b) L'anémomètre à ultrasons 2D .[50,49]

II.2.4. La Girouette :

La girouette est un instrument de mesure utilisé dans les stations météorologiques pour déterminer la direction du vent. Elle est généralement montée au sommet d'un mât, souvent en combinaison avec un anémomètre pour mesurer également la vitesse du vent.

La girouette traditionnelle se compose d'une flèche horizontale qui pivote librement autour d'un axe vertical. La pointe de la flèche s'oriente dans la direction d'où vient le vent. La direction est généralement indiquée en degrés par rapport au nord géographique

(0° = Nord, 90° = Est, 180° = Sud, 270° = Ouest).

Certaines girouettes modernes utilisent des capteurs sans contact (optiques, magnétiques ou ultrasoniques) pour mesurer la position de la flèche sans frottements mécaniques. Cela améliore la précision et réduit l'usure. **(Figure II.6) [28].**



Figure (II.6): La girouette meteorologique. [32]

II.2.5. Le pluviomètre :

Le pluviomètre est un appareil déployé dans les stations météorologiques afin d'évaluer quantitativement les précipitations sous diverses formes, qu'il s'agisse d'eau de pluie, de neige fondue ou encore de grêle. Son rôle consiste à déterminer l'épaisseur de la couche d'eau recueillie sur une surface spécifique au cours d'une période de temps donnée. [33]

Le pluviomètre à augets : basculeurs est l'un des types les plus courants. Il se compose d'un entonnoir qui collecte l'eau de pluie et la dirige vers un mécanisme à deux augets. Lorsqu'un auget est rempli jusqu'à une certaine quantité (généralement 0,1 ou 0,2 mm), il bascule, vidant son contenu et permettant à l'autre auget de se remplir. Chaque basculement est enregistré électroniquement, permettant de mesurer l'intensité des précipitations. **(Figure II.7) [33]**



Figure (II.7): pluviomètre à auget . [34]

Il existe d'autres types de pluviomètres, comme les pluviomètres à pesée (Figure II.8) qui mesurent le poids de l'eau collectée, ou les pluviomètres optiques qui détectent et comptent les gouttes de pluie individuelles. [35]



Figure (II.8): pluviomètres à pesée. [36]

II.2.6. Le nivomètre :

Le nivomètre est un instrument utilisé pour mesurer l'équivalent en eau du manteau neigeux. (Figure II.9) Il permet de déterminer la quantité d'eau contenue dans la neige accumulée sur une surface donnée. Ces données sont essentielles pour la gestion des ressources en eau, la prévision des crues et l'étude du bilan hydrologique. [37]



Figure (II.9): Le nivomètre. [38]

Il existe différents types de nivomètres, les plus courants étant le nivomètre à rayons gamma et le nivomètre à source radioactive au sol.

Le nivomètre à rayons gamma mesure l'atténuation des rayons gamma naturels émis par le sol lorsqu'ils traversent le manteau neigeux. Cette atténuation est proportionnelle à l'équivalent en eau de la neige. **(Figure II.10).** [40].

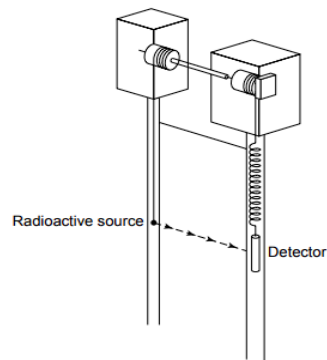


Figure (II.10): le nivomètre à rayons gamma. [39]

Le nivomètre à source radioactive au sol utilise une source radioactive (généralement du césium-137) enterrée sous le manteau neigeux. Un détecteur au-dessus de la neige mesure l'atténuation du rayonnement gamma émis par la source, permettant de déduire l'équivalent en eau. [37]

II.2.7. L'Héliographe :

L'héliographe est un instrument qui permet de mesurer la durée d'ensoleillement à un endroit donné. Il enregistre les périodes durant lesquelles les rayons du soleil atteignent directement un capteur. Cela permet d'évaluer la fraction d'énergie solaire incidente disponible. [41]

Il existe plusieurs types d'héliographes, les plus courants étant :

- **L'héliographe à boule de verre** : Une sphère de verre concentre les rayons du soleil sur une bande de carton encreée qui brûle lorsqu'exposée (**Figure II.11**), laissant une trace dont la longueur correspond à la durée d'ensoleillement. [41]



Figure (II.11): L'héliographe à boule de verre. [41]

- **L'héliographe à cellules photovoltaïques** : Il utilise une ou plusieurs cellules photovoltaïques ombragées par des bandes pour détecter si le soleil est masqué ou non.



Figure (II.12): héliographe à cellules photovoltaïques. [42]

II.2.8. Le pyranomètre :

Le pyranomètre est un instrument de mesure de l'énergie solaire totale reçue sur une surface plane par unité de surface (en W/m^2). Il capte à la fois le rayonnement direct du soleil et le rayonnement diffus provenant de l'atmosphère. (Figure II.13)., [41].

Il existe différents types de pyranomètres :

- **Pyranomètres thermoélectriques** : Ils utilisent une thermopile (série de thermocouples) recouverte d'un revêtement noir mat pour absorber les rayons et générer une différence de température proportionnelle au rayonnement incident. [43].
- **Pyranomètres photovoltaïques** : Une cellule photovoltaïque spéciale bien caractérisée convertit directement le rayonnement solaire en courant électrique proportionnel. [43].
- **Pyranomètres à compensation de chaleur** : Leur conception permet des mesures très précises et stables. Ils sont souvent installés dans les stations de référence régionale ou pour l'étalonnage. [43]

Le choix dépend de facteurs comme la précision désirée, le climat local, les critères de maintenance ou les contraintes budgétaires. [43]

Les stations de plus haut niveau utilisent souvent des pyranomètres de qualité supérieure et plus coûteux. [43]



Figure (II.13): Le pyranomètre. [51]

II.2.9. Le thermomètre :

Les thermomètres sont des instruments essentiels pour mesurer les températures de l'air ambiant dans une station météo. Il existe plusieurs types de thermomètres couramment employés :

- **Thermomètres à résistance** : de platine (PT100/PT1000) Ce sont actuellement les thermomètres privilégiés dans la plupart des stations météo grâce à leur excellente précision ($\pm 0,1^\circ C$) et stabilité à long terme. Une PT100 contient un élément sensible en platine dont la résistance varie de façon reproductible avec la température selon une courbe étalonnée. Ils requièrent une électronique dédiée pour convertir la variation de résistance en température. Très robustes et durables. [44]

- **Thermomètres à thermistance :** Les thermistances sont des semi-conducteurs dont la résistance varie de façon exponentielle avec la température, offrant une très grande sensibilité. Cependant, leur courbe doit être régulièrement réétalonnée et leur plage de température est plus limitée que les PT100. Moins coûteuses, elles restent fréquemment utilisées dans les stations automatiques à petit budget. Précision typique de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$. [45]
- **Thermomètres à thermocouple :** Bien qu'assez précis ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$), leur principal avantage est leur très grande robustesse et résistance aux chocs/vibrations. Ils sont donc privilégiés pour les environnements difficiles comme les sites éloignés/reculés ou les applications aéroportées. Leur principale limite est la dégradation des jonctions et des câbles à long terme. [45]
- **Thermomètres aspirés à résistance de platine :** Pour les mesures de températures les plus fiables possibles dans les stations de référence, on utilise des thermomètres PT100 ou PT1000 de haute précision (jusqu'à $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$), placés dans un abri météo avec un système d'aspiration d'air pour éviter les effets rayonnants. Mais leur coût et leur maintenance sont plus élevés. [45]

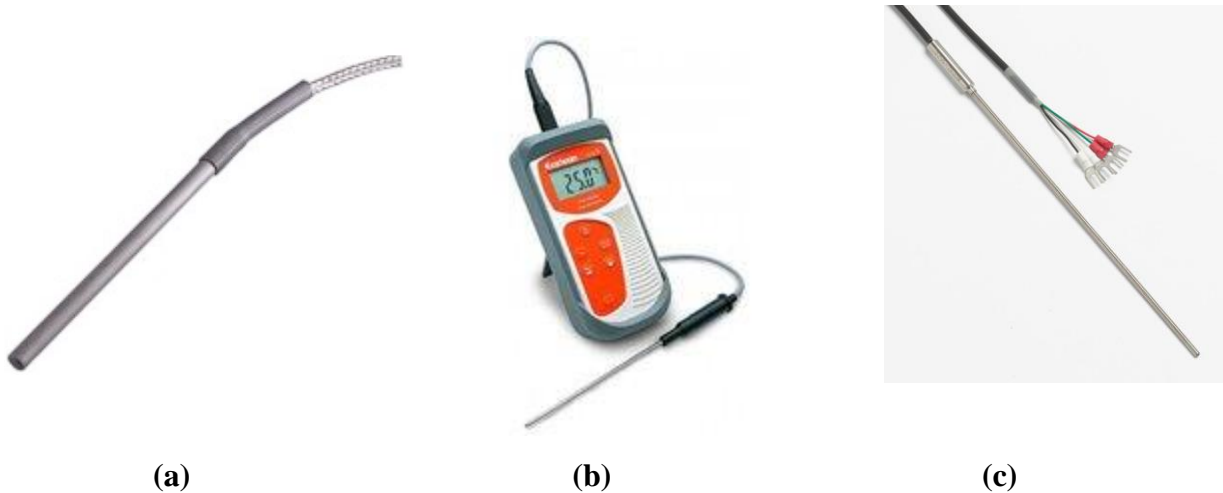


Figure (II.14): (a) Thermomètres à résistance, (b) Thermomètres à thermistance, (c) Thermomètres aspirés à résistance de platine. [46,47,48]

II.3. Conclusion:

Une large gamme d'instruments de mesure est déployée dans les stations météorologiques pour capturer avec précision tous les paramètres atmosphériques essentiels. Les thermomètres, baromètres et hygromètres fournissent des données sur les températures, les pressions et les taux d'humidité. Les anémomètres, girouettes, pluviomètres et nivomètres caractérisent les vents, les précipitations et les accumulations de neige. Enfin, le rayonnement solaire est mesuré à l'aide d'héliographes et de pyranomètres exploitant diverses technologies.

Cette instrumentation variée et sophistiquée permet de constituer une base complète de données météorologiques fiables, indispensables à de nombreuses applications.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons la réalisation et la conception de la station météo.

Chapitre III : Conception et réalisation de la station météo

III.1. Introduction :

La conception et la réalisation d'une station météo impliquent plusieurs étapes clés, allant de la sélection des capteurs à la mise en place du système de collecte, afficher et stocker les données. Ce chapitre est consacré à la réalisation et à la présentation de notre station météorologique, en détaillant ses composants ainsi que son schéma électrique.

III.2. Réalisations de la station :

III.2.1. Matériels utilisés :

III.2.1.1. Carte Arduino :

La carte Arduino et un circuit imprimé spécifiquement conçue pour héberger un microcontrôleur et donner accès a toutes ses entrées et sortie. Elle comprend aussi quelques autres composants électroniques qui permettent de faire fonctionner le microcontrôleur ou d'en étendre les fonctionnalités.

Un microcontrôleur est un petit ordinateur confiné dans un unique circuit intégré (une puce).

Il consiste un excellent moyen pour programmer et pour contrôler des équipements électroniques. Il existe une grande variété de telles cartes à microcontrôleur, certaines de plus utilisées sont la platine wiring le PIC, le Basic Stamp et bien sûr Arduino.[53]

III.2.1.2. Les types de la carte Arduino :

Les cartes Arduino sont disponibles en plusieurs modèles, chacune adaptée à des besoins et projets spécifiques.

Nous allons mentionner les différents types dans le tableau suivant : [54]

Tableau (III.1): les différents types d'Arduino.

Carte Arduino	Flash (KB)	Bootloader (KB)	SRAM (KB)	EEPROM (KB)	Digital (I/O)	Sorties (PWM)	Analog (I/O)
Micro	32	4	2,5	1	20	7	12
Leonardo	32	4	2,5	1	20	7	12
Uno	32	0,5	2	1	14	6	6
Nano	32	2	2	1	14	6	8
MKR Zéro	256	8	32	_	22	12	7/1
101	196	_	24	_	14	4	6
Due	512	_	96	_	54	12	12/12
Méga	256	8	8	4	54	15	16
Zéro	256	_	32	_	20	10	6/1
MO PRO	256	_	32	_	20	12	6/1

L'Arduino utilisé dans notre projet?

III.2.1.3. La carte Arduino Uno :

Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un Microcontrôleur ATMEL de référence ATmega328. L'ATmega328 est un microcontrôleur 8bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C/C++.



Figure (III.1): Carte Arduino Uno.

Les caractéristiques techniques de la carte Arduino Uno : [55]

Tableau (III.2): les caractéristiques de la carte Arduino Uno.

Catégorie	Valeur
Microcontrôleur	ATmega 328
Fréquence d'horloge	16 MHZ
Tension de service	5V
Tension d'entrée	7-12V
Tension d'entrée(limites)	6-20V
Ports numériques	14 entrée et sortie (6 sortie commutable en MLI)
Ports-analogiques	6 entrées analogiques
Courant maxi par broche d'E/Sc.c)	40 mA
Courant maxi par broche 3,3V	50 mA
Mémoire	32 Ko Flash, 2 Ko SRAM, 1 Ko EEPROM
Chargeur d'amorçage	0,5 Ko (en mémoire Flash)
Interface	USB
Dimensions	6,86 cm × 5,3 cm

III.2.1.3. Description des captures utilisées:

III.2.1.3.1. Capture de Température et Pression, Humidité (BMP280+AHT20) :

Le BMP280 et l'AHT20 sont deux capteurs de haute précision intégrant des fonctionnalités complémentaires pour la mesure de la pression atmosphérique, de la température et de l'humidité. Le BMP280, développé par Bosch Sensortec, offre une large plage de mesure de la pression et de la température avec des interfaces numériques I²C et SPI, ainsi qu'une faible consommation d'énergie. L'AHT20, conçu par Aosong, mesure l'humidité et la température avec une grande précision, utilisant une interface I²C et fonctionnant sur une large plage de tension. Ensemble, ces capteurs sont idéaux pour des applications telles que les stations météorologiques, les systèmes HVAC et les appareils portables nécessitant une surveillance environnementale précise et fiable.[56,57]



Figure (III.2): Capteur BMP280+AHT20.

Les caractéristiques techniques de BMP280+AHT20 : [58]

Tableau (III.3): Les caractéristiques de capteur de BMP280+AHT20.

Caractéristique	BMP280	AHT20
Plage de pression atmosphérique	300-1100 hPa	N/A
Plage de température	-40 à +85 °C	-40 à +85 °C
Plage de mesure (humidité)	0% à 100% HR	0% à 100% HR
Interfaces numériques	I ² C, SPI	I ² C
Consommation de courant	2,7 µA à 1 Hz	320 µA en mode actif, 0.1 µA en veille
Tension de fonctionnement	1,71-3,6 VCC	2,0-5,5 VCC
Précision de l'humidité relative	±3% HR	±2% HR
Précision de la température	±1.0°C	±0.3°C

➤ Schémas électriques de capteur (BMP280+AHT20) avec Arduino Uno :

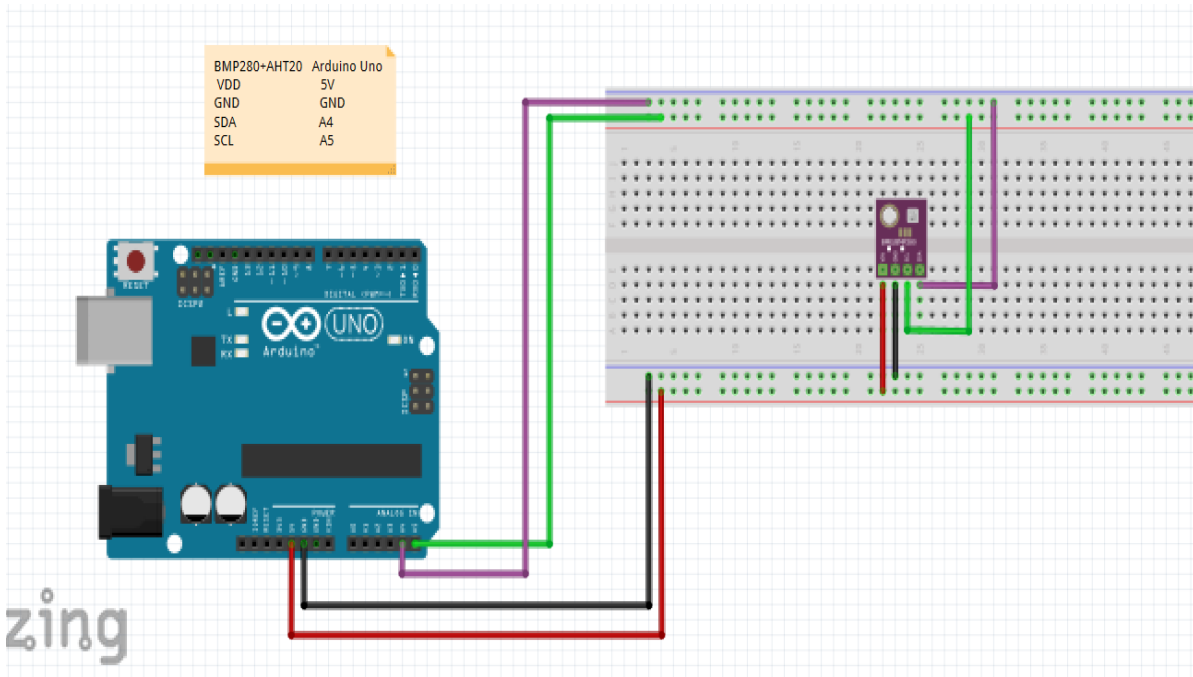


Figure (III.3): Schémas électriques de capteur (BMP280+AHT20) avec Arduino Uno.

➤ Montage réel de capteur (BMP280+AHT20) avec Arduino Uno :

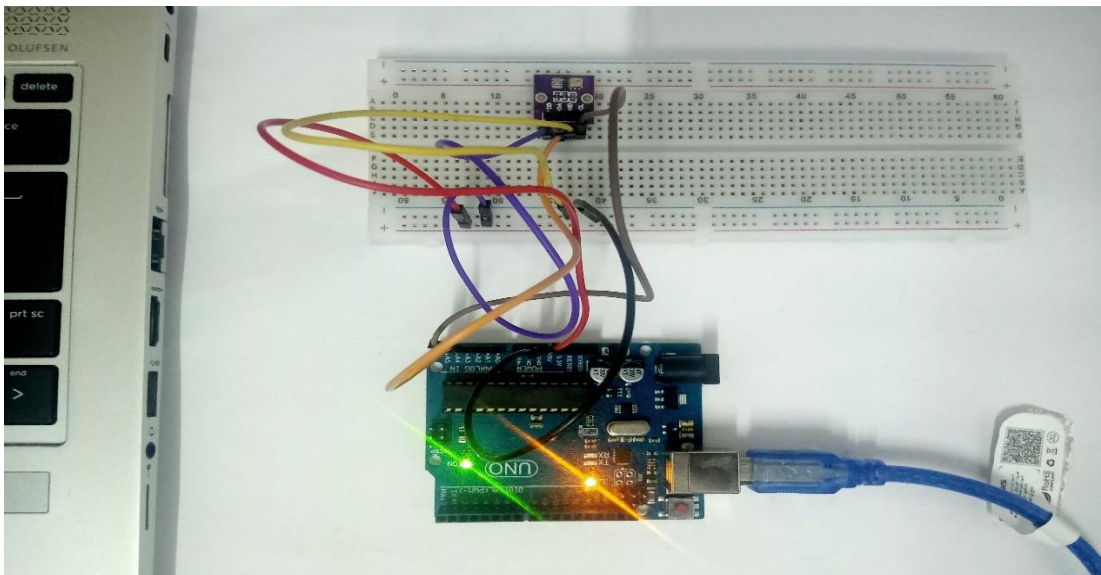


Figure (III.4): Montage réel de capteur (BMP280+AHT20) avec Arduino Uno.

III.2.1.3.2. Capteur de luminosité TSL2561 :

Le TSL2561 est un capteur de lumière abordable mais sophistiqué. Contrairement aux capteurs plus simples, tels que les photo-résistances et les photodiodes, le TSL2561 combine un capteur infrarouge et un capteur de lumière visible pour mieux imiter la réponse de l'œil humain. Étant donné que le TSL2561 est un capteur d'intégration (il absorbe la lumière pendant une période de temps déterminée), il est capable de mesurer des quantités de lumière très faibles et très élevées.[59]



Figure (III.5): capteur de luminosité TSL2561.

Les caractéristiques de capteur TSL2561 : [60]

Tableau (III.4): Les caractéristiques de capteur de luminosité TSL2561.

La plage de mesure	de 0,1 à 40000 Lux.
Courant d'alimentation en fonctionnement	0.6mA
Courant d'alimentation en mode veille	15 μ A
Tension d'alimentation	2.7V à 3.6V.

➤ **Schéma électrique de capteur TSL2561 :**

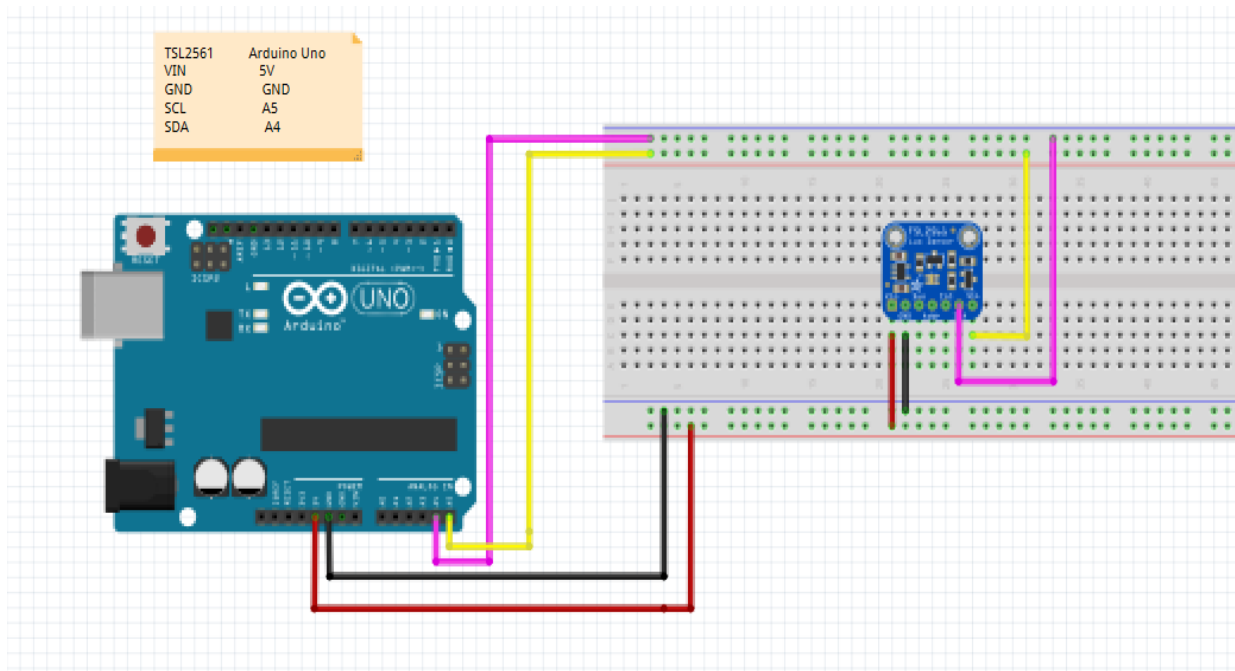


Figure (III.6): Schéma électrique de capteur TSL2561.

➤ **Montage réel de TSL2561 avec Arduino Uno :**

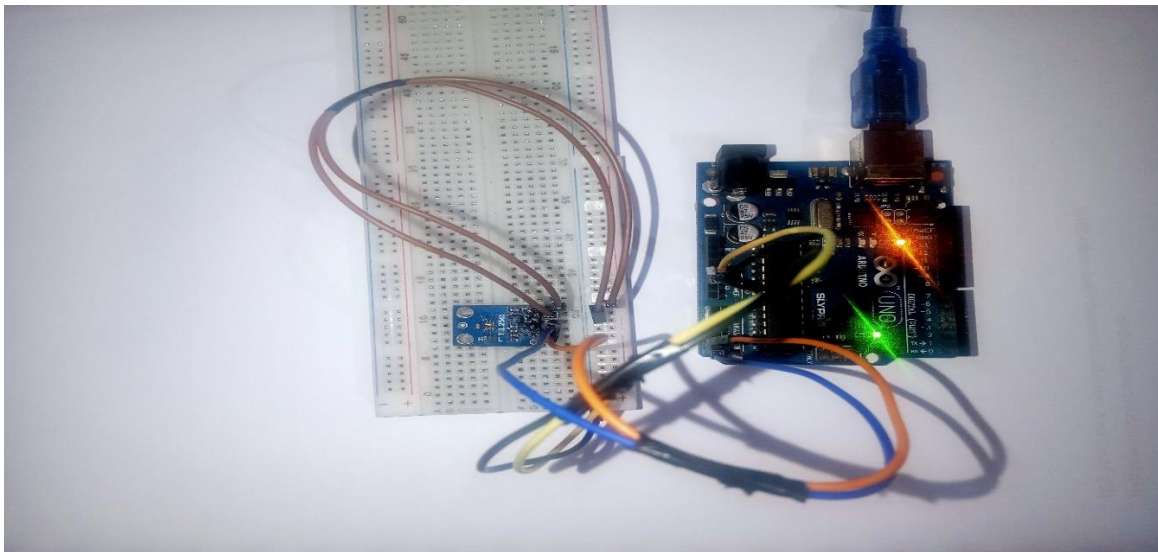


Figure (III.7): Montage réel de TSL2561 avec Arduino Uno.

III.2.1.3.3. Le module RTC DS3231 :

Le module RTC DS3231 est l'un des modules qui fonctionnent comme RTC (Horloge Temps Réel) ou horloge numérique, avec une fonctionnalité de mesure de la température intégrée dans un seul module. L'interface ou l'interfaçage pour accéder à ce module utilise l'I2C ou le bus à deux fils (SDA et SCL). Le module RTC DS3231 est livré avec une batterie CR2032 de 3V qui sert de sauvegarde pour le RTC en cas de coupure de l'alimentation principale. De plus, il contient également une EEPROM AT24C32 qui peut fournir 32k d'EEPROM pour le stockage des données. [61]

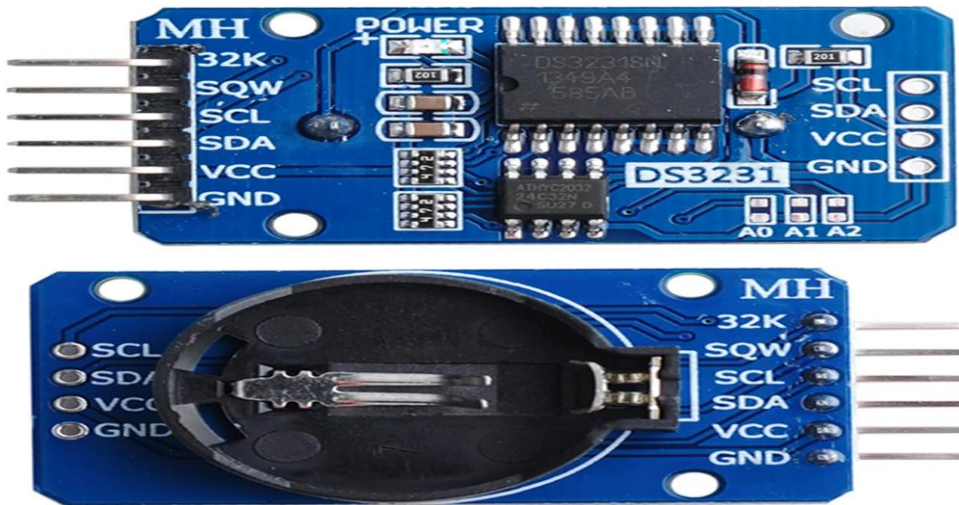


Figure (III.8): Le module RTC DS3231.

➤ Schéma électrique de Module RTC DS3231 :

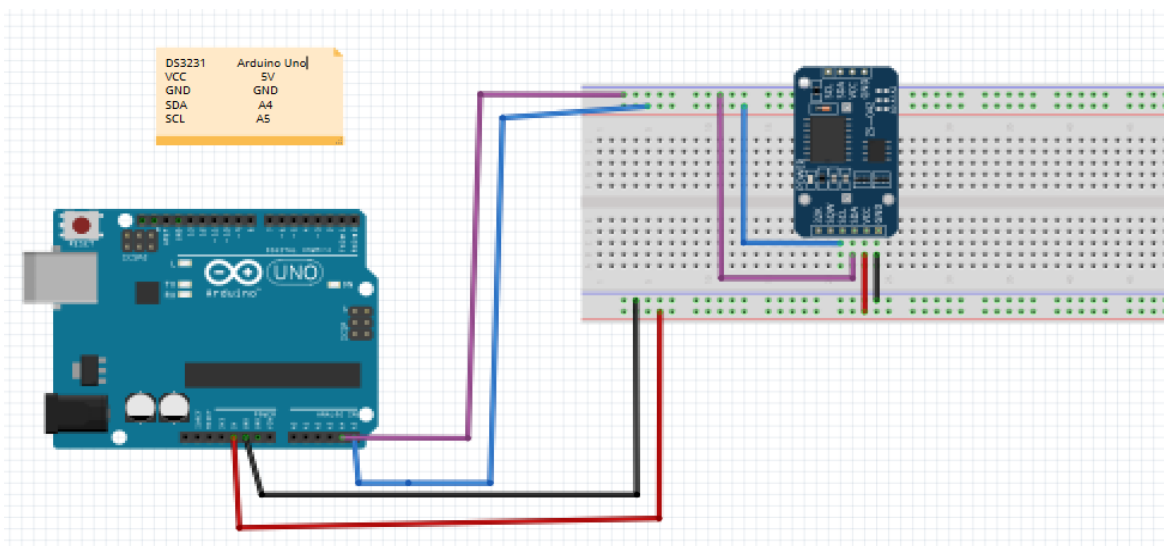


Figure (III.9): Schéma électrique de Module RTC DS3231.

➤ **Montage réel de module RTC DS3231 avec Arduino Uno :**

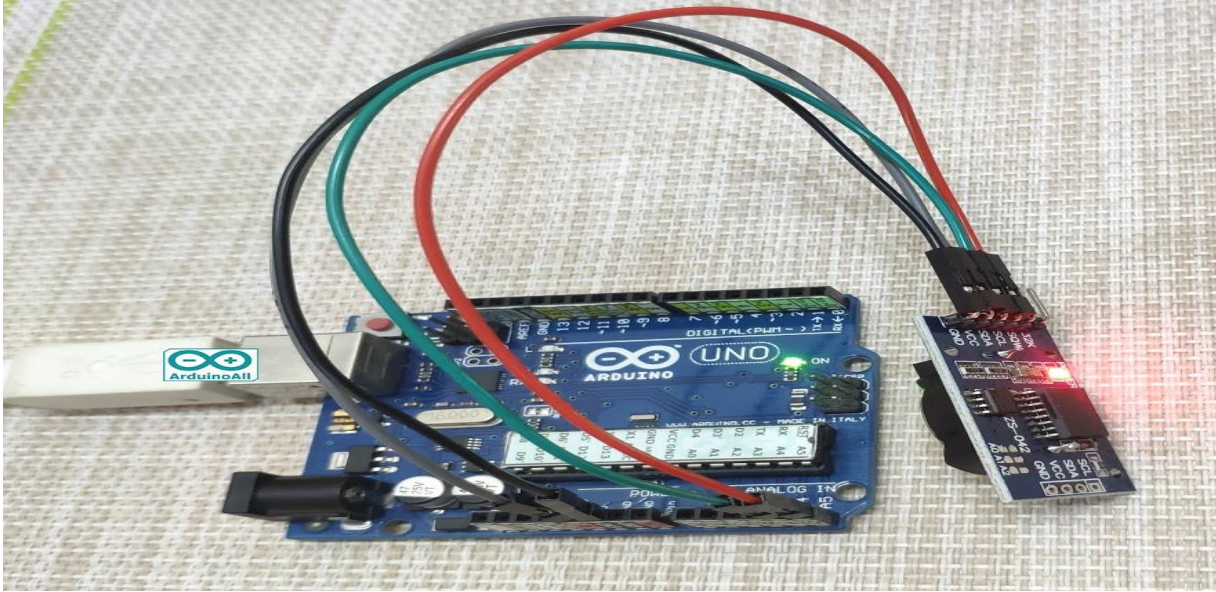


Figure (III.10): Montage réel de module RTC DS3231 avec Arduino Uno.

III.2.1.3.4. Module carte SD :

Ce module carte SD vous permet d'ajouter un espace de stockage pour sauvegarder ou enregistrer les données collectées par les capteurs et transférer vers un autre appareil pour un traitement plus approfondi. Il est facile à utiliser et se connecte directement à votre microcontrôleur ou autre dispositif compatible.

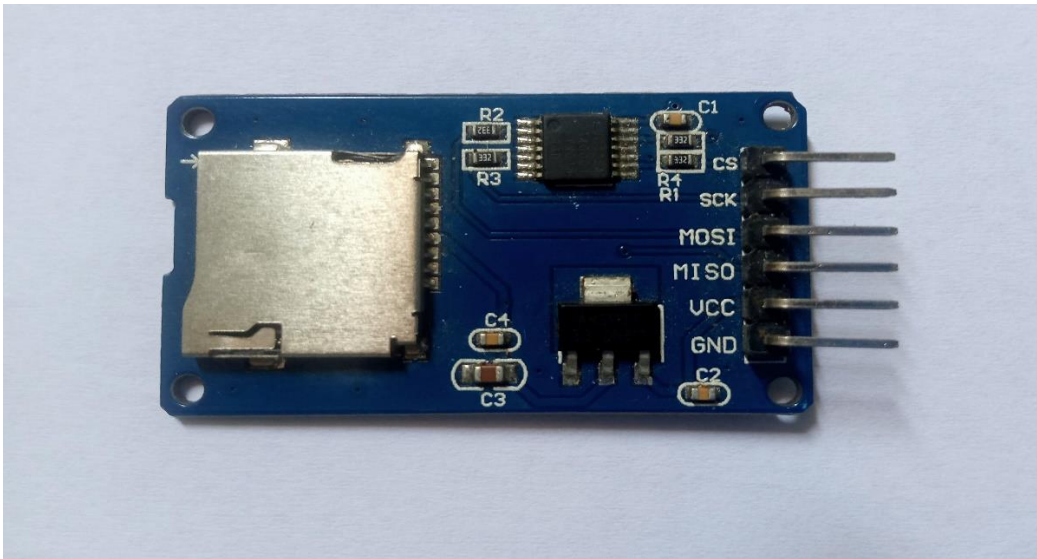


Figure (III.11): Module carte SD.

➤ **Schéma électrique de Carte SD avec Arduino Uno :**

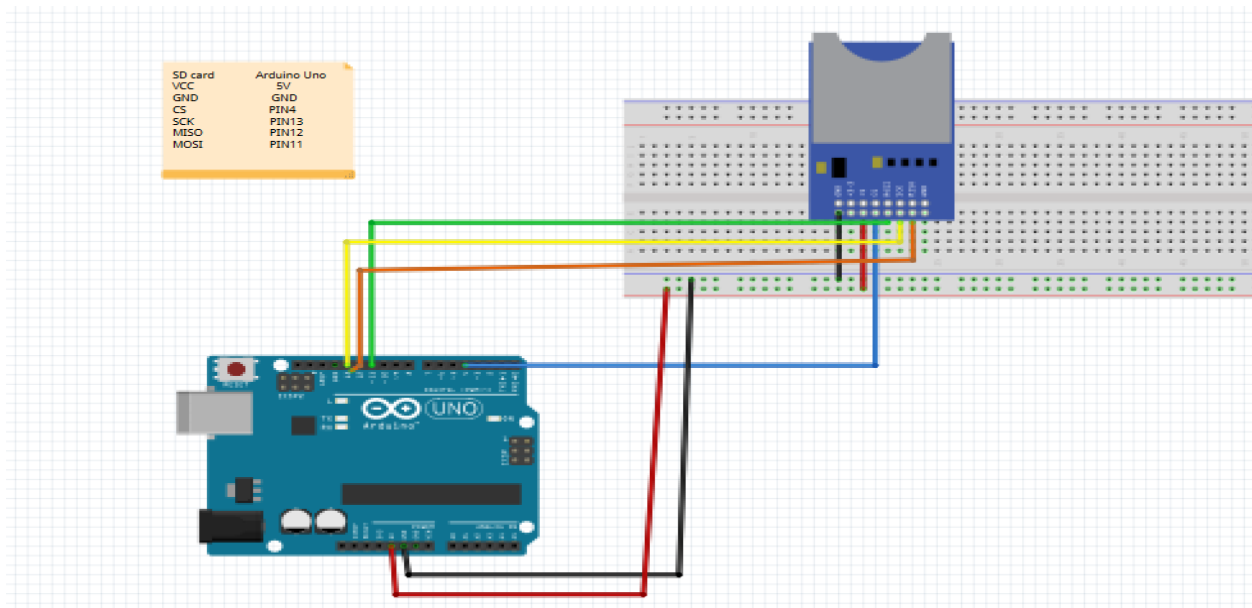


Figure (III.12): Schéma électrique de Carte SD avec Arduino Uno.

➤ **Connexion de la carte SD avec Arduino Uno :**

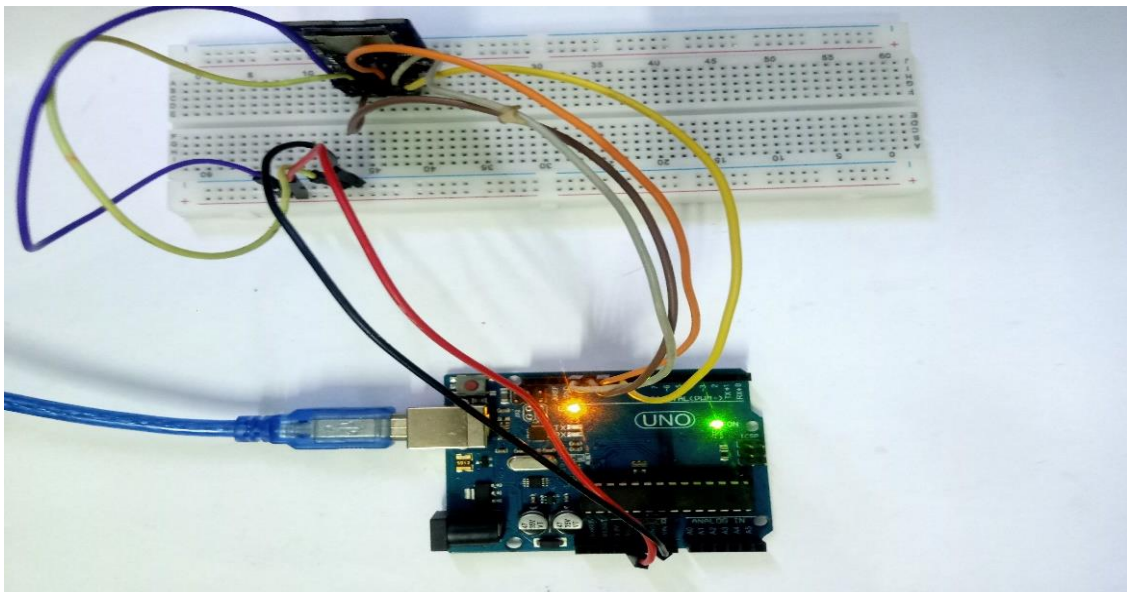


Figure (III.13): Connexion de la carte SD avec Arduino Uno.

III.2.1.3.5. Afficheur LCD-I2C :

Cet afficheur LCD I2C est un module pratique et facile à utiliser pour afficher des informations sur deux lignes de 16 caractères. Il se connecte facilement à des microcontrôleurs comme Arduino. Le module comprend un rétroéclairage réglable, ce qui permet une lecture facile des informations dans des conditions de faible luminosité.

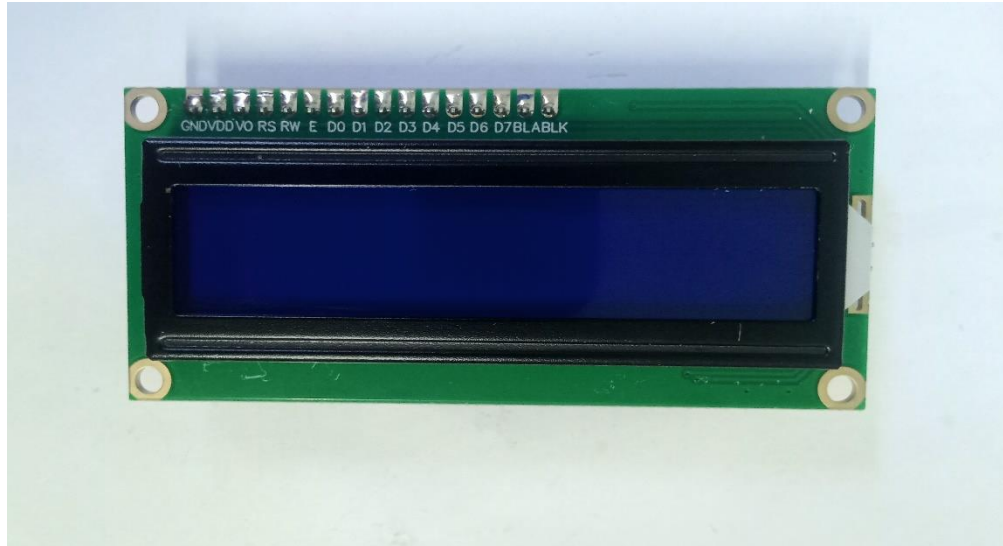


Figure (III.14): l'afficheur LCD I2C .

➤ Schéma électrique de l'afficheur LCD I2C :

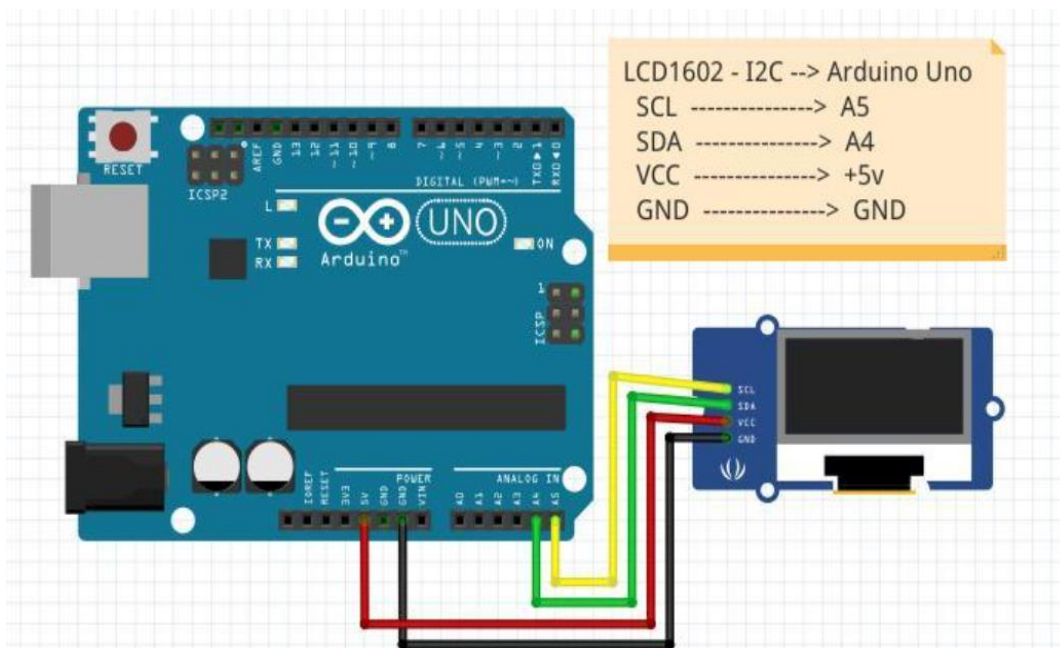


Figure (III.15): schéma électrique de l'afficheur LCD I2C.

➤ Connexion de l'afficheur LCD I2C avec Arduino Uno :

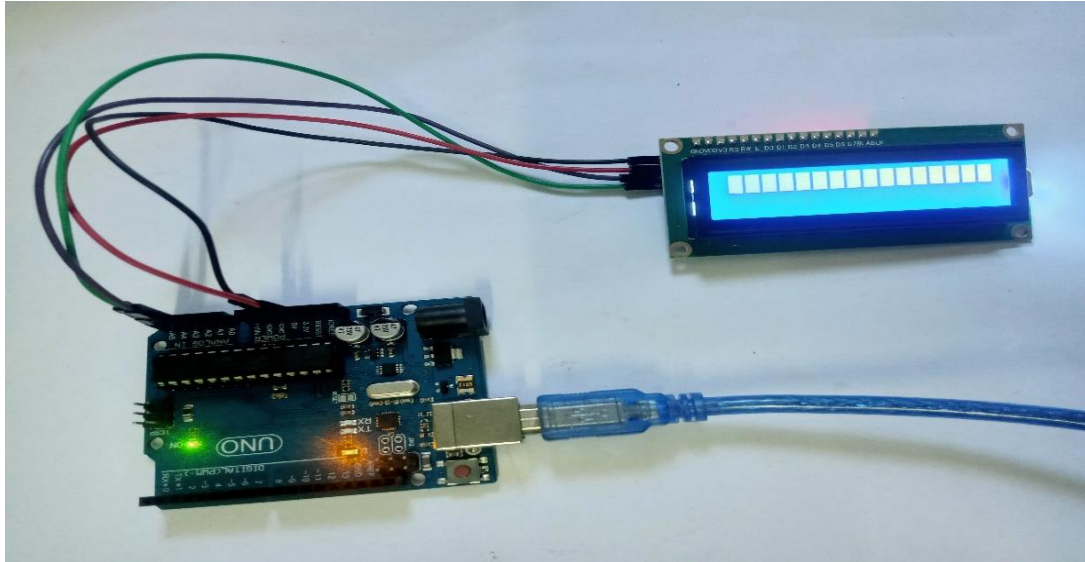


Figure (III.16): Connexion de l'afficheur LCD I2C avec Arduino Uno.

III.2.1.3.6. La batterie :

La batterie utilisé (12V/7Ah) est une batterie plomb-acide de marque YAZIN rechargeable qui fonctionne à une tension nominale de 12 volts et a une capacité de 7 ampères-heures (Ah). Cela signifie qu'elle peut fournir un courant de 7 ampères pendant une heure avant d'être complètement déchargée, ou un courant plus faible pendant une période plus longue. Ces batteries sont couramment utilisées dans diverses applications telles que les systèmes d'alimentation de secours, les systèmes solaires, les équipements électroniques portables, etc



Figure (III.17): Batterie plomb-acide (12V/7Ah).

III.2.1.3.7. Module GSM 800L:

Le module GSM SIM800L est un module de communication très populaire qui permet d'ajouter des fonctionnalités GSM/GPRS à notre projet Arduino. Il peut être utilisé pour envoyer et recevoir des SMS, passer des appels vocaux, et se connecter à Internet via GPRS.

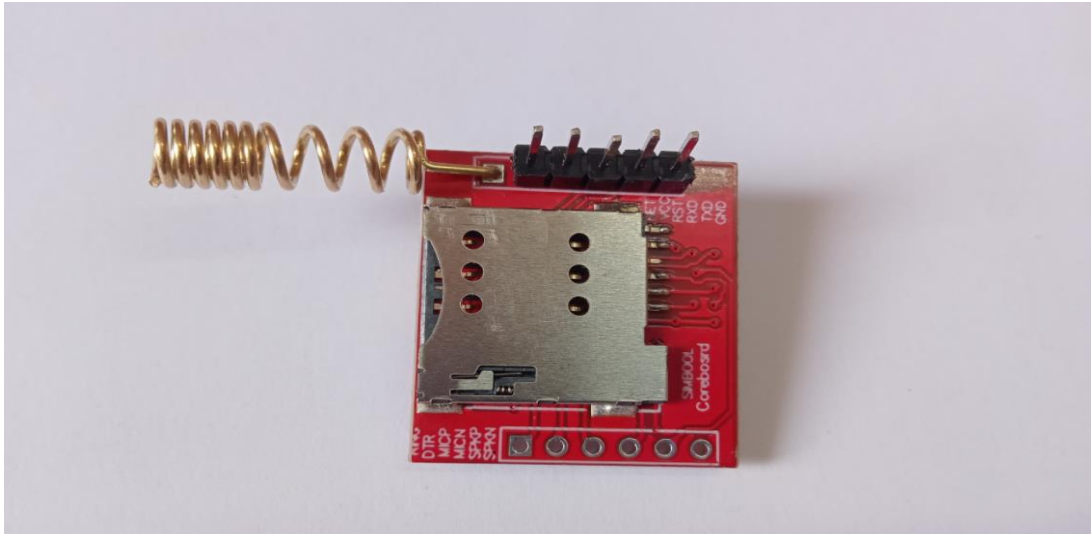


Figure (III.18): Le module GSM SIM800L.

➤ Schéma électrique de module GSM 800L avec Arduino Uno :

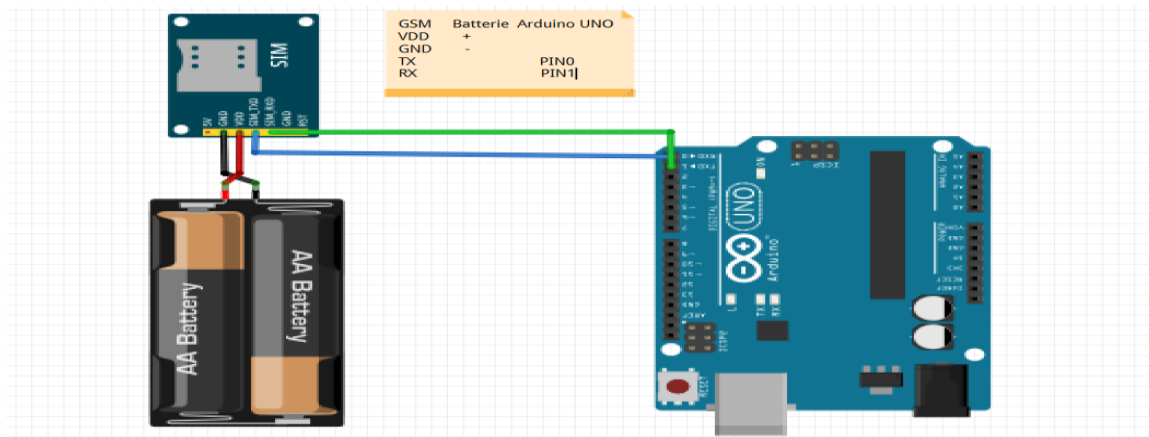


Figure (III.19): Schéma électrique de module GSM 800L avec Arduino Uno.

➤ Connexion de module GSM 800L avec Arduino Uno :

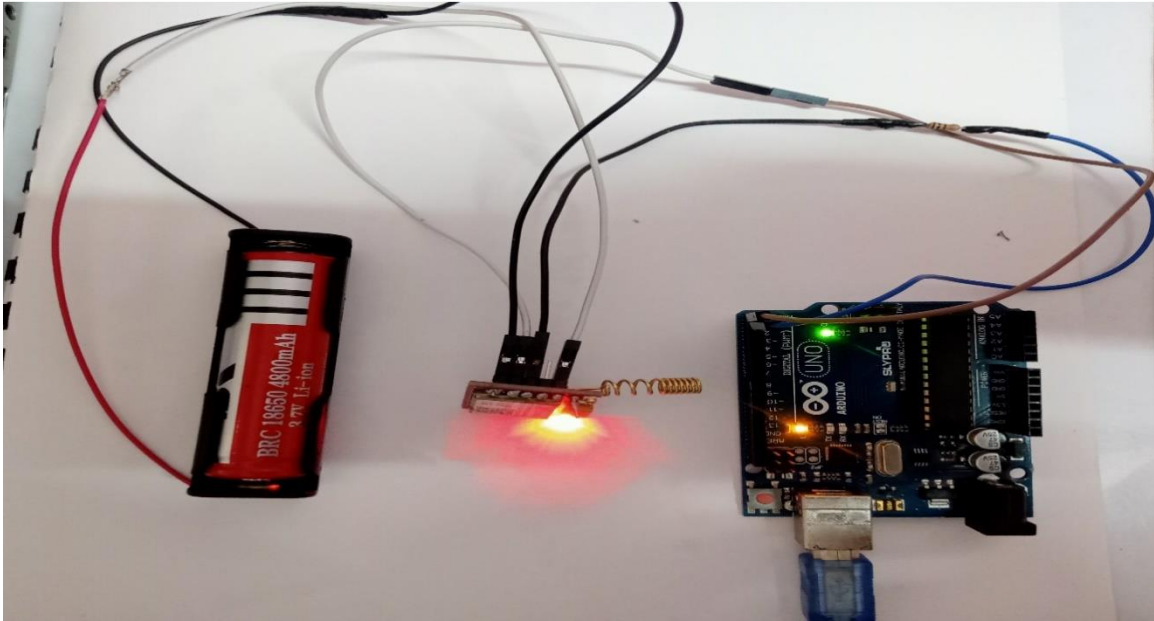


Figure (III.20): Connexion de module GSM 800L avec Arduino Uno.

III.2.1.3.8. Plaque d'essai :

Le breadboard, ou plaque d'essai, est essentiel pour les projets Arduino. Il permet de construire des circuits sans soudure, facilitant ainsi le prototypage. Avec le breadboard, les apprenants peuvent rapidement tester différents composants électroniques et les connecter à Arduino. Les fils de connexion relient les composants sur le breadboard, permettant la création de circuits temporaires sans endommager les composants. [62]

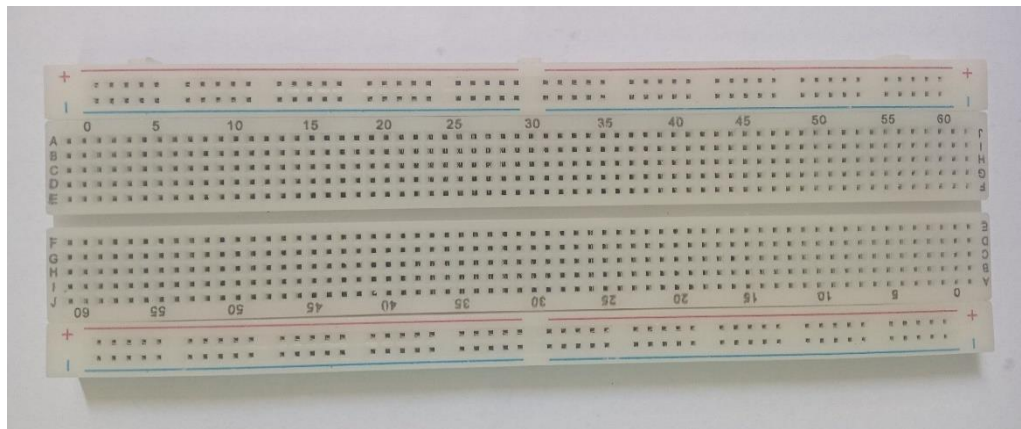


Figure (III.21): plaque d'essai.

III.2.1.3.9. Module PV :

Les modules photovoltaïques, également connus sous le nom de panneaux solaires ou cellules photovoltaïques, sont des dispositifs qui convertissent directement la lumière du soleil en électricité en utilisant l'effet photovoltaïque. Ces modules sont composés de cellules photovoltaïques individuelles qui transforment l'énergie solaire en énergie électrique.

Fiche technique de Module PV :

Tableau III.5 : Fiche technique de Module PV.

Watt peak	4,75Wp
Operating voltage	15V
Operating Current	320mA
Open circuit voltage	19,6V
Short circuit Current	400mA

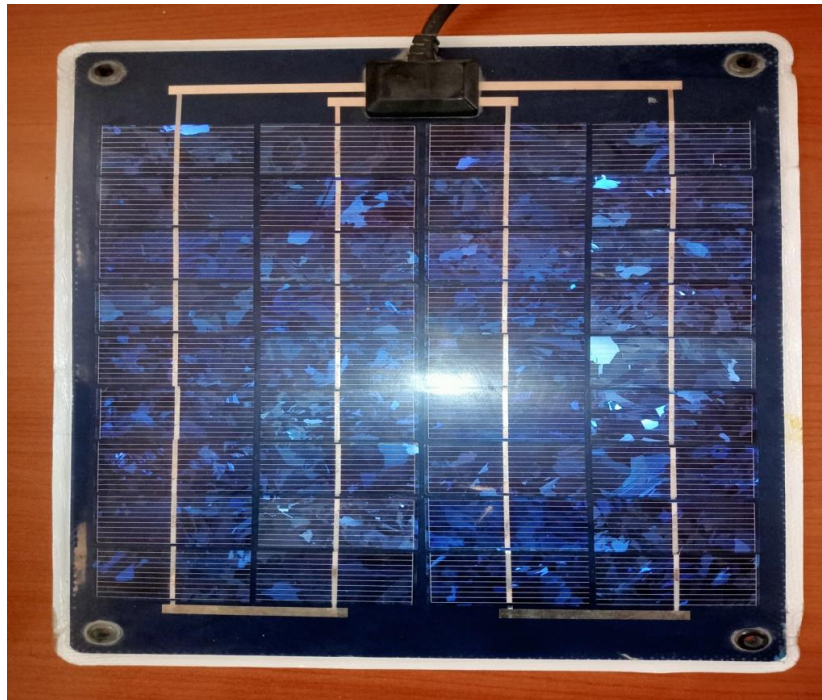


Figure (III.22): le Module PV.

III.2.1.3.10. Régulateur PWM :

Les régulateurs de charge PWM (Pulse Width Modulation) désignent les régulateurs de base, qui ont uniquement pour rôle d'adapter la tension des panneaux dans la plage de tension de charge du parc batterie. Ils sont donc idéals pour les petites installations du fait de leur faible coût. La figure représente le régulateur utilisé dans notre projet :



Figure (III.23): le régulateur PWM.

➤ Le schéma électrique des capteurs de la station météo :

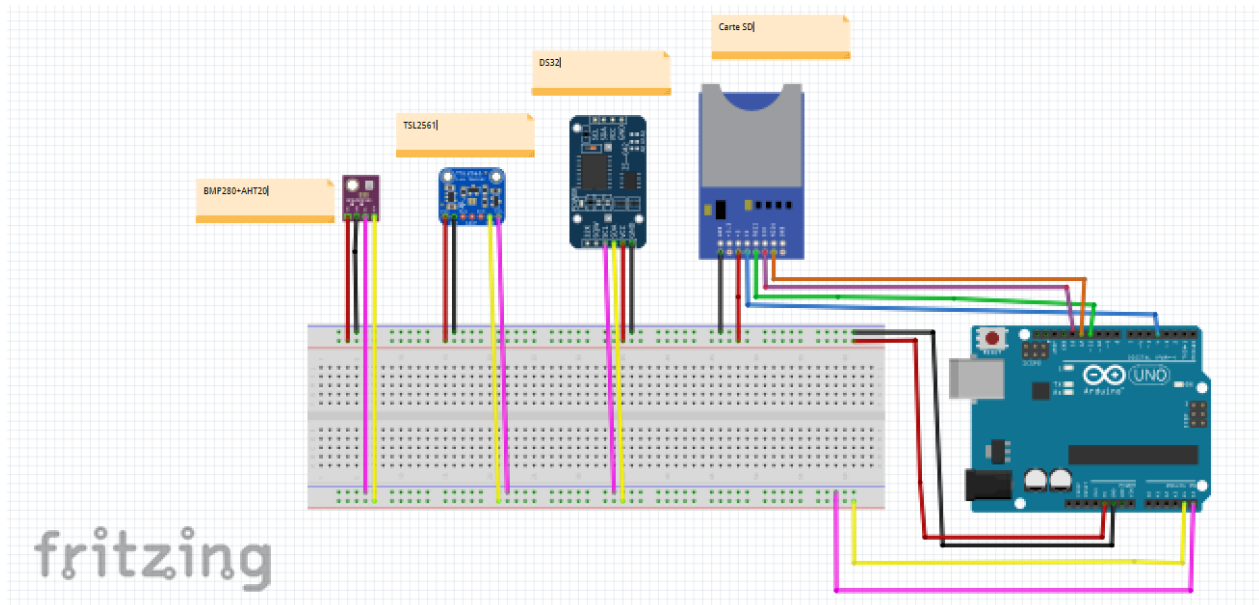


Figure (III.24): Le schéma électrique des capteurs de la station météo.

➤ **Connexion des capteurs utilisés dans la station :**



Figure (III.25): Connexion des capteurs utilisés dans la station.

III.2.1.3.11. L'abri :

Labri dans nos stations météo est une structure protectrice utilisée pour protéger les instruments de mesure tels que le capteur BMP280+AHT20, TSL2561 et autre composants DS3231, Carte SD le module GSM contre les influences extérieures comme la pluie, la neige et le vent.



Figure (III.26):L'abri réaliser.

III.2.1.3.12. La station météo :



Figure (III.27): La station météo réaliser.

III.2.1.3.13. Logiciel de programmation de carte Arduino :

Le logiciel Arduino est un environnement de développement (IDE) open source et gratuit, disponible en téléchargement sur le site officiel Arduino. L'IDE Arduino permet de programmer la carte Arduino en utilisant le langage C.

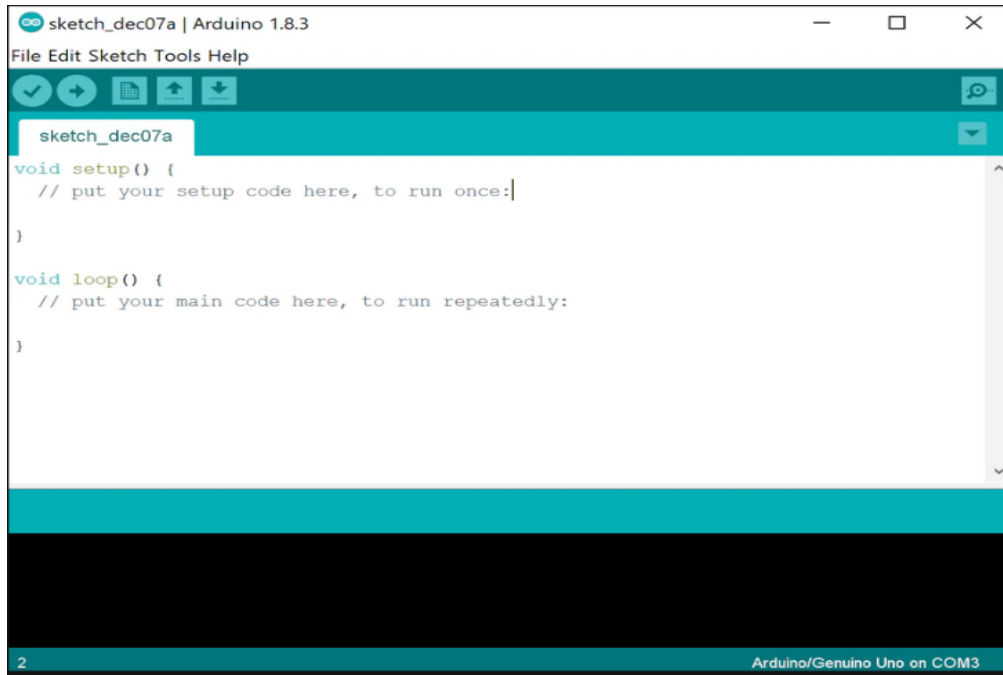


Figure (III.28): Une page vierge dans le logiciel Arduino.

Cette fenêtre, semblable à tout autre logiciel que nous utilisons, sera remplie de mots, de chiffres et d'autres textes. Elle comporte des menus, des boutons, des alertes spéciales et divers contrôles tels qu'Ouvrir, Enregistrer, ainsi que le bouton du moniteur série situé à l'extrême droite.

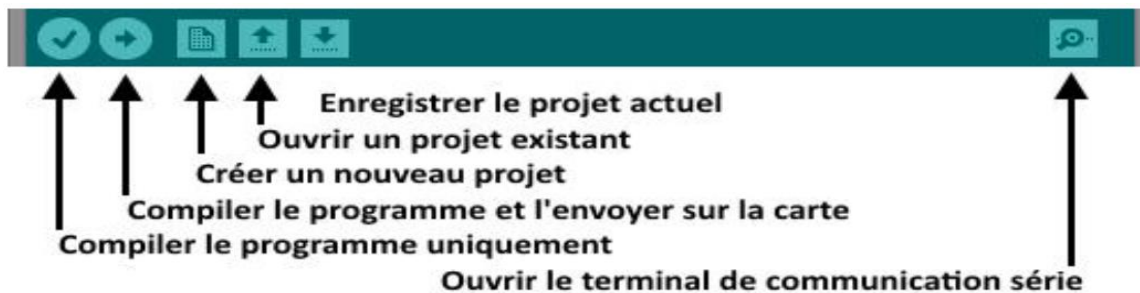


Figure (III.29): Détail de barre de bouton.

Nouveau : crée une nouvelle esquisse.

Ouvrir : présente un menu de tous les projets dans votre dossier de projets.

Enregistrer : sauvegarde votre projet.

Vérifier : ce bouton vous permet de vous assurer que le logiciel est exempt d'erreurs de syntaxe.

Envoyer : ce bouton vérifie et télécharge un projet sur l'Arduino si aucune erreur de syntaxe ou de mise en forme n'est trouvée.

Moniteur Série : ce bouton ouvre le moniteur de série et affiche les informations provenant du port série de l'Arduino.

III.2.1.3.14. Fritzing :

Fritzing est un logiciel open-source destiné à la conception de circuits électroniques et de circuits imprimés (PCB). Il offre une interface conviviale permettant aux utilisateurs de créer des schémas de circuits électroniques en toute simplicité, de concevoir des PCB et de documenter leurs projets électroniques. Fritzing est largement utilisé par les débutants et les amateurs en raison de sa facilité d'utilisation et de son approche visuelle de la conception électronique.

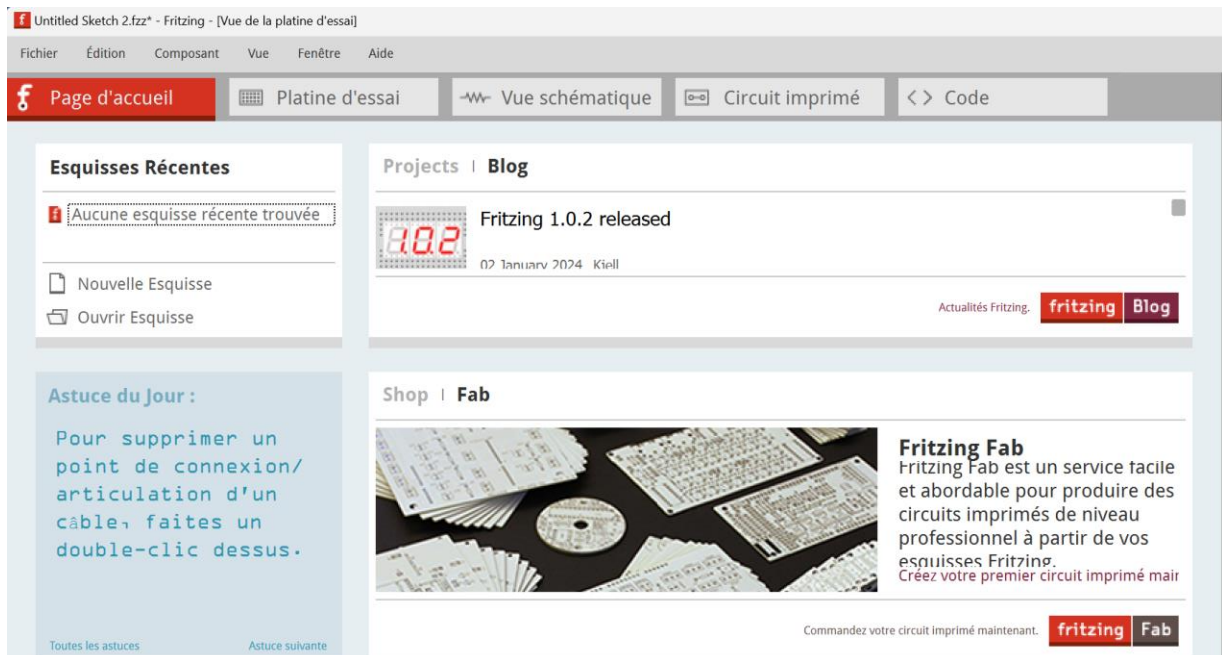


Figure (III.30): logiciel fritzing.

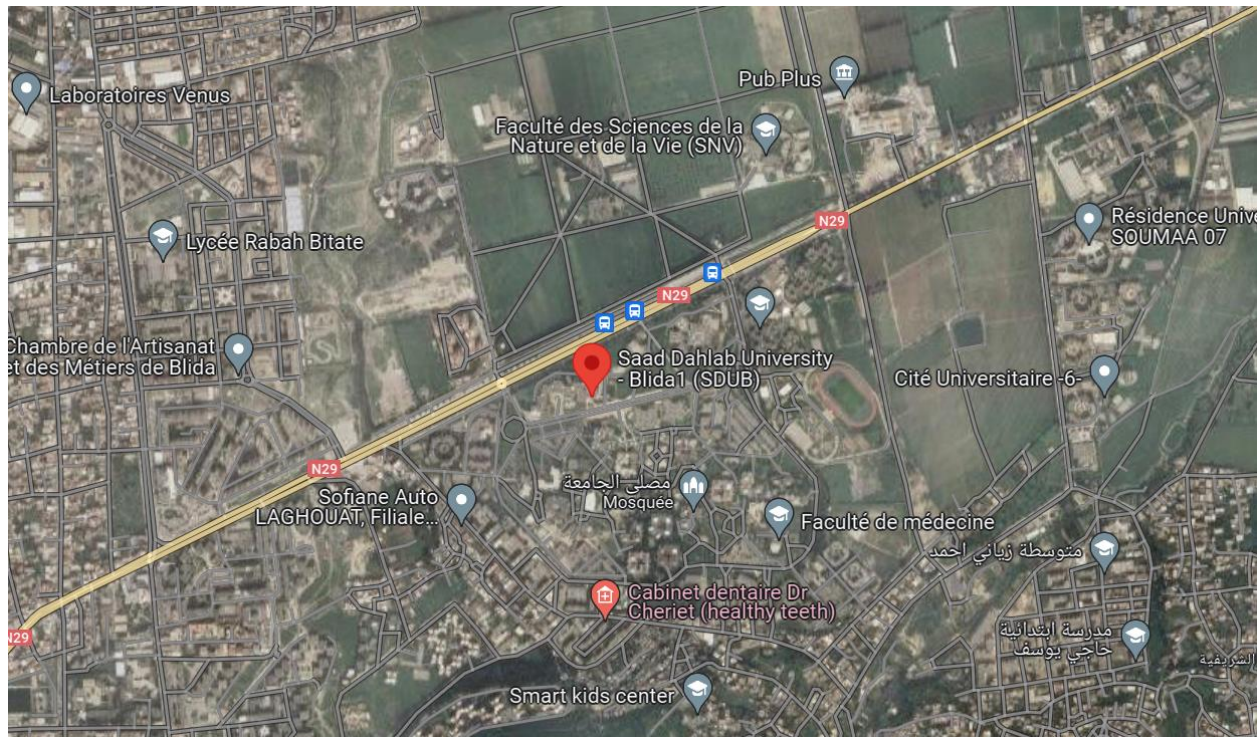
III.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, pour notre station météo on a présenté les différents composants avec leurs caractéristiques ainsi, le schéma électrique et la connexion de chaque élément avec l'Arduino Uno, On a essayé d'intégrer le module GSM dans cette station pour recevoir les données des différents variables climatiques à distance, mais nous avons rencontré des difficultés techniques avec le manque de temps, ce qui nous a empêché de mener cette intégration à bien, Dans le dernier chapitre, pour cette installation, on vas discuter les résultats que nous allons les collecter et stocker sur la carte SD.

Chapitre IV : RESULTAT ET DISCUSSION

IV.1. Introduction :

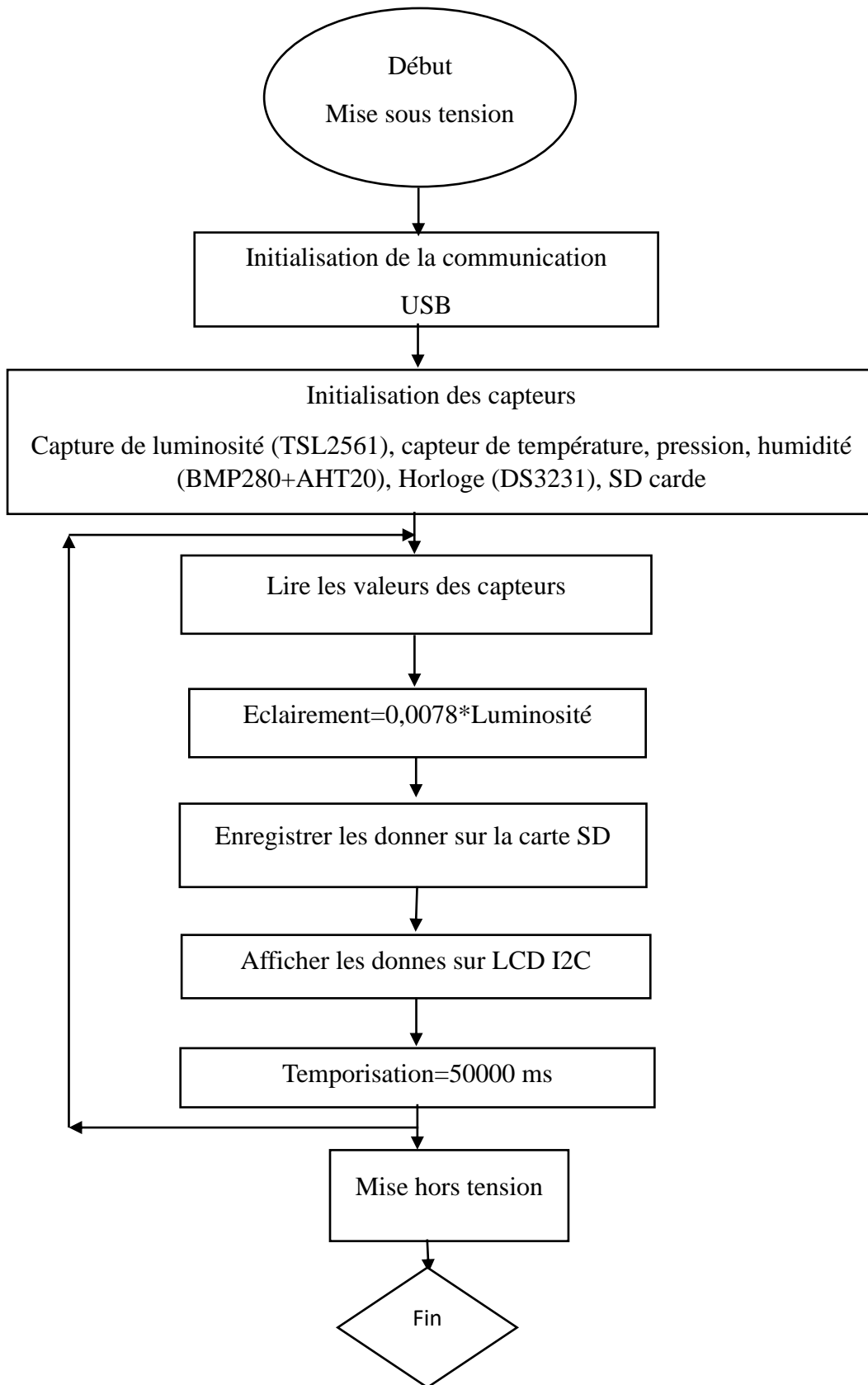
Les mesures sont prises pour le site de BLIDA (université de Blida1, département des énergies renouvelables). Le territoire de la commune de BLIDA est situé au sud-ouest d'Alger a environ 45km au sud-ouest d'Alger, dont les coordonnées géographiques sont 36° 28' 60" Nord, 2° 49' 60" Est. [63]



Figure(IV.1): Image satellite du site de Blida. [63]

IV.2. Organigramme du programme :

Afin de suivre les variables météorologiques du site choisi on a développé un programme de simulation (annexe 1) sous logiciel IDE présenté dans le chapitre 3. Le programme est représenté par l'organigramme suivant :



Figure(IV.2): Organigramme de programmation.

IV.3. Les résultats :

La figure4 montre l'exécution du programme IDE.



```
Programme_avce_carte_sd | Arduino 1.8.16
File Edit Sketch Tools Help
Upload
Programme_avce_carte_sd §
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_TSL2561_U.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <AHT20.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <RTClib.h> // Bibliothèque pour DS3231
#include <SD.h>

// Objets capteurs
Adafruit_TSL2561_Unified tsl = Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_FLOAT, 12345);
Adafruit_BMP280 bmp;
AHT20 aht20;
RTC_DS3231 rtc; // Objet RTC pour DS3231

// Objet LCD I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Adresse I2C de l'afficheur LCD 0x27, écran 16 colonnes et 2 lignes

// Broche du module SD
const int chipSelect = 4; // Modifier en fonction de votre connexion de la carte SD

// Variable pour alterner entre les capteurs
int displayCounter = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

Done uploading.
Global variables use 1248 bytes (60%) of dynamic memory, leaving 800 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.
Invalid library found in C:\Users\HP\OneDrive\Belgeler\Arduino\libraries\examples: no headers files (.h) found in C:\Users\HP\OneDrive\Belgeler\Arduino\libraries\examples
```

Figure(IV.3): Programme de simulation.

Après l'exécution du programme les résultats provenant des capteurs vont être stockés sur la carte SD comme un fichier TXT Figure(IV.4), On a représenté les résultats sous forme des graphes on a acquis les mesures le 26/06/2024 à 14h57 jusqu'à le 27/06/2024 à 13h30.

```

File Edit View

2024-06-26T14:57:29, Luminosité: 20767.00 lux, 164.06 W/m , Température: 35.88  C, Pression: 982.32 hPa, Humidité: 57.62 %
2024-06-26T14:57:34, Luminosité: 20760.00 lux, 164.00 W/m , Température: 36.41  C, Pression: 982.36 hPa, Humidité: 61.42 %
2024-06-26T14:57:39, Luminosité: 20736.00 lux, 163.81 W/m , Température: 36.53  C, Pression: 982.31 hPa, Humidité: 59.73 %
2024-06-26T14:57:45, Luminosité: 20703.00 lux, 163.55 W/m , Température: 36.90  C, Pression: 982.01 hPa, Humidité: 44.20 %
2024-06-26T14:57:50, Luminosité: 20758.00 lux, 163.99 W/m , Température: 36.70  C, Pression: 981.86 hPa, Humidité: 39.48 %
2024-06-26T14:57:55, Luminosité: 20512.00 lux, 162.04 W/m , Température: 36.65  C, Pression: 981.89 hPa, Humidité: 39.67 %
2024-06-26T14:58:01, Luminosité: 20179.00 lux, 159.41 W/m , Température: 36.59  C, Pression: 981.85 hPa, Humidité: 39.77 %
2024-06-26T14:58:06, Luminosité: 19863.00 lux, 156.92 W/m , Température: 36.55  C, Pression: 981.95 hPa, Humidité: 50.56 %
2024-06-26T14:58:11, Luminosité: 19641.00 lux, 155.16 W/m , Température: 36.76  C, Pression: 982.09 hPa, Humidité: 54.60 %
2024-06-26T14:58:16, Luminosité: 19601.00 lux, 154.85 W/m , Température: 37.20  C, Pression: 982.31 hPa, Humidité: 65.20 %
2024-06-26T14:58:22, Luminosité: 19704.00 lux, 155.66 W/m , Température: 37.09  C, Pression: 981.91 hPa, Humidité: 39.23 %
2024-06-26T14:58:27, Luminosité: 19617.00 lux, 154.97 W/m , Température: 37.00  C, Pression: 981.92 hPa, Humidité: 39.14 %
2024-06-26T14:58:32, Luminosité: 19491.00 lux, 153.98 W/m , Température: 36.93  C, Pression: 981.85 hPa, Humidité: 39.49 %
2024-06-26T14:58:37, Luminosité: 19498.00 lux, 154.03 W/m , Température: 36.87  C, Pression: 981.90 hPa, Humidité: 39.60 %
2024-06-26T14:58:43, Luminosité: 19546.00 lux, 154.41 W/m , Température: 36.83  C, Pression: 981.94 hPa, Humidité: 39.53 %
2024-06-26T14:58:48, Luminosité: 19513.00 lux, 154.15 W/m , Température: 36.79  C, Pression: 981.91 hPa, Humidité: 39.48 %
2024-06-26T14:58:53, Luminosité: 19808.00 lux, 156.48 W/m , Température: 36.76  C, Pression: 981.86 hPa, Humidité: 39.47 %
2024-06-26T14:58:58, Luminosité: 19966.00 lux, 157.73 W/m , Température: 36.73  C, Pression: 981.77 hPa, Humidité: 39.33 %
2024-06-26T14:59:04, Luminosité: 20101.00 lux, 158.80 W/m , Température: 36.70  C, Pression: 981.80 hPa, Humidité: 39.40 %
2024-06-26T14:59:09, Luminosité: 20179.00 lux, 159.41 W/m , Température: 36.69  C, Pression: 981.90 hPa, Humidité: 39.46 %
2024-06-26T14:59:14, Luminosité: 20314.00 lux, 160.48 W/m , Température: 36.67  C, Pression: 982.02 hPa, Humidité: 39.50 %
2024-06-26T14:59:19, Luminosité: 20267.00 lux, 160.11 W/m , Température: 36.66  C, Pression: 981.84 hPa, Humidité: 39.40 %
2024-06-26T14:59:25, Luminosité: 20316.00 lux, 160.50 W/m , Température: 36.65  C, Pression: 981.78 hPa, Humidité: 39.48 %
2024-06-26T14:59:30, Luminosité: 20267.00 lux, 160.11 W/m , Température: 36.64  C, Pression: 981.79 hPa, Humidité: 39.59 %
2024-06-26T14:59:35, Luminosité: 20465.00 lux, 161.67 W/m , Température: 36.63  C, Pression: 981.90 hPa, Humidité: 39.57 %
2024-06-26T14:59:40, Luminosité: 20599.00 lux, 162.73 W/m , Température: 36.62  C, Pression: 981.78 hPa, Humidité: 39.49 %
2024-06-26T14:59:46, Luminosité: 20727.00 lux, 163.74 W/m , Température: 36.62  C, Pression: 981.87 hPa, Humidité: 39.54 %
2024-06-26T14:59:51, Luminosité: 20846.00 lux, 164.68 W/m , Température: 36.62  C, Pression: 981.80 hPa, Humidité: 39.50 %
2024-06-26T14:59:56, Luminosité: 20845.00 lux, 164.68 W/m , Température: 36.62  C, Pression: 981.71 hPa, Humidité: 39.59 %
2024-06-26T15:00:01, Luminosité: 20718.00 lux, 163.67 W/m , Température: 36.62  C, Pression: 981.74 hPa, Humidité: 39.68 %
2024-06-26T15:00:07, Luminosité: 20599.00 lux, 162.73 W/m , Température: 36.61  C, Pression: 981.86 hPa, Humidité: 39.77 %
2024-06-26T15:00:12, Luminosité: 20551.00 lux, 162.35 W/m , Température: 36.62  C, Pression: 981.76 hPa, Humidité: 39.70 %
2024-06-26T15:00:17, Luminosité: 20560.00 lux, 162.42 W/m , Température: 36.62  C, Pression: 981.93 hPa, Humidité: 39.52 %

```

Figure(IV.4): Les résultats sous format TXT.

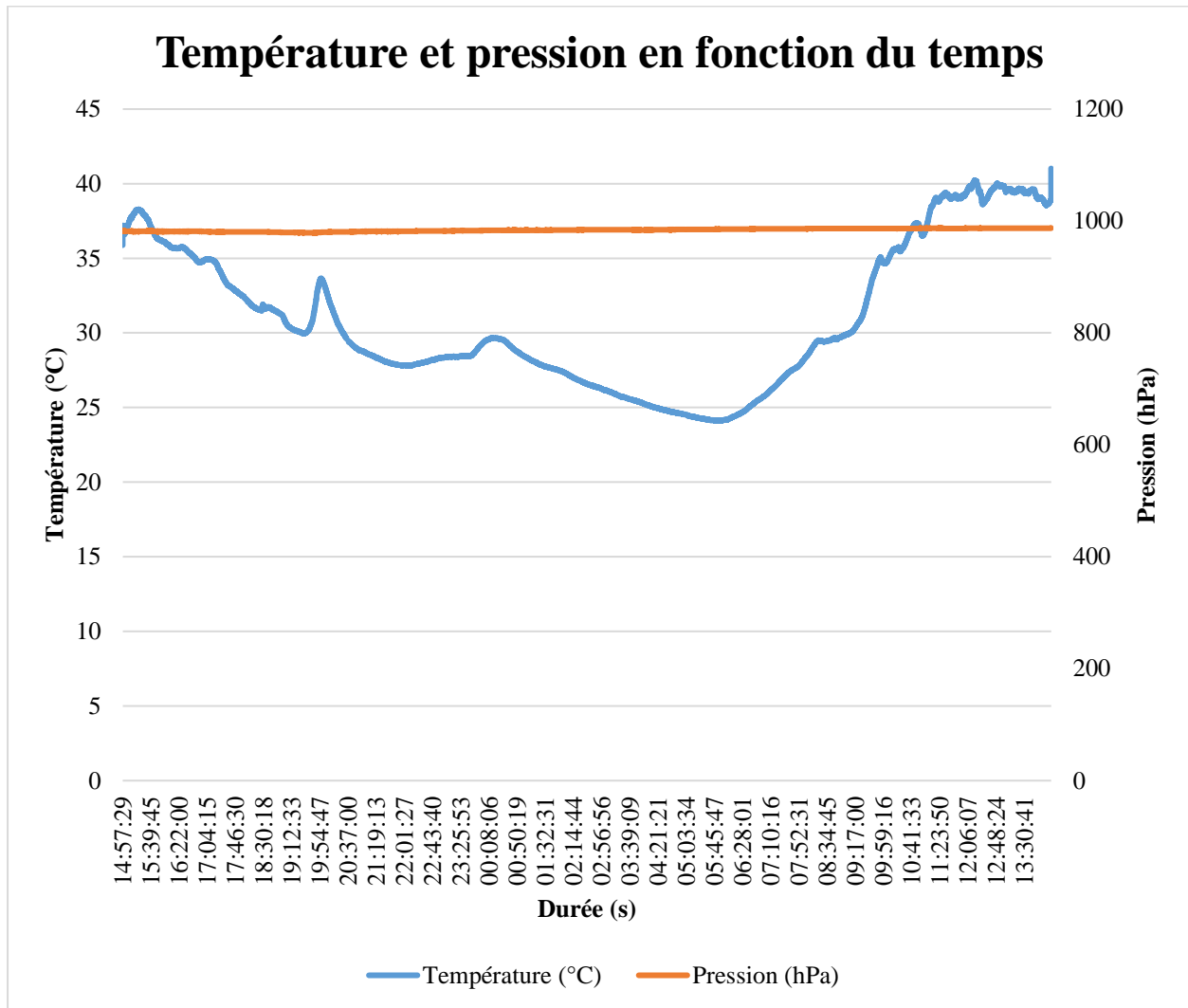
Dans ce fichier :

- La première colonne représente l'heure.
- La deuxième colonne représente l'éclaircissement.
- La troisième colonne représente la température.
- La quatrième colonne représente la pression.
- La cinquième colonne représente l'humidité.

La Figure (IV.5) représente les résultats dans logiciel Excel :

	A	B	C	D	E
1	Date	Eclairage(W/m2)	Temperature(°C)	Pression(hPa)	Humidité(%)
2	14:57:29	164.06	35.88	982.32	57.62
3	14:57:34	164.00	36.41	982.36	61.42
4	14:57:39	163.81	36.53	982.31	59.73
5	14:57:45	163.55	36.90	982.01	44.20
6	14:57:50	163.99	36.70	981.86	39.48
7	14:57:55	162.04	36.65	981.89	39.67
8	14:58:01	159.41	36.59	981.85	39.77
9	14:58:06	156.92	36.55	981.95	50.56
10	14:58:11	155.16	36.76	982.09	54.60
11	14:58:16	154.85	37.20	982.31	65.20
12	14:58:22	155.66	37.09	981.91	39.23
13	14:58:27	154.97	37.00	981.92	39.14
14	14:58:32	153.98	36.93	981.85	39.49
15	14:58:37	154.03	36.87	981.90	39.60
16	14:58:43	154.41	36.83	981.94	39.53
17	14:58:48	154.15	36.79	981.91	39.48
18	14:58:53	156.48	36.76	981.86	39.47
19	14:58:58	157.73	36.73	981.77	39.33
20	14:59:04	158.80	36.70	981.80	39.40
21	14:59:09	159.41	36.69	981.90	39.46
22	14:59:14	160.48	36.67	982.02	39.50
23	14:59:19	160.11	36.66	981.84	39.40
24	14:59:25	160.50	36.65	981.78	39.48
25	14:59:30	160.11	36.64	981.79	39.59
26	14:59:35	161.67	36.63	981.90	39.57

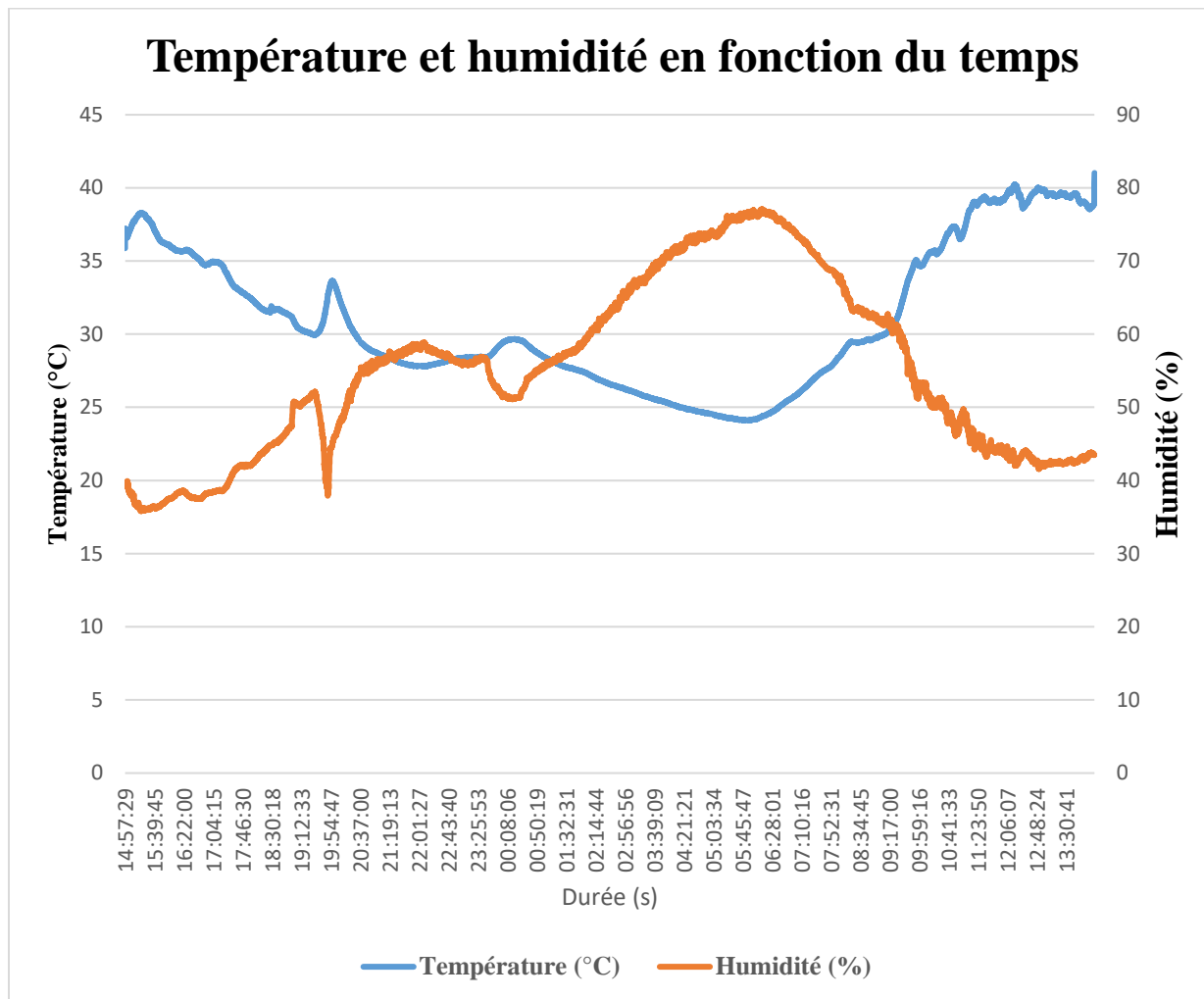
Figure(IV.5) : Les résultats dans logiciel Excel.



Figure(IV.6): température et pression donnée par la station en fonction du temps.

IV.3.1 Discussion :

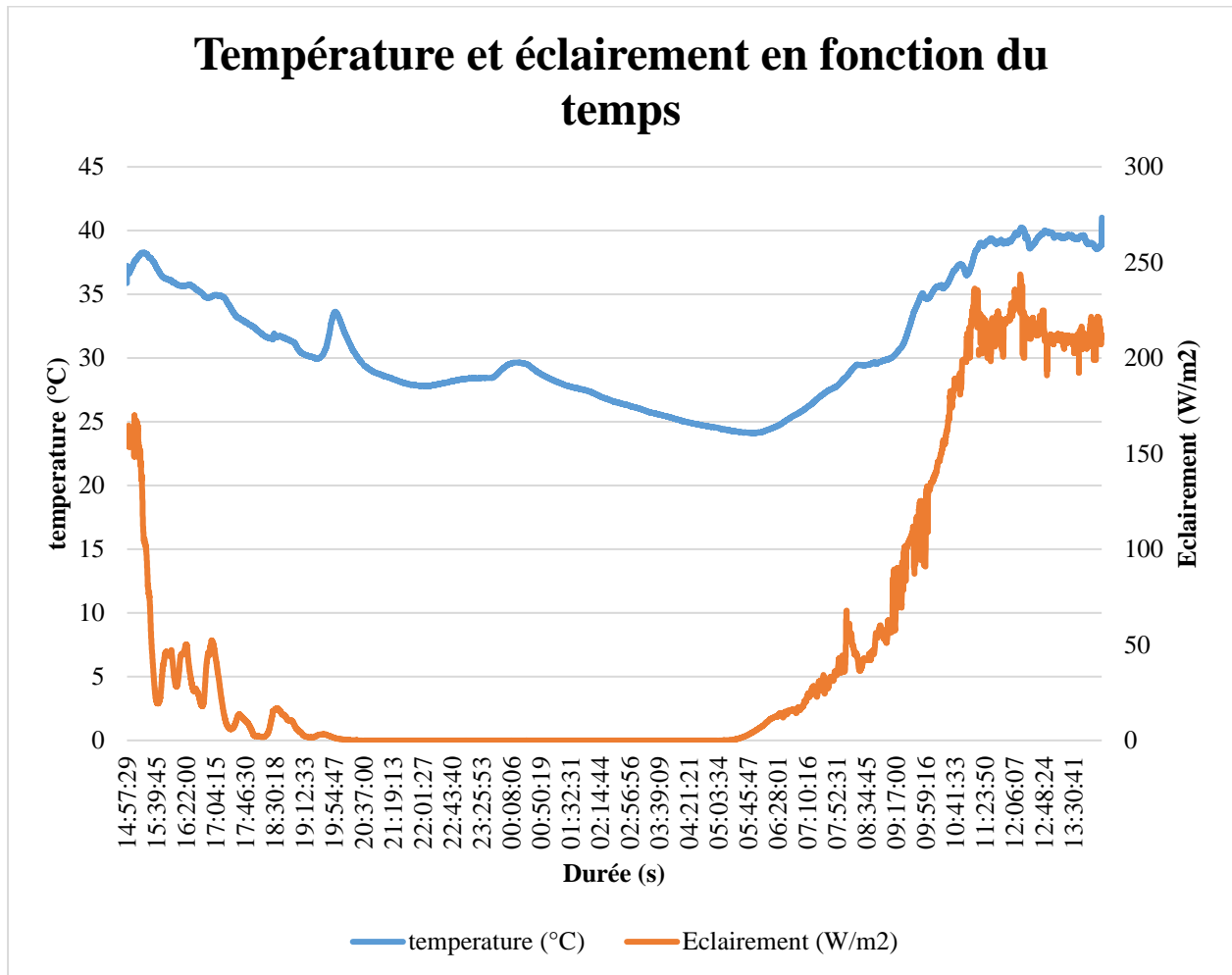
Ce graphique montre la variation de la température (en degrés Celsius) et de la pression (en hPa) au fil du temps (en secondes), probablement sur une période de 24 heures. Au début, la température commence autour de 30°C et diminue progressivement pour se stabiliser autour de 25°C pendant la nuit, avant de légèrement augmenter vers la fin. En revanche, la pression reste relativement stable autour de 1000 hPa malgré les fluctuations importantes de température.



Figure(IV.7): température et humidité donnée par la station en fonction du temps.

IV.3.2 Discussion :

Ce graphique montre la variation de la température (en degrés Celsius) et de l'humidité (en pourcentage) au fil du temps (en secondes), probablement sur une période de 24 heures. Au début, la température commence autour de 30°C et diminue progressivement pour se stabiliser autour de 25°C pendant la nuit, avant de légèrement augmenter vers la fin. L'humidité, quant à elle, commence à environ 55%, augmente progressivement pour atteindre un pic de 85% pendant les premières heures du matin, puis redescend à environ 60%. On observe une relation inverse notable entre la température et l'humidité : à mesure que la température diminue, l'humidité augmente et vice versa.



Figure(IV.8) : température et éclairage donnée par la station en fonction du temps.

IV.3.3 Discussion :

Ce graphique illustre l'évolution de la température et de l'éclairage au fil du temps, probablement sur une période de 24 heures. On observe une relation inverse entre ces deux variables : lorsque la température diminue progressivement pendant la nuit, l'éclairage est au plus bas, proche de zéro. Puis, au lever du jour, l'éclairage augmente rapidement, atteignant son maximum autour de midi, tandis que la température commence à remonter plus graduellement. La température atteint son pic quelques heures après le pic d'éclairage.

IV.4. Conclusion :

On a trouvé que la température varie de la même manière de l'éclairement et on a trouvé que l'humidité et la température varie en sens inverse. Le système à fonctionner correctement et d'une manier fiable toute la durée de l'expérience, on peut dire que notre réalisation marche bien et est fiable.

Conclusion générale :

L'avancement des technologies électroniques intelligentes a révolutionné la conception des stations météorologiques. Ces innovations permettent désormais de créer des systèmes de mesure climatique plus compacts et économiques, tout en conservant leur précision et leur polyvalence. Une station météorologique moderne se compose d'une série de capteurs capables de mesurer des divers paramètres atmosphériques tels que la température, la pression, l'humidité, le vent, les précipitation et l'intensité du rayonnement solaire.

Dans notre projet, on a sélectionné des composants et des capteurs compatibles avec l'Arduino Uno et adaptés aux types de mesures souhaitées. Puis on a fait l'assemblage et le câblage en connectant les capteurs à l'Arduino en suivant les schémas de câblage appropriés. En plus, nous avons alimenté notre station avec un panneau photovoltaïque et une batterie pour garantir une source d'énergie autonome et fiable pour la carte Arduino.

L'étape suivante c'est la programmation, cette programmation basée sur écrire et téléverser le code sur l'Arduino pour lire les données des capteurs et les enregistrer.

Les données peuvent être stockées sur une carte SD ou envoyées à un serveur (GSM SIM8001 par exemple) pour un traitement ultérieur est peuvent-ils récupérer.

On a trouvé que la température varie de la même manière de l'éclairement et on a trouvé que l'humidité et la température varie en sens inverse. Le système à fonctionner correctement et d'une manier fiable toute la durée de l'expérience, on peut dire que notre réalisation marche bien et est fiable.

Ce projet permet de comprendre les principes de base des systèmes embarqués et de la collecte de données environnementales. De plus, il ouvre la porte à des projets plus avancés, tels que l'intégration avec des services IoT pour une surveillance à distance et en temps réel. En fin de compte, la réalisation d'une station météo Arduino fournit une expérience pratique précieuse et développe des compétences utiles pour des projets futurs.

ANEXE

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_TSL2561_U.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <AHT20.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <RTClib.h> // Bibliothèque pour DS3231
#include <SD.h>

// Objets capteurs
Adafruit_TSL2561_Unified tsl = Adafruit_TSL2561_Unified(TSL2561_ADDR_FLOAT, 12345);
Adafruit_BMP280 bmp;
AHT20 aht20;
RTC_DS3231 rtc; // Objet RTC pour DS3231

// Objet LCD I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Adresse I2C de l'afficheur LCD 0x27, écran 16 colonnes et 2
lignes

// Broche du module SD
const int chipSelect = 4; // Modifier en fonction de votre connexion de la carte SD

// Variable pour alterner entre les capteurs
int displayCounter = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("Démarrage des capteurs"));

  // Initialisation du capteur TSL2561
  if (!tsl.begin()) {
    Serial.println(F("Impossible de trouver le capteur TSL2561. Vérifiez les connexions !"));
    while (1);
  }
  tsl.enableAutoRange(true);
  tsl.setIntegrationTime(TSL2561_INTEGRATIONTIME_13MS);
  Serial.println(F("Capteur TSL2561 prêt"));

  // Initialisation du capteur BMP280
  if (!bmp.begin()) {
    Serial.println(F("Impossible de trouver le capteur BMP280. Vérifiez les connexions !"));
    while (1);
  }
  Serial.println(F("Capteur BMP280 prêt"));

  // Initialisation du capteur AHT20
  if (!aht20.begin()) {
```

```

Serial.println(F("Impossible de trouver le capteur AHT20. Vérifiez les connexions !"));
while (1);
}
Serial.println(F("Capteur AHT20 prêt"));

// Initialisation de l'horloge DS3231
if (!rtc.begin()) {
  Serial.println(F("Impossible de trouver l'horloge DS3231. Vérifiez les connexions !"));
  while (1);
}
if (rtc.lostPower()) {
  Serial.println(F("L'horloge a perdu le pouvoir, réglage de l'heure !"));
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}
Serial.println(F("Horloge DS3231 prête"));

// Initialisation de la carte SD
if (!SD.begin(chipSelect)) {
  Serial.println(F("Initialisation de la carte SD a échoué !"));
  while (1);
}
Serial.println(F("Carte SD prête"));

// Initialisation de l'afficheur LCD
lcd.begin();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(F("ENR PV 23"));
delay(3000);
}

void loop() {
  // Lecture des capteurs
  sensors_event_t lightEvent;
  tsl.getEvent(&lightEvent);
  float lightLevel = lightEvent.light ? lightEvent.light : -1;
  float lightLevelWm2 = lightLevel * 0.0079; // Conversion de lux à W/m²
  float temperature = bmp.readTemperature();
  float pressure = bmp.readPressure() / 100.0F;
  float humidity = aht20.getHumidity();
  DateTime now = rtc.now();

  // Affichage des données sur le moniteur série
  if (lightLevel != -1) {
    Serial.print(F("Luminosité: "));
    Serial.print(lightLevel);
    Serial.println(F(" lux"));
    Serial.print(F("Luminosité: "));
    Serial.print(lightLevelWm2);
  }
}

```



```

    Serial.println(F(" W/m²"));
} else {
    Serial.println(F("Erreur de lecture de la luminosité"));
}
Serial.print(F("Température: "));
Serial.print(temperature);
Serial.println(F(" °C"));
Serial.print(F("Pression: "));
Serial.print(pressure);
Serial.println(F(" hPa"));
Serial.print(F("Humidité: "));
Serial.print(humidity);
Serial.println(F(" %"));
Serial.print(F("Heure: "));
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(F(":"));
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(F(":"));
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.print(F(" Date: "));
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print(F("/"));
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print(F("/"));
Serial.println(now.year(), DEC);

// Enregistrement des données sur la carte SD
File dataFile = SD.open("Gaila.txt", FILE_WRITE);
if (dataFile) {
    dataFile.print(now.timestamp(DateTime::TIMESTAMP_FULL));
    dataFile.print(F(", "));
    if (lightLevel != -1) {
        dataFile.print(F("Luminosité: "));
        dataFile.print(lightLevel);
        dataFile.print(F(" lux, "));
        dataFile.print(lightLevelWm2);
        dataFile.print(F(" W/m², "));
    } else {
        dataFile.print(F("Luminosité: Erreur, "));
    }
    dataFile.print(F("Température: "));
    dataFile.print(temperature);
    dataFile.print(F(" °C, "));
    dataFile.print(F("Pression: "));
    dataFile.print(pressure);
    dataFile.print(F(" hPa, "));
    dataFile.print(F("Humidité: "));
    dataFile.print(humidity);
    dataFile.println(F(" %"));
    dataFile.close();
}

```

```
} else {  
  Serial.println(F("Erreur d'ouverture du fichier datalog.txt"));  
}
```

```
// Affichage des données sur l'afficheur LCD en alternance
```

```
lcd.clear();  
switch (displayCounter) {  
  case 0:  
    if (lightLevel != -1) {  
      lcd.setCursor(0, 0);  
      lcd.print(F("Eclairment:"));  
      lcd.setCursor(0, 1);  
      lcd.print(lightLevelWm2);  
      lcd.print(F(" W/m2"));  
    } else {  
      lcd.setCursor(0, 0);  
      lcd.print(F("Luminosite:"));  
      lcd.setCursor(0, 1);  
      lcd.print(F("Erreur"));  
    }  
    break;  
  case 1:  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print(F("Temperature:"));  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(temperature);  
    lcd.print(F(" C"));  
    break;  
  case 2:  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print(F("Humidite:"));  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(humidity);  
    lcd.print(F(" %"));  
    break;  
  case 3:  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print(F("Pression:"));  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(pressure);  
    lcd.print(F(" hPa"));  
    break;  
  case 4:  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print(F("Heure:"));  
    lcd.setCursor(6, 0);  
    lcd.print(now.hour());  
    lcd.print(F(":"));  
    lcd.print(now.minute());  
    lcd.print(F(":"));  
}
```

```
    lcd.print(now.second());  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(F("Date:"));  
    lcd.setCursor(5, 1);  
    lcd.print(now.day());  
    lcd.print(F("/"));  
    lcd.print(now.month());  
    lcd.print(F("/"));  
    lcd.print(now.year());  
    break;  
}
```

```
// Incrémenter le compteur pour alterner l'affichage  
displayCounter = (displayCounter + 1) % 5;
```

```
// Délai de 5 secondes  
delay(5000);  
}
```

LES RÉFÉRENCES :

- [1] : Chaib Messaoud et Daoulhadj Assia, Etude et réalisation d'une station météorologique, Mémoire de master, université Ahmed Draia de Adrar, 2021.
- [2] : Ait Allouche Sonia, MAZARI Idir, Conception et réalisation d'un réseau de stations météorologiques à base de cartes Arduino, Mémoire de master, université Mouloud Mammeri DE Tizi- Ouzou, 2018.
- [3] : météo à base d'une carte Arduino-uno », thèse de m.A. DJEBARI, O. BELLACHE, « réalisation d'une station météo », université Saad DAHLAB- Blida 1.
- [4] : <https://www.renkeer.com/meteorological-station-introduction/>
- [5] : <https://www.formationmax.com/ressources/images-actualites/actualite-143.jpg?version=1>.
- [6]: World Meteorological Organization (WMO). (2008). Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8). Genève : Organisation météorologique mondiale.
- [7] : <https://www.kuna.net.kw/NewsPictures/2023/7/26/bb53028f-5e8f-4dbf-893b-7cfa1dcb14de.jpg>.
- [8]: Harrison, R. G., & Nicoll, K. A. (2014). "Field calibration of passive meteorological sensors". Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 31(9), 1853-1861.
- [9]: https://res.cloudinary.com/campbellsci/image/upload/f_auto/10306.png.
- [10] : M me OUANES Miyada Ep. FELLAH, EFFET DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE DE F'KIRINA DE LA W. D'OUUM EL BOUAGHI, thèse de doctorat, université 8 mai 1945, Guelma.
- [11]: Chetioui Hamza, « conception d'une mini-station météorologique automatique: Comparaison avec les données d'une station synoptique », Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [12] : <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRzImxJwVB7hhAxx01FLR2Hw-UxaO1Kt9JERfr7hMLqdA&s>.
- [13] : K. ARABI, H. MAAMAR, « Étude et réalisation d'une serre solaire contrôlée par une carte à base d'arduino avec une station météo », thèse de master, université SAAD DAHLEB-BLIDA 1.
- [14] : <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSsUcnXDG6zh3veKCQpqrDqp0MQukfJ0xZupCylqR6Zhg&s>.
- [15] : https://assetsglobal.websitefiles.com/6284e3a6ad69770bba861b80/65a7f44c96fb39c0e2b26bb3_orbites.png.
- [16] : https://static.wixstatic.com/media/ad9575_6431e47864704778bdc665d7c41a590a~mv2.png/v1/fill/w_696,h_596,al_c,lg_1,q_90,enc_auto/radar1.png.
- [17]: https://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/images/qc/station_meteorologique_279460.jpg.
- [18] : H. IHADADENE, R. SELLAMI, « Étude et mise en marche de la station météorologique ENERCO 520 IG », thèse de master, université MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU.

- [19] : <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS79fDjXFy58fTt0ZS3DMhcPYU pvaX0rOZqkjDrUdE0Mg&s>.
- [20] : https://www.patrimoinecognac87.ovh/wa_files/Barometre.pdf.
- [21] : https://www.philix.be/srednel/wpcontent/uploads/sites/20/2022/03/IMG_20220321_113308.jpg.
- [22] : https://m.media-amazon.com/images/I/61G88EmK-9L._AC_SX679_.jpg.
- [23]: https://assets.fishersci.com/TFS-Assets/CCG/product-images/F262808_p.eps650.jpg.
- [24]: <https://fischer-barometer.de/fr/111.01-hygrometre-a-cheveux>
- [25]: <https://fensor.com/produit/mbw-373l-hygrometre-a-condensation-75-20-c-rose/>
- [26]: <https://www.pce-france.fr/fiches-mesureurs/humidimetre-pour-materiaux-capacitif-gmk100.htm>
- [27]: <https://fr.slideshare.net/slideshow/capteur-dhumidite/10454582>
- [28]: Pindado, S., Vega, E., Martínez, A., Meseguer, E., Franchini, S., & Sarasola, I. P. (2011). Analysis of calibration results from cup and propeller anemometers. Influence on wind turbine Annual Energy Production (AEP) calculations. *Wind Energy*, 14(1), 119-132.
- [29]: <https://www.meteo-shopping.com/fr/capteurs/400-anemometre-girouette-peat-bros.html>
- [30]: Franchini, S., Pindado, S., Meseguer, E., & Sanz-Andrés, A. (2016). Aerodynamic performance of an ultrasonic anemometer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 149, 1-9.
- [31] : Desjardins, C. A. (2018). Development of a novel experimental apparatus to measure the aerodynamic torque of a weather vane [Master's thesis, University of New Hampshire].
- [32] : <https://www.yoctopuce.com/FR/article/comment-mesurer-le-vent-partie-2>
- [33] : Lanza, L. G., Vuerich, E., & Gnecco, I. (2010). Analysis of highly accurate rain intensity measurements from a field test site. *Advances in Geosciences*, 25, 37-44.
- [34] : <http://www.c2plus.fr/project/pluviometres/>
- [35] : Colli, M. (2014). Assessing the accuracy of precipitation gauges: a CFD approach to model wind induced errors [Doctoral dissertation, University of Genoa]. Università di Genova.
- [36]: <https://www.meteo-shopping.com/fr/precipitations/598-pluviometre-a-pesee-rain-e.html>
- [37]: Femenias, R. J. (1998). Snow measurement by terrestrial photon sensors: an investigation of atmospheric effects [Doctoral dissertation, University of Nebraska-Lincoln]. DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln
- [38]: <https://meteostpascal.com/Photos/Nivomètre%20Nipher.jpg>
- [39]: https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-22743-1_8
- [40]: Fassnacht, S. R., Stephens, J. C., Peterson, D. C., & Lee, W. K. (2012). The CLPX gamma snow monitoring component. In *Proceedings of the 2012 International Snow Science Workshop* (pp. 710-717).

- [41]: Wenz, J., Rassmussen, M., Andersen, S., & Hansen, J. (2021). On the use of pyranometers to derive the sunshine duration. *Renewable Energy*, 170, 156-163.
- [42]: <https://meteocentre.com/intermet/instrument/heliocell.htm>
- [43]: Vignola, F., Michalsky, J., & Stoffel, T. (2012). *Solar and Infrared Radiation Measurements*. CRC Press.
- [44]: Nakamura, R. et al (2021). A Field Inspection Method for Temperature Sensors in Surface Meteorological Observation Networks. *Atmosphere*, 12(4), 442.
- [45]: De Koning Jr, H. W. (1982). Report to the National Oceanic and Atmospheric Administration on the characteristics of meteorological instrument systems. (NBSIR 82-1668). National Bureau of Standards.
- [46]: <https://www.resistanceelectrique.com/produits/controle-de-la-temperature/resistances-thermiques/pt100/>
- [47]: <https://www.fishersci.fr/shop/products/thermistor-thermometer-4/11805212>
- [48]: <https://reel-dz.com/acceuil/produit/thermometres-a-resistance-en-platine-5622/>
- [49]: <https://www.furuno.fr/lang--fr--art--LC-CV7SF2--CV7SF2.html>
- [50]: <https://www.alliance-technologies.net/produit/windmaster-pro/>
- [51]: <https://www.campbellsci.fr/lp02>
- [52]: Wiederhold, P. R. (1997). *Water vapor measurement - Methods and instrumentation*. Marcel Dekker.
- [53] :livre arduino
- [54] : KOUIDER ARAIBI Moncef, HOUACHMI Maamar, Etude et réalisation d'une serre solaire contrôlée par une carte a base d'Arduino avec une station météo, mémoire de master, université de saad dahleb blida1,12 juillet 2022.
- [55] : livre arduino
- [56]: BMP280 - Bosch Sensortec.
- [57]: AHT20 – Aosong.
- [58] : <https://ssdielect.com/temperatura-1/5049-aht20-bmp280.html>
- [59] : Indrawan Sugistoro, Rony Firnanda, Mochammad Syamsul Huda, Ardylan Heri Kisyarangga Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Rancang Bangun Lux Meter Berbasis Sensor TSL2561, *JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY, ELECTRONICS AND CONTROL*
- [60] : KARA LYDIA, GUELLAL SOFIANE, Conception et réalisation d'un système de mesure et transmission de paramètres météorologiques, mémoire de master, UNIVERSITE MOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU, t le 12 juillet 2018.

[61] : R. Setiawan, "Conception d'un Dispositif d'Alimentation Automatique pour Poissons Utilisant un Microcontrôleur," J. ICTEE, vol. 1, no. 1, pp. 51–54, 2020, doi : 10.33365/jictee.v1i1.698.

[62] : <https://ledisrupteurdimensionnel.com/arduino/plaque-dessai-ou-breadboard-protoboard/>

[63] :google maps.