

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Electrotechnique

Spécialité : Commandes électriques

Par : BENDIABDALLAH Samy Fethi et GAHHAL Mohammed Adel

Sujet

Réalisation d'un système d'acquisition et de visualisation des mesures d'une station météorologique connectée

Soutenu publiquement, le 18 / 06 / 2023 , devant le jury composé de :

S-M. MELIANI	Prof	Université de Tlemcen	Président
M. LOUCIF	MCB	Université de Tlemcen	Examineur
A. MECHERNENE	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur
M-A. HADJ ABDELKADER	Prof	Université de Tlemcen	Co-Encadreur
S. ATTIA	Doctorante	Université de Tlemcen	Invité

Dedicaces 1

Avec l'aide de Dieu tout puissant, nous avons achevé ce modeste travail que je dédie :

- à mes parents, pour leur soutien matériel et moral, en espérant que je puisse leur rendre le minimum de bonheur qu'ils m'ont offert ;
- à mes frères Zaki et Youssef ;
- à mes amis : Nasr Allah, Ali, Amine, Hichem, Yacine ;
- enfin à toute la promotion Electrotechnique, option Commande électrique de l'année 2022-2023.

BENDIABDALLAH Samy Fethi
Tlemcen, le 18 Juin 2023

Dedicaces 2

J'E dédie ce modeste travail à tout ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent projet, ainsi je le dédie à :

- celle qui m'ont élevé et éduqué, ma mère et ma grand mère et celui qui m'a toujours soutenu et aidé, mon père ;
- à ma chères sœurs Nawel et mon frère Nabil ;
- à mes amis : Yassine, Zaki, Walid, Samy ;

GAHHAL Mohammed Adel
Tlemcen, le 18 Juin 2023

Remerciements

Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre projet de fin d'étude de Master au Département de Génie Électrique et Électronique de la Faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.

En premier lieu, nous tenons à exprimer notre gratitude à nos encadrants, Messieurs Abdelkader MECHERNENE et Mohamed Amine HADJ ABDELKADER, respectivement Maître de Conférences et Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pour nous avoir proposé et dirigé ce travail, nous les remercions pour nous avoir fait profiter de leur expérience, pour orientations qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous sommes sensibles à l'honneur que nous a fait Monsieur Sidi Mohamed MELIANI, Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaïd, pour avoir accepté de présider et de nous honorer de sa présence au sein du jury de soutenance du présent mémoire ; qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect.

Enfin, nous tenons également à adresser nos vifs remerciements à Monsieur Mourad LOUCIF, respectivement Maître de Conférences à l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, nous le remercions chaleureusement pour avoir accepté d'examiner le présent mémoire et pour ses observations et remarques pertinentes et constructives. Nous remercions aussi monsieur BENHABIB Choukri pour son aide précieuse et ses conseils pour l'impression de l'abrit de notre station.

Nous remercions également Mademoiselle Sefia ATTIA, Doctorante à la Faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, pour sa coopération, son aide et sa gentillesse.

Merci enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidé et donc ont contribué au succès de ce travail.

BENDIABDALLAH Samy Fethi

***GAHHAL Mohammed Adel**
Tlemcen, le 18 Juin 2023*

TABLE DES MATIÈRES

DEDICACES 1	i
DEDICACES 2	ii
REMERCIEMENTS	iii
NOMENCLATURE	xi
GLOSSAIRE	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
I GÉNÉRALITÉS SUR LES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES	3
I.1 INTRODUCTION	4
I.2 DIFFÉRENTES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES	4
I.2.1 Stations météo locales et régionales	4
I.2.2 Stations météo manuelles et automatiques	5
I.2.3 Stations météo connectées	5
I.3 AVANTAGES DES STATIONS CONNECTÉES	5
I.4 EXEMPLES DE STATION MÉTÉOROLOGIQUE CONNECTÉE	6
I.4.1 Exemple 1 : Station connectée Netatmo NWS01-EC	7
I.4.2 Exemple 2 : Station connectée La Crosse Technology MA10006	7
I.4.3 Exemple 3 : Station connectée Station météo BRESSER WIFI 7002580	7
I.5 APPAREILS DE MESURES ET PARAMÈTRES	8
I.5.1 Température (Thermomètre)	8
I.5.2 Humidité (Hygromètre)	8
I.5.3 Pression barométrique (Baromètre)	9
I.5.4 Intensité lumineuse (Luxmètre)	10
I.5.5 Puissance de rayonnement (Pyranomètre)	10
I.5.6 Indice UV (Spectromètre)	11
I.5.7 Vitesse du vent (Anémomètre)	12
I.5.8 Direction du vent (Girouette)	13
I.5.9 Précipitation (Pluviomètre)	13
I.6 OBJETS CONNECTÉS	14
I.6.1 Liaison à un cloud	14
I.6.1-a Cloud privé	15
I.6.1-b Cloud public	15

I.6.1-c	Cloud hybride	15
I.6.2	Fonctionnement d'un cloud spécial IoT	15
I.6.3	Domaines d'application	16
I.7	PROTOCOLES DE COMMUNICATION DE L'INTERNET DES OBJETS	17
I.7.1	Internet des objets (IOT)	17
I.7.2	Protocoles de communication sans fil à courte portée	17
I.7.2-a	Protocole Bluetooth Classic (IEEE 802.15.1)	17
I.7.2-b	Protocole Bluetooth Low Energy (IEEE 802.15.1)	18
I.7.3	Protocoles de communication sans fil de milieu de gamme	18
I.7.3-a	Protocole WiFi (IEEE 802.11)	18
I.7.3-b	Protocole ZigBee (IEEE 802.15.4)	18
I.7.4	Protocoles de communication sans fil à longue portée	19
I.7.4-a	Protocole LoRaWAN	19
I.7.4-b	Protocole à bande étroite (NB-IoT)	20
I.7.4-c	Protocole LTE-M	20
I.7.4-d	WiFi ah (HaLow)	20
I.7.4-e	Réseaux 5G	21
I.8	CONCLUSION	21
II	DESCRIPTION ET CONCEPTION MATÉRIELLES	22
II.1	INTRODUCTION	23
II.2	CAHIER DES CHARGES	23
II.3	STRUCTURE ET FONCTIONNALITÉS	24
II.4	CONCEPTION MATÉRIELLE	24
II.4.1	Module de développement ESP32	24
II.4.1-a	Description de la carte ESP32 WROOM	25
II.4.1-b	Caractéristiques de la carte ESP 32 WROOM	25
II.4.1-c	Pins de la carte ESP32 WROOM	26
II.4.1-d	Fonctionnement Particulier de certaines broches de l'ESP32	26
II.4.1-e	Analog to Digital Converter (ADC)	28
II.4.1-f	Digital to Analog Converter (DAC)	28
II.4.1-g	SPI (Serial Peripheral Interface) sur l'ESP32	28
II.4.1-h	Bus I2C	29
II.4.1-i	Sorties PWM	29
II.4.1-j	Outil de développement Arduino-IDE	29
II.4.1-k	Connexion à un réseau WiFi	30
II.4.1-l	Interruptions externes	30
II.4.1-m	Timers et alarmes	31
II.4.1-n	Modes économie d'énergie de l'ESP32	31
II.4.2	Surveillance des grandeurs météorologiques	32
II.4.2-a	Mesure de la pression barométrique, de la température interne - Capteur BMP280	32
II.4.2-b	Mesure de l'indice UV - Capteur GUVVA-S12SD	33
II.4.2-c	Mesure de l'intensité lumineuse et de la puissance de rayonnement - Capteur BH1750	33

II.4.2-d	Mesure de la direction du vent - Girouette	34
II.4.2-e	Mesure de la vitesse du vent - Anémomètre	35
II.4.2-f	Mesure de la précipitation - Pluviomètre	35
II.4.2-g	Mesure de la température externe - Capteur DS18B20	36
II.5	DIMENSIONNEMENT DU CIRCUIT D'ALIMENTATION	37
II.5.1	Schéma du circuit d'alimentation	37
II.5.2	Module chargeur de batteries - TP4056	37
II.5.3	Régulateur de tension à faible chute (LDO) MCP1700	38
II.5.4	Surveillance de la tension de la batterie	39
II.5.5	Calcul du temps de fonctionnement de la batterie	40
II.5.6	Dimensionnement du panneau solaire	41
II.6	RÉALISATION PRATIQUE	42
II.6.1	Conception du circuit imprimé	42
II.6.2	Ecran Stevenson	43
II.6.3	Emplacement de l'installation	46
II.7	CONCLUSION	47
III	INTERFAÇAGE AVEC THINGSPEAK ET BLYNK	48
III.1	INTRODUCTION	49
III.2	OUTILS LOGICIELS ET SERVICES EN LIGNE	49
III.2.1	ThingSpeak	49
III.2.1-a	Définition	49
III.2.1-b	Fonctions de ThingSpeak	49
III.2.1-c	Utilisation de Thingspeak	50
III.2.2	Blynk	51
III.2.2-a	Fonctions de Blynk	52
III.2.2-b	Guide d'utilisation de blynk	52
III.2.3	Collecte de données avec Thingspeak	54
III.2.3-a	Mesure de l'intensité lumineuse :	55
III.2.3-b	Mesure de la température interne et externe :	55
III.2.3-c	Mesure de la vitesse du vent	56
III.2.3-d	Mesure de l'indice UV	56
III.2.4	Collecte de données avec Blynk	57
III.2.4-a	Mesure de la pression atmosphérique	57
III.2.4-b	Mesure de la température	58
III.2.4-c	Mesure de l'irradiance	59
III.2.4-d	Mesure de l'intensité lumineuse	60
III.2.4-e	Mesure de la vitesse et direction du vent	60
III.2.4-f	Mesure de l'indice UV	61
III.3	CONCLUSION	61
IV	INTERFAÇAGE AVEC INFLUXDB ET GRAFANA	62
IV.1	INTRODUCTION	63
IV.2	OUTILS LOGICIELS ET SERVICES EN LIGNE	63
IV.2.1	Définition d'un serveur	63

IV.2.2	MQTT - Mosquito	63
IV.2.3	Node-Red	64
IV.2.4	Influxdb	65
IV.2.5	Grafana	66
IV.3	COLLECTE DE DONNÉES AVEC INFLUXDB ET GRAFANA	67
IV.3.1	Mesure de l'intensité lumineuse	68
IV.3.2	Mesure de l'irradiance solaire	69
IV.3.3	Mesure de la pression atmosphérique	70
IV.3.4	Mesure de la température	71
IV.3.5	Mesure de la vitesse du vent	72
IV.3.6	Mesure de la direction du vent	73
IV.3.7	Mesure de l'indice UV	73
IV.3.8	Mesure des précipitations	74
IV.4	CONCLUSION	74
	CONCLUSION GÉNÉRALE	75
	ANNEXE A	2
	ANNEXE B	4
	ANNEXE C	7

TABLE DES FIGURES

I.1	Exemple d'une station météo connectée.[1]	5
I.2	Station météo connectée Netatmo.[2]	7
I.3	Station météo connectée Lacross Technology.[3]	7
I.4	Station météo connectée BRESSER WIFI.[4]	7
I.5	Thermomètre à alcool.[5]	8
I.6	Thermomètre électronique.[6]	8
I.7	Hygromètre.[7]	9
I.8	Baromètre.[8]	10
I.9	Luxmètre.[9]	10
I.10	Rayonnement solaire.[10]	11
I.11	Pyranomètres.[11]	11
I.12	Classification de l'indice UV.[12]	12
I.13	Spectromètre avec son schéma interne.[13] [14]	12
I.14	Anémomètre.[15]	13
I.15	Girouette.[16] [17]	13
I.16	Pluviomètre.[18]	14
I.17	Pluviomètre pour station pluviométrique.[19]	14
I.18	Objets connectés.[20]	14
I.19	Schéma de répartition des Couches dans le protocole ZigBee.[21]	19
II.1	Esp32 devkit.[22]	25
II.2	Pins de la carte ESP32 WROOM.[23]	26
II.3	Protocle SPI.[24]	28
II.4	GPIO SPI.[24]	28
II.5	Interface de l'IDE Arduino	30
II.6	Interruption externe.[25]	31
II.7	Illustration des composants actifs en mode deep sleep.[26]	32
II.8	Pins de sortie du BMP280.[27]	32
II.9	Capteur Keyes GUA-S12SD avec tableau de lecture.[28]	33
II.10	BH1750 avec schéma de fonctionnement.[29] [30]	34
II.11	Girouette sparkfun avec son diagramme du circuit interne.[31] [32]	35
II.12	Anémomètre sparkfun.[32]	35
II.13	Pluviomètre sparkfun.[32] [33]	36
II.14	Dallas DS18B20.[34]	36
II.15	Circuit d'alimentation.[35]	37
II.16	Module TP4056.[36] [37]	38
II.17	Régulateur de tension MCP1700.[38] [39]	38

II.18 Schéma de surveillance de la tension de la batterie.[35]	39
II.19 Carte montrant le potentiel Photovoltaïque en Algérie.[40]	41
II.20 Phase de test au sein du laboratoire	42
II.21 Test de la communication MQTT entre l'esp 32 et la raspberry pi avec un réseau 4g	42
II.22 Schéma du circuit du PCB.[35]	43
II.23 PCB de la station.[35]	43
II.24 Pièces imprimées en 3d	44
II.25 Assemblage des pièces	44
II.26 Abri assemblé	45
II.27 Abri assemblé	45
II.28 Emplacement choisi pour la station	46
II.29 Station assemblé	47
III.1 L'interface de thingspek	50
III.2 Récupération de la clé API	50
III.3 Dashboard thingspeak	51
III.4 Blynk Platform Components.[41]	52
III.5 Récupération du jeton d'authentification	53
III.6 Web dashboard sur blynk	53
III.7 Conditions de mesure	54
III.8 Bulletin météo aéroport de zenata.[42]	54
III.9 Mesure de l'intensité lumineuse	55
III.10 Mesure de la température interne et externe	55
III.11 Mesure de vitesse du vent	56
III.12 Mesure de l'indice UV	56
III.13 Mesure de la pression atmosphérique	57
III.14 Mesure de la température	58
III.15 Mesure de l'irradiance	59
III.16 Mesure de l'intensité lumineuse	60
III.17 Mesure de la vitesse et direction du vent	60
III.18 Mesure de l'indice UV	61
IV.1 Principe de communication MQTT	64
IV.2 Node red.[43]	65
IV.3 Exemple d'un flow sur Node red	65
IV.4 Dashboard de la station météo sur Grafana.	67
IV.5 Conditions de mesure.	67
IV.6 Buletin météo aéroport de zenata.[44]	68
IV.7 Mesure de l'intensité lumineuse.	68
IV.8 Moyenne des mesures de l'intensité lumineuse.	69
IV.9 Mesure de l'irradiance solaire.	69
IV.10 Moyenne des mesures de l'irradiance solaire.	69
IV.11 Mesure de la pression atmosphérique.	70
IV.12 Mesure de la température interne et externe.	71

IV.13	Moyenne des mesures de la température externe.	71
IV.14	Moyenne des mesures de la température interne.	71
IV.15	Mesure de la vitesse du vent.	72
IV.16	Moyenne des mesures de la vitesse du vent.	72
IV.17	Moyenne des mesures de la vitesse du vent.	73
IV.18	Mesure de l'indice UV	73
IV.19	Mesure des précipitations	74
IV.20	Circuit sur breadboard.	76
IV.21	Tension d'alimentation pour le fonctionnement de l'esp32 avec Wifi.[45] . . .	77
IV.22	Consommation des différentes esp32 avec Wifi.[46]	77
IV.23	Consommation des différentes esp32 en mode deep sleep.[46]	78
24	fiche technique BMP280.[47]	2
25	tableau des angles directionnelles en fonction de la tension d'entrée et la résistance.[32]	3
26	Caractéristiques du GuvaS12-SD.[48]	3
27	Courbe de réactivité.[48]	3
28	cycle de charge complet	5
29	circuit d'application	6
30	diagramme du bloc d'interconnection	7
31	état du protocole du bus	7
32	Connection SPI	8
33	Transmission et commande de données en SPI	9
34	Schéma d'utilisation du protocole One Wire	9

Nomenclature

Les principales notations et abréviations utilisées dans ce mémoire sont explicitées ci-dessous, sous leur forme la plus couramment employée dans le domaine du génie électrique.

Grandeurs électriques et météorologique

Nom	Symbole	Unité
Temps	t	s
Tension	U	V
Courant	I	A
Puissance	P	W
Fréquence	f	Hz
Pression atmosphérique		Pa, hPa
Température	T	$^{\circ}C$
Intensité lumineuse	lx	lux
Angle (position)		$^{\circ}$
Puissance de rayonnement		W/m^2
Vitesse du vent	v	m/s
Précipitation		mm
Humidité		%
Longueur d'onde	λ	nm

Paramètres

Nom	Symbole	Unité
Impédance	Z	Ω
Réactance	X	Ω
Résistance	R	Ω
Inductance	L	H
condensateur	C	F

Acronyme	Signification
IOT	Internet des objets
UV	rayonnement solaire ultra-violet
ISM	Institute for Supply Management
AFH	Adaptive Fréquence Hopping
API	interface de programmation d'application
BLE	Bluetooth Low Energy
IEEE 802.15.	Protocole Bluetooth
IEEE 802.11	Protocole Wi-Fi
IEEE 802.15.4	Protocole ZigBee
IEEE 802.11ah	Wi-Fi ah HaLow
SAP	Service access point
PHY	la couche physique
MAC	Medium access control
NWK	Network
APS	Application support
ZDO	Zigbee Device Object
LPWAN	Low Power Wide Area Network
LTE-M	Long Term Evolution for Machines
3GPP	Third Generation Partnership Project
PSM	Power save mechanism
DTIM	Delivery Traffic Indication Map
TIM	Traffic Indication Map
eMBB	enhanced Mobile Broad Band
mMTC	massive Machine Time communication
URLLC	Ultra Reliable Low Latency Communication
UHF	Ultra haute fréquence
ISMNB-IoT	Narrowband Internet of things
IDE	Integrated Development Environment
RF	Radio fréquence
LDO	Low Dropout
ISR	Interrupt Service Routine
AMP	Amplificateur Opérationnel
OSC	Oscillateur
ADDR	Adresse

Introduction générale

Introduction

Le changement climatique a des effets directs sur le quotidien de l'humanité, que ce soit sur son environnement, ou sur l'approvisionnement de ses ressources nutritives et énergétique.

L'étude des phénomènes météorologiques suscite de plus en plus l'intérêt de la communauté scientifique pour une meilleur prévention contre les phénomènes naturelles extrêmes tel que la sècheresse, les tempêtes, les cyclones, les inondationsetc.

Formulation du problème et objectifs

Les chercheurs dans ce domaine se sont dotés de stations météorologiques pour fournir des données afin de planifier :

- Une éventuelle transition énergétique (énergie renouvelable solaire, éolienne).
- Leurs exploitations dans diffèrent domaine comme l'agriculture, l'aéronautique et certaine application dans l'industrie. De ce fait, nous avons besoins d'acquérir une base de données suffisante en termes d'évolution des paramètres météorologiques pour pouvoir faire une étude.

Le laboratoire de recherche LAT (laboratoire d'automatique de Tlemcen) se propose d'installer un système d'aquisition de données pour une station météorologique au sein de notre établissement. Cette station pourra assurer collecte des différentes grandeurs météorologique tel que la température, l'intensité lumineuse, la vitesse et direction du vent, les précipitations...etc.

Organisation du mémoire

Notre mémoire est réparti en quatre chapitres :

- Le premier chapitre mettra en avant quelque généralités sur les stations météorologiques, les paramètres météorologique ainsi que certain protocole de communication ;
- Le second chapitre présente le matériel utilisé pour la réalisation de notre station ;

- Le troisième chapitre donnera un aperçu sur la première solution de visualisation des données collectées avec Thingspeak et blynk ;
- En dernier, le chapitre quatre traitera de la deuxième solution pour stocker les données localement et les visualiser sans restriction à l'aide de Grafana.

Chapitre I

Généralités sur les stations météorologiques

SOMMAIRE

I.1	INTRODUCTION	4
I.2	DIFFÉRENTES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES	4
I.2.1	Stations météo locales et régionales	4
I.2.2	Stations météo manuelles et automatiques	5
I.2.3	Stations météo connectées	5
I.3	AVANTAGES DES STATIONS CONNECTÉES	5
I.4	EXEMPLES DE STATION MÉTÉOROLOGIQUE CONNECTÉE	6
I.4.1	Exemple 1 : Station connectée Netatmo NWS01-EC	7
I.4.2	Exemple 2 : Station connectée La Crosse Technology MA10006	7
I.4.3	Exemple 3 : Station connectée Station météo BRESSER WIFI 7002580	7
I.5	APPAREILS DE MESURES ET PARAMÈTRES	8
I.5.1	Température (Thermomètre)	8
I.5.2	Humidité (Hygromètre)	8
I.5.3	Pression barométrique (Baromètre)	9
I.5.4	Intensité lumineuse (Luxmètre)	10
I.5.5	Puissance de rayonnement (Pyranomètre)	10
I.5.6	Indice UV (Spectromètre)	11
I.5.7	Vitesse du vent (Anémomètre)	12
I.5.8	Direction du vent (Girouette)	13
I.5.9	Précipitation (Pluviomètre)	13
I.6	OBJETS CONNECTÉS	14
I.6.1	Liaison à un cloud	14
I.6.2	Fonctionnement d'un cloud spécial IoT	15
I.6.3	Domaines d'application	16
I.7	PROTOCOLES DE COMMUNICATION DE L'INTERNET DES OBJETS	17
I.7.1	Internet des objets (IOT)	17
I.7.2	Protocoles de communication sans fil à courte portée	17
I.7.3	Protocoles de communication sans fil de milieu de gamme	18
I.7.4	Protocoles de communication sans fil à longue portée	19
I.8	CONCLUSION	21

I.1 Introduction

L'étude des phénomènes météorologiques aurait été pénible voire impossible sans la conception d'outils approprié à la collecte de données sur les conditions climatiques dans notre atmosphère. Il existe de nos jours différents constructeurs qui proposent des stations météorologiques dans différentes catégories allant de stations à usage publics aux stations professionnels. En plus de la popularisation des objets connectés, n'importe qui peut s'offrir ou fabriquer sa propre station météo pour consulter ses paramètres météorologiques locales. Cependant, Un minimum de connaissance sur le fonctionnement de ces stations est nécessaire pour pouvoir exploiter au mieux les données collectées.

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons présenter différents types de station météorologique ainsi que les paramètres qui peuvent être mesuré avec différents appareils, puis dans la seconde partie, nous présenterons une vue générale des objets connectés, les différentes liaisons au cloud, ainsi que les protocoles de communication de l'IoT dans les trois gammes de portée.

I.2 Différentes stations météorologiques

La plupart du temps, la station météo se constitue d'un mat qui va tenir en hauteur les différents capteurs qui sont installés dans un boîtier afin de collecter, stocker et envoyer les informations relatives à la météorologie vers une base de données. La station se charge de mesurer la température, l'humidité, la pression atmosphérique, les précipitations la vitesse et la direction du vent et les radiations solaires. [49].

Cependant, l'utilisation d'une station météo classique peut ne pas être satisfaisante dans des conditions spécifiques et dans des applications pointues. De ce fait, il existe différents types de stations qui répondent aux différents besoins de leurs utilisateurs.

I.2.1 Stations météo locales et régionales

- **Station météo locale :** Ce type de station nous donne des informations sur les conditions météorologiques sur une zone bien définie. En générale, on se contente du strict minimum en termes de capteur, avec un capteur de température, un hygromètre pour l'humidité de l'aire, un anémomètre, un pluviomètre ainsi que dun capteur pour déterminer quand il fait jour et nuit (capteur de luminosité).[50].
- **Station régionale :**
Ces types de stations n'ont pas de capteur, mais elles sont capables de nous donner des informations météorologiques de même qualité qu'un bulletin météorologique sur plusieurs jours dans une zone qui comprend toute une région grâce à une émission des données météorologiques par une station principale (une station nationale par exemple).[50].

I.2.2 Stations météo manuelles et automatiques

- **Station automatique :** Une station météorologique automatisée est un système intégré de composants utilisés pour mesurer, enregistrer et transmettre des paramètres météorologiques tels que la température, la vitesse et la direction du vent, le rayonnement solaire et les précipitations. Ces stations météorologiques sont utilisées sur terre et en mer à diverses fins opérationnelles et de recherche. La conception robuste, les faibles besoins en énergie et les méthodes de communication longue distance permettent aux stations météorologiques modernes de fonctionner à distance pendant de longues périodes sans intervention humaine.[51].
- **Station manuelle :**
Dans ce type de station, un technicien intervient régulièrement pour prélever les informations que fournissent les capteurs. Les instruments utilisés sont similaires à celle d'une station automatique, cependant, la présence du technicien peut nous donner des données mesurées plus fiables.[52].

I.2.3 Stations météo connectées

Les stations météo connectées sont pratiquement similaires aux stations conventionnelles en termes d'équipement, cependant, elles ont la particularité d'avoir une liaison avec internet ou avec des appareils intelligents tels que notre smart phone.[53]



FIGURE I.1 – Exemple d'une station météo connectée.[1]

I.3 Avantages des stations connectées

On peut distinguer plusieurs avantages que propose une station météo connecté :

- **Génération de données en temps réel :** L'une des principales raisons pour lesquelles les gens utilisent des stations météorologiques connectées est la possibilité

d'obtenir leurs informations en temps réel. Dans le passé, les prévisions météorologiques dépendaient uniquement des bulletins météorologiques sur les journaux quotidiens ou des rapports des services météorologiques. Avec les stations météorologiques connectées, les utilisateurs n'ont plus à dépendre de ces sources externes et peuvent obtenir leurs propres informations précises sur la météo beaucoup plus rapidement qu'ils ne le feraient par d'autres moyens.[54]

- **Partage des données avec les objets intelligent** : Les stations météorologiques connectées peuvent communiquer avec plusieurs appareils à la fois et donc par plusieurs membres de la famille. Pour cette raison, il est incroyablement facile de partager des informations sur la météo avec chaque membre afin qu'ils puissent rester à jour avec la météo. Ceci est particulièrement utile dans les endroits victimes de mauvaises conditions météorologiques où les membres de la famille doivent s'alerter les uns les autres.[54]
- **Lecture et visualisations précise** : Souvent, le service de météorologie peut être situé loin de chez vous. Dans ces cas, les prévisions météorologiques qu'ils donnent ne sont pas toujours les plus précises. La météo dans cette région peut être différente de celle où vous vivez, c'est là que les stations météorologiques connectées interviennent. Ces appareils peuvent vous indiquer la température exacte dans la région où vous vivez et vous donner des lectures spécifiques centrées autour de votre maison.[54]
- **Facilité de son utilisation** : Les stations météorologiques connectées sont conçues pour être efficaces et simples. Ces appareils sont destinés à pouvoir fournir les informations les plus précises de la manière la plus simple possible. Si vous voulez un appareil simple à lire et qui ne vous surcharge pas d'informations, une station météo connectée est le choix le plus judicieux.[54]
- **Prévision météorologique** : Le fait de connaître les conditions météorologiques autour de votre maison à une certaine heure n'est pas suffisant. Parfois, vous devez connaître les prévisions météorologiques pour les prochains jours, et les stations météorologiques connectées sont conçues pour le faire. Ces appareils peuvent vous aider à mieux vous préparer à la météo dans les jours à venir et peuvent vous aider à mieux se planifier autour de cela.[54]

I.4 Exemples de station météorologique connectée

On peut citer quelques exemples de station météo connectées présentes sur le marché :

I.4.1 Exemple 1 : Station connectée Netatmo NWS01-EC



FIGURE I.2 – Station météo connectée Netatmo.[2]

I.4.2 Exemple 2 : Station connectée La Crosse Technology MA10006

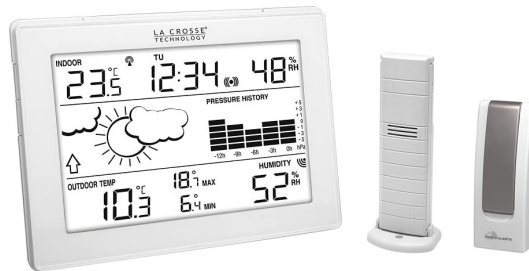


FIGURE I.3 – Station météo connectée Lacross Technology.[3]

I.4.3 Exemple 3 : Station connectée Station météo BRESSLER WIFI 7002580



FIGURE I.4 – Station météo connectée BRESSLER WIFI.[4]

I.5 Appareils de mesures et paramètres

Qui dit station météorologique, dit paramètre météorologique. La mesure de ces paramètres est cruciale pour l'étude et la prévision des conditions météo.

I.5.1 Température (Thermomètre)

La température est la grandeur qui donne la notion du froid et du chaud. Son phénomène se déroule à l'échelle microscopique provoqué par le mouvement des atomes. Ceci dit, les températures élevées et basses se caractérisent respectivement par une grande et petite agitation des atomes.[49]

Parmi ses unités de mesure, on distingue l'unité internationale qu'est le Kelvin (K), le degré Celsius $^{\circ}C$ est préféré par les européens ainsi que le degré Fahrenheit $^{\circ}F$ plus répandu aux Etats Unis. Cette grandeur physique est mesurée grâce au thermomètre. On peut utiliser les formules suivantes pour convertir ces unités : [49]

$$K = 273.15 + ^{\circ}C \quad ^{\circ}C = 0.55(^{\circ}F - 32) \quad ^{\circ}F = 32 + (1.8^{\circ}C)$$

Thermomètre : La mesure de la température s'effectue avec différent type de capteur, ce qui donne différente façon de la mesurer. Néanmoins, le thermomètre reste l'outil le plus commun pour effectuer une mesure de la température, il utilise la dilatation et la contraction d'un corps tel que l'alcool dans un tube fin.[49]



FIGURE I.5 – Thermomètre à alcool.[5]



FIGURE I.6 – Thermomètre électronique.[6]

I.5.2 Humidité (Hygromètre)

L'humidité est une grandeur qui indique le taux de présence de la vapeur d'eau dans l'aire. On distingue deux variantes de cette grandeur : l'humidité relative et absolue. Dans le cas d'une mesure, on s'intéresse uniquement à l'humidité relative qui s'exprime en pourcentage (%) de 0 à 100. Elle est définie par le rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau

que contient l'aire sur la pression de la vapeur saturante, la variation de la température ou de la pression va faire varier la valeur de ce rapport.[49]

- **Hygromètre** : Un hygromètre nous permet de mesurer le degré d'humidité de l'air. Il est utilisé dans la météorologie pour mesurer le taux d'humidité dans l'atmosphère. Cet instrument peut utiliser d'autres paramètres tel que la température, la masse, la pression ou encore le changement mécanique ou électrique d'un corps lorsque l'humidité est absorbée par ce dernier.[55]



FIGURE I.7 – Hygromètre.[7]

I.5.3 Pression barométrique (Baromètre)

La pression est une force qui s'exerce sur une surface. Il existe deux types de pression : la pression absolue et la pression relative. La pression relative, également connue sous le nom de pression barométrique, est mesurée par rapport à la pression atmosphérique, qui est généralement d'environ 100 kPa en pression absolue au niveau de la mer mais qui peut varier en fonction de l'altitude et des conditions météorologiques.[56]

L'unité de mesure de la pression dans le Système international d'unités (SI) est le pascal (Pa), qui correspond à une force d'un newton par mètre carré (N/m^2).[56]

- **Baromètre** : Le baromètre est un outil de mesure, qu'on peut utiliser en météorologie et en physique pour mesurer la pression atmosphérique. Il existe plusieurs types de baromètres, notamment le baromètre à mercure, le baromètre à gaz, le baromètre anéroïde et les baromètres électroniques.[49]

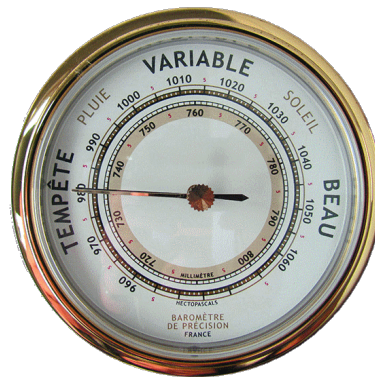


FIGURE I.8 – Baromètre.[8]

I.5.4 Intensité lumineuse (Luxmètre)

L'intensité lumineuse est une grandeur physique qui quantifie la lumière émise par une source lumineuse dans une direction. L'unité de mesure dans le système internationale est le candela cd, mais on peut aussi la trouver en unité de lux .[57]

- **Luxmètre** : Le luxmètre est un outil qui mesure la luminosité en unités de lux. Un lux dépend de la quantité de lumière qui atteint une surface lorsqu'un flux lumineux d'un lumen par mètre carré l'éclaire. Cet instrument utilise un capteur CCD (charge coupled device) ou photovoltaïque, les mesures qu'il donne se base sur le flux de photon reçu par ces capteurs qui sera converti en signal électrique.[58]



FIGURE I.9 – Luxmètre.[9]

I.5.5 Puissance de rayonnement (Pyranomètre)

Le rayonnement solaire est une onde émise par le soleil qui peut se traduire en énergie exprimée en W/m^2 . Il est possible grâce à ce phénomène physique de produire de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité. Ces rayonnements ont un énorme impact sur la vie terrestre, que ce soit sur le développement de la végétation ou sur notre corps, car en effet,

il existe une onde dans les rayonnements solaires nommé ultra-violet qui, en cas d'excès ou de sous protection, peuvent engendrer des effets nocifs sur la santé humaine.[49]

La quantité d'énergie que produisent ces rayonnements est en rapport avec l'altitude et la latitude, ils sont généralement plus puissants en haut altitude car ils sont moins filtrés.[49]

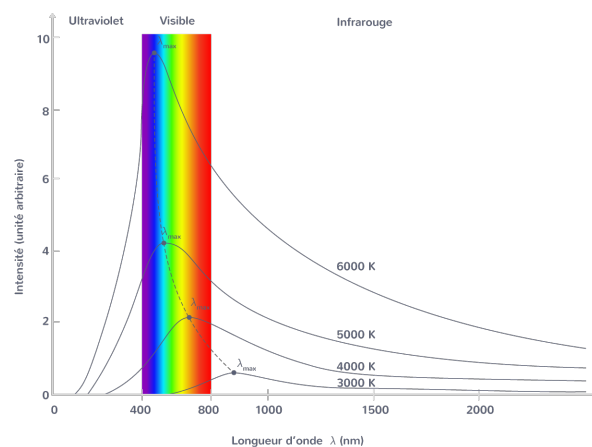


FIGURE I.10 – Rayonnement solaire.[10]

○ **Pyranomètre** : Les pyranomètres sont des instruments qui mesurent la quantité de rayonnement solaire reçue par une surface. Ils utilisent un capteur appelé thermopile pour mesurer la différence de température entre deux anneaux concentriques en argent, dont celui à l'extérieur est recouvert de blanc. Cette différence de température est enregistrée sous forme de tension de sortie environ une fois par heure, et peut être utilisée pour déterminer la quantité de rayonnement solaire reçue par la surface. Les pyranomètres sont principalement utilisés pour mesurer le rayonnement solaire dans la bande de longueur d'onde de 0,3 à 3 μm . [59]



FIGURE I.11 – Pyranomètres.[11]

I.5.6 Indice UV (Spectromètre)

L'indice UV, imposé par la norme ISO17166 (ultra-violet) nous permet de donner une quantification du rayonnement solaire UV qui peut causer des effets cutanés pour l'homme.

Les valeurs de cet indice varient au cours de la journée et des saisons. Quand il s'agit de prévention, on se limite à annoncer la valeur maximale à prévoir pendant une journée.[60]

Indice UV	Niveau d'intensité
0-2	Bas
3-5	Modéré
6-7	Élevé
8-10	Très élevé
11+	Extrême

FIGURE I.12 – Classification de l'indice UV.[12]

○ **Spectromètre** : Un spectromètre est un outil qui permet de séparer un échantillon en ses composants élémentaires, comme un faisceau de lumière en spectroscopie ou un mélange de molécules en spectrométrie de masse. Selon l'application, il peut être utilisé pour mesurer les longueurs d'onde d'un faisceau lumineux ou les masses de molécules chimiques. En acoustique, il peut être utilisé pour analyser la composition d'un signal sonore. L'étude de ces composants est appelée spectrométrie.[61]

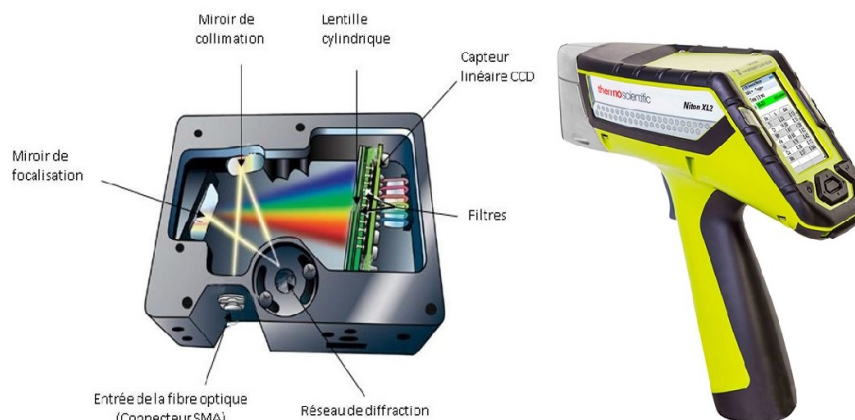


FIGURE I.13 – Spectromètre avec son schéma interne.[13] [14]

I.5.7 Vitesse du vent (Anémomètre)

Le vent est en relation directe avec la pression atmosphérique, son mouvement cinétique est engendré par la différence de pression (de la haute vers la basse pression) entre les différentes zones dans l'atmosphère qui est elle-même issue d'une différence dans la distribution de l'énergie solaire et ceux des propriétés thermiques des surface terrestre et océanique. La vitesse du vent sera élevée plus la différence de pression sera grande.[49]

○ **Anémomètre** : L'anémomètre à coupelle est un dispositif simple se basant sur la traînée aérodynamique des surfaces convexes et concaves d'une coupe spécialement

conçue. Généralement, deux à quatre ventouses sont montées en symétrie sur un axe vertical et autorisées à tourner librement. S'il subit un courant d'air à vitesse constante, l'anémomètre va tourner à une fréquence proportionnelle à la vitesse du vent. Couplé à un petit générateur électrique synchrone, le signal électrique généré peut être facilement enregistré afin de procéder à une analyse des données.[62]



FIGURE I.14 – Anémomètre.[15]

I.5.8 Direction du vent (Girouette)

Pour connaître la direction du vent, il suffit de prendre comme référence les quatre points cardinaux. En utilisant le point d'une boussole, par exemple, un vent qui se déplace du Sud-Ouest au Nord-Est on dit que c'est un vent de Sud-Ouest, comme on peut l'exprimer avec un angle en degré.[49]

- **Girouette** : La girouette est une plaque mobile en métal installée sur le toit ou le jardin qui indique la direction du vent en tournant autour d'un axe vertical. Souvent, elle prend la forme d'un coq en fer forgé fixé sur un mât qui tourne selon la direction du vent. La girouette est une manière peu coûteuse de connaître la direction du vent.[63]

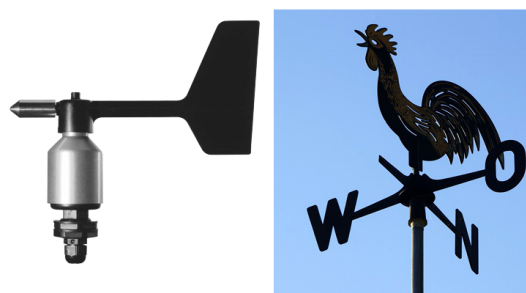


FIGURE I.15 – Girouette.[16] [17]

I.5.9 Précipitation (Pluviomètre)

Les quantités d'eau qui tombe sur la surface de la terre sont décrites par les précipitations que ce soit sous la forme liquide (pluie, bruine), solide (neige, grêle) ou déposé (givre, rosé). Elle est mesurée après un certain temps écoulé en millimètre (mm) ou en litre par mètre carré (l/m^2).[49]

- **Pluviomètre :** Le pluviomètre est l'instrument adapté qui mesure la quantité totale d'eau tombée recueillie dans un récipient sous forme liquide ou solide calibrée sur une période de temps donnée entre deux mesures.[49]



FIGURE I.16 – Pluviomètre.[18]

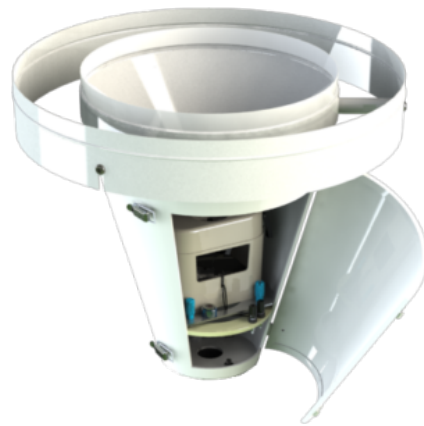


FIGURE I.17 – Pluviomètre pour station pluviométrique.[19]

I.6 Objets connectés

Un objet connecté est un objet muni de capteurs lui permettant de communiquer avec un ordinateur, un smartphone ou d'autres objets connectés grâce à un réseau établi ou par internet. Cependant, pour qu'ils puissent être utilisés dans des applications de grande ampleur, le stockage et l'échange de leurs données devient nécessaire, dans ce cas il suffit de d'utiliser une liaison à un Cloud.[64] [65]



FIGURE I.18 – Objets connectés.[20]

I.6.1 Liaison à un cloud

La liaison à un Cloud permet aux utilisateurs d'avoir accès à une certaine puissance de calcul, capacité de stockage de données et de ressources informatiques de manière virtuelle (à distance) sans avoir à construire une infrastructure sur place spécifique à une application.[66]

Pour cela, l'utilisateur a le choix entre différents types de liaison avec le Cloud, dont on

trouve souvent ces trois types :

I.6.1-a Cloud privé

Ce type de Cloud donne un accès virtuel d'une ressource matérielle. Ce service est géré et administré par le fournisseur. Il est mis en place de manière à ne pas se préoccuper des contraintes d'administration. Cependant, les ressources du Cloud privé sont limitées, des serveurs virtuels peuvent être proposés par le fournisseur à la demande du client avec certaines limitations matérielles.[67]

Le Cloud privé est perçu comme une solution adéquate pour les gestionnaires qui veulent gérer leurs infrastructures informatiques de manière externe.[67]

I.6.1-b Cloud public

De la même manière que le Cloud privé, le Cloud public permet de virtualiser mais aussi de mutualiser l'accès à une ressource matérielle. De plus, les capacités techniques de ce type de Cloud sont plus extensibles, ce qui offre une meilleure adaptation en fonction de leurs utilisations réelles. N'empêche que, le Cloud public est moins sécurisé que le Cloud privé. L'architecture du Cloud public est très adaptée pour des utilisations qui rencontrent des pics de charge, elle permet d'éviter la maintenance et la création d'une lourde infrastructure.[67]

I.6.1-c Cloud hybride

Le Cloud hybride utilise la combinaison du déploiement entre le Cloud privé et le Cloud public. Son architecture lui permet de gérer la sécurité et l'interfaçage entre les différents environnements et de proposer une cohabitation entre les deux Cloud cité précédemment.[67]

De ce fait, on peut combiner les deux Cloud de façon à avoir :

- Une meilleure absorption des pics de charge ponctuels en utilisant l'architecture du Cloud privé pour les systèmes courants et l'architecture du Cloud public pour absorber le débordement de charge.
- Une issue de secours en cas de défaillance. Dans ce cas, le Cloud privé est dupliqué sur le Cloud public afin de prendre le relai en cas de problèmes.

I.6.2 Fonctionnement d'un cloud spécial IoT

Les applications IoT compatibles avec le Cloud se développent et communiquent à travers le réseau. Le Cloud permet l'hébergement de services, le déploiement et l'introduction d'applications IoT basées sur le Cloud. En outre, le Cloud computing est une plate-forme Internet appropriée pour stocker et le traitement des données des appareils intelligents, tels que les voitures connectées, les réseaux intelligents, les villes intelligentes, le Wi-Fi, les capteurs, et les réseaux d'actionneurs.[68]

L'installation des configurations réseau peut être effectuée rapidement et efficacement. Cependant, les opérations en arrière-plan sont effectuées à l'aide d'un logiciel, ce qui permet la restauration, la surveillance de l'emplacement, l'étiquetage du contenu et la surveillance

des performances. De plus, le Cloud computing rend les systèmes IoT robustes. L'utilisation de l'intégration du Cloud et IoT, les technologues peuvent développer des réserves d'appareils et d'applications s'exécutant dans le Cloud, augmentant leur tolérance aux erreurs. En outre, ils peuvent être utilisés pour suivre les données hors-ligne.[68]

Les développeurs peuvent également configurer des serveurs numériques, exécuter des applications et lancer une base de données pour les aider à piloter leur réponse IoT.

I.6.3 Domaines d'application

Les applications IoT font la promesse d'apporter un immense impacte dans nos vies. D'ici quelque année, on s'attend à ce que les applications IoT devraient équiper des milliards d'objets du quotidien de connectivité et d'intelligence. Ceci dit, on commence à assister à leur déploiement dans différents domaines, on cite par exemple :[69]

- **Application dans les maisons intelligentes :** La domotique IoT est la capacité de contrôler électroniquement les appareils électroménagers par des systèmes connectés à Internet. Il peut s'agir de régler à l'avance des systèmes de chauffage et d'éclairage complexes et de régler des alarmes et des contrôles de sécurité domestique, tous connectés par un concentrateur central et contrôlés à distance par une application mobile.[69]
- **Application dans le domaine de l'industrie :** De nouveaux projets réels et industriels ont été réalisés ainsi que des initiatives industrielles et gouvernementales conjointes tournées vers l'avenir, telles que l'industrie 4.0 en Allemagne, ont été lancées. La production industrielle étant l'un des principaux facteurs économiques mondiaux, l'un des principaux objectifs de ces initiatives est d'apporter les paradigmes de l'IoT aux usines leur permettant de faire face aux défis soulevés par les mégatendances populaires.[69]
- **Application dans le domaine de la santé :** Les objets connectés conçus pour le domaine de la santé offrent une meilleure surveillance et diagnostic des maladies à distance, et améliorent la qualité des soins apportée par les médecins et ainsi améliorer la qualité de vie des patients. Actuellement, l'utilisation d'objets portables capables de fournir ces informations sont très populaires, notamment chez les personnes âgées ou les personnes qui ont des difficultés pour aller jusqu'au médecin pour un simple diagnostic. [64] [70]
- **Application dans le domaine de l'énergie :** Les technologies d'énergie et de stockage d'énergie sont des catalyseurs pour le déploiement des Applications IoT. Les enjeux énergétiques, que ce soit dans la récolte ou la conservation sont au cœur du développement de l'IoT. Ces technologies nous permettront de concevoir des dispositifs intelligents auto alimentés basés sur des capteurs afin de trouver des solutions dans la production et la récupération de l'énergie. Néanmoins, Il y a encore un besoin de recherche et développement dans ce domaine ayant pour objectif la réalisation de ces dispositifs à ultra faible puissance et un stockage d'énergie plus efficace et plus compact comme les batteries, les piles à combustible, et les piles imprimées/polymères, vu que les appareils actuels semblent inadéquats compte tenu de la puissance de traitement nécessaire et les

limitations énergétiques de l'avenir. [70]

I.7 Protocoles de communication de l'internet des objets

Grâce au progrès technologique, il existe actuellement différent protocole de communication et de liaison entre les réseaux sans fil. Chaque un de ces protocoles a été conçu pour remplir des besoins spécifiques.

I.7.1 Internet des objets (IOT)

L'Internet des objets est une architecture technique mondiale émergente basée sur Internet qui vient faciliter l'échange de biens et de services dans les réseaux mondiaux de chaînes d'approvisionnement. Cette architecture a un impact important sur la sécurité et la vie privée des parties prenantes concernées. [70]

L'IoT introduit un changement radical dans la qualité de vie des individus en offrant de nombreuses nouvelles opportunités d'accès aux données, des services spécifiques dans l'éducation, la sécurité, les soins de santé, le transport et bien d'autres domaines. L'IoT apporte des avantages dans la gestion et le suivi des produits, il augmente la quantité de données d'information et permet l'optimisation des équipements et l'utilisation des ressources qui se traduit par des économies financières. Par ailleurs, il offre la possibilité de créer de nouveaux appareils intelligents interconnectés et d'explorer de nouveaux modèles commerciaux. [70]

I.7.2 Protocoles de communication sans fil à courte portée

I.7.2-a Protocole Bluetooth Classic (IEEE 802.15.1)

La technologie Bluetooth est initialement conçue pour les applications de streaming continu de données et de voix. Il a réussi à éliminer les fils dans de nombreux consommateurs, applications industrielles et médicales. La technologie Bluetooth classique continue de fournir une connexion sans fil robuste entre des appareils allant d'équipements dans les voitures aux contrôleurs industriels et aux capteurs médicaux. [71]

Le Bluetooth classique utilise des ondes radio UHF à courte longueur d'onde, qui font partie de la bande de fréquences radio industrielles, scientifiques et médicales (ISM) 2,4 GHz sans licence mondiale. Le Bluetooth utilise un étalement de spectre à saut de fréquence. Le Bluetooth fonctionne à des fréquences comprises entre 2400 MHz et 2483,5 MHz, comprend des bandes de garde de 2 MHz en bas et de 3,5 MHz en haut. Chaque canal a une bande passante de 1 MHz. Le premier canal commence à 2402 MHz et continue jusqu'à 2480 MHz par pas de 1 MHz. Le Bluetooth divise les données transmises en paquets et transmet chaque paquet sur l'un des 79 canaux désignés. Il effectue généralement 1600 sauts par seconde, avec le saut de fréquence adaptatif (AFH : Adaptive Fréquence Hopping) activé. La puissance de transmission maximum dans une bande est limitée à 10 mW par les standards ISM. Ce protocole peut aussi supporter l'architecture réseau maître-esclave,

sachant que tous les appareils dans ce réseau partagent la même fréquence qu'un maître peut communiquer avec jusqu'à sept 7 esclaves dans un Piconet. [71]

I.7.2-b Protocole Bluetooth Low Energy (IEEE 802.15.1)

Le composant Bluetooth Low Energy (BLE) offre une fenêtre de configuration complète basée sur une interface graphique pour faciliter la conception d'applications nécessitant une connectivité BLE. Le composant intègre plusieurs protocoles conformes à la spécification Bluetooth Core v4.1 et fournit des API pour permettre aux applications utilisateur d'accéder au matériel sous-jacent via la pile.[72]

BLE est utilisé dans les solutions de réseau personnel sans fil (WPAN) et d'Internet des objets (IoT) à très faible consommation d'énergie destinées aux appareils à faible coût fonctionnant sur batterie qui peuvent se connecter rapidement et former des liaisons sans fil simples. Les applications que ce protocole cible comprennent les télécommandes, les moniteurs, les appareils médicaux portables et les accessoires pour téléphones intelligents et bien d'autres qui s'ajoutent à une longue liste de solutions de prise en charge BLE. [72]

I.7.3 Protocoles de communication sans fil de milieu de gamme

I.7.3-a Protocole WiFi (IEEE 802.11)

Le protocole Wi-Fi, standardisé par la norme IEEE 802.11 a été donné par la certification par la Wi-Fi alliance. Il décrit les caractéristiques d'un réseau sans fil locale. Selon sa vitesse et le temps présenté, la technologie Wi-Fi peut être divisée en quatre normes : IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, IEEE 802.11g et IEEE802.11n. IEEE802.11b et IEEE802.11g sont couramment utilisés. IEEE802.11b est le critère de réseau sans fil le plus ancien et la norme Wi-Fi la plus utilisée. Sa bande passante maximale est de 11 Mbps. Lorsque le signal est faible ou qu'il y a des interférences, la bande passante peut être ajustée à 5,5 Mbps, 2 Mbps et 1 Mbps. L'auto conditionnement de la bande passante assure efficacement la stabilité et la fiabilité du réseau. IEEE 802.11a a un débit plus important que l'IEEE 802.11b. Il fonctionne dans la bande de fréquence 5,8 GHz et a une bonne capacité anti-interférence. Mais il ne peut pas être compatible avec IEEE 802.11b et IEEE 802.11g. De plus, sa couverture est relativement petite (seulement environ 30 m à l'intérieur). Ainsi, IEEE 802.11a est encore rarement utilisé parmi toutes les normes Wi-Fi actuellement. [73] [74]

I.7.3-b Protocole ZigBee (IEEE 802.15.4)

L'architecture ZigBee est composée d'un ensemble de blocs appelés couches. Chaque couche effectue un ensemble spécifique de services. Une entité de données fournit un service de transmission de données et une entité de gestion fournit tous les autres services. Chaque entité de service expose une interface à la couche supérieure via un point d'accès de service (SAP), et chaque SAP prend en charge un certain nombre de primitives de service pour obtenir les fonctionnalités requises. La norme IEEE 802.15.4 définit les deux couches inférieures : la couche physique (PHY) et la sous-couche de contrôle d'accès au support (MAC). La ZigBee Alliance s'appuie sur cette base en fournissant la couche réseau (APS)

et le cadre de la couche application. L'infrastructure de la couche application se compose de la sous-couche de support d'application (APS) et des objets de périphérique ZigBee (ZDO). [75]

Les objets d'application définis par le fabricant utilisent l'infrastructure et partagent APS et les services de sécurité avec ZDO. La couche PHY fonctionne dans deux gammes de fréquences distinctes : 868/915 MHz et 2,4 GHz. La couche PHY basse fréquence couvre à la fois la bande européenne de 868 MHz et la bande de 915 MHz, utilisées dans des pays tels que les États-Unis et l'Australie. La couche PHY à haute fréquence est utilisée pratiquement dans le monde entier. La sous-couche MAC contrôle l'accès au canal radio à l'aide d'un mécanisme CSMA-CA. Ses responsabilités peuvent également inclure la transmission des trames de balises, la synchronisation et la fourniture d'un mécanisme de transmission fiable. [75]

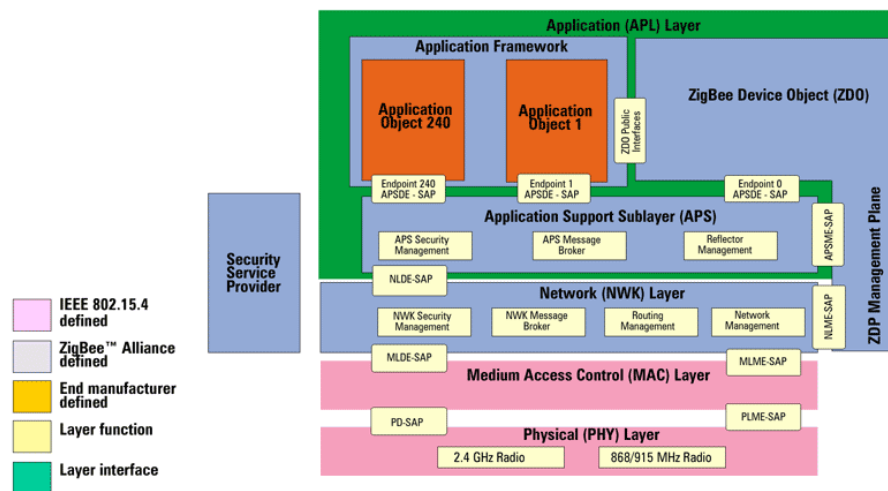


FIGURE I.19 – Schéma de répartition des Couches dans le protocole ZigBee. [21]

I.7.4 Protocoles de communication sans fil à longue portée

I.7.4-a Protocole LoRaWAN

La technologie LoRaWAN a été conçue pour répondre aux cas d'utilisation où un capteur communique de petites quantités de données plusieurs fois par jour. Il est bien adapté aux compteurs intelligents, aux trackers, aux capteurs de « confort », etc. Toutefois, il n'est pas conçu pour prendre en charge les applications qui nécessitent des débits de données élevés tels que l'audio ou la vidéo. Cependant, LoRaWAN peut être utilisé pour contrôler d'autres capacités de périphériques sans fil ; Par exemple, pour demander à distance à une caméra de commencer une transmission de données et de rester en mode basse consommation chaque fois qu'il n'est pas nécessaire d'ouvrir un flux vidéo. [76]

Ce protocole permet une communication native bidirectionnelle et illimitée (par rapport aux réglementations locales de la bande ISM) avec un débit de données qui varie de 300 bps à 5 kbps (avec une bande passante de 125 kHz) et 11 kbps (avec une bande passante de 250 kHz) permettant un meilleur temps d'antenne et une meilleure autonomie de la

batterie.[76]

I.7.4-b Protocole à bande étroite (NB-IoT)

Le protocole NB-IoT, aussi connue sous le nom de LTE-M2, se base sur les réseaux existant de la 4G et 5G, il est donc capable de fournir un transit important de donné. Ce protocole fait partie de LPWAN, il est donc utilisé pour des applications à basse consommation. Il peut fonctionner en trois modes : [77]

- **Stand Alone** : Dans cette bande, le NB-Iot utilise la bande GSM 2G qui est moins utilisé dans les communications mobiles ce qui lui laisse du terrain libre pour se déployer.[78]
- **Bande de garde** : pour un système fonctionnant à bande étroite dans la bande de garde, le NB-IoT utilise un espacement de plus au moins 200KHz entre le bord de canal du système et celui de l'opérateur.[78]
- **In Band** : Ce mode permet au NB-IoT d'exploiter les fréquences non utilisées sur le réseau d'un opérateur LTE. [78]

Parmi les avantages qu'offre ce protocole, on a le faible cout de son implémentation en vue de son utilisation de réseaux mobile déjà existants, sa faible consommation, sa fiabilité et sa standardisation internationale. [78]

I.7.4-c Protocole LTE-M

Dans les réseaux LPWAN (Low Power Wide Area Network), on retrouve le protocole de communication LTE-M (Long Term Evolution for Machines) définie par la 3GPP (Third Generation Partnership Project). Ce réseau a été créé pour répondre aux besoins particuliers des industriels et entreprises qui souhaitent déployer leurs solutions IoT qui nécessitent un haut débit avec une bonne couverture, ainsi il leurs permet dadapter leurs réseaux cellulaires. [79]

Ce protocole exploite l'infrastructure de la 4G/LTE et utilise une bande fréquence de 1.4MHz avec une faible latence. Il n'a pas besoins de posséder des antennes spécifiques pour son déploiement, il suffit d'effectuer une mise à jour logicielle d'antennes déjà existantes pour obtenir l'accès à ce réseau. [79]

I.7.4-d WiFi ah (HaLow)

IEEE 802.11ah étend le mécanisme déconomie dénergie (PSM) IEEE 802.11 en utilisant un schéma appelé TIM et segmentation de page, ce qui réduit le temps pendant lequel une station est en concurrence pour le canal et augmente ses périodes de sommeil. IEEE 802.11ah introduit une nouvelle méthode hiérarchique pour construire des groupes de stations en fonction d'un identifiant d'association. Cette répartition hiérarchique des stations en groupes, appelés groupes TIM, est utilisée non seulement à des fins organisationnelles, mais aussi pour la programmation, la signalisation et l'allocation des ressources de canaux

disponibles, permettant aux stations d'entrer en mode veille pendant les périodes de non-traffic. Par conséquent, une station se réveille uniquement à des moments prédéfinis pour écouter les balises qui sont : [80]

- **Balises DTIM (Delivery Traffic Indication Map) :** Ils doivent être écoutés par toutes les stations et indiquer quels groupes TIM ont des données en attente dans le point d'accès ainsi que des messages de multidiffusion et de diffusion.[80]
- **Balises TIM (Traffic Indication Map) :** Entre deux balises DTIM, il y a autant de balises TIM que de groupes TIM. Chaque balise TIM informe un groupe de station des données spécifiques qui ont des données en attente dans point d'accès.[80]

I.7.4-e Réseaux 5G

La 5G vient améliorer plusieurs aspects techniques par rapport aux générations précédentes, elle a trois grandes classes de cas d'utilisation : le haut débit mobile amélioré (enhanced Mobile Broad Band) ou eMBB, le mMTC (massive Machine Time communication) et l'URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communication). En termes de bandes de spectre réservées au déploiement de la 5G, elles peuvent être subdivisées en trois macro-catégories : inférieures à 1 GHz, 1 à 6 GHz et supérieures à 6 GHz. Les bandes inférieures à 1 GHz sont adaptées pour prendre en charge les services IoT et étendre la couverture haut débit mobile des zones urbaines aux zones suburbaines et rurales. En effet, les propriétés de propagation du signal à ces fréquences permettent à la 5G de créer de très grandes zones de couverture et de pénétrer profondément dans les bâtiments. Les bandes 1-6GHz offrent un mélange raisonnable de couverture et de capacité pour les services 5G. [81]

Il existe une quantité raisonnable de spectre mobile à large bande identifiée à cette gamme qui pourrait être utilisée pour les déploiements initiaux de la 5G. Les bandes de spectre supérieures à 6 GHz offrent une capacité importante grâce à la très large bande passante qui peut être allouée aux communications mobiles et permet ainsi d'améliorer les applications mobiles à large bande. L'inconvénient de l'utilisation de bandes à spectre élevé (appelées « ondes millimétriques ») est la taille de couverture très réduite de chaque cellule et sa susceptibilité au blocage. [81]

I.8 Conclusion

Grâce à ces outils modernes, la collecte de données météorologiques est devenue plus accessible et plus facile pour tout le monde.

En conclusion, nous avons vu dans ce chapitre les différents types de stations météorologiques, quelque exemple de station connecté disponibles sur le marché ainsi que les paramètres météorologiques qui peuvent être mesurés avec ces stations. Nous avons également eu un aperçu sur les objets connectés, les protocoles de communication IoT et les liaisons au cloud pour collecter et consulter les données météorologiques. En fin de compte, savoir ce qui se passe dans notre atmosphère est crucial pour prévoir les conditions climatiques et protéger notre environnement pour les générations à venir.

Chapitre II

Description et conception matérielles

SOMMAIRE

II.1	INTRODUCTION	23
II.2	CAHIER DES CHARGES	23
II.3	STRUCTURE ET FONCTIONNALITÉS	24
II.4	CONCEPTION MATÉRIELLE	24
II.4.1	Module de développement ESP32	24
II.4.2	Surveillance des grandeurs météorologiques	32
II.5	DIMENSIONNEMENT DU CIRCUIT D'ALIMENTATION	37
II.5.1	Schéma du circuit d'alimentation	37
II.5.2	Module chargeur de batteries - TP4056	37
II.5.3	Régulateur de tension à faible chute (LDO) MCP1700	38
II.5.4	Surveillance de la tension de la batterie	39
II.5.5	Calcul du temps de fonctionnement de la batterie	40
II.5.6	Dimensionnement du panneau solaire	41
II.6	RÉALISATION PRATIQUE	42
II.6.1	Conception du circuit imprimé	42
II.6.2	Ecran Stevenson	43
II.6.3	Emplacement de l'installation	46
II.7	CONCLUSION	47

II.1 Introduction

L'objectif de ce deuxième chapitre est de fournir une vue d'ensemble détaillée des différentes fonctionnalités et des éléments clés du projet, en détaillant les différentes étapes de conception matérielle pour mieux comprendre les différents composants et leur utilité.

Nous allons donc parler de la conception matérielle du projet et nous nous concentrerons sur les différentes fonctionnalités du projet, en passant en revue les modules de développement ESP32 utilisés pour la réalisation de ce dernier. Plus précisément, nous allons décrire les caractéristiques techniques de la carte ESP32 WROOM, les différentes broches et leurs fonctionnalités, ainsi que le mode d'économie d'énergie veille prolongée, ou deep sleep en anglais de l'ESP32.

Nous allons également nous intéresser à la surveillance des grandeurs météorologiques, en présentant les différents capteurs utilisés pour mesurer la pression barométrique, la température, l'indice UV, l'intensité lumineuse, la puissance de rayonnement, la direction et la vitesse du vent, ainsi que la précipitation. Nous allons aussi présenter le dimensionnement du circuit d'alimentation, en présentant le schéma du circuit, le module chargeur de batteries avec son régulateur de tension, la surveillance de la tension de la batterie, le calcul de la durée de vie de la batterie et le dimensionnement du panneau solaire. Enfin, nous aborderons la phase de test et la réalisation pratique, y compris la conception du circuit imprimé et l'emplacement approprié pour l'installation.

II.2 Cahier des charges

- **Objectif** : Concevoir un système d'acquisition et de stockage pour une station météorologique autonome et connectée à faible coût permettant de mesurer différents paramètres météorologiques tels que la pression barométrique, la température, l'indice UV, l'intensité lumineuse, la direction et la vitesse du vent, ainsi que la précipitation.
- **Fonctionnalités** : Utilisation d'un module de développement ESP32 pour la collecte et le traitement des données météorologiques. Utilisation de différents capteurs pour mesurer les paramètres météorologiques.
Alimentation autonome via une batterie rechargeable alimentée par un panneau solaire.
Connexion WiFi pour envoyer les données collectées à un serveur distant.
- **Conception matérielle** : Conception d'un circuit d'alimentation autonome comprenant une batterie rechargeable et un panneau solaire pour l'alimentation électrique. Conception d'un boîtier pour protéger les composants électroniques et les capteurs de la station météorologique.
- **Réalisation pratique** : Phase de test pour vérifier le bon fonctionnement de la station météorologique. Conception du circuit imprimé pour la station météorologique. Installation des capteurs dans le boîtier de la station météorologique. Connexion de la station météorologique au serveur distant pour l'envoi des données collectées.

II.3 Structure et fonctionnalités

Le fonctionnement de notre station météo prototype se base sur l'utilisation d'une carte de développement ESP32 pour assurer le contrôle et la collecte de données des différents capteurs de mesure des paramètres météorologiques. Nous avons choisi ce microcontrôleur pour sa puissance de calcul et sa connectivité WiFi intégrée, ce qui permet une transmission en temps réel des données collectées vers une base de données en ligne ou un serveur distant ou local.

Le module ESP32 sera connecté à un ensemble de capteurs pour mesurer différents paramètres météorologiques tels que la pression barométrique, la température, l'indice UV, l'intensité lumineuse, la direction et la vitesse du vent, la précipitation et la température externe.

Pour la mesure de la pression barométrique et de la température nous utiliserons le capteur BMP280. Pour la mesure de l'indice UV, nous utiliserons le capteur Guva S12SD. Pour la mesure de l'intensité lumineuse et de la puissance de rayonnement, nous utiliserons le capteur BH1750. Pour la mesure de la direction du vent, nous utiliserons une girouette Sparkfun et pour la mesure de la vitesse du vent Sparkfun, nous utiliserons un anémomètre Sparkfun. Pour la mesure de la précipitation, nous utiliserons un pluviomètre et pour la mesure de la température externe, nous utiliserons le capteur DS18B20.

La conception matérielle inclura également un circuit d'alimentation composé d'un module de chargeur de batterie TP4056, d'un régulateur de tension à faible chute (LDO) MCP1700 et d'un système de surveillance de la tension de la batterie. Le dimensionnement du panneau solaire sera également pris en compte pour assurer une durée de vie suffisante de la batterie.

Pour l'affichage des données, une Raspberry pi 4 sera utilisé comme serveur afin de stocker et afficher les données collectées. La station sera protégée par un écran Stevenson imprimé en PLA avec une imprimante 3d et l'emplacement approprié pour l'installation de la station sera également défini dans cette partie de la conception matérielle.

II.4 Conception matérielle

II.4.1 Module de développement ESP32

L'ESP32 est une famille de microcontrôleurs à faible coût dotée de fonctionnalités Wi-Fi et Bluetooth. Il est équipé d'un processeur Tensilica Xtensa LX6 avec des variantes à un ou deux cœurs et dispose également d'équipements RF intégrés. L'ESP32 est développé par Espressif Systems et fabriqué par TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company) avec un processus de fabrication de 40 nm. [82]

Lors de son lancement en septembre 2016, le coût de l'ESP32 était d'environ 5 dollars. Aujourd'hui, le prix varie en fonction du fabricant et du modèle de carte spécifique que vous envisagez d'acheter, mais en général, il est considéré comme une option abordable pour les projets IoT en raison de sa polyvalence et de sa faible coût. Cependant, il est important de noter que d'autres coûts peuvent être impliqués dans la création d'un projet

avec l'ESP32, tels que les composants externes, les coûts de conception et de fabrication du circuit imprimé etc.[82]

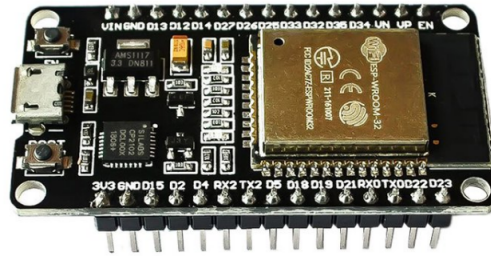


FIGURE II.1 – Esp32 devkit.[22]

II.4.1-a Description de la carte ESP32 WROOM

L'ESP32 est un microcontrôleur qui offre un excellent rapport qualité-prix pour les projets de l'Internet des objets. Il intègre des fonctionnalités telles que Wi-Fi et Bluetooth, ce qui le rend très pratique pour les applications sans fil. De plus, son processeur TensilicaXtensa LX6 est très performant et capable de gérer des tâches complexes en un rien de temps avec une faible consommation. L'ESP32 comprend également des composants supplémentaires tels que des commutateurs d'antenne intégrés, un amplificateur de puissance, et d'autres éléments qui renforcent sa qualité. Cette carte est compatible avec plusieurs langages de programmation dont : [83]

- **C/C++** : en utilisant le SDK (Software Development Kit) d'Espressif ou le logiciel Arduino IDE.
- **MicroPython** : Un langage de programmation basé sur Python, qui est une alternative pratique pour les applications IoT et la programmation rapide
- **Lua** : en utilisant le firmwareNodeMCU

Il existe également des bibliothèques pour d'autres langages de programmation tels que JavaScript, Go, Rust, etc. Il dépend de vos préférences et de l'application pour choisir le langage de programmation approprié pour l'ESP32.

II.4.1-b Caractéristiques de la carte ESP 32 WROOM

Les caractéristiques techniques de l'ESP32 WROOM sont les suivantes : [84]

- **les Processeurs** : Dual-CoreXtensa® 32-bit LX6 microprocessor à 160 MHz.
- **Mémoire** : 520 KB SRAM, 448 KB ROM.
- **Stockage** : 4 MB flash SPI intégré
- **Alimentation** : 3,3 V .
- **GPIOs** : Jusqu'à 34 GPIO programmable.
- **ADC** : 18 channel en 12 bits.

- **DAC** : 2 x 8 bits.
- **Température de fonctionnement** : -40°C à $+85^{\circ}\text{C}$.
- **Dimensions** : 25,4 mm x 25,4 mm.
- **Poids** : 2 g.

Cette liste peut varier en fonction de la version de l'ESP32 WROOM utilisée. Il est donc recommandé de consulter la documentation du fabricant pour plus de détails.

II.4.1-c Pins de la carte ESP32 WROOM

La carte de développement ESP32 possède au total 30 broches qui la connectent au monde extérieur. Les connexions sont les suivantes :

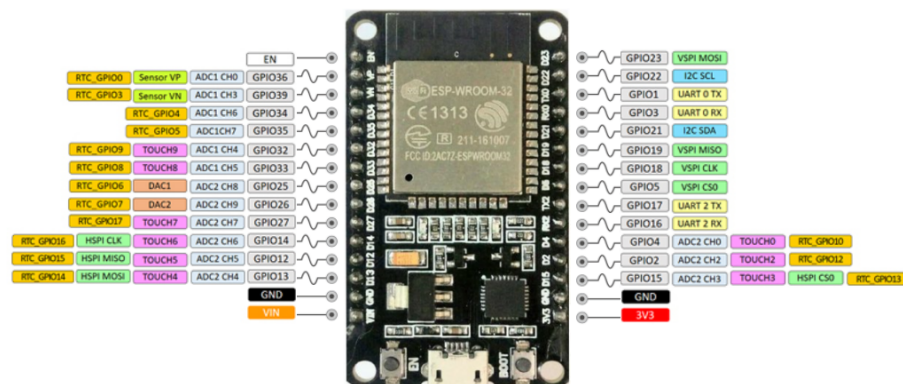


FIGURE II.2 – Pins de la carte ESP32 WROOM.[23]

II.4.1-d Fonctionnement Particulier de certaines broches de l'ESP32

Afin d'éviter un mauvais branchement de nos capteurs, il est indispensable de connaître le fonctionnement de certaines broches de l'ESP32. Les cartes ESP32 disposent généralement de 33 broches, à l'exception des broches d'alimentation. Certaines broches GPIO présentent des caractéristiques spéciales : il est important de ne pas utiliser les broches GPIO6, GPIO7, GPIO8, GPIO9, GPIO10, et GPIO11 car elles sont connectées à la mémoire flash de l'ESP32 et cela pourrait rendre l'ESP32 inopérant. [85]

GPIO	INPUT	OUTPUT	Commentaires
0	OUI (Pullup interne)	OUI	Doit être à 0V pendant le FLASH
1 (TX0)	NON	OUI	Communication UART avec le PC
2	OUI (Pulldown interne)	OUI	Doit être à 0V pendant le FLASH
3 (RX0)	OUI	NON	Communication UART avec le PC
4	OUI	OUI	
5	OUI	OUI	
6	NON	NON	Connecté à la flash interne
7	NON	NON	Connecté à la flash interne
8	NON	NON	Connecté à la flash interne
9	NON	NON	Connecté à la flash interne
10	NON	NON	Connecté à la flash interne
11	NON	NON	Connecté à la flash interne
12 (MTDI)	OUI (Pulldown interne)	OUI	Doit être à 0V pendant le BOOT
13	OUI	OUI	/
14	OUI	OUI	/
15 (MTDO)	OUI (Pullup interne)	OUI	Startup log si à 3.3V
16	OUI	OUI	Pas dispo sur les WROVER
17	OUI	OUI	Pas dispo sur les WROVER
18	OUI	OUI	/
19	OUI	OUI	/
21	OUI	OUI	/
22	OUI	OUI	/
23	OUI	OUI	/
25	OUI	OUI	/
26	OUI	OUI	/
27	OUI	OUI	/
32	OUI	OUI	/
33	OUI	OUI	/
34	OUI	NON	Pas de pullup/pulldown interne
35	OUI	NON	Pas de pullup/pulldown interne
36 (VP)	OUI	NON	Pas de pullup/pulldown interne
39 (VN)	OUI	NON	Pas de pullup/pulldown interne
EN	NON	NON	Relié au bouton EN (ESP32 Reset)

TABLE II.1 – Tableau des GPIOs.[85]

II.4.1-e Analog to Digital Converter (ADC)

L'ESP32 est équipé de deux convertisseurs analogique-numérique distincts : l'ADC1 doté de 8 voies et l'ADC2 avec 10 voies, pour un total de 18 entrées analogiques. Par exemple, le canal numéro 6 de l'ADC1 (ADC1,CH6) est accessible via le GPIO34. Cependant, en raison de la présence du Wi-Fi, il y a en pratique beaucoup moins de voies disponibles. [85]

II.4.1-f Digital to Analog Converter (DAC)

L'ESP32 est doté de 2 entrées DAC à 8 bits pour transformer un signal numérique en signal analogique (par exemple, pour produire une onde sinusoïdale). La conception est composée de chaines de résistances intégrées et d'un tampon. Cet ensemble de deux DAC prend en charge l'alimentation de tension d'entrée en tant que référence. Les deux canaux DAC peuvent également fonctionner de manière autonome. Les broches utilisées sont les suivantes : DAC1 GPIO 25 et DAC2 GPIO 26. [24]

II.4.1-g SPI (Serial Peripheral Interface) sur l'ESP32

Le protocole SPI (Serial Peripheral Interface) est un moyen pour les microcontrôleurs de communiquer avec des périphériques via une communication série synchrone. Par exemple, l'ESP32 peut communiquer avec un capteur qui supporte SPI ou avec un autre microcontrôleur. Il y a toujours un contrôleur (ou maître) qui gère les périphériques (ou esclaves). La communication peut se faire dans les deux sens simultanément, permettant à la fois au maître et à l'esclave d'envoyer et de recevoir des données en même temps. [24]

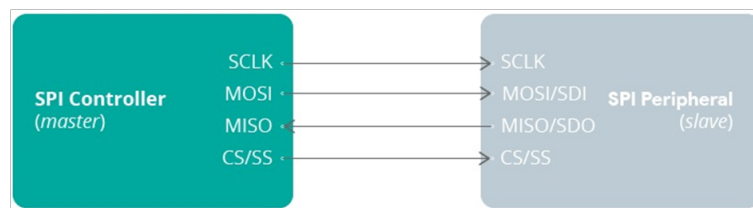


FIGURE II.3 – Protocle SPI.[24]

L'ESP32 possède 3 bus SPI, mais seulement 2 peuvent être utilisés car un des bus est utilisé par la mémoire flash interne. Les 2 bus SPI disponibles s'appellent VSPI et HSPI. Par défaut, la correspondance des pins est la suivante : [24]

SPI	MOSI	MISO	SCK/CLK	CS/SS
VSPI	GPIO 23	GPIO 19	GPIO 18	GPIO 5
HSPI	GPIO 13	GPIO 12	GPIO 14	GPIO 15

FIGURE II.4 – GPIO SPI.[24]

II.4.1-h Bus I2C

Le bus I2C est une interface série two-wire qui utilise un protocole complet pour assurer une transmission et une réception fiables des données. Lors de la communication, un appareil est le "maître" qui initie le transfert sur le bus et génère les signaux d'horloge pour permettre ce transfert, tandis que l'autre appareil agit comme "esclave" qui répond au transfert. [86]

La ligne d'horloge, SCLx, est émise par le maître et envoyée à l'esclave, bien qu'occasionnellement l'esclave pilote la ligne SCLx pour étirer l'horloge. La ligne de données, SDAx, peut être une sortie et une entrée à la fois du maître et de l'esclave.[86]

L'ESP32 a deux bus I2C : le bus I2C0, connecté aux pins GPIO22 (SCL) et GPIO21 (SDA) et employée par défaut avec les bibliothèques Arduino, peut être utilisée avec n'importe quel pin en précisant les pins avec la fonction `Wire.begin(SDA PIN, SCL PIN)`. Le bus I2C1 peut également être utilisé avec n'importe quel pin (en prenant en compte les pins limités). [85]

II.4.1-i Sorties PWM

L'ESP32 peut utiliser jusqu'à 16 de ses canaux pour produire des signaux PWM, ce qui offre la possibilité d'avoir jusqu'à 16 sorties PWM différentes. Tous les broches pouvant être configurées en sortie peuvent être utilisées pour produire un signal PWM. La gestion du PWM sur l'ESP32 est plus flexible que sur un Arduino, car elle permet de configurer un plus grand nombre de paramètres. [85]

II.4.1-j Outil de développement Arduino-IDE

L'IDE Arduino est simple à comprendre pour les nouveaux utilisateurs, tout en offrant une souplesse suffisante pour les utilisateurs expérimentés. La programmation a été simplifiée pour rendre la création de projets sur la carte plus facile. L'interface de développement est intuitive et claire. La carte elle-même a été conçue pour les débutants et est très facile à utiliser. [87]

Il y a une quantité énorme de tutoriels et de ressources en ligne pour apprendre et s'améliorer avec Arduino. En effet, au fil des ans, Arduino a été à la base de milliers de projets, allant d'objets du quotidien à des instruments scientifiques complexes. Une vaste communauté mondiale composée d'étudiants, d'amateurs, d'artistes, de programmeurs et de professionnels s'est rassemblée autour de cette plateforme open-source et a contribué à une quantité incroyable de connaissances facilement accessibles en ligne, qui peuvent être d'une grande aide pour les débutants et les experts.[87]

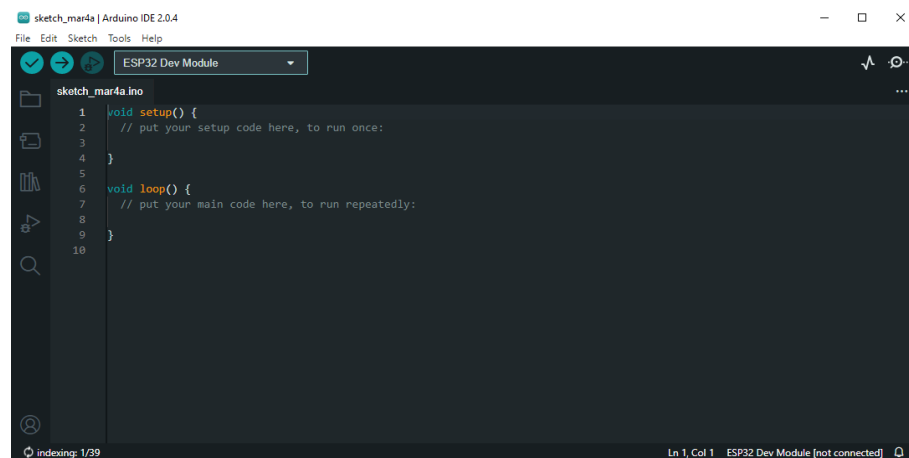


FIGURE II.5 – Interface de l'IDE Arduino

Arduino IDE est compatible avec les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh OSX et Linux. La capacité de la plateforme peut être étendue grâce à l'utilisation de bibliothèques en langage C++. De plus, il est important de noter qu'Arduino IDE est également compatible avec ESP, permettant ainsi de programmer facilement des microcontrôleurs ESP8266 et ESP32 grâce à une variété de bibliothèques et d'exemples disponibles en ligne.^[87]

II.4.1-k Connection à un réseau WiFi

L'ESP32 dispose de deux modes WiFi : STATION (WIFI STA) et AP (WIFI AP). En mode STATION, l'ESP32 se comporte comme un ordinateur connecté à un routeur WiFi et peut accéder à Internet. Il peut agir en tant que client et envoyer des requêtes à d'autres périphériques sur le réseau, ou en tant que serveur et recevoir des demandes d'autres périphériques. En mode AP, l'ESP32 se comporte comme un réseau WiFi et d'autres appareils peuvent s'y connecter, mais il n'est pas connecté à Internet. ^[88]

Ce mode nécessite plus de puissance de traitement et d'énergie, et a une latence et un débit inférieurs à ceux des routeurs traditionnels.

II.4.1-l Interruptions externes

Une interruption externe ou une interruption matérielle est provoquée par le module matériel externe. Par exemple, il y a une interruption tactile qui se produit lorsque l'interaction tactile est détectée et une interruption GPIO lorsqu'une touche est enfoncée.^[25]

Avec l'interruption, nous n'avons pas besoin de vérifier en permanence l'état de la broche d'entrée numérique. Lorsqu'une interruption se produit (un changement est détecté), le processeur arrête l'exécution du programme principal et une fonction est appelée sous le nom ISR ou Interrupt Service Routine. Le processeur travaille alors temporairement sur une tâche différente (ISR), puis revient au programme principal une fois la routine de manipulation terminée. Ceci est illustré dans la figure ci-dessous.^[25]

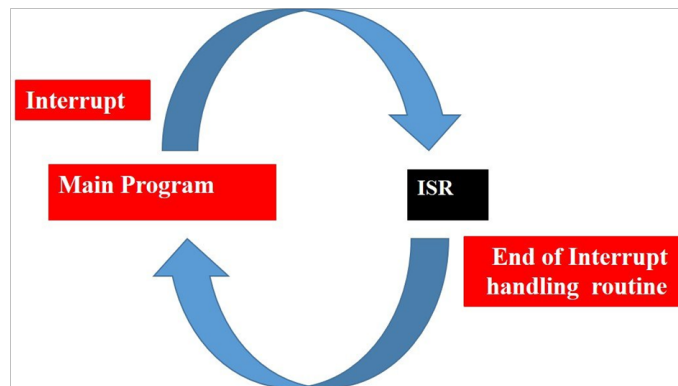


FIGURE II.6 – Interruption externe.[25]

II.4.1-m Timers et alarmes

Les minuteries sont des composants électroniques spécialisés dans la mesure du temps avec une grande précision. Ce sont des circuits programmables qui peuvent fonctionner indépendamment du processeur principal d'un appareil, permettant à un microcontrôleur de gérer d'autres tâches pendant que la minuterie mesure le temps. Les minuteries matérielles sont préférées pour éviter de bloquer des fonctions comme la fonction "delay()", qui peut ralentir la tâche principale du microcontrôleur. [89]

Les minuteries fournissent des fonctionnalités avancées pour déclencher des actions spécifiques lorsque des conditions prédéfinies sont remplies. Les tâches peuvent être exécutées à intervalles réguliers à l'aide d'interruptions générées par minuterie, libérant le microprocesseur de la surveillance du temps et lui permettant de se concentrer sur d'autres tâches importantes. Ils peuvent également déclencher des alarmes lorsque certains seuils sont atteints, fournissant un moyen pratique de surveiller les processus et événements critiques en temps réel.[89]

II.4.1-n Modes économie d'énergie de l'ESP32

Le mode "deep sleep" est une fonctionnalité clé de l'ESP32. Cette fonctionnalité permet à l'ESP32 de réduire considérablement sa consommation d'énergie en mettant le microcontrôleur en sommeil profond pendant une période de temps définie, ce qui est très utile pour les applications IoT alimentées par batterie. En mode deep sleep, la plupart des périphériques de l'ESP32 sont désactivés, y compris le processeur, le Wi-Fi, le Bluetooth et les interfaces d'E/S, ce qui permet une économie d'énergie significative. Cependant, certains périphériques peuvent être programmés pour rester actifs, tels que les GPIO et les timers. [90]

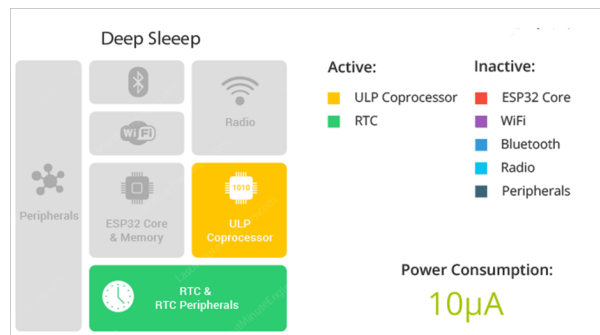


FIGURE II.7 – Illustration des composants actifs en mode deep sleep.[26]

Le mode deep sleep peut être mis en place avec différent délai d'attente, allant de quelques secondes à plusieurs heures, en fonction de nos besoins. Lorsque le délai d'attente est écoulé, l'ESP32 se réveille et reprend son fonctionnement normal. On peut intégrer ce mode à l'aide de bibliothèques logicielles telles que la bibliothèque Arduino pour l'ESP32. Cependant, il est important de prendre en compte certaines limitations, telles que le fait que l'ESP32 doit être réinitialisé pour sortir du mode deep sleep et que certains périphériques ne peuvent pas être utilisés lorsque l'ESP32 est sous ce mode là. Avec ce mode, la consommation électrique du microcontrôleur varie de $15\mu A$ (lorsque le coprocesseur ULP est activé) à $10\mu A$. [26]

II.4.2 Surveillance des grandeurs météorologiques

II.4.2-a Mesure de la pression barométrique, de la température interne - Capteur BMP280

Le capteur bmp 280 va nous permettre de surveiller la température interne (entre -40 à $85\text{ }^{\circ}C$) et la pression. Ce capteur possède six pins dont quatre à sortie digital. Les bibliothèques utilisées pour ce capteur sont la `<Adafruit_BMP280.h>`, la `<Adafruit_Sensor.h>` et la `<Wire.h>` pour la communication en I2C. [27]

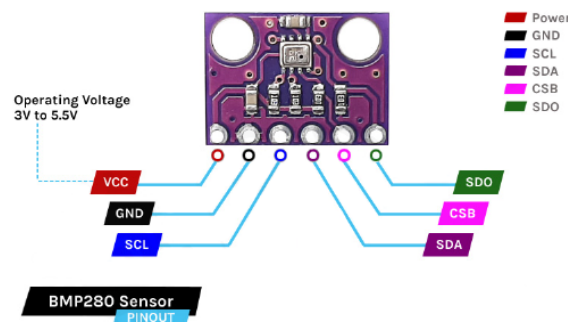


FIGURE II.8 – Pins de sortis du BMP280.[27]

➡ **VCC** : Ceci est le pin d'alimentation, il peut être connecté avec une alimentation de 3,3V à 5V.

- ➔ **GND** : Ce pin doit être relié au pin gnd de l'esp32.
- ➔ **SCL** : le pin Serial Clock (horloge série) permet au dispositif maître d'envoyer une impulsion sur cette broche à un intervalle régulier pour générer un signal d'horloge pour la communication en I2C.
- ➔ **SDA** : Le pin serial data permet aux données de transiter entre le capteur et l'esp 32.

II.4.2-b Mesure de l'indice UV - Capteur GUVA-S12SD

La lumière ultraviolette (UV) est produite par la lumière du soleil. Le rayonnement UV est une forme de rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde est comprise entre 240 nm et 370 nm, plus courte que celle de la lumière visible, mais plus longue que celle des rayons X. Le module de capteur UV GUVA-S12SD permet de détecter l'intensité du rayonnement ultraviolet. Ce module possède une sortie analogique qui varie en fonction de l'intensité de la lumière UV.[28]

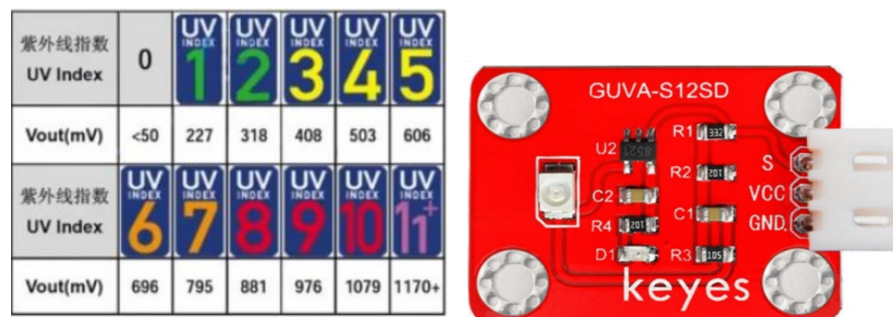


FIGURE II.9 – Capteur Keyes GUVA-S12SD avec tableau de lecture.[28]

Ce capteur possède trois pins :

- ➔ **VCC** : pin d'alimentation allant de 2.5 à 5 V.
- ➔ **S** : signal de sorti variant de 0 à un peu plus de 1V.
- ➔ **GND** : mise à la terre.

II.4.2-c Mesure de l'intensité lumineuse et de la puissance de rayonnement - Capteur BH1750

Le BH1750 est un capteur numérique qui fournit une valeur numérique de l'intensité lumineuse en lux. Comme le bmp280, il utilise le protocole de communication I2C et consomme une très faible quantité de courant. Ce capteur utilise une photodiode pour détecter la lumière. En raison de l'effet photoélectrique interne, de l'électricité est produite dans la photodiode qui est proportionnelle à l'intensité de la lumière. Cette électricité est transformée en tension par l'amplificateur opérationnel. Le capteur est conçu pour détecter le spectre lumineux visible par l'il humain, avec une sensibilité maximale à 560 nm, dans le spectre vert. La gamme complète s'étend approximativement de 400nm à 700nm avec une grande résolution allant de 1 à 65535 lx, cependant, il est possible de reprogrammer le capteur pour dépasser cette limite et atteindre les 100 000 lux. Les bibliothèques utilisées

pour ce capteur sont la <AS_BH1750.h> (ou la <BH1750.h>) et la <Wire.h> pour la communication en I2C. [30]

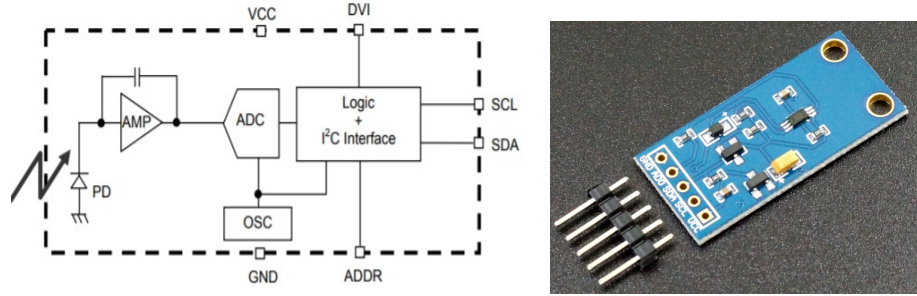


FIGURE II.10 – BH1750 avec schéma de fonctionnement.[29] [30]

Le capteur BH1750 intègre un amplificateur opérationnel (AMP) qui convertit le courant de la photodiode en tension. Le BH1750 utilise un ADC pour convertir les valeurs analogiques fournies par l'AMP en valeurs numériques. Le bloc logique+I2C présenté dans le schéma fonctionnel est l'unité où les valeurs d'éclairement sont converties en lux et où le processus de communication I2C a lieu. OSC est l'oscillateur d'horloge interne de 320kHz, utilisé comme horloge pour la logique interne. L'ADDR est la broche d'adresse du dispositif. Cette broche est utilisée lorsque plus d'un module sont connectés, pour sélectionner l'adresse. [29]

Ce capteur va aussi nous servir à mesurer l'irradiance solaire en W/m^2 avec l'approximation suivante :

$$Lux = \frac{irradiance}{0.0079} [91]$$

II.4.2-d Mesure de la direction du vent - Girouette

Ce capteur nous permet de connaître les 8 directions du vent. Dans le circuit, on retrouve des interrupteurs avec des résistances, chaque direction correspond à un switch fermé quand un aimant passe dessus lors de la rotation.[31]

Quand l'aimant est aligné avec un interrupteur, il se ferme ce qui donne une tension, et comme chaque interrupteur est relié à une résistance unique, la tension fournie sera unique. Si L'aimant est entre deux interrupteur, les deux se ferment simultanément, donc on aura un courant qui parcourt deux résistances en parallèle, il faudra calculer la résistance équivalente pour avoir la tension de sortie.

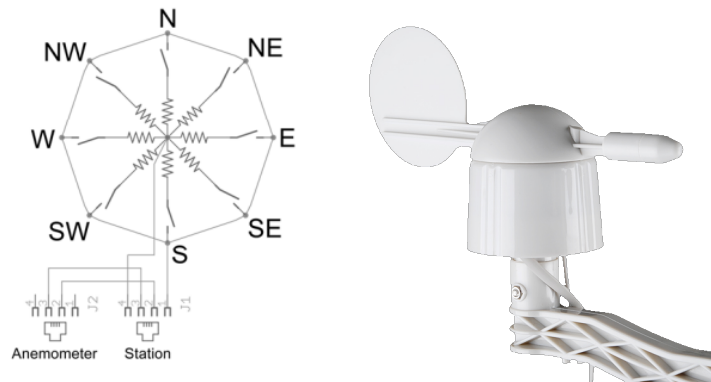


FIGURE II.11 – Girouette sparkfun avec son diagramme du circuit interne.[31] [32]

II.4.2-e Mesure de la vitesse du vent - Anémomètre

Le vent fait bouger les coupelles de l'anémomètre, qui à leur tour font tourner un aimant enfermé. L'aimant ferme un interrupteur à chaque rotation, ce qui est reflété sur la tension de sortie. Vous pouvez le mesurer sur les deux conducteurs internes du connecteur RJ-11 (broches 2 et 3), en utilisant un compteur numérique ou des broches d'interruption sur le microcontrôleur. Pour convertir cette valeur en une vitesse de vent fonctionnelle, on peut utiliser la conversion suivante : $1,492 \text{ mph} = 1 \text{ fermeture de commutateur/seconde}$ ce qui correspond à $2,4 \text{ km/h}$. [31]



FIGURE II.12 – Anémomètre sparkfun.[32]

II.4.2-f Mesure de la précipitation - Pluviomètre

Le pluviomètre est un type d'auge basculant auto-videur. Chaque $0.011''$ ($0,2794 \text{ mm}$) de pluie provoque une fermeture de contact momentanée qui peut être enregistrée par un compteur numérique ou une entrée d'interruption de microcontrôleur. L'interrupteur de la jauge est connecté aux deux conducteurs centraux du câble à terminaison RJ11. [31]

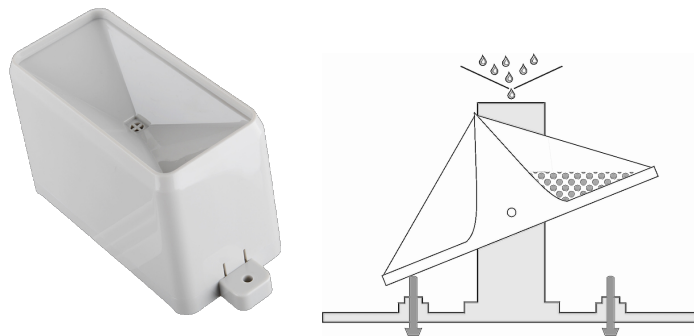


FIGURE II.13 – Pluviomètre sparkfun.[32] [33]

II.4.2-g Mesure de la température externe - Capteur DS18B20

Le DS18B20 est un capteur numérique qui permet de mesurer la température entre -55 et $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Il utilise le protocole one wire pour communiquer avec le microcontrôleur. Ce capteur fonctionne sur le principe de la conversion directe de la température en une valeur numérique. Il est capable de changer ses nombres de bits en fonction du changement de température. Par exemple, il change un bit dans 9, 10, 11, et 12 bits comme la température change dans les valeurs $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0.125\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $0.0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivement. Les bibliothèques utilisées pour ce capteur sont la `<OneWire.h>` pour le protocole one wire et la `<DallasTemperature.h>`. [34]



FIGURE II.14 – Dallas DS18B20.[34]

Comme le montre la figure, ce capteur possède trois pins :

- ➔ **VCC** : Pin d'alimentation allant de 3 à 5 V.
- ➔ **S** : Signal de sorti numérique donnant la lecture de la température.
- ➔ **GND** : mise à la terre.

II.5 Dimensionnement du circuit d'alimentation

II.5.1 Schéma du circuit d'alimentation

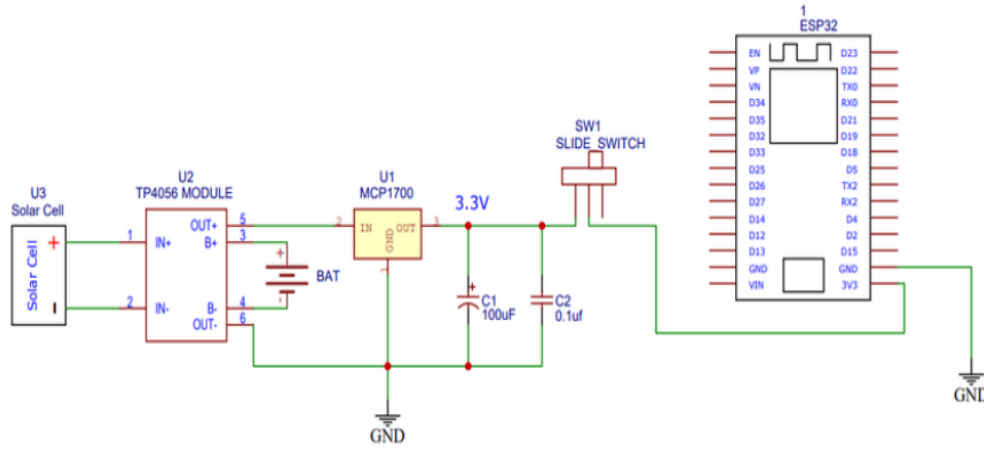


FIGURE II.15 – Circuit d'alimentation.[35]

Pour alimenter l'ESP32, la tension requise est de 3,3V. Cependant, la tension d'une batterie pleinement chargée est de 4,2V. Ainsi, pour alimenter le circuit, il est nécessaire de réduire la tension de la batterie de 4,2V à 3,3V. On peut réaliser cette transition facilement en utilisant un régulateur de tension linéaire. Cependant, l'utilisation d'un régulateur linéaire seul n'est pas recommandée. En effet, tous les régulateurs linéaires nécessitent une tension d'entrée supérieure à la tension de sortie désirée. Cette différence minimale est appelée "tension de décrochage". Par conséquent, lorsque la tension de la batterie chute à environ 3,7V, le régulateur linéaire ne pourra pas maintenir la tension requise de 3,3V. [35]

La solution à ce problème consiste à utiliser un régulateur à faible chute de tension, également appelé régulateur LDO (Low-Dropout). Un régulateur LDO est un régulateur linéaire courant continu qui peut réguler la tension de sortie même lorsque la tension d'alimentation est très proche de la tension de sortie. Le MCP1700 LDO est un bon choix pour alimenter efficacement le circuit. [35]

II.5.2 Module chargeur de batteries - TP4056

Le TP4056 est un contrôleur de chargeur de batterie Lithium-Ion à faible coût. Il prend en charge un mécanisme de charge à courant constant et à tension constante pour une batterie Li-Ion monocellulaire. Ce composant est disponible dans un boîtier SOP à 8 broches et nécessite très peu de composants externes pour construire un circuit de chargeur de batterie Lithium-Ion. [36]

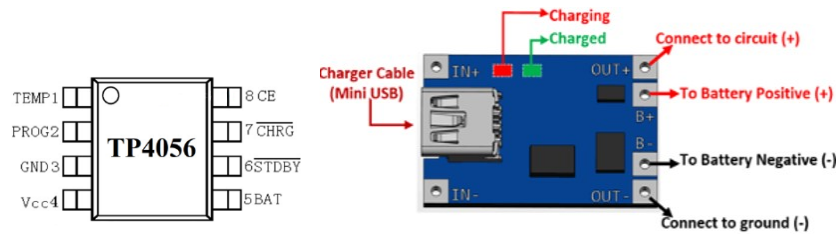


FIGURE II.16 – Module TP4056.[36] [37]

On donne ici une description des broches du Circuit disposant de ce module :[37]

- ➔ **Broche OUT+ :** Il s'agit de la broche de sortie qui fournit la tension positive d'une batterie. Elle est connectée au circuit qui nécessite de l'énergie provenant d'une batterie.
- ➔ **Broche B+ :** Cette broche est Connectée avec la borne positive de la batterie lithium.
- ➔ **Broche B- :** Cette broche est Connectée avec la borne négative de la batterie lithium.
- ➔ **Broche OUT- :** Il s'agit de la broche de sortie qui fournit la tension négative de la batterie. Elle est connectée à la mise à la terre du circuit qui nécessite de l'énergie provenant d'une batterie.
- ➔ **Broche IN+ et Broche IN- :** Ces broches sont utilisées pour charger la batterie en fournissant +5V à la broche IN+ et -5V à la broche IN- en cas d'absence du câble USB. Sinon, on peut directement charger à partir d'une alimentation USB en utilisant un câble USB.
- ➔ **LED Rouge et LED Verte :** Ces deux LED indiquent l'état de charge. Lorsqu'une batterie est en charge, la LED rouge s'allume, et lorsqu'elle est complètement chargée, la LED verte s'allume.

II.5.3 Régulateur de tension à faible chute (LDO) MCP1700

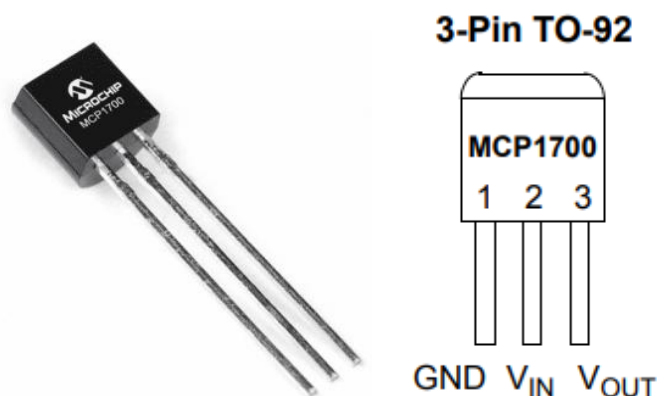


FIGURE II.17 – Régulateur de tension MCP1700.[38] [39]

Le MCP1700 est une famille de régulateurs de tension CMOS à faible chute de tension (LDO) qui peut fournir jusqu'à 250 mA de courant tout en ne consommant que 1,6 μA de courant de repos. La plage de fonctionnement en entrée est spécifiée de 2,3V à 6,0V, ce qui

en fait un choix idéal pour les applications alimentées par deux ou trois piles primaires, ainsi que pour les applications alimentées par une seule cellule Li-Ion. Les tensions de sortie disponibles pour le MCP1700 vont de 1,2V à 5,0V. La sortie LDO est stable lorsqu'elle utilise uniquement 1 μF de capacité de sortie. Des condensateurs céramiques, tantale ou électrolytiques en aluminium peuvent tous être utilisés pour l'entrée et la sortie. La limite de courant excessif et l'arrêt sur surchauffe fournissent une solution robuste pour toute application.[39]

II.5.4 Surveillance de la tension de la batterie

Lorsque l'ESP32 est alimenté par des batteries ou par l'énergie solaire, comme c'est le cas ici, il peut s'avérer très utile de surveiller le niveau de la batterie. Pour ce faire, une méthode consiste à lire la tension de sortie de la batterie en utilisant une broche analogique de l'ESP32.[35]

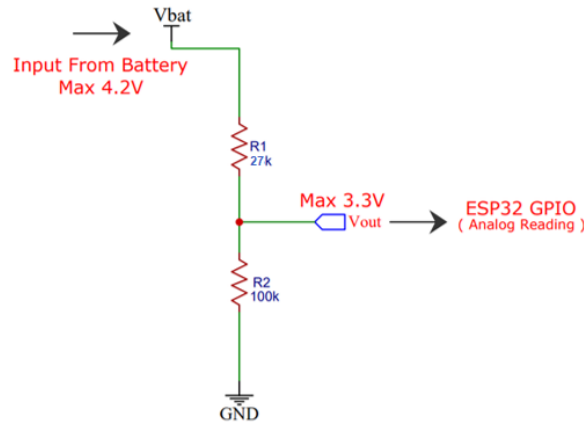


FIGURE II.18 – Schéma de surveillance de la tension de la batterie.[35]

Cependant, la batterie utilisée ici fournit une tension maximale de 4,2 V lorsqu'elle est complètement chargée, tandis que les GPIO de l'ESP32 fonctionnent à 3,3 V. Il est donc nécessaire d'ajouter un diviseur de tension afin de pouvoir lire la tension de la batterie. La formule du diviseur de tension est la suivante :[35]

$$V_{out} = \frac{V_{bat} \times R_2}{R_1 + R_2} \quad [35] \quad (II.1)$$

Si on choisit $R_2 = 100\text{k}\Omega$, on peut déterminer la résistance R_1 :

$$R_1 = \left(\frac{V_{bat} \times R_2}{V_{out}} \right) - R_2$$

$$R_1 = \left(\frac{4,2 \times 100\text{k}\Omega}{3,3} \right) - 100\text{k}\Omega = 27,27\text{k}\Omega \quad [35] \quad (II.2)$$

II.5.5 Calcul du temps de fonctionnement de la batterie

Pour calculer le temps de fonctionnement de notre batterie, il faut déterminer le temps de fonctionnement de notre ESP ainsi que sa consommation pendant qu'elle recolt les données et pendant qu'elle est en mode deep sleep.

La batterie utilisée est une batterie Li-ion 18650 de 3.6 V et 3400 mAh. L'intervalle de publication est de 11 minutes, avec un temps d'allumage de 60 secondes et un temps de veille de 10minutes, soit 600 secondes, donc le nombre total de lectures par heure est de 5. On estime la consommation de l'esp32 à 170mA en moyenne.

$$\text{Nombre total de lectures par heure} = 60\text{min}/11\text{min} = 5,4 = 5[35] \quad (\text{II.3})$$

$$\text{Consommation d'énergie par heure} = 5 \times 170 \text{ mA} \times 60\text{s}/3600 = 14,2 \text{ mA}[35] \quad (\text{II.4})$$

$$\text{Consommation en temps de veille} = 5 \times 15\mu A \times 600/3600 = 12,5\mu A = 0,013 \text{ mA}[35] \quad (\text{II.5})$$

Selon nos calcul la consommation d'énergie par heure pendant le temps d'allumage sera de 14,2 mA et la consommation d'énergie pendant le temps de veille est de 0,013 mA. Il nous reste à déterminer le temps total en heures que l'ESP va solliciter de l'énergie sur la batterie.

Sachant que notre batterie fournit une tension maximale de 4,2 V lorsqu'elle est complètement chargée, on peu ainsi calculer Le temps de total en heures sur la batterie sachant qu'on suppose que l'efficacité de notre batterie est de 85,7 % qui est obtenue comme suit :

$$\text{Efficacité de la batterie} = 3,6\text{V}/4,2\text{V} = 85,7\% \quad (\text{II.6})$$

$$\text{Temps total en heures sur la batterie} = 3400 \times 85,7\% / (14,2 + 0,013) = 203,3 \text{ Hrs}[35] \quad (\text{II.7})$$

$$\text{Temps total en jours sur la batterie} = 203,3/24 = 8,5 \text{ jours}[35] \quad (\text{II.8})$$

Le temps total en jours sur la batterie est d'environ 8 jours.

II.5.6 Dimensionnement du panneau solaire

La quantité d'insolation solaire varie en fonction de la partie du globe où on se trouve. Pour connaître la quantité d'ensoleillement dans notre région, on peut se référer à au map que dispose l'Atlas solaire mondial. En tenant compte d'un minimum de deux heure de plein soleil, nous allons sélectionner le panneau solaire.[35]

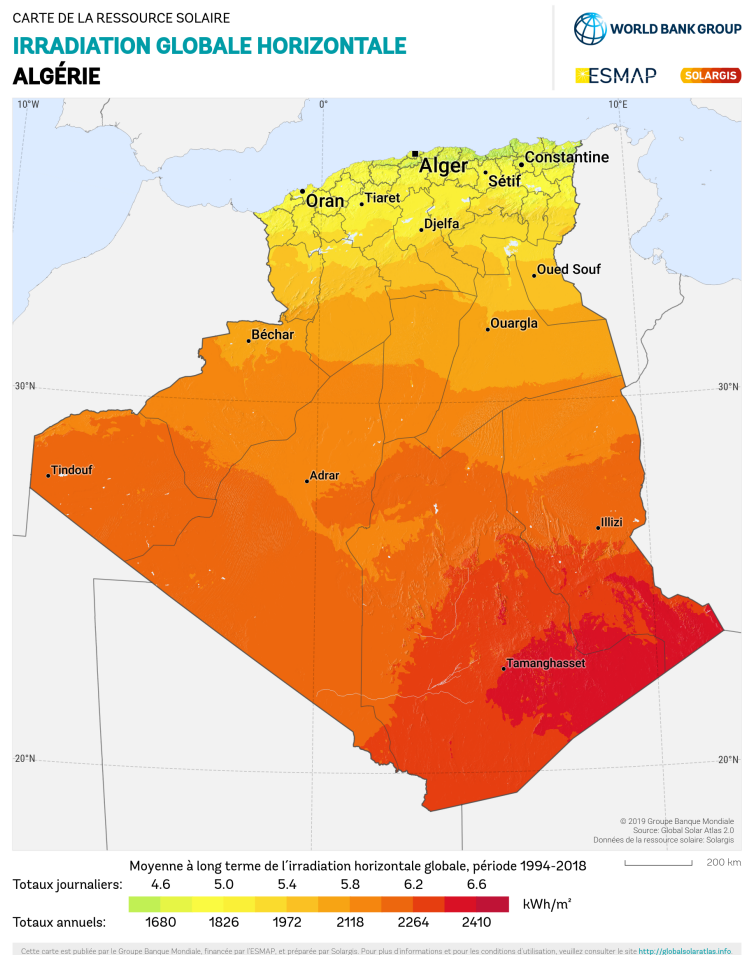


FIGURE II.19 – Carte montrant le potentiel Photovoltaïque en Algérie.[40]

Charge nécessaire un fonctionnement d'une journée = $14,2mA \times 24h = 340,8mAh$ [35] (II.9)

Notre objectif est donc de générer 340,8 mAh avant la fin de la journée. Pour charger une batterie Li-Ion de 3,6 V, un panneau solaire d'une tension de 5 à 6 V est suffisant.

Puissance du panneau solaire = $340,8mA \times 5V = 1,7 \text{ Watt}$ [35] (II.10)

Le panneau solaire choisi est un panneau de 5V, 250mA (110 x 69 mm).

[35]

II.6 Réalisation pratique

Dans cette partie, on a testé l'ESP 32 avec les différents capteurs avec l'interface Blynk et thingspeak au sein de notre laboratoire. Nous avons aussi paramétré la raspberry pi 4 en installant son système d'exploitation Raspbian et les différents logiciels qui nous permettront de l'utiliser comme serveur local.

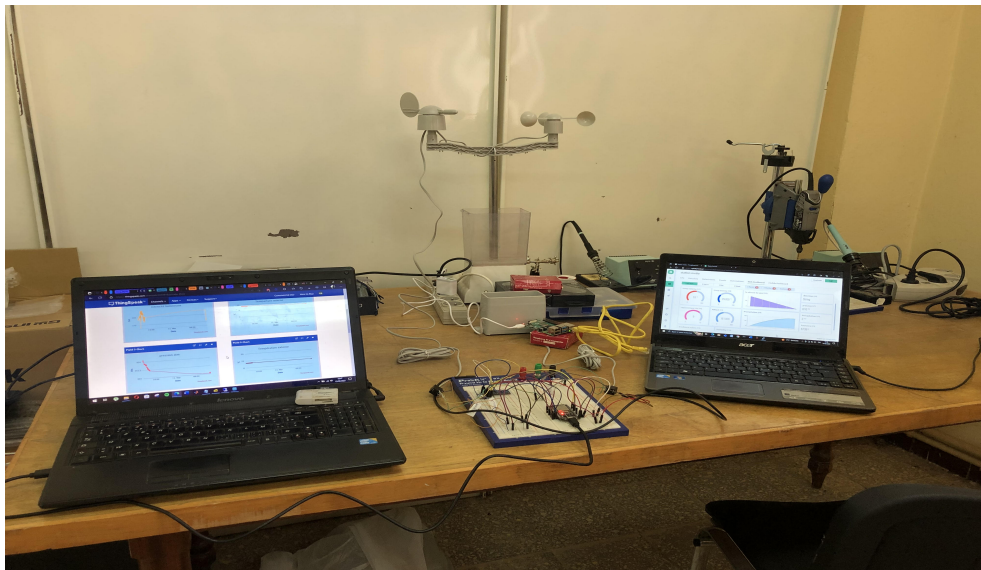


FIGURE II.20 – Phase de test au sein du laboratoire

```
Output Serial Monitor x
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM4')

Connecting to Redmi Note 8T
.
WiFi connected
IP address:
192.168.164.121
Attempting MQTT connection...connected

Timestamp: 5
0.0 m/s
{"t":21.03000069,"tx":28.3125,"p":953.6829834,"lx":217.4999847,"ir":1.718249917,"ws":0,"wd":null,"d":0,"ra":0}

Timestamp: 10
0.0 m/s
{"t":21.02000046,"tx":28.3125,"p":953.6657104,"lx":219.1666565,"ir":1.731416583,"ws":0,"wd":"SSW","d":202.5,"ra":0}
```

FIGURE II.21 – Test de la communication MQTT entre l'esp 32 et la raspberry pi avec un réseau 4g

II.6.1 Conception du circuit imprimé

Le circuit d'alimentation utilisé est le PCB V3.0 qui a été conçue par Debasish Dutta et fabriqué par PCBWay, il a été spécialement conçu pour accueillir les capteurs cités précédemment.

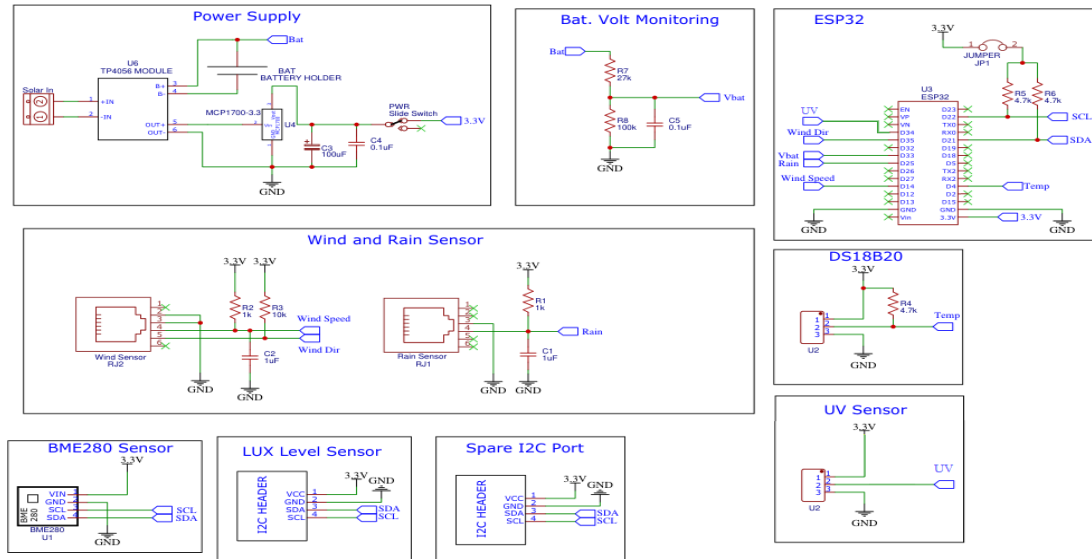


FIGURE II.22 – Schéma du circuit du PCB.[35]

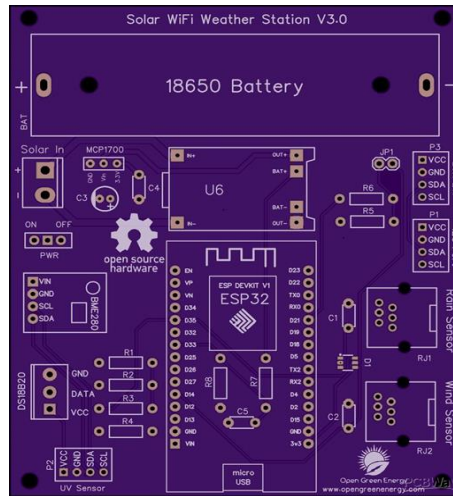


FIGURE II.23 – PCB de la station.[35]

II.6.2 Ecran Stevenson

Cette abri de protection a été conçue est mis à disposition par Debasish Dutta sous licence Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). L'écran stevenson que nous avons imprimé avec une imprimant 3d va permettre d'assurer une protection pour les composants internes de notre station météo face aux conditions météorologiques.

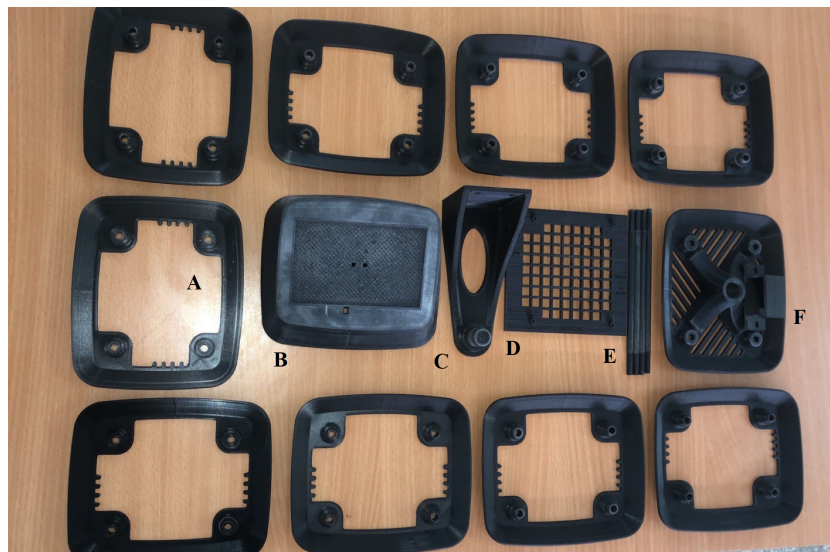


FIGURE II.24 – Pièces imprimées en 3d

- A : Anneaux du milieu.
B : Couvercle supérieur de l'écran.
C : Support inférieur.
D : Cadre de montage du circuit imprimé.
E : Tige M6.
F : Plaque de fond.



FIGURE II.25 – Assemblage des pièces



FIGURE II.26 – Abri assemblé



FIGURE II.27 – Abri assemblé

II.6.3 Emplacement de l'installation

Pour trouver un bon emplacement de la station, il faut savoir respecter les prérequis d'exposition standard des instruments de mesure.

Pour les deux gradeurs du vent (vitesse et direction), leurs instruments doivent être installés à une hauteur telle qu'ils ne soient pas affectés par des obstacles locaux et qu'ils représentent les valeurs approximatives du vent à 10 m de hauteur en l'absence d'obstacle. La température et l'humidité ambiantes doivent être mesurées à 2 m, conformément aux normes de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) pour les mesures ambiantes. Les instruments doivent être protégés du rayonnement thermique (de la terre, du soleil, du ciel et de tout autre élément), de la terre, du soleil, du ciel et de tous les objets environnants) et être correctement ventilés à l'aide d'écrans aspirants. L'instrument utilisés pour mesurer le rayonnement solaire doit être placés de manière à offrir une vue dégagée sur le ciel dans toutes les directions et en toute saison, avec l'élévation solaire la plus faible.[92]



FIGURE II.28 – Emplacement choisi pour la station



FIGURE II.29 – Station assemblé

II.7 Conclusion

En conclusion, la conception d'une station météorologique autonome connectée à Internet nécessite une analyse approfondie des besoins et des contraintes de l'utilisateur final, ainsi qu'une certaine connaissance sur différents éléments matériels impliqués. Ce chapitre a présenté les différents éléments nécessaires pour la conception matérielle d'un tel système, allant de la carte de développement ESP32 aux capteurs météorologiques en passant par le circuit d'alimentation.

Chapitre III

Interfaçage avec ThingSpeak et Blynk

SOMMAIRE

III.1 INTRODUCTION	49
III.2 OUTILS LOGICIELS ET SERVICES EN LIGNE	49
III.2.1 ThingSpeak	49
III.2.2 Blynk	51
III.2.3 Collecte de données avec Thingspeak	54
III.2.4 Collecte de données avec Blynk	57
III.3 CONCLUSION	61

III.1 Introduction

L'Internet des Objets (IoT) est une technologie nouvelle qui permet la collecte et le suivi des données à distance, de manière automatisée. Cette technologie a le potentiel de révolutionner de nombreux secteurs, tels que la santé, l'agriculture, l'industrie et bien d'autres encore. Cependant, pour exploiter ces données, il est nécessaire de les collecter et de les sauvegarder. La plupart des objets "intelligents" enregistrent leurs mesures dans le cloud, autrement dit un stockage en ligne via Internet.

Dans ce chapitre, nous allons brièvement présenter deux outils logiciels et leurs services en ligne disponibles pour la mise en place de systèmes IoT. Nous nous intéresserons donc à deux plateformes de suivi de données à distance : ThingSpeak et Blynk.

III.2 Outils logiciels et services en ligne

III.2.1 ThingSpeak

ThingSpeak est un service qui permet aux utilisateurs de créer des canaux d'enregistrement pour stocker ces données collectées dans le cloud. Ces canaux peuvent être privés ou publics, selon que l'utilisateur souhaite partager les données avec d'autres personnes.

III.2.1-a Définition

ThingSpeak est une API open source conçue pour l'Internet des objets, permettant de collecter et de stocker des données provenant d'objets connectés via Internet ou un réseau local, en utilisant le protocole HTTP. Cette plateforme polyvalente offre une gamme d'applications allant de l'enregistrement de données de capteurs à la surveillance de localisation, ainsi que la possibilité de créer un réseau social dédié aux objets connectés, avec des mises à jour en temps réel. ThingSpeak est compatible avec diverses plateformes, notamment Arduino, Raspberry Pi, les applications mobiles/Web, les réseaux sociaux et les analyses de données via MATLAB. [93]

III.2.1-b Fonctions de ThingSpeak

Parmi les fonctionnalités de thingspeak on cite les suivantes :

- Collectez des données dans des canaux privés.
- partagez des données avec des canaux publics.
- utilisez des API RESTful et MQTT.
- Traitement des données.
- analyses et visualisations MATLAB.
- Planifiez des événements.
- configurez des alertes et intégrez des applications.
- Jusqu'à 15 seconde d'intervalle entre les données collectées.

III.2.1-c Utilisation de Thingspeak

Pour pouvoir utiliser cette plateforme, il nous suffit de créer un compte et créer un canal, à partir d'ici nous avons droit à jusqu'à 8 "champs" (Fields) dans le canal. Pour que l'on puisse communiquer avec notre canal il nous faut récupérer la clé d'API de mise à jour (clé d'écriture) pour pouvoir mettre à jour les données du canal.

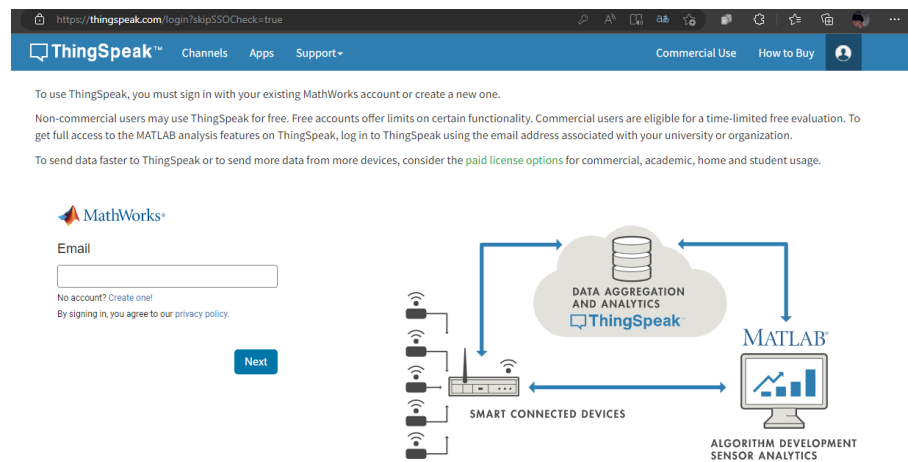


FIGURE III.1 – L'interface de thingspek

The screenshot shows the Thingspeak interface for a channel named 'Station météo Chetouane'. The channel ID is 2, the author is 'm', and the access is 'Public'. The 'API Keys' tab is selected, showing the 'Write API Key' section with a key 'V' and a value '5', and a 'Generate New Write API Key' button. Below this is the 'Read API Keys' section with a key 'S' and a value '2', and a 'Note' field. To the right, there is a 'Help' section explaining API keys and 'API Requests' showing a 'Write a Channel Feed' request: `GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=VC2XB6D4Z2i0XLf6&field`.

FIGURE III.2 – Récupération de la clé API

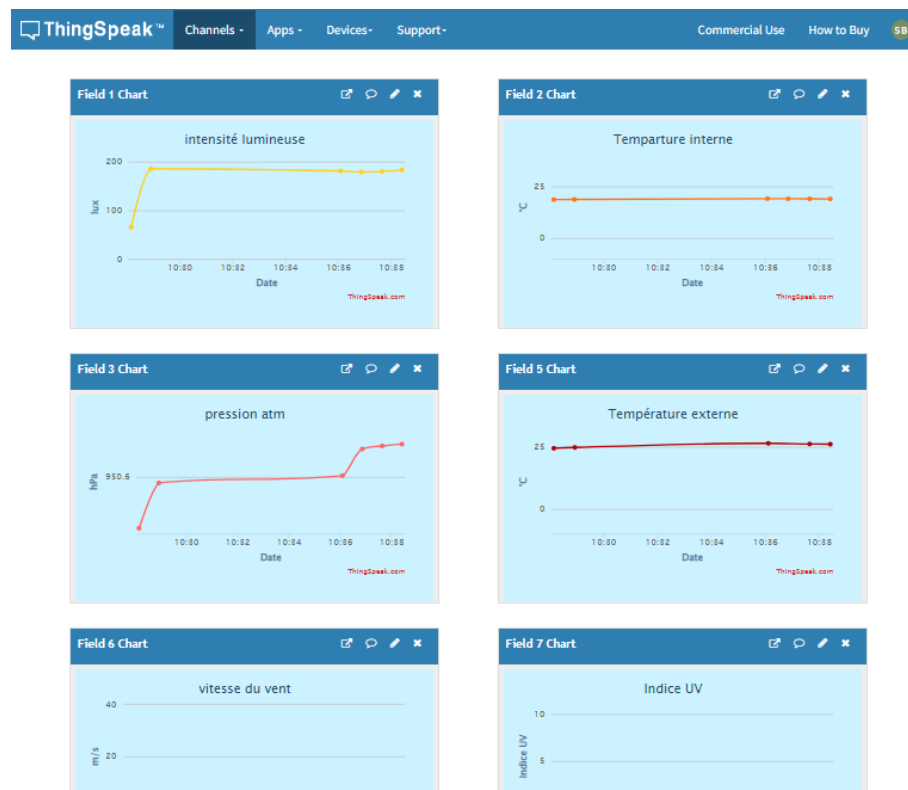


FIGURE III.3 – Dashboard thingspeak

III.2.2 Blynk

Blynk est une plateforme utilisée pour contrôler à distance du matériel, afficher les données de capteurs, les stocker, les visualiser et effectuer de nombreuses autres tâches. Il se compose des principaux composants suivants : [41]

- **Application Blynk** : permet de créer des interfaces pour différents projets en utilisant divers widgets fournis. [41]
- **Serveur Blynk** : assure toutes les communications entre le matériel et le smartphone. Le Cloud Blynk peut être utilisé pour exécuter un serveur Blynk privé localement. Il est open-source, peut gérer des milliers d'appareils et peut même être lancé sur un Raspberry Pi. [41]
- **Bibliothèque Blynk** : permettent la communication avec le serveur et le traitement de toutes les commandes entrantes et sortantes pour toutes les plates-formes matérielles populaires. [41]

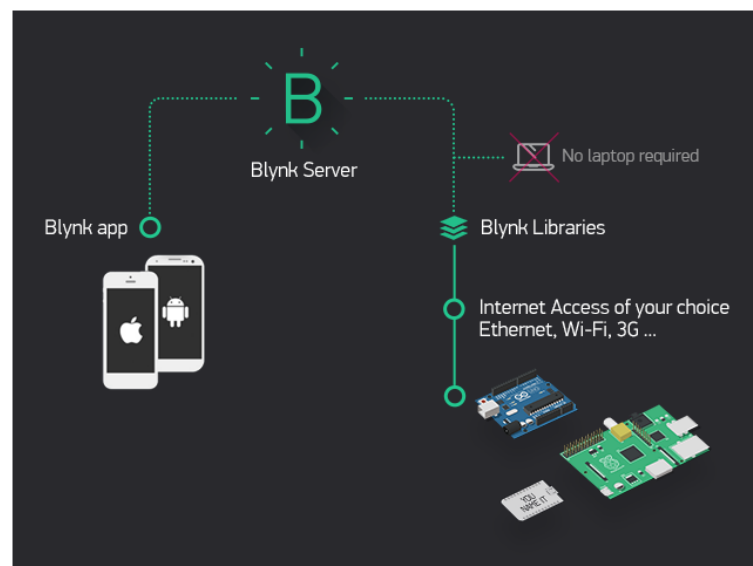


FIGURE III.4 – Blynk Platform Components.[41]

III.2.2-a Fonctions de Blynk

- API et UI similaires pour tous les matériels et périphériques pris en charge.
- Connexion au cloud via internet.
- Collection de widgets faciles à utiliser.
- Facilité d'intégration et d'ajout de nouvelles fonctionnalités à l'aide de pin virtuelles.
- Surveillance de l'historique des données via le widget Graphique de l'historique.
- Communication périphérique-à-périphérique en utilisant le widget Pont.
- Envoi d'e-mails, de tweets, de notifications push, etc.

III.2.2-b Guide d'utilisation de blynk

- **Hardware** : Pour ce qui est du matériel, il faut avoir à disposition une carte Arduino, Raspberry Pi, ESP32/8266 ou un kit de développement similaire. Blynk a besoin d'une connexion internet pour fonctionner, donc le matériel à choisir doit être capable de se connecter à internet. Ce qui est génial, c'est que la liste des matériels compatibles avec Blynk est énorme et continue de s'agrandir.[94]
- **Un smartphone** : L'application Blynk est une interface utilisateur bien conçue. Disponible à la fois sur iOS et Android, elle permet de créer une interface utilisateur pour votre projet et afficher les données en temps réel. [94]
- **Un compte Blynk** : Pour pouvoir utiliser cette plateforme, il nous faut créer un compte Blynk pour utiliser l'application ou l'interface web. Il est possible de le faire en utilisant votre adresse e-mail ou votre compte Google ou Facebook. [94]

- **Téléchargez les bibliothèques Blynk :** Pour programmer votre carte, vous aurez besoin des bibliothèques Blynk. Vous pouvez les télécharger à partir du site officiel de Blynk. [94]
- **Programme :** Blynk dispose d'une bibliothèque de widgets qu'on peut utiliser pour créer votre interface utilisateur. Vous pouvez également utiliser les broches virtuelles pour communiquer avec votre carte. Blynk offre également une API et une documentation complètes pour vous aider à démarrer. Cependant, pour que le programme puisse envoyer les données à notre dashboard, il faut récupérer sur notre profile le jeton d'authentification. [94]

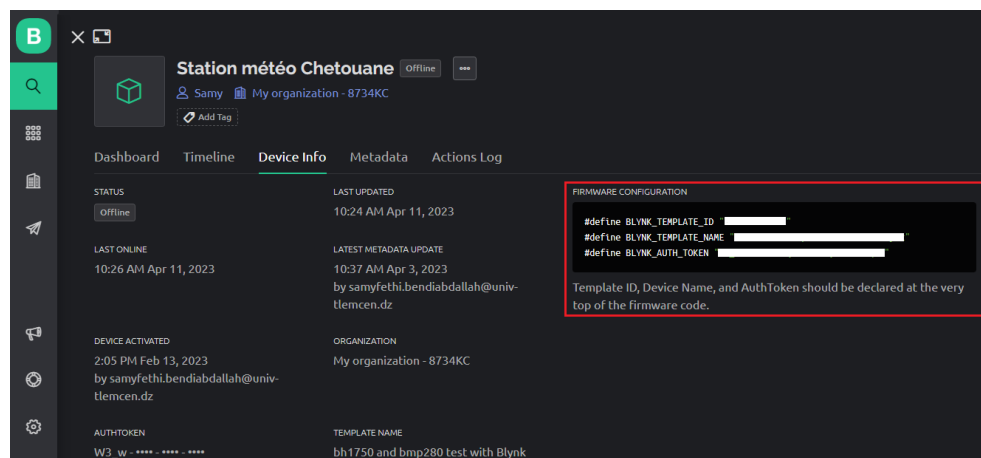


FIGURE III.5 – Récupération du jeton d'authentification



FIGURE III.6 – Web dashboard sur blynk

III.2.3 Collecte de données avec Thingspeak

Pour les mesures suivantes, nous avons choisit de les prendre entre 11h :30 et 12h :00.

- **Condition de mesure :** La figure suivante montre les conditions où les mesures ont été prise était, comme on peut le voir le ciel était un peut couvert. Nous avons aussi pris le bulletin météo de l'aéroport de Zenata comme référence.



FIGURE III.7 – Conditions de mesure

Aéroport de Tlemcen - Zenata - Messali El Hadj

Tlemcen, Algérie

latitude: 35-01N, longitude: 001-28W,
altitude: 247 m

Observation
Le bulletin a été fait il y a 23 minutes, à 09:00 UTC
Température 22°C
Humidité 43%
Pression 1009 hPa
Visibilité 10 km ou plus
Quelques nuages à une hauteur de 2600 ft Nuages fragmentés à une hauteur de 23300 ft
Changer d'unités

FIGURE III.8 – Bulletin météo aéroport de zenata.[42]

III.2.3-a Mesure de l'intensité lumineuse :

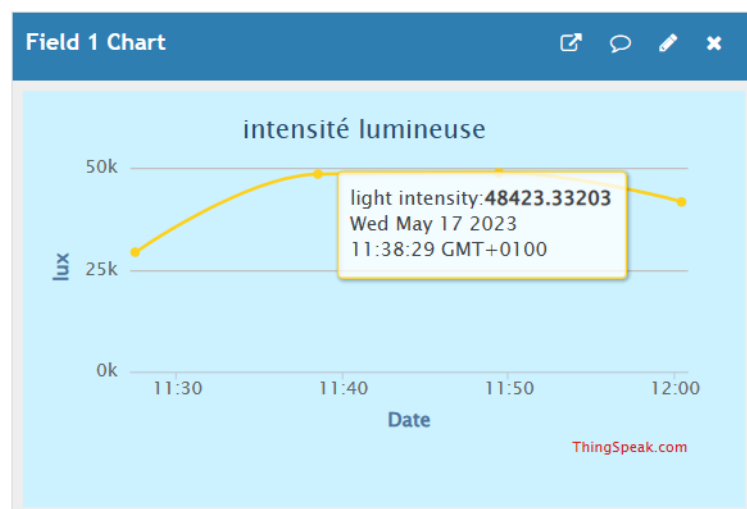


FIGURE III.9 – Mesure de l'intensité lumineuse

A ce moment de la journée, on peut observer que l'intensité lumineuse a pu atteindre une valeur maximum de 48000 lux soit environ 380 W/m^2 .

III.2.3-b Mesure de la température interne et externe :

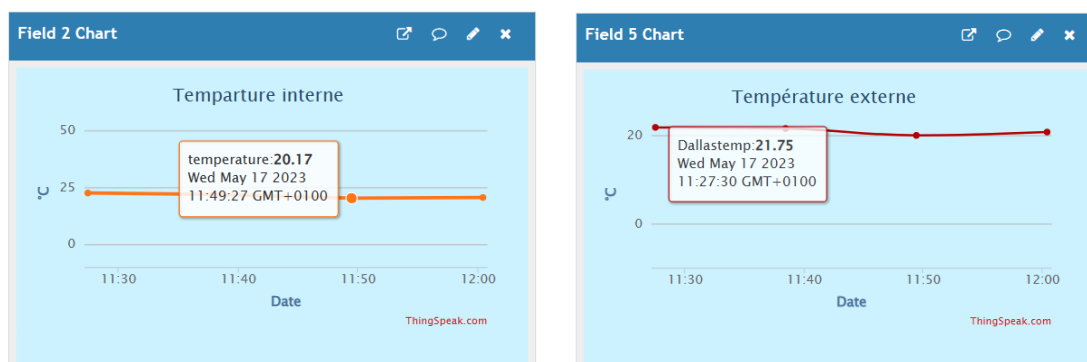


FIGURE III.10 – Mesure de la température interne et externe

La température interne était à une valeur de 20°C , elle n'a pas subi de variation importante à cet instant de la journée. On peut observer la même chose pour la température externe.

III.2.3-c Mesure de la vitesse du vent

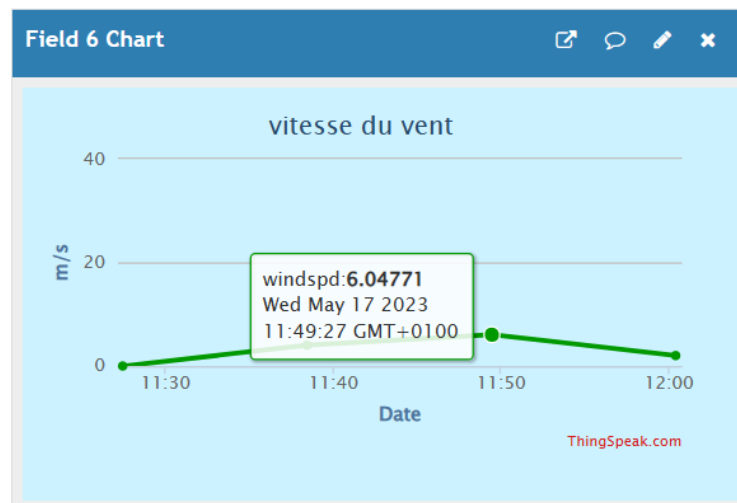


FIGURE III.11 – Mesure de vitesse du vent

On peut observer que la vitesse du vent a atteint une valeur de 6 m/s soit environ 21 km/h.

III.2.3-d Mesure de l'indice UV

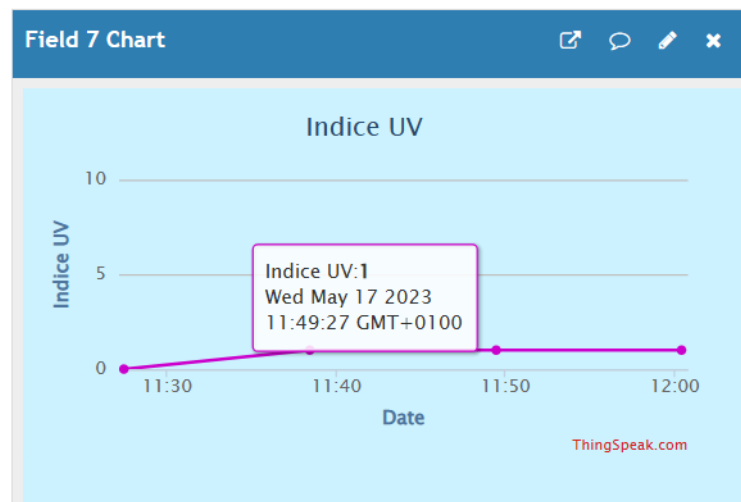


FIGURE III.12 – Mesure de l'indice UV

Comme le soleil était voilé et avec la présence de nuage, on s'attend à ce que l'indice UV soit faible, ce qui est démontré dans la figure.

III.2.4 Collecte de données avec Blynk

Pour les mesures suivantes, nous avons choisit de les prendre entre 9h :00 et 11h :20.

III.2.4-a Mesure de la pression atmosphérique



FIGURE III.13 – Mesure de la pression atmosphérique

La pression mesuré est d'environ 1005 hPa avec peut de variation, sachant que ce jour là la pression mesuré à l'aéroport de zenata était de 1009 hPa.

III.2.4-b Mesure de la température

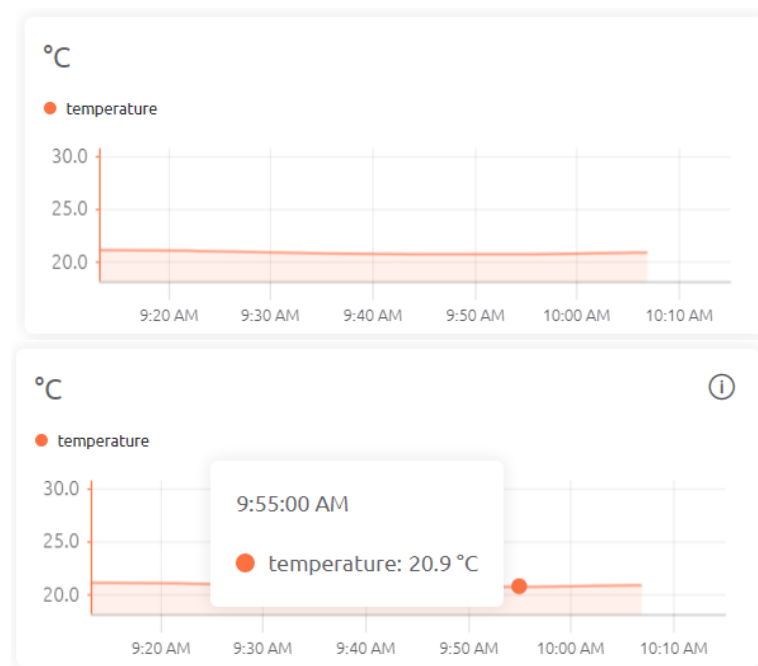


FIGURE III.14 – Mesure de la température

Ce graphique montre que la température est resté constante à environ 21°C .

III.2.4-c Mesure de l'irradiance

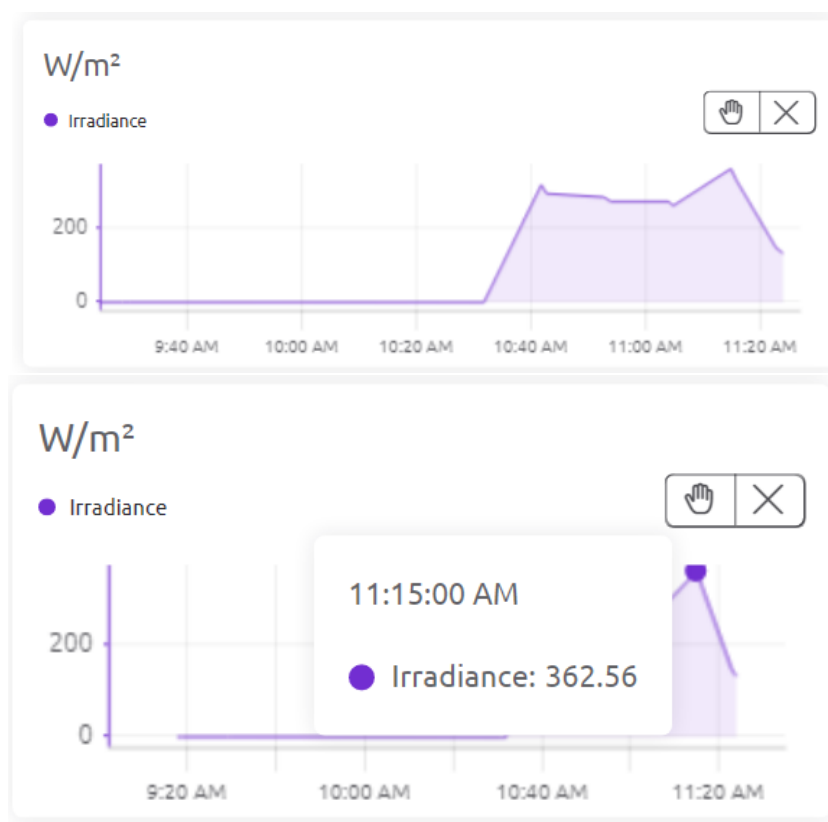


FIGURE III.15 – Mesure de l'irradiance

La mesure de l'irradiance entre 10h30 et 11h20 varie autour des 300 W/m^2 avec un pic à 362 W/m^2 .

III.2.4-d Mesure de l'intensité lumineuse

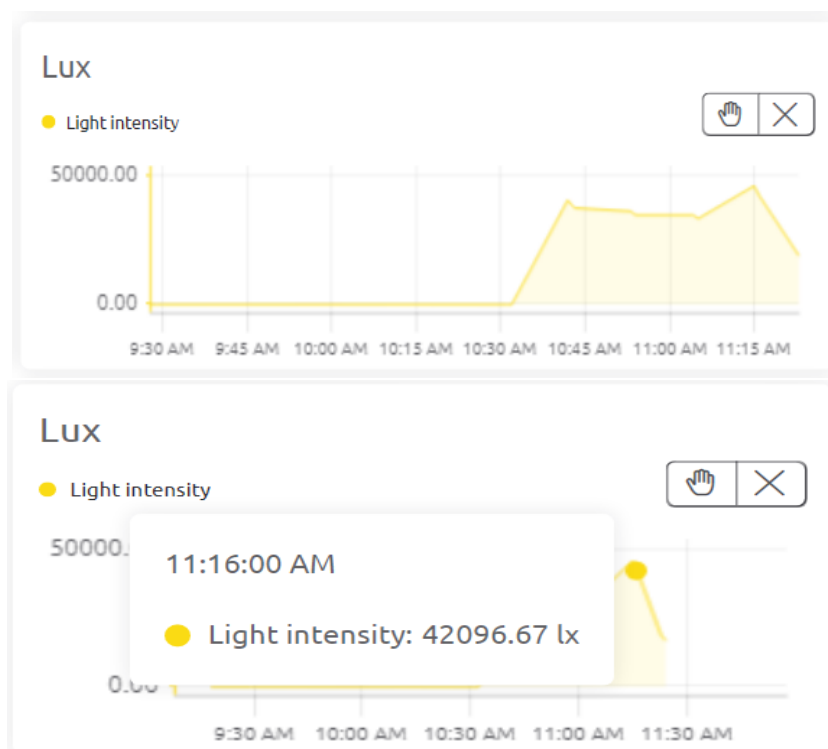


FIGURE III.16 – Mesure de l'intensité lumineuse

La mesure de l'intensité lumineuse entre 10h30 et 11h20 varie autour des 40000 lux avec un pic à 42096 lux.

III.2.4-e Mesure de la vitesse et direction du vent



FIGURE III.17 – Mesure de la vitesse et direction du vent

Comme on ne peut pas afficher la direction du vent avec un graphique, nous avons pris la dernière mesure qui indiquait une direction Nord avec un pic de vitesse à 14 m/s, soit 50 km/h.

III.2.4-f Mesure de l'indice UV

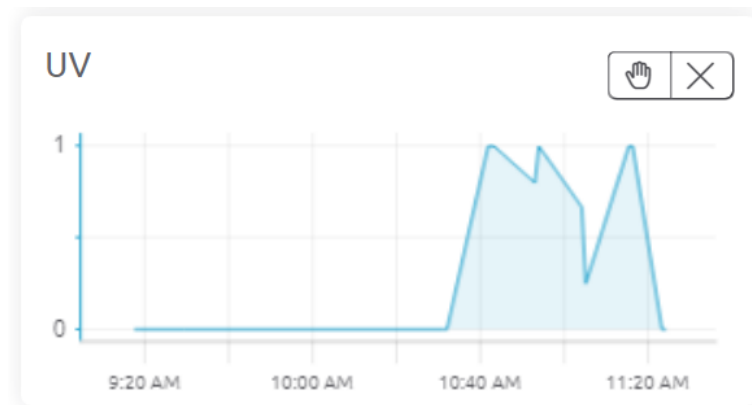


FIGURE III.18 – Mesure de l'indice UV

La mesure de l'indice UV avec Blynk a été fait le même jour qu'avec Thingspeak, donc on s'attend à obtenir à peu près les mêmes valeurs, soit une variation autour d'un indice de 1.

III.3 Conclusion

On peut conclure d'après les résultats obtenue, que les applications Blynk et thingspeak fournissent une visualisation plus au moins satisfaisantes sur les données collectées avec une durée limitée.

En effet, Blynk offre une bonne palette de personnalisation pour choisir comment afficher ses données, cependant, certaines options sont payantes. Par exemple on ne peut pas avoir une visualisation au delà d'un mois, et il faut aussi savoir qu'on est limité à 10 paramètres météorologique. Pour thingspeak, le serveur a besoin d'au moins 15 seconde pour mettre à jour les dernières valeurs prise de la station, on ne peut donc pas parler de temps réel dans cette application.

Chapitre IV

Interfaçage avec Influxdb et Grafana

SOMMAIRE

IV.1 INTRODUCTION	63
IV.2 OUTILS LOGICIELS ET SERVICES EN LIGNE	63
IV.2.1 Définition d'un serveur	63
IV.2.2 MQTT - Mosquito	63
IV.2.3 Node-Red	64
IV.2.4 Influxdb	65
IV.2.5 Grafana	66
IV.3 COLLECTE DE DONNÉES AVEC INFLUXDB ET GRAFANA	67
IV.3.1 Mesure de l'intensité lumineuse	68
IV.3.2 Mesure de l'irradiance solaire	69
IV.3.3 Mesure de la pression atmosphérique	70
IV.3.4 Mesure de la température	71
IV.3.5 Mesure de la vitesse du vent	72
IV.3.6 Mesure de la direction du vent	73
IV.3.7 Mesure de l'indice UV	73
IV.3.8 Mesure des précipitations	74
IV.4 CONCLUSION	74

IV.1 Introduction

Aujourd'hui, on peut constater que le nombre d'objet connecté subit une augmentation exponentielle. Cette croissance a entraîné la nécessité de collecter et d'analyser de grandes quantités de données générées par ces appareils. Pour répondre à ces défis, divers outils logiciels et services en ligne ont été développés pour faciliter la gestion et l'analyse des données IoT.

Ce chapitre vise à présenter certains de ces outils, notamment MQTT-Mosquito, Node-Red, Influxdb et Grafana. Nous allons également fournir les résultats obtenus de la collecte de données de notre station météo avec cette solution pour stocker nos données localement, donnant ainsi un exemple d'utilisation de ces outils dans ce cas de figure. Enfin, nous allons discuter les résultats obtenus.

IV.2 Outils logiciels et services en ligne

IV.2.1 Définition d'un serveur

Les serveurs sont des ordinateurs haute performance qui diffèrent des ordinateurs traditionnels. Ils sont conçus pour traiter des charges de travail plus lourdes et, contrairement aux ordinateurs traditionnels, ils peuvent fonctionner 24 heures sur 24, 7 jours sur 7, sans interruption. Ils sont équipés de processeurs et de mémoire vive plus puissants, ce qui leur permet de gérer des charges de travail plus importantes et plus complexes. [95]

Les serveurs offrent les fonctionnalités suivantes aux réseaux qu'ils servent :[95]

- **Scalabilité** : Ils peuvent servir un nombre croissant ou fluctuant de dispositifs, d'utilisateurs et de charges de travail.
- **Puissance de traitement élevée** : Avec des spécifications CPU et RAM en hors du commun, cela leur permet de gérer les charges de travail de taille d'un réseau.
- **Fiabilité** : Les serveurs sont conçus pour garantir que les systèmes restent en ligne et disponibles.
- **Économies de coûts** : Ils peuvent réduire la tension sur les dispositifs de réseau, ce qui se traduit par des économies de coûts à long terme.

IV.2.2 MQTT - Mosquito

Le protocole MQTT a été conçu en 1999 par le docteur Andy Stanford-Clark d'IBM et Arlen Nipper comme étant un moyen rentable et fiable de connecter des dispositifs de surveillance utilisés dans les industries pétrolière et gazière à des serveurs d'entreprise distants. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) est un protocole qui utilise un modèle de communication de publication/abonnement, est utilisé pour la communication machine à machine (M2M). [96]

Les clients MQTT comprennent des éditeurs (publisher) et des abonnés (subscriber). Ces deux fonctions peuvent être implémentées dans le même client MQTT. Lorsqu'un

appareil (ou client) souhaite envoyer des données à un serveur (ou broker), cela s'appelle une publication. Lorsque l'opération est inversée, cela s'appelle une souscription. Dans le modèle de publication/abonnement, plusieurs clients peuvent se connecter à un broker et s'abonner à des sujets qui les intéressent. [96]

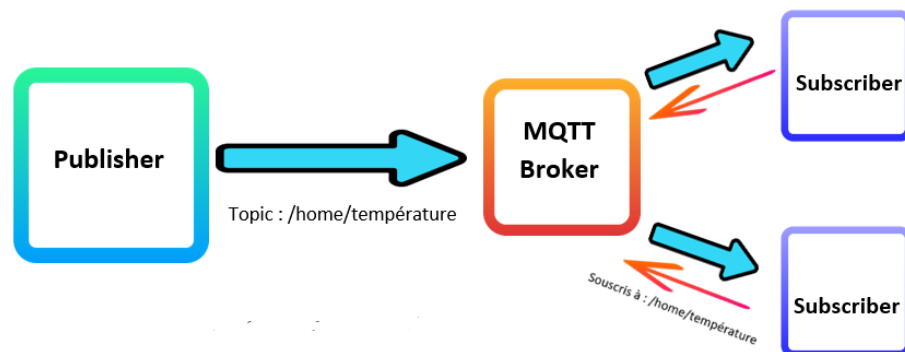


FIGURE IV.1 – Principe de communication MQTT

Le broker agit comme un intermédiaire entre les client qui publient un message et les abonnés qui le reçoivent, tous les message doivent passer par le broker afin de les transmettre aux abonnés.

Parmi les applications qui nous permettent d'utiliser le protocole MQTT on a :

- Mosquitto.
- MQTT X
- MQTT.fx
- MQTT Explorer.

IV.2.3 Node-Red

Node-RED est un outil de développement qui utilise une interface drag and drop pour relier différents composants, tels que des capteurs, des appareils, des API et des services en ligne. Il est basé sur Node.js, un moteur d'exécution JavaScript populaire.[97]

Node-RED offre un moyen visuel de définir le flux de données entre divers services et appareils, éliminant ainsi la nécessité d'un codage de bas niveau. Cela en fait un outil idéal pour le prototypage et l'expérimentation de solutions IoT, ainsi que pour la construction de flux de travail d'automatisation et d'intégration. [97]

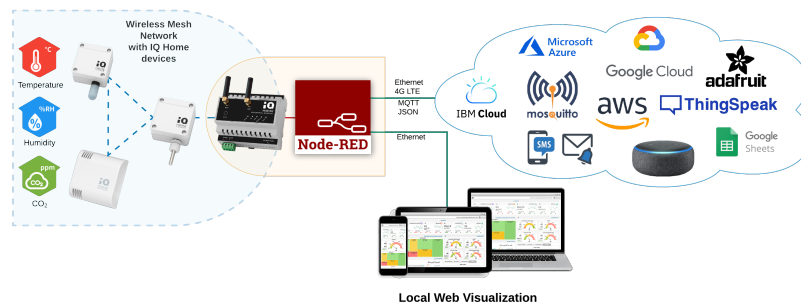


FIGURE IV.2 – Node red.[43]

Node-RED est conçu pour être facile à utiliser, même pour ceux qui ne sont pas familiers avec la programmation. Les blocs de construction de base de Node-RED sont les nœuds, qui sont des composants logiciels pré-construits qui effectuent des fonctions spécifiques. Les nœuds peuvent être connectés ensemble pour créer un flux, qui représente le chemin des données d'un nœud à un autre. Node-RED fournit une riche bibliothèque de nœuds pour des tâches courantes telles que la lecture de capteurs, l'envoi de messages et le traitement de données. Les utilisateurs peuvent également créer des nœuds personnalisés pour effectuer des fonctions spécifiques ou s'intégrer à des API et services tiers. Une fois que les nœuds sont connectés, Node-RED génère automatiquement le code nécessaire, qui peut être exporté et déployé sur diverses plateformes, telles que Raspberry Pi, Arduino et autres appareils IoT.[97]

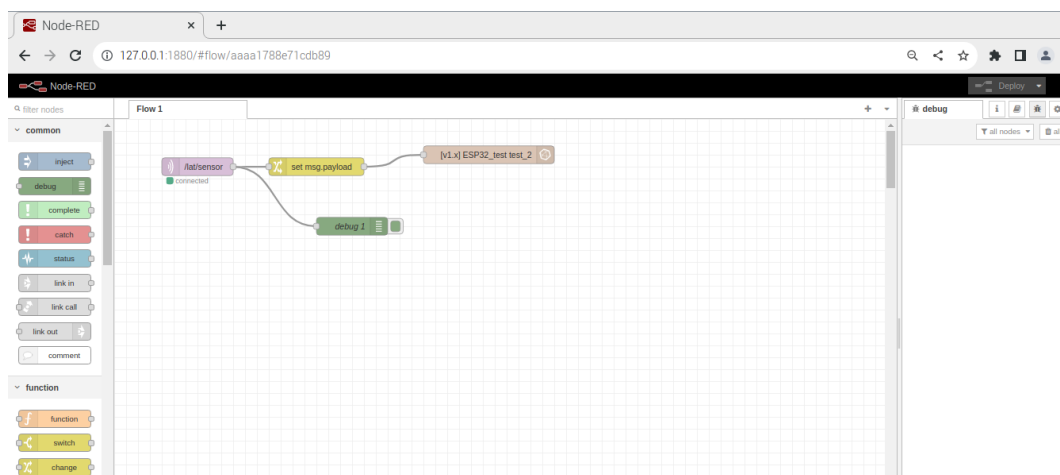


FIGURE IV.3 – Exemple d'un flow sur Node red

IV.2.4 Influxdb

InfluxDB est un système qui permet de gérer des bases de données qui a été développé par la société InfluxData, Inc. Il s'agit d'un logiciel open source à l'accès gratuit. « InfluxDB Enterprise » est La version commerciale qui comprend un accord de maintenance avec des contrôles d'accès spécifiques pour les clients professionnels.[98]

InfluxDB utilise le langage de programmation Go de Google, également appelé Golang.

Au départ, la requête de langage InfluxQL, développée par la société, était utilisée pour interroger les bases de données externes. Après un certain temps, ils introduisent flux, qui sera le nouveau langage de programmation de script et de requête prévu pour une utilisation avec des bases de données de série temporelle (TSDB : time series database).[\[98\]](#)

La commande suivante montre comment créer une base de données influxdb sur une raspberry pi :

```
user@user: influx
> CREATE DATABASE <nom de la base>
>quit
user@user:
```

IV.2.5 Grafana

Grafana est une application web open-source qui offre la possibilité d'analyser et de visualiser de manière interactive. Elle permet de prendre les données provenant d'un grand nombre de sources de données, traiter ces données et de les afficher sur des graphiques personnalisables pour faciliter l'analyse. Il est également possible de définir des alertes afin d'être informé selon pourquoi on configure l'alerte. En termes simples, Grafana nous permet de transformer la montagne de données de mesures de performance collectées à partir de vos applications, en visualisations. [\[99\]](#)

Grafana possède une grande variété d'options de visualisation pour vous aider à voir et à comprendre vos données facilement. Ces options sont divisées en "panneaux" qui sont ensuite utilisés pour construire le tableau de bord Grafana.[\[99\]](#)

Un panneau est le bloc de construction de visualisation le plus granulaire de Grafana, et est utilisé pour afficher les données qui ont été récupérées à partir de la source de données attribuée à ce panneau.[\[99\]](#)



FIGURE IV.4 – Dashboard de la station météo sur Grafana.

IV.3 Collecte de données avec InfluxDB et Grafana

On va présenter maintenant les données collectées sur une durée de 2 h.

- **Condition de mesure :** La figure suivante montre les conditions où les mesures ont été prise était, comme on peut le voir le ciel était très nuageux. Nous avons aussi pris le bulletin météo de l'aéroport de Zenata comme référence.



FIGURE IV.5 – Conditions de mesure.

Aéroport de Tlemcen - Zenata - Messali El Hadj

Tlemcen, Algérie

latitude: 35-01N, longitude: 001-28W,
altitude: 247 m

Observation

Le bulletin a été fait il y a **19 minutes**, à **17:00**
UTC

Vent **8 kt** de **ouest**

Température **17°C**

Humidité **68%**

Pression **1011 hPa**

Visibilité **10 km** ou plus

Nuages fragmentés à une hauteur de **2600 ft**
Nuages épars à une hauteur de **10000 ft**

Changer d'unités

FIGURE IV.6 – Buletin météo aéroport de zenata.[44]

IV.3.1 Mesure de l'intensité lumineuse



FIGURE IV.7 – Mesure de l'intensité lumineuse.



FIGURE IV.8 – Moyenne des mesures de l'intensité lumineuse.

Comme montré dans la figure des conditions météorologique, on s'attend à ce que l'intensité lumineuse soit assez faible. On note une variation entre 6000 et 11000 lux avec une moyenne de 8131 lux.

IV.3.2 Mesure de l'irradiance solaire



FIGURE IV.9 – Mesure de l'irradiance solaire.

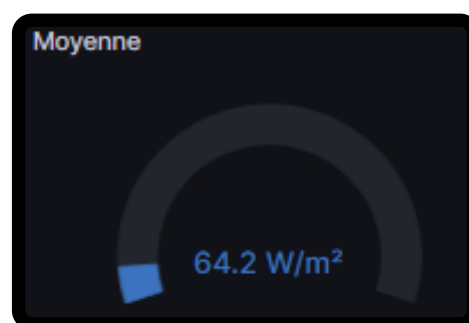


FIGURE IV.10 – Moyenne des mesures de l'irradiance solaire.

Comme l'irradiance est tirée de l'intensité lumineuse, on peut observer que la courbe de l'irradiance est l'image de l'intensité lumineuse avec une moyenne de 64 W/m^2 .

IV.3.3 Mesure de la pression atmosphérique



FIGURE IV.11 – Mesure de la pression atmosphérique.

La pression atmosphérique varie très peu, cela est dû au fait que la pression est liée intimement à l'altitude donc il est normal de ne pas avoir de variation flagrante.

la pression atmosphérique peut également être influencée par l'air ambiant. Par exemple, lorsqu'une masse d'air chaud s'élève, la pression atmosphérique diminue, tandis que lorsqu'une masse d'air froid descend, la pression atmosphérique augmente.

IV.3.4 Mesure de la température

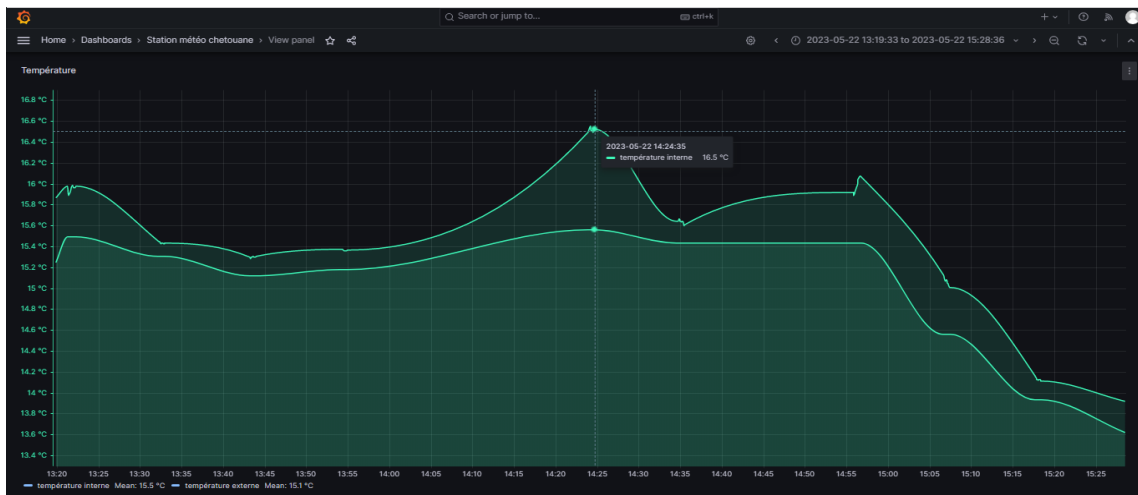


FIGURE IV.12 – Mesure de la température interne et externe.



FIGURE IV.13 – Moyenne des mesures de la température externe.

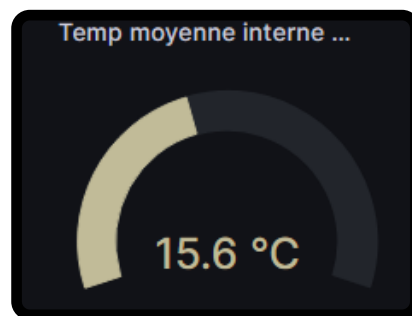


FIGURE IV.14 – Moyenne des mesures de la température interne.

La courbe des deux températures interne et externe sont rapproché, avec une moyenne de 15 °C .

IV.3.5 Mesure de la vitesse du vent



FIGURE IV.15 – Mesure de la vitesse du vent.



FIGURE IV.16 – Moyenne des mesures de la vitesse du vent.

La courbe de la vitesse du vent montre un comportement irrégulier du vent variant entre 3 et 8 m/s, avec parfois des pics qui avoisinent les 14 m/s soit 50 km/h. On note une moyenne de 5 m/s soit 18 km/h.

IV.3.6 Mesure de la direction du vent



FIGURE IV.17 – Moyenne des mesures de la vitesse du vent.

La figure montre une direction moyenne de ouest-sud-ouest soit un angle de 247.5° . La dernière mesure qu'indiquait la girouette fut causée par un vent de nord.

IV.3.7 Mesure de l'indice UV

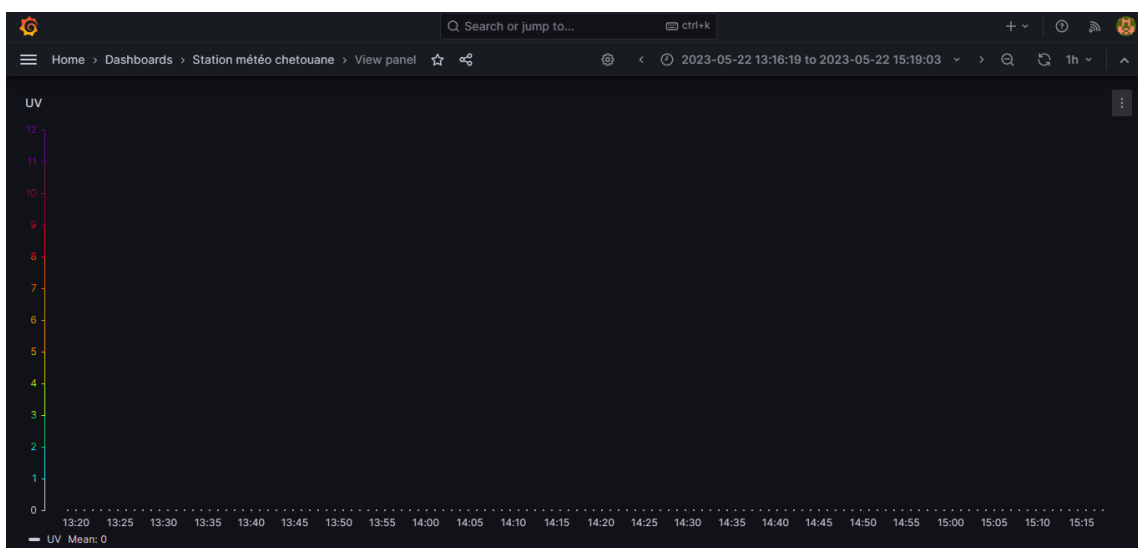


FIGURE IV.18 – Mesure de l'indice UV

Comme le ciel était très couvert, l'indice UV était à une valeur nul.

IV.3.8 Mesure des précipitations

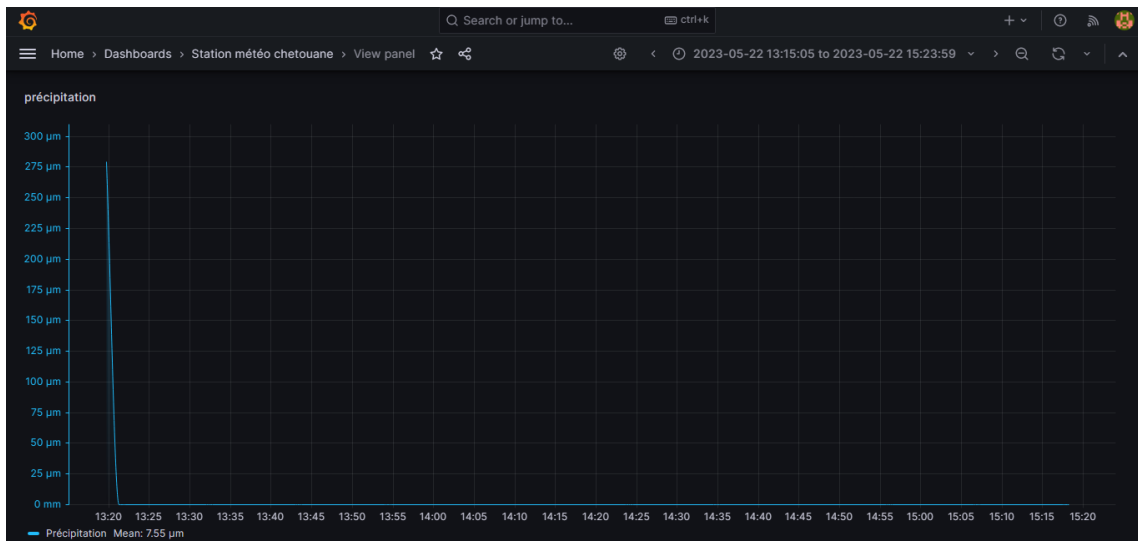


FIGURE IV.19 – Mesure des précipitations

Malgré que le ciel était très couvert, il n'a pas plu ce jour là, le mesure nous indique donc une valeur nul. Le pic affiché au début de la courbe est dû au moment où on a branché le capteur, les programmes étaient déjà en train de fonctionner.

IV.4 Conclusion

En conclusion, concevoir sa propre base de données s'avère être plus intéressant grâce à des applications open source qui permettent de ne pas être dépendant de services tiers et d'éviter les restrictions qui peuvent être imposées.

Dans ce chapitre, nous avons pu montrer à quoi peut ressembler un système d'acquisition de données d'une station météo en utilisant une Raspberry Pi comme serveur local équipé Node-RED, InfluxDB pour stocker les données et les afficher sur Grafana.

Conclusion générale

Dans le cadre de ce projet, notre objectif était de concevoir un système de mesure des grandeurs météorologiques.

Ce système est constitué d'un ensemble de capteurs, notamment un capteur de température et de pression atmosphérique, un capteur de luminosité et d'indice UV, un anémomètre avec girouette et un pluviomètre. Grâce à l'utilisation du microcontrôleur ESP32, qui joue un rôle crucial dans l'acquisition des données provenant de ces capteurs, nous avons pu envoyer ces mesures depuis la carte vers les plateformes ThingSpeak et Blynk puis vers la raspberry pi en MQTT qui jouait le rôle du serveur local grâce à Influxdb. Cela nous a permis d'enregistrer les données et de les afficher sous forme de graphes à l'aide de Grafana sur un ordinateur.

La conception du système de mesure météorologique est passée par trois étapes principales qui sont : la conception matérielle et la phase d'assemblage de la station, les mesures avec les différents capteurs et leurs transmissions à distance vers l'ordinateur distant par Wifi à travers le Web, et enfin leurs mesures et transmissions par MQTT vers le serveur local. Pour conclure, nous avons réalisé des tests à l'air libre avec le système pour obtenir des mesures sur une certaine période de temps. Le système de mesure réalisé s'est avéré être satisfaisant.

En conclusion, notre système de mesure des grandeurs météorologiques, combinant l'ESP32, les capteurs et la Raspberry Pi, offre une solution complète et performante pour acquérir et visualiser les données météorologiques. Grâce à cette approche, il est possible de prendre des décisions éclairées et de mieux comprendre les conditions météorologiques environnantes.

Problème rencontré

Pendant la réalisation du projet nous avons rencontré plusieurs contraintes, dont certains ou on a pu trouver une solution provisoire, et d'autres ou nous n'avons pas pu corrigé par manque de temps ou indisponibilité des pièces.

Le premier problème rencontré était le PCB qui était défectueux, nous soupçonnons qu'il y a des lignes entre les couches qui créent un court-circuit car un fois allumé, on a remarqué que le régulateur surchauffe et la tension chute. Nous avons donc pris un morceau de breadboard et assemblé notre circuit.

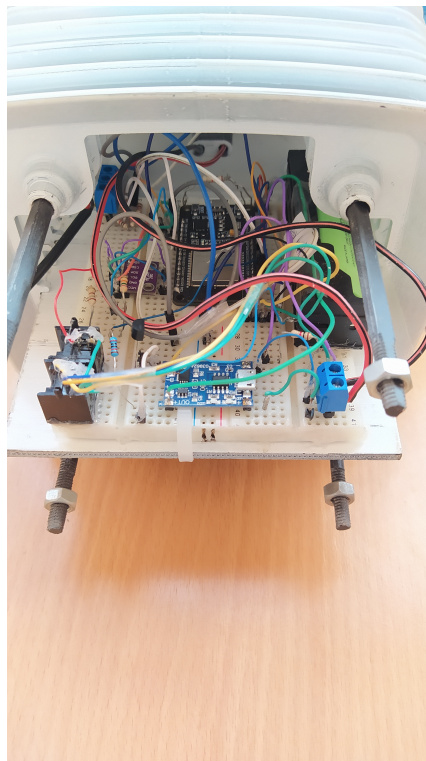


FIGURE IV.20 – Circuit sur breadboard.

Le deuxième problème est la connexion wifi, car en effet, mettre la station sur le toit des laboratoires de recherche nous empêchait d'utiliser la connexion du rez-de-chaussée pour cause du signal wifi qui n'est pas assez puissant pour atteindre le dernier étage. Il nous a fallu donc trouver une salle qui n'était pas utilisée et poser notre Raspberry pi avec notre modem.

Le dernier problème était un problème de consommation de notre esp. Il existe plusieurs modèles de carte de développement pour l'esp32, et celle dont nous disposons s'appelle la devKit et elle consomme énormément d'énergie. Aussi des testeurs sur le net ont montré qu'avec un fonctionnement wifi, l'esp 32 subit des surintensités régulièrement allant de 300 à 400 mA pendant la communication avec un autre appareil. Il est donc nécessaire de choisir un régulateur capable de fournir au moins 500 mA avec une faible chute de tension, car sur les fiches techniques on peut trouver pour un certain courant délivré à la charge (dans notre cas l'esp32) la chute de tension qui lui correspond. Nous

nous somme rendu compte du probleme pendant l'essai en condition réel, en vérifiant la station, et à chaque fois on trouvait la batterie déchargé à 3.2v, qui normalement, est suffisant pour alimenter une esp mais pas assez si on prend on compte la chute de tension appliqué au moment de l'utilisation de la connexion wifi.

Voltage	Boots	Connects	Kepp Connection
3.6	X	X	X
3.5	X	X	X
3.4	X	X	X
3.3	X	X	X
3.2	X	X	X
3.1	X	-/X	X
3.0	X	-	X
2.9	X	-	-
2.8	X	-	-
2.7	-	-	-

FIGURE IV.21 – Tension d'alimentation pour le fonctionnement de l'esp32 avec Wifi.[45]

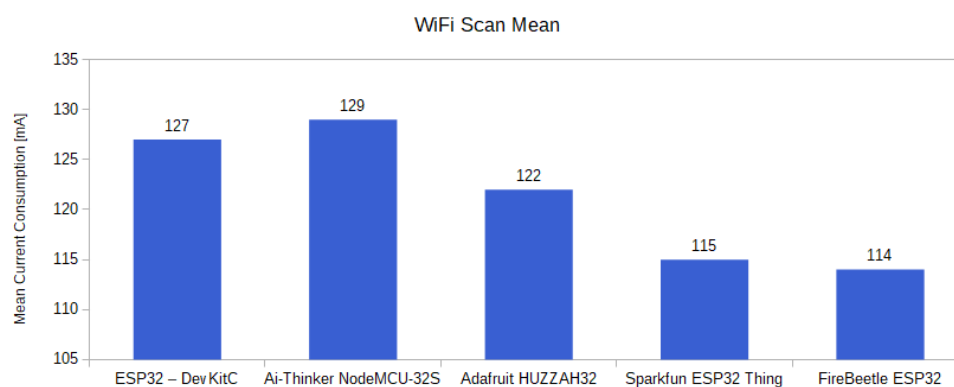


FIGURE IV.22 – Consommation des différentes esp32 avec Wifi.[46]

Dans notre cas le mcp1700 ne peut fournir que 250 mA avec une chute de tension entre 178 et 350 mV, à moins d'utiliser un condensateur de grande capacité, qui se résulte par une place importante qui sera prise sur le circuit, on ne pourra pas couvrir la demande de l'esp32 en courant et en tension car comme le modèle que l'on possède consomme plus que certains modèle même en Deep sleep, la batterie se retrouvera rapidement déchargé, il lui suffit d'atteindre une tension de 3.2v pour empêcher le redémarrage de l'esp 32 et la reconnexion.

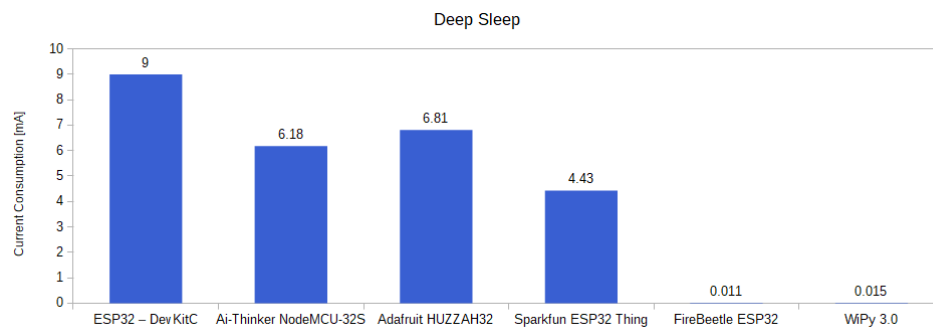


FIGURE IV.23 – Consommation des différentes esp32 en mode deep sleep.[46]

Pour résoudre le problème de consommation, nous proposons de changer la carte devKit par la FireBeetle esp32 qui, comme le montre les deux graphiques précédant, elle consomme moins que le modèle actuel. Comme le brochage sera différent, il faudra aussi concevoir son propre pcb. Pour éviter que l'esp ne rencontre de problème de connexion, on suggère aussi de changer le régulateur de tension LDO, dont on propose les modèles suivants :

- TC1262.
- HT 7833.
- MCP1825 S.
- ME6211X33.
- LP5912.

Perspectives pour de futurs travaux

Tout travail étant perfectible, nous proposons une liste non exhaustive de travaux sur concernant des thématiques qui pourraient encore améliorer les performances de la station météorologique réalisée :

- Intégration de capteur d'humidité et de qualité de l'air : il est possible d'ajouter des capteurs pour étoffer la base de donnée locale, on peut notamment en ajouter pour déterminer la qualité de l'air en terme de concentration en CO₂ et de l'humidité .
- Intégration de fonctions de prévision météorologique : En plus de collecter les données météorologiques en temps réel, il serait intéressant d'intégrer des fonctionnalités de prévision météorologique. Cela nous permettra d'obtenir des informations sur les conditions météorologiques futures et d'anticiper les changements.
- Utilisation de l'intelligence artificielle (IA) : L'intégration de techniques d'intelligence artificielle peut contribuer à améliorer la précision des prévisions météorologiques. L'IA peut analyser les données historiques et en temps réel pour détecter des modèles et des tendances, et ainsi améliorer la précision des prévisions météorologiques locales.
- Développement de fonctionnalités de partage des données : Permettre le partage de données météorologiques avec d'autres stations météo ou institutions de recherche peut favoriser la collaboration et l'échange d'informations. Cela peut contribuer à une meilleure compréhension des phénomènes météorologiques à l'échelle régionale.
- Optimisation des énergies renouvelables : Les données météorologiques collectées, telles que la luminosité et la vitesse du vent, peuvent être utilisées pour optimiser la production d'énergies renouvelables (énergie solaire et éolienne). Ces informations permettent de mieux planifier et ajuster l'utilisation de ces sources d'énergie en fonction des conditions météorologiques.

Bibliographie

- [1] Thot Cursus. Fabriquer une station météo à l'école. <https://cursus.edu/fr/22097/fabriquer-une-station-meteo-a-lecole>, mise à jour 27 novembre 2020, consulté le : 19 novembre 2022.
- [2] Netatmo. Netatmo station météo intelligente. <https://shop.netatmo.com/fr-fr/weather/smart-weather-station/weatherstation>, consulté le : 19 novembre 2022.
- [3] La Crosse Technology. Station connectée la crosse technology ma10006. <https://www.lacrossetechnology.fr/P-25-A1-MA10006.html>, consulté le : 18 novembre 2022.
- [4] BRESSER. Bresser station météo couleur wifi extérieur 5 en 1. <https://www.bresser.de/fr/Temps/Centrale-Station-meteo-WIFI/BRESSER-Station-meteo-couleur-WIFI-avec-capteur-exterieur-5-en-1-bresser.html>, consulté le : 18 novembre 2022.
- [5] Medical Expo. Pourquoi choisir un thermomètre digital électronique? <https://guide.medicaexpo.com/fr/bien-choisir-un-thermometre-medical/>, consulté le : 19 novembre 2022.
- [6] Medical Expo. Que contiennent les thermomètres? http://www.vulgarisation-scientifique.com/wiki/Pages/Que_contiennent_les_thermom%C3%A8tres, mise à jour le 01 avril 2014, consulté le : 19 novembre 2022.
- [7] Grube. Hygromètre à poils. <https://www.grube.fr/p/hygrometre-a-poils/P89-101/>, consulté le : 19 novembre 2022.
- [8] Météo Lignerolles. Baromètre anéroïde. <https://meteo-lignerolles.fr/custom/customPage.php?page=Barom%C3%A8tre>, consulté le : 19 novembre 2022.
- [9] FranceEnvironnement. Luxmètre enregistreur autonome. <https://www.franceenvironnement.com/produit/8809si>, consulté le : 20 novembre 2022.
- [10] FranceEnvironnement. Cours : le rayonnement solaire. <https://www.kartable.fr/ressources/enseignement-scientifique/cours/le-rayonnement-solaire/51271>, consulté le : 21 novembre 2022.

- [11] Blet Measurement Group. Pyranomètre cmp 11 thies blet. <https://www.blet-mesure.fr/rayonnement-global/pyranometre-cmp-11-thies.html>, consulté le : 22 novembre 2022.
- [12] Canadian Cancer Society. Enjoy the sun safely, check the uv index every day. <https://cancer.ca/en/cancer-information/reduce-your-risk/be-sun-safe/enjoy-the-sun-safely>, consulté le : 22 novembre 2022.
- [13] B. Kouassi Kouakou. *Développement dinstrumentation optique fondée sur le principe de la spectroscopie par télédétection pour la caractérisation des espèces volantes de la faune*. Mémoire Présenté comme exigence partielle de la maîtrise en informatique, University of San Pedro, Septembre 2020.
- [14] Groupe Physitek. Xl2 plus spectromètre xrf. <https://www.physitek.fr/produit/xl2-plus-analyseur-xrf/>, consulté le : 21 novembre 2022.
- [15] Blet Measurement Group DirectUsine mesure. Anemometre classic thies blet. https://www.directusine-mesure.fr/anemometre-classic-thies-blet-br-ref-433032200x-xml-243_531_532-2966.html, consulté le : 22 novembre 2022.
- [16] Ahlborn. Girouette. https://www.ahlborn.com/fr_FR/produits/girouette-et-anemom%C3%A8tre, consulté le : 22 novembre 2022.
- [17] Jardinier Binette et Jardin. La girouette, objet déco et pratique du jardin : comment la choisir? <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1914-girouette.html>, consulté le : 22 novembre 2022.
- [18] Windhager. Pluviomètre profi. <https://www.windhager.eu/fr/product/pluviometre-profi/>, consulté le : 22 novembre 2022.
- [19] Pulsonic. Pluviomètre à intégrer sur les stations pluviométrique automatique. <https://www.pulsonic.com/fr/pluviometre/>, consulté le : 22 novembre 2022.
- [20] M. Gobert La Gazette. L'iot, capteurs et objets connectés pour les services techniques. <https://www.lagazettedescommunes.com/751225/liot-capteurs-et-objets-connectes-pour-les-services-techniques/>, mise à jour le 9 août 2021, consulté le : 22 novembre 2022.
- [21] Peter Forstner. L'iot, capteurs et objets connectés pour les services techniques. <https://www.eetimes.com/zigbee-la-norme-de-communication-sans-fil-basse-consommation/>, publié le 14 février 2008, consulté le : 23 novembre 2022.
- [22] Robotsiam. Doit esp32 devkit v1 development board wifi bluetooth. <https://www.robotsiam.com/product/119/doit-esp32-devkit-v1-development-board-wifi-bluetooth>, consulté le : 24 Février 2023.
- [23] Random Nerd Tutorials. Getting started with the esp32 development board. <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>, consulté le : 23 Février 2023.

- [24] Riadh Hajji. Utiliser les pins de la carte l'esp32. <https://apcpedagogie.com/utiliser-les-pins-de-la-carte-esp32/>, mis à jour le 1 Septembre 2022, consulté le : 23 Février 2023.
- [25] Microcontrollerslab. Esp32 external interrupts using arduino ide. <https://microcontrollerslab.com/esp32-external-interrupts-tutorial-arduino-ide/>, consulté le : 24 Février 2023.
- [26] Last minute engineers. Insight into esp32 sleep modes and their power consumption. <https://lastminuteengineers.com/esp32-sleep-modes-power-consumption/>, consulté le : 25 février 2023.
- [27] Electrocredible. Bme280 pinout, specs, applications-temperature, pressure humidity sensor module. <https://electrocredible.com/bme280-pinout-specs-applications/>, 28 Septembre 2022, consulté le : 20 Février 2023.
- [28] Electropeak Amir Mohammad Shojaei. Interfacing guva-s12sd uv sensor module with arduino. <https://electropeak.com/learn/interfacing-guva-s12sd-uv-light-sensor-module-with-arduino/>, consulté le : 24 Février 2023.
- [29] Electronics projects focus. Bh1750 specifications and applications. <https://www.elprocus.com/bh1750-specifications-and-applications/#:~:text=BH1750%20uses%20an%20ADC%20to,a%20clock%20for%20internal%20logic>, consulté le : 20 Février 2023.
- [30] ProtoSupplies. Gy-30 bh1750fvi digital ambient light intensity sensor module. <https://protosupplies.com/product/gy-30-bh1750fvi-digital-ambient-light-intensity-sensor-module/>, consulté le : 20 Février 2023.
- [31] Sparkfun. Weather meter hookup guide. <https://www.digikey.fi/htmldatasheets/production/2457479/0/0/1/weather-meter-hookup-guide.html>, 9 novembre 2017, consulté le : 22 Février 2023.
- [32] Sparkfun Education. Weather meter kit. <https://sparkfuneducation.com/products/weather-meter-kit.html>, consulté le : 23 février 2023.
- [33] L. Erbakanov. *Using a Long Time Constant Integrator in Rainfall Intensity Measuring via Acoustic Method*. Publication, Asen Zlatarov University, juin 2018.
- [34] Zahid Ali. Introduction to ds18b20. <https://rb.gy/3is5mm>, 5 janvier 2019, consulté le : 24 Février 2023.
- [35] Debasish Dutta. Solar powered wifi weather station v3.0. <https://rb.gy/2a7z8w>, 25 mars 2021, consulté le : 23 Février 2023.
- [36] Electronics Hub. Tp4056 lithium ion battery charger. <https://www.electronicshub.org/tp4056-lithium-ion-battery-charger/>, consulté le : 25 Février 2023.
- [37] Microcontrollerslab. Tp4056 linear lithium ion battery charging module. <https://rb.gy/nast2g>, consulté le : 24 Février 2023.

- [38] ARROW. Mcp1700-5002e. <https://www.arrow.com/fr-fr/products/mcp1700-5002eto/microchip-technology>, consulté le : 25 février 2023.
- [39] Microchip. Mcp1700-5002e. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP1700-Low-Quiescent-Current-LDO-20001826E.pdf>, mis à jour le 15 Août 2018, consulté le : 25 Février 2023.
- [40] Global Solar Atlas. Photovoltaic power potential. <https://globalsolaratlas.info/download/algeria>, consulté le : 2 Mars 2023.
- [41] Ayad Ghany Ismaeel Dathar Abas Hasan. Designing ecg monitoring healthcare system based on internet of things blynk application. <https://rb.gy/wwwzx4>, 31 Juillet 2020, consulté le : 20 Mars 2023.
- [42] METAR-TAF. Aéroport de tlemcen - zenata - messali el hadj. <https://fr.allmetsat.com/metar-taf/maroc.php?icao=DAON>, consulté le : 17 Mai 2023.
- [43] IQhome. Node-red data visualization. <https://www.iqhome.org/node-red>, consulté le : 27 Mars 2023.
- [44] METAR-TAF. Aéroport de tlemcen - zenata - messali el hadj. <https://fr.allmetsat.com/metar-taf/maroc.php?icao=DAON>, consulté le : 21 Mai 2023.
- [45] Memolde. Esp32 power supply with battery. <https://memolde.github.io/MemolPages/esp32/battery/low-power/2021/03/28/ESP32-power-supply.html>, 28 Mars 2021, consulté le : 9 Juin 2023.
- [46] DiyIOT. Guide to reduce the esp32 power consumption by 95 <https://diyi0t.com/reduce-the-esp32-power-consumption/>, consulté le : 9 Juin 2023.
- [47] Bosch. Bmp280 digital barometric pressur sensor. <http://rb.gy/zb8j0>, consulté le : 18 Avril 2023.
- [48] Roithner Laser Technik. Guva-s12sd technical data. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/1918guva.pdf>, consulté le : 18 Avril 2023.
- [49] V. Luyet. *Stations météo : Que mesurent-elles ? Comment ? Quels sont les processus associés aux paramètres mesurés ? A quoi servent les données collectées ?*, Février 2010.
- [50] H. Chetoui. *Conception d'une mini-station météorologique automatique : Comparaison avec les données d'une station synoptique*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master de l'Université de Ouargla, 2020.
- [51] Cambell Scientific. automated weather station. <https://www.campbellsci.com/automated-weather-stations>, consulté le : 18 novembre 2022.
- [52] Fellouh W. Hamidi, T. *Réalisation d'une station météo à transmission par wifi*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master de l'Université d'Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2022.
- [53] Netatmo. What is a connected weather station. <https://www.netatmo.com/el-gr/guides/weather/weather-factors/solutions/smart-weather-station>, consulté le : 18 novembre 2022.
- [54] ThermoPro. 10 benefits of owning a home weather station. <https://buythermopro.com/10-benefits-of-home-weather-station/>, 19 Février 2019., consulté le : 19 novembre 2022.

- [55] Jean-François Fortier. aquaportail. Hygromètre? : définition, explications. <https://www.aquaportail.com/definition-12970-hygrometre.html>, 5 Mai 2020, consulté le :19 novembre 2022.
- [56] Musée Ultimheat. Jumeau, J. Pression absolue, pression barométrique, pression négative, pression différentielle. <https://ultimheat.com/s3-museum/2019%20Pression%20absolue%20pression%20barometrique%20pression%20negative%20pression%20differentielle%2020190302.pdf>, 19 Février 2019, consulté le :20 novembre 2022.
- [57] Carsat haut de france. Eclairage :les principales grandeurs physiques rencontrées dans le domaine de l'éclairage. https://carsat-hdf.fr/images/stories/DST/CarsatHdF_FTnp_Eclairage_02-GrandeursPhysiques.pdf, 2020, consulté le :21 novembre 2022.
- [58] Nathalie Mayer Futura-sciences. Luxmètre : qu'est-ce que c'est ? <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-luxmetre-14907/>, mis à jour le 28 Juillet 2015, consulté le :19 novembre 2022.
- [59] F. Merad. *Conception d'un programme de calcul du rayonnement solaire, cas particulier de la région de Mostaganem*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master de l'Université d'Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2013.
- [60] UNEP. ICNIRP. OMM., OMS. Guide pratique : L'indice universel de rayonnement uv solaire. <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42650/924259007X.pdf?sequence=1>, 2002., consulté le : 22 novembre 2022.
- [61] Feriel BELCADHI. L'usine nouvelle. Mesurer le rayonnement lumineux : photomètre, spectromètre, capteur de lumière. <https://cutt.ly/R7fURun>, Février 2019, consulté le :20 novembre 2022.
- [62] Cárdenas. D. Probst., O. *State of the Art and Trends in Wind Resource Assessment*. Physics Department, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,, 3 Juin 2010.
- [63] Netatmo. Qu'est-ce qu'une girouette? <https://www.netatmo.com/fr-fr/guides/weather/weather-factors/solutions/weather-vane>, consulté le :21 novembre 2022.
- [64] M. Zaoui. *Une approche cloud computing basée IoT pour le smart House*. thèse de doctorat en informatique, Université Mohamed Khider, Université Mohamed Khider BISKRA, Année universitaire 2019/2020.
- [65] Omara. Les objets connectés : Présentation, exemples et risques. <https://www.orma.fr/les-objets-connectes-presentation-exemples-et-risques/>, 15 Juillet 2015, consulté le :22 novembre 2022.
- [66] Yasmine Aloui. Cloud computing et iot : Le duo incontournable. <https://iotindustriel.com/iot-iiot/cloud-computing-iot-le-duo-incontournable/>, Mars 2022, consulté le :23 novembre 2022.
- [67] CGET. Direction générale des entreprises., Groupe caisse des dépôts. Guide sur le cloud computing et les datacenters à l'attention

- des collectivités locales. https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/secteurs-professionnels/numerique/guide-cloud-computing-et-datacenters-2015.pdf, Juillet 2015, consulté le :23 novembre 2022.
- [68] T. Alam. *Cloud-Based IoT Applications and Their Roles in Smart Cities*. Islamic University of Madinah, 4, 11961219, 17 Septembre 2021.
- [69] Mr.M. Anantha Guptha. *internet of things and its applications*. MALLA REDDY COLLEGE OF ENGINEERING TECHNOLOGY, 2021.
- [70] S. Jordi. and S. Santiago. *internet of things*. MALLA REDDY COLLEGE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, Tech Pedia, University of Prague, 2017, consulté le : 24 novembre 2022.
- [71] Microchip Technology Inc. Pradeep Shamanna., Raghuraj Tarikere. Classic bluetooth communication using microchip rn41/42 module and 8-bit pic microcontroller. <https://ww1.microchip.com/downloads/en/Appnotes/00002160A.pdf>, 2016, consulté le :25 novembre 2022.
- [72] PSoC Creator. Bluetooth low energy (ble) v2.10. <https://www.infineon.com/cms/en/design-support/tools/sdk/psoc-software/psoc-4-components/psoc-creator-component-datasheet-bluetooth-low-energy-ble/#!/support>, 16 septembre 2019, consulté le : 25 novembre 2022.
- [73] G. MAHER. *sécurité dans les réseaux wi-fi : étude détaillée des attaques et proposition d'une architecture wi-fi sécurisée*. Mémoire Présenté comme exigence partielle de la maîtrise en informatique, université du Québec à Montréal, 2007.
- [74] Guo Yinan., Zhang Shuguo., and Xiao Dawei. *Overview of Wi-Fi Technology*. School of Information and Electrical Engineering China University of Mining and Technology Xuzhou 221116, Jiangsu Province, China, 2012.
- [75] Zigbee Alliance. Zigbee specification. <https://zigbeealliance.org/wp-content/uploads/2019/11/docs-05-3474-21-0csg-zigbee-specification.pdf>, 5 Aout 2015, consulté le : 27 novembre 2022.
- [76] N. Ducort., D. Ray., A. Saadani., O. Hersent., G. Pop., and G. Remond. Lora device developer guide, orange connected objects partnerships., orange actility. <https://developer.orange.com/od-uploads/LoRa-Device-Developer-Guide-Orange.pdf>, Avril 2016, consulté le : 28 novembre 2022.
- [77] Integral System. Integral blog. Qu'est-ce que nb-iot? <https://blog.integral-system.fr/quest-ce-que-nb-iot/>, 18 septembre 2019, consulté le : 28 novembre 2022.
- [78] Bouygues Télécome Entreprises. Comment fonctionne le nb-iot? <https://www.bouyguetelecom-entreprises.fr/lexique/nb-iot/>, consulté le : 29 novembre 2022.
- [79] Goerge matooma wireless logic group. Lte-m : les points essentiels à maîtriser avant de choisir ce réseau? <https://www.matooma.com/fr/s-informer/>

- actualites-iot-m2m/ltem-avantages-specificites-techniques# : ~: text=Le%20protocole%20LTE-M%20est,couvrant%20de%20larges%20zones%20g%20C3%A9ographiques*, 29 Avril 2021, consulté le : 30 novembre 2022.
- [80] Bel A., Bellalta B., and T. Adame. *An energy consumption model for IEEE 802.11ah WLANs*. University Pompeu Fabra, i2CAT Internet and Digital Innovation in Catalonia, 11 decembre 2015.
- [81] GSMA. Road to 5g : Introduction and migration, gsma. https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/04/Road-to-5G-Introduction-and-Migration_FINAL.pdf, Avril 2019, consulté le : 2 decembre 2022.
- [82] Abed O. and Amiri B. *Etude et Réalisation dun système de reconnaissance faciale basé sur une carte ESP32-cam et la librairie OpenCV pour le langage Python*. University de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi, Bordj Bou Arreridj, 26 Juin 2022.
- [83] Bouanik S. and Boudjetat S. *Conception et réalisation d'un système de capteurs sans fil pour la maintenance prédictive des machines*. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila, 2020.
- [84] Espressif. Esp32 series datasheet. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>, mis à jour en 2019, consulté le : 24 Février 2023.
- [85] Upesey. Utiliser les pins gpio de l'esp32. <https://www.upesey.fr/blogs/tutorials/esp32-pinout-reference-gpio-pins-ultimate-guide#le-spi-sur-lesp32>, mis à jour le 6 Juillet 2022, consulté le : 22 Février 2023.
- [86] Microchip. Inter-integrated circuit (i2c). <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/60001116G.pdf>, mis à jour le 23 Juin 2016, consulté le : 23 Mars 2023.
- [87] Jekert Robot maker and Mike118. Guide pour débuter avec arduino. <https://www.robot-maker.com/ouvrages/tuto-arduino/introduction-outil-arduino/>, consulté le : 23 février 2023.
- [88] Upesey. Utiliser les pins gpio de l'esp32. <https://www.upesey.fr/blogs/tutorials/how-to-connect-wifi-acces-point-with-esp32>, mis à jour le 6 Juillet 2022, consulté le : 22 février 2023.
- [89] Upesey. Comment fonctionnent les timers d'un microcontrôleur? <https://cutt.ly/07yNuvn>, mis à jour le 20 janvier 2023, consulté le : 25 février 2023.
- [90] Upesey. Save energy on the esp32 with deep sleep. <https://www.upesey.com/blogs/tutorials/how-to-use-deep-sleep-on-esp32-to-reduce-power-consumption>, mis à jour le 28 novembre 2022, consulté le : 25 février 2023.
- [91] C. Pargana Oliveira Pires. *Identification of residential electricity consumption profiles for building dynamic simulation through smart-meter data*. Thesis to obtain the Master of Science Degree in mechanical engineering, university of Técnico Lisboa, 2017.

- [92] Environmental Protection Agency. Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications. https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/mmgrma_0.pdf, Février 2020, consulté le : 14 Mars 2023.
- [93] W. Djafri. *Composition des services dans l'internet des objet*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en informatique, Université Mohamed Khider BISKRA, soutenu le 30 septembre 2020.
- [94] Blynk. Guide de démarrage blynk. <https://booteille.github.io/blynk-docs-fr/#introduction>, , consulté le : 26 Mars 2023.
- [95] Sam Ingalls. What is a server and what do servers do? <https://www.serverwatch.com/guides/what-is-a-server/>, 21 Juillet 2021, consulté le : 25 Mars 2023.
- [96] Alexander S. Gillis Corinne Bernstein, Kate Brush. Mqtt (mq telemetry transport). <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/MQTT-MQ-Telemetry-Transport>, Janvier 2021, consulté le : 26 Mars 2023.
- [97] Shashidhar Soppin. Everything you need to know about node-red. <https://www.opensourceforu.com/2017/09/node-red/>, 12 Septembre Janvier 2017, consulté le : 27 Mars 2023.
- [98] Ionos. Influxdb : présentation, avantages, premiers pas. <https://www.ionos.fr/digitalguide/hebergement/aspects-techniques/quest-ce-quinfluxdb/>, consulté le : 28 Mars 2023.
- [99] Ryan Tendonge. What is grafana? <https://www.metricfire.com/blog/what-is-grafana/>, 9 Mars 2021, consulté le : 30 Mars 2023.
- [100] NanJing Top Power ASIC Corp. Tp4056 1a standalone linear li-lon battery charger with thermal, regulation in sop-8. <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>, consulté le : 25 Mars 2023.
- [101] VTI TECHNOLOGIE. Spi interface specification. https://www.mouser.com/pdfdocs/tn15_spi_interface_specification.PDF, mis à jour le 19 Septembre 2005, consulté le : 26 Mars 2023.
- [102] Engineers Garage Nikhil Agnihotri. What is the 1-wire protocol? <https://www.engineersgarage.com/what-is-the-1-wire-protocol/>, consulté le : 14 Avril 2023.

Annexe A

A.1. Caractéristiques du BMP280

BMP280 (preliminary) Technical data	
Package dimensions	8-pin LGA with metal 2.0 x 2.5 x 0.95 mm ³
Operation range (full accuracy)	Pressure: 300 ... 1100 hPa Temperature: 0 ... +65 °C
Supply voltage V _{DDIO}	1.2 ... 3.6 V
Supply voltage V _{DD}	1.71 ... 3.6 V
Interface	I ² C and SPI
Average current consumption (typ.) (1 Hz data refresh rate)	2.74 µA (ultra-low power mode)
Average current con- sumption in sleep mode	0.1 µA
Average measurement time	5.5 msec (ultra-low power preset)
Resolution of data	Pressure: 0.18 Pa (equiv. to <10 cm) Temperature: 0.01 K
Absolute accuracy P = 950 ... 1100 hPa (T = 0 ... +65 °C)	~ ±1 hPa
Relative accuracy pressure (typ.) p=950 ... 1050 hPa (+25 °C)	± 0.12 hPa (equiv. to ±1 m)
Temperature coefficient offset (+25° ... +40 °C @900hPa)	1.5 Pa/K (equiv. to 12.6 cm/K)

FIGURE 24 – fiche technique BMP280.[47]

A.2. Tableau d'utilisation de la girouette sparkfun

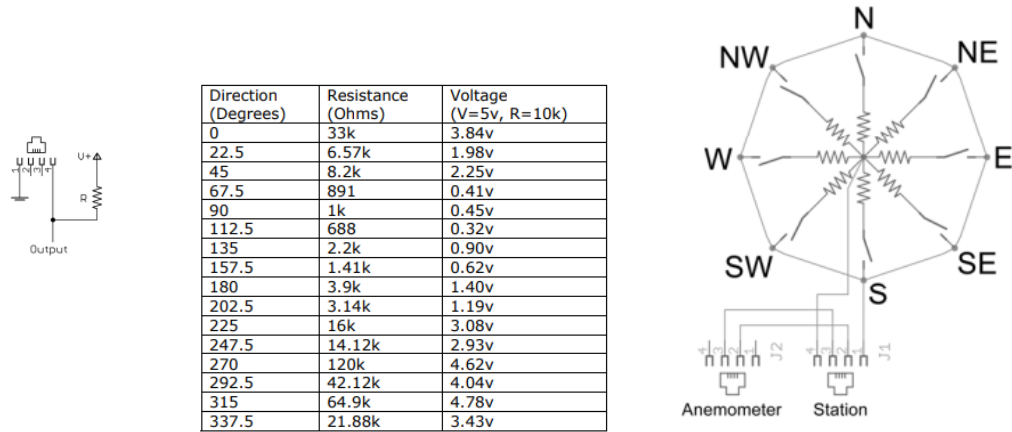


FIGURE 25 – tableau des angles directionnelles en fonction de la tension d'entrée et la résistance.[32]

A.2. Caractéristiques du GuvaS12-SD

Characteristics (25°C)

Item	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Dark Current	I_D	$V_R = 0.1 \text{ V}$	-	-	1	nA
Photo Current	I_{PD}	UVA Lamp, 1 mW/cm^2	-	113	-	nA
		1 UVI	-	26	-	nA
Temperature Coefficient	I_{TC}	UVA Lamp	-	0.08	-	% / °C
Responsivity	R	$\lambda = 300 \text{ nm}$, $V_R = 0 \text{ V}$	-	0.14	-	A/W
Spectral Detection Range	λ	10% of R	240	-	370	nm

FIGURE 26 – Caractéristiques du GuvaS12-SD.[48]

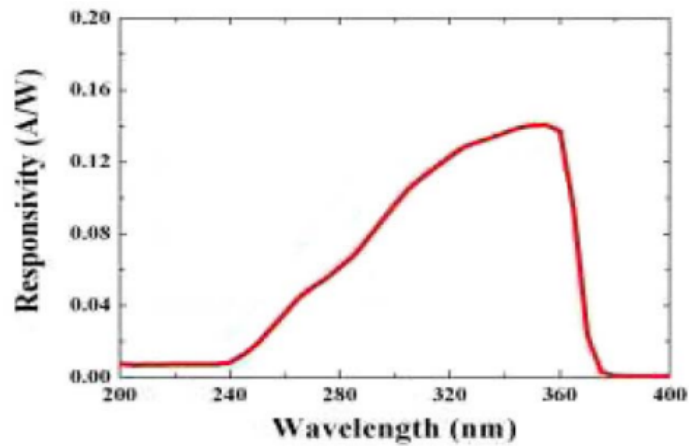


FIGURE 27 – Courbe de réactivité.[48]

B.2. Caractéristiques du module de charge TP4056

Caractéristiques technique : [100]

- Courant de charge programmable jusqu'à 1000mA
- Pas de MOSFET, de résistance de détection ou de diode de blocage nécessaires.
Diode de blocage nécessaires
- Chargeur linéaire complet en boîtier SOP-8 pour une batterie lithium-ion.
- Courant constant/tension constante.
- Charge les batteries Li-Ion à cellule unique directement à partir d'un port USB directement.
- Tension de charge pré-réglée de 4,2 V avec une précision de 1,5 %.
- Recharge automatique.
- Deux broches de sortie d'état de charge.
- Terminaison de charge C/10.
- Seuil de charge à la volée de 2,9V (TP4056).
- Le démarrage progressif limite le courant d'appel.
- Radiateur disponible en boîtier SOP 8 fils, le radiateur doit être connecté à la masse (GND).

○ VALEURS MAXIMALES ABSOLUES [100]

Tension d'alimentation d'entrée VCC :-0.3V à 8V

- TEMP : -0.3V à 10V
- CE : -0.3V à 10V
- Durée de court-circuit de la BAT : Continue.
- Courant de la broche BAT 1200 mA.
- Courant de la broche PROG 1200 μA .
- Température maximale de jonction : 145°C.
- Plage de température ambiante de fonctionnement : -40°C à +85°C.
- Température du plomb (soudure, 10sec) : 260°C.

Complete Charge Cycle (1000mAh Battery)

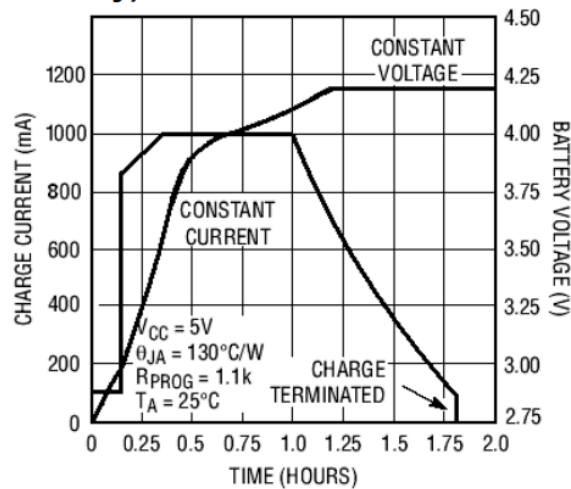


FIGURE 28 – cycle de charge complet
[100]

B.3. Caractéristiques du régulateur de tension MCP1700-3302

Caractéristiques technique : [39]

- Qualifié AEC-Q100 et compatible PPAP.
- Courant de repos typique de $1,6\mu A$.
- Plage de tension de fonctionnement de l'entrée : 2,3 V à 6,0 V.
- Plage de tension de sortie : 1,2V à 5,0V.
- 250 mA Courant de sortie pour les tensions de sortie tensions $\geq 2,5V$.
- 200 mA Courant de sortie pour les tensions de sortie tension $< 2,5V$.
- Tension à faible chute (LDO).
- 178 mV typique à 250 mA pour $V_{OUT} = 2,8V$.
- Tolérance de tension de sortie typique de 0,4% .
- Options de tension de sortie standard :
1.2V, 1.8V, 2.5V, 2.8V, 2.9V, 3.0V, 3.3V, 5.0V.
- Stable avec un condensateur de sortie en céramique de $1,0\mu F$.
- Protection contre les courts-circuits.
- Protection contre la surchauffe.

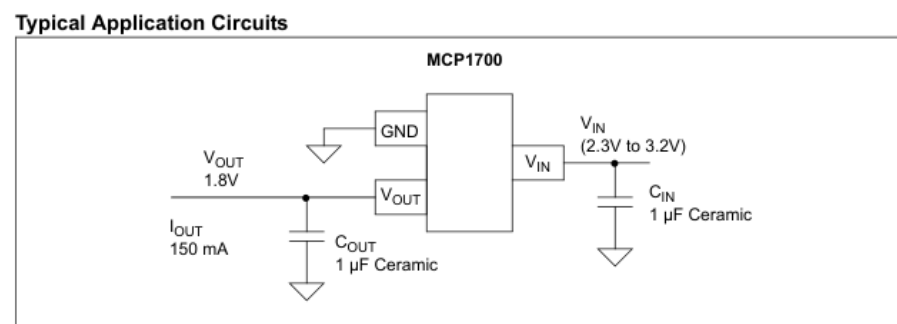


FIGURE 29 – circuit d'application
[39]

C.1. Bus I²C (Inter Integrated Circuit)

- Le transfert de données ne peut être initié que lorsque le bus n'est pas occupé.[86]
- Pendant le transfert de données, la ligne de données doit rester stable lorsque la ligne d'horloge SCLx est à l'état haut. Les modifications de la ligne de données pendant que la ligne d'horloge SCLx est à l'état haut seront interprétées comme une condition de démarrage ou d'arrêt.[86]

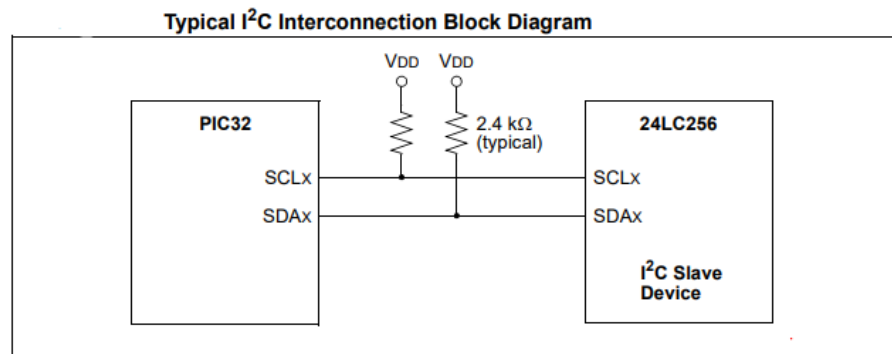


FIGURE 30 – diagramme du bloc d'interconnection
[86]

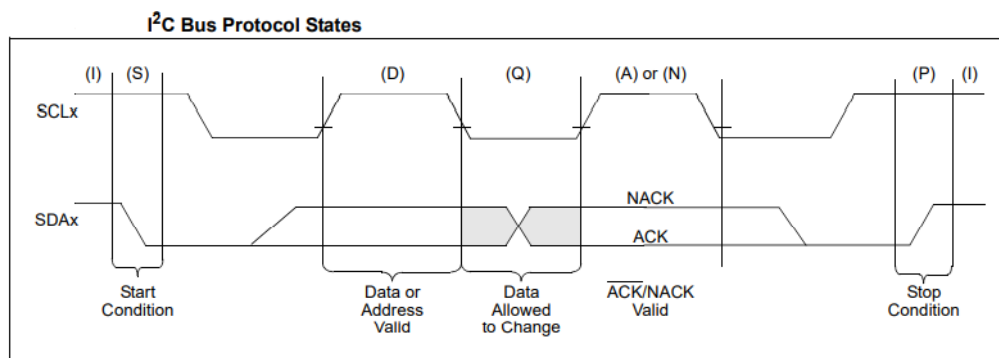


FIGURE 31 – état du protocole du bus
[86]

- Démarage du transfert de données (S)
- Arrêt du transfert de données (P)
- Données valides (D)
- Acquitter (A) ou ne pas acquitter (N)
- Attente/Données non valides (Q)
- BUS idle (I)

C.2. Bus SPI (Serial Peripheral Interface)

L'interface SPI est une interface série synchrone à 4 fils. La communication des données est activée par un fil de sélection de l'esclave ou de sélection de puce (SS) faiblement actif ou Chip Select (CSB). Les données sont transmises à l'aide d'une interface à 3 fils comprenant des fils pour l'entrée de données série (MOSI), la sortie de données série (MISO) et l'horloge série (SCK).^[101]

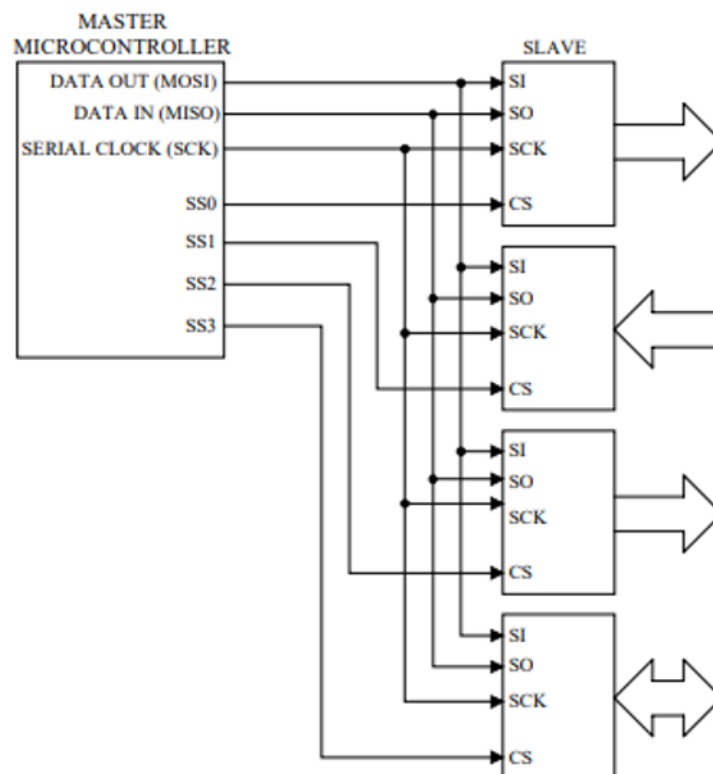


FIGURE 32 – Connection SPI
^[101]

- **MOSI** : master out slave in
- **MISO** : master in slave out
- **CSK** : serial clock
- **CSB** : chip select

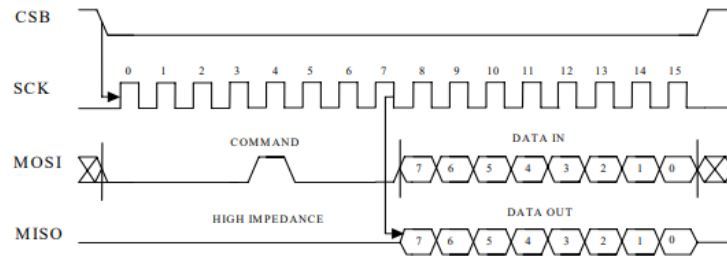


FIGURE 33 – Transmission et commande de données en SPI
[101]

C.3. Protocole One Wire

Le protocole 1-Wire est une interface monofilaire pour la communication de données à faible vitesse dans les microcontrôleurs et les ordinateurs. Le protocole fonctionne sur une seule ligne de données sans signal d'horloge. Il s'agit d'un protocole de communication série maître-esclave dans lequel la communication de données bidirectionnelle half-duplex avec plusieurs esclaves est gérée et contrôlée par un seul maître. [102]

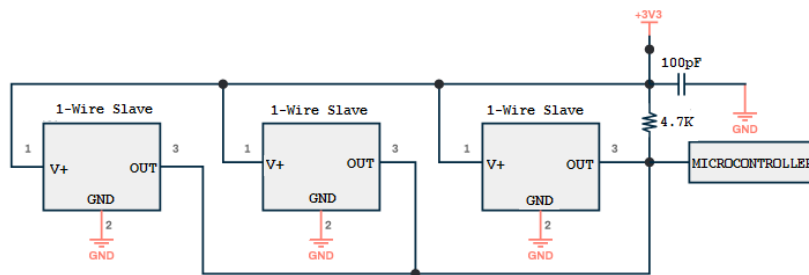


FIGURE 34 – Schéma d'utilisation du protocole One Wire
[102]

Le bus standard à 1 fil comporte au moins deux fils. L'un est la ligne de données et l'autre le retour à la terre. Le maître et les esclaves ont tous deux une connexion à drain ouvert avec la ligne de données. C'est pourquoi une résistance de $4,7K\Omega$ tire généralement la ligne de données vers le haut. On peut alimenter les dispositifs esclaves à 1 fil sous deux modes : parasite et conventionnel. [102]

RÉALISATION D'UN SYSTÈME D'ACQUISITION ET DE VISUALISATION DES MESURES D'UNE STATION MÉTÉOROLOGIQUE CONECTÉE

Résumé :

L'objectif de ce travail consiste en la réalisation d'un système de surveillance météorologique automatique à faible coût pour le traitement de données météorologique dans la région de Chetouane. Ce système utilise une approche IoT pour permettre la surveillance à distance. La station météorologique autonome est alimentée par des mini-panneaux solaires et une batterie Li-Po. Les capteurs collectent les données environnementales locales sans intervention humaine. Les données sont transmises via une carte ESP32 équipée d'un module Wifi et stockée dans une base de données InfluxDB sur un serveur local. La visualisation des mesures en ligne est assurée en premier lieu par Thingspeak ou Blynk, puis en local par l'application Grafana.

Mots clés :

Station météorologique - Paramètres météorologiques - ESP32 - MQTT - Node-Red - Base de données - Influxdb – Grafana

Realization of an acquisition and visualization system of measurements from a connected weather station

Abstract

The objective of this work is to develop a low-cost automatic weather monitoring system for processing weather data in the region of Chetouane. This system uses an IoT approach to enable remote monitoring. The autonomous weather station is powered by a mini solar panel and a Li-Po battery. The sensors collect local environmental data without human intervention. The data is transmitted via an ESP32 card equipped with a Wi-Fi module and stored in an InfluxDB database on a local server. Online visualisation of the measurements is provided first by Thingspeak or Blynk and then locally by the Grafana application.

Keywords

Weather station - Meteorological parameters - ESP32 – MQTT - Node-Red – Database – Influxdb – Grafana

تحقيق نظام لاقتناء وتصوير قياسات محطة طقس متصلة

ملخص

الهدف من هذا العمل هو انجاز نظام أوتوماتيكي منخفض التكلفة لرصد الطقس لمعالجة بيانات الطقس في منطقة شتوان. يستخدم هذا النظام نهج إنترنت الأشياء لتمكين المراقبة عن بعد. يتم تشغيل محطة الطقس المستقلة بواسطة لوحة شمسية صغيرة وبطارية Li-Po. تقوم أجهزة الاستشعار بجمع البيانات البيئية المحلية دون تدخل بشري. يتم إرسال البيانات عبر بطاقة ESP32 المجهزة بوحدة Wi-Fi وتخزينها في قاعدة بيانات InfluxDB على خادم محلي. يتم توفير التصوير عبر الإنترنت للقياسات أولاً بواسطة Thingspeak أو Blynk ثم محلياً بواسطة تطبيق Grafana.

الكلمات الدالة

محطة الطقس - معلمات الأرصاد الجوية - MQTT - ESP32 - Node red - قاعدة البيانات - Influxdb – Grafana