



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

MENTION METEOROLOGIE



Parcours : Sciences et techniques de prévision météorologiques et hydrologiques

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master 2

Titre: Ingénieur

WIRELESS WEATHER STATION «SARIVAZO»



Présenté par : RASOANAIVO Mamiantsa

Date de soutenance : 04 Novembre 2019

Promotion : 2018



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

MENTION METEOROLOGIE



Premier Partenaire des Professionnels

Parcours : Sciences et techniques de prévision météorologiques et hydrologiques

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master 2

Titre: Ingénieur

WIRELESS WEATHER STATION « SARIVAZO »

Présenté par : RASOANAIVO Mamiantsa

Président du jury :

Monsieur RAMANAKOTO Toky Nandrasana, Maître de conférences et Chef de la Mention Météorologie ;

Examinateurs:

- Monsieur RANDRIANARINDRINA Solomamy Olive, Enseignant à l'ESPA, Ingénieur de Recherche de la Météorologie ;
- Monsieur RAVELOMANATSOA Sitraka Chef de Division Agro-météorologique et hydrologique, à la Direction Générale de la Météorologie de Madagascar ;

Directeurs de mémoire:

- Encadreur : Monsieur RAKOTONDRAINA Tahina Ezéchiel, Maître de Conférences et Docteur en Télécommunication.
- Co-encadreur : Monsieur RAKOTOARINOSY Andrianaina Tahina, Enseignant à l'ESPA et chercheur en Météorologie.

Promotion : 2018

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à remercier le Seigneur pour tout l'Amour qu'Il a donné à travers la réalisation de ce mémoire.

J'adresse mes vifs remerciements et profonde gratitude :

A Monsieur RAKOTOSAONA Rijalalaina, Professeur et Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo de m'avoir donné la possibilité de faire mes études dans son établissement.

A Monsieur RAMANAKOTO Toky Nandrasana, Maître de conférences et Chef de la Mention Météorologie, qui nous a éduqué, apporté des conseils et directives, durant ces années de formation.

A Monsieur RAKOTONDRAINA Tahina Ezéchiel, Maître de Conférences et Docteur en Télécommunication, qui malgré ses maintes occupations, m'a partagé ses connaissances et son précieux temps pour l'élaboration à terme et à bien de ce travail.

A Monsieur RAKOTOARINOSY Andrianaina Tahina, Enseignant à l'ESPA et chercheur en Météorologie, qui nous a éduqué et partagé ces connaissances durant ces années de formation, et sans qui ce travail ne serait jamais mené à terme.

Aux membres du JURY qui ont accepté de siéger parmi les membres de jury de ce mémoire.

A tous les Enseignants de l'Ecole Supérieure Polytechnique surtout du Département Météorologie qui nous ont partagé leur savoir-faire.

A Monsieur RABENASOLO Mamy Tiana Alain, Chef Unité d'Observation à l'ASECNA Ivato, pour son aide à la phase de test sur un parc Météorologique.

A Monsieur RASOANAIVO Mamisoa Eléon, observateur météo au sein de l'ASECNA Ivato, pour son aide à la conception de l'abri Météorologique.

A tous mes collègues, amis et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce manuscrit.

A ma merveilleuse famille, pour toutes les formes de soutien dont on m'a témoigné durant l'élaboration de ce travail mais aussi tout au long de mes années d'études à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE I : CONTEXTES GENERAUX

Chapitre I : Généralités météorologiques

Chapitre II : Réseau et liaison de communication

PARTIE II : MATERIAUX ET LOGICIELS

Chapitre I : Matériaux

Chapitre II : Logiciels

PARTIE III: REALISATION DE LA STATION AUTOMATIQUE « SARIVAZO »

Chapitre I : Etude et montage d'un abri Météorologique

Chapitre II : Réalisation du circuit imprimé de la station automatique

PARTIE IV : Résultats et comparaison

Chapitre I : Réseau de communication

Chapitre II: L'interface Web

Chapitre III: Comparaison de Données et étalonnage

CONCLUSION GENERALE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

ADSL: Asymetric Digital Subscriber Line

AES : Advanced Encryption Standard

AP : Access point

API : Application Programming Interface

ARM : Advanced RISC Machine

ASIC : Application-Specific Integrated Circuit

AVR : Alf and Vegard's RISC

AWS : Automatic Weather Station

A/D : Analog to Digital

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CD : Compact Disc

CRC : Control Redundancy Check

CS : Chip Select

CSV : Comma Separated Value

GND : Ground

GPIO : General Purpose Input/Output

GPS : Global Positionning System

IDE : Integrated Developpement Environment

IIR : Infinite Impulse Response

I2C : Inter Integrated Circuit

LCD : Liquid Crystal Display

LED : Light-Emitting Diode

LLC : logical Link Control

MAC : Media Access Control

MCU : Microcontroller Unit

MISO : Master in slave out

MOSI : Master Out Slave In

NIC : Network Interface Controller

OEM : Original Equipment Manufacturer

LISTE DES ABREVIATIONS

- OMM : Organisation Météorologique Mondiale
- OTP : One Time Programmable
- PCB : Printed circuit board
- PCI : Peripherical Component Interconnect
- PNG : Portable Network Graphics
- PROM : Programmable Read-Only Memory
- RH : Relative Humidity
- RTC : Real Time Clock
- SCL : Signal Clock
- SCK : SPI Clock
- SD : Secure Digital
- SDA : Signal Data
- SDHC : Secure Digital High Capacity
- SPI : Serial Peripherical Interface
- TCP/IP : Transmission Control Protocol / Internet Protocol
- TTL : Transistor-Transistor Logic
- UART : Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
- USB : Universal Serial Bus
- WiFi : Wireless Fidelity
- WLAN : Wireless Local Area Network
- 2D : 2 Dimension
- 3D : 3 Dimension

LISTE DES FIGURES

- Figure I. 1 : Un Adapteur sans fil**
Figure I. 2 : Un point d'accès
Figure I. 3 : Le bus I2C
Figure I. 4 : Architecture Modebus
Figure I. 5 : Format de message RS 485
Figure II. 1 : Arduino Uno
Figure II. 2 : Raspberry Pi Model B
Figure II. 3 : Esp32 WROOM
Figure II. 4 : Carte NodeMCU ESP32S
Figure II. 5 :AT24C32
Figure II. 6 : Horloge à temps réel DS3231
Figure II. 7 : Lecteur SD card
Figure II. 8 :DHT22 capteur de température et humidité
Figure II. 9 : Processus de communication global
Figure II. 10 : Transmission du signal provenant de l'MCU
Figure II. 11 : Transmission des données provenant du DHT22
Figure II. 12 : Module Capteur de pression GY-BMP280
Figure II. 13 : Capteur de pression BMP280
Figure II. 14 : BMP280 measurement cycle
Figure II. 15 : Adafruit anémomètre
Figure II. 16 : Plug mâle Adafruit anémomètre
Figure II. 17 : Plug femelle Adafruit anémomètre
Figure II. 18 :MAX485 MOBUS
Figure II. 19 : Diagramme de connexion Anémomètre
Figure II. 20 : Pin femelle de l'anémomètre
Figure II. 21 : Fonctionnement des accumulateurs Lithium polymère
Figure II. 22 : Proteus de Labcenter Electronics
Figure II. 23 : Exemple de schéma du circuit d'une tension alternative fait sous ISIS
Figure II. 24 : Interface ISIS
Figure II. 25 : Barres d'outils de commande
Figure II. 26 : Barre d'outils de sélection de mode
Figure II. 27 : Sélecteur d'objet
Figure II. 28 : Exemple de circuit imprimé fait sous ARES
Figure II. 29 : Interface d'ARES
Figure II. 30 : Commande de circuit
Figure II. 31 : Les outils de sélection de mode
Figure II. 32 : Interface Autocad 2020
Figure II. 33 : Commande 3D
Figure II. 34 : Commande d'interface
Figure II. 35 : Commande de Plan
Figure II. 36 : Commande de Dimensionnement
Figure II. 37 : Interface arduino IDE
Figure II. 38 : Commande sketch
Figure II. 39 : Palette de choix de carte
Figure II. 40 : Gestionnaire de bibliothèque
Figure II. 41 : Interface notepad++
Figure III. 1 : Flux de circulation de l'air dans l'abri
Figure III. 2 : Vue explosive de l'abri

LISTE DES FIGURES

- Figure III. 3 : Le toit de l'abri**
Figure III. 4 : Toit inférieur
Figure III. 5 : Le plancher
Figure III. 6 : Double persiennes
Figure III. 7 : Intérêt des doubles persiennes avec la trajectoire de la lumière
Figure III. 8 : Les montants et traverses
Figure III. 9 : Les cloisons de l'abri
Figure III. 10 : Tableau de bord
Figure III. 11 : Socle de l'anémomètre
Figure III. 12 : Socle de l'abri météorologique
Figure III. 13 : PCB du projet
Figure III. 14 : Schéma de montage des sondes
Figure IV. 1 : Communication avec un réseau hébergé sous windows
Figure IV. 2 : Communication avec un réseau hébergé par un point d'accès
Figure IV. 3 : Configuration du point d'accès smartphone
Figure IV. 4 : Communication avec un réseau hébergé par un point d'accès smartphone
Figure IV. 5 : La page web générée par SARIVAZO
Figure IV. 6 : Interface web adapté à un écran mobile
Figure IV. 7 : Bloc moniteur
Figure IV. 8 : Le bloc de partage
Figure IV. 9 : Le bloc afficheur de courbes
Figure IV. 10 : La Barre d'option
Figure IV. 11 : Courbe de température de la Station d'Ivato (21 :00 à 08 :00 heure locale)
Figure IV. 12 : Courbe de température de la Station SARIVAZO (21 :00 à 08 :00 heure locale)
Figure IV. 13 : Courbe d'humidité de la Station d'Ivato (21 :00 à 08 :00 heure locale)
Figure IV. 14 : Courbe d'humidité de la Station SARIVAZO (21 :00 à 08 :00 heure locale)
Figure IV. 15 : Courbe de pression de la Station d'Ivato (21 :00 à 08 :00 heure locale)
Figure IV. 16 : Courbe de pression de la Station SARIVAZO (21 :00 à 08 :00 heure locale)
Figure IV. 17 : Courbe de la vitesse du vent de la Station d'Ivato (21 :00 à 08 :00 heure locale)
Figure IV. 18 : Courbe de la vitesse du vent de la Station SARIVAZO (21 :00 à 08 :00 heure locale)
Figure A. 1 : Les broches de connexion de l'ESP32
Figure B. 1 : LCD 20x4 front
Figure B. 2 : LCD 20x4 Dos
Figure B. 3 : EGP35
Figure B. 4 : Mounted on a 20x4 LCD display
Figure C. 1 : Diagramme de connection Pin du lecteur SD Card
Figure E. 1 : Diagramme de connection Pin du GY-BMP280
Figure G. 1 : Principe de l'énergie solaire photovoltaïque
Figure G. 2 : Une cellule photovoltaïque
Figure G. 3 : 18 cellules photovoltaïques en série
Figure G. 4 : Nébulosité et rayonnement solaire
Figure G. 5 : Fabrication des panneaux photovoltaïques à cellules cristallines
Figure i 1 : Organigramme du fonctionnement de l'appareil SARIVAZO
Figure i 2 : Organigramme de la connexion au réseau

LISTE DES PHOTOS

- Photo I. 1 : Exemple typique d'une station automatique**
Photo II. 1 : Batterie lithium-polymère
Photo II. 2 : Chargeur de la batterie
Photo III. 1 : Persienne collé
Photo III. 2 : Montage des traverses et montants
Photo III. 3 : Cloison après renforcement
Photo III. 4 : Cloison après renforcement vue de profil
Photo III. 5 : Abri après montage des cloisons et du toit.
Photo III. 6 : Abri après peinture
Photo III. 7 : Plaque de cuivre découpé
Photo III. 8 : Plaque de cuivre scotché au papier glacé
Photo III. 9 : Repassage au dos du papier glacé
Photo III. 10 : Plaque après retrait du papier
Photo III. 11 : Gravure à l'acide chlorhydrique
Photo III. 12 : Montage des sondes et périphériques
Photo III. 13 : Montage au tableau de bord
Photo III. 14 : Montage de la carte mère
Photo III. 15 : Fixation du tableau de bord
Photo III. 16 : Abri placé dans un parc météorologique
Photo H. 1 : Première page du carnet du 20-10-19
Photo H. 2 : Troisième page du carnet du 20-10-19
Photo H. 3 : Quatrième page du carnet du 20-10-19
Photo H. 4 : Première page du carnet du 21-10-19
Photo H. 5 : Troisième page du carnet du 21-10-19
Photo H. 6 : Quatrième page du carnet du 21-10-19

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I. 1 : Les Différentes révisions de la norme 802.11**
- Tableau II. 1 : Détails techniques de l'ESP32**
- Tableau II. 2 : DHT Spécification technique**
- Tableau II. 3 : GY-BMP280 Spécification technique**
- Tableau II. 4 : Adafruit anémomètre Spécification technique**
- Tableau II. 5 : Séquence des Pin de l'anémomètre**
- Tableau III. 1 : Caractéristiques principales de l'abri et outils de travail**
- Tableau IV. 1 : Etalonnage de température**
- Tableau IV. 2 : Etalonnage de l'humidité**
- Tableau IV. 3 : Etalonnage de Pression**
- Tableau IV. 4 : Vérification des données de la vitesse du vent**
- Tableau B. 1 : Afficheurs OEM**
- Tableau C. 1 : Séquence des Pin du lecteur SD Card**
- Tableau D. 1 : Séquence des Pin du DHT22**
- Tableau E. 1 : Séquence des Pin du GY-BMP280**

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : Broche de connexion du Nodemcu ESP32S

ANNEXE B : Les afficheurs LCD

ANNEXE C : Connexion d'un lecteur SD Card sur un microcontrôleur

ANNEXE D : Connexion et exemple de programme pour le capteur de Température et humidité

ANNEXE E : Connexion et exemple de programme pour le capteur de Pression Atmosphérique

ANNEXE F: Exemple de programme pour l'Anémomètre Analogique

ANNEXE G: Les technologies de capteur photovoltaïque

ANNEXE H: Carnet d'observation

INTRODUCTION GENERALE

Lorsque, dans le courant de l'année 1915, furent formées les premières stations météorologiques militaires du front, les promoteurs de cette création étaient suffisamment au courant des progrès de la météorologie pour savoir ce que l'on pouvait en attendre de positif dans les choses de la guerre, et quelles étaient les limites de ses possibilités. [1]

Les mises en place de stations automatiques se sont largement développées ces dernières décennies, grâce aux progrès de l'électronique et des transmissions bien entendu, mais d'abord parce qu'elles apportaient une solution à un problème de plus en plus contraignant aux niveaux humain, technique et économique : l'impossibilité pratique d'assurer sur place la gestion de l'ensemble des stations météorologiques au sol par un personnel spécialisé, disponible à tout moment d'observation et suffisamment nombreux. À cet égard, l'automatisation des stations d'observation s'est révélée très bénéfique dans la gestion de réseaux spécifiques, tels que la climatologie, l'agro-météorologie, la surveillance de la qualité de l'air ou les campagnes d'expérimentation, ainsi que dans l'implantation de sites en environnement hostile, comme les îles inhabitées ou la haute montagne. [I]

C'est dans l'esprit de vouloir apporter à la météorologie le plus d'accès et un suivi à distance des données d'observation, avec les nouvelles technologies en micro-électronique, que ce projet a été développé. Le système est basé sur un microcontrôleur nommé Nodemcu ESP32S, équipé de capteurs peu coûteux et flexibles, installé dans un abri de type Stevenson, et communique via WiFi.

Pour cela, le présent ouvrage détaillera en premier lieu le contexte général de l'étude, puis en second lieu la configuration Matérielle et logiciel, suivi de la réalisation de la station automatique nommée «SARIVAZO », et en dernier lieu la présentation des résultats et comparaisons des données.

PARTIE I : CONTEXTES GÉNÉRAUX

Chapitre I : Généralités météorologiques

Les observations météorologiques (environnementales et géophysiques connexes) sont effectuées à de multiples fins. Elles sont utilisées pour l'établissement d'analyses et de prévisions météorologiques en temps réel, pour les prévisions et les alertes d'évènements météorologiques exceptionnels, pour l'étude du climat, pour la gestion locale dépendant du temps qu'il fait (par exemple : exploitation d'un aérodrome, construction d'ouvrages sur la terre ferme et en mer), en hydrologie et en météorologie agricole, et pour les recherches en météorologie et climatologie.

La météorologie ne serait rien sans instruments qui nous permettent d'obtenir des valeurs objectives des paramètres atmosphériques à certaines conditions, de collecter des données qui pourront être traitées pour en tirer certaines conclusions. Une station météorologique est un complexe avec plusieurs équipements et instruments de mesure pour l'observation des conditions atmosphériques. Plusieurs paramètres d'état sont analysés qui sont spécifiquement la température, la pression atmosphérique, humidité, la vitesse et la direction du vent, les précipitations.

Ce Chapitre revient brièvement sur la généralité indispensable à la compréhension des aspects essentiels de chaque composant principal.

I.1 Notions sur les observations météorologiques [2]

Une observation est le niveau auquel est précisément décrite la valeur d'une variable nécessitée pour un besoin spécifique. Il n'y a donc pas de qualité uniformément fixée pour toutes les observations, mais elle résulte de l'appréciation conjointe de l'instrumentation, du pas de temps de mesure et de l'exposition en fonction des besoins d'une application particulière. Les utilisateurs des observations météorologiques ont souvent besoin de connaître l'exposition, le type et l'état des instruments ainsi que la façon dont ils sont exploités, et peut-être le détail des observations. Cela est aujourd'hui particulièrement important pour les études climatiques, pour lesquelles on doit examiner précisément l'histoire des stations.

I.1.1 Systèmes d'observation météorologiques [2]

La demande en données d'observation peut être satisfaite au moyen de mesures in situ et par télédétection (y compris à partir de l'espace) selon la capacité des différents systèmes de capteurs à mesurer l'élément considéré. L'Organisation Météorologique Mondiale subdivise les besoins en mondiaux, régionaux et nationaux et d'après les domaines applications. Le Système mondial d'observation conçu afin d'y répondre se compose d'un sous-système de surface et d'un sous-système spatial. Le sous-système de surface comprend un large éventail de stations dont le type varie en fonction des applications (station synoptique de surface, station aérologique, station climatologique etc.). Le sous-système spatial comprend un certain nombre d'engins spatiaux dotés d'équipements de sondage et le segment au sol apparié de commande, contrôle et réception des données. Pour atteindre certaines observations météorologiques grâce à des systèmes automatiques, par exemple le temps présent, on doit faire appel à une approche appelée « multi capteur », où le résultat est obtenu par un algorithme appliqué aux sorties de différents capteurs.

PARTIE I : Chapitre I : Généralités météorologiques

I.1.2 Station météorologique automatique

La plupart des éléments qu'il faut observer à des fins synoptiques, climatologiques ou aéronautiques peuvent se mesurer à l'aide de systèmes automatiques. A mesure que les capacités des systèmes automatiques augmentent, la part des stations météorologiques entièrement automatiques s'accroît régulièrement par rapport à celle des stations desservies par des observateurs humains (utilisant ou non des instruments automatiques). [2]

Selon le Guide de l'Organisation météorologique mondiale (OMM ou WMO pour World Meteorological Organization), une station météorologique automatique (ou AWS pour Automatic Weather Station) est définie comme un dispositif comprenant des instruments et équipements mesurant et enregistrant des paramètres météorologiques sans intervention humaine. En général, une AWS contient un équipement à base de capteurs. Une AWS standard permet d'enregistrer un ensemble de variables météorologiques de base telles que température, humidité, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent, précipitations, ensoleillement, radiation, hauteur des nuages, visibilité. Une AWS comprend typiquement un coffret étanche renfermant le data logger, une batterie rechargeable et des capteurs de mesure. Mais dans ce projet de mémoire, tous les appareils sont installés à l'intérieur d'un abri météorologique. Voilà ci-après un exemple typique d'une station météorologique automatique



Photo I. 1 : Exemple typique d'une station automatique
Source : Station agro-météorologique/Wikipédia

PARTIE I : Chapitre I : Généralités météorologiques

I.2 Mesures météorologique

Les mesures météorologiques sont des processus qui consistent à mesurer les propriétés physiques de l'atmosphère. [3] On observe une large variété de paramètres physiques caractérisant la condition météorologique. Mais dans le cadre de ce projet, en raison de leur pertinence au sujet d'observation en temps réel, les quatre paramètres météorologiques suivants sont mesurés : la pression atmosphérique, la température de l'air, l'humidité relative, et la vitesse du vent, qui sont abordés plus en détail ci-après.

I.2.1 la pression atmosphérique

La pression atmosphérique résulte des chocs des molécules d'air entre elles et avec les éléments dans l'atmosphère. C'est, avec la température, un paramètre fondamental en météo pour prévoir le temps qu'il fera. Historiquement, les premières mesures de la pression atmosphérique ont été effectuées par TORRICELLI dans les canaux de VENISE. De là fut mis au point un instrument pour la mesurer, **le baromètre**. Celui-ci utilise du mercure (Hg) pour mesurer la pression atmosphérique. La première unité de mesure de la pression atmosphérique fut le millimètre de mercure (mmHg) ou le pouce de mercure (InHg) pour les Anglosaxons. [4] Dans le système international d'unités, la pression se donne en Pascal. En météo il est plus pratique d'utiliser l'hectopascal (1 hPa = 100 Pa). On utilise également le millibar (1 mbar = 1 hPa). La valeur moyenne au niveau de la mer est de 1013 hPa soit 760mmHg. Nous retiendrons que :

En moyenne à 0 m : $P_{atm} = 1013 \text{ hPa} = 1013 \text{ mbar} = 760 \text{ mmHg} = 29,92 \text{ InHg}$ et

$1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$

L'équation (1) décrit comment la pression est calculée. [5]

$$P = (B + C) \times \frac{1+bxt}{1+mxt} \times \frac{g}{G} \times c' \quad (1)$$

P = pression au niveau de la station, en hPa.

B = lecture brute du baromètre, en hPa.

C = correction instrumentale fixe, en hPa.

t = température du baromètre, en °C.

b = coefficient de dilatation du métal gradué : 184×10^{-7}

m = coefficient de dilatation du mercure : 1818×10^{-7}

g =gravité à la station, en $m.s^{-2}$, obtenue à l'aide des formules suivantes :

$$g = g_0 - 0.000003086 \times Z \quad (2)$$

$$g_0 = 9.80616 \times (1 - 0.0026373 \times \cos 2\varphi + 0.0000059 \times \cos^2(2\varphi)) \quad (3)$$

φ =latitude de la station.

g_0 =gravité au niveau de la mer et à la latitude φ , en $m.s^{-2}$.

Z = altitude de la cuvette barométrique en mètre noté aussi H_b .

PARTIE I : Chapitre I : Généralités météorologiques

G= gravité normale conventionnelle, 9.80665 m.s^{-2}

c'= correction thermique qui résulte de la dilatation globale du mercure pour les baromètres à large cuvette, de l'ordre de quelque centièmes d' hPa et négligeable en général.

I.2.2 La température

La température est une grandeur de nature statique, une donnée fondamentale en météorologie car, avec la pression et l'humidité, elle permet de déterminer les principales caractéristiques de l'état physique de l'atmosphère. En surface, la température est mesurée à 1,50m au-dessus du sol, à l'abri du rayonnement et des précipitations. L'unité de mesure de la température est le Kelvin, noté K, dont l'échelle est définie à partir de deux états : la température d'équilibre glace-liquide-vapeur, ou au point triple de l'eau, qui vaut 273,16K, et le zéro absolu ($T=0 \text{ K}$), qui correspond à un état où les atomes et les molécules ne s'agiteraient plus (énergie cinétique nulle). Le degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) est le plus utilisée dans la vie courante, dont l'échelle est définie à partir de la glace fondante ($T= 0^{\circ}\text{C}$) et de l'eau bouillante ($T = 100^{\circ}$ à la pression normale de 1013,25 hPa). La relation qui permet de passer de l'échelle Celsius au Kelvin est :

$$T(\text{K})= T\text{ }(^{\circ}\text{C}) + 273,15 \quad (4)$$

I.2.3 La température de rosée

C'est la température à partir de laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air humide commence à se condenser au contact d'une surface froide. [II] Pour calculer la température de rosée on utilise l'équation suivant:

$$Td = \left(\frac{(\ln(e) - 1.81)}{(0.0805 - 0.00421 \times \ln(e))} \right) \quad (5)$$

Où e est la tension de vapeur réelle.

I.2.4 Le vent [4]

Le vent est un déplacement d'air horizontal dû à des différences de pression entre les points de la surface de la terre.

Le vent résulte de l'action de trois types de forces sur l'air en mouvement :

- ◆ **La force de gradient de pression**

Elle est due à la différence de pression entre les points de la surface de la terre. Elle entraîne l'air des hautes vers les basses pressions. Plus les différences de pression sont importantes et plus cette force est importante. En pratique lorsque l'on observe les isobares d'une carte météo, plus elles sont rapprochées et plus le vent est fort.

PARTIE I : Chapitre I : Généralités météorologiques

La force du gradient de pression peut être décrite mathématiquement avec l'équation suivante:[3]

$$F = \left| \frac{1}{D} \cdot \frac{P_1 - P_2}{n} \right| \quad (6)$$

F = force du gradient de pression ou accélération de l'air [m.s⁻²]

D = densité de l'air (densité moyenne de l'air à la surface est 1,29 kg.m⁻³)

P₂, P₁ = pressions respectives aux points 2 et 1 [N.m⁻²]

n = distance entre les deux points [m]

◆ La force de CORIOLIS

Tout objet en mouvement dans l'hémisphère nord est dévié vers sa droite. (C'est le contraire dans l'hémisphère sud). Les particules d'air n'y font pas exception. Lors de son déplacement des hautes vers les basses pressions, l'air est dévié vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud.

◆ Les forces de frottements

Lors de son mouvement, l'air frotte contre les autres particules d'air et le sol. Cela entraîne des forces s'opposant à son mouvement. Elles ne le dévient pas mais le freinent. L'action de ces trois forces a pour conséquence de stabiliser la direction du vent

La vitesse du vent est souvent mesurée par des anémomètres, principalement l'anémomètre à coupelle. Elle s'exprime soit en mètre par seconde (m/s), soit en kilomètre par heure (km/h) soit en noeuds (1kt = 0,5m/s). L'appareil de mesure comporte trois demi-sphères creuses capables de tourner par rapport à un axe vertical. La vitesse de rotation est ainsi directement proportionnelle à la vitesse du vent. [2] Alternativement, la vitesse du vent peut aussi être déterminée sans intervention d'instruments par estimation au moyen de l'échelle de la force de vent de Beaufort. Elle permet une estimation de la vitesse du vent moyen à partir des manifestations causées par le vent observées sur le comportement de l'environnement telles que le mouvement des fumées, le mouvement des arbres, l'inclinaison d'une manche à air, le déplacement des nuages, siflement dans les lignes téléphoniques et les fils électriques, etc. Plus cette moyenne augmente, plus la force beaufort s'accentue. [2]

I.2.5 L'humidité relative de l'air

L'air atmosphérique contient de la vapeur d'eau. Celle-ci provient de l'évaporation au-dessus des mers, des lacs, des sols humides ou elle est produite par l'activité humaine.

La quantité de vapeur d'eau qui peut être contenue dans l'air dépend des conditions de température et de pression de ce dernier. Plus la température de l'air est élevée et plus la quantité d'eau qui peut être dissoute est importante. L'humidité relative correspond au rapport de la pression partielle de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante à la même température et pression. Elle est aussi appelée degré hygrométrique et s'exprime en %. L'instrument permettant de mesurer ce paramètre est connu sous le nom d'hygromètre.

PARTIE I : Chapitre I : Généralités météorologiques

On peut calculer la valeur de l'humidité relative par la formule ci-après [3] :

$$U(t) = \frac{e}{e^*(t)} \cdot 100 \quad (7)$$

e = pression partielle de vapeur d'eau

$e^*(t)$ = pression de vapeur saturante

La pression de vapeur saturante est calculée par :

$$e^*(t) = \alpha \cdot e^{\frac{\beta \cdot t}{\lambda + t}} \quad (8)$$

t = température [°C]

$\alpha = 6,112$ hPa

$\beta = 17,62$

$\lambda = 243,12^\circ\text{C}$

Chapitre II : Réseau et liaison de communication

De nos jours, les appareils sont interconnectés. Que ce soit avec ou sans fil, les liaisons sont de plus en plus performants et stables. De ce fait, le bruitage est réduit considérablement.

II.1 Les réseaux sans fils

Un réseau sans fils (en anglais wireless network) est, comme son nom l'indique, un réseau dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison filaire. Grâce aux réseaux sans fils, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité".

Les réseaux sans fils sont basés sur une liaison utilisant des ondes radio-électriques (radio et infrarouges) en lieu et place des câbles habituels. Il existe plusieurs technologies se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions.

Les réseaux sans fils permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires. En contrepartie se pose le problème de la réglementation relatives aux transmissions radio-électriques. De plus les ondes hertziennes sont difficiles à confiner dans une surface géographique restreinte, il est donc facile pour un pirate d'écouter le réseau si les informations circulent en clair. Il est donc nécessaire de mettre en place les dispositions nécessaires de telle manière à assurer une confidentialité des données circulant sur les réseaux sans fils. [6]

II.1.1 Réseaux locaux sans fils

Le réseau local sans fils (WLAN pour Wireless Local Area Network) est un réseau permettant de couvrir l'équivalent d'un réseau local d'entreprise, soit une portée d'environ une centaine de mètres. Il permet de relier entre-eux les terminaux présents dans la zone de couverture. Sur un ordinateur disposant d'une carte réseau et fonctionnant sous windows il suffit d'écrire cette ligne de commande sur une console exécuté en tant qu'administrateur pour créer un réseau à hébergé : « netsh wlan set hostednetwork mode=allow ssid=nom_du_reseau key=mot_de_passe ». Et la commande suivante pour démarrer le réseau hébergé : « netsh wlan start hostednetwork ».

II.1.2 Le WIFI

II.1.2.1 Historique

En 1997, alors que l'attention est accaparée par le succès d'Internet et l'euphorie boursière montante, un événement est passé inaperçu sauf pour quelques spécialistes et observateurs: l'adoption du standard 802.11 ou Ethernet sans fil. Exploitant la bande de fréquence de 2,4 GHz, le 802.11 plafonnent à un débit de 2 Mbits/s au maximum. Ce précurseur est suivi de plusieurs déclinaisons dont le célèbre Wi-Fi qui connaît un franc succès, aidé par le volontarisme des fabricants, distributeurs et fournisseurs de services. Wi-Fi, est un nom composé et signifiant « Wireless Fidelity ». Il désigne les différentes déclinaisons de la norme 802.11 qui permet à plusieurs ordinateurs de communiquer sans fil en utilisant comme support les ondes radio. Les câbles disparaissent enfin. [6]

II.1.2.2 Présentation du WiFi 802.11

Le Wi-Fi est un ensemble de fréquences radio qui élimine les câbles, partage une connexion Internet et permet l'échange de données entre plusieurs postes.

La norme 802.11, une liaison sans fil utilisant des ondes électromagnétiques, c'est-à-dire :

- La couche physique (notée parfois couche PHY), proposant trois types de codage de l'information.
- La couche liaison de données, constitué de deux sous-couches : le contrôle de la liaison logique (Logical Link Control, ou LLC) et le contrôle d'accès au support (Media Access Control, ou MAC)

La couche physique définit la modulation des ondes radio-électriques et les caractéristiques de la signalisation pour la transmission de données. Tandis que la couche liaison de données définit l'interface entre le bus de la machine et la couche physique, notamment une méthode d'accès proche de celle utilisée dans le standard Ethernet et les règles de communication entre les différentes stations. [6]

II.1.2.3 Les différentes normes WiFi

La norme 802.11 est en réalité la norme initiale offrant des débits de 1 ou 2 Mbps. Des révisions ont été apportées à la norme originale afin d'optimiser le débit (c'est le cas des normes 802.11a, 802.11b et 802.11g, appelées normes 802.11 physiques) ou bien préciser des éléments afin d'assurer une meilleure sécurité ou une meilleure interopérabilité.

Tableau I. 1 : Les Différentes révisions de la norme 802.11

Nom de la norme	Description
802.11a	La norme 802.11a permet d'obtenir un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels). La norme 802.11a spécifie 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 GHz
802.11b	La norme 802.11b est la norme la plus répandue actuellement. Elle propose un débit théorique de 11 Mbps (6 Mbps réels) avec une portée pouvant aller jusqu'à 300 mètres dans un environnement dégagé. La plage de fréquence utilisée est la bande des 2.4 GHz, avec 3 canaux radio disponibles.
802.11g	La norme 802.11g offrira un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels) sur la bande de fréquence des 2.4 GHz. Cette norme vient d'être validée. La norme 802.11g a une compatibilité ascendante avec la norme b.
802.11e	La norme 802.11e vise à donner des possibilités en matière de qualité de service au niveau de la couche liaison de données. Ainsi cette norme a pour but de définir les besoins des différents paquets en termes de bande passante et de délai de transmission de telle manière à permettre notamment une meilleure transmission de la voix et de la vidéo.
802.11i	La norme 802.11i a pour but d'améliorer la sécurité des transmissions (gestion et distribution des clés, chiffrement et authentification). Cette norme s'appuie sur l'AES (Advanced Encryption Standard) et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g.

Source : Les réseaux sans fil, DI GALLO Frédéric

II.1.2.4 Les équipements WiFi

Il existe différents types d'équipement pour la mise en place d'un réseau sans fil WiFi :

➤ Les Adapteurs sans fil ou cartes d'accès

En anglais wireless adapters ou network interface controller, noté NIC. Il s'agit d'une carte réseau à la norme 802.11 permettant à une machine de se connecter à un réseau sans fil. Les adaptateurs WiFi sont disponibles dans de nombreux formats (carte PCI ou «Peripheral Component Interconnect», adaptateur USB ou «Universal Serial Bus», carte compactflash, ...). On appelle station tout équipement possédant une telle carte. A noter que les composants Wi-Fi deviennent des standards sur l'ordinateur portable (Samsung, Acer, Asus, etc...). [6]



Figure I. 1 : Un Adapteur sans fil

Source : Les réseaux sans fil, DI GALLO Frédéric

➤ Les points d'accès

Notés AP pour Access point, parfois appelés bornes sans fil, permettant de donner un accès au réseau filaire (auquel il est raccordé) aux différentes stations avoisinantes équipées de cartes WiFi. Cette sorte de hub (accueil) est l'élément nécessaire pour déployer un réseau centralisé en mode infrastructure. Certains modèles proposent des fonctions de modem ADSL ou «Asymmetric Digital Subscriber Line» et comprennent plus ou moins de fonctions comme un pare-feu.[6]



Figure I. 2 : Un point d'accès

Source : Les réseaux sans fil, DI GALLO Frédéric

➤ Les autres

- Smart Display : téléphone, tablettes.
- Chaines WiFi : offrant la capacité de lire les MP3 directement sur le disque dur d'un ordinateur grâce à l'interface Ethernet sans fil intégrée. Elle préfigure toute une génération de produits, capables de lire, outre les CD ou « Compact Disc » audio, les radios qui émettent en MP3 sur Internet.
- Rétroprojecteurs: pour des présentations avec portables mobiles.
- Caméra vidéo: transmettre des images à distance à l'ordinateur qui les enregistre.

II.2 Le bus I2C

II.2 .1 Historique

Le bus I2C (Inter Integrated Circuit) fait partie des bus série : 3 fils pour faire tout passer. Il a été développé au début des années 1980, par Philips pour minimiser les liaisons entre les circuits intégrés numériques de ses produits (Téléviseurs, magnétoscopes, ...).[III]

II.2 .2 Caractéristiques

Le bus I2C permet de faire communiquer entre eux des composants électroniques très divers grâce à seulement trois fils : un signal de données (Signal Data ou SDA), un signal d'horloge (Signal Clock ou SCL), et un signal de référence électrique (masse, Ground ou GND).

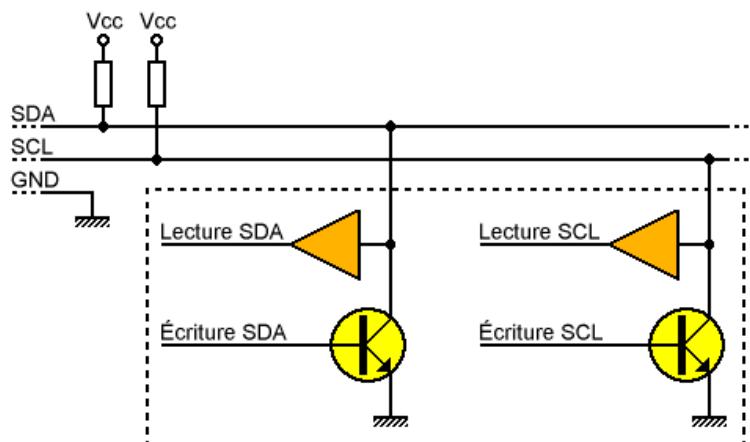


Figure I. 3 : Le bus I2C

Source: www.aurel32.net/elec/i2c.php, le bus I2C, 19/10/2019

Il s'agit d'une liaison en mode série, ce qui signifie que la vitesse de transfert sera plus faible qu'avec un bus de type parallèle. Le bus I2C permet cependant des échanges à la vitesse de 100 kbits par seconde. Certes, la vitesse de transfert du bus I2C n'est pas fulgurante, mais dans bien des cas, la vitesse n'est pas l'élément prédominant. En ce qui concerne la lecture des signaux SDA et SCL, cela ne pose pas de problème. Les signaux peuvent être lus en permanence sans risque d'interférer sur le niveau de la ligne. [III]

PARTIE I : Chapitre II : Réseau et liaison de communication

De nombreux fabricants ayant adopté le système, la variété des systèmes disponibles disposant d'un port I2C est énorme :

- Microcontrôleurs.
- expandeurs de bus (entrée/sortie 8 bits).
- mémoires (RAM ou Random Access Memory, PROM ou Programmable Read-Only Memory)
- récepteurs infra-rouge.
- capteurs de température.
- circuits audio (égaliseur, contrôle de volume, etc.).
- drivers d'affichage LCD (Liquid Crystal Display) ou à LED (Light-Emitting Diode).
- décodeurs télécodage.
- chargeurs de batterie.

II.3 Liaison série MODBUS RS 485

II.3 .1 Généralités

Le bus Modbus répond aux architectures Maître/Eslave. Il a été créé par la société Modicon en 1979 pour interconnecter les automates programmables. Ce protocole a rencontré beaucoup de succès depuis sa création du fait de sa simplicité et de sa bonne fiabilité.

Le bus est composé d'une station Maître et de stations esclaves. Seule la station Maître peut être à l'initiative de l'échange (la communication directe entre stations Esclaves n'est pas réalisable). Le maître peut s'adresser aux esclaves individuellement ou envoyer un message de diffusion générale à tous les esclaves. Les esclaves renvoient un message (réponse) aux requêtes qui leur sont adressées individuellement. Les requêtes de diffusion générale n'attendent pas de réponses en retour. [7]

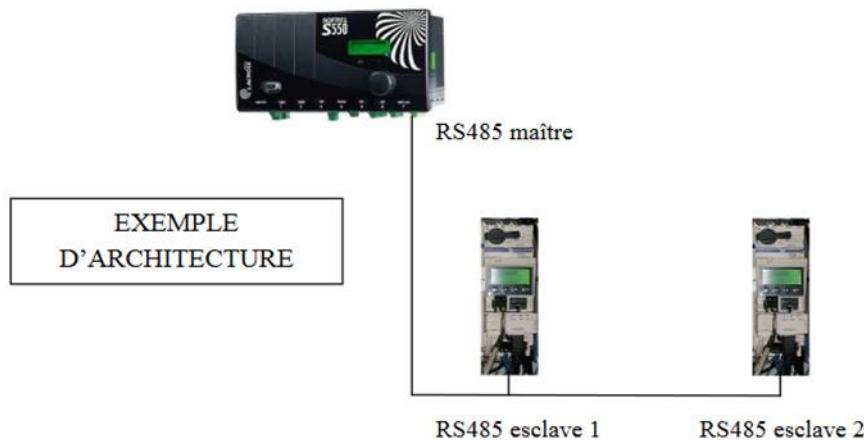


Figure I. 4 : Architecture Modbus

Source : LIAISON SERIE MODBUS, BTS Electrotechnique, Lycée Gustave Eiffel,

II.3 .2 Structure du message:

Le maître envoie un message constitué de la façon suivante:

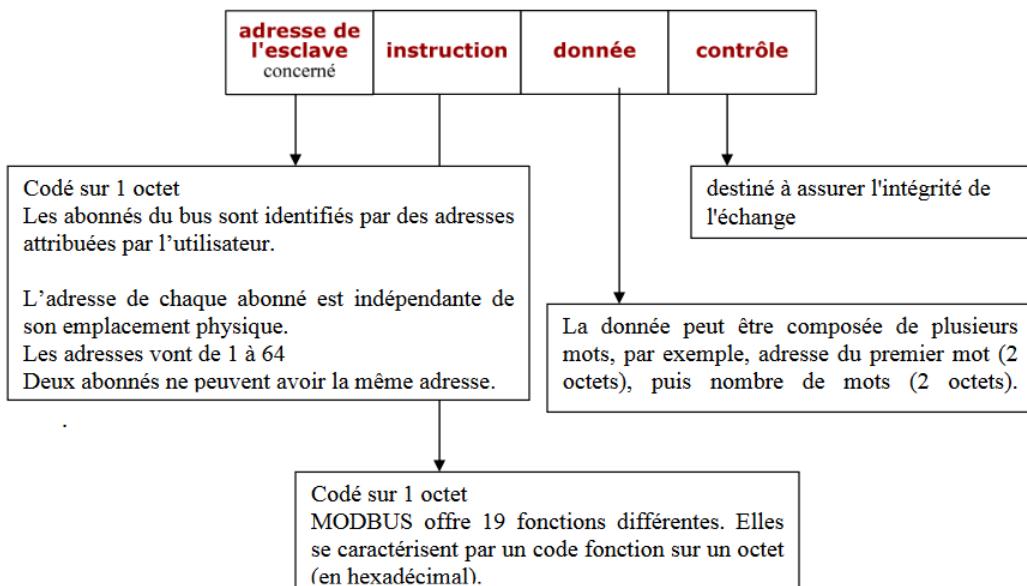


Figure I. 5 : Format de message RS 485

Source : LIAISON SERIE MODBUS, BTS Electrotechnique, Lycée Gustave Eiffel,

La détection de fin de message est réalisée sur un silence de plus de 2 caractères. L'esclave répond par un message du même type.

Conclusion partielle de la première partie

Ces généralités citées dans cette partie sont les bases d'étude dans la compréhension et la conception du projet de mémoire. Cette partie du manuscrit cite et explique de manière globale les paramètres atmosphériques, et apporte une clarté sur les notions d'Observation météorologique et les réseaux et liaison de communication.

PARTIE II : MATERIAUX ET LOGICIELS

Chapitre I : Matériaux

I.1 Les microcontrôleurs [8]

I.1.1 Description et aperçu

Un microcontrôleur est un circuit intégré capable d'exécuter des programmes. Il existe de nombreux exemples de ceux sur le marché aujourd'hui provenant d'une variété de fabricants. Les prix de ces microcontrôleurs ne cessent de baisser. Sur le marché des amateurs, une architecture open source appelée "Arduino" qui utilise la gamme de processeurs Atmel a captivé l'imagination d'un nombre incalculable de personnes.



Figure II. 1 : Arduino Uno

Source: [@official.arduino/Page Facebook](#)

Les cartes contenant ces puces Atmel, associées à une convention de connexions et à un ensemble gratuit d'outils de développement, ont permis de réduire pratiquement le point de départ pour jouer avec l'électronique. Contrairement à un PC, ces processeurs sont extrêmement bas de gamme avec de faibles capacités de mémoire vive et de stockage. Ils ne remplaceront pas l'ordinateur de bureau ou l'ordinateur portable de sitôt. Pour ceux qui veulent plus de "punch" dans leurs processeurs, les employés de Raspberry PI ont développé une carte très bon marché basée sur les processeurs ARM ou « Advanced RISC Machine » qui disposent de beaucoup plus de mémoire et qui utilisent le micro SD (Secure Digital) pour le stockage persistant de données. Ces périphériques exécutent une variante du système d'exploitation Linux.



Figure II. 2 : Raspberry Pi Model B

Source: [@raspberrypi/Page Facebook](#)

Ces microcontrôleurs et architectures sont excellents et il y aura toujours une place pour eux. Cependant, il y a un problème avec le réseautage. Ces dispositifs offrent un ensemble impressionnant de fonctionnalités, notamment des entrées et sorties électriques directes (GPIO ou General Purpose Input/Output) et la prise en charge de divers protocoles, notamment SPI ou « Serial Peripheral Interface », I2C, UART ou « Universal Asynchronous Receiver/Transmitter » et autres. Cependant, peu d'entre eux sont livrés avec une mise en réseau sans fil.

Nul doute que l'Arduino ait capté l'attention de tous. L'Arduino est basé sur les puces Atmel et possède une variété de tailles physiques dans ses empreintes matérielles ouvertes. Le microcontrôleur principal utilisé est l'ATmega328. On peut trouver des exemples de ces processeurs bruts sur eBay pour moins de 2 Dollars avec des cartes entièrement construites les contenant pour moins de 3 Dollars. C'est 10 à 20 fois moins cher que le Raspberry PI. Bien sûr, on obtient beaucoup moins que le Raspberry PI. La comparaison peut donc devenir étrange. Toutefois, si vous voulez bricoler avec de l'électronique ou créer de simples dispositifs qui se connectent à des commutateurs ou des capteurs, les fonctionnalités fonctionnelles nécessaires se rapprochent.

Entre eux, les Arduino et Raspberry PI semblent avoir tous les besoins couverts. Si tel était le cas, ce serait un livre très court. Ajoutons la torsion que nous avons commencée avec ... les réseaux sans fil. Pour qu'un périphérique déplace un châssis de robot ou des voyants lumineux clignotants ou émette des bruits ou lit des données à partir d'un capteur et émette un bip lorsque la température devient trop élevée, il s'agit de projets intéressants et louables. Cependant, nous sommes tous très conscients de la valeur d'Internet. Nos ordinateurs sont connectés à Internet, nos téléphones sont connectés, nous regardons la télévision (Netflix) sur Internet, nous jouons à des jeux sur Internet, nous socialisons sur Internet, etc. Internet est devenu un produit de base que nous n'aimerions pas si quelqu'un nous proposait un nouvel ordinateur ou un téléphone qui ne permettait pas d'accéder en ligne.

Maintenant, un microcontrôleur avec Internet sans fil natif pourrait apporter plus de possibilité dans la réalisation d'un projet. Ce serait un processeur qui pourrait exécuter des applications aussi bien ou mieux qu'un Arduino, qui prendrait en charge le protocole GPIO et matériel, aurait de la mémoire vive et flash, mais aurait la nouvelle fonctionnalité qui le rendrait capable de former des connexions Internet. Et c'est tout simplement ce qu'est le périphérique ESP32. Il s'agit d'un microprocesseur alternatif à ceux déjà mentionnés, mais il possède

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

également une prise en charge WiFi et TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) déjà intégrée. De plus, il n'est pas beaucoup plus cher qu'un Arduino. En recherchant sur eBay, les modules ESP32 sont autour du point de prix de 6 \$.

I.1.2 L'ESP32

- Description

L'ESP32 est le nom d'un microcontrôleur conçu par Espressif Systems. Espressif est une société chinoise basée à Shanghai. L'ESP32 se présente comme une solution de réseau WiFi autonome s'offrant comme un pont entre les microcontrôleurs existants et le WiFi, et est également capable d'exécuter des applications autonomes.



Figure II. 3 :Esp32 WROOM

Source: Kolban's Book on ESP32,Neil Kolban/Mai 2017

La production en volume de l'ESP32 n'a commencé qu'à la fin de 2016, ce qui signifie que, dans l'ensemble, il s'agit d'une toute nouvelle entrée dans la gamme de processeurs. Et dans notre monde avide de technologies, nouveau équivaut généralement à intéressant. Quelques années après la production de circuits intégrés, les constructeurs tiers prennent ces puces et construisent des "tableaux de distribution" pour eux. Ils sont très minuscules et il est pratiquement impossible pour les amateurs d'attacher des fils pour pouvoir les brancher sur des planches à pain. Heureusement, les fabricants OEM ou «Original Equipment Manufacturer » achètent en masse les circuits intégrés, conçoivent les circuits de base, conçoivent les cartes de circuit imprimé et construisent des cartes pré-faites avec les circuits intégrés pré-attachés immédiatement prêts pour notre utilisation.

Il existe une variété de styles de tableaux disponibles, mais du point de vue de la programmation, ils sont tous identiques.

- Spécification technique

Lorsqu'on examine un nouvel appareil électronique, on s'intéresse toujours à ses spécifications. C'est l'ensemble des caractéristiques décrites par le fabricant. Parfois, nous comprenons tout de suite la signification d'un élément de la spécification et, pour d'autres, il faut parfois pour en apprécier les ramifications.

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

Voici une liste récapitulative des principaux éléments de l'ESP32:

Tableau II. 1 : Détails techniques de l'ESP32

Attribut	Détail
Voltage	3.3V
Processeur	Tensilica L108 32 bit
Vitesse du processeur	Dual 160MHz
RAM	520Ko
GPIOs	34
Analogique en digital	7
Supporte 802.11	11b/g/n/e/i
Connections TCP simultané max	16
SPI	3
I2S	2
I2C	2
UART	3

Source : Kolban's Book on ESP32, Neil Kolban/Mai 2017

L'ESP32 est un processeur double cœur exécutant les instructions Xtensa LX6. Les coeurs s'appellent "PRO_CPU" et "APP_CPU". La question de savoir combien de temps un ESP32 peut fonctionner sur batteries est une question intéressante. La consommation actuelle est loin d'être constante. Lors de la transmission à pleine puissance, il peut consommer 260 mA, mais dans un sommeil profond, il ne nécessite que 20 µA. C'est toute une différence. Cela signifie que le temps d'exécution d'un ESP32 sur un réservoir de courant fixe n'est pas seulement une fonction du temps, mais également de ce qu'il fait pendant ce temps, et cela est fonction du programme déployé sur celui-ci.

L'ESP32 est conçu pour être utilisé avec un module de mémoire partenaire. Il s'agit généralement d'une mémoire flash. Le flash a un nombre fini d'effacements par page avant que quelque chose ne se produise. Ils sont évalués à environ 10 000 effacements. Cela n'est normalement pas un problème pour les écritures de modification de configuration ou les écritures quotidiennes, mais si l'application écrit continuellement de nouvelles données extrêmement rapidement, il peut s'agir d'un problème et la mémoire flash va échouer.

- Carte NodeMCU ESP32S

Avec la sortie de l'ESP32, Espressif a publié son propre module permettant d'exposer l'ESP32 à davantage de consommateurs. La carte qu'ils ont produite s'appelle "NodeMCU ESP32S".

Cette carte est spécialement choisie dans la réalisation du projet de mémoire.

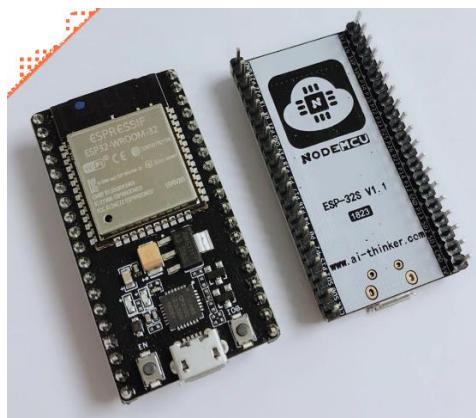


Figure II. 4 : Carte NodeMCU ESP32S

Source : Kolban's Book on ESP32, Neil Kolban/Mai 2017

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

La carte contient des en-têtes pour l'ESP32 ainsi qu'un adaptateur micro-USB et deux boutons appelés activer et démarrer. Ces boutons peuvent être utilisés pour "flasher" ou "télécharger" un nouveau code d'application dans le module. Pour effectuer cette tâche, maintenez le bouton "EN" enfoncé tout en appuyant sur "Boot".

I.1.3 Programmation pour ESP32

L'ESP32 permet d'écrire des applications pouvant s'exécuter de manière native sur le périphérique. Il est possible de compiler des applications écrites en langage de programmation C et les déployer sur le périphérique via un processus appelé clignotement (blink).

Pour créer une application utile, une application doit pouvoir interagir avec l'environnement. Il peut s'agir d'établir des connexions réseau ou d'envoyer / recevoir des données à partir de capteurs, d'entrées et de sorties connectés. Pour ce faire, l'ESP32 contient un ensemble de fonctions de base qu'on peut vaguement considérer comme le système d'exploitation de l'appareil. Les services du système d'exploitation sont appelés à être appelés à partir de l'application fournissant un contrat de services exploitable. Ces services sont entièrement documentés.

Pour réussir à écrire des applications à déployer, il faut être conscient de l'existence de ces services. Ils deviennent des outils indispensables dans le coffre à outils. Par exemple, si on doit se connecter à un point d'accès WiFi, il existe une API pour cela. Pour obtenir l'adresse IP actuelle, il existe une API ou « Application Programming Interface » pour cela et pour obtenir l'heure depuis le démarrage du périphérique, il y a une API pour cela. En fait, il y a beaucoup d'API disponibles à utiliser. La bonne nouvelle est que personne ne s'attend à mémoriser tous les détails de leur utilisation. Au lieu de cela, il suffit de savoir en gros qu'ils existent et d'avoir un endroit où aller pour rechercher les détails de leur utilisation.

I.2 Horloge en temps réel :

~ Description

Le DS3231 est une horloge I2C en temps réel, Real Time Clock (RTC), extrêmement précise. Le dispositif est équipé d'une pile 3V, CR2032 en lithium, qui maintient un chronométrage précis lorsque le courant principal de l'appareil est interrompu. L'oscillateur intégré accroît l'exactitude à long terme du dispositif. Il dispose d'une mémoire puce AT24C32 ayant une capacité de stockage de 32Ko.

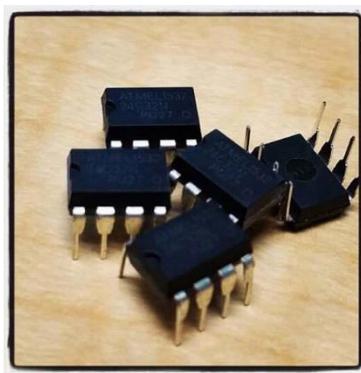


Figure II. 5 :AT24C32
Source :@PowerArduino/Page Facebook

Le dispositif a une dimension de 38 × 22 × 14mm (unité millimètre), et un poids de 8g (unité gramme).



Figure II. 6 : Horloge à temps réel DS3231
Source :@PowerArduino/Page Facebook

L'RTC préserve les informations tel que les secondes, minutes, heures, date, mois, ainsi que l'année. La date à la fin du mois est automatiquement ajustée pour les mois dont le nombre de jours est inférieur à 31 jours. Et il s'ajuste automatiquement aux années bissextiles. L'horloge peut être configurée au format 24 heures ou 12 heures avec l'indication AM ou PM.

L'RTC est adapté à la plupart des microcontrôleurs, I2C à 400kHz. Elle est également alimentée sous 2.3V à 5.5V. Les Applications générales de l'RTC sont les serveurs, la télématique, ainsi que les GPS (Global Positioning System).

I.3 Micro SD Card Adapter Reader Module [9]

I.3.1 Description



Figure II. 7 : Lecteur SD card

Source: eBay Search/ Micro SD Card Micro SDHC Mini TF Card Adapter Reader Module for Arduino

- Le module (adaptateur de carte MicroSD) est un module de lecteur de carte Micro SD permettant de lire et d'écrire via le système de fichiers et le pilote d'interface SPI.
- Prise en charge de la carte Micro SD, de la carte Micro SDHC (Secure Digital High Capacity, carte à grande vitesse).
- La carte de circuit imprimé de conversion de niveau pouvant s'interfacer est 5V ou 3.3V.
- L'alimentation est de 4,5 V ~ 5,5 V, de la carte du régulateur de tension de 3,3 V.
- L'interface de communication est une interface SPI standard.
- 4 vis de positionnement M2 pour une installation facile.
- Interface de contrôle: Un total de six broches (GND, VCC, MISO ou « Master In Slave Out », MOSI ou « Master Out Slave In », SCK ou « SPI Clock », CS ou « Chip Select »),

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

GND à la terre, VCC est l'alimentation, MISO, MOSI, SCK pour bus SPI, CS est la broche de signal de sélection de puce.

- Circuit de régulateur 3,3 V: sortie du régulateur 3,3 V pour puce de conversion de niveau, alimentation par carte Micro SD.
- Circuit de conversion de niveau: la carte Micro SD indique la direction de conversion 3,3V, l'interface de carte MicroSD permettant de contrôler la direction du signal MISO est également convertie en 3,3 V, les systèmes de microcontrôleur AVR (Atmel and Vegard's RISC) généraux pouvant lire le signal.
- Connecteur de carte Micro SD: plate-forme auto-bombante, insertion facile de la carte.
- Trous de positionnement: 4 vis M2 positionnant des trous d'un diamètre de 2,2 mm, facilitant ainsi l'installation du module pour obtenir une combinaison inter-module.

I.4 Capteurs

I.4.1 Capteur de température et humidité

Description

Le DHT22 est un capteur qui communique en série un fil avec un protocole spécial, et fournit une indication de température sur 16 bits et une indication d'humidité sur 16 bits également. Il utilise une technique exclusive de collecte de signaux numériques et une technologie de détection d'humidité, assurant sa fiabilité et sa stabilité. Ses éléments de détection sont connectés à un ordinateur monopuce 8 bits.

Chaque capteur de ce modèle est compensé en température et calibré dans une chambre d'étalonnage précise et le coefficient de calibrage est enregistré dans le type de programme en mémoire OTP (One Time Programmable OTP). Lorsque le capteur détecte, il cite le coefficient de la mémoire. [10]

Sa petite taille et sa faible consommation permet au DHT22 de s'adapter à toutes sortes d'applications. Elle dispose d'une rangée emballée avec trois broches, ce qui rend la connexion très pratique.



Figure II. 8 :DHT22 capteur de température et humidité

Source : Aosong Electronics/ Thomas Liu

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

✚ Spécification technique [10]

Tableau II. 2 : DHT Spécification technique

Modèle	DHT22
Source de courant	3.3-6V DC
Signal de sortie	Signal numérique via un bus unique
Élément sensible	Polymère condensateur
Plage de fonctionnement	Humidité relative (Relative Humidity ou RH) 0-100% ; température -40~80°Celsius
précision	Humidité ±2%RH (max ±5%RH) ; température ±0.5°Celsius
Résolution ou sensibilité	Humidité 0.1%RH ; température 0.1°Celsius
Répétabilité	Humidité ±1%RH ; température ±0.2°Celsius
Hystérésis humidité	±0.3%RH
Stabilité à long terme	±0.5%RH/an
Période de détection	environ : 2s
interchangeabilité	Entièrement interchangeable
dimensions	14 x 18 x 5.5mm

Source: Aosong Electronics/ Thomas Liu

✚ Signal et communication

Un bus filaire est utilisé pour la communication entre MCU (Microcontroller Unit) et DHT22.

Exemple: L'MCU a reçu 40 bits de donnée provenant du DHT22.

0000 0010 1000 1100 0000 0001 0101 1111 1110 1110
 16 bits RH data 16 bits T data check sum

Ici on convertie 16 bits de donnée RH du système binaire en système Décimal.

0000 0010 1000 1100 → 652
 Système Binaire système Décimal

RH= 652/10= 65.2%RH

Ici on convertie 16 bits de donnée T du système binaire en système Décimal.

0000 0001 0101 1111 → 351
 Système Binaire système Décimal

T=351/10=35.1°C

Quand le plus haut bit de la température est 1, cela signifie que la température est en dessous de 0°C.

Exemple : 1000 0000 0110 0101 , T= -10.1°C
 16 bits T data

Sum=0000 0010+1000 1100+0000 0001+0101 1111 = 1110 1110

Check sum= les 8 derniers bits de sum= 1110 1110

Lorsque la MCU envoie le signal de démarrage, le DHT22 passe de l'état de veille à l'état de fonctionnement. Lorsque la MCU a fini d'envoyer le signal de démarrage, DHT22 envoie un signal de réponse contenant des données sur 40 bits qui reflètent l'humidité et la température relatives à la MCU. Sans signal de démarrage de MCU, DHT22 ne donnera pas de signal de réponse à MCU. Un signal de démarrage pour une donnée de réponse de DHT22 qui reflète l'humidité relative et la température.

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

Le DHT22 passera en mode veille à la fin de la collecte des données s'il ne reçoit plus le signal de démarrage de la MCU.

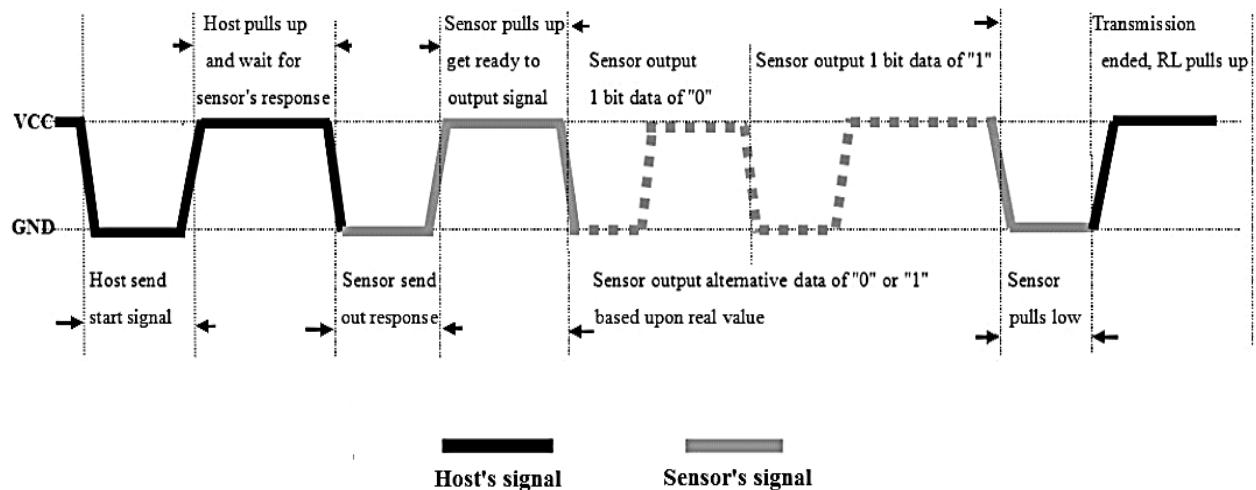


Figure II. 9 : Processus de communication global
Source: Aosong Electronics/ Thomas Liu

Etape 1 : L' MCU envoie un signal de début au DHT22 et celui-ci lui envoie un signal de réponse.

L'état libre du bus de données est le niveau de tension élevé. Lorsque la communication entre la MCU et le DHT22 commence, la MCU tire le bus de données bas et ce processus doit durer au moins 1 ~ 10 ms pour que DHT22 puisse détecter le signal de la MCU. Lorsque DHT22 détecte le signal de démarrage, DHT22 abaisse le bus 80us en tant que signal de réponse, puis DHT22 active 80 us pour la préparation de l'envoi des données.

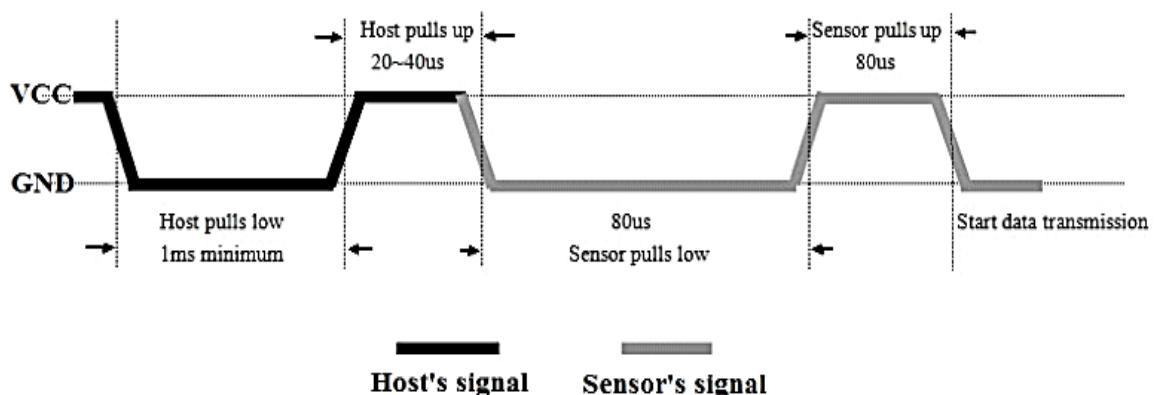


Figure II. 10 : Transmission du signal provenant de l'MCU
Source: Aosong Electronics/ Thomas Liu

Etape 2 : le DHT22 envoie des données au MCU.

Lorsque DHT22 envoie des données à la MCU, la transmission de chaque bit commence par un niveau de tension bas qui dure 50 µs, la longueur du signal de niveau de tension haute suivante détermine que le bit est "1" ou "0".

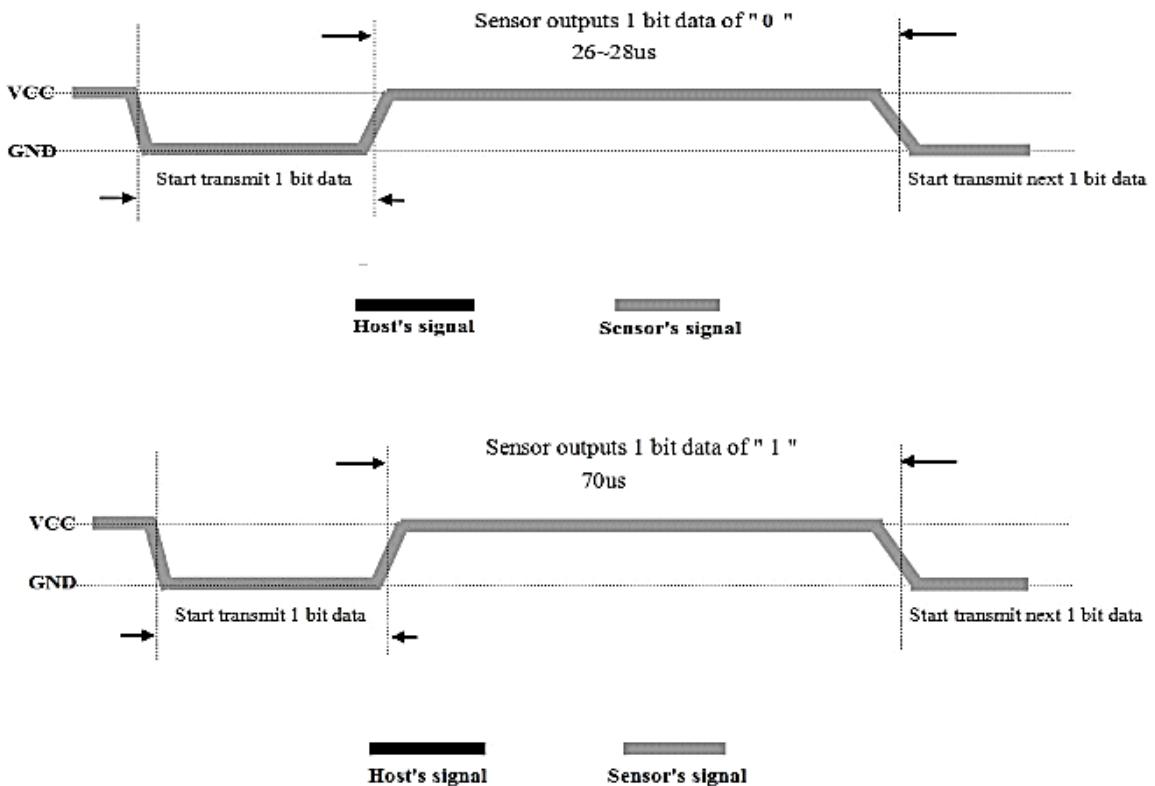


Figure II. 11 : Transmission des données provenant du DHT22
Source: Aosong Electronics/ Thomas Liu

✿ Précaution à l'utilisation

Le DHT22 étant un capteur très sensible, requière certaines attentions.

- Les vapeurs de produits chimiques peuvent interférer avec les éléments sensibles du DHT22 et affaiblir sa sensibilité.
- Une exposition prolongée à une lumière intense et aux ultraviolets peut nuire aux performances de DHT22.
- La qualité des câbles de connexion affectera la qualité de la communication. Un câble de blindage de haute qualité est recommandé.
- Évitez d'utiliser le capteur dans des conditions de rosée.

I.4.2 Capteur de pression Atmosphérique

⊕ Description

Le GY-BMP280 est un module embarqué avec le BMP280, un capteur de pression barométrique absolue spécialement conçu pour les applications mobiles.

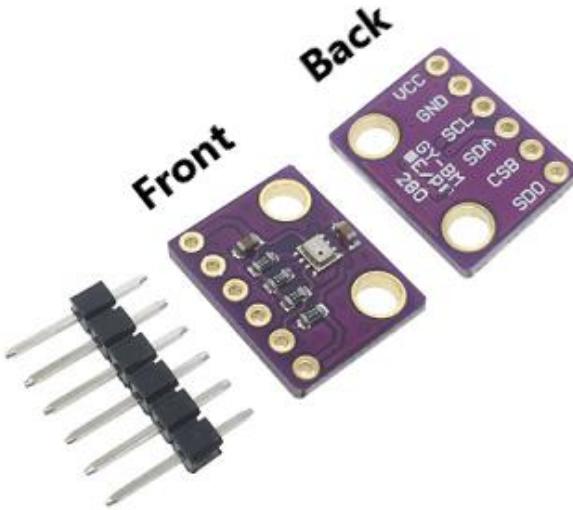


Figure II. 12 : Module Capteur de pression GY-BMP280

Source : Bosch Sensortec/Data sheet , BMP280 Digital Pressure Sensor

Le BMP280 comprend un élément de détection de Pression piézorésistif et un ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) à signaux mixtes. L'ASIC effectue des conversions A/D (analog to digital) et fournit les résultats de la conversion et les données de compensation spécifiques au capteur via une interface numérique.



Figure II. 13 : Capteur de pression BMP280

Source : Bosch Sensortec/Data sheet , BMP280 Digital Pressure Sensor

Le BMP280 offre une flexibilité maximale au concepteur et peut être adapté aux exigences en matière de précision, de temps de mesure et de consommation électrique en sélectionnant parmi un grand nombre de combinaisons possibles des réglages du capteur.[11]

Le BMP280 peut fonctionner dans trois modes d'alimentation:

- Mode veille
- Mode normal
- Mode forcé

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

En mode veille, aucune mesure n'est effectuée. Le mode normal comprend un cycle perpétuel automatisé entre une période de mesure active et une période de veille inactive. En mode forcé, une seule mesure est effectuée. Lorsque la mesure est terminée, le capteur repasse en mode veille.

Le BMP280 est équipé d'un filtre IIR ou « infinite impulse response filter » intégré afin de minimiser les perturbations à court terme des données de sortie causées par le claquement de la fenêtre. Le coefficient de filtrage est compris entre 0 (désactivé) et 16.

⊕ Spécification technique [12]

Tableau II. 3 : GY-BMP280 Spécification technique

Modèle	GY-BMP280
Capteur	BMP280
Source de courant	3V-3.3V DC
Pic d'intensité du courant	1.12mA
Plage de fonctionnement	300 à 1100hPa (équivalent à +9000 à 500m au-dessus du niveau mer)
Dimensions	11.5mmx15mm

Source : Bosch Sensortec/Data sheet , BMP280 Digital Pressure Sensor

⊕ Débit de mesure

La période de mesure du BMP280 consiste en une mesure de pression avec suréchantillonnage sélectionnable. Après la période de mesure, les données sont passées à travers un filtre IIR optionnel, qui élimine les fluctuations de pression à court terme (le vent soufflant dans le capteur). Le flux est décrit dans le diagramme ci-dessous.

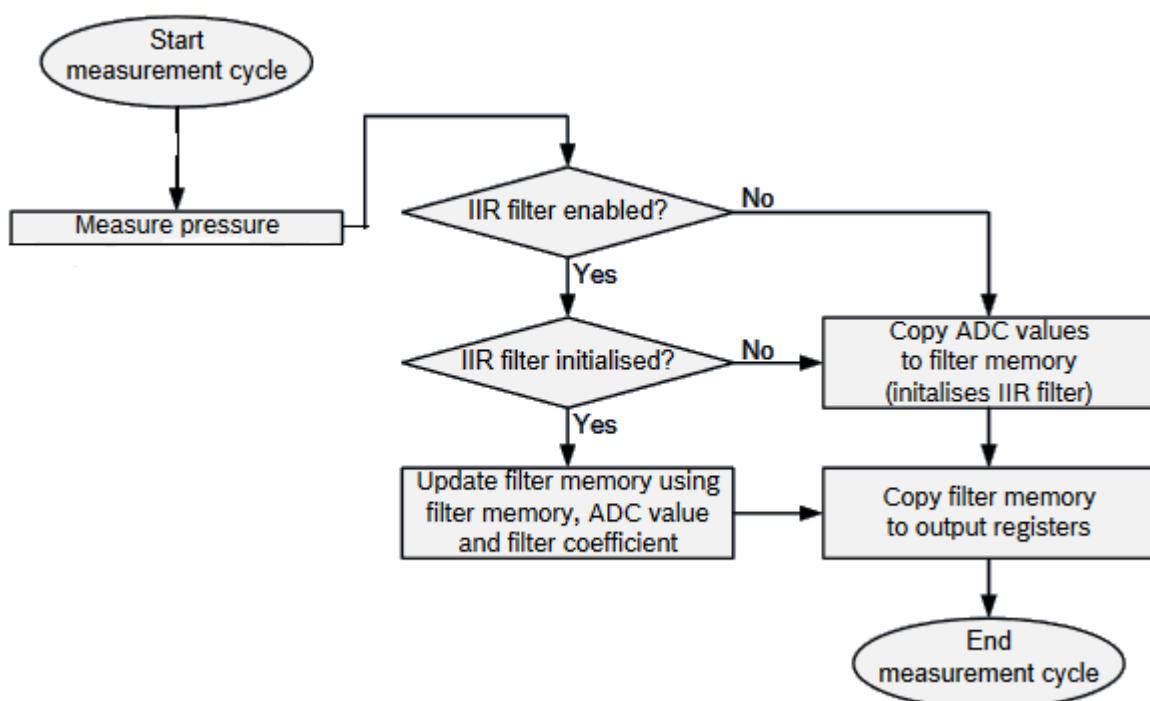


Figure II. 14 : BMP280 measurement cycle

Source : Bosch Sensortec/Data sheet , BMP280 Digital Pressure Sensor

Filtre IIR [12]

La pression environnementale est soumise à de nombreux changements à court terme, causés par exemple par en claquant une fenêtre, ou le vent soufflant dans le capteur. Pour supprimer ces perturbations dans les données de sortie sans causer de trafic d'interface supplémentaire ni de charge de travail du processeur, le BMP280 dispose d'un filtre IIR interne. Il réduit efficacement la bande passante des signaux de sortie. La sortie d'une étape de mesure suivante est filtrée à l'aide de la formule suivante:

$$\text{data filtered} = \frac{\text{data filtered old} \times (\text{filter coefficient} - 1) + \text{data ADC}}{\text{filter coefficient } t} \quad (7)$$

Où `data_filtered_old` correspond aux données de l'acquisition précédente, et `data_ADC` représente les données provenant du convertisseur Analogique en Digitale (ADC) avant le filtrage IIR.

Applications cibles BMP280

- Amélioration de la navigation GPS (amélioration du délai jusqu'au premier repère, calcul automatique, détection de la pente).
- Navigation intérieure (détection de plancher, détection d'ascenseur).
- Applications de navigation de plein air, de loisirs et sportives.
- Indication de vitesse verticale (par exemple, vitesse de montée / descente).
- Surveillance météorologique, comme le cas de ce projet de mémoire.

I.4.3 Anémomètre analogique

Description

Adafruit anémomètre, Le kit d'anémomètre de type capteur de vitesse du vent (0-5V) à trois ventouses est un instrument qui permet de mesurer la vitesse du vent. Il est composé de la coque, de la coupelle anti-vent et du module de circuit. Les modules photovoltaïques, les processeurs à micro-ordinateurs industriels, le générateur de courant, le courant électrique, etc. sont intégrés dans le variateur interne.[IV]



Figure II. 15 : Adafruit anémomètre

Source : Julian Horsey / 30 Mars 2016

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

La précision de la surface des coupelles est très élevée, et le circuit interne a été un traitement de protection, le capteur a une résistance élevée, une résistance aux intempéries, une résistance à la corrosion et une étanchéité. La fiche du câble est une fiche militaire, elle a un bon anticorrosif et empêche la performance d'érosion de pouvoir assurer l'instrument utilisé pendant une longue période, en même temps, en cas d'utilisation de spécifications appropriées qui garantissent la précision du vent acquisition de vitesse.



Figure II. 16 : Plug mâle Adafruit anémomètre

Source : Julian Horsey/ 30 Mars 2016



Figure II. 17 : Plug femelle Adafruit anémomètre

Source : Julian Horsey/ 30 Mars 2016

Le matériau de la carte de circuit imprimé est le grade militaire A qui assure la stabilité des paramètres et la qualité des propriétés électriques; Les composants électroniques sont tous des puces industrielles, ce qui en fait une résistance aux interférences électromagnétiques extrêmement fiable et peut garantir que l'hôte peut fonctionner normalement dans une plage de -20 °C à +50, avec une humidité de 35% à 85%.

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

✚ Spécification technique [V]

Tableau II. 4 : Adafruit anémomètre Spécification technique

Modèle	Adafruit anemometre
Couleur	Noir
Précision	$\pm 1 \text{ m/s}$
Vitesse minimal de démarrage	0.2 m/s
Plage de mesure	0 à 32.4 m/s
Source de courant	7V à 24V
Signal de sortie	4 à 20 mA
Organe sensible	3 coupelles
Dimensions	220 × 260 × 295 mm
Sortie de communication	RS485

Source : wwwchinaplccenter.com

✚ Interface de communication

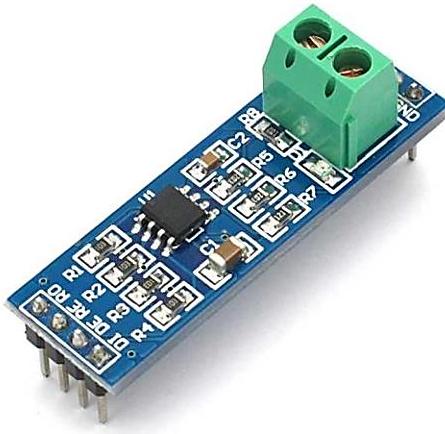


Figure II. 18 :MAX485 MOBUS

Source : wwwchinaplccenter.com

La puce MAX485 intégrée est un émetteur-récepteur à faible puissance et à taux de transfert limité, utilisé pour la communication RS-485. Il fonctionne avec une seule alimentation 5V et le courant nominal est de 300 μA . Adoptant une communication semi-duplex pour mettre en œuvre la fonction de conversion du niveau TTL (Transistor-Transistor Logic) en niveau RS-485, il peut atteindre un taux de transmission maximal de 2,5 Mbps. L'émetteur-récepteur MAX485 consomme un courant d'alimentation compris entre 120 μA et 500 μA lorsque le pilote est désactivé ou à pleine charge. Le pilote est limité pour le courant de court-circuit et le balayage de sortie du pilote doit être placé dans un état haute impédance par le biais du circuit d'arrêt thermique. L'entrée du récepteur dispose d'une fonction de sécurité qui garantit une sortie logique élevée si l'entrée est en circuit ouvert. En outre, il a une forte performance anti-ingérence.

Le capteur de vitesse du vent adopte le protocole de communication Modbus standard.

Le format de commande de données:

02 03 00 00 00 01 84 39

02 : Numéro de station d'équipement.

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

03 : Numéro de commande, utilisé dans le protocole standard Modbus pour lire les données de la mémoire.

00 00 : Adresse de départ des données lues, valeur de la vitesse du vent en mémoire 0000, Adresse de départ.

00 01 : Lire le nombre de données, la valeur de la vitesse du vent dans la mémoire d'un espace de données, un espace de données occupe 2 octets d'espace.

84 39 : Valeur de contrôle CRC (Control Redundancy Check).

Analyse de format de commande:

02 03 02 01 45 3C 27

02 : Numéro de station d'équipement.

01 45 : Valeur de la vitesse du vent de retour, en Modbus, les 8 bits de données les plus élevés sont en premier lieu, et les 8 bits les plus bas dans la partie arrière. La Valeur de la vitesse du vent = valeur de retour du vent / 10, valeur de retour de la vitesse du vent = 0145.

✚ Connection électrique

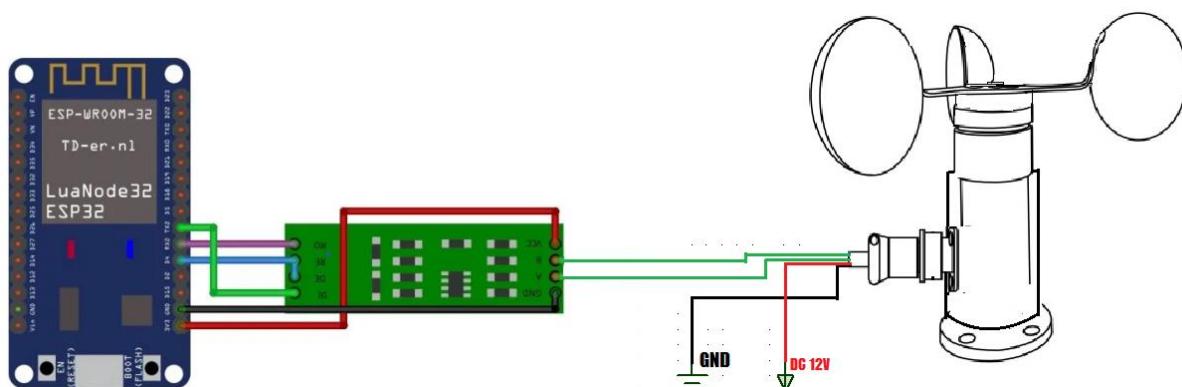


Figure II. 19 : Diagramme de connexion Anémomètre

Source : Auteur, 2019

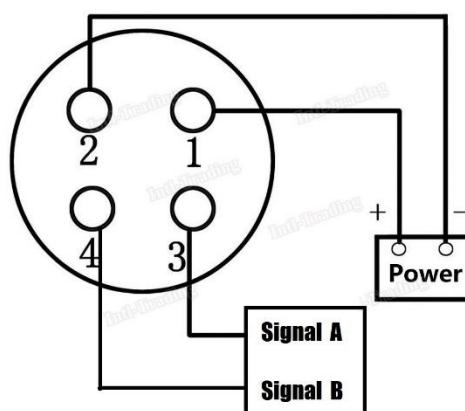


Figure II. 20 : Pin femelle de l'anémomètre

Source : Auteur, 2019

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux

Tableau II. 5 : Séquence des Pin de l'anémomètre

Pin	Fonction
1	VCC (alimentation 12V)
2	GND (terre)
3	RS485 pôle A
4	RS485 pôle B

Source : Auteur, 2019

❖ Applications cibles de l'anémomètre

Le capteur peut être largement utilisé dans les machines d'ingénierie (grue, grue sur chenilles, grue à porte, grue à tour, etc.), les voies ferrées, les ports, les quais, les centrales électriques, la météorologie, les téléphériques, l'environnement, les serres, la reproduction, la climatisation, la surveillance de l'énergie, agriculture, santé, salles blanches telles que la mesure de la vitesse du vent et la sortie de signal correspondante.

I.5 L'alimentation électrique

Etant donné que le projet de mémoire soit un appareil électronique, les différentes sources en électricité pouvant l'alimenté et recharger sa batterie sont étudié pour être préinstaller.

❖ Batterie Lithium-Polymère

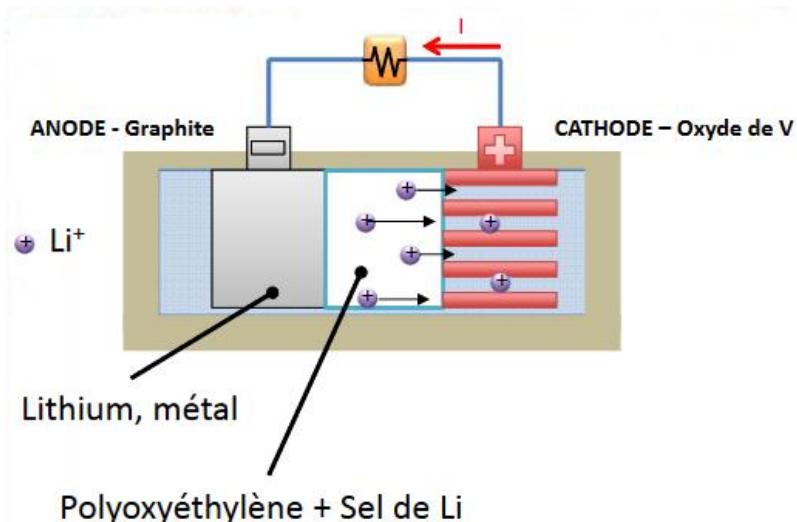


Figure II. 21 : Fonctionnement des accumulateurs Lithium polymère
Source : Institut Carnot Cirimat

Les batteries lithium-polymère ont plus de dendrites et de ce fait elles retiennent plus d'énergie. Elles génèrent une énergie spécifique de 260Wh/kg. Elles sont plus sécuritaires, avec une condition de fonctionnement entre 40 et 60°C. Il existe plusieurs modèles avec des dimensions adaptées à tout appareil et conception. Son coût faible fait de lui le meilleur choix pour un projet électronique ou robotique.

Une batterie 12V 6800mAh est spécialement choisie dans la réalisation du projet de ce mémoire.

PARTIE II : Chapitre I : Matériaux



Photo II. 1 : Batterie lithium-polymère
Amboropotsy Talatamaty, 18/10/2019

Ce modèle possède un circuit de charge qui stabilise la tension d'entrée lors de la recharge de la batterie. Deux cordons servent d'entrée ou sortie de charge, c'est sur l'un de ces cordons qu'un panneau photovoltaïque ou un chargeur pourrait être branché. L'existence d'un interrupteur donne plus de sécurité à l'appareil connecté. A l'achat, un chargeur est livré avec cette batterie.



Photo II. 2 : Chargeur de la batterie
Amboropotsy Talatamaty, 18/10/2019

Ce chargeur est très utile dans l'éventualité où l'appareil soit utilisé comme moniteur des paramètres ressentis dans une maison (moniteur de température et humidité de la maison).

Chapitre II : Logiciels

II.1 PROTEUS

II.1.1 Présentation Générale



Figure II. 22 : Proteus de Labcenter Electronics

Proteus est un logiciel destiné à l'électronique, développé par la société « Labcenter Electronics ». Les logiciels inclus dans Proteus permettent la Construction Assistée par Ordinateur dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS et ARES. Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages.[13]

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser.
- Le support technique est performant.
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.

II.1.2 ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.[14]

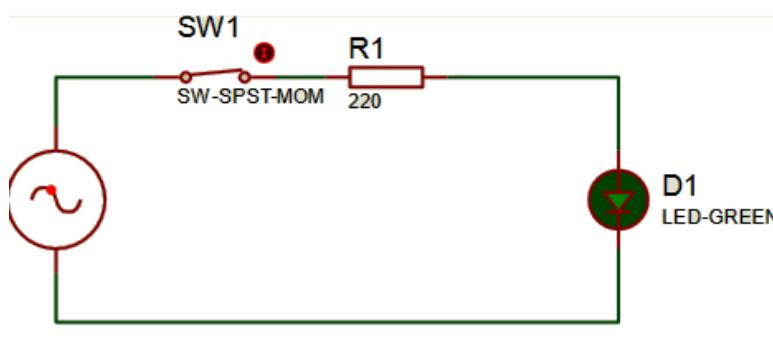


Figure II. 23 : Exemple de schéma du circuit d'une tension alternative fait sous ISIS

Source : Auteur, 2019

PARTIE II : Chapitre II : Logiciels

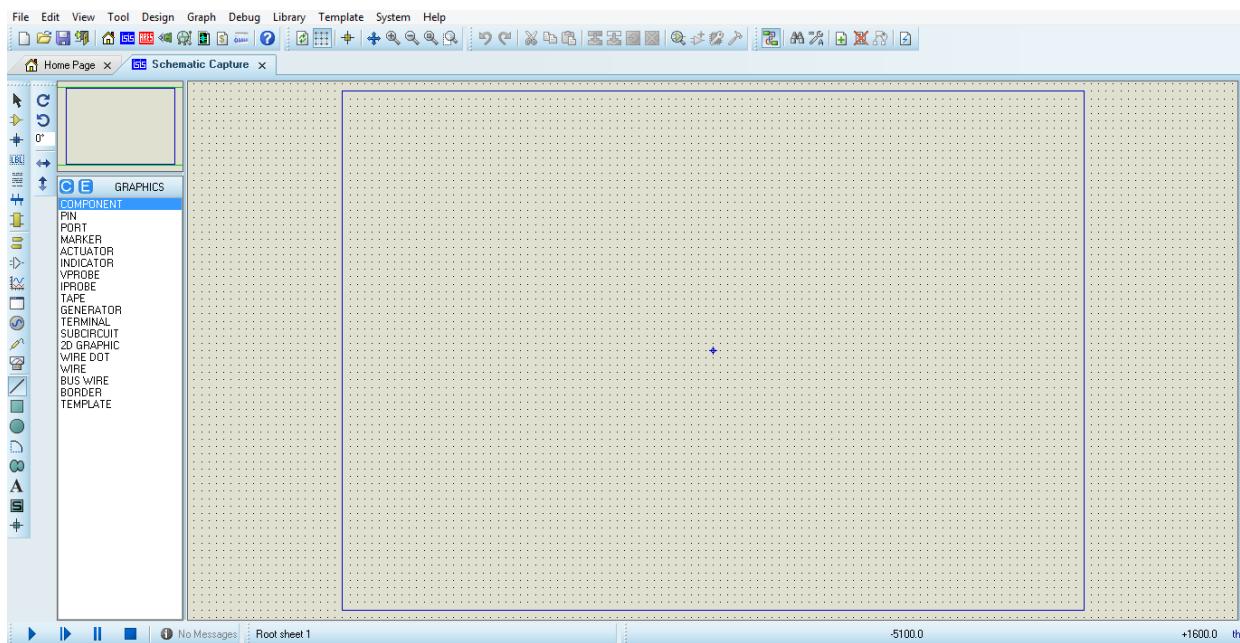


Figure II. 24 : Interface ISIS

Cet espace rectangulaire correspond à la zone de travail effectif. Tous les schémas apparaîtront dans cette zone et seront visualisés avec le coefficient d agrandissement ou de réduction choisi.



Barre de menu

Cette barre permet de gérer le travail (ouverture, sauvegarde, impression, mode d'affichage, etc.).

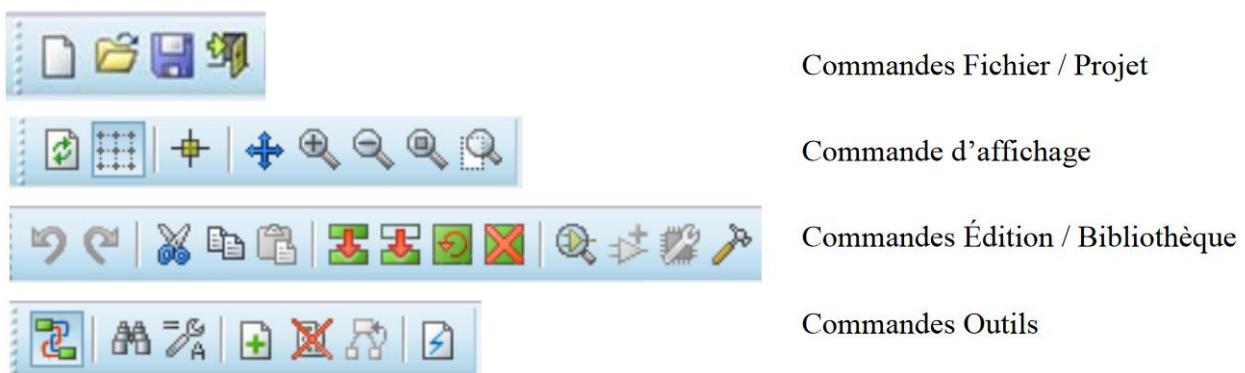


Figure II. 25 : Barres d'outils de commande

Ces barres fournissent un accès équivalent aux commandes des menus. Elles peuvent être masquées par la commande "Barre d'outils" du menu "Affichage".



Figure II. 26 : Barre d'outils de sélection de mode

Cette barre permet de sélectionner un outil parmi les 3 modes d'édition disponibles.

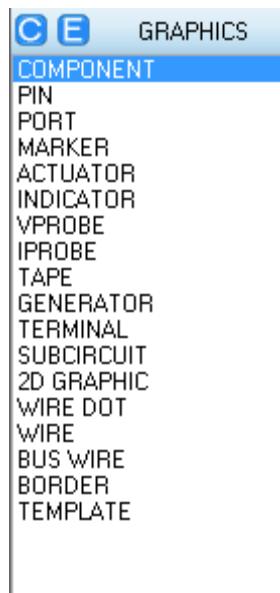


Figure II. 27 : Sélecteur d'objet

Le sélecteur d'objets liste les différents éléments, selon le mode de travail choisi. Les types d'objets qui peuvent y apparaître sont les composants, les terminaux, les pattes, les symboles graphiques, les marqueurs, les graphes.

II.1.3 ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le « Printed circuit board » ou PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficiente lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.[13]

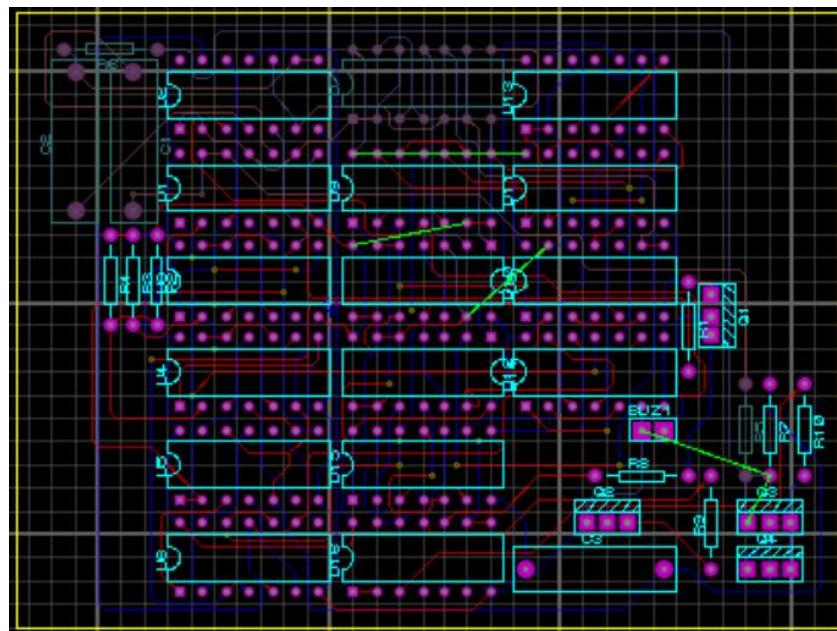


Figure II. 28 : Exemple de circuit imprimé fait sous ARES

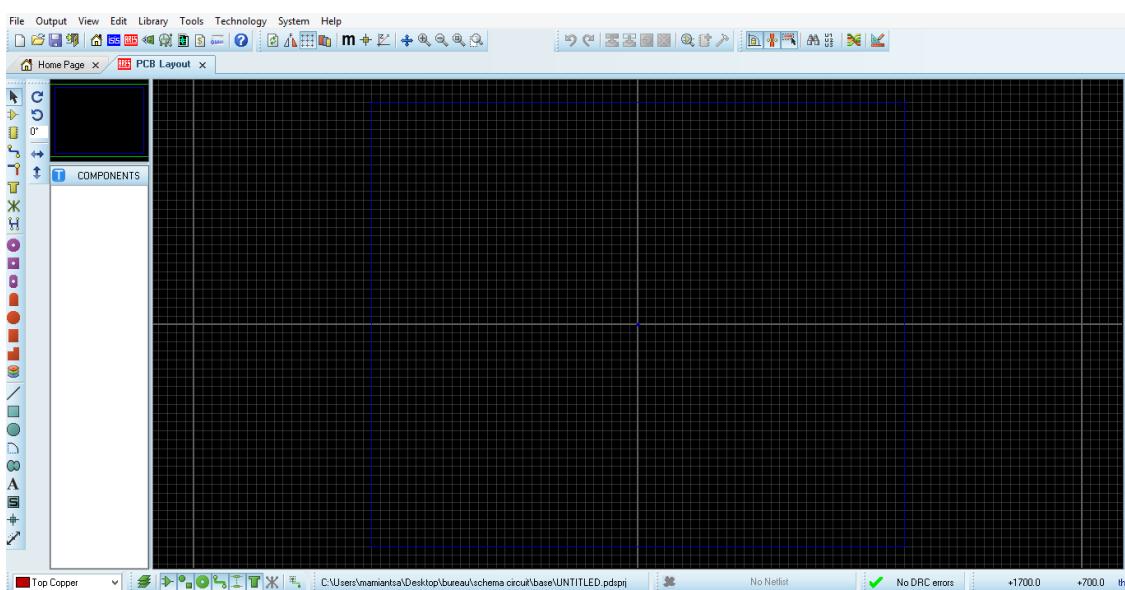


Figure II. 29 : Interface d'ARES



Figure II. 30 : Commande de circuit

PARTIE II : Chapitre II : Logiciels

Cette barre permet de gérer le circuit, comme la recherche de composant, le verrouillage d'angle de tracé, le contrôle du respect des règles de conception, le rapport de contrôle des règles de connectivité etc...

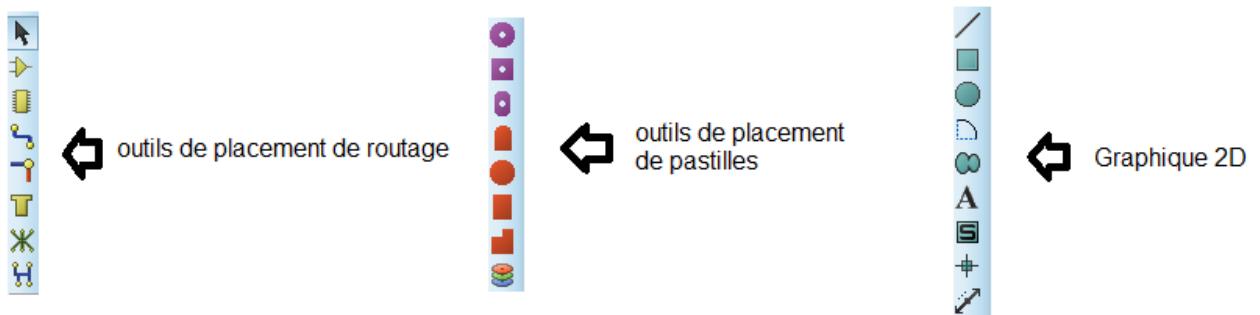


Figure II. 31 : Les outils de sélection de mode

Ces outils gèrent les différents composants du PCB, que ce soit les connecteurs, les pastilles ou toutes formes d'objet en 2D (2 Dimension).

II.2 AUTOCAD

II.2.1 Description et historique

AutoCAD est un logiciel développé par Autodesk qui permet la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) et le dessin. Le logiciel est utilisé pour produire des dessins 2D et 3D. Le logiciel AutoCAD permet aux utilisateurs de conceptualiser des idées, de produire des conceptions et des dessins avec le niveau de précision technique requis, et même d'effectuer des calculs et des simulations de conception rapides. [VI]

AutoCAD est disponible sur le marché depuis 1982, ce qui en fait le premier système de CAO développé pour les PC. Cela signifie qu'AutoCAD existe depuis plus longtemps qu'Adobe Photoshop ou même Microsoft Windows. Avant AutoCAD, les programmes de CAO commerciaux des années 70 fonctionnaient sur des ordinateurs centraux ou des mini-ordinateurs, chaque utilisateur travaillant sur un terminal graphique distinct. En mars 1986, quatre ans seulement après son introduction, AutoCAD était devenu l'application de conception la plus utilisée dans le monde, une position qu'elle occupe toujours aujourd'hui. [VI]

II.2.2 AUTOCAD 2020

AUTOCAD 2020 est la version la plus récente d'autocad. Il existe en plusieurs versions :

- autoCAD (version standard)
- architecture
- mécanique
- électronique
- Civil

Il y en a encore bien d'autre version, mais dans le cadre de ce mémoire la version standard est utilisée.

PARTIE II : Chapitre II : Logiciels

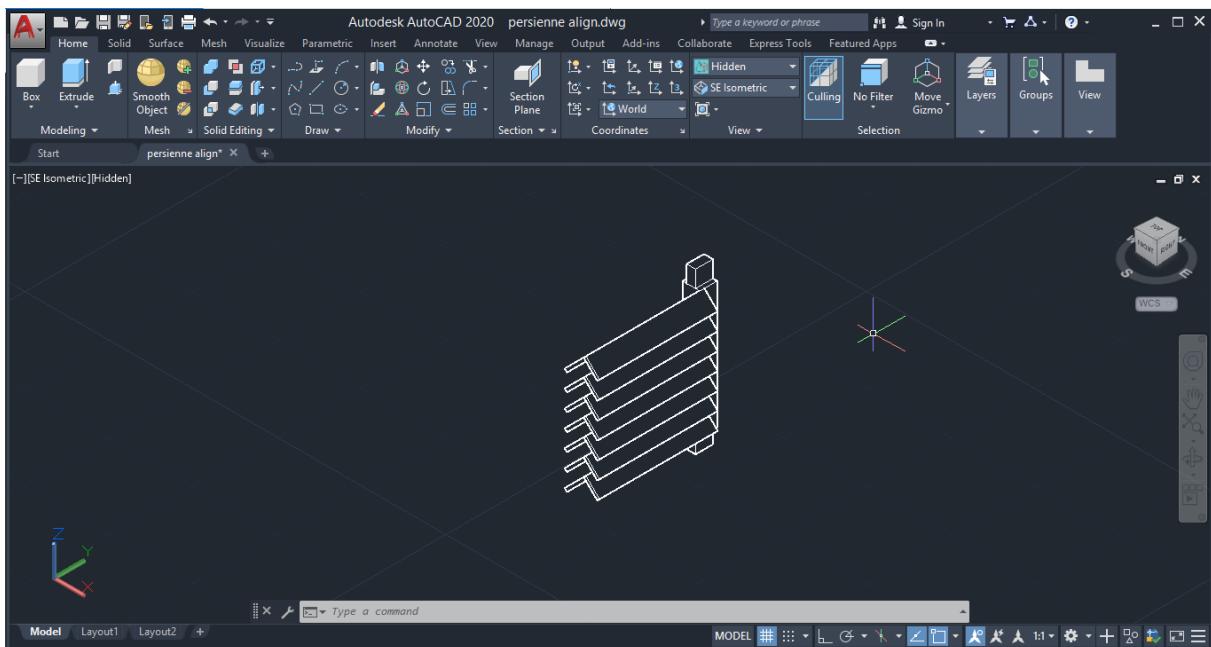


Figure II. 32 : Interface Autocad 2020

La plage rectangulaire correspond à la zone de travail effectif. Tous les schémas apparaîtront sur cette zone avec le dimensionnement choisi.



Figure II. 33 : Commande 3D

C'est sur cette commande que l'utilisateur modélise toutes formes 3D avec ces propres choix de mesure. Il peut polir les formes, étendre, dupliqué, créé une copie miroir, sectionné.

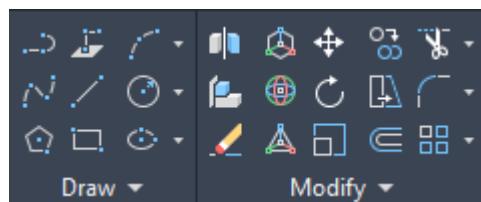


Figure II. 34 : Commande d'interface

Sur cette commande l'utilisateur modélise toutes formes basiques. Le traçage des lignes, les formes circulaires ou rectangulaires ou bien même polygonal. C'est ici que ce fait certaines transformation comme la rotation, l'inclinaison, déplacement, alignement des objets.



Figure II. 35 : Commande de Plan

C'est sur cette commande que l'utilisateur choisit le plan, l'angle d'observation, et le style d'apparence de l'objet (cacher les lignes de formes, choisir la couleur).

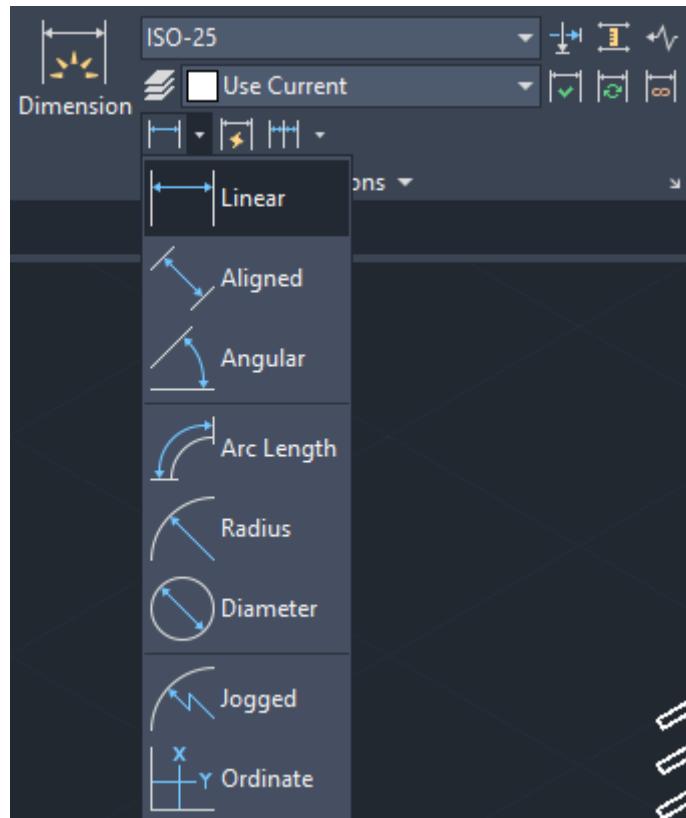


Figure II. 36 : Commande de Dimensionnement

Cette commande gère la cotation de l'objet modélisé. Il existe un large choix de style de cotation suivant la forme de l'objet en question.

AUTOCAD 2020 a encore une large gamme d'option que ce qui est cité. Il peut créer les formes les plus classiques si bien que les formes les plus complexes. Le rendu de sa modélisation avec sa grande précision fait de lui le premier choix dans la réalisation de plan de conception ou de construction. Et le site officiel du logiciel offre une panoplie de documentation et de partage d'idée entre utilisateur.

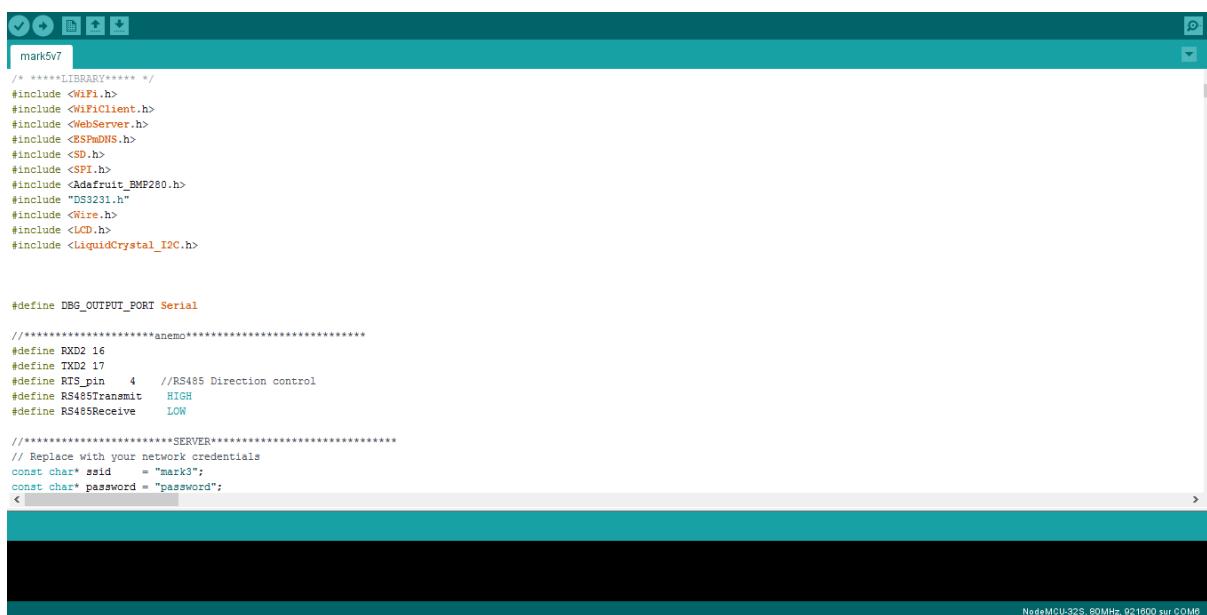
II.3 Arduino Software [15]

II.3.1 Description

L'environnement de développement intégré Arduino ou le logiciel Arduino (IDE) contient un éditeur de texte pour écrire du code, une zone de message, une console de texte, une barre d'outils avec des boutons pour les fonctions communes et une série de menus. Il se connecte à l'Arduino ou à n'importe quel matériel de carte pour télécharger des programmes et communiquer avec eux.

II.3.2 Ecrire des sketches

Les programmes écrits avec le logiciel Arduino (IDE) sont appelés des esquisses. Ces croquis sont écrits dans l'éditeur de texte et enregistrés avec l'extension de fichier .ino. L'éditeur dispose de fonctionnalités permettant de couper ou coller, de rechercher ou remplacer un texte. La zone de message donne des informations lors de la sauvegarde et de l'exportation et affiche également des erreurs. La console affiche le texte généré par le logiciel Arduino (IDE), y compris les messages d'erreur complets et d'autres informations. Le coin inférieur droit de la fenêtre affiche la carte configurée et le port série. Les boutons de la barre d'outils vous permettent de vérifier et de télécharger des programmes, de créer, d'ouvrir et de sauvegarder des esquisses et d'ouvrir le moniteur série.



```
/* *****LIBRARY***** */
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <WebServer.h>
#include <ESP8266.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include "DS3231.h"
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define DBG_OUTPUT_PORT Serial

//*****anemo*****
#define RXD2 16
#define TXD2 17
#define RTS_pin 4 //RS485 Direction control
#define RS485transmit HIGH
#define RS485receive LOW

//*****SERVER*****
// Replace with your network credentials
const char* ssid    = "mark3";
const char* password = "password";
<
```

NodeMCU-32S, 80MHz, 921600 sur COM6

Figure II. 37 : Interface arduino IDE

PARTIE II : Chapitre II : Logiciels

II.3.3 interface



Figure II. 38 : Commande sketch

C'est sur cette commande que l'utilisateur vérifie le code pour voir les éventuelles erreurs avant le téléversement vers le microcontrôleur. L'utilisateur peut créer ou ouvrir des sketches et les sauvegarder.

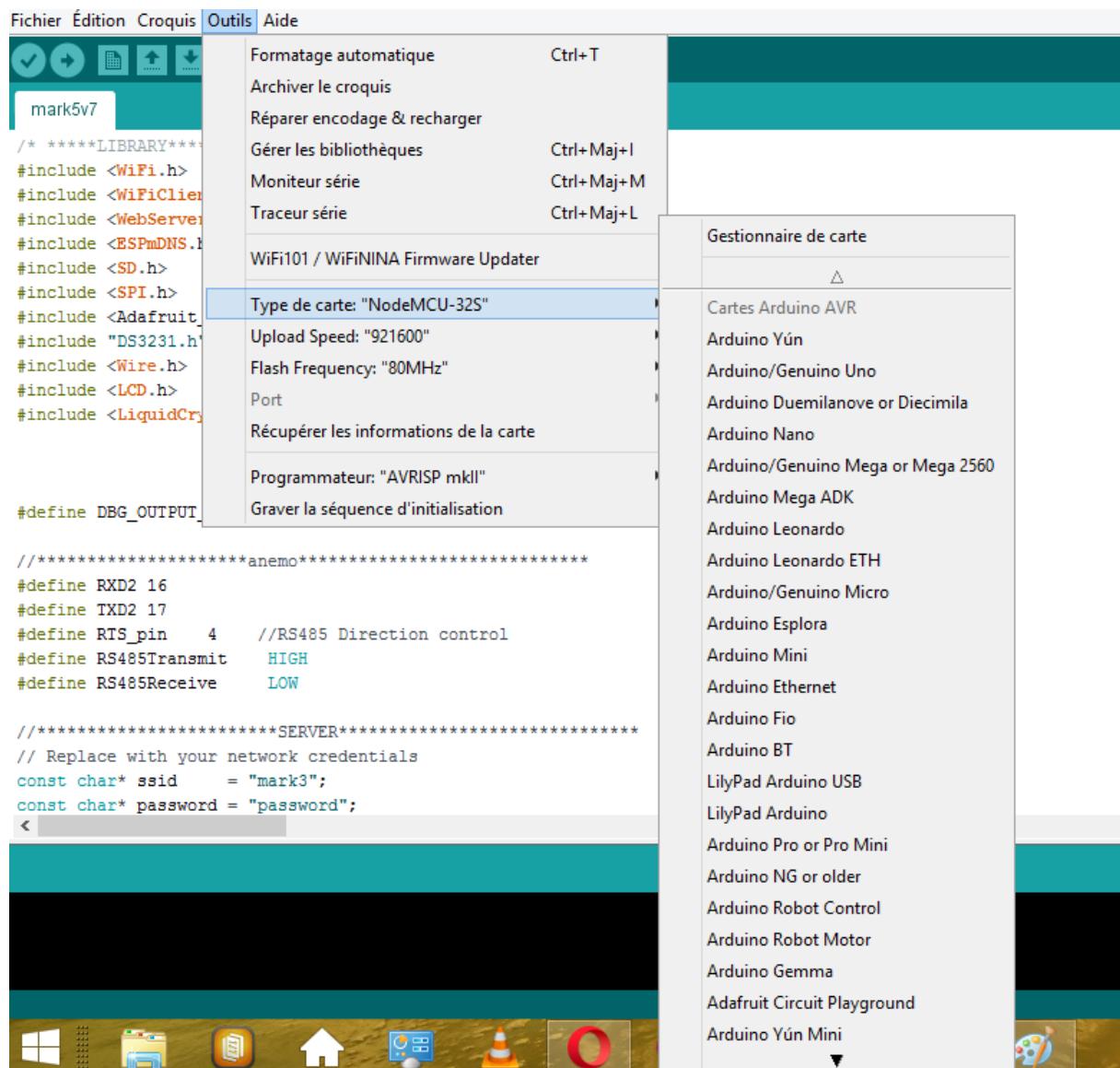


Figure II. 39 : Palette de choix de carte

Dans son menu Outils, l'IDE offre la possibilité de choisir la carte à programmer et même si la carte n'est pas encore installé, IDE offre aussi la possibilité de télécharger son package.

PARTIE II : Chapitre II : Logiciels

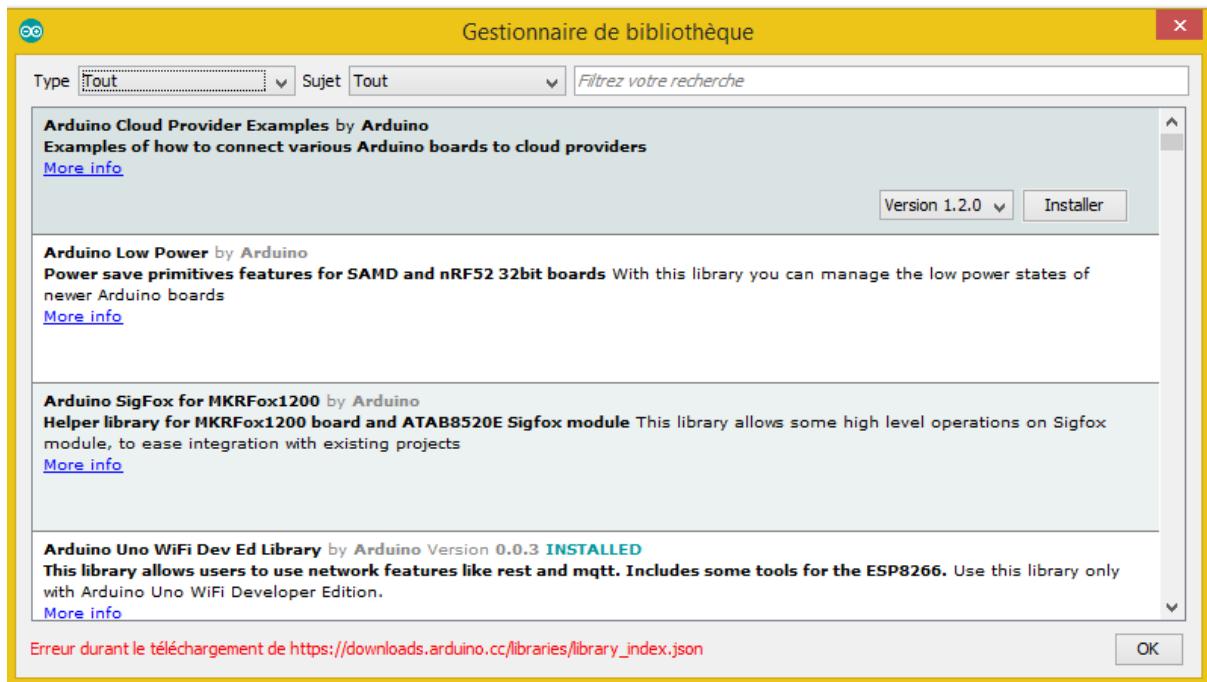


Figure II. 40 : Gestionnaire de bibliothèque

L'une des caractéristiques de l'IDE est de permettre à l'utilisateur de télécharger, depuis le logiciel, les éventuelles bibliothèques manquantes à la réalisation du sketch.

L'IDE Arduino a une interface assez simple mais sa gamme de gestion de carte offre à l'utilisateur la possibilité de téléverser un même sketch vers d'autre carte. Sa détection des erreurs à l'écriture du code fait de lui un IDE de choix dans le cadre de ce mémoire.

II.4 Notepad++

Notepad++ est un éditeur de texte libre générique, fonctionnant sous Windows, codé en C++, qui intègre la coloration syntaxique de code source pour les langages et fichiers C, C++, Java, C#, XML, HTML, PHP, JavaScript, makefile, bat, MS fichier ini, ASP, Visual Basic, SQL, Objective-C, CSS, Pascal, Perl, Python, R, MATLAB, Lua, TCL, Assembleur, Ruby, Lisp, Scheme, Properties, Smalltalk, PostScript et VHDL ainsi que pour tout autre langage informatique, car ce logiciel propose la possibilité de créer ses propres colorations syntaxiques pour un langage quelconque.

Ce logiciel a pour but de fournir un éditeur léger (aussi bien au niveau de la taille du code compilé que des ressources occupées durant l'exécution) et efficace.

Dans le cadre de ce mémoire il est utilisé pour créer l'interface web qui sert de moniteur vers un ordinateur ou smartphone.

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
<meta charset="utf-8">
<meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, shrink-to-fit=no">
<meta name="description" content="">
<meta name="author" content="">
<title>STATION AUTOMAT</title>
<!-- Custom fonts for this template-->

<style>
    canvas {
        -moz-user-select: none;
        -webkit-user-select: none;
        -ms-user-select: none;
    }
    body{
        height:100%;
        display:block;
        padding:0;
        margin:0;
    }
    #wrapper{
        display:flex;
    }
    #content #content-wrapper {

```

Figure II. 41 : Interface notepad++

Conclusion partielle de la deuxième partie

Cette partie du manuscrit montre et développe les différents matériaux et Logiciels qui ont donné vie au Projet de mémoire. Les différentes sondes, le microcontrôleur, et les différents logiciels qui ont aidé à la conception du plan de l'abri et l'écriture des codes y sont développé.

PARTIE III: REALISATION DE LA STATION AUTOMATIQUE « SARIVAZO »

Chapitre I : Etude et montage d'un abri Météorologique

L'exactitude avec laquelle une observation décrit une partie choisie de l'atmosphère ne se confond pas avec l'incertitude de l'instrument, car la valeur de l'observation dépend aussi de l'exposition de l'instrument vis à vis de l'atmosphère. [2]

I.1 L'étude du plan de conception

I.1.1 Intérêt

Les grandeurs physique comme la température, l'humidité et la Pression sont difficiles à mesurer vue les facteurs environnants qui entourent les différentes sondes. En effet, une sonde thermique mesure d'abord et avant tout sa propre température. Celle-ci résulte de l'équilibre entre des échanges thermiques, qui ont lieu suivant trois modes:

- convection: les mouvements de l'air ambiant permettent des transferts d'énergie calorifique.
- conduction: l'énergie passe d'un corps à un autre, par contact.
- rayonnement: tous les corps émettent de la lumière, en fonction de leur température, et sont eux-mêmes chauffés par la lumière qu'ils absorbent.

Pour mesurer la température de l'air, rayonnement et conduction doivent être limités le plus possible. A l'inverse, il faut favoriser les mouvements de convection de l'air.

L'abri météorologique est une réponse à ce besoin. Il bloque le rayonnement direct du soleil, et limite le rayonnement indirect. Sa couleur blanche et brillante limite son propre échauffement, afin qu'il ne rayonne pas à l'intérieur, vers les différentes sondes. Le choix d'un matériau isolant, le bois, limite les échauffements par conduction. Des ouvertures pratiquées au plancher, sur le toit (cheminée) et sur les parois (doubles persiennes) favorisent les mouvements de convection de l'air. Cette ventilation latérale et cette convection favorisent la mise en équilibre rapide avec le milieu à mesurer, c'est-à-dire l'air extérieur.

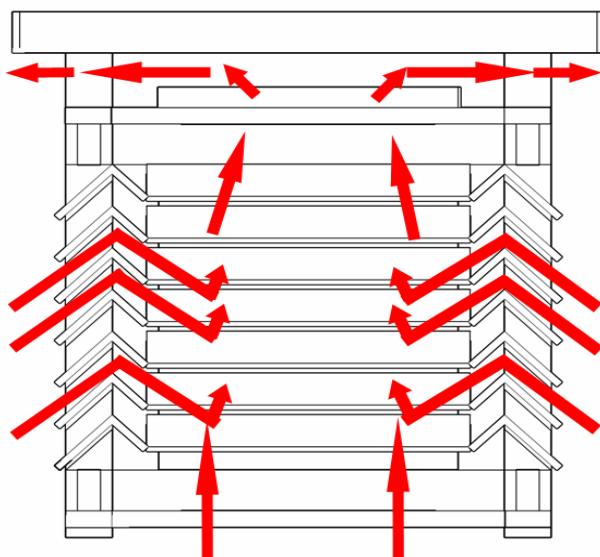


Figure III. 1 : Flux de circulation de l'air dans l'abri

Source : Auteur, 2019

I.1.2 Caractéristiques principales

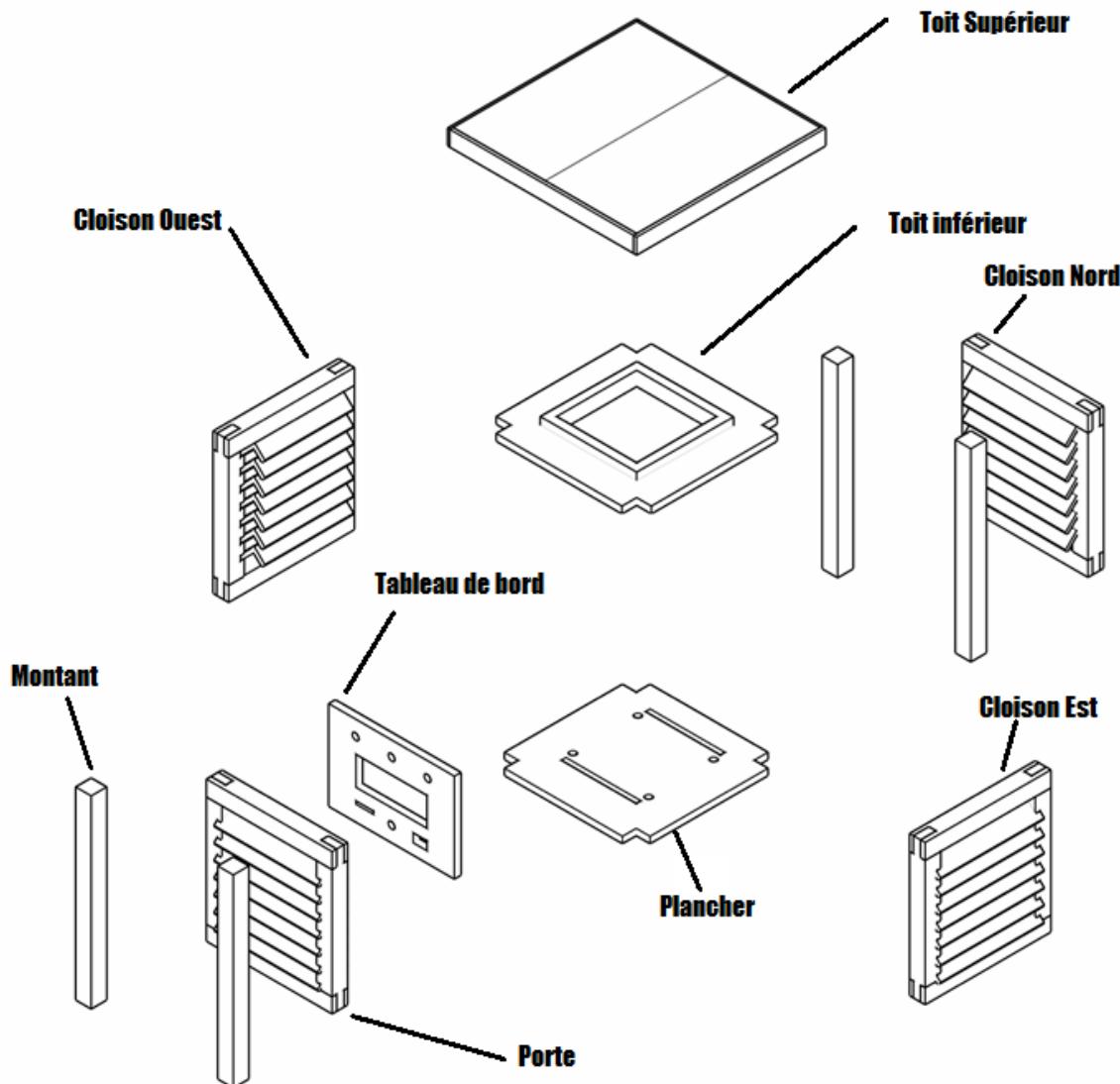


Figure III. 2 : Vue explosive de l'abri

Source : Auteur, 2019

Les plans de conception ont été dessinés avec Autocad 2020. L'image ci-dessus montre tous les éléments composant l'abri, à l'exception des charnières, poignée de porte et le pied qui porte l'abri.

Les cloisons sont orientées respectivement à l'ouest, au nord et à l'est. La porte est orientée au sud. Derrière la porte se place le tableau de bord où l'écran et les boutons se fixent. Ainsi, lorsqu'on l'ouvre, la lumière directe ne pénètre pas dans l'abri.

Les montants supportent la porte, via les charnières, ainsi que le toit supérieur. Le toit inférieur est supporté par les cloisons.

I.1.3 Le toit supérieur

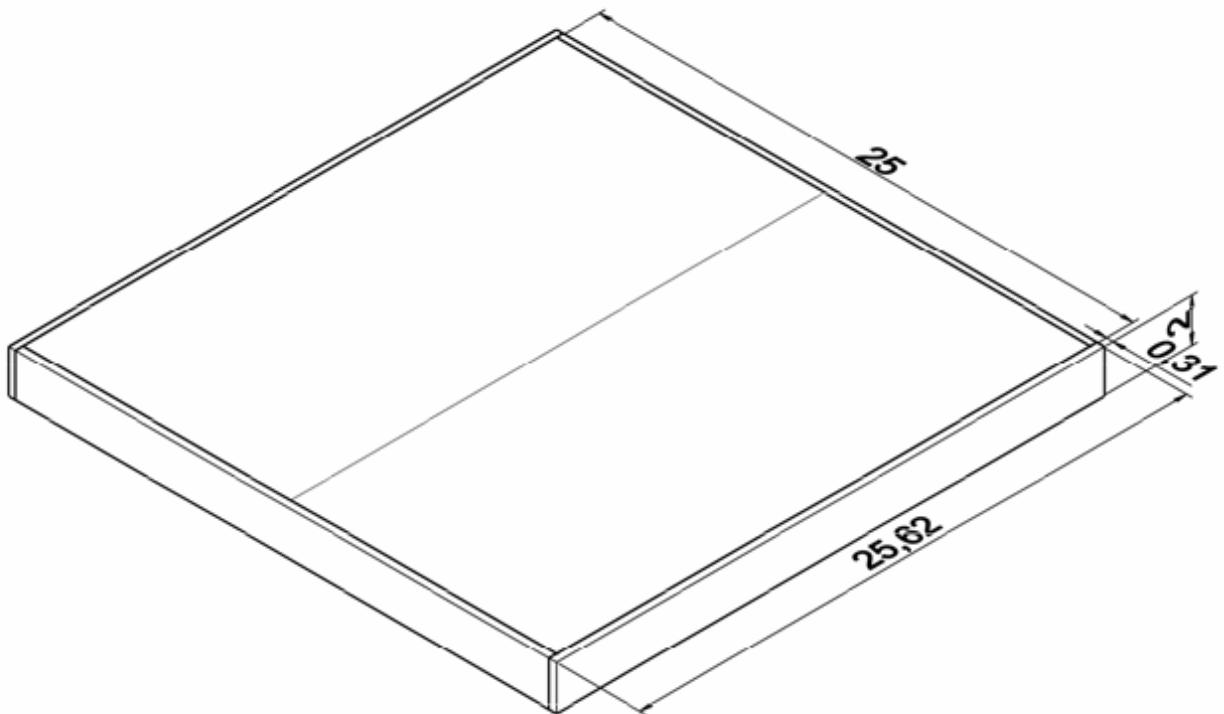


Figure III. 3 : Le toit de l'abri

Source : Auteur, 2019

Le toit est légèrement incliné à partir de la ligne médiane vers deux coté pour permettre le ruissellement l'eau. Le toit supérieur reçoit une corniche. C'est esthétique, mais c'est surtout fonctionnel, car cela joue le rôle de goutte d'eau. L'eau ruissèle sous le toit et goutte sous la corniche.

I.1.4 Le toit inférieur et le Plancher

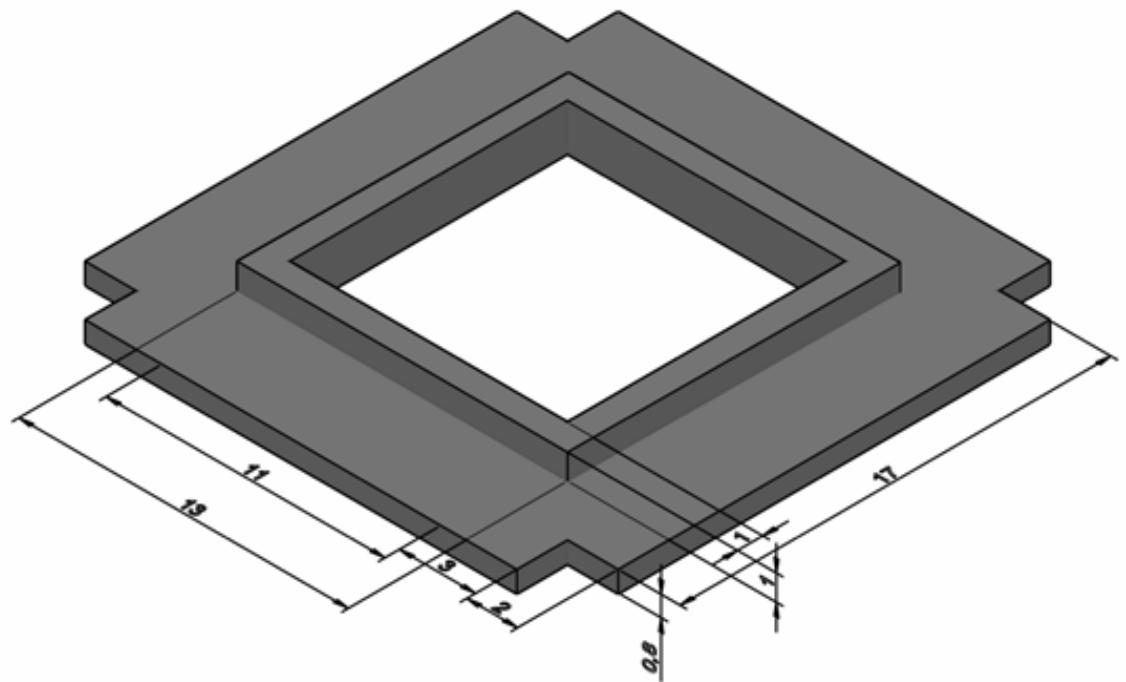


Figure III. 4 : Toit inférieur
Source : Auteur, 2019

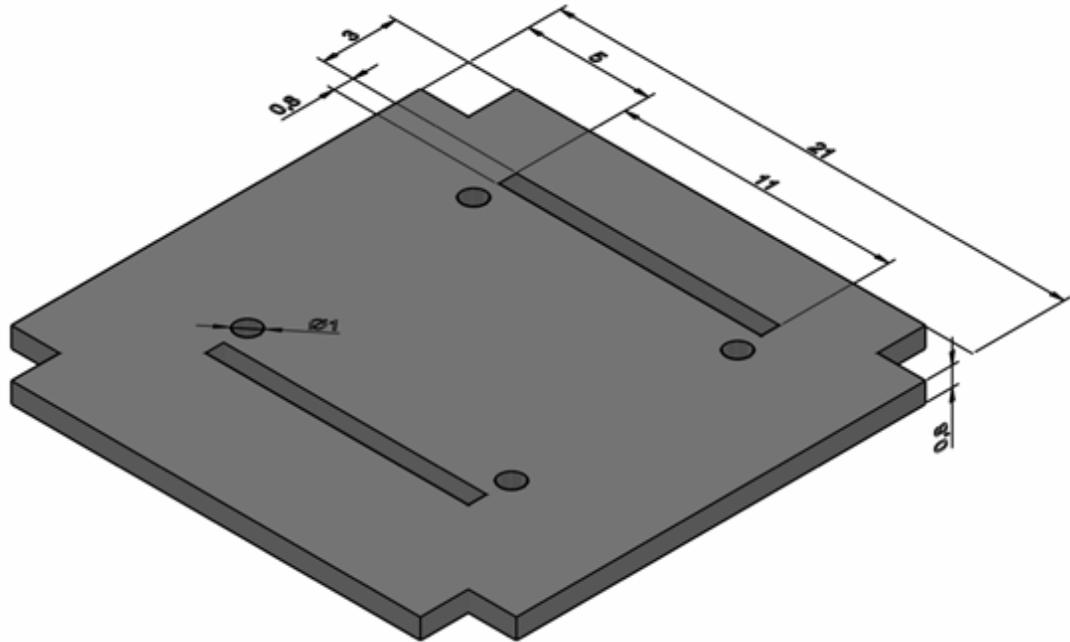


Figure III. 5 : Le plancher
Source : Auteur, 2019

Le toit inférieur et le plancher reçoivent des entailles carrées dans chaque angle. Elles sont destinées à laisser passer les montants de l'abri.

PARTIE III : Chapitre I : Etude et montage d'un abri Météorologique

Le toit inférieur est percé d'une cheminée, afin de permettre à l'air de sortir.

Le plancher reçoit des fentes destinées à laisser entrer l'air. Ces fentes peuvent sembler sous-dimensionnées, mais elles ne sont pas les seules entrées d'air, puisque les cloisons en sont aussi. Les quatre trous servent de fixation avec le pied, des écrous y sont logés pour solliciter le renforcement.

I.1.5 Les doubles persiennes

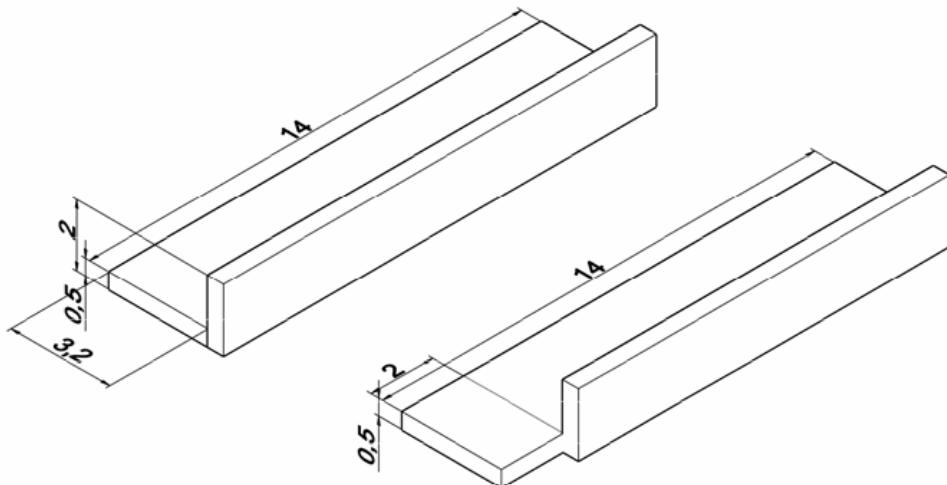


Figure III. 6 : Double persiennes

Source : Auteur, 2019

Pour la préparation, il existe deux types de double persienne, tous d'une épaisseur de 5mm. Pour le premier type, on assemble 2 types de tasseaux de Hazo Ala, de section 14 x 3,2 cm et 14 x 2 cm. Pour le deuxième type, on assemble un tasseau de section 14x3,2 cm et un autre de 12x2 cm. Le deuxième tasseau est légèrement raccourci pour laisser une place à l'installation du tableau de bord.

Le tasseau de 3,2 cm est tourné vers l'extérieur de l'abri, tandis que celui de 2cm est tourné vers l'intérieur.

Les doubles persiennes sont dimensionnées et disposées de façon à bloquer la lumière directe, tout en laissant passer l'air.

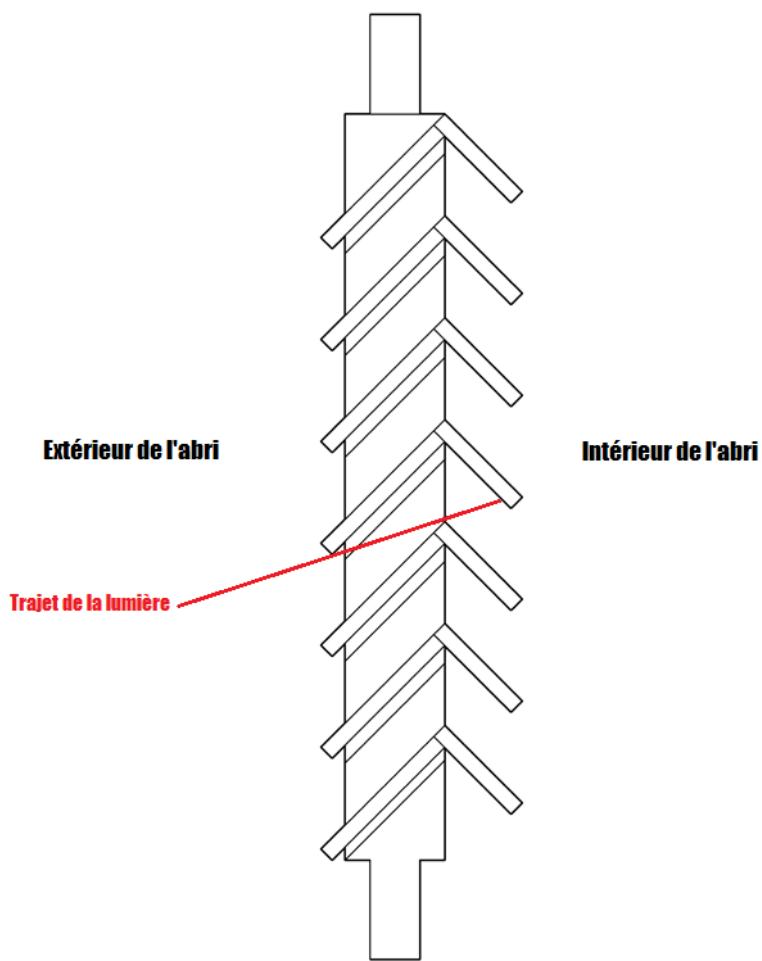


Figure III. 7 : Intérêt des doubles persiennes avec la trajectoire de la lumière
Source : Auteur, 2019

I.1.6 Les montants et traverses

Les montants des cloisons et de la porte sont réalisés à partir de tasseaux de Hazo Ala de section 19×2 cm. Les traverses le sont aussi mais avec une mesure 17×2 cm.

Des rainures de 5 mm de profondeur, orientées à 45 degrés et distante de 1,25 cm.

Le montant principale est juste un tasseau de Hazo Ala de section 25×2 cm, supportant le toit et les cloisons, agissant comme pied.

Une caractéristique des montants, des cloisons et des traverses fait qu'ils s'emboitent aux extrémités pour faciliter le montage. Les montants des cloisons agissent comme mâles et les traverses comme femelles.

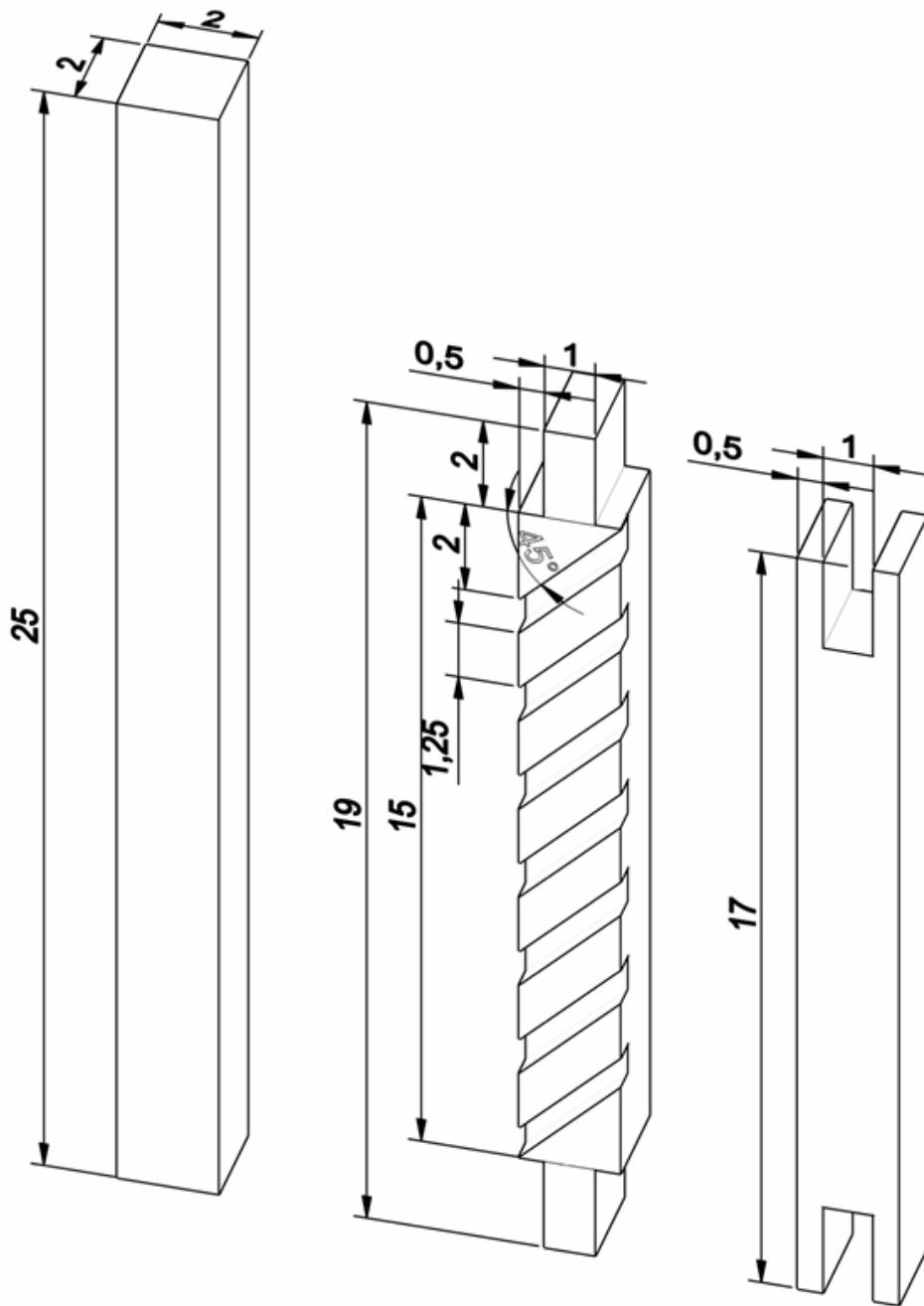


Figure III. 8 : Les montants et traverses

Source : Auteur, 2019

I.1.7 Les cloisons

Les cloisons se composent de 2 montants à rainures, 2 traverses et 7 doubles persiennes.

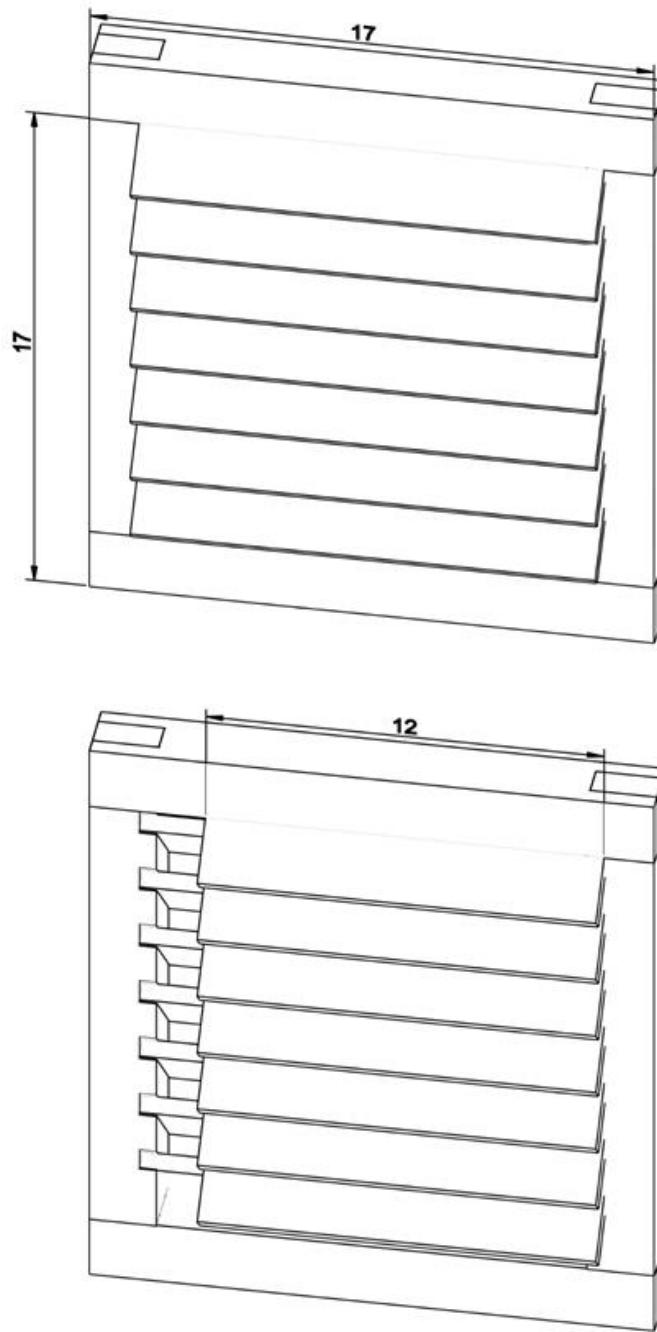


Figure III. 9 : Les cloisons de l'abri
Source : Auteur, 2019

I.1.8 Le tableau de bord

Le tableau de bord est un planche de Hazo Ala de section 17 × 12 cm. C'est sur ce tableau de bord qu'est fixé l'écran LCD, le bouton d'allumage de l'écran ainsi que de l'interrupteur qui gère l'entrée de charge du panneau solaire. Les trois trous supérieur sont des cavités qui évitent l'éventualité d'un refoulement d'air et favorise ainsi la circulation de l'air.

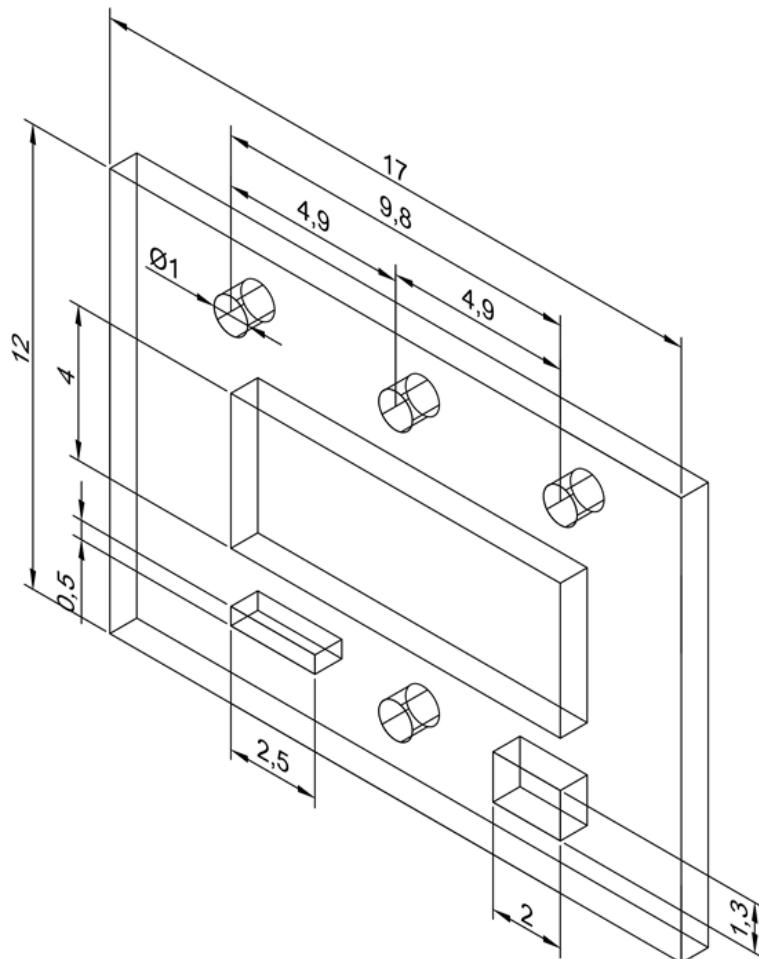


Figure III. 10 : Tableau de bord

Source : Auteur, 2019

I.1.9 Socles

L'abri ainsi que l'anémomètre dispose chacun d'un socle pour pouvoir les installés dans un Park Météorologique. La hauteur des socles par rapport au sol est de 1.50m.

- Le socle de l'abri présent 4 trous d'entré des écrous pour la fixation de l'abri.
- Le socle de l'anémomètre présente 8 trous dont 4 de diamètre 1cm, utilisé pour réglé l'équilibre du mat avec 4 cordes fixé au sol. Les trous de diamètre 0.5cm servent a fixé l'anémomètre au socle

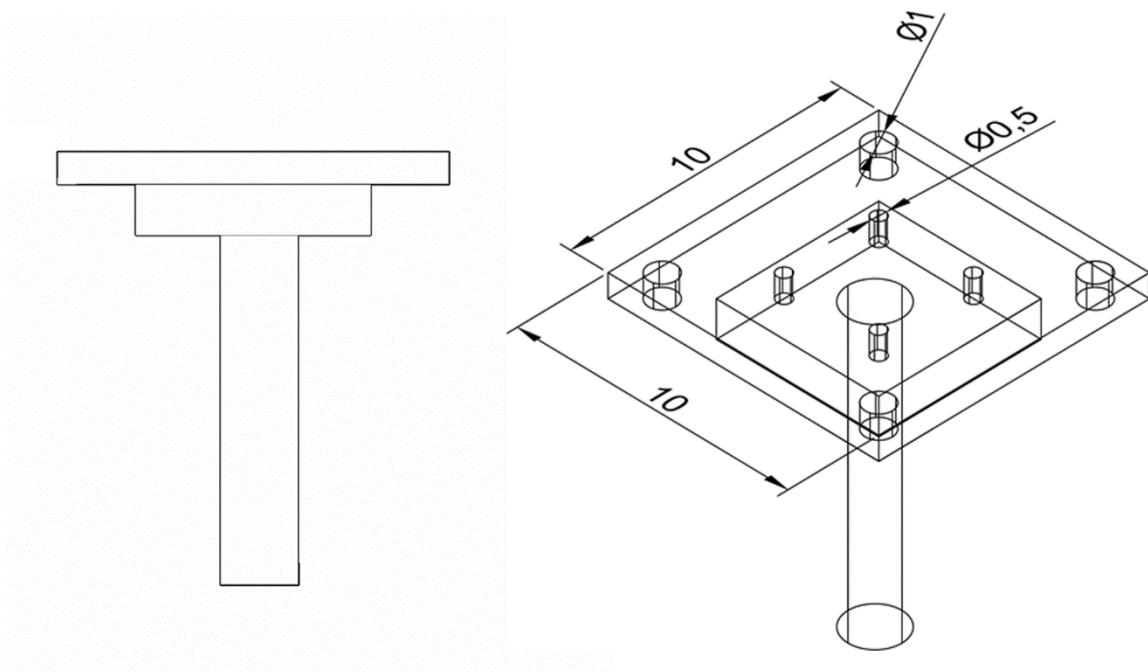


Figure III. 11 : Socle de l'anémomètre

Source : Auteur, 2019

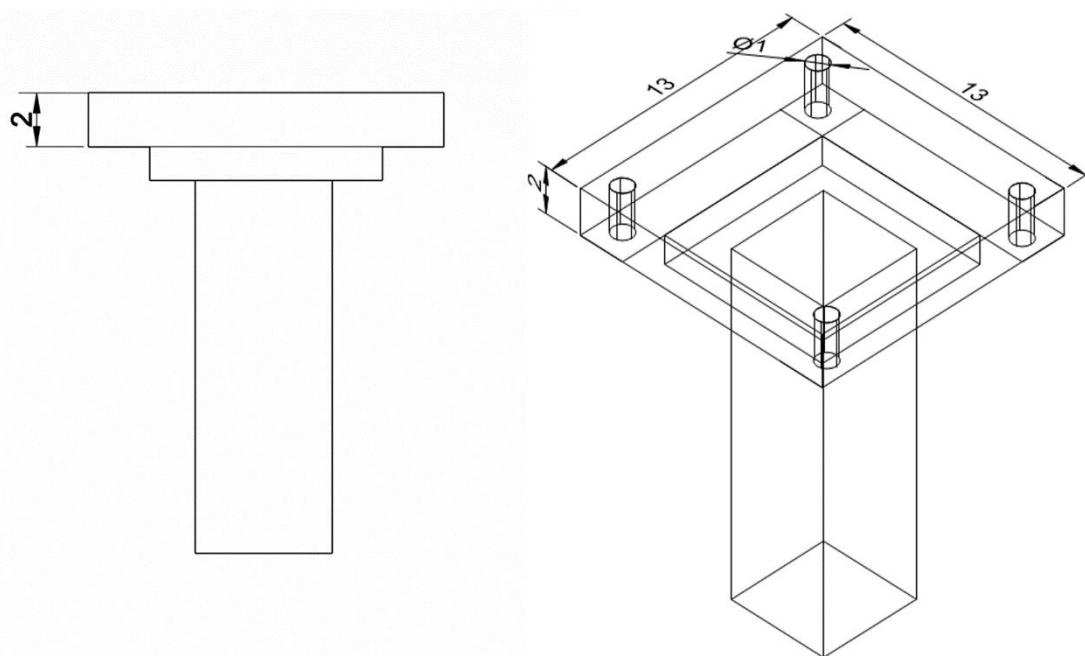


Figure III. 12 : Socle de l'abri météorologique

Source : Auteur, 2019

PARTIE III : Chapitre I : Etude et montage d'un abri Météorologique

I.2 Montage de l'abri météorologique

Tableau III. 1 : Caractéristiques principales de l'abri et outils de travail

Matériaux	Bois : Hazo Ala Métal : Charnière, vis à aggloméré, clou, poignet
Assemblage	Colle à bois : Résine synthétique adhésive Févicol SH Pâte à bois : pour colmatage des jours résiduels
Découpage	Scie à métaux
Peinture	Extérieure, pour environnement extrême, blanche et brillante
Cloisons et porte	A doubles persiennes
Toit	Double, l'une avec une cheminée

Source : Auteur, 2019

Les 28 persiennes, 8 traverses, 8 montants sont assemblées à la colle à bois. Il faut utiliser une colle pour environnement extérieur sévère.



Photo III. 1 : Persienne collé
Amboropotsy Talatamaty, 15/10/2019

Les traverses et montants sont joints et renforcé avec de la colle de bois et des clous.



Photo III. 2 : Montage des traverses et montants
Amboropotsy Talatamaty, 15/10/2019

PARTIE III : Chapitre I : Etude et montage d'un abri Météorologique

Les persiennes sont logées dans les rainures et renforcées à la colle de bois. Les éventuelles espaces vides sont colmatées avec la patte à bois.



**Photo III. 3 : Cloison après renforcement
Amboropotsy Talatamaty, 15/10/2019**



**Photo III. 4 : Cloison après renforcement vue de profil
Amboropotsy Talatamaty, 15/10/2019**

PARTIE III : Chapitre I : Etude et montage d'un abri Météorologique

Conformément au plan, les cloisons sont portées par les 4 montants principaux. Les charnières seront fixées sur la porte avec des vis. Après montage des cloisons et du toit, voici une photo de l'abri.



**Photo III. 5 : Abri après montage des cloisons et du toit.
Amboropotsy Talatamaty, 15/10/2019**

Le tableau de bord est le dernier élément à être fixé. Il sera monté après l'installation des périphériques de l'appareil. Une fois que toutes les pièces sont montées, l'abri sera peint.

La peinture doit être brillante et de couleur blanche, afin de limiter l'absorption du rayonnement solaire, direct et indirect. Elle protège aussi le bois de l'humidité. On applique 2 couches, voire même 3. Il faut utiliser impérativement une peinture extérieure pour environnement extrême.



**Photo III. 6 : Abri après peinture
Amboropotsy Talatamaty, 16/10/2019**

Chapitre II : Réalisation du circuit imprimé de la station automatique

Étant donné qu'une station automatique est un appareil électronique, la réalisation d'une plaquette de circuit et donc une nécessité pour limiter le raccordement par fils. Cela donne plus d'espace intérieur à l'abri et diminue le temps de l'installation et vérification à la maintenance.

II.1 Circuit imprimé et périphérique

Le schéma du PCB est préalablement dessiné avec le sous logiciel ARES de Proteus. Il sera imprimé sur un papier glacé d'une épaisseur assez fine pour avoir un résultat de gravure impeccable sur la plaque de cuivre.

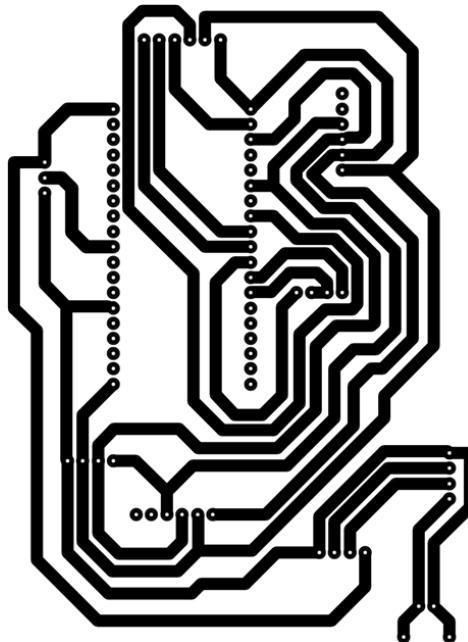


Figure III. 13 : PCB du projet

Source : Auteur, 2019

La plaque de cuivre est découpée avec une scie à métaux suivant les dimensions adaptées au PCB.



Photo III. 7 : Plaque de cuivre découpé

Amboropotsy Talatamaty, 16/10/2019

PARTIE III : Chapitre II : Réalisation du circuit imprimé de la station automatique

La procédure suivante consiste à imprimer le schéma sur la plaque de cuivre. Pour cela la plaque sera scotchée au papier glacé, puis pour que la plaque s'imprègne de l'encre du papier, il sera repassé au dos avec un fer à repasser.

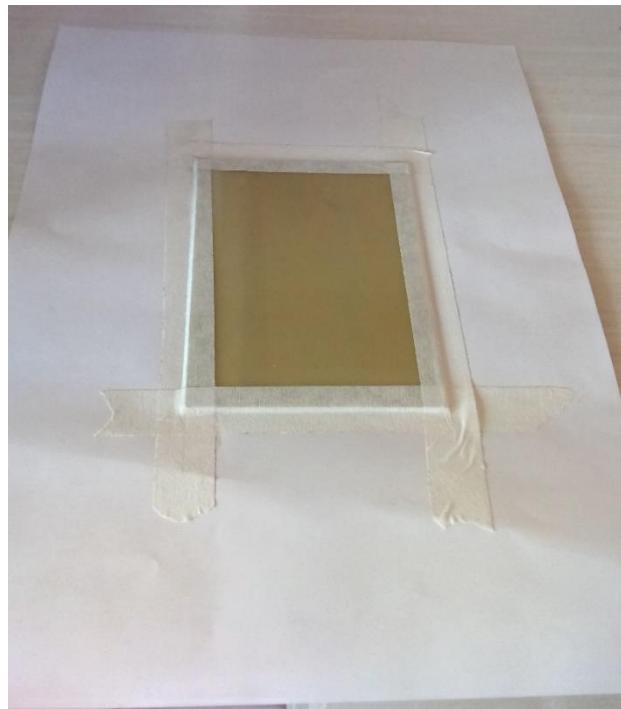


Photo III. 8 : Plaque de cuivre scotché au papier glacé
Amboropotsy Talatamaty, 16/10/2019



Photo III. 9 : Repassage au dos du papier glacé
Amboropotsy Talatamaty, 16/10/2019

PARTIE III : Chapitre II : Réalisation du circuit imprimé de la station automatique

Après que la plaque soit refroidie, on retire délicatement le papier pour que le schéma soit révélé.

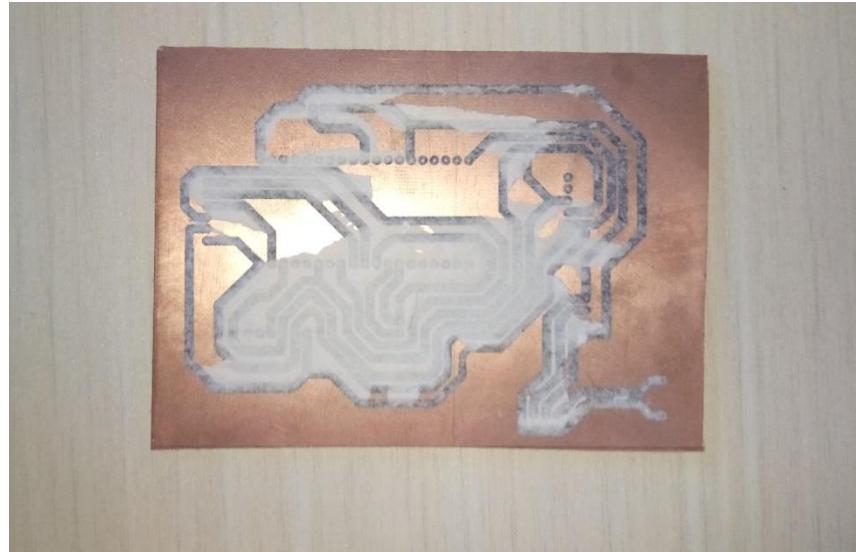


Photo III. 10 : Plaque après retrait du papier
Amboropotsy Talatamaty, 16/10/2019

La procédure suivante consiste à ronger le cuivre aux endroits non protégés par l'encre. Pour réaliser cela on utilise de l'Acide chlorhydrique dilué. Les petites coupures sont relié avec de l'étain.

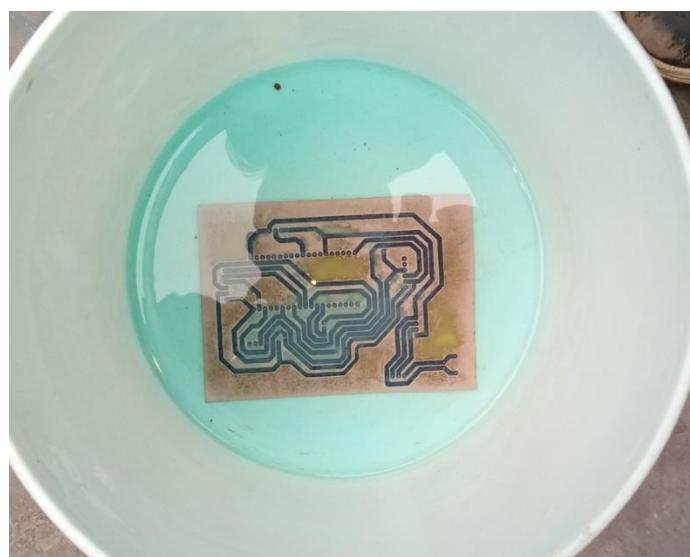


Photo III. 11 : Gravure à l'acide chlorhydrique
Amboropotsy Talatamaty, 16/10/2019

Après la gravure viens l'étape du perçage et soudure des broches femelles où les capteurs et l'alimentation seront connectés.

PARTIE III : Chapitre II : Réalisation du circuit imprimé de la station automatique

II.2 Le montage des capteurs et périphériques

II.2.1 Installation

Une fois que les soudures sont faites, les différentes sondes, écran LCD, batterie et convertisseur (12V en 5V) peuvent être branché sur leurs broches respectives.

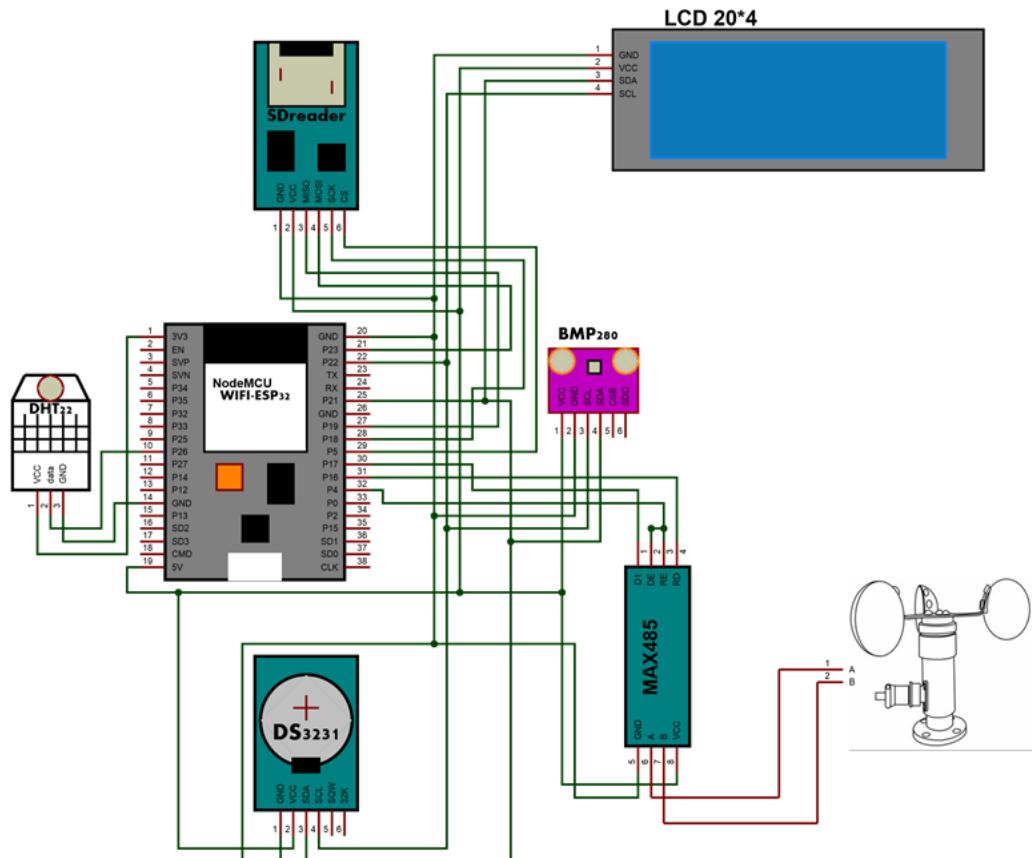


Figure III. 14 : Schéma de montage des sondes

Source : Auteur, 2019

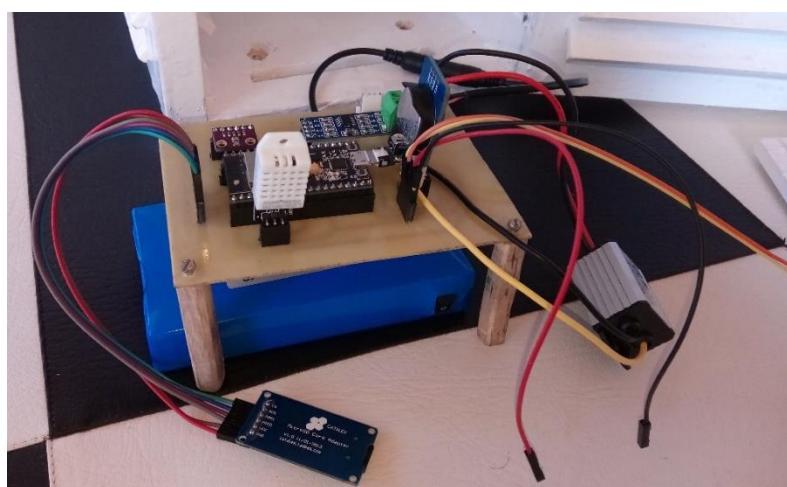


Photo III. 12 : Montage des sondes et périphériques

Amboropotsy Talatamaty, 18/10/2019

PARTIE III : Chapitre II : Réalisation du circuit imprimé de la station automatique

Le dispositif monté et fonctionnel sera maintenant disposé dans l'abri météorologique.

II.2.2 Montage à l'abri

L'écran LCD, le bouton d'allumage de l'écran ainsi que de l'interrupteur de tension de recharge photovoltaïque sont installé à leurs places respectives sur le tableau de bord. Tandis que la carte mère est monté sur un socle pour élever les capteurs à une hauteur qui les mettent à égale distance approximative des parois.

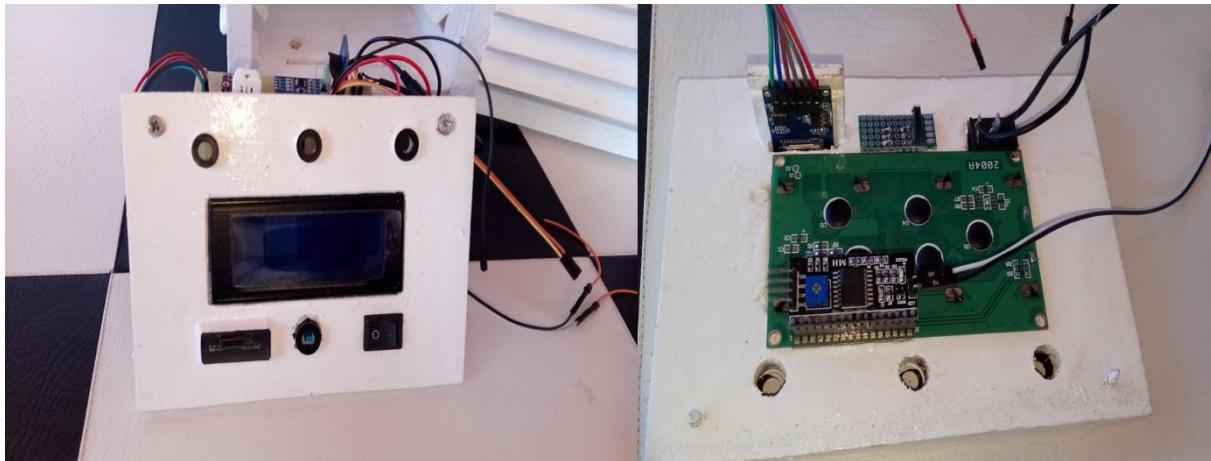


Photo III. 13 : Montage au tableau de bord
Amboropotsy Talatamaty, 18/10/2019

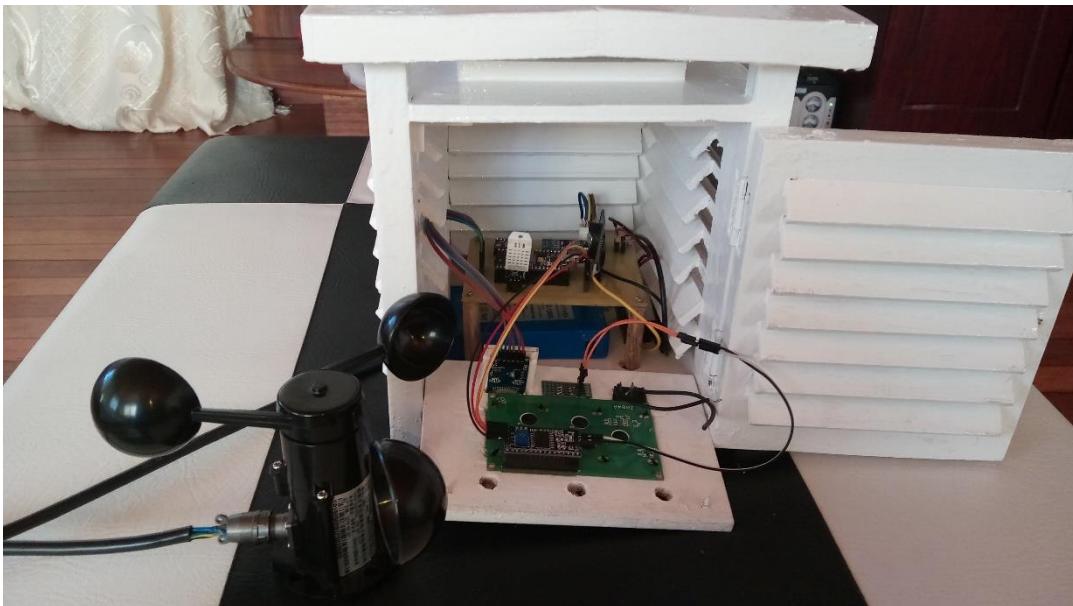


Photo III. 14 : Montage de la carte mère
Amboropotsy Talatamaty, 18/10/2019

PARTIE III : Chapitre II : Réalisation du circuit imprimé de la station automatique

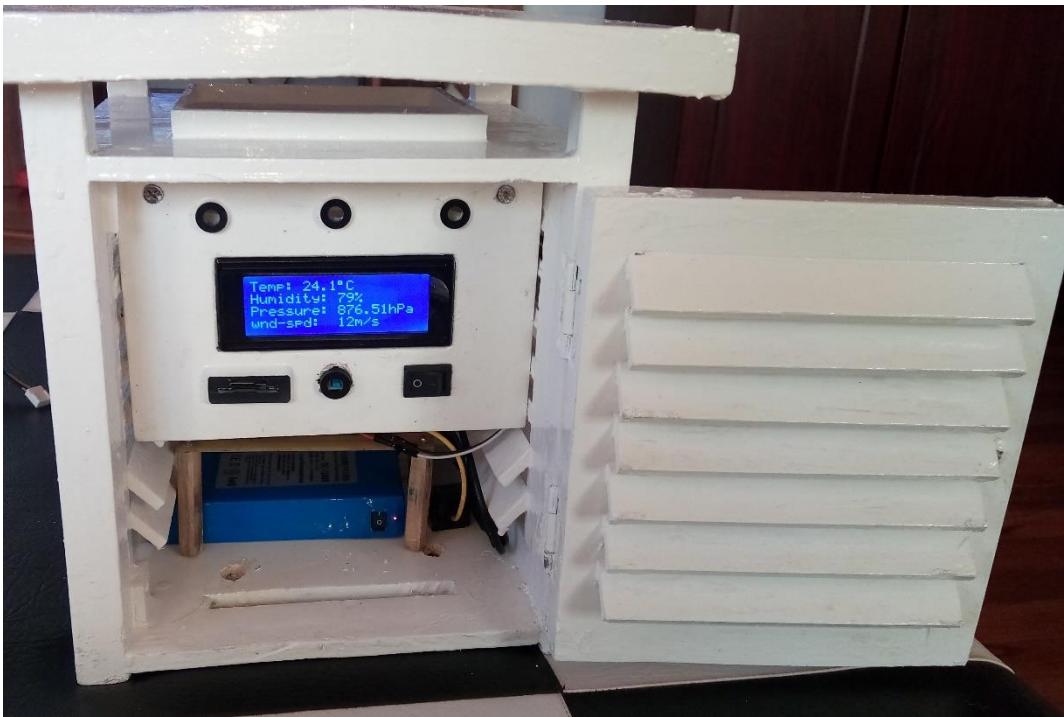


Photo III. 15 : Fixation du tableau de bord
Amboropotsy Talatamaty, 18/10/2019

L'appareil ainsi monté sur l'abri avec une bonne vérification des branchements peut être installé dans un Parc météorologique.

II.2.3 Emplacement idéal de l'abri météorologique



Photo III. 16 : Abri placé dans un parc météorologique
Parc météo ASECNA Ivato, 20/10/2019

PARTIE III : Chapitre II : Réalisation du circuit imprimé de la station automatique

- L'abri doit être placé sur un Lieu représentatif de la zone géographique concernée, sans obstacle, et recouvert d'une végétation basse.
- Il faut veiller à ce que l'abri soit éloigné de toutes sources de chaleur (bâtiments, parking, étendues d'eau).
- Exposé l'abri au soleil durant toute la journée sans aucun effet d'ombres portées (dues à des arbres).
- Le mettre sur un Terrain plat sans dénivèlement du sol pouvant créer de perturbation de la mesure en créant des rayonnements parasites.
- L'abri doit être installé de manière à ce que les capteurs placés à l'intérieur soient à une hauteur de 1,5 mètre au-dessus du sol.
- L'ouverture de l'abri doit être orientée face au Sud.

Conclusion partielle de la Troisième partie

Cette partie du manuscrit montre la conception de l'abri et de son montage. Il montre et détail l'élaboration du PCB et les montages dans l'abri météorologique.

PARTIE IV : RESULTATS ET COMPARAISON

Chapitre I : Réseau de communication

Etant donné que la station automatique réalisée dans ce projet de mémoire communique via le réseau WiFi avec les ordinateur ou smartphones, l'établissement d'un réseau qui héberge la communication est primordiale. Trois moyens d'hébergement de réseau peuvent être utilisés pour communiquer avec la station nommée « SARIVAZO ».

I.1 Réseau locale ordinateur

Comme précédemment cité dans la première partie de ce manuscrit sur **Les réseaux sans fils**, l'une des façons pour communiquer avec la station automatique est donc de créer un réseau local WLAN. Un ordinateur avec un système d'exploitation windows lance un réseau hébergé avec les identifiants de réseau que la station recherche à son démarrage.

L'identifiant de réseau par défaut de la station est « ssid= "mark3" », pour le nom du réseau et « password = "password" » pour le mot de passe. La station recherche automatiquement un réseau ayant ces identifiants.

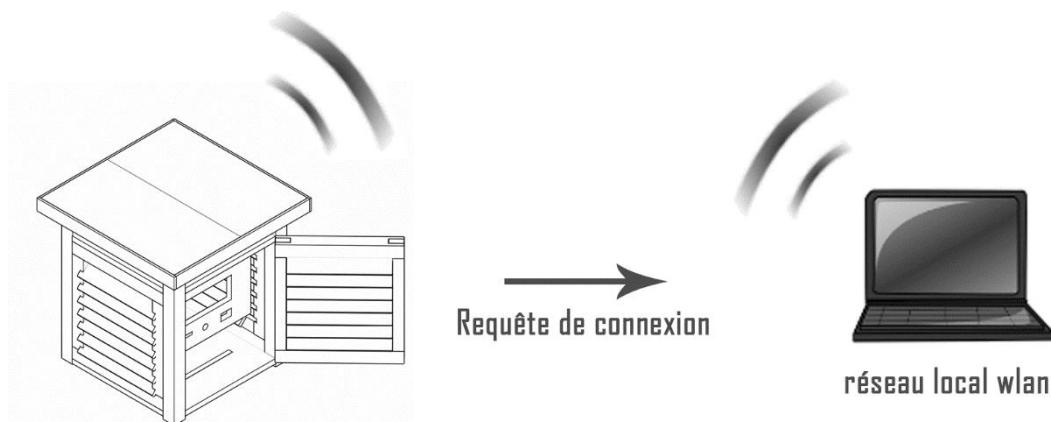


Figure IV. 1 : Communication avec un réseau hébergé sous windows
Source : Auteur, 2019

I.2 Réseau hébergé par un point d'accès

Le principe de recherche de réseau de la station automatique reste le même mais un **point d'accès** WiFi fera office de pont de communication de la station aux appareils désirant se connecter.

Cette méthode est l'idéal dans le cas où il y aurait une grande distance entre les appareils connecté et la station automatique. Le reste dépendra donc de la portée du **point d'accès**.

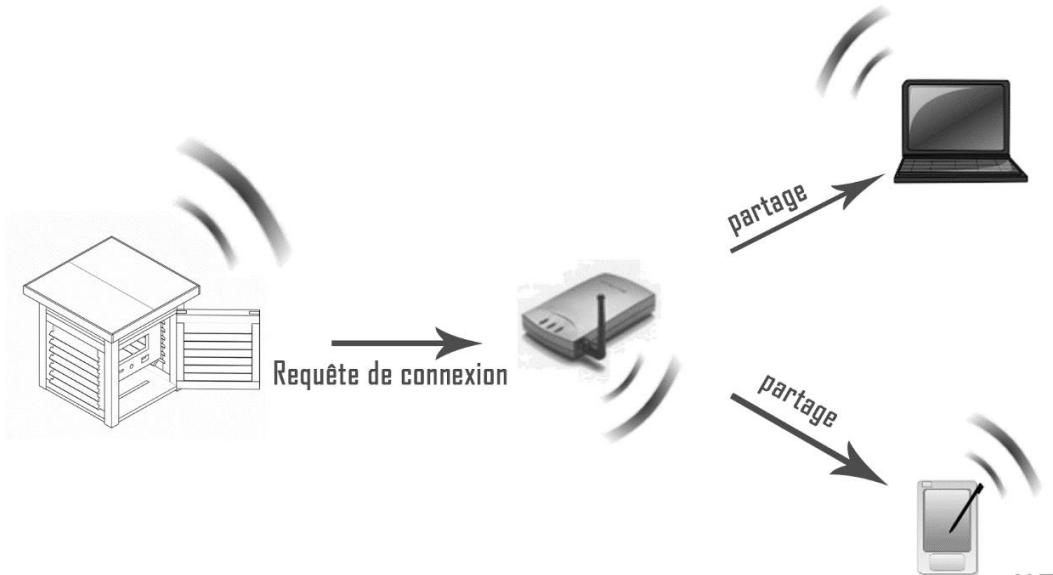


Figure IV. 2 : Communication avec un réseau hébergé par un point d'accès
Source : Auteur, 2019

I.3 Réseau partagé par un smartphone

Avec l'évolution considérable des fonctionnalités des smartphones de nos jours, il est donc possible d'utiliser le smartphone comme point d'accès. Et pour communiquer avec la station automatique il suffit donc de configurer les identifiants du point d'accès du smartphone.

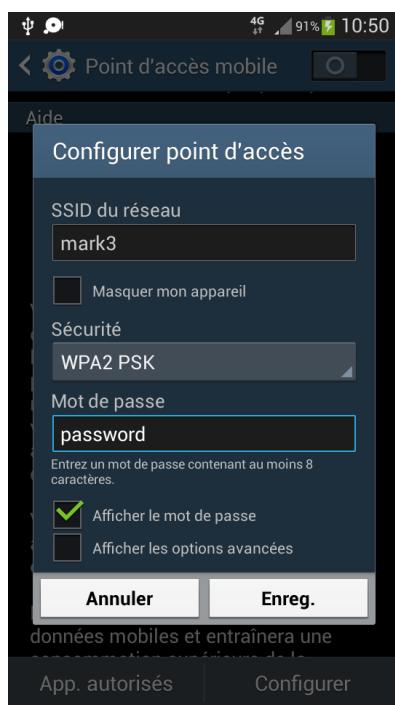


Figure IV. 3 : Configuration du point d'accès smartphone

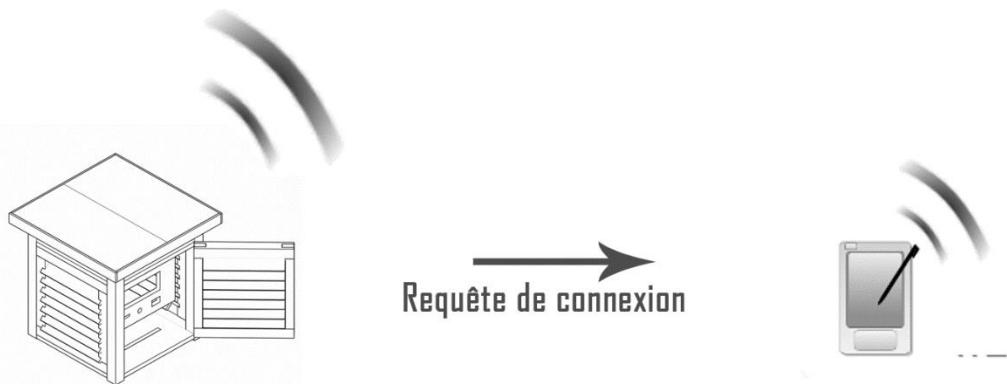


Figure IV. 4 : Communication avec un réseau hébergé par un point d'accès smartphone
Source : Auteur, 2019

I.4 Protocole de sécurité de la station automatique

L'identifiant de réseau par défaut de la station agit aussi comme sécurité pour la station. A l'installation de la station automatique dans un Parc météorologique, il est primordial que la station se connecte au moins une fois avec un réseau ayant ces identifiants car aucune collecte de donnée ne se fera sans cette première connexion.

Chapitre II: L'interface Web

La suivie à distance se fait via une page web générée par la station automatique elle-même. L'une des spécificités de la carte Nodemcu ESP32S étant la capacité d'être utilisé comme un serveur web, s'il est équipé d'une micro SD comme mémoire de stockage.

II.1 Présentation générale

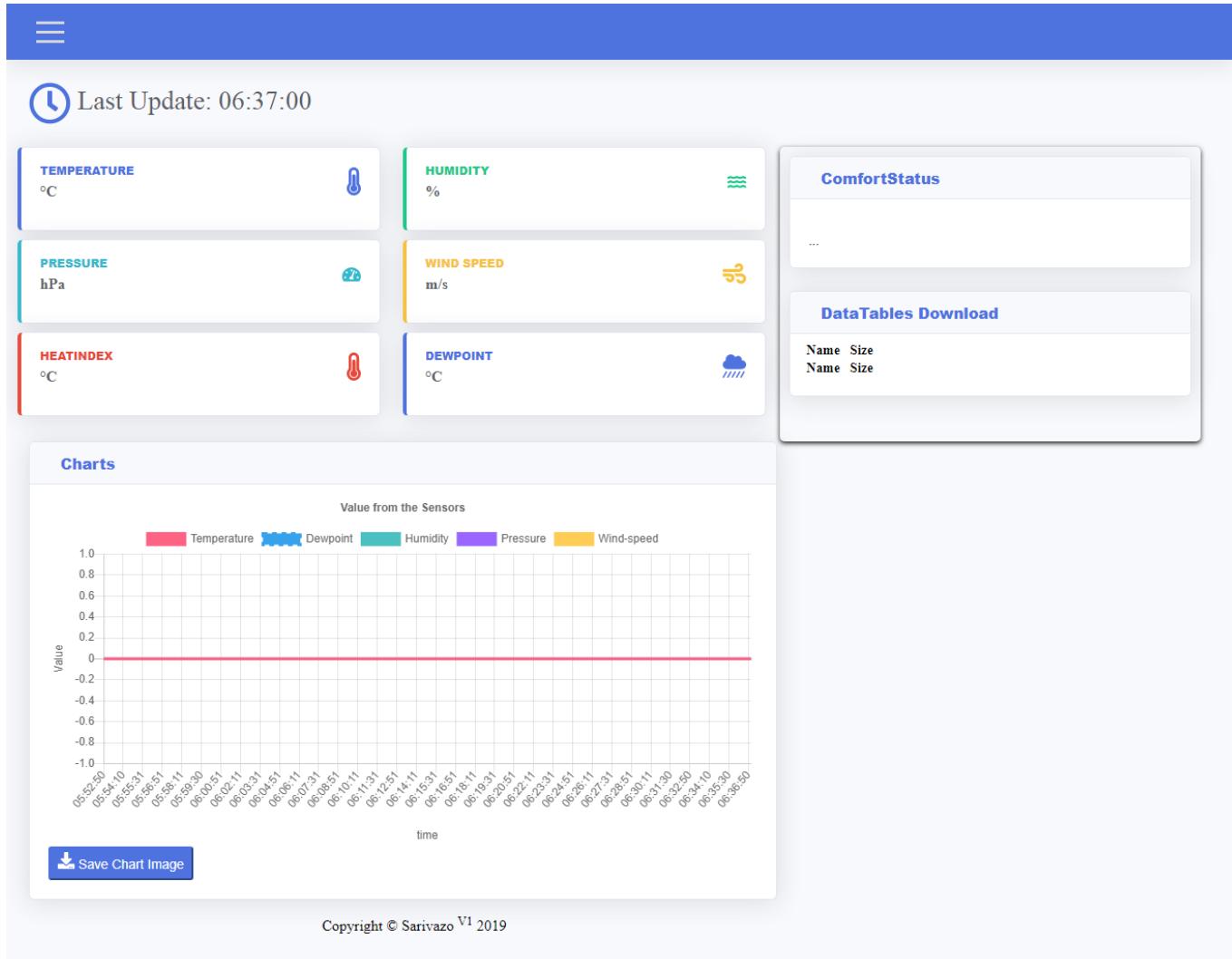


Figure IV. 5 : La page web générée par SARIVAZO

L'interface est basic de type « Monitoring », tout en respectant les règles de l'art de la réalisation d'un site web. Orné de différent logo d'image de format « Scalable Vector Graphics » ou svg, d'une bonne résolution pour illustré les différents paramètres météorologique.

Une interface sur fond blanc légèrement ombré à l'arrière des blocs moniteurs, avec une police d'écriture Gras de couleur assez vive pour donner vie à l'interface. Le choix personnel de langue est l'Anglais pour l'internationalisation à la communauté scientifique et aussi pour le grand public.

Soigné et adapté à toutes les plateformes informatiques, l'interface se réduit ou s'agrandi selon la taille de l'écran moniteur.

PARTIE IV : Chapitre II : L'interface Web

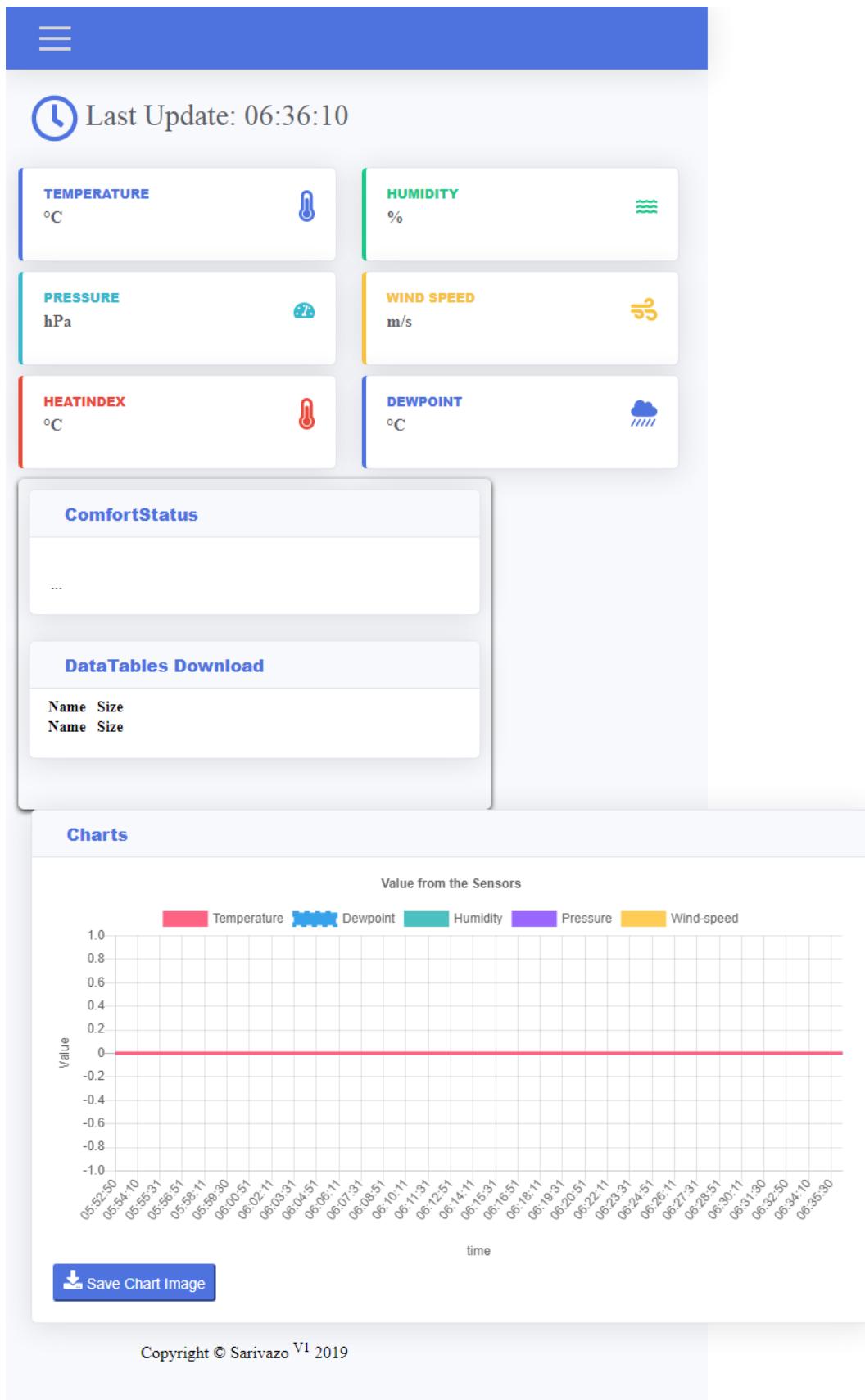


Figure IV. 6 : Interface web adapté à un écran mobile

II.2 Vue en détaille

II.2.1 Le bloc moniteur des données

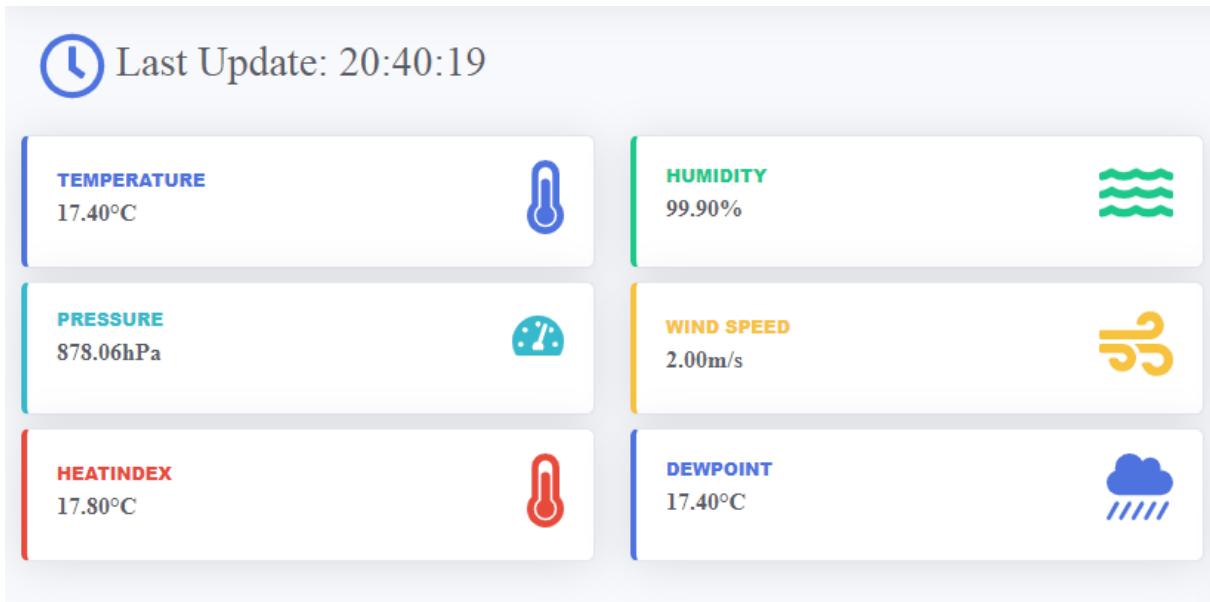


Figure IV. 7 : Bloc moniteur

Le bloc moniteur illustre les données reçues de la station, avec une horloge configuré à l'heure locale de l'appareil moniteur (ordinateur, téléphone). Les données s'actualisent toutes les 10 secondes.

II.2.2 Le bloc de partage

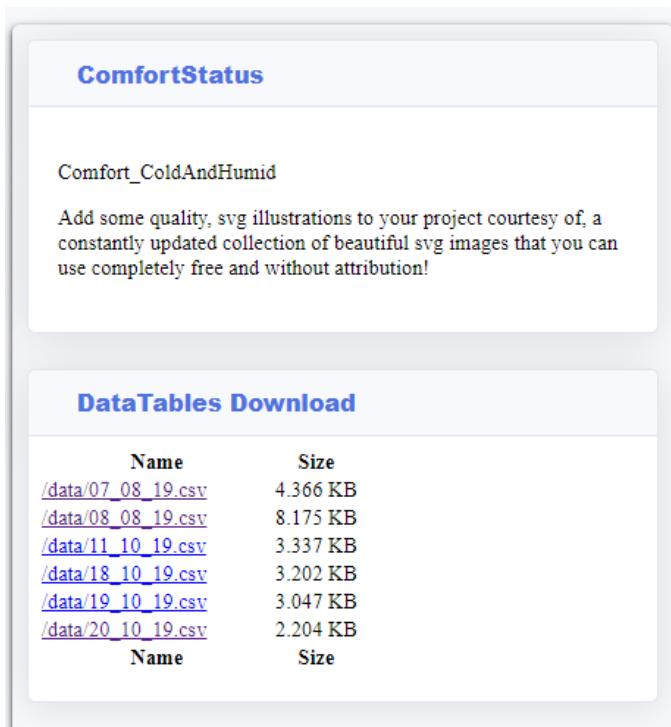


Figure IV. 8 : Le bloc de partage

PARTIE IV : Chapitre II : L'interface Web

Ce bloc ci partage avec l'utilisateur le confort ressenti par SARIVAZO, généré par un algorithme intégré dans la librairie du capteur de température et humidité. Le paragraphe qui le suit est une idée de la prochaine amélioration de l'interface.

Le tableau de téléchargement affiche les liens de téléchargement des données selon la date d'enregistrement avec la taille de mémoire des données en question.

Il est important de savoir que SARIVAZO enregistre les données toutes les minutes dès son démarrage et première connexion au réseau hébergé.

II.2.3 Le bloc afficheur des courbes d'évolution



Figure IV. 9 : Le bloc afficheur de courbes

Evolutif en temps réelle avec une fréquence d'actualisation de 10 secondes. Pour visualisé l'évolution d'un paramètre, il suffit de coché les autres sauf le paramètre en question. Le traitement de donnée est fait grâce à un algorithme personnalisé de traitement écrit au langage Javascript basé sur une librairie nommé « **Chart.js** ». L'allure des courbes peut être sauvegardée au format d'image « Portable Network Graphics » ou PNG.

II.2.4 La barre d'option

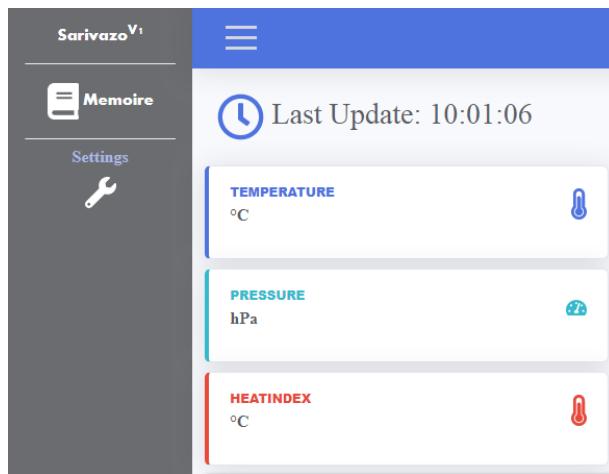


Figure IV. 10 : La Barre d'option

La barre d'option, inclus un lien de téléchargement de ce manuscrit, et la partie option ou « Settings » est une des éventuelles améliorations de l'interface. On pourrait y inclure le changement de thème d'apparence de l'interface en ajoutant des palettes de couleurs. Aussi, une option pour changer la langue serait un atout majeur pour les perspectives d'amélioration.

Chapitre III: Comparaison de Données et étalonnage

Durant la soirée du 20 Octobre 2019 à 21:30 jusqu'au lendemain à 08:30, Une collecte de données a été faite à la Station Météorologique d'IVATO. Les données prise durant cette installation sont les premières prises par SARIVAZO en tant que station dans un Parc météorologique.

III.1 Comparaison de Données

Les données de la station d'Ivato sont prises par heure tandis que SARIVAZO enregistre les données toutes les minutes. De ce fait, l'allure des courbes résultant des prélèvements de SARIVAZO sont plus précises sur l'évolution des paramètres atmosphériques. D'un point de vue général, l'allure des courbes suivent la même évolution dans le temps même si les données de SARIVAZO ne sont pas encore étalonnées. On observe une certaines fluctuations des paramètres suivant le temps. Ce qui démontre que l'atmosphère est constamment en mouvement.

III.1.1 Température

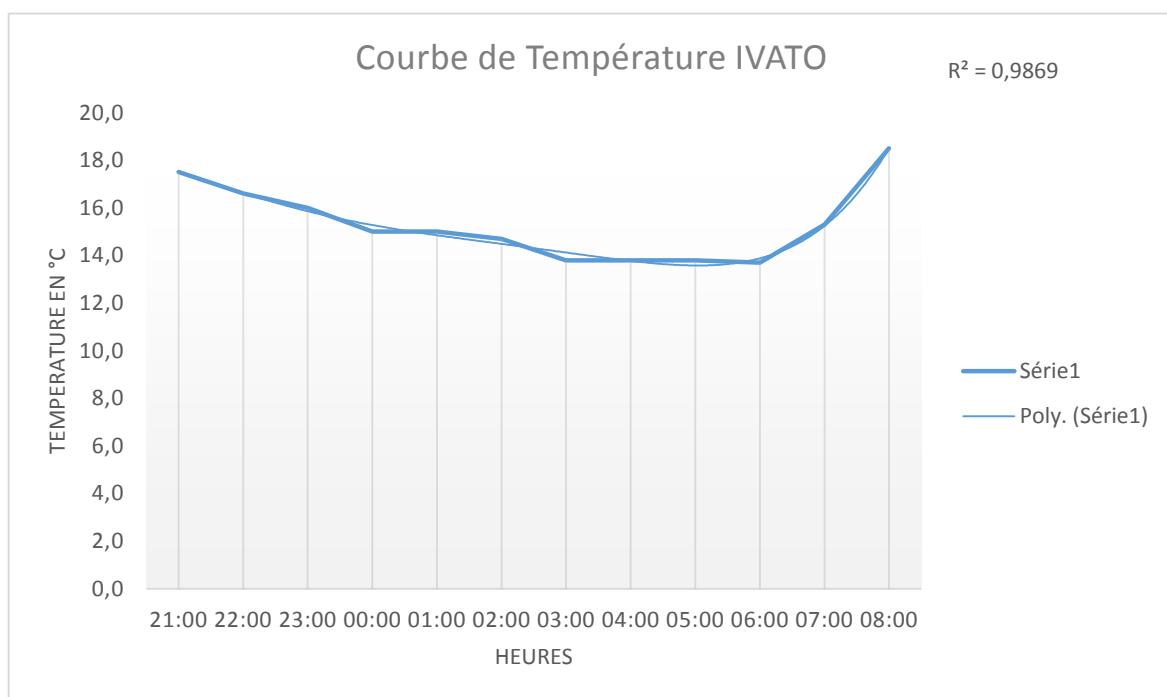


Figure IV. 11 : Courbe de température de la Station d'Ivato (21 :00 à 08 :00 heure locale)

Source : Auteur, 2019

PARTIE IV : Chapitre III : Comparaison de Données et étalonnage

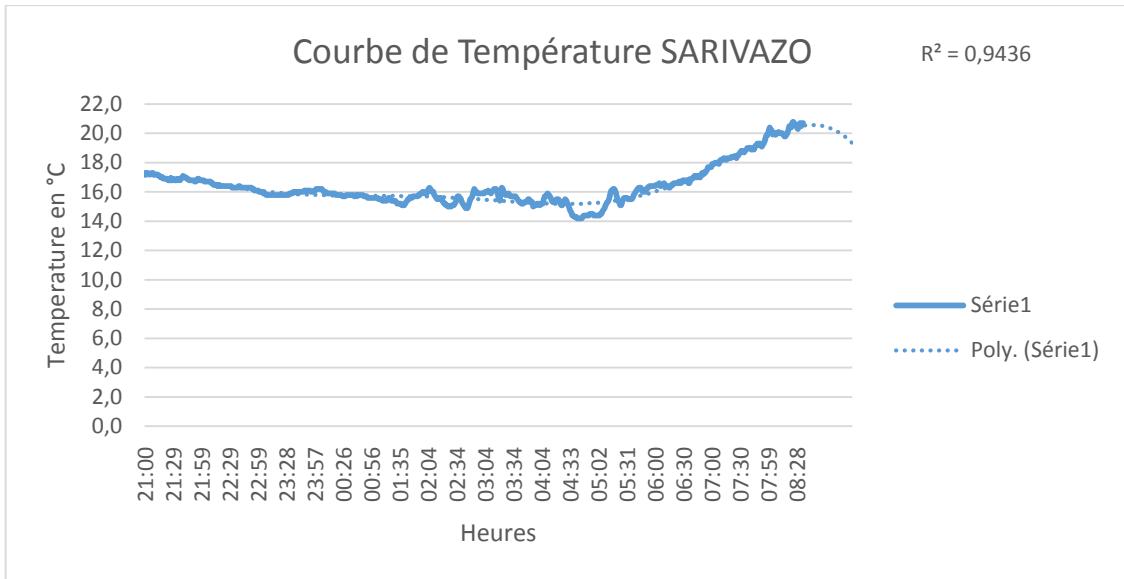


Figure IV. 12 : Courbe de température de la Station SARIVAZO (21 :00 à 08 :00 heure locale)

Source : Auteur, 2019

Les deux courbes montrent le cas d'une baisse de température puis d'une hausse dans son évolution, ce qui s'explique par la variation d'énergie créé par la tombée de la nuit et le lever du soleil.

III.1.2 Humidité

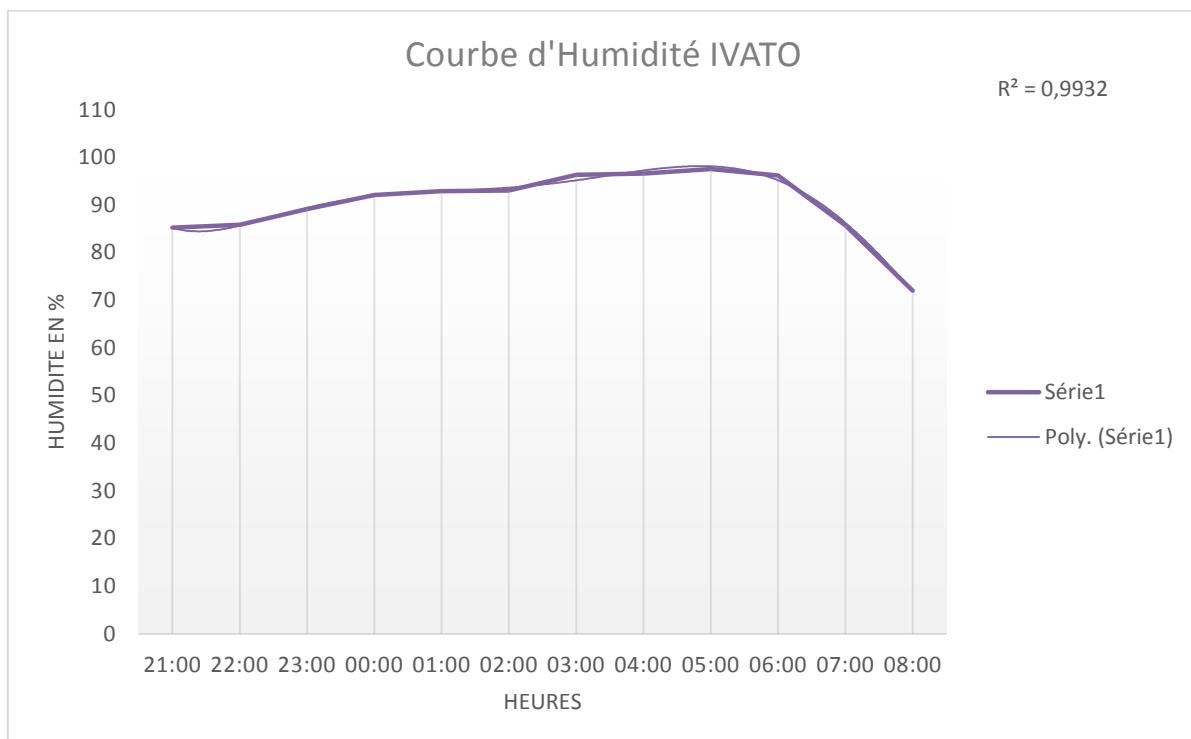


Figure IV. 13 : Courbe d'humidité de la Station d'Ivato (21 :00 à 08 :00 heure locale)

Source : Auteur, 2019

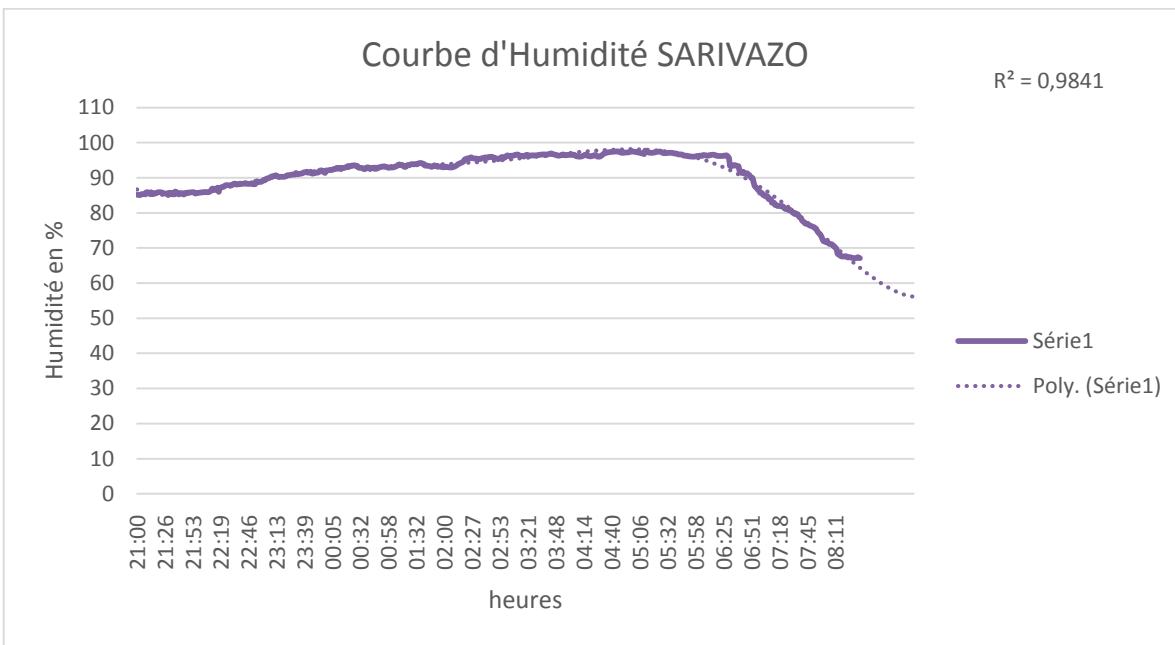


Figure IV. 14 : Courbe d'humidité de la Station SARIVAZO (21 :00 à 08 :00 heure locale)

Source : Auteur, 2019

Les deux courbes montrent le cas d'une augmentation de l'humidité puis d'une baisse dans son évolution. La nuit ainsi que le matin avant le lever du soleil, l'humidité est élevée.

III.1.3 Pression

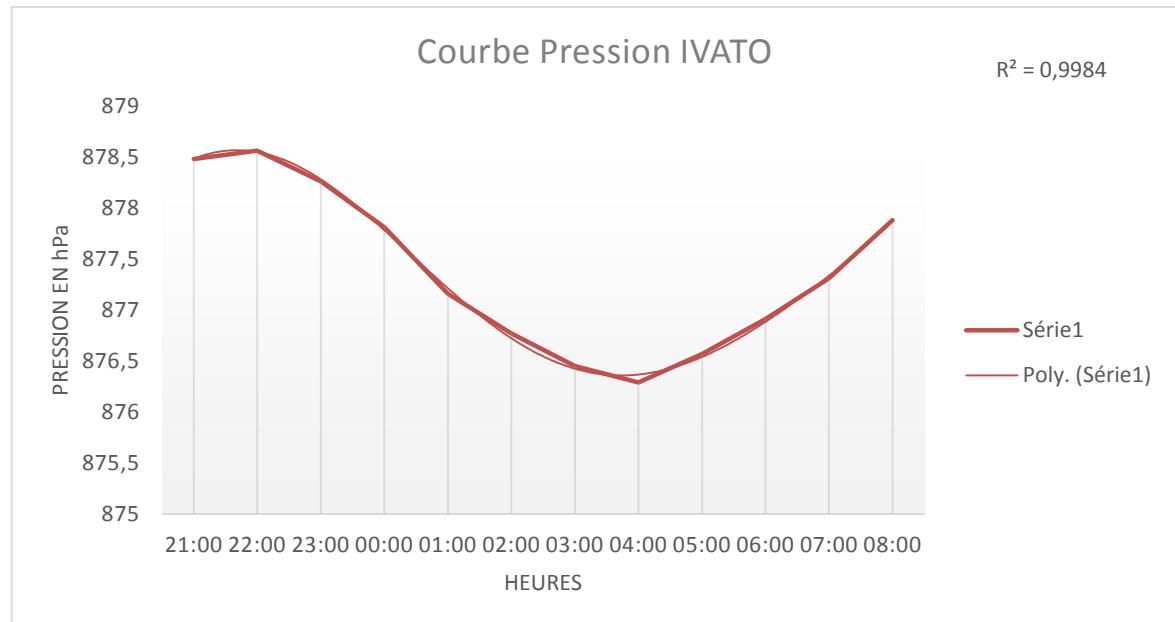


Figure IV. 15 : Courbe de pression de la Station d'Ivato (21 :00 à 08 :00 heure locale)

Source : Auteur, 2019

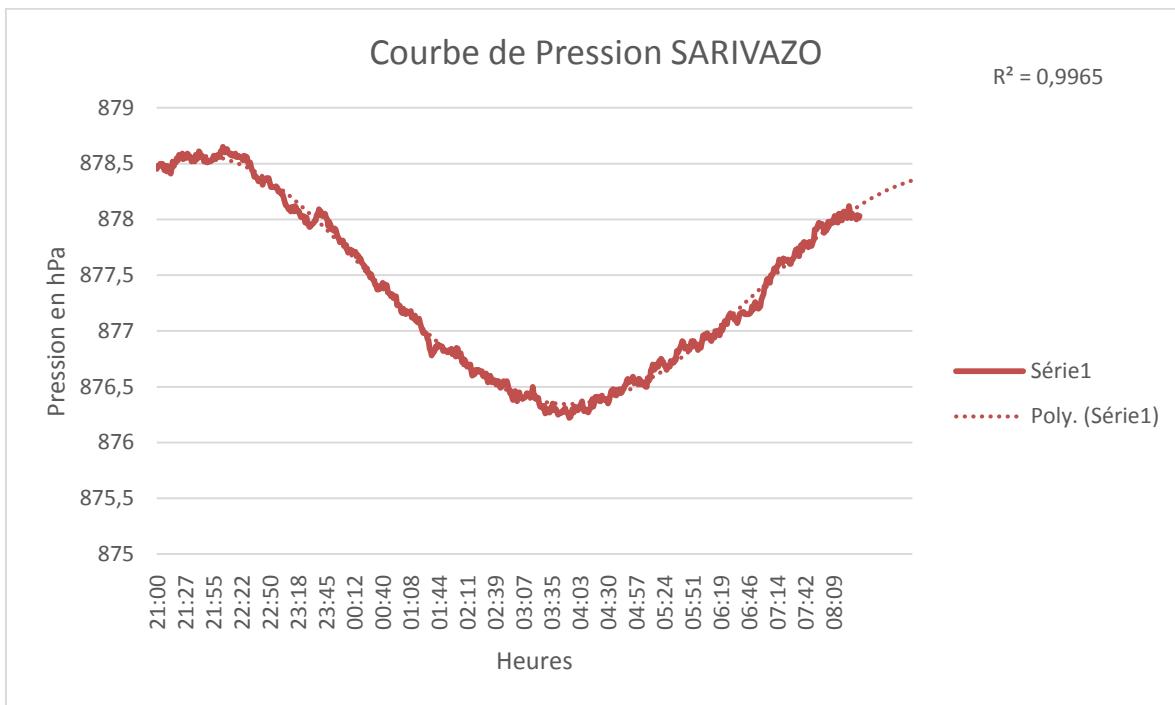


Figure IV. 16 : Courbe de pression de la Station SARIVAZO (21 :00 à 08 :00 heure locale)

Source : Auteur, 2019

Les deux courbes montrent le cas d'une baisse de pression puis d'une hausse dans son évolution. Vu que la pression varie en fonction de la température, les deux paramètres sont liés dans leur évolution.

III.1.4 Vent

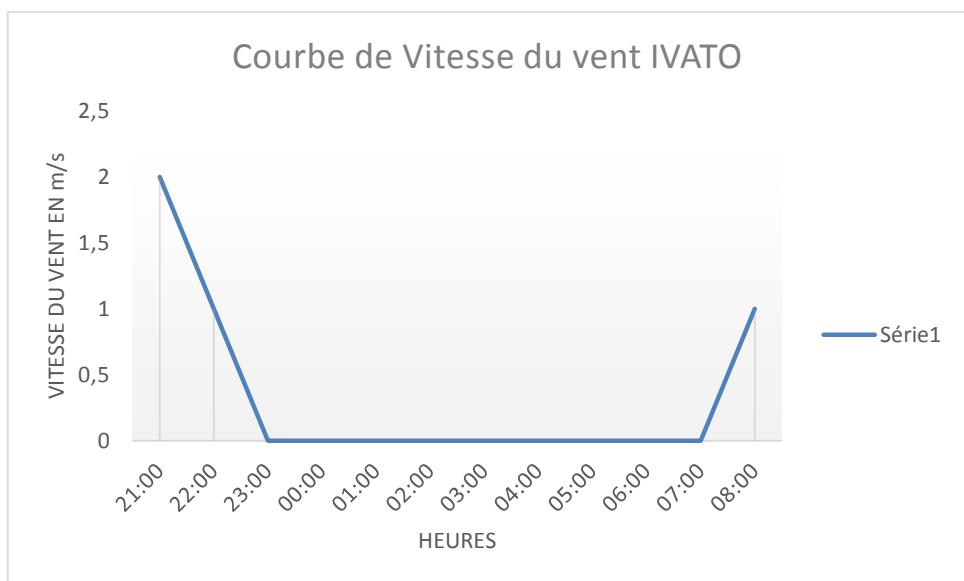


Figure IV. 17 : Courbe de la vitesse du vent de la Station d'Ivato (21 :00 à 08 :00 heure locale)

Source : Auteur, 2019

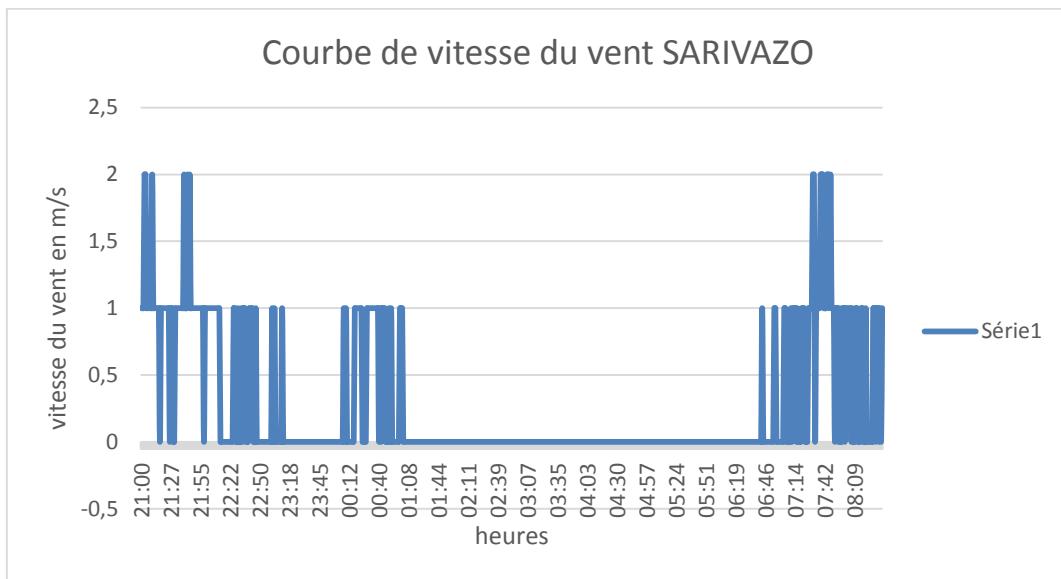


Figure IV. 18 : Courbe de la vitesse du vent de la Station SARIVAZO (21 :00 à 08 :00 heure locale)

Source : Auteur, 2019

Pour le cas de l'évolution de la vitesse du vent, il est important de savoir avant tout que l'anémomètre de SARIVAZO été installé sur un mat d'une hauteur de 1.50m au-dessus du sol tandis que l'anémomètre de la station d'Ivato est placé à une hauteur de 10m. De ce fait la vitesse du vent peut être différente mais les deux capteurs réagissent au même moment ou le vent souffle. A l'enregistrement SARIVAZO enregistre ces courts périodes où le vent souffle.

III.2 étalonnage et vérification

L'étalonnage est l'ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée ou par un matériau de référence, et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des étalons.[VII]

L'erreur est la différence entre le résultat mesuré et la valeur réelle (valeur de référence obtenue à partir d'une méthode ou d'une mesure standard). Les erreurs systématiques sont susceptibles d'être éliminées par des corrections convenables.

$$e = \text{résultat mesuré} - \text{valeur réelle} \quad (9)$$

Avec e pour l'erreur.

Pour vérifier l'hystérisie des sondes et vérifier les erreurs accidentnelles on détermine la valeur du coefficient de détermination R^2 d'une régression linéaire ajustée aux observations de la station SARIVAZO. En bref, plus le coefficient de détermination se rapproche de 0, plus le nuage de points se disperse autour de la droite de régression. Au contraire, plus le R^2 tend vers 1, plus le nuage de points se resserre autour de la droite de régression. Quand les points sont exactement alignés sur la droite de régression, alors $R^2 = 1$.

Ce procédé est effectué en insérant une courbe de tendance avec les courbes d'évolution réalisé sous Excel. Et Excel affiche automatiquement la valeur de R^2 .

PARTIE IV : Chapitre III : Comparaison de Données et étalonnage

III.2.1 étalonnage de température

Tableau IV. 1 : Etalonnage de température

heure	T ivato	T sarivazo	Ti-Ts	E(T)	T Etalonné
21:00	17,5	17,30	-0,20	1,19166667	16,11
22:00	16,6	16,80	0,20		15,61
23:00	16,0	16,00	0,00		14,81
00:00	15,0	16,20	1,20		15,01
01:00	15,0	15,60	0,60		14,41
02:00	14,7	15,90	1,20		14,71
03:00	13,8	15,90	2,10		14,71
04:00	13,8	15,20	1,40		14,01
05:00	13,8	14,40	0,60		13,21
06:00	13,7	16,40	2,70		15,21
07:00	15,3	17,90	2,60		16,71
08:00	18,5	20,40	1,90		19,21

Source : Auteur, 2019

Avec **T Ivato** les données de température prélevé par la station d'Ivato, **T sarivazo** les données de température prélevé par SARIVAZO, **E(T)** la valeur moyenne de l'erreur et **T Etalonné** la valeur des mesure après étalonnage.

Excel a déterminé une valeur $R^2 = 0,9841$ pour SARIVAZO.

III.2.2 étalonnage de l'humidité

Tableau IV. 2 : Etalonnage de l'humidité

heure	U ivato	U sarivazo	Us-U _i	E(U)	U Etalonné
21:00	85	85,2	0,2	0,45	84,75
22:00	86	85,8	-0,2		85,35
23:00	88	89,1	1,1		88,65
00:00	92	92,1	0,1		91,65
01:00	92	92,9	0,9		92,45
02:00	93	93	0		92,55
03:00	96	96,3	0,3		95,85
04:00	96	96,6	0,6		96,15
05:00	96	97,5	1,5		97,05
06:00	97	96,2	-0,8		95,75
07:00	85	85,7	0,7		85,25
08:00	71	72	1		71,55

Source : Auteur, 2019

Où **U Ivato** les données d'humidité prélevé par la station d'Ivato, **U sarivazo** les données d'humidité prélevé par SARIVAZO, **E(U)** la valeur moyenne de l'erreur et **U Etalonné** la valeur des mesure après étalonnage.

Excel a déterminé une valeur $R^2 = 0,9841$ pour SARIVAZO.

PARTIE IV : Chapitre III : Comparaison de Données et étalonnage

III.2.3 étalonnage de Pression

Tableau IV. 3 : Etalonnage de Pression

heure	P ivato	P sarivazo	Ps-Pi	E(P)	P Etalonné
21:00	876,8	878,48	1,7	1,4	877,1
22:00	877,0	878,56	1,6		877,2
23:00	877,0	878,26	1,3		876,9
00:00	876,6	877,81	1,2		876,5
01:00	876,0	877,16	1,2		875,8
02:00	875,6	876,77	1,2		875,4
03:00	875,3	876,45	1,2		875,1
04:00	875,2	876,29	1,1		874,9
05:00	875,2	876,57	1,4		875,2
06:00	875,4	876,91	1,5		875,6
07:00	875,7	877,31	1,6		876,0
08:00	876,4	877,88	1,5		876,5

Source : Auteur, 2019

Avec **P Ivato** les données de Pression prélevé par la station d'Ivato, **P sarivazo** les données de Pression prélevé par SARIVAZO, **E(P)** la valeur moyenne de l'erreure et **P Etalonné** la valeur des mesure après étalonnage.

Excel a déterminé une valeur $R^2 = 0,9965$ pour SARIVAZO.

III.2.4 Vérification des données de vitesse de vent

Tableau IV. 4 : Vérification des données de la vitesse du vent

heure	V ivato	V sarivazo
21:00	2	1
22:00	1	1
23:00	0	0
00:00	0	0
01:00	0	1
02:00	0	0
03:00	0	0
04:00	0	0
05:00	0	0
06:00	0	0
07:00	0	0
08:00	1	0

Source : Auteur, 2019

Pour le cas de la mesure du vent, les données prélevées ne sont pas comparable pour procédé à un étalonnage. Mais les périodes où les anémomètres enregistre une vitesse significative sont les mêmes comme dans le cas des données de 21:00 et 22:00.

Conclusion partielle de la quatrième partie

Cette partie du manuscrit montre l'apparence de l'interface web qui affiche les données lues par SARIVAZO, une interface qui fait le pont entre l'homme et la machine. Les différentes façons de communiquer avec l'appareil y sont développées et expliquées. La procédure d'étalonnage et vérification.

CONCLUSION GENERALE

L'observation météorologique est la base de la météorologie, elle fournit les données significatives d'une station. Il se trouve que les données météorologiques font défaut de temps en temps, les observations manuelles ne parviennent pas à temps au Service Central et les données satellitaires ne sont pas toujours à jour dans les sites internet.

Ce projet de mémoire démontre que les progrès en microélectronique et transmission doivent être mise au profit de la météorologie. La fréquence d'enregistrement des données par minutes démontre que le projet SARIVAZO peut être utilisé dans les suivis agro-météorologiques et micro-climatologiques.

Tout de même, la réalisation nécessite quelque amélioration dont les préparatifs sont déjà adaptés au système actuel. Une de ces améliorations consiste à fournir une source d'alimentation photovoltaïque à la configuration actuelle, dont l'étude de faisabilité a été discutée dans la deuxième partie de ce manuscrit. D'autres ajustements se tournent du côté de l'interface web, ce sont des ajustements qui traitent seulement le visuel et les préférences des utilisateurs.

Il est dit dans les manuelles du Nodemcu ESP32S que cette carte peut accueillir plus d'une dizaine d'appareils connectés. Mais après les tests menés durant la réalisation du projet, pour le bon fonctionnement des sondes vue, le nombre de requêtes par appareils connectés, il est conseillé de se tenir à deux appareils.

Le projet SARIVAZO est un projet étudiant inspiré des stations météorologiques automatiques de faible coût matériel par rapport aux stations professionnelles. C'est une initiative de réalisation, prise pour inspirer les prochaines générations de météorologue à promouvoir continuellement le développement d'instrument pour l'étude de l'atmosphère qu'est la Météorologie.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

A-BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Albert BALDIT, ETUDES ELEMENTAIRES DE METEOROLOGIE PRATIQUE, Deuxième Edition, PARIS – GAUTHIER-VILLARS ET Cie, 1922, 420 pages
- [2] : Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques, OMM N° 8, Édition 2008, Mise à jour en 2010, 742 pages
- [3] : Garrison, J.D. et al., c2000. Environmental Measurement. Meteorological Measurement, CRC Press LLC, résumé 22 pages
- [4] : Brevet d'Initiation Aéronautique/Météorologie, T. du PUY de GOYNE, Y. PLAYS, P. LEPOURRY, J. BESSE Editions CEPADUES, résumé 10 pages
- [5]: Pièce C.1.7 – EAMAC Table de réduction de la pression, 08 pages
- [6] : WiFi L'essentiel qu'il faut savoir..., I. Les réseaux sans fil, DI GALLO Frédéric, 29 pages
- [7] : LIAISON SERIE MODBUS, BTS Electrotechnique, Lycée Gustave Eiffel, 8 pages
- [8] : Kolban's Book on ESP32, Neil Kolban/Mai 2017, 785 pages
- [9] : eBay Search/ Micro SD Card Micro SDHC Mini TF Card Adapter Reader Module for Arduino, 2 pages
- [10] : Aosong Electronics/ Thomas Liu, 5 pages
- [11] : Doc.-Number: BST-BPM280-FL000-OO/Version 1.O 092012, 2 pages
- [12] : Bosch Sensortec/Data sheet , BMP280 Digital Pressure Sensor, 2 pages
- [13] : M.TOURE Mohamed Lamine, Cours de Proteus Professional, 33 pages
- [14] : Labcenter Electronics/ Proteus 8 Framework help
- [15] : Arduino/Aide/Environnement, 13/10/2019

B-WEBOGRAPHIE

- [I] : <http://www.meteofrance.fr/publications/glossaire/153881-station-meteorologique> automatique, station (météorologique) automatique, consulté le 22/10/2019
- [II] : http://www.memoireonline.com/02/16/9445/m_Mise-au-point-d'une-methode-de-mesure-sur-les-indices-de-confort--etude-menée-sur-la-ville-de6.html, consulté le 18/10/2019
- [III] : <https://www.aurel32.net/elec/i2c.php>, le bus I2C, consulté le 19/10/2019
- [IV] : www.geeky-gadgets.com/arduino-wind-speed-meter-anemometer-project-30032016 consulté le 27/07/2019
- [V] : www.elecmaker.com consulté le 07/10/2019
- [VI] : Scan2Cad Blog consulté le 14/10/2019
- [VII] : <https://ics.utc.fr/PS90/chapitre%202>, Chapitre 2 Notions de métrologie, 5 Octobre 2019

ANNEXES

ANNEXE A : Broche de connexion du Nodemcu ESP32S

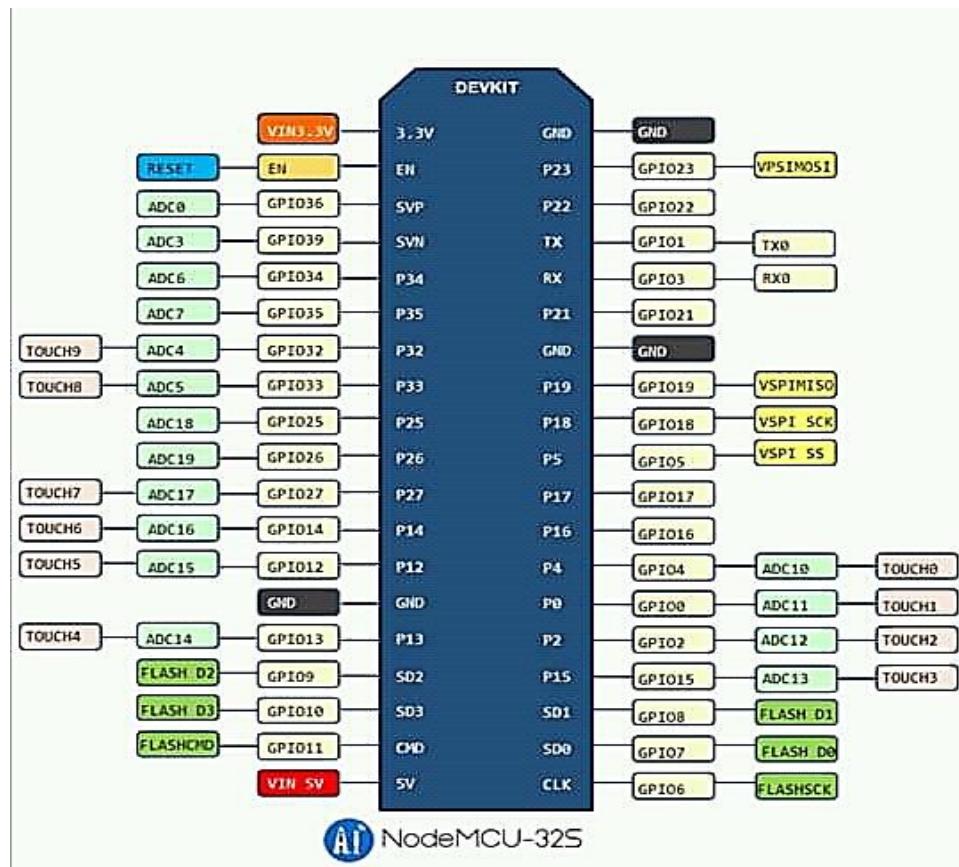


Figure A. 1 : Les broches de connexion de l'ESP32

ANNEXE B : Les afficheurs LCD

- Présentation

Les afficheurs OEM « CLCDxxx » sont composés d'un afficheur LCD standard associé à une platine de commande avec réglage de contraste accessible au moyen d'un potentiomètre. Ces afficheurs pourront être très facilement pilotés par la plupart des microcontrôleurs (68HCS12, PIC, ARM, MSP430, AVR...) au moyen d'un port de communication I2C ou d'une liaison série (avec un niveau logique 0/+5V).

Les afficheurs sont disponibles en plusieurs versions (suivant le nombre de lignes et de caractères affichés et du mode rétro-éclairage).

Tableau B. 1 : Afficheurs OEM

Ecran	caractéristique
CLCD162	Afficheur 2 lignes de 16 caractères (non rétro-éclairé)
CLCD162BL	Afficheur 2 lignes de 16 caractères (rétro-éclairé vert)
CLCD162BLB	Afficheur 2 lignes de 16 caractères (rétro-éclairé bleu)
CLCD204	Afficheur 4 lignes de 20 caractères (non rétro-éclairé)
CLCD204BL	Afficheur 4 lignes de 20 caractères (rétro-éclairé vert)
CLCD204BLB	Afficheur 4 lignes de 20 caractères (rétro-éclairé Bleu)

Source : Lextronic, Note d'utilisation version 1.0 /20-12-2006

Le projet de mémoire est équipé du CLCD204BLB.



Figure B. 1 : LCD 20×4 front

Source : Lextronic, Note d'utilisation version 1.0 /20-12-2006



Figure B. 2 : LCD 20x4 Dos
Source : Lextronic, Note d'utilisation version 1.0 /20-12-2006

- Platine de pilotage des afficheurs

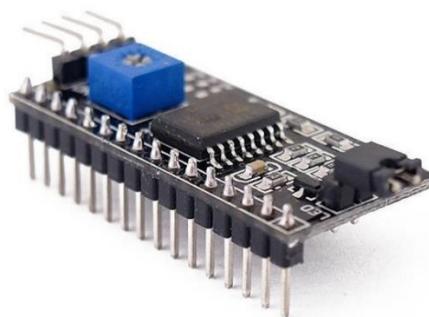


Figure B. 3 : EGP35

Il s'agit d'une carte fille LCD série I2C, conforme au « Restriction of Hazardous Substances » ou RoHS, qui peut être connectée à un module d'affichage compatible de 16 x 2 ou 20 x 4 caractères compatible avec le mode 4 bits.

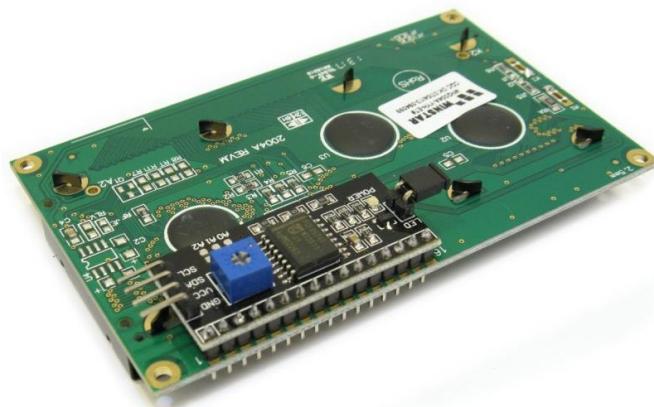


Figure B. 4 : Mounted on a 20x4 LCD display

L'adresse I2C est 0x3F par défaut, mais cela peut être modifiée via 3 cavaliers de soudure fournis sur la carte. Cela permet de contrôler jusqu'à 3 écrans LCD via un seul bus I2C (en donnant à chacun sa propre adresse).

- ✓ Alimentation 5V
- ✓ Contrôle série I2C de l'affichage à cristaux liquides à l'aide de PCF8574
- ✓ Le rétroéclairage peut être activé ou désactivé via un cavalier sur la carte
- ✓ Contrôle du contraste via un potentiomètre
- ✓ Taille: 41.6mm x 19.2mm
- Utilisation avec Arduino

Il existe de nombreuses bibliothèques Arduino pour un affichage I2C avec la puce PCF8574. Connecter les broches VCC et GND de cette carte aux broches 5V et GND de votre microcontrôleur. Connecter les broches SDA et SCL de cette carte aux broches SDA et SCL de votre microcontrôleur.

Ceci est un extrait programme écrit au langage C sous l'IDE Arduino :

```
#include  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  
  
void setup() {  
    LCD.begin(20, 4); // 20 lines by 4 rows  
    LCD.clear();  
    LCD.backlight();  
    LCD.setCursor(0,0);  
    LCD.print("Hello Line 1");  
    LCD.setCursor(0,1);  
    LCD.print("Hello Line 2");  
}  
  
void loop() {  
    delay(500);  
    LCD.clear();  
    LCD.home();  
    LCD.print(millis());  
}
```

ANNEXE C : Connexion d'un lecteur SD Card sur un microcontrôleur

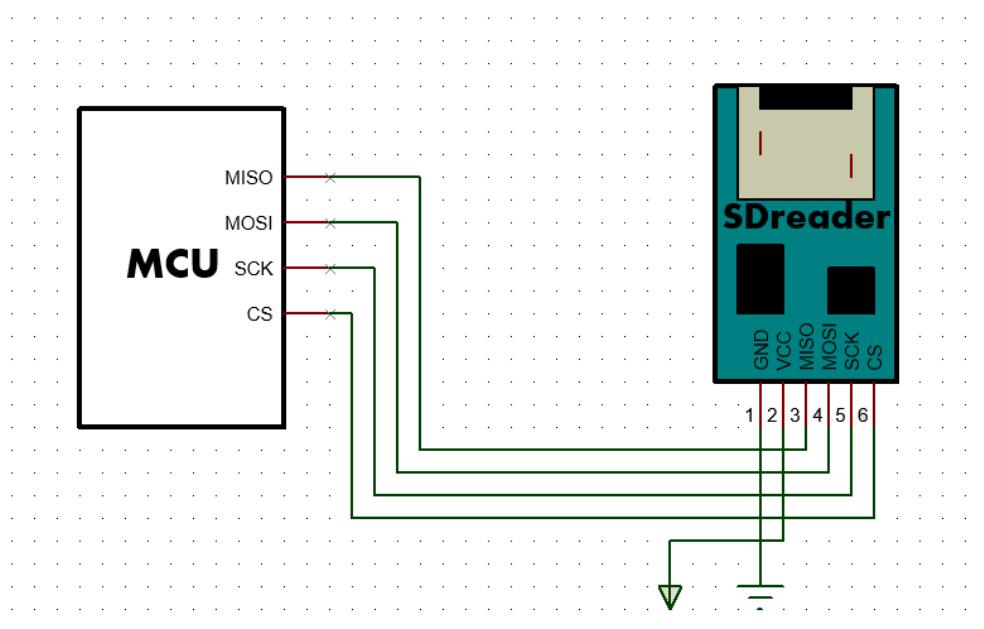


Figure C. 1 : Diagramme de connection Pin du lecteur SD Card
Source : Auteur, 2019

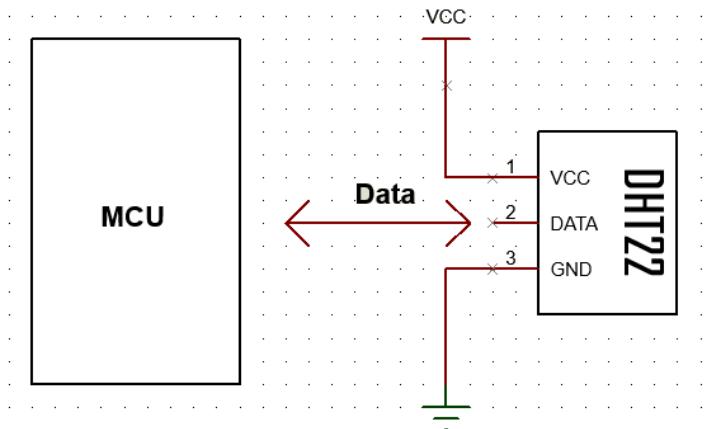
Tableau C. 1 : Séquence des Pin du lecteur SD Card

Pin	Fonction
1	GND (terre)
2	VCC (alimentation)
3	MISO
4	MOSI
5	SCK
6	CS

Source : Auteur, 2019

ANNEXE D : Connexion et exemple de programme pour le capteur de Température et humidité

Connexion sur un microcontrôleur



Annexe D. 1 : Diagramme de connexion Pin du DHT22

Source : Auteur, 2019

Tableau D. 1 : Séquence des Pin du DHT22

Pin	Fonction
1	VCC (alimentation)
2	Data – signal
3	GND (Terre)

Source : Auteur, 2019

Utilisation sur un microcontrôleur

L'exemple de programme ci-dessous est testé sur un Nodemcu esp32S.

```
#include "DHTesp.h"
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define I2C_ADDR 0x27
#define BACKLIGHT_PIN 3
#define En_pin 2
#define Rw_pin 1
#define Rs_pin 0
#define D4_pin 4
#define D5_pin 5
#define D6_pin 6
#define D7_pin 7
DHTesp dht;
int dhtPin = 17;
int chk;
void setup()
```

```
{  
dht.setup(dhtPin, DHTesp::DHT22);  
Serial.begin(9600);  
lcd.begin(16,2);  
lcd.setBacklightPin(BACKLIGHT_PIN,POSITIVE);  
lcd.setBacklight(HIGH);  
}  
void loop(){  
TempAndHumidity newValues = dht.getTempAndHumidity();  
Serial.print("Humidity: ");  
Serial.print(newValues.humidity);  
Serial.print(" %, Temp: ");  
Serial.print(newValues.temperature);  
Serial.println(" Celsius");  
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("Temp: ");  
lcd.print(newValues.temperature);  
lcd.print((char)223);  
lcd.print("C");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("Hum: ");  
lcd.print(newValues.humidity);  
lcd.print(" %");  
delay(2000); //Delay 2 sec  
}
```



ANNEXE E : Connexion et exemple de programme pour le capteur de Pression Atmosphérique

- ## Connexion sur un microcontrôleur

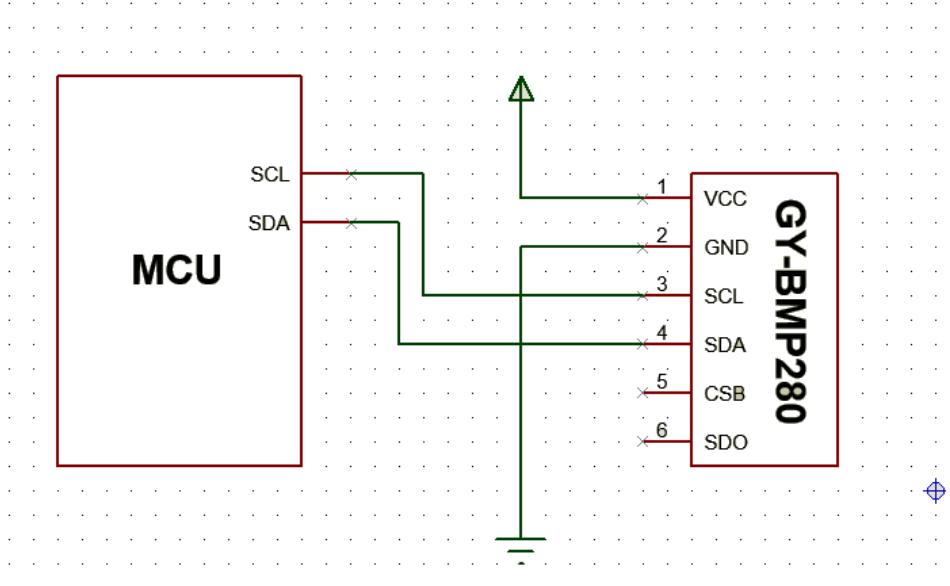


Figure E. 1 : Diagramme de connection Pin du GY-BMP280

Source : Auteur, 2019

Tableau E. 1 : Séquence des Pin du GY-BMP280

Pin	Fonction
1	VCC (alimentation)
2	GND (terre)
3	SCL serial clock
4	SDA Serial Data
5	CSB broche input (non connecté)
6	SDO slave out (non connecté)

Source : Auteur, 2019

- Utilisation sur un microcontrôleur

L'exemple de programme ci-dessous est testé sur un Nodemcu esp32 lua.

```
#include <Adafruit_BMP280.h>
Adafruit_BMP280 bmp; // I2C Interface
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println(F("BMP280 test"));
    if (!bmp.begin()) {
        Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor, check wiring!"));
        while (1); }
}
void loop() {
    Serial.print(F("Pressure = "));
    Serial.print(bmp.readPressure()/100);
    Serial.println(" hPa");
    delay(2000);}
```

ANNEXE F: Exemple de programme pour l'Anémomètre Analogique

L'extrait de programme ci-dessous est testé sur une carte Arduino Uno

```
#define RXD2 16
#define TxD2 17
#define RTS_pin 4 //RS485 Direction control
#define RS485Transmit HIGH
#define RS485Receive LOW
void setup() {
  protocol, RX pin, TX pin);
  Serial.begin(115200);
  pinMode(RTS_pin, OUTPUT);
  Serial2.begin (9600, SERIAL_8N1, RXD2, TxD2);}
void loop() {
  digitalWrite(RTS_pin, RS485Transmit);
  digitalWrite(RTS_pin, RS485Receive);
  Serial.print("wind speed : ");
  for( byte i=0; i<8; i++ ) {
    Serial.print(Anemometer_buf[i], HEX);
    Serial.print(" ");
  }
  Serial.print(" ==> ");
  Serial.print(Anemometer_buf[4,5]/10);
  Serial.print(" m/s");
  Serial.println();
}
```

ANNEXE G: Les technologies de capteur photovoltaïque

✚ Principe

Principe de l'énergie solaire photovoltaïque est de transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.

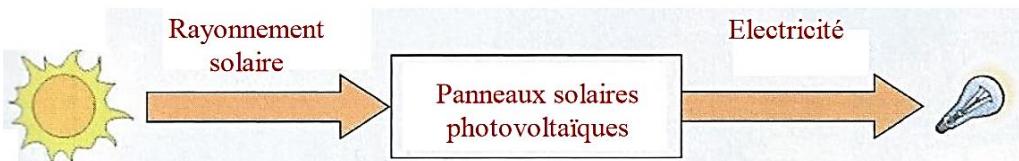


Figure G. 1 : Principe de l'énergie solaire photovoltaïque

Source : Lycée des métiers, L'énergie solaire photovoltaïque, Jean CAILLAUD, pdf

Les panneaux photovoltaïques produisent un courant électrique continu.

✚ Cellule photovoltaïque

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Becquerel. Un panneau solaire fonctionne par l'effet photovoltaïque c'est-à-dire par la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide.

C'est le seul moyen connu actuellement pour convertir directement la lumière en électricité.

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6 V.

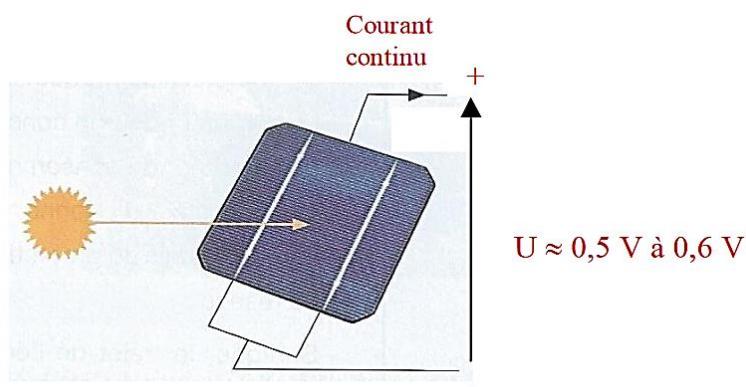


Figure G. 2 : Une cellule photovoltaïque

Source : Lycée des métiers, L'énergie solaire photovoltaïque, Jean CAILLAUD, pdf

✚ Association des cellules en série

Les caractéristiques électriques d'une seule cellule sont généralement insuffisantes pour alimenter les équipements électriques. Il faut associer les cellules en série pour obtenir une tension plus importante : le module solaire ou panneau photovoltaïque.

Un panneau photovoltaïque est un assemblage en série de cellules permettant d'obtenir une tension de 12 volts. La puissance d'un panneau solaire est fonction de sa surface, c'est à dire du nombre de cellules photovoltaïques.

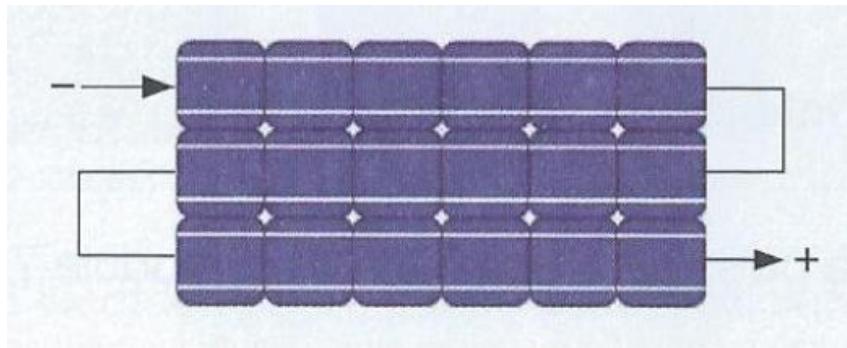


Figure G. 3 : 18 cellules photovoltaïques en série

Source : Lycée des métiers, L'énergie solaire photovoltaïque, Jean CAILLAUD, pdf

Exemple : 6 cellules placées sur 3 rangées constituent un module solaire de 18 cellules en série. La tension fournie par ce module est de $18 \times 0,5 = 9$ V.

Mais pour faire fonctionner des appareils électriques, c'est l'intensité I du panneau, variant en fonction de l'ensoleillement, qui va déterminer l'énergie électrique.

💡 Effet de la nébulosité

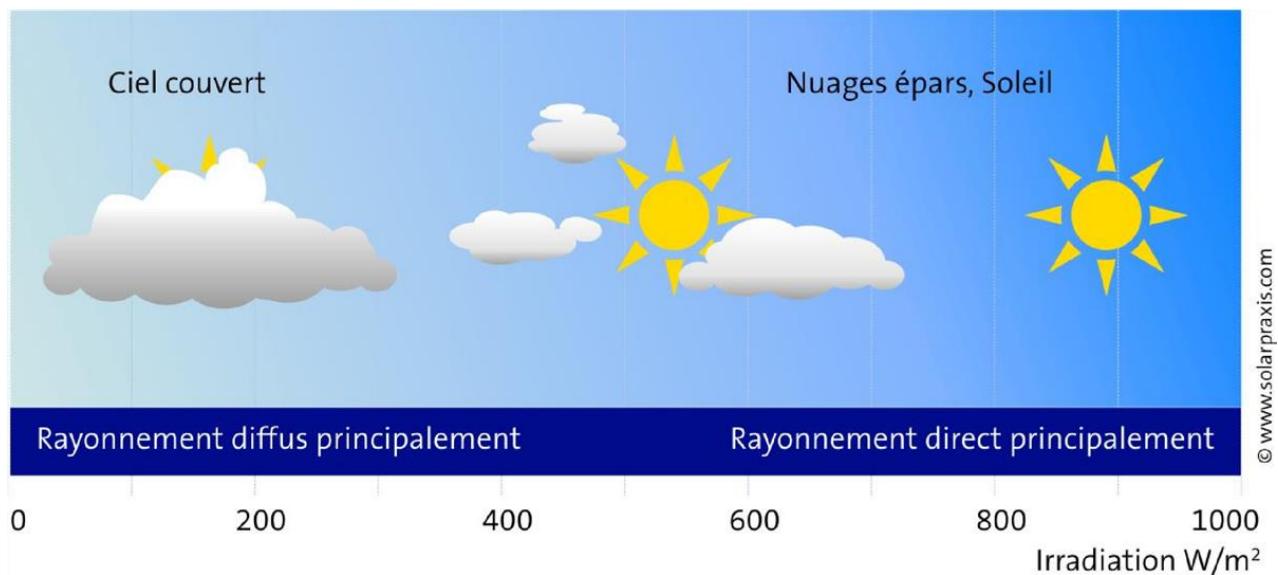


Figure G. 4 : Nébulosité et rayonnement solaire

Source : Lycée des métiers, L'énergie solaire photovoltaïque, Jean CAILLAUD, pdf

- La nébulosité influe en grande partie sur l'Energie solaire disponible.
- En dehors de l'atmosphère terrestre, le rayonnement énergétique est à peu près constant et égale 1370 W/m².
- Les rayons solaires traversent l'atmosphère; en plein soleil une surface horizontale reçoit maximum 1000 W/m².
- Une surface exposée reçoit du rayonnement direct et diffus.

Fabrication

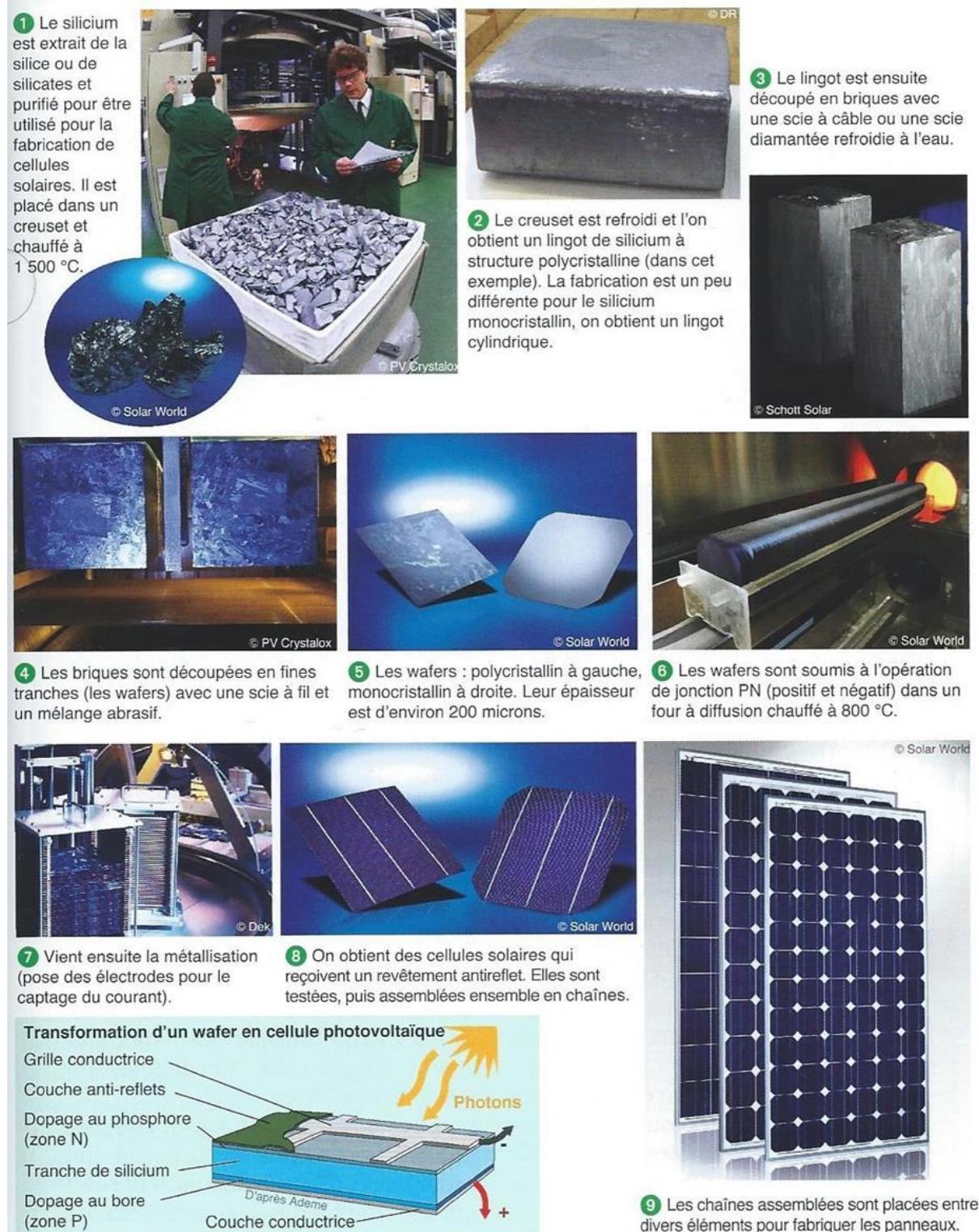


Figure G. 5 : Fabrication des panneaux photovoltaïques à cellules cristallines
Source : Lycée des métiers, L'énergie solaire photovoltaïque, Jean CAILLAUD, pdf

📊 Comparaison des trois principales technologies de capteurs

Tableau G. 1 : Les trois principales technologies de capteurs

Technologie	Monocristallin	Polychristallin	Amorphe
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> Très bon rendement : 14 à 20 %. Durée de vie : importante (30 ans) Coût de fabrication : élevé. Puissance : 100 à 150 Wc/m². 7 m²/kWc. Rendement faible sous un faible éclairement. perte de rendement avec l'élévation de la température. Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal Couleur bleue uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> Bon rendement : 11 à 15 %. Durée de vie : importante (30 ans) Coût de fabrication : meilleur marché que les panneaux monocristallins Puissance : 100 Wc/m². 8 m²/kWc. Rendement faible sous un faible éclairement. perte de rendement avec l'élévation de la température. Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux. Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés par les différents cristaux. 	<ul style="list-style-type: none"> Rendement faible : 5 à 9 %. Durée de vie : assez importante (20 ans) Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies Puissance : 50 Wc/m². 16 m²/kWc. Fonctionnement correct avec un éclairement faible. Peu sensible aux températures élevées. Utilisables en panneaux souples. Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium. Rendement faible en plein soleil. Performances diminuant avec le temps. Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.

Source : Auteur, 2019

ANNEXE H: Carnet d'observation

O Carnet du 20 Octobre 2019 :

ASECNA SERVICE EXPLOITATION DE LA METEOROLOGIE												OBSERVATION MET									
(1) DATE : DIMANCHE 20 OCTOBRE 2019												DU 20.6.									
TOUR D'HORIZON												NUAGES									
HEURE TU	VENT (d et i)		V		VISIBILITE		PHENOMENES HEURES de debut et de fin		W		TEMPS PRESENT		TEMPS PASSE		C _L	C _M	C _H	N			
	Direction	lettres de la rose	Vitesse en m/s	Direction	lettres de la rose	Vitesse en m/s	Signe - Intensite	Signe - Intensite	Code	Code	Code	Code	Code	Code	Code	Code	NEBULEUSIS TOTALE				
00	ESE	02	12	04	0000	30			02	11	8	1	1	2							
01	GO	00	00	00	2000	30			01		0	2	2	3							
02	ESE	01	12	02	2000	30			01		8	0	2	3							
03	GO	00	00	00	3000	30			03	14	2	0	2	4							
04	ASE	01	12	02	3000	30			02	11	2	0	2	5							
05	ESE	01	12	02	4000	82			02		2	0	2	5							
06	ESE	01	12	02	4000	82			02	11	2	0	2	5							
07	GO	00	00	00	4000	82			01		2	0	2	6							
08	GO	00	00	00	4000	82			02		2	0	2	6							
09	GO	00	00	00	4000	82			01	14	2	0	2	5							
10	GO	00	00	00	4000	82			01		2	0	0	1							
11	GO	00	00	00	4000	82			02		2	0	0	1							
12	GO	00	00	00	4000	82			02	11	2	0	0	1							
13	OP	09	00	00	4000	82			02		2	0	0	1							
14	OL	09	00	00	4000	82			02	10	2	0	0	1							
15	E	02	10	04	2000	50			03	10	8	0	0	1							
16	E	01	12	02	2000	30			02		8	0	0	1							
17	E	02	10	04	2000	30			02		8	0	0	1							
18	ESE	02	12	04	2000	30			02	03	8	0	0	1							
19	NE	01	06	02	2000	30			02		8	0	0	1							
20	GO	00	00	00	2000	30			02		8	0	0	1							
21	GO	00	00	00	2000	30			02	11	2	0	0	1							
22	GO	00	00	00	2000	30			02		8	1	1	2							
23	GO	00	00	00	2000	30			01		8	0	0	2							
OBSERVATIONS SUPPLEMENTAIRES																					
GRAINS, ORAGES, GRELE																					
HEURE	du crochet au baromètre		Coup de vent		Direction du vent avant l'OL		Direction du vent après l'OL		Direction du vent après l'OL		BARO 1/10 mb		HYGRO centèmes		THERMO ± 1/10 degré		DIAMETRE DES GRELONS (mm)		SIGNES		
	Direction	aparition du Cb	lettres de la rose	maximale m/s	lettres de la rose	maximale m/s	lettres de la rose	maximale m/s	lettres de la rose	maximale m/s	lettres de la rose	maximale m/s	lettres de la rose	maximale m/s	lettres de la rose	maximale m/s	lettres de la rose	maximale m/s	lettres de la rose		
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37							

Photo H. 1 : Première page du carnet du 20-10-19
ASECNA, 21/10/2019

(3) DATE : DIMANCHE 20 OCTOBRE 2019

HEURE TU	PRECIPITATIONS		TEMPERATURE ET HUMIDITE																
	INTENSITE mm/h	MESURES intermédiaires 1/10 mm	LECTURES CORRIGÉES		VALEURS CALCULÉES			ENREGISTREURS D'ABRI											
			T	T _w	U	Tension de vapeur 1/10 mb	T _d	PONT DE ROSÉE ± 1/10 e	T	REPÈRES minutes	HYGROMÈTRE centilitres	U							
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55		56								
00			142	118	75	122	099	142			78								
01			138	118	75	124	102	138			80								
02			122	112	89	126	104	122			90								
03			118	110	91	126	104	120			90								
04			112	125	82	133	112	112			81								
05			167	130	65	124	102	167			67								
06			180	127	61	127	105	180			60								
07			210	115	45	111	086	210			44								
08			232	137	32	091	056	229			32								
09			240	143	32	096	064	240			30								
10			250	146	30	094	061	250			28								
11			262	148	25	089	064	262			26								
12			240	150	25	087	050	240			23								
13			276	148	24	080	037	276			21								
14			242	150	25	087	051	272			22								
15			236	150	38	111	085	242			36								
16			206	142	48	113	096	208			50								
17			194	144	57	125	108	195			60								
18			175	159	85	169	149	175			86								
19			166	152	86	163	143	168			89								
20			160	148	88	160	140	160			90								
21			150	142	92	156	132	152			92								
22			150	142	92	158	132	152			92								
23			147	140	93	155	135	150			92								
Heure de l'observation	HAUTEUR D'EAU RECUEILLIE 1/10 mm (Pluviomètre)			EVAPORATION sous abri			TEMPERATURE DANS LE SOL												
	LECTURE précédente 1/10 mm			LECTURE 1/10 mm			PROFONDEURS												
	en 6h	en 12h	en 24h	en 6h	en 12h	en 24h	Déf.	10 cm	20 cm	50 cm	100 cm								
68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78									
00																			
01				035	049	014	199	226	238	235									
02																			
11				049	076	027	306	270	236	236									
79 Quantité de Précipitations (1/10 mm)						80 Durée de Précipitations (1/10h)													
De 1/1h (la veille) à 1h N..... De 1h à 12h M..... De 12h à 13h NT..... De 13h à 14h NT.....																			
EVAPORATION																			
81	BAC CLASSE A																		
Heure de l'observation	LECTURE précédente N mm	LECTURE H2 mm	Déf. algébrique D = H2 - H1	Nouvelle lecture (si y il y a lieu)	EVAPORATION D + R	COMPTEUR VENT													
	82	83	84	85	86	Température de l'eau 1/10 degré	LECTURE précédente	LECTURE	87	88	89	90							
	251	227				110													
06	220	203				300													
18																			
INSOLATION						RAYONNEMENT													
GLOBAL																			

Photo H. 2 : Troisième page du carnet du 20-10-19
ASECNA, 21/10/2019

4 DATE : DIMANCHE 20 OCTOBRE 2019

HEURE TU	PRESSION										INITIALES DE L'OBSERVATEUR	
	ENREGISTREMENT		LECTURE		CALCUL		EVOLUTION					
	PRESSION LUE 1/10 mb	REPÈRES minutes	TEMPÉRATURE du baromètre 1/10 degré	PRESSION LUE 1/10 mb	PRESSION ADAM 1/10 deg	PRESSION LUE 1/10 deg	PRESSION ADAM 1/10 deg	PRESSION LUE 1/10 deg	PRESSION ADAM 1/10 deg	PRESSION LUE 1/10 deg		
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67		
00	768		198	819	767	192	538	2	-009	EAD		
01	768	X	195	818	762	185	538			EAD		
02	770	X	193	821	769	175	539			EAD		
03	772		192	829	777	160	545	3	+010	ADR		
04	785	X	196	837	785	164	553			ADR		
05	786	X	190	837	786	167	554			ADR		
06	784		185	837	785	168	553	1	+008	ADR		
07	777	X	210	831	777	180	547			ADR		
08	769		220	825	769	185	560			ADR		
09	763		225	819	763	191	534	7	-022	ADR		
10	758		230	815	758	193	530			DVS		
11	749	X	233	806	749	204	521			DVS		
12	748		250	808	748	206	521	5	-015	DVS		
13	745	X	254	805	745	207	518			DVS		
14	748	X	255	808	748	196	520			DVS		
15	751		250	810	750	177	531	3	+002	DVS		
16	755	X	240	813	755	174	525			ADR		
17	759	X	235	817	759	181	530			ADR		
18	760		230	825	760	178	528	9	+018	ADR		
19	772		120	827	770	128	511			ADR		
20	770	X	228	827	770	196	512			ADR		
21	765		225	822	766	195	537	8	-002	AIR		
22	759		220	816	760	200	533			AIR		
23	763	X	220	812	768	205	529			AIR		
HEURE DE L'OBSERVATION	TEMPERATURES EXTREMES (niveau de la cuvette du baromètre)						PRESSIONS EXTREMES					
	AU SOL			SOUS-ABRI			MATIN	VALEUR	HEURE			
	MINI 1/10 deg	MAXI 1/10 deg	MINI 1/10 deg	Heure	MAXI 1/10 deg	Heure	103	104	105	MINIMUM	MAXIMUM	
96	97	98	99	100	101	102						
00										SOIR	VALEUR HEURE	
04										106	107 108	
05											MINIMUM	
10	100		110	020	280						MAXIMUM	
VALEURS EXTREMES DU JOUR (de 0 à 24 heures)												
Lecture corrigée de l'enregistreur (s'il y a lieu)	VENT MAXIMAL						HUMIDITE RELATIVE		VISIBILITE minimale dam	HAUTEUR minimale des NUAGES dam		
	INSTANTANÉ			MOYEN 2 mn ou 10 mn			MIN.	MAX.				
	Direct.	Vitesse	Direct.	Vitesse	Min.	Max.						
109	110	111	112	113	114	115	116	117				
VALEUR												
HEURE												
PHENOMENES REMARQUABLES - NOTES DIVERSES												

Photo H. 3 : Quatrième page du carnet du 20-10-19
ASECNA, 21/10/2019

O Carnet du 21 Octobre 2019 :

ASECNA SERVICE EXPLOITATION DE LA METEOROLOGIE												OBSERVATION METEO DU 21 OCT						
TOUR D'HORIZON													NUAGES					
HEURE TU	VENT (d et l)					VISIBILITE	PHENOMENES HEURES de debut et de fin			TEMPS PRESENT	TEMPS PASSE	W	W 1/2	C _L	C _M	C _H	N	NEBULEUSE TOTALE
	Direction lettres de la rose	Vitesse en m/s	Direction dizaines de degrés	Vitesse nouuds	Signe - Intensité		dam	Code	dam									
1	00	00	00	00	00	90			03	111	8	0	0	3				
00	00	00	00	00	00	90			01		8	0	0	1				
01	00	00	00	00	00	90			02		8	0	0	1				
02	00	00	00	00	00	90			02		8	0	0	1				
03	00	00	00	00	00	90			02	90	8	0	0	1				
04	00	00	00	00	00	90			01	90	2	0	0	1				
05	NE	01	06	02	35	81			03	2	0	0	5					
06	00	00	00	00	35	81			02	X1	2	0	0	5				
07	WW	01	30	02	40	80			01	2	0	0	3					
08	NE	01	06	07	40	82			03	8	3	0	4					
09	00	00	00	00	40	82			01	11	2	3	0	4				
10	00	00	00	00	40	82			03	12	0	0	5					
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20																		
21																		
22																		
23																		
OBSERVATIONS SUPPLEMENTAIRES																		
GRAINS, ORAGES, GRELE																		
HEURE du crochet au baromètre	Coup de vent					Dureté du vent après disfaite du C ₀	BARO 1/10 mb			HYGRO centèmes			THERMO ± 1/10 degré			DIAMETRE DES GRELOTS (mm)	SIGNES	
	Direction d'apparition du C ₀	Direction du vent avant (°)	Direction	lettres de la rose	Vitesse maximale m/s		+	Valeur finale	*	Valeur finale	*	Valeur finale	*	Valeur finale	*			Valeur finale
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37				

Photo H. 4 : Première page du carnet du 21-10-19
ASECNA, 21/10/2019

3

DATE : LUNDI 21 OCTOBRE 2019

HEURE TU	PRECIPITATIONS			TEMPERATURE ET HUMIDITE									
	INTENSITE mm/h	LECTURES CORRIGEES		VALEURS CALCULEES			ENREGISTREURS D'ABRI						
		MEURES Intermédiaires 1/10 mm	T Thermo sec + 1/10 deg	TW Thermo mouillé + 1/10 deg	U HUMIDITE RELATIVE Centimètres	Tension DE VAPEUR 1/10 mb	• POINT DE ROSEE + 1/10 e	Td DE ROSEE + 1/10 e	T THERMOMETRE + 1/10 e	REPERES minutes	HYGROMETRE centimètres		
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56			
00			138	134	96	157	131	143			95		
01			138	134	96	157	131	140			95		
02			138	134	96	157	131	138			95		
03			137	134	97	157	132	135			95		
04			153	138	85	147	128	150			83		
05			184	152	71	150	131	180			70		
06			206	166	66	161	161	202			62		
07			228	175	59	163	144	227			55		
08			254	175	45	145	126	251			49		
09			263	180	44	149	129	263			41		
10			267	180	42	146	127	267			38		
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
Heure de l'observation	HAUTEUR D'EAU RECUÉILLIE 1/10 mm (Pluviomètre)			EVAPORATION sous abri			TEMPERATURE DANS LE SOL						
	en 5h	en 12h	en 24h	LECTURE précédente 1/10 mm	LECTURE 1/10 mm	Difference	10 cm	20 cm	50 cm	100 cm	PROFONDEURS		
				LECTURE précédente 1/10 mm	LECTURE 1/10 mm	Difference	75	76	77	78			
68	69	70	71	72	73	74							
00													
04				076	085	009	212	234	242	235			
08							275	242	242	235			
14				085									
79 Quantité de Précipitations (1/10 mm)				80 Durée de Précipitations (1/10h)									
De 18h (la veille) à 1 h NT De 8h à 18h				De 8h à 18h									
EVAPORATION													
Heure de l'observation	BAC CLASSE A			COMTEUR VENT									
	LECTURE précédente h1 mm	LECTURE h2 mm	Difference algébrique D = h2 - h1	Nouvelle lecture (si y à feu)	EVAPORATION D + R	Température de l'eau 1/10 degré	LECTURE précédente	LECTURE	Difference				
81													
82	83	84	85	86	87	88	89	90					
06	203	165			185	856235	865232						
18	165					25593							
INSOLATION				RAYONNEMENT			GLOBAL						
	91		92		93		94	95					

Photo H. 5 : Troisième page du carnet du 21-10-19
ASECNA, 21/10/2019

(4)

DATE : LUNDI 21 OCTOBRE 2019

HEURE TU	PRESSION											INITIALES DE L'OBSERVATEUR
	ENREGISTREMENT		LECTURE		CALCUL		EVOLUTION					
	PRESSION LUE 1/10 mb	REPÈRES minutes	TEMPERATURE du baromètre 1/10 degré	PRESSION LUE 1/10 mb	PRESSION REDUITE 1/10 deg	1+1-12	PRESSION REDUITE 1/10 deg	1+1-12	Concédation "qu"	Par en 84 h terreneux		
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67		
00	752		215	808	773	204	526	6	-013		AFR	
01	750	X	212	806	772	207	525				AFR	
02	749	X	213	806	772	204	524				AFR	
03	755		217	809	774	187	525	3	+001		AFR	
04	758	X	213	812	777	180	528				FZR	
05	765	X	215	819	764	189	535				FZR	
06	771		225	825	769	191	540	1	+015		FZR	
07	763	X	230	818	761	197	533				FZR	
08	755	X	234	811	753	207	526				FZR	
09	750		240	808	750	207	523	8	+019		FZR	
10	739	X	244	798	739	209	512					
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
HEURE DE L' OBSERVATION	TEMPERATURES EXTREMES						PRESSIONS EXTREMES (niveau de la cuvette du baromètre)					
	AU SOL			SOUS-ABRI			MATIN	VALEUR	HEURE			
	MINI 1/10 deg	MAXI 1/10 deg	MINI 1/10 deg	Heure	MAXI 1/10 deg	Heure	103	104	105	MINIMUM		
96	97	98	99	100	101	102				MAXIMUM		
00										SOIR		
04										VALEUR		
08										HEURE		
10	060			02h5			106	107	108	MINIMUM		
										MAXIMUM		
VALEURS EXTREMES DU JOUR (de 0 à 24 heures)												
Lecture corrigée de l'enregistreur (s'il y a lieu)	VENT MAXIMAL						HUMIDITE RELATIVE		VISIBILITÉ minimale dam	HAUTEUR minimale des NUAGES dam		
	INSTANTANÉ		MOYEN 2 mn ou 10 mn		MIN.	MAX.						
109	110	111	112	113	114	115			116	117		
VALEUR												
HEURE												
PHENOMENES REMARQUABLES - NOTES DIVERSES												

Photo H. 6 : Quatrième page du carnet du 21-10-19
ASECNA, 21/10/2019

ANNEXE I : Organigrammes

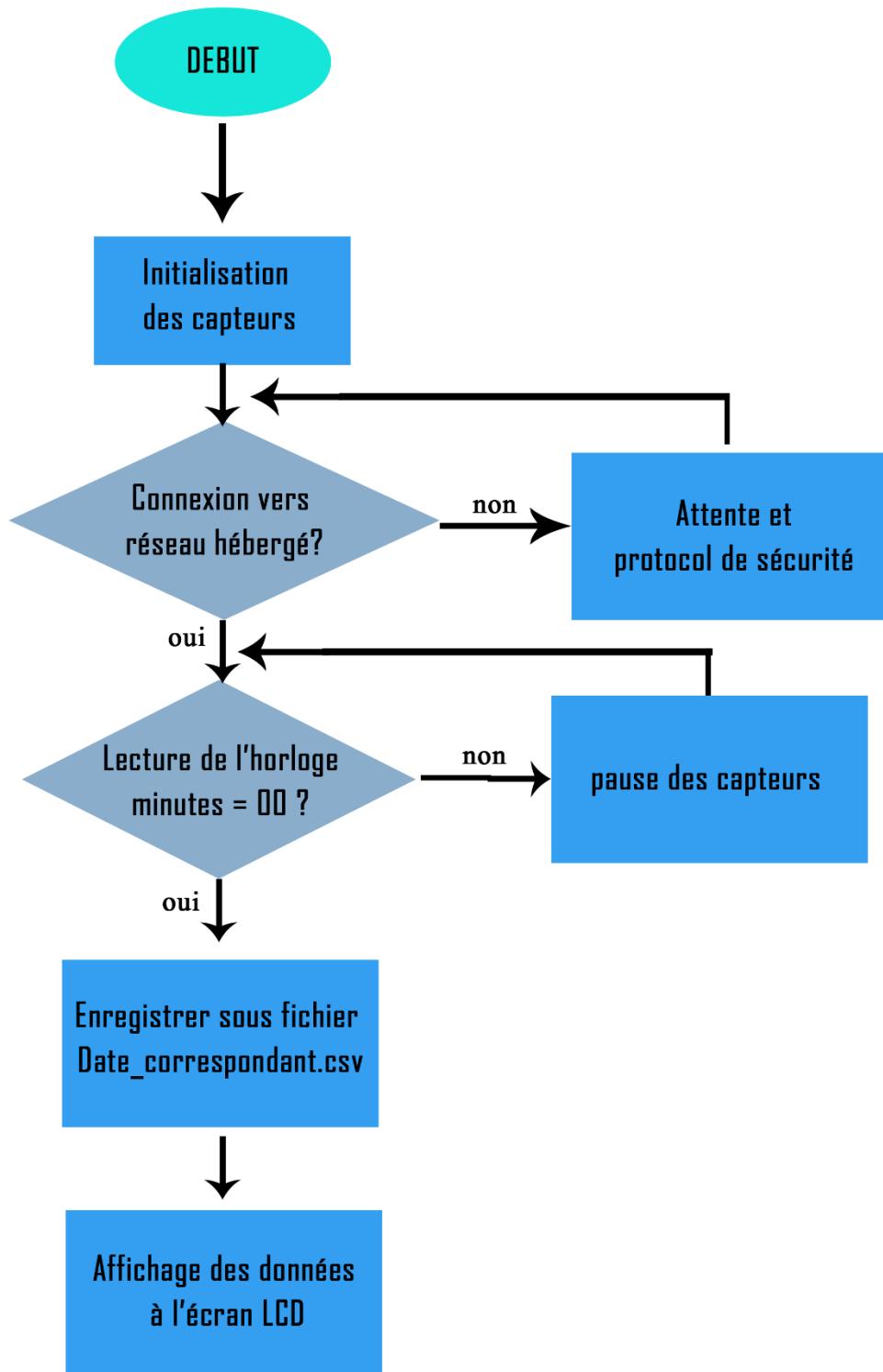


Figure i 1 : Organigramme du fonctionnement de l'appareil SARIVAZO

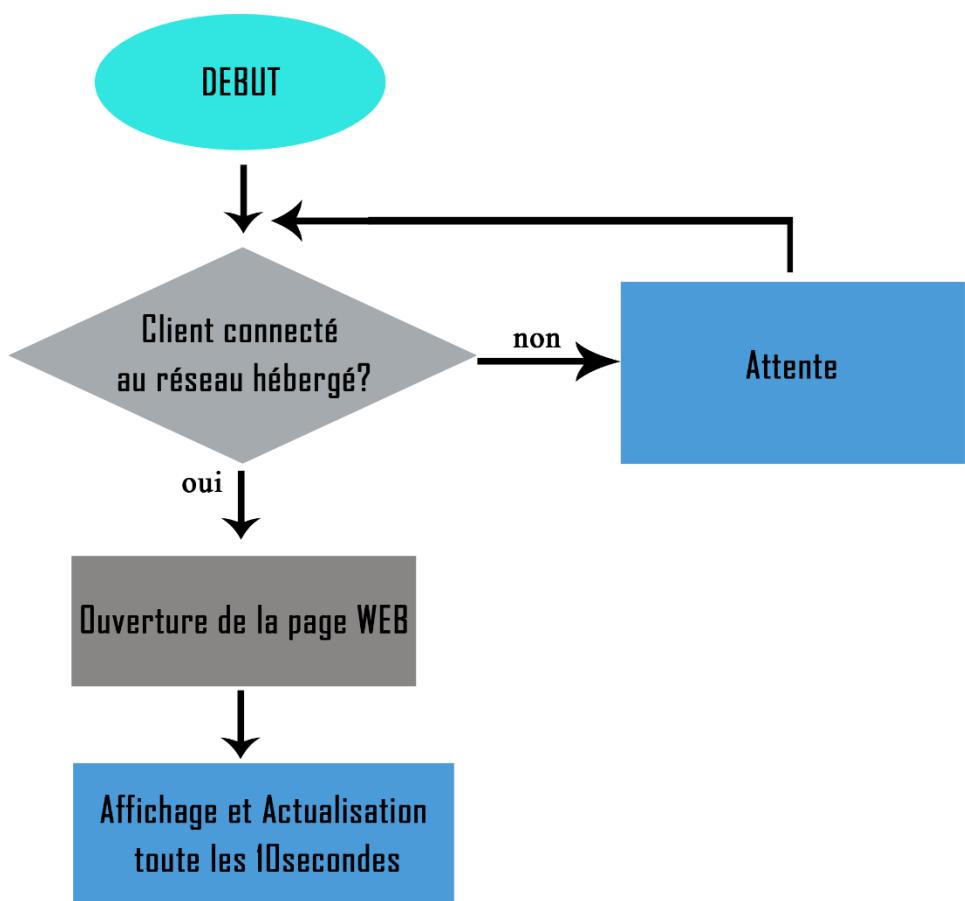


Figure i 2 : Organigramme de la connexion au réseau

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	
SOMMAIRE	i
LISTE DES ABREVIATIONS	ii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES PHOTOS	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES ANNEXES	viii
INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE I : CONTEXTES GENERAUX	2
Chapitre I : Généralités météorologiques	3
I.1 Notions sur les observations météorologiques [2]	3
I.1.1 Systèmes d'observation météorologiques [2]	3
I.1.2 Station météorologique automatique	4
I.2 Mesures météorologique	5
I.2.2 La température	6
I.2.3 La température de rosée	6
I.2.4 Le vent [4]	6
I.2.5 L'humidité relative de l'air	7
Chapitre II : Réseau et liaison de communication	9
II.1 Les réseaux sans fils	9
II.1.1 Réseaux locaux sans fils	9
II.1.2 Le WIFI	9
II.1.2.1 Historique	9
II.1.2.2 Présentation du WiFi 802.11	10
II.1.2.3 Les différentes normes WiFi	10
II.1.2.4 Les équipements WiFi	11
II.2 Le bus I2C	12
II.2 .1 Historique	12
II.2 .2 Caractéristiques	12
II.3 Liaison série MODBUS RS 485	13
II.3 .1 Généralités	13
II.3 .2 Structure du message:	14
Conclusion partielle de la première partie	14
PARTIE II : MATERIAUX ET LOGICIELS	15
Chapitre I : Matériaux	16

TABLE DES MATIERES

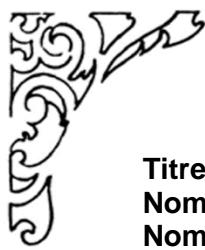
I.1 Les microcontrôleurs [8].....	16
I.1.1 Description et aperçu.....	16
I.1.2 L'ESP32	18
I.1.3 Programmation pour ESP32.....	20
I.2 Horloge en temps réel :.....	20
I.3 Micro SD Card Adapter Reader Module [9]	21
I.3.1 Description	21
I.4 Capteurs	22
I.4.1 Capteur de température et humidité	22
I.4.2 Capteur de pression Atmosphérique	26
I.4.3 Anémomètre analogique	28
I.5 L'alimentation électrique	32
Chapitre II : Logiciels.....	34
II.1 PROTEUS	34
II.1.1 Présentation Générale.....	34
II.1.2 ISIS	34
II.1.3 ARES	37
II.2 AUTOCAD	38
II.2.1 Description et historique	38
II.2.2 AUTOCAD 2020.....	38
II.3 Arduino Software [15]	41
II.3.1 Description	41
II.3.2 Ecrire des sketches	41
II.3.3 interface	42
II.4 Notepad++	44
Conclusion partielle de la deuxième partie.....	44
PARTIE III: REALISATION DE LA STATION AUTOMATIQUE « SARIVAZO »	45
Chapitre I : Etude et montage d'un abri Météorologique	46
I.1 L'étude du plan de conception	46
I.1.1 Intérêt.....	46
I.1.2 Caractéristiques principales.....	47
I.1.3 Le toit supérieur.....	48
I.1.4 Le toit inférieur et le Plancher	49
I.1.5 Les doubles persiennes.....	50
I.1.6 Les montants et traverses	51
I.1.8 Le tableau de bord	54
I.1.9 Socles	54

TABLE DES MATIERES

I.2 Montage de l'abri météorologique	56
Chapitre II : Réalisation du circuit imprimé de la station automatique	59
II.1 Circuit imprimé et périphérique	59
II.2 Le montage des capteurs et périphériques	62
II.2.1 Installation	62
II.2.2 Montage à l'abri.....	63
II.2.3 Emplacement idéal de l'abri météorologique	64
Conclusion partielle de la Troisième partie.....	65
PARTIE IV : Résultats et comparaison	66
Chapitre I : Réseau de communication.....	67
I.1 Réseau locale ordinateur	67
I.2 Réseau hébergé par un point d'accès.....	67
I.3 Réseau partagé par un smartphone.....	68
I.4 Protocole de sécurité de la station automatique	69
Chapitre II: L'interface Web	70
II.1 Présentation générale.....	70
II.2 Vue en détaille	72
II.2.1 Le bloc moniteur des données.....	72
II.2.2 Le bloc de partage.....	72
II.2.3 Le bloc afficheur des courbes d'évolution	73
II.2.4 La barre d'option	74
Chapitre III: Comparaison de Données et étalonnage	75
III.1 Comparaison de Données	75
III.1.1 Température.....	75
III.1.2 Humidité	76
III.1.3 Pression	77
III.1.4 Vent.....	78
III.2 étalonnage et vérification	79
III.2.1 étalonnage de température.....	80
III.2.2 étalonnage de l'humidité.....	80
III.2.3 étalonnage de Pression.....	81
III.2.4 Vérification des données de vitesse de vent.....	81
Conclusion partielle de la quatrième partie	82
CONCLUSION GENERALE	83
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	A
ANNEXES	
ANNEXE A : Broche de connexion du Nodemcu ESP32S.....	C

TABLE DES MATIERES

ANNEXE B : Les afficheurs LCD	D
ANNEXE C : Connexion d'un lecteur SD Card sur un microcontrôleur	G
ANNEXE D : Connexion et exemple de programme pour le capteur de Température et humidité	H
ANNEXE E : Connexion et exemple de programme pour le capteur de Pression Atmosphérique	J
ANNEXE F: Exemple de programme pour l'Anémomètre Analogique	K
ANNEXE G: Les technologies de capteur photovoltaïque	L
ANNEXE H: Carnet d'observation	P
ANNEXE I : Organigrammes	V
TABLE DES MATIERES	



Titre : « WIRELESS WEATHER STATION, SARIVAZO »

Nombre de pages: 83

Nombre de figures : 91

Nombre de photos : 25

Nombre de tableaux : 15

Nombre d'annexes : 08



Résumé :

Ce manuscrit détaille la réalisation du projet SARIVAZO, une station météorologique automatique inspiré des stations professionnelles - L'appareil est réalisé avec le microcontrôleur Nodemcu ESP32S et il est équipé de plusieurs capteurs (température et humidité, pression atmosphérique, Anémomètre analogique) - C'est un système muni d'une transmission WiFi, et utilise une page Web pour communiquer avec un utilisateur. - L'interface s'adapte à la résolution des écrans de toutes les plateformes informatiques.

Mots clés : SARIVAZO, station météorologique automatique, WiFi, Nodemcu ESP32S, Arduino IDE, abri météorologique.

Abstract:

This manuscript details the realization of the SARIVAZO project, an automatic weather station inspired by professional stations - The device is made with the Nodemcu ESP32S microcontroller and it is equipped with several sensors (temperature and humidity, atmospheric pressure, anemometer analog) - It is a system with a WiFi transmission, and uses a Web page to communicate with a user - The interface adapts to the screen resolution of all IT platforms.

Keywords: SARIVAZO, Automatic Weather Station, WiFi, Nodemcu ESP32S, IDE Arduino, Instrument shelter, Stevenson screen.

Rapporteurs :

Monsieur RAKOTONDRAINA Tahina Ezéchiel
Maître de Conférences
Docteur en Télécommunication
E-mail : tahina.ezechiel@gmail.com
Tel : 034 19 082 00

Monsieur RAKOTOARINOSY Andrianaina Tahina
Enseignant à l'ESPA et chercheur en Météorologie
E-mail : rakotoandrianainatahina@gmail.com
Tel : 034 40 144 75

Auteur :

RASOANAIVO Mamiantsa
E-mail : mamiantsa404@yahoo.com
Tel : 032 45 641 06

