

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة

التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département Electromécanique /Télécommunication

## MÉMOIRE

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

**Spécialité** : Automatique et informatique industriel/Télécommunication

**Par** : Hazzat Omar, YahiaouiZakieddine, BelmouhoubNourelhouda,  
BenbrahemZahia, SidisalahAnfal,SaadiOumnia.

Année Universitaire 2023/2024

**Un projet innovant** : Réalisation d'un accessoire téléphonique base sur technologie radiofréquence pour le contrôle des machines industrielles

M/ Riadh khenfer

MCA

Univ-BBA

Encadrant

M/ Abderazak bennia

MCA

Univ-BBA

Co-Encadrant

Dr/Bensidhoum tarek

MCB

Univ-BBA

Examiner

Dr/Zaoui fares

MCB

Univ-BBA

President

Dr/Titoni Salem

MCB

Univ-BBA

Examiner

# Table des matières

## Sommaire

RESUME.....	8
INTRODUCTION GENERALE.....	9
<b>CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA COMMUNICATION SANS FIL .....</b>	<b>10</b>
<i>I.1 Introduction.....</i>	<i>10</i>
<i>I.2 communications sans fil.....</i>	<i>10</i>
<i>I.2.1 WIFI .....</i>	<i>10</i>
<i>I.2.2 Réseau GSM .....</i>	<i>10</i>
<i>I.2.3 Internet des objets .....</i>	<i>11</i>
<i>I.2.4 Bluetooth .....</i>	<i>11</i>
<i>I.2.5 Ondes radio (RF) .....</i>	<i>11</i>
<i>I.3 Importance de la radiofréquence .....</i>	<i>12</i>
I.4 Les protocoles de communication SPI, I2C et UART .....	13
I.4.1 Protocole de communication UART .....	13
I.4.2 Protocole de communication I2C.....	15
I.4.3 Protocole de communication SPI.....	17
I.5 Comparaison des protocoles SPI, I2C et UART .....	20
I.6 Moteur pas à pas .....	20
I.7 Conclusion .....	21
<b>CHAPITRE II : PARTIE MATERIELLE ET LOGICIELLE.....</b>	<b>22</b>
II.1 Introduction.....	22
II.2 carte arduino nano.....	22
II.3 Modèles de communication radio fréquences .....	25
II.4 Modèles de communication Bluetooth HC-05 .....	32
II.5 Capteur de température et l'humidité .....	33
II.6 Circuit imprime.....	35
<i>II.6.1 Définition .....</i>	<i>35</i>
<i>II.6.2 programme Eagle .....</i>	<i>36</i>
<i>II.6.3 Réalisation pratique du circuit imprimé .....</i>	<i>37</i>
II.7 l'impression 3D .....	37

II.7.1 Définition .....	37
II.7.2 Imprimante 3D Ender-3 pro .....	38
II.7.3 Etapes de l'impression 3D.....	38
II.7.3.1 Logiciel utilisé .....	39
II.7.3.2 Création d'un fichier g-code.....	39
II.8 HMI CONTROL PANEL.....	40
II.8.1 HMI.....	41
II.9 Conclusion .....	44
<b>CHAPITRE III : PARTIE PRATIQUE.....</b>	<b>45</b>
III.1 Introduction .....	45
III.2.1 Conception des circuits imprimés .....	45
III.2.2 Conception d'une boîte .....	47
III.2.3 Imprime la boîte .....	47
III.3 Test le prototype .....	48
CONCLUSION GENERALE .....	<b>50</b>
V BIBLIOGRAPHIES .....	<b>51</b>

## Liste de figures

<b>Liste de tableaux.....</b>	<b>4</b>
<b>Figure I.1 : Serial communication UART interface.....</b>	<b>14</b>
<b>Figure I.2 : I2C Serial interface.....</b>	<b>16</b>
<b>Figure I.3 : SPI maitre esclave interface .....</b>	<b>18</b>
<b>Figure I.4 câblage série et parallèle.....</b>	<b>21</b>
<b>Figure II.1 : arduino nano [9].....</b>	<b>22</b>
<b>Figure II.2 : icone de programme arduino .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure II.3 : Main page de logiciel Arduino ADI .....</b>	<b>23</b>
<b>Figure II.4 les courbe de température et humidité sure serial monter .....</b>	<b>25</b>
<b>Figure II.5 : le module nRF24L0+PA .....</b>	<b>26</b>
<b>Figure II.6 : le nrf24L01 avec arduino nano .....</b>	<b>27</b>
<b>Figure II.7 : le module RF-NANO [3] .....</b>	<b>28</b>
<b>Figure II.8 : la communication entre deux rf nano .....</b>	<b>28</b>
<b>Figure II.9: le module Rf nano.[15] .....</b>	<b>29</b>
<b>Figure II.10 : le module Lora sx1278 [9].....</b>	<b>30</b>
<b>Figure II.11 : connexion modules SX1278 avec un Arduino nano. [9] .....</b>	<b>32</b>
<b>Figure II.12 : Le module Bluetooth HC-05. ....</b>	<b>33</b>
<b>Figure II.13: arduino nano avec capteur de température et l'humidité. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figure II.14 : icone d'EAGLE. ....</b>	<b>36</b>
<b>Figure II.15 : les outilles de logiciel EAGLE. ....</b>	<b>36</b>

<b>Figure II.16</b> : Imprimante 3D Ender-3 pro [20] .....	38
<b>Figure II.17</b> : main page de logiciel et icone de CreoParametric.....	39
<b>Figure II.18</b> : main page de logiciel et icone d’Ulimaker CURA .....	39
<b>Figure II.19</b> : main page de imprimant .....	40
<b>Figure II.20</b> : envoie le fiche g-code vers SD Carde est choisir dans imprimant [21].....	40
<b>Figure II.21</b> : HMI Control Panel .....	41
<b>Figure II.22</b> : l'initialisation de l'application et de configurer les paramètres .....	42
<b>Figure II.23</b> : le bouton d'activer la connexion Bluetooth.....	42
<b>Figure III.1</b> : le schéma dans logiciel EAGLE et le circuit imprime .....	46
<b>Figure III.2</b> : le schéma dans logiciel EAGLE et le circuit imprime .....	46
<b>Figure III.3</b> : le schéma dans logiciel EAGLE et le circuit imprimé .....	46
<b>Figure III.4</b> : dessin 3D de la couverture .....	47
<b>Figure III.5</b> : le premier prototype final.....	47
<b>Figure III.6</b> : le parte commende de system de nattier de pannes solaire .....	48
<b>Figure III.7</b> : le système de panneaux solaire .....	48
<b>Figure III.8</b> : HMI interface avec la carte finale de premier prototype.....	49

### Liste de tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Comparaison des protocoles SPI, I2C et UART[8].....	20
<b>Tableau II.2</b> : tableau de connexion du modules SX1278. [11] .....	31

## ABREVIATION ET GLOSSAIRA

- *STL: Standard Tessellation Language.*
- *PLA: PolylacticAcide.*
- *ABS: Acrylonitrile butadiene styrene.*
- *WI-FI: Wireless Fidelity.*
- *USB: Universal Serial Bus.*
- *SD: Secure Digital.*
- *PCB: Printed Circuit Board.*
- *EAGLE: Easy Applicable Graphical Layout Editor.*
- *Par : abréviation du mot "paragraphe" (paragr. ou paragr.).*
- *GSM: Global System for Mobile Communications.*
- *LTE : Long-Term Evolution.*
- *Bluetooth : nom d'une technologie de communication sans fil.*
- *IoT : Internet des objets.*
- *HTTP : HyperText Transfer Protocol.*
- *FTP : File Transfer Protocol.*
- *TCP/IP : Transmission Control Protocol/Internet Protocol.*
- *MCU : Microcontrôleur.*

- *I2C : Inter-Integrated Circuit.*
- *UART : Universel Asynchrones Receiver-Transmitter.*
- *p. i : abréviation de "par intérim".*
- *p. o : abréviation de "par ordre"[6].*
- *p. ex. : abréviation de "par exemple".*
- *HMI : Humann Machine Interface.*
- *SPI : Série Périphérique Interface.*
- *RF : Radio Fréquence.*
- *G\_code :Geometric Code.*
- *TOR : tout or rien.*
- *PWM :Pulse Width Modulation.*
- *ISM : Industrielles Scientifiques Médicales.*
- *GSM: Global System for Mobile Communications.*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## *Remerciements*

Nous remercions tout d'abord, Allah, de nous avoir donnés le courage d'entamer et de finir ce mémoire dans de bonnes conditions.

Nous remercions vivement nos encadreurs, monsieur RIADH KHENFER et ABDERAZAK BENNIA pour nous avoir dirigés dans notre travail, merci pour vos critiques et pour vos conseils éclairés.

---

## Résumé

---

Notre travail se concentre sur la réalisation d'un dispositif communicant avec le protocole radiofréquence, il a la comme objectif de transformer un Smartphone en une interface de communication homme-machine(HMI), cette dernière paramètre le contrôle à distance allant jusqu' 10 KM, ce dispositif donne des solutions pour l'installation industrielles et agricoles surtout dans les zones isolées (absence de WIFI et de GSM).

### Summary

Our work focuses on developing a device that communicates using the radiofrequency protocol. Its objective is to transform a Smartphone into a human-machine interface (HMI), enabling remote control over distances of up to 10 km. This device provides solutions for industrial and agricultural installations, particularly in remote areas without Wi-Fi or GSM.

### ملخص

عملنا يركز على تصميم جهاز ملحق يستخدم بروتوكول الترددات الراديوية للتواصل، والهدف منه هو تحويل الهاتف الذكي إلى واجهة تواصل بين الإنسان والآلة، مما يمكن من التحكم عن بعد في مسافات تصل إلى 10 كيلومترات. يوفر هذا الجهاز حلاً للمنشآت الصناعية والزراعية، خاصة في المناطق النائية التي تفتقر إلى شبكات الواي فاي أو الجي إس إم

---

# Introduction générale

---

Durant ces dernières années, le développement rapide d'utilisation des objets connectés et de l'Internet of Things (IOT) donnent des solutions intéressantes allant de la domotique jusqu'aux domaines d'agriculture et industrielle. Ces solutions d'applications des protocoles de communication sans fil donnent des résultats intéressants que ce soit sur le coût ainsi que la facilité d'installation et de maintenance. L'Algérie encourage l'application de ces techniques sur différents domaines, sur tous sur le domaine d'agriculture et ce la pour augmenter la productivité, pour atteindre ce but l'état algérien vise à implanter de grandes surfaces de blé et de maïs au sud algérien, néanmoins la surveillance de ces grandes surfaces avec les techniques de communications sans fil en utilisant le GSM et LE wifi ne sont pas possibles, donc l'idée de proposer des protocoles de communications radio fréquences (RF) en utilisant des interfaces de contrôle largement utilisées tel que les Smartphones, pour atteindre notre objectif, on a proposé la réalisation d'un accessoire électronique, la connexion de cet accessoire à un Smartphone transfère ce dernier à une interface HMI permettant de surveiller les surfaces cultivées sur des étendues allant jusqu'à des dizaines de kilomètres et ce la dans les régions isolées.

Pour entamer les buts que trace en organise le travail dans trois chapitres :

Le premier chapitre de ce mémoire, représente des généralités sur la communication sans fil et l'importance de la radiofréquence.

Le deuxième chapitre explique le matériel utilisé et les logiciels nécessaires pour réaliser cet appareil.

En terminant notre travail par le chapitre trois, dans lequel nous représentons les différentes étapes de la partie réalisation de prototype et les résultats de validation sur un système de nettoyage des Panneaux solaires.

---

# CHAPITRE I : Généralités sur la communication sans fil

---

## *1.1 Introduction*

La communication filaire joue un rôle essentiel dans l'industrie moderne. Elle permet d'assurer des échanges d'informations fiables et sécurisés entre différents équipements et systèmes au sein d'une usine ou d'une installation industrielle.

Cependant, la communication filaire présente aussi certaines limites, comme la complexité du câblage et la difficulté de reconfigurer rapidement les installations. Pour cela, le chercheur trouve une solution par la communication sans fil, la technologie est utilisée largement dans le domaine industriel.

Elle permet de transmettre des données et des informations entre différents appareils sans avoir besoin des câbles physiques. Les radiofréquences sont une forme de communication sans fil qui utilise les ondes électromagnétiques pour transmettre des signaux. [1]

Dans ce chapitre, nous avons donné des informations générales sur les communications sans fil et la radiofréquence industrielle et leur importance.

## *1.2 communications sans fil*

La communication sans fil joue un rôle important dans les applications de les états de plusieurs technologies sans fil à faible consommations d'énergie ont été développées spécifiquement pour répondre aux besoins de l'industrie. [2]

### *1.2.1 WIFI*

Le Wi-Fi fonctionne en transmettant des ondes radio à différentes fréquences pour fournir des connexions Internet et réseau sans fil à des vitesses variables. Ces ondes sont généralement regroupées en gammes de fréquences de 2,4 GHz, 5 GHz et 6 GHz. Plus la fréquence de la bande Wi-Fi est élevée, plus les vitesses d'accès à Internet ne sont élevées. [3]

### *1.2.2 Réseau GSM*

Le système GSM est une norme internationale pour les réseaux de télécommunications cellulaires mobiles, utilisée pour la transmission de données et d'appels vocaux. Il est devenu l'un des systèmes les plus répandus dans le monde. Le GSM repose sur la division du temps et de la fréquence (TDMA/FDMA) pour gérer efficacement les ressources du réseau. Il se distingue par l'utilisation de cartes SIM, qui permet aux utilisateurs de changer d'appareil

facilement. En plus, il prend en charge l'itinérance internationale, permettant d'utiliser les téléphones mobiles dans différents pays. Le GSM propose également des services tels que les messages texte (SMS), les données mobiles et les communications vocales. [4]

### ***1.2.3 Internet des objets***

À partir du moment que l'afficheur dispose la capacité de communiquer sur le réseau Internet, il devient un objet connecté, on parle alors d'Internet des objets IoT. En plus de pouvoir recevoir des données pour sa fonction internet, par exemple les textes à afficher, ils peuvent communiquer avec d'autres informations :

- Des données de maintenance du matériel (les tensions et courants des alimentations, la détection d'éventuels panneaux, les heures de fonctionnement).
- Des informations de surveillance (des détections d'intrusions dans son périmètre, des images de son environnement ou de ce qu'il affiche).

Tout projet implique Internet doit être examiné avec grand soin concernant la sécurité et le cryptage des données. [5]

### ***1.2.4 Bluetooth***

Cette technologie Bluetooth utilise des techniques de modulation à faible puissance, il permet aux appareils de passer en mode veille pour réduire la consommation d'énergie. Il est adapté aux applications IoT et industrielles qui nécessitent une connexion sans fil court distance. Il y a plusieurs avantages de Bluetooth. C'est un standard disponible sur beaucoup de systèmes informatiques : Smartphones, tablettes et PC... Ex. Il fonctionne à un logiciel dédié sur le terminal utilisé (Smartphone, tablette, ordinateur). La confidentialité des données est assurée par des mots de passe et le cryptage des données transmises. Mais si la couche d'établissement de la communication et de la transmission des données est standardisée, le contenu des données est libre. Il est donc nécessaire de faire fonctionner un logiciel dédié sur le terminal utilisé (Smartphone, tablette, ordinateur). [6]

### ***1.2.5 Ondes radio (RF)***

Les ondes radio (RF, Radio Fréquence), sont des ondes électromagnétiques dont la gamme de fréquence s'étend de 3 kHz à 300 GHz. Elles peuvent aussi être utilisées pour communiquer avec une enseigne ou un afficheur à LED. Bien entendu, il faut alors respecter la législation en vigueur dans chaque pays. Une bande de fréquence autour de 433 MHz est libre. Cette bande fait partie des bandes de fréquences librement utilisables appelées ISM. Une puissance maximale ne doit pas être dépassée. On trouve des paires de petits modules émetteur-récepteur.

Nous choisissons RF pour réaliser un système électronique, nous nous habituons parce qu'il fonctionne dans des zones isolées sans couverture, c'est ce qui le distingue des réseaux de communication (Wifi, GSM, Internet, Bluetooth). [2]

### *1.3 Importance de la radiofréquence*

La radiofréquence (RF) joue un rôle essentielle dans le contrôle à distance des machines dans les environnements industriels pour plusieurs raisons.[7]

-Contrôle sans fil fiable :

Les systèmes RF permettent de contrôler des machines à distance sans câbles physiques, réduisant ainsi les coûts d'installation et d'entretien tout en offrant une plus grande flexibilité de déplacement et d'accès.[7]

-Portée étendue et capacité à traverser les obstacles :

Les signaux RF peuvent traverser des murs, des structures métalliques et d'autres obstacles communs dans les environnements industriels, garantissant une communication robuste entre les machines et les dispositifs de contrôle.

-Réduction des interférences électromagnétique :

La technologie RF est conçue pour minimiser les interférences électromagnétiques, ce qui est essentiel dans les usines où de nombreux équipements électriques sont en fonctionnement simultanément. [7]

-Sécurité accrue :

Les systèmes RF modernes peuvent être équipés de protocoles de sécurité avancés (cryptage, authentification) pour prévenir tout accès non autorisé ou perturbation des commandes, garantissant ainsi la sécurité des opérations industrielles.

-Automatisation et gestion à distance :

Avec la technologie RF, il est possible d'automatiser et de surveiller des processus à distance, même dans des environnements difficiles d'accès, améliorant l'efficacité opérationnelle et réduisant le besoin d'interventions humaines sur site. [7]

-Réduction du temps d'arrêt :

La capacité de diagnostiquer et de corriger des problèmes à distance grâce à la technologie RF permet de réduire considérablement les temps d'arrêt, améliorant ainsi la productivité et la continuité des opérations industrielles.

-Adaptabilité à différents environnements :

La technologie RF peut être utilisée dans une large gamme de températures et des environnements industriels hostiles, où il y a beaucoup de poussière, d'humidité ou des vibrations, sans compromettre la qualité des communications. [7]

## I.4 Les protocoles de communication SPI, I2C et UART

UART, I2C et SPI des protocoles de communication jouent un rôle essentiel dans le développement des microcontrôleurs, permettant l'échange d'informations entre différents composants d'un système embarqué. Dans cet article, nous allons explorer en détail les protocoles SPI, I2C et UART, en examinant leur fonctionnement, leurs avantages et inconvénients, ainsi que des exemples concrets d'utilisation dans les microcontrôleurs. Commençons par une présentation de ces protocoles.

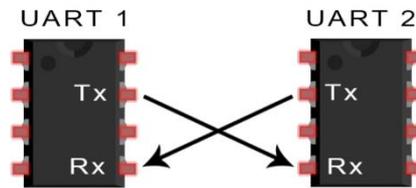
### I.4.1 Protocole de communication UART

UART est un protocole de communication qui permet au microcontrôleur d'échanger des données avec les périphériques connectés. Il utilise deux lignes de données, une pour la transmission (TX) et une pour la réception (RX), permettant la communication bidirectionnelle. Cette interface est généralement implémentée via les broches numériques 0 (RX) et 1 (TX) du microcontrôleur.[8]

- **Fonctionnement de l'UART**

Le protocole UART fonctionne de manière asynchrone, ce qui signifie qu'il ne nécessite pas de signal d'horloge dédié pour synchroniser la transmission des données. Au lieu de cela, il utilise des bits de départ (Start bits) et de fin (stop bits) pour indiquer le début et la fin de chaque paquet de données.

Lorsqu'un microcontrôleur envoie des données via l'UART, il convertit les données parallèles en une forme série et les transmet via la ligne de transmission (TX). Le périphérique récepteur convertit ensuite les données série en données parallèles pour les utiliser. Cette conversion série-parallèle permet une transmission efficace des données entre les périphériques.



**Figure I.1** : Serial communication UART interface

- **Mode de communication de l'UART**

Le protocole UART fonctionne de différentes manières en fonction du mode de communication requis :

**Simplex** : Il s'agit d'une transmission unidirectionnelle des données, où un périphérique envoie des données à un autre périphérique sans possibilité de réponse.

**Half-duplex** : Il permet la transmission bidirectionnelle des données, mais pas simultanément. Les périphériques peuvent envoyer et recevoir des données, mais pas en même temps.

**Full-duplex** : Ce mode permet la transmission bidirectionnelle simultanée des données. Les périphériques peuvent envoyer et recevoir des données en même temps, offrant une communication plus rapide et efficace.

- **Transmission et réception des données**

Lorsqu'un microcontrôleur envoie des données via l'UART, il les place dans un registre de transmission FIFO (First-In-First-Out). Les données sont ensuite transmises bit par bit, avec un bit de départ pour indiquer le début et un ou plusieurs bits de fin pour marquer la fin de chaque octet de données.

- **Avantages de l'utilisation de l'UART**

L'utilisation de l'UART présente plusieurs avantages :

**Simplicité** : L'UART est relativement simple à mettre en œuvre et à utiliser, ce qui en fait un choix populaire pour les applications ne nécessitant pas une grande bande passante ou une communication complexe.

Flexibilité : L'UART peut être configuré pour fonctionner à différentes vitesses de transmission (BAUD rates) et avec différents formats de données, offrant ainsi une grande flexibilité dans la communication.

Compatibilité : L'UART est pris en charge par de nombreux microcontrôleurs et périphériques, ce qui facilite l'interfaçage avec d'autres composants électroniques.

- **Inconvénients de l'utilisation de l'UART**

Bien que l'UART soit largement utilisé, il présente également certaines limitations :

Vitesse de transmission limitée : L'UART n'est pas adapté aux applications nécessitant des débits de données très élevés. Les protocoles plus rapides, tels que le SPI ou l'I2C, peuvent être préférés dans de tels cas.

Longueur du câble : Les transmissions UART peuvent être limitées en termes de distance, en raison des problèmes de dégradation du signal sur de longs câbles. Des dispositifs de conversion de niveaux de signal peuvent être nécessaires pour une communication fiable sur de longues distances.

- **Exemples d'utilisation de l'UART dans les microcontrôleurs**

Communication avec des capteurs : L'UART permet de récupérer les données provenant de capteurs tels que les capteurs de température, d'humidité, de pression, etc.

Affichage de données : L'UART peut être utilisé pour envoyer des données à des modules d'affichage, tels que des écrans LCD ou des afficheurs à sept segments.

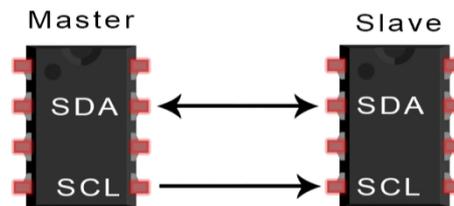
Contrôle de périphériques externes : L'UART peut être utilisé pour communiquer avec des périphériques externes, tels que des moteurs, des actionneurs, des modules de communication sans fil, etc.

## **I.4.2 Protocole de communication I2C**

Le protocole I2C, ou Inter-Integrated Circuit, est un protocole de communication série bidirectionnel utilisé dans le développement de microcontrôleurs et d'autres systèmes électroniques. Il est largement utilisé en raison de sa simplicité, de son faible nombre de fils requis et de sa capacité à permettre la communication entre plusieurs périphériques.[8]

- **Fonctionnement de l'I2C**

L'I2C utilise deux fils pour la communication : la ligne de données série (SDA) et la ligne d'horloge série (SCL). La ligne SDA est utilisée pour transmettre les données, tandis que la ligne SCL synchronise la transmission des données entre les périphériques connectés. Les périphériques sur le bus I2C sont divisés en deux catégories : les maîtres et les esclaves. Les maîtres initient la communication et les esclaves répondent aux demandes des maîtres.



**Figure I.2 : I2C Serial interface**

- **Protocole maître-esclave de l'I2C**

L'I2C fonctionne selon un protocole de communication maître-esclave. Le maître commence par envoyer une adresse spécifique à l'esclave avec lequel il souhaite communiquer. L'esclave vérifie ensuite si l'adresse lui est destinée et répond en conséquence. Une fois la communication établie, le maître envoie ou reçoit les données nécessaires à partir de l'esclave. La transmission des données est organisée en trames comprenant des bits d'adresse, des bits de données et des bits de contrôle.

- **Avantages de l'utilisation de l'I2C**

L'utilisation de l'I2C présente plusieurs avantages dans le développement de microcontrôleurs et d'autres systèmes électroniques. Tout d'abord, l'I2C permet la communication entre plusieurs périphériques en utilisant un seul bus de communication. Cela réduit le nombre de fils nécessaires et simplifie les connexions. De plus, le protocole I2C offre une flexibilité en termes de vitesse de communication et prend en charge différents modes pour répondre aux besoins spécifiques des applications.

- **Inconvénients de l'utilisation de l'I2C**

Bien que l'I2C soit largement utilisé et présente de nombreux avantages, il présente également quelques inconvénients. L'un des principaux inconvénients est sa vitesse de communication

relativement lente par rapport à d'autres protocoles, tels que le SPI. Cela peut être un facteur limitant pour les applications nécessitant une transmission rapide des données. De plus, l'I2C peut être plus sensible aux interférences électromagnétiques, ce qui peut nécessiter des mesures supplémentaires pour assurer une communication fiable.

- **Exemples d'utilisation de l'I2C dans les microcontrôleurs**

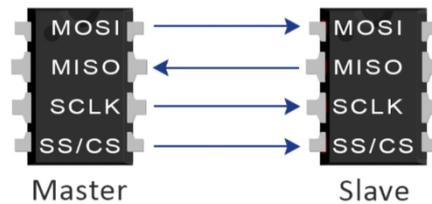
L'I2C est utilisé dans une variété d'applications de microcontrôleurs. Il est couramment utilisé pour connecter des capteurs, des actionneurs, des écrans LCD, des mémoires EEPROM et d'autres périphériques à un microcontrôleur. Par exemple, dans un système de surveillance environnementale, un microcontrôleur peut utiliser l'I2C pour communiquer avec plusieurs capteurs de température, d'humidité et de pression. Il permet une intégration facile de ces périphériques et simplifie la mise en œuvre du système.

### **I.4.3 Protocole de communication SPI**

SPI est un protocole de communication série synchrone qui permet l'échange de données entre un microcontrôleur maître et des périphériques esclaves. Il utilise un certain nombre de lignes de communication, y compris les lignes de données (MOSI et MISO), la ligne d'horloge (SCLK) et la ligne de sélection du périphérique (SS). Contrairement à d'autres protocoles, chaque périphérique esclave nécessite une ligne de sélection distincte.[8]

- **Fonctionnement du SPI**

Le fonctionnement du SPI repose sur un concept de communication en mode full-duplex, ce qui signifie que les données peuvent être transmises et reçues simultanément. Le microcontrôleur maître génère l'horloge de synchronisation (SCLK) et contrôle la sélection des périphériques esclaves en activant ou désactivant la ligne SS correspondante.



**Figure I.3 :** SPI maître esclave interface

- **MISO et MOSI du SPI**

Le protocole de travail du SPI implique l'envoi et la réception de données sur les lignes MOSI et MISO en fonction des impulsions d'horloge. Le microcontrôleur maître envoie les bits séquentiellement, et chaque périphérique esclave reçoit les bits sur la ligne MOSI et renvoie les données sur la ligne MISO. Les données sont transmises bit par bit, avec le bit le plus significatif envoyé en premier.

- **Avantages de l'utilisation du SPI**

Le protocole SPI présente plusieurs avantages qui en font un choix populaire pour de nombreux projets de microcontrôleurs :

**Vitesse élevée :** Le SPI est conçu pour des communications rapides et peut atteindre des débits de plusieurs Mbits par seconde, ce qui le rend idéal pour les applications nécessitant des mises à jour et des changements de données rapides.

**Communication full-duplex :** Grâce à son mode full-duplex, le SPI permet une communication simultanée bidirectionnelle, ce qui accélère les échanges de données entre le microcontrôleur maître et les périphériques esclaves.

**Pas de bits de départ/arrêt :** Contrairement à d'autres protocoles, tels que l'UART, le SPI n'utilise pas de bits de départ/arrêt, ce qui permet une transmission continue des données sans interruption.

**Utilisation de lignes distinctes :** Le SPI utilise des lignes distinctes pour la transmission et la réception des données, ce qui permet une communication simultanée bidirectionnelle sans avoir à basculer entre les modes émission/réception.

- **Inconvénients de l'utilisation du SPI**

Bien que le protocole SPI présente de nombreux avantages, il existe également quelques inconvénients à prendre en compte :

Complexité du câblage : Étant donné que chaque périphérique esclave nécessite une ligne de sélection distincte, le câblage peut devenir complexe lorsqu'il y a plusieurs périphériques connectés au microcontrôleur maître.

Utilisation de broches supplémentaires : Le SPI nécessite un certain nombre de broches pour les lignes de communication, ce qui peut être une contrainte dans les microcontrôleurs disposant d'un nombre limité de broches d'E/S

- **Exemples d'utilisation du SPI dans les microcontrôleurs**

Le protocole SPI est largement utilisé dans une variété d'applications de microcontrôleurs. Voici quelques exemples d'utilisation :

Afficheurs à cristaux liquides (LCD) : Les afficheurs LCD utilisent souvent le protocole SPI pour transférer rapidement les données d'image et de contrôle depuis le microcontrôleur vers l'écran.

Mémoires Flash : Les mémoires Flash, utilisées pour le stockage de données, peuvent être facilement contrôlées via le protocole SPI, permettant ainsi un accès rapide aux données.

Capteurs numériques : De nombreux capteurs numériques utilisent le protocole SPI pour transmettre les données de mesure vers le microcontrôleur, offrant ainsi une intégration aisée des capteurs dans les systèmes embarqués.

## I.5 Comparaison des protocoles SPI, I2C et UART

Caractéristiques	UART	SPI	I2C
Type de protocole	Asynchrone	Synchrone	Synchrone
Nombre de lignes	2 (TX, RX)	4 (MOSI, MISO, SCLK, SS)	2 (SDA, SCL)
Vitesse de transmission	Variable débit fixe	Haute Variable	débit fixe
Communication duplex	Simplex, semi-duplex	Full-duplex	Bidirectionnelle
Nombre de périphériques	2 (maître et esclave)	Plusieurs	Jusqu'à 127
Complexité	Simple	Moyenne	Simple
Utilisation des broches	Moins	Plus	Moins
Exemples d'utilisation	Communication série	Cartes SD	Afficheurs Capteurs

Tableau I.1 Comparaison des protocoles SPI, I2C et UART[8]

## I.6 Moteur pas à pas

Un moteur pas à pas est un moteur électrique synchrone sans frotteurs qui convertit les impulsions numériques en rotation de l'arbre mécanique.

Chaque révolution du moteur pas à pas est divisée en un nombre de pas distincts, 200 pas dans la majorité des cas, et le moteur doit recevoir une impulsion distincte pour chaque pas. Le moteur pas à pas ne peut avoir qu'un seul pas à la fois, et chaque pas est de la même taille. Puisque chaque impulsion fait tourner le moteur à un angle précis, généralement de  $1,8^\circ$ , la position du moteur peut être contrôlée sans aucun mécanisme de rétroaction. Lorsque les impulsions numériques augmentent en fréquence, le mouvement de pas se transforme en rotation continue, avec une vitesse de rotation directement proportionnelle à la fréquence des impulsions. Les moteurs pas à pas sont utilisés quotidiennement dans les applications industrielles et commerciales en raison de leur faible coût, de leur haute fiabilité, de leur couple élevé à basse vitesse et de leur construction simple et robuste qui fonctionne dans presque n'importe quel environnement.[9]

- **Avantages du moteur pas à pas**

-L'angle de rotation du moteur pas à pas est proportionnel à l'impulsion d'entrée.

Le moteur pas à pas a un couple complet à l'arrêt (si les enroulements sont sous tension).

-Un positionnement précis et la répétabilité du mouvement puisque les bons moteurs pas à pas ont une précision de 3 à 5 % pour un pas et que cette erreur est non cumulative d'un pas à l'autre.

-Excellente réponse pour le démarrage/arrêt/fonctionnement inverse.

-Très fiable puisqu'il n'y a aucun balai dans le moteur. La durée de vie du moteur pas à pas dépend donc simplement de la durée de vie du roulement.

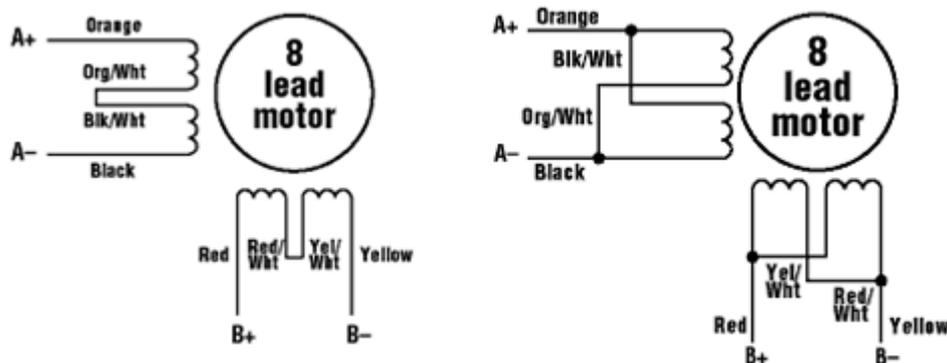
-La réponse des moteurs pas à pas à des impulsions d'entrée numériques fournit un contrôle à boucle ouverte, rendant le contrôle du moteur pas à pas plus simple et moins coûteux.

-Il est possible de réaliser une rotation synchrone à vitesse très réduite avec une charge qui est directement couplée à l'arbre.

-Une large gamme de vitesses de rotation peut être réalisée puisque la vitesse est proportionnelle à la fréquence des impulsions d'entrée.

- **Connexion en série ou connexion en parallèle**

Il y a deux manières de raccorder un moteur pas à pas : en série ou en parallèle. Une connexion en série fournit une inductance élevée et donc un plus grand couple à basse vitesse. Une connexion en parallèle réduira l'inductance, ce qui se traduira par une augmentation du couple à une vitesse plus rapide.



*Figure I.4 câblage série et parallèle [9]*

## I.7 Conclusion

Comme conclusion de ce chapitre, on a essayé de citer des notions général sur l'importance d'utilisation des technologie sans fil dans notre vie quotidienne que ce soit pour la domotique ou les milieux industriels ou d'agricultures, on a commencé par quelque définition et des notions de base sur le WIFI, GSM, IOT et les différent protocoles des communication I2C,SPI et UART . On a constaté que ces derniers sons disponibles généralement dans les zones urbaines ce qui est un inconvenient, pour résoudre ce problème dans les zonées isoles, on a présenté les technologies radiofréquence qui ne nécessite pas des infrastructures, ce ci représente une solution intéressante pour les projets installés dans des endroits hors couverture du GSM et WIFI.

## CHAPITRE II : Partie matérielle et logicielle

### II.1 Introduction

Avec l'évolution rapide des technologies de communication, la radiofréquence (RF) s'impose comme une colonne de base pour le contrôle à distance des systèmes et mécanismes. Cette technologie trouve des applications dans les domaines aussi variés que l'industrie, la domotique et les télécommunications facilitant la gestion à distance des équipements.[8]

Ce chapitre abordera les aspects théoriques liés aux composants de communication RF, ainsi que leurs fonctionnalités, caractéristiques techniques et applications dans le cadre du contrôle à distance en détaillant le microcontrôleur Arduino Nano, ses caractéristiques, ainsi que le logiciel Arduino IDE utilisé pour le programmer. Par la suite, nous aborderons le module Bluetooth HC-05, un dispositif clé pour assurer la communication sans fil avec d'autres appareils, en détaillant ses spécifications et ses applications. Finalement, la conception de circuits imprimés à l'aide du logiciel EAGLE et l'utilisation d'une imprimante 3D Ender-3 Pro pour réaliser des prototypes viendra compléter cette étude des outils nécessaires au développement de solutions innovantes.

### II.2 carte arduino nano

Arduino nano est une carte électronique basée sur un microcontrôleur ATmega328P de petite taille. Il contient des broches analogique et digitale pour lire les différents composants. [10]

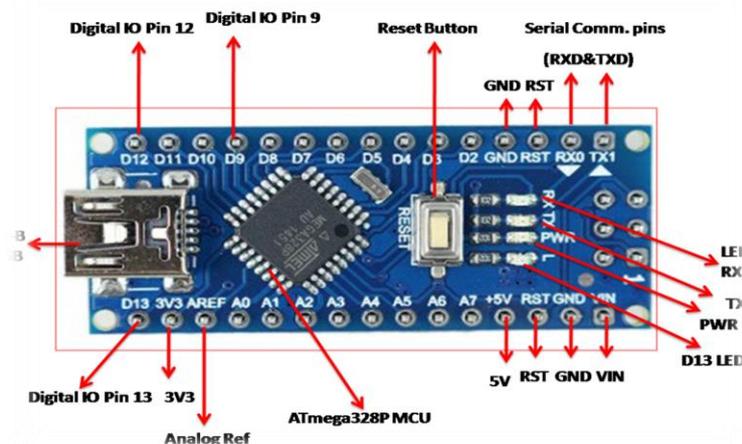


Figure II.1 : arduino nano [10]

Pour programmer le microcontrôleur de arduino nano nous utilisons le programme Arduino IDE v1.8.9 le langage de programmation, c'est C++ et C. [10]



Figure II.2 : icone de programme arduino

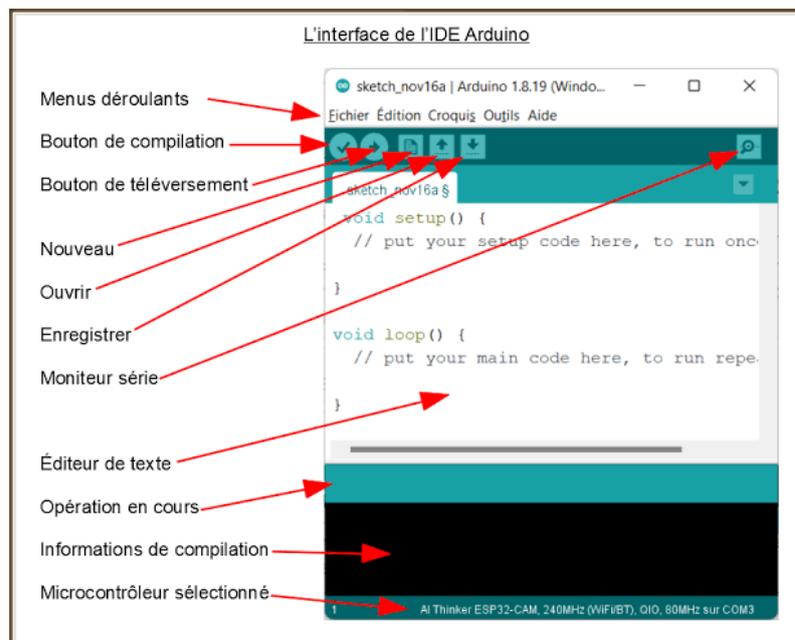


Figure II.3 : Main page de logiciel Arduino IDE

- **Les fonctions principales dans logiciel**

`void setup ()`, contenant toutes les commandes d'initialisation du programme. Par exemple, la définition des broches d'entrée ou de sortie, l'état et le contenu des variables au démarrage du programme, ou encore l'initialisation des modules connectés au microcontrôleur.

Cette fonction n'est exécutée qu'une seule fois, à la mise sous tension du microcontrôleur.

`void loop ()` qui, comme son nom l'indique, boucle indéfiniment tant que le microcontrôleur est sous tension. Cette boucle permet par exemple de programmer une mesure provenant d'un capteur connecté au microcontrôleur et de l'afficher sur un écran également connecté au microcontrôleur. Cette mesure sera prise et affichée en continu.

**Exemple** programme pour trace deux courbe de température et humidité sur serial monter par utilise capteur DHT22 (Capture de mesures la température et humidité) et arduino nano

```
#include <DHT.h> //la bibliothèque de capture DHT22

#define brocheDeBranchementDHT 6 // La ligne de données de notre DHT22 sera branchée sur la
pin D6 de notre Arduino

#define typeDeDHT DHT22 // Spécification du type de DHT utilisé (ici, ce sera un DHT22,
comme indiqué)

// Instanciation de la librairie DHT
DHT dht(brocheDeBranchementDHT, typeDeDHT);

// =====
// Initialisation programme
// =====

void setup () {
    // Initialisation de la liaison série (pour retourner les infos au traceur série de l'ordi)
    Serial.begin(9600);
    // Initialisation du DHT22;
    dht.begin();
    // Transmission de valeurs à 0 au traceur série, pour avoir un graphique partant de 0 sur l'axe vertical
    Serial.println("0,0");
    delay(2000);
}

// =====
// Boucle principale
// =====

void loop () {
    // Lecture des données
    float tauxHumidite = dht.readHumidity(); // Lecture du taux d'humidité (en %)
    float temperatureEnCelsius = dht.readTemperature(); // Lecture de la température, exprimée en
degrés Celsius
    // Vérification des données
    if (isnan(tauxHumidite) || isnan(temperatureEnCelsius)) {
        delay(2000);
    }
}
```

```

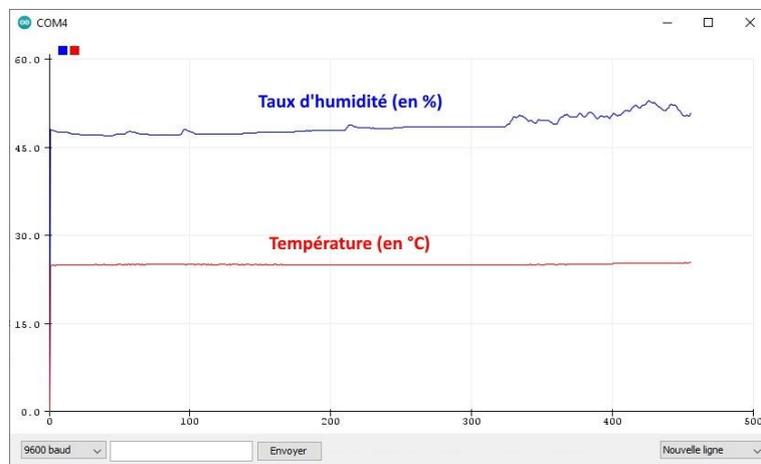
return; // Si aucune valeur n'a été reçue par l'Arduino, on attend 2 secondes, puis on redémarre
la fonction loop ()

}

// Transmission des valeurs
Serial.print(tauxHumidite);
Serial.print(",");
Serial.print(temperatureEnCelsius);
Serial.println();

// Temporisation de 2 secondes, avant nouvelle mesure (pour respect des directives du fabricant)
delay(2000);
}

```



**Figure II.4** les courbe de température et humidité sure serial monter

### II.3 Modèles de communication radio fréquences

Les modèles de communication par radiofréquence tels que le nRF24L01 sont largement utilisés pour des communications sans fil à courte portée. Bien que dans notre travail, nous utilisons spécifiquement le nRF24L01. [12]

- **nRF24L01+PA**

Le nRF24L01 est un élément essentiel de notre projet, permettant une communication sans fil efficace et fiable. Grâce à sa capacité à opérer sur la bande de fréquence de 2,4 GHz, il assure une transmission de données rapide sur de longues distances.

- **Définition**

Le nRF24L01 est un dispositif radio émetteur-récepteur à faible consommation fonctionne sur la de 2,4 GHz, il est utilisé pour les communications sans fil, de long distance

allant jusqu'à 100 mètres avec une antenne externe, il supporte le protocole SPI pour la transmission. [12]



*Figure II.5 : le module nRF24L0+PA*

- **Principe de Fonctionnement**

Nrf24l01, c'est un composant qui est basé sur la technologie radiofréquence entre deux périphériques en utilisant le mode transmission et réception. Ce mode permet l'activation et la préparation des données par microcontrôleur vers un autre périphérique. Avant cette opération, le nrf24L01 doit être configuré par les paramètres de lui tels que l'adresse de réception. Après la configuration de cette puce, il envoie les données sur un canal radiofréquence appropriée en utilisant les ondes, les émettent au destinataire sans oublier la surveillance des erreurs.

Le mode réception permet d'écouter l'activation des données sur le canal configure lors de détection des données sur lui, il récupère et il décode ces derniers après la réception des données, le microcontrôleur peut les valider, les traiter et prendre les actions appropriées en fonction de leur contenu, et aussi gère les retransmissions nécessaires pour assurer l'intégrité des données reçues. [5]

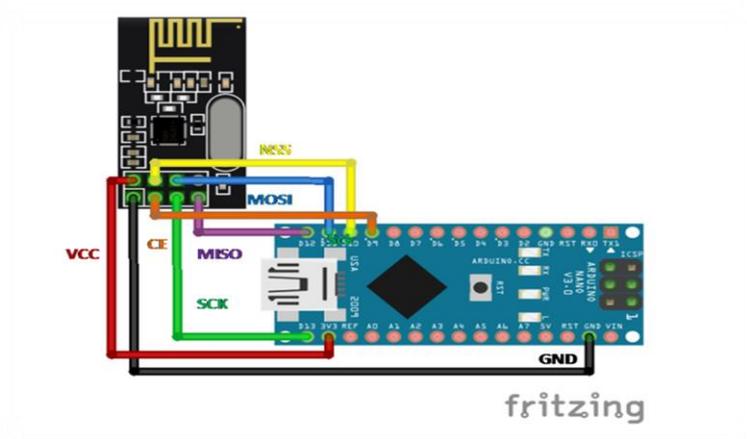


Figure II.6 : le nrf24L01 avec arduino nano

- **Caractéristiques du module nRF24L01**

Le NRF24L01 est un module de communication sans fil qui offre une portée jusqu'à 100 mètres. Il fonctionne avec une tension comprise entre 1,9 V et 3,6 V avec une consommation courant 12,3 mA en mode émission et de 14,9 mA en mode réception. Le module utilise une fréquence de 2,4 GHz et sa puissance de transmission est ajustable à +20 dBm, ainsi que la sensibilité de son récepteur est de -92 dBm. Le module propose 125 canaux pour la communication et utilise l'interface SPI (Serial Périphérie Interface). Le module peut fonctionner dans une plage de températures allant de -40°C à +85°C. Ses dimensions sont de 46 mm de longueur, 26 mm de largeur et 10 mm d'épaisseur. [6]

- **RF-NANO**

Le RF-NANO est une solution adaptée pour notre projet nécessitant une communication sans fil, particulièrement appréciée pour sa simplicité d'utilisation.

- **Définition RF-NANO**

RF est un module électronique sans fil compact qui permet la transmission et la réception de données. Il intègre un transceiver nRF24L01 avec un microcontrôleur Arduino Nano, dont le processeur est un ATmega328P et la mémoire est de 32 Ko. [14]



Figure II.7 : le module RF-NANO [3]

- **Fonctionnement de rf-nano**

Rf-nano fonctionne en organisant la communication entre un microcontrôleur et Arduino nano, avec le protocole généralement à base de bibliothèque spécifique SPI lors de l'envoi des données.

Le microcontrôleur transmet des informations rf-nano, un paquet de données spécifique à une adresse définie de la part de la réception. Le Rf reçoit les données du Rf émetteur, après le décodage, il traduit les informations données dans le programme. [10]



Figure II.8 : la communication entre deux rf nano

- **Transmission et Réception de Données RF**

La communication entre un module RF, comme le NRF24L01, et un Arduino Nano se déroule en plusieurs étapes intégrées. D'abord, le module RF est connecté à l'Arduino Nano via les broches CE, CSN, et les lignes SPI pour la communication. Une fois le module configuré avec la bibliothèque appropriée, les paramètres de transmission, tels que le canal, la taille des

paquets, et les adresses, sont définis. Lors de la transmission, l'Arduino prépare les données (comme les valeurs des capteurs) et les envoie via le module RF en utilisant la fonction `radio.write()`. Le module émetteur transmet les données sous forme de signal radiofréquence. Le récepteur RF capte ce signal, Les données reçues sont ensuite traitées par l'Arduino pour exécuter des actions spécifiques, comme afficher des informations ou contrôler des dispositifs. Ce processus permet une communication sans fil efficace entre les deux modules, en facilitant le transfert d'informations dans divers projets électroniques.[15]

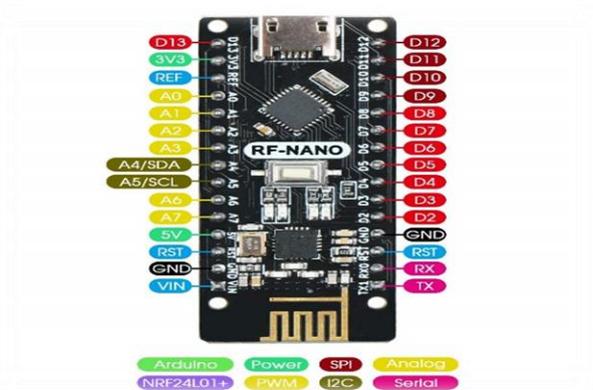


Figure II.9: le module Rf nano.[16]

- **Interface SPI pour la communication avec les microcontrôleurs**

La communication avec les microcontrôleurs pour l'élément RF utilise une interface SPI à haute vitesse pour une communication facile et rapide entre le module radio, idéal pour les applications sans fil, qui synchronise une liaison série, implique quatre lignes de transmission : mosi, miso, sck, cs.

- MOSI : utilisée pour la transmission de données du microcontrôleur vers le périphérique.
- MISO : utilisée pour la transmission de données du périphérique vers le microcontrôleur.
- SCK : transmis un signal d'horloge.
- CS : règle en état bas pour activer SPI.[16]
- **Utilisation de la technologie radio fréquence RF\_nano**

L'utilisation de la technologie radiofréquence RF\_Nano permet une communication sans fil simple et efficace entre différents dispositifs électroniques. Elle facilite le contrôle à distance et la surveillance sans fil. De plus, elle offre une grande flexibilité de configuration, permettant d'ajuster la puissance de transmission ainsi que d'autres paramètres selon les besoins. [7]

- **LORA**

LoRa est une technologie de communication sans fil qui est essentielle dans notre projet. Connu pour sa portée étendue et sa faible consommation d'énergie, LoRa permet d'établir des connexions fiables dans des environnements difficiles.

- **Définition**

Ce module de transmission sans fil à spectre étalé Ra-02 de la série LoRa SX1278 est développé à partir de l'émetteur-récepteur sans fil SX1278 de SEMTECH. Son utilisation est basée sur la technologie LoRa avancée, avec une distance de communication de 10 000 mètres. Il possède une grande capacité de lutte contre le brouillage et lora pour objectif de stimulé la consommation d'air. Il est capable de protéger des milliers de personnes dans le quartier spécialement conçu pour la lecture des compteurs, les maisons intelligentes et les équipements d'alarme antivol.[16]



Figure II.10 : le module Lora sx1278 [10]

- **L'utilisation principale du module SX1278**

La communication à spectre étalé à longue portée. Il est capable de maîtriser la consommation électrique. Le SX1278 possède une grande sensibilité de -148 dBm, une puissance de sortie de +20 dBm, une transmission à longue distance et une grande fiabilité. Parallèlement, la technologie de modulation LoRa offre des bénéfices clairs en ce qui concerne

l'antiblocage et la sélection. Elle tient aussi compte la distance, les interruptions et la consommation d'énergie simultanément.[19]

- **Caractéristiques Techniques**

Le module présente une sensibilité pouvant atteindre -148 dBm. Sa puissance de sortie maximale est de +20 dBm offre ainsi une transmission à longue portée. Le débit binaire est programmable et il peut atteindre jusqu'à 300 kbps .Ce module prend en charge plusieurs modes de modulation, d'un moteur de paquets capable de supporter jusqu'à 256 octets avec un CRC équitabile pour assurer l'intégrité des données transmises. [15]

- **Fonctionnement de Lora**

Pour établir une communication entre deux modules SX1278 avec un Arduino, connectez les pins. Assurez-vous que les niveaux de tension sont compatibles pour éviter tout dommage et utilisent une bibliothèque. [20]

Pin Lora	Pin arduino
3,3V	3,3V
GND	GND
NSS	D10
D100	D12
SCK	D13
MISO	D12
MOSI	D11
RST	D9

**Tableau II.1** : tableau de connexion du modules SX1278. [13]

La communication entre deux modules LoRa repose sur une configuration commune des paramètres (fréquence, bande passante, facteur d'étalement, correction d'erreurs) pour assurer une transmission fiable et à longue distance avec une faible consommation d'énergie. Le microcontrôleur envoie les données à l'émetteur via SPI, où elles sont modulées en signaux radio et elles sont transmises. Si le récepteur est en mode écoute sur la même fréquence, il capte ces signaux, il démodule et il transmet les données au microcontrôleur pour un traitement.

Les broches DIO signalent les événements, comme la fin de la transmission ou la réception permet une gestion efficace. Ces modules alternent entre émission et réception offrent une communication bidirectionnelle sur de longues distances idéales pour des applications comme la télémétrie et les réseaux de capteurs.

En résumé, le module LoRa SX1278 RA-02 est un choix robuste et fiable pour des projets nécessitent une communication sans fil à longue distance, en combinant l'efficacité énergétique et la facilité d'intégration.[21]

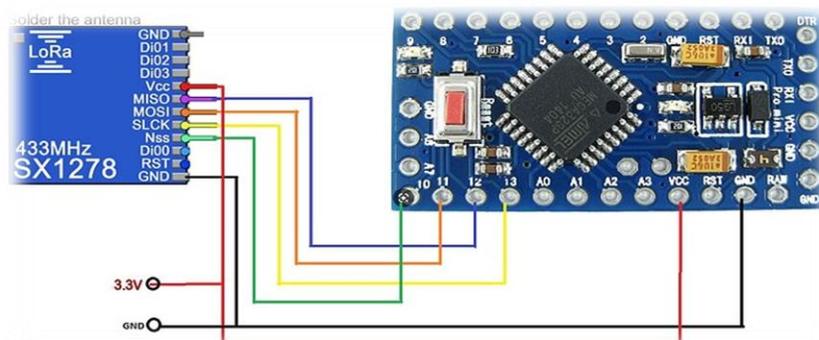


Figure II.11 : connexion modules SX1278 avec un Arduino nano. [10]

## II.4 Modèles de communication Bluetooth HC-05

Le module Bluetooth HC-05 est un dispositif de communication sans fil polyvalent et convivial conçu pour une intégration transparente avec les microcontrôleurs et les systèmes embarqués. Il prend en charge Bluetooth 2.0+EDR (Enhanced Data Rate) et il offre une transmission de données sans fil fiables et efficace. Le module est couramment utilisé dans les applications de contrôle et d'échange de données sans fil, notamment la domotique, la robotique et les réseaux de capteurs sans fil.

- **Caractéristiques principales**

Le module Bluetooth HC-05 présente par la figure II.10 a plusieurs Caractéristiques :

- Prends en charge Bluetooth 2.0+EDR.
- Facile à intégrer aux microcontrôleurs via l'interface UART.
- Prends en charge le mode maître et esclave.
- Antenne intégrée pour une communication sans fil fiable.
- Configurable via les commandes.



Figure II.12 : Le module Bluetooth HC-05.

- **Spécifications techniques**

Le module Bluetooth fonctionne avec la version 2.0+EDR et utilise la bande de fréquence ISM 2,4 GHz. Sa tension de fonctionnement se situe entre 3,3 V et 5 V, et il communique via le protocole UART, Avec un débit en bauds par défaut de 9600 bps. La portée de ce module peut atteindre jusqu'à 10 mètres sans obstacle En termes de consommation électrique, le module utilise 30 mA en mode actif et 8 mA en mode *veille*. Ses dimensions sont de 37 mm x 15 mm x 3 mm, enfin, il peut fonctionner dans une plage de températures allant de -20°C à +75°C.

- **Applications**

Contrôle sans fil des appareils, échange de données entre microcontrôleurs et Smartphones, Systèmes domotiques, Projets robotique, RC et Réseaux de capteurs sans fil. Prototypage et projets pédagogiques.

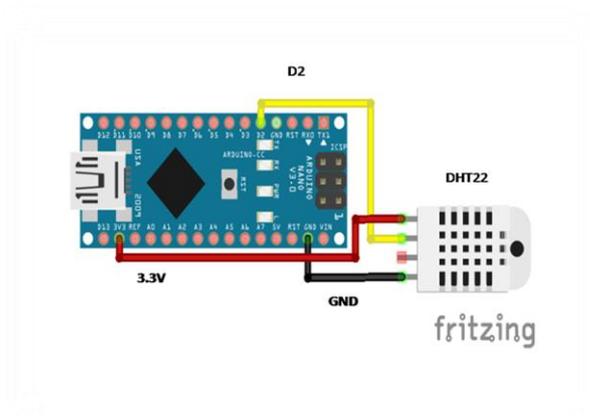
- **Utilisations**

Pour utiliser le Bluetooth avec le module HC-05, commencez par le connecteur à votre microcontrôleur ou carte de développement en utilisant l'interface UART, en reliant les broches TX, RX, VCC et GND. Alimentez ensuite le module avec une tension comprise entre 3,3 V et 5 V. Utilisez les commandes AT pour configurer les paramètres du module, tels que le débit en bauds, le mode (maître ou esclave) et les détails de couplage. Une fois configuré, associez le module HC-05 à un autre appareil compatible Bluetooth, comme un Smartphone ou un PC, afin d'établir une connexion sans fil. Vous pourrez alors échanger des données entre les appareils couplés via l'interface UART.

## II.5 Capteur de température et l'humidité

Le capteur DHT22 (AM2302) est un dispositif électronique utilisé pour mesurer la température et l'humidité ambiante. Il est constitué de lui-même, d'une sonde de température permettant de fournir des lectures précises des conditions environnementales. Le DHT22 est souvent utilisé dans des projets de surveillance climatique ou de domotique. Il fonctionne en

fournissant des données numériques via une seule broche de communication, ce qui simplifie son intégration avec des microcontrôleurs comme l'Arduino.[21]



**Figure II.13:** arduino nano avec capteur de température et l’humidité.

• **Fonctionnalité et application :**

- Haute précision
- Type capacitif
- Mesure de l’humidité relative et de température
- Signal numérique calibre
- Fiable de consommation d’énergie
- stabilité exceptionnelle à long terme

Le terme de communication de capture DHT22

Données 16 bits de données RH +16 bits de données T+8 bits de somme de contrôle

**Exemple :** Le MUC a reçu des données de 40 bits de l’AM2302 comme

0000 0010 1000 1100    0000 0001 0101 1111    1110 1110

Données RH 16 bit      Données T 16 bit      somme de control

Ici, nous convertissons les données RH 16 bits du système binaire au système décimal,

0000 0010 1000 1100      652

Système binaire              Système décimal

RH=652/10=65,2%

Ici, nous convertissons les données T 16 bits du système binaire au système décimal,

0000 0001 0101 1111      351

Système binaire              Système décimal

$$T=351/10=35,1^{\circ}\text{C}$$

## II.6 Circuit imprimé

Le circuit imprimé (PCB) est un élément nécessaire dans notre projet, car il permet de connecter et d'intégrer efficacement tous les composants électroniques. En utilisant un PCB, nous assurons une conception propre et organisée, facilitant le montage et la maintenance des dispositifs.

### II.6.1 Définition

Les circuits imprimés (PCB) sont des composants essentiels dans la conception, la fabrication des produits électroniques. Ils permettent de connecter, supporter les différents composants électroniques d'un dispositif. Pour concevoir ces circuits imprimés, il existe une variété des logiciels par la conception disponible. Ils sont des plaques isolantes sur lesquelles sont gravées ces pistes conductrices en cuivre. Ils sont utilisés pour connecter les composants électroniques et assurer la transmission des signaux électriques.

Les circuits imprimés peuvent être simples, avec une seule couche de cuivre, ou plus complexes, avec plusieurs couches superposées pour une meilleure densité de composants. [23]

Il existe plusieurs principaux types de cartes de circuits imprimés (PCB), à savoir :

- **PCB simple face**

Le PCB, simple face à la forme la plus basique des circuits imprimés. Il est constitué d'une seule couche de cuivre sur une face de la plaque isolante. Ce type de circuit est couramment utilisé dans des applications simples et à faible coût.

- **PCB double face**

Un PCB double, face comporte deux couches de cuivre, une de chaque côté de la plaque isolante. Cela permet de connecter des composants sur les deux faces. Ce type de circuit offre également plus d'espace pour la disposition et l'agencement des pistes conductrices.

- **PCB multicouches**

Un PCB multicouche contient plus de deux couches, séparées par des couches isolantes. Ce type de circuit imprimé offre une plus grande flexibilité de conception et permet d'atteindre une densité de conducteurs plus élevée. Il est généralement utilisé dans des applications nécessitent des performances élevées et une plus grande complexité.

### II.6.2 programme Eagle

Le programme Eagle joue un rôle essentiel dans notre projet. Il offre une interface accessible et des designs de circuits imprimés parmi ses caractéristiques clés.

- **Définition**

Le programme Eagle est un logiciel de conception électronique assistée par ordinateur (CAO) largement utilisé dans l'industrie électronique et par les amateurs. Il permet de créer des schémas électroniques, de concevoir des circuits imprimés (PCB) et de générer des fichiers de fabrication.



Figure II.14 : icône d'EAGLE.

- **Principaux outils**

Le dessin ci-après présente les outils utiles pour débiter la réalisation d'un schéma électronique.

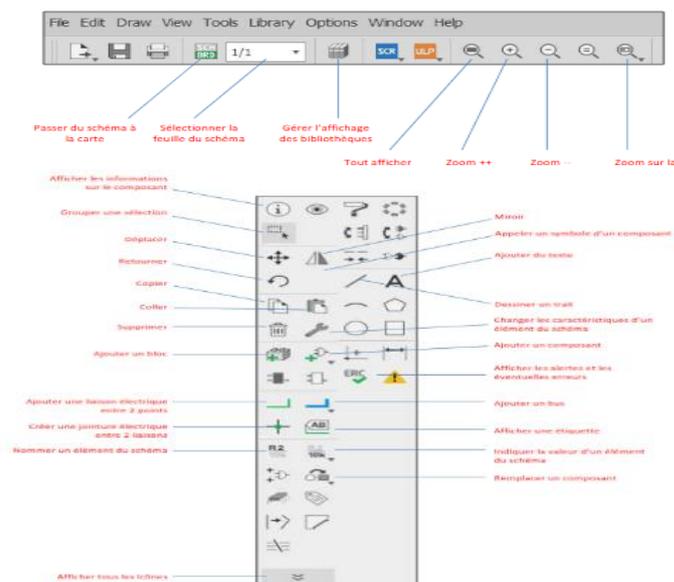


Figure II.15 : les outils de logiciel EAGLE.

Les fichiers générés par « Eagle » comportent les extensions :

- «. SCH » pour l'édition des schémas.
- «. bord » pour l'édition des circuits imprimés.
- «. lbr » pour l'édition des bibliothèques de composants.

### **II.6.3 Réalisation pratique du circuit imprimé**

Pour fabriquer un circuit imprimé, voici les étapes principales à suivre :

**L'insolation :** Le typon, c'est le papier-calque qui imprime le dessin des pistes réalisé sur ordinateur, il est plaqué (sous vide) sur la carte et celle-ci est soumise à des rayonnements ultra onde à l'aide d'une insole pendra 50 à 250 secondes. La révélation de carte est plongée dans un révélateur positif (bain d'hydroxyde de sodium <<NaOH>>), quelques secondes suffisent pour dissoudre la résine exposée au U.V. et faire apparaître le cuivre indésirable (hors-piste et pastilles).

**La gravure :** La carte est introduite dans une graveuse au perchlorate de fer. Il attaque le cuivre visible (hors-piste et pastilles), cette phase fait apparaître l'époux.

**L'élimination :** La carte est à nouveau plongée dans un bain d'hydroxyde de sodium, cette fois fortement dosé. Cette phase élimine la résine restante sur les pistes et pastilles de cuivre.

**Le perçage**[23]

## **II.7 L'impression 3D**

L'impression 3D est une technologie innovante qui joue un rôle nécessaire dans notre projet. Elle permet de créer des prototypes et des pièces sur mesure avec une grande précision et rapidité.

### **II.7.1 Définition**

L'impression 3D est un procédé de fabrication couche par couche, aussi originellement appelée fabrication additive. Ce n'est pas une technologie qui fonctionne d'une seule manière. Si les techniques d'impression sont différentes sur la forme, le principe reste toujours le même. Il consiste à superposer des couches de matières avec une imprimante 3D selon les coordonnées transmises par un fichier 3D. On utilise des matériaux comme : le plastique, le métal. [22]

### II.7.2 Imprimante 3D Ender-3 pro

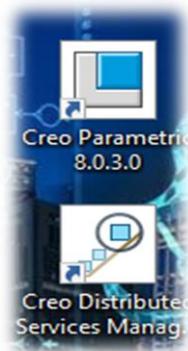
Imprimante 3D est une version améliorée de l'Ender 3. Elle est stable, facile et confortable à utiliser. Elle est parfaite pour des impressions 3D de qualité professionnelle qui vous offre un volume d'impression conséquent. Une vitesse d'impression maximale de 180 mm/s et une compatibilité étendue de filament, cette imprimante 3D sera idéale pour répondre à vos besoins. [25]



Figure II.16 : Imprimante 3D Ender-3 pro [21]

### II.7.3 Etapes de l'impression 3D

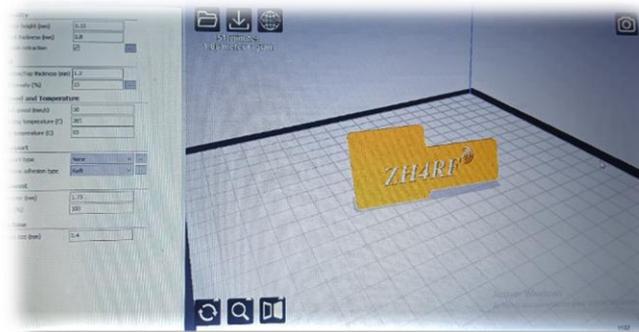
Pour préparer l'impression 3D, commencez par créer des modèles 3D à l'aide de Creo Parametric v8.0.3.0, un logiciel de conception pour les modèles 3D et 2D. Une fois, votre modèle terminé génère un fichier STL, qui sera utilisé pour créer le fichier G-code dans Cura. Ensuite, ouvrez le fichier 3D dans un logiciel de slicing (slicer) dédié à l'impression 3D. Dans ce logiciel, sélectionnez les paramètres d'impression appropriés, tels que la hauteur des couches. Enfin, exportez le fichier G-code, qui est prêt à être utilisé pour l'impression 3D.



**Figure II.17** : main page de logiciel et icone de CreoParametric

### II.7.3.1 Logiciel utilisé

Dans cette section, il existe différents programmes d'animation depuis le début. Même les fabricants d'imprimantes 3D ont développé leur propre plastifiante. L'un des premiers à être utilisé d'une manière générale est répétée-Host, un logiciel relativement simple et compatible avec Windows, Mac et Linux. En 2015, Ultimaker lance Cura 2.0, logiciel de laminage gratuit très simple à utiliser. En très peu de temps, une grande partie de la communauté de l'impression 3D utilise Cura3D, devenant ainsi l'un des plus importants. Enfin, nous avons le Simplify3D, un logiciel de paiement contribue à l'époque d'une infinité des nouveaux paramètres de configuration par l'impression 3D. [25]

**Figure II.18** : main page de logiciel et icone d'Ulimaker CURA

### II.7.3.2 Création d'un fichier g-code

GCODE, c'est un programme qui se compose d'un ensemble d'instructions alphanumériques, il est utilisé pour décrire l'objet de fabrication en les envoyant à notre imprimante (déplacements, vitesse, hauteur de couche ...) avant de réaliser une impression, vous avez besoin d'un fichier G-code, qui contient toutes les informations relatives au modèle à imprimer ainsi que des données spécifiques au modèle d'imprimante que vous utilisez. Vous créez le fichier nécessaire en utilisant un fichier modèle basique au format STL.[27]

3 .Préparation de la machine (filaments, réglages du plateau chauffant).

4. Lancement de l'impression 3D. La figure représente la main, la page d'imprimée, le marker affiche Ender-3 pro, température de busas et plateau de imprime le temps et pourcentage d'imprime et les coordonnés de la tête d'impressions sur les axes x,y,z.



Figure II.19 : main page de imprimant

5. Finitions de l'objet imprimé.

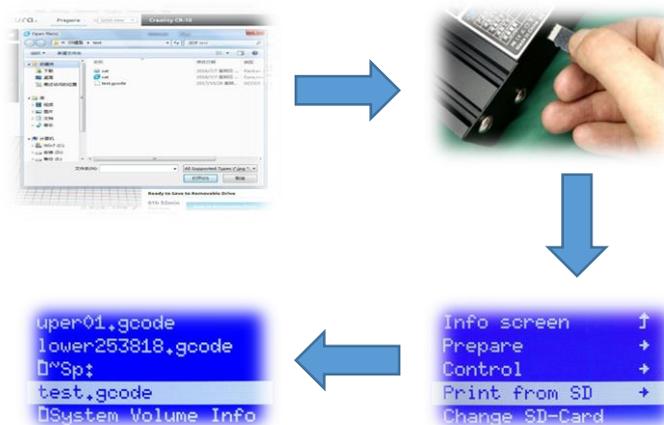


Figure II.20 : envoie le fiche g-code vers SD Carte est choisir dans imprimant [22]

## II.8 HMI CONTROL PANEL

HMI Control Panel est une application qui vous permet d'interagir avec des microcontrôleurs (MCU) compatibles à l'aide de votre appareil Android en utilisant une connexion sans fil telle que Bluetooth ou Wifi. Il est possible de personnaliser votre propre

Panneau d'interface utilise sans avoir besoin d'un ordinateur. Il y a seize objets (widgets) disponibles, dont dix sont accessibles dès le début, les six autres nécessitent l'achat d'une licence (abonnement en ligne).



Figure II.21: HMI Control Panel

### II.8.1 HMI

L'acronyme "HMI" signifie "Humann Machine Interface", qui est un terme spécifique aux systèmes de contrôle, processus, fabrication. Il est une interface entre un utilisateur et une machine, qui fournit une représentation visuelle du statut d'un système de contrôle avec des données d'acquisition en temps réel.

- **Fonctionnalité de la connexion Bluetooth dans l'application "HMI Control Panel "**

Pour établir une connexion Bluetooth dans l'application "HMI Control Panel" en suivant les étapes suivantes :

1. Pour mettre en place la connexion Bluetooth, il est nécessaire de procéder à l'initialisation de l'application, configurer les paramètres en question.
2. Évaluation des dispositifs : l'application évalue les dispositifs Bluetooth compatibles dans votre environnement.
3. Connexion : après avoir choisi l'appareil Bluetooth que vous voulez utiliser, l'application crée une connexion avec celui-ci.
4. Échange des informations : pendant l'utilisation de l'application, les informations sont transmises entre votre appareil Android et le microcontrôleur grâce à la connexion Bluetooth.
5. Gestion des données : l'application offre la possibilité de gérer les informations transmises,

telles que les signaux de contrôle, les données de mesure.

6. Préparation aux erreurs : l'application prend en charge les problèmes de connexion et les interruptions afin de garantir une connexion stable et fiable.

Il est nécessaire de suivre les étapes suivantes pour utiliser la connexion Bluetooth dans L'application :

1. Lancez votre appareil Android et ouvrez l'application "HMI Control Panel".
2. Sélectionnez le bouton "Connexion" afin d'activer la connexion Bluetooth.

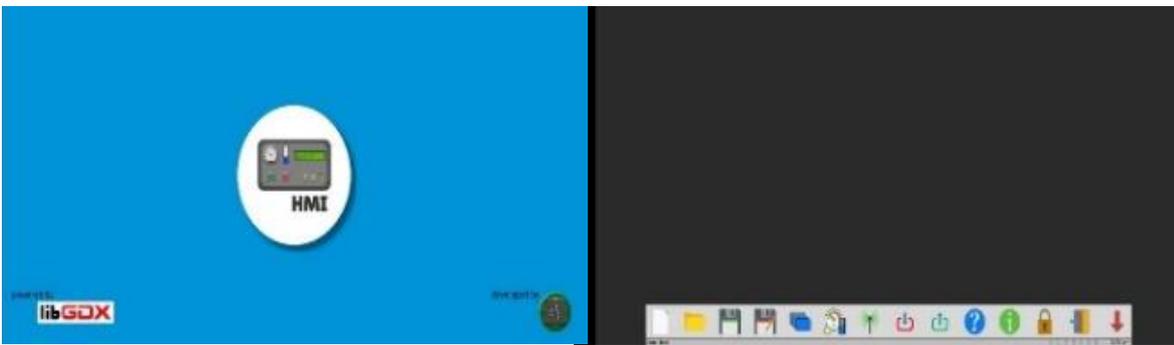


Figure II.22 : l'initialisation de l'application et de configurer les paramètres

- Choisissez l'appareil Bluetooth que vous désirez employer pour établir la connexion.



Figure II.23 : le bouton d'activer la connexion Bluetooth

3. Employez l'application afin de gérer les informations et les signaux de surveillance. Il est important de souligner que la connexion Bluetooth peut subir des influences telles que la

distance entre l'appareil Android et le microcontrôleur, la qualité de la connexion et les perturbations électroniques.

- **Principales fonctionnalités de l'application HMI Control Panel**

Grâce à l'application, il est possible de concevoir des interfaces utilisateur personnalisées comprenant divers éléments graphiques tels que les boutons, les curseurs, les commutateurs, les jauges et les graphiques.

L'application a la capacité de communiquer avec des appareils électroniques grâce à la technologie Bluetooth. Cela vous permet de contrôler les appareils à distance à l'aide de l'interface utilisateur que vous avez créée.

L'application vous permet d'ajouter des scripts pour automatiser des tâches et contrôler le comportement des éléments de l'interface utilisateur.

L'application offre la possibilité de surveiller les données provenant des capteurs et d'autres dispositifs connectés.

- **Différentes utilisations de l'application HMI Control Panel**

La domotique permet de gérer l'éclairage, les thermostats, les serrures et d'autres appareils domestiques connectés. Gérer des robots et des drones en utilisant une interface utilisateur confortable.

La surveillance et la supervision de machines et de processus industriels sont assurées par l'industrie.

Créer des interfaces interactives pour des projets scientifiques et d'ingénierie dans le domaine de l'éducation.

- **Avantages de l'utilisation de l'application HMI Control Panel**

L'utilisation d'une application HMI (Human Machine Interface) Control Panel présente plusieurs avantages, notamment pour le contrôle à distance de systèmes industriels, agricoles ou domestiques. Voici quelques avantages clés :

- **Facile à manipuler**

La conception de l'application vise à faciliter son utilisation, même pour les utilisateurs débutants en programmation.

- **Polyvalent**

L'application offre la possibilité de gérer une variété d'appareils et de systèmes. Il est possible d'étendre l'application en utilisant des scripts et des plugins afin d'incorporer des fonctionnalités supplémentaires.

## II.9 Conclusion

Dans ce chapitre, on a essayé de définir les différents éléments nécessaires pour la réalisation de notre accessoire de communication que ce soit les éléments matériels ou les éléments logiciels, dans un premier temps, on a présenté le microcontrôleur utilisé pour notre système, ce microcontrôleur est un ATMEGA 228 implémenté dans une carte arduino. Dans un second temps, on a présenté les composants utilisés pour la communication sans fil, on a concentré notre étude sur le NRF24L01 et la technologie LORA. Pour le côté prototypage, on a montré l'utilisation du logiciel EAGLE pour la conception de la carte électronique et le mode d'utilisation de l'imprimante 3D ENDRE3 pro, ainsi que le logiciel de la conception du boîtier qui est le logiciel CURA. Finalement, on a présenté le logiciel HMI Control panel utilisé pour la conception de l'interface HMI.

---

## CHAPITRE III : Partie Pratique

---

### III.1 Introduction

Ce chapitre présente la réalisation d'un système électronique de commande à distance, basé sur Arduino qui intègre un smartphone comme interface de contrôle pour diverses applications. Le prototype est conçu pour le fonctionnement des distances entre 70 mètres et 10 kilomètres via la radiofréquence, qui a débuté par la création d'un circuit imprimé avec logiciel EAGLE, il est suivi de sa fabrication et intégration dans un boîtier conçu avec logiciel Creo. Les tests ont validé la fonctionnalité du prototype, y compris la commande des LED en modes TOR et PWM, ainsi que la collecte de données de température et d'humidité. Et commande un moteur de nettoyeur des panneaux solaires.

### III.2 Cahier de charge

La fabrication de deux prototypes pour la commande à distance des systèmes via l'envoi de commandes TOR pour contrôler, par exemple, des LED ou des relais, utilise également un signal analogique de type PWM pour la commande, comme la gestion de la luminosité d'une LED, la vitesse d'un moteur ou un variateur de vitesse. Les prototypes collectent également les données des capteurs intégrés au système que nous contrôlons, par exemple, les capteurs DHT22, DHT11 ou des capteurs de fin de course. Ils fonctionnent sur différentes distances variables (70 m, 10 km) et permettent la fabrication des circuits imprimés ainsi que la conception 3D des boîtiers, imprimés avec l'Ender-3 Pro.

#### III.2.1 Conception des circuits imprimés

Nous utilisons logiciel EAGLE pour dessiner le circuit schéma et bordons avec les outils que nous expliquons dans le deuxième chapitre.

Pour la première carte, nous utilisons le module de la communication Rf-nano, la figure suivante représente le schéma dans le logiciel EAGLE et le circuit imprimé :

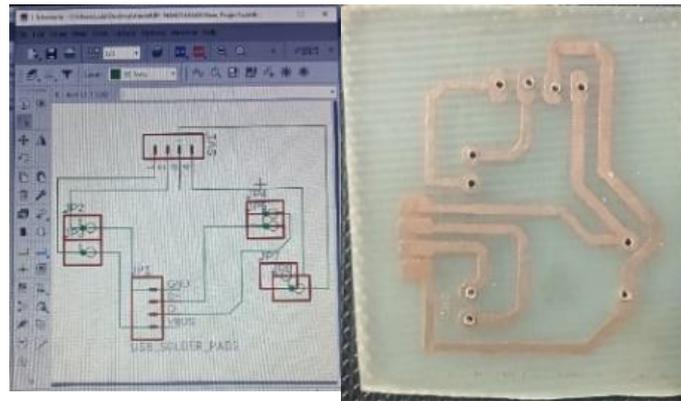


Figure III.1 : le schéma dans logiciel EAGLE et le circuit imprimé

Pour la deuxième carte, nous utilisons le module de communication nrf24l01, la figure suivante représente le schéma dans logiciel EAGLE et le circuit imprimé :

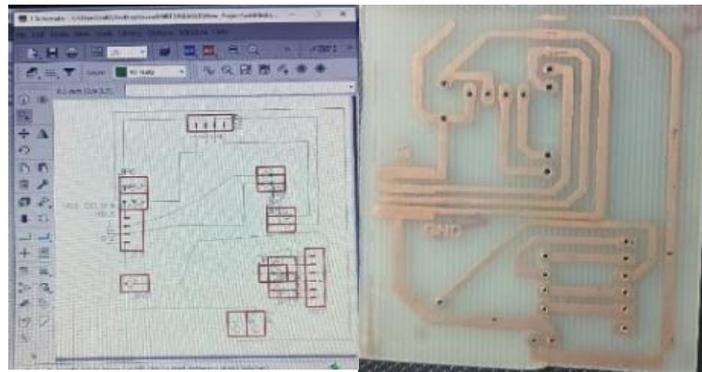


Figure III.2 : le schéma dans logiciel EAGLE et le circuit imprimé

Pour la troisième carte, nous utilisons le module de communication lora-1 SX1278, figure suivante représente le schéma dans logiciel EAGLE et le circuit imprimé :

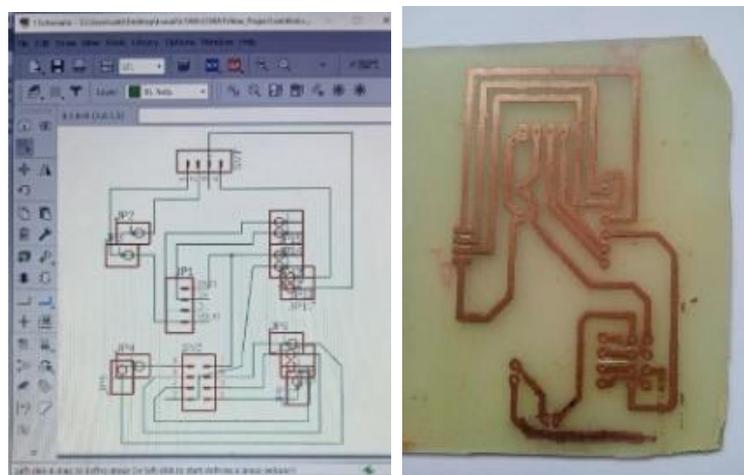


Figure III.3 : le schéma dans logiciel EAGLE et le circuit imprimé

### III.2.2 Conception d'une boîte

Nous utilisons le logiciel créé pour dessiner 3D de couverture et enregistrer le fichier à format (STL) pour imprimer avec imprimant 3D le figure suivant reprise le dessin 3D de fond couvrir.



Figure III.4 : dessin 3D de la couverture

### III.2.3 Imprime la boîte

Nous ouvrons le fichier STL dans le logiciel de découpage (slicer) Ultimaker et nous réglons les paramètres de la température de la buse (nozzel) et le plateau, la vitesse d'impression. Ensuite, nous le convertissons en fichier au format G-code et nous suivons les étapes d'impression qui nous explique dans le deuxième chapitre, la figure représente le résultat après on l'imprime.

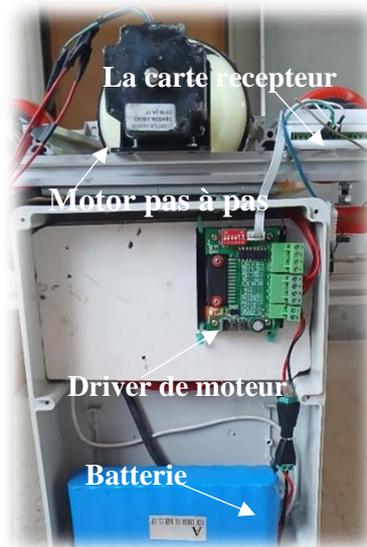


Figure III.5 : le premier prototype final

### III.3 Test le prototype

Nous faisons le petit test d'efficacité du premier prototype par commande direction, de moteur pas à pas 24HS34-3504D par drive ST330 et la carte récepteur, avec l'interface HMI sur Smartphone par une carte émetteur connectée au Smartphone. Nous commandons le nettoyeur des panneaux solaires à distance jusqu'à 70m, nous commandons la direction, le marché et l'arrêt de ce système est sans vitesse, nous plaçons le capteur DHT22 (capteur d'humidité et température), nous recevons les données sur l'interface, nous traçons la courbe de température les commandes en temps réel.

La figure III.6 suivantes représente la partie commande du système de nettoyeur des panneaux solaires.



**Figure III.6 :** le partie commande de system de nattier de pannes

La figure suivante représente le système de nettoyeur des panneaux solaires sur eux, nous commandons à distance avec l'interface HMI dans Smartphone le marché et l'arrêt de la vitesse, la direction de rotation et l'affichage de température et l'humidité sur interface HMI.



**Figure III.7 :** le système de panneaux solaire

La figure suivante représente l'interface HMI dans Smartphone avec le premier prototype connecté au Smartphone, il comptait deux boutons pour le marché et l'arrêt, l'affichage de LCD pour montrer les valeurs de température, humidité, tracer la courbe de température et slider pour la commande de la vitesse de moteur.



Figure III.8 : HMI interface avec la carte finale de premier prototype

### III.4 Conclusion

Le but de cette partie du travail est de réaliser un prototype de commande à distance marquant une solution significative dans l'évolution des systèmes de contrôle utilisant la technologie radiofréquence. L'intégration d'un smartphone comme interface (HMI) de contrôle pour les TORs, les entrées et les sorties analogiques a permis de tester et de valider les concepts de commande proposés sur une gamme étendue de distances, allant de 70 mètres à 16 kilomètres. La conception du circuit imprimé et réalisée à l'aide du logiciel EAGLE, l'utilisation d'une imprimante 3D nous a permis de concevoir un boîtier adapté à notre application. Les tests effectués confirment la fonctionnalité et la fiabilité du système dans des conditions réelles, en vérifiant le pilotage d'un système de nettoyage des panneaux solaires ainsi que l'acquisition de la température et de l'humidité.

---

## Conclusion Générale

---

À travers ce travail, nous avons d'abord exploré l'importance des technologies sans fil, telles que le Wi-Fi, le GSM et l'IoT, qui jouent un rôle dans les zones urbaines actuellement. Toutefois, ces technologies sont souvent absentes dans les zones isolées, nous avons proposé l'utilisation de la radiofréquence, une technologie ne nécessitant pas d'infrastructures complexes, offrant ainsi une solution viable pour des projets dans ces régions, notamment dans le cadre de la domotique, des environnements industriels et agricoles.

Ensuite, nous avons détaillé les composantes matérielles et logicielles nécessaires à la réalisation de notre accessoire de communication sans fil. Nous avons utilisé un microcontrôleur ATMEGA 328 intégré dans une carte Arduino, ainsi que les modules de communication NRF24L01 et LoRa, connus pour leurs performances sur de longues distances. La conception de la carte électronique a été effectuée avec le logiciel EAGLE, et le boîtier a été imprimé en 3D grâce à l'imprimante Ender 3 Pro et conçu avec le logiciel CURA, aussi l'interface homme-machine (HMI) a été réalisée à l'aide du logiciel HMI Control Panel.

Finalement, nous avons mis en œuvre un prototype de commande à distance permettant de contrôler efficacement des systèmes sur des distances allant de 70 mètres à 16 kilomètres. Ce système a été testé dans des conditions réelles, notamment sur un dispositif de nettoyage des panneaux solaires, et a prouvé sa capacité à acquérir des données de température et d'humidité. Les résultats obtenus confirment la robustesse et l'efficacité de notre solution, adaptée à des environnements où les technologies GSM et Wi-Fi sont absents, tout en répondant aux besoins de communication et de contrôle à distance.

Nous obtenons Label "Projet Innovant" grâce à la création de cette solution technique, permettant de commander à distance avec le protocole de communication et sur des distances variées, particulièrement dans de grands espaces isolés comme les zones industrielles et agricoles.

---

## V Bibliographies

---

- [1] R. Atta, M. Ghanbari, and L. F. IEEE, “A high payload data hiding scheme based on dual tree complex wavelet transform,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 226, p. 165786, 2021.
- [2] T. S. Rappaport, *Wireless communications: principles and practice*. Cambridge University Press, 2024.
- [3] “Qu’est-ce que le Wi-Fi ?,” 2024, [Online]. Available: <https://www.proofpoint.com/fr/threat-reference/wifi>
- [4] J. Eberspächer, H.-J. Vögel, C. Bettstetter, and C. Hartmann, *GSM-architecture, protocols and services*. John Wiley & Sons, 2008.
- [5] Y. Yang, L. Wu, G. Yin, L. Li, and H. Zhao, “A survey on security and privacy issues in Internet-of-Things,” *IEEE Internet things J.*, vol. 4, no. 5, pp. 1250–1258, 2017.
- [6] D. A. Gratton, *Bluetooth profiles: the definitive guide*. Prentice Hall Professional, 2003.
- [7] E. Huang, “No Title The application of radio frequency”, [Online]. Available: <https://chjremote.com/blog/the-application-of-radio-frequency-technology-in-industry/>
- [8] "Introduction aux liaisons séries filaires UARA,I2C,et SPI" , [Online]. Available: <https://passionelectronique.fr/liaisons-series-uart-i2c-spi/>
- [9] "Introduction ou moteur pas à pas",[Online]. Available: <https://omega.fr/Moteur-pas-a-pas.html>
- [10] D. Krstić, “RF Circuit Design — Theory and Applications,” *Microelectronics J.*, vol. 32, no. 3, p. 274, 2001, doi: 10.1016/s0026-2692(00)00141-5.
- [11] T. Pan, Y. Zhu, T. Pan, and Y. Zhu, “Getting started with Arduino,” *Des. Embed. Syst. with Arduino A Fundam. Technol. Makers*, pp. 3–16, 2018.
- [12] “No Title Notions de base sur les radiofréquences et les communications sans fil”, [Online]. Available: <https://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/radiofrquences-communications-sans-fil/>
- [13] “LE TRANSMETTEUR RADIO NRF24L01No Title,” *François Pecquery*, 2016, [Online]. Available: [cquery.wixsite.com/arduino-passion/le-transmetteur-radio-nrf24l01#:~:text=Le transmetteur radio nRF24L01 est,de Nordic nommé %22ShockBurst%22.](https://cquery.wixsite.com/arduino-passion/le-transmetteur-radio-nrf24l01#:~:text=Le%20transmetteur%20radio%20nRF24L01%20est,de%20Nordic%20nommé%22ShockBurst%22.)
- [14] “No Title Arduino RF-NANO intégré,” *Dzduino*, [Online]. Available: <https://www.dzduino.com/arduino-rf-nano-integre-au-module-sans-fil-nrf24l01>
- [15] L. Mohjazi, M. Dianati, G. K. Karagiannidis, S. Muhaidat, and M. Al-Qutayri, “RF-powered cognitive radio networks: Technical challenges and limitations,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 4, pp. 94–100, 2015.
- [16] “No Title DESCRIPTION RF”, [Online]. Available: <https://grobotronics.com/rf-nano->

- compatible-v3.0-nrf24l01.html?sl=en
- [17] I. Folgosa and P. S. Excell, “A Low Cost Wireless Interface Linking a Microcontroller to a Microcomputer Server,” *Ann. Emerg. Technol. Comput.*, vol. 4, no. 2, 2020.
- [18] M. C. Bor, *Towards the efficient use of LoRa for wireless sensor networks*. Lancaster University (United Kingdom), 2020.
- [19] D. Biderman *et al.*, “LoRA Learns Less and Forgets Less,” 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2405.09673>
- [20] “No Title lora 1278XL”, [Online]. Available: <https://diyusthad.com/2023/06/lora-module-sx1278-with-arduino.html>
- [21] J. P. S. Sundaram, W. Du, and Z. Zhao, “A survey on LoRa networking: Research problems, current solutions, and open issues,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 371–388, 2019.
- [22] “No Title DHT22 Technical”, [Online]. Available: <https://www.hackster.io/hardikrathod/create-gui-to-visualize-temp-and-humidity-for-arduino-85a7aa>
- [23] Victoria, “No Title Le circuit imprimé”, [Online]. Available: <https://compelectronic.fr/le-circuit-imprime/>
- [24] WordPress, “No Title Comment fabriquer ses circuits imprimés”, [Online]. Available: <https://www.zonetronek.com/comment-fabriquer-ses-circuits-imprimés/>
- [25] A. EDITIONS, “No Title Fabrication additive”, [Online]. Available: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-e67001/fabrication-additive-vocabulaire/fa173165/37953#AreasStoreProductsSummaryView>
- [26] “No Title UltiMaker Cura”, [Online]. Available: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura/>
- [27] “What Is an STL File?No Title,” 2024, [Online]. Available: <https://all3dp.com/1/stl-file-format-3d-printing/>