

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° :



DOMAINE : TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : INSTRUMENTATION

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par: Dahmani Achedjan

Saidani Amira

Intitulé

Conception d'un système de télécommunication
RF pour la réception des signaux de fuite

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. GUERMAT Noubiel	Université M'sila	Président
Mr. BAKHTI Elhadi	Université M'sila	Encadreur
Mr. BENTOUMI Miloud	Université M'sila	Co-Encadreur
Mr. SAADA KHELKHAL Fayçal	Université M'sila	Examineur

Année universitaire : 2019 /2020

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous tenons à remercier Dieu, le Compatissant, et Miséricordieux, de nous avoir donné l'opportunité de réaliser notre projet, de réaliser notre désir et d'atteindre nos objectifs.

*Nous ne pouvons pas réellement trouver les expressions élégantes que mérite notre encadreur **Dr.BAKHTI Elhadi** et Co- encadreur **Dr. BENTOUMI Miloud** Pour leur écoute, aide, sympathie et patience, avec leurs encouragements et conseils, ainsi que pour le temps qu'ils ont consacré à évaluer et critiquer ce travail et leur pleine présence tout au long de cette étude.*

Nos remerciements s'adressent à tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail.

*Et Nous remercions chaleureusement l'étudiant **Moussa Guenani** pour son soutien tout au long de ce travail.*

Notre profonde gratitude à tous les enseignants du Département d'Electronique en particulier dans notre spécialité INST. Avec un remerciement spécial aux étudiants du département d'Électroniques et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail

إهداء

احمد الله عز وجل على منه وعونه لإتمام هذا البحث.

إلى قدوتي الأولى, إلى من رفعت رأسي عاليا افتخارا به إلى الإنسان الذي امتلك الإنسانية بكل قوة أبي العزيز: جمال أدامه الله ذخرا لي.

إلى التي رأتني بقلبها قبل عينها, إلى شجرتي التي لا تذبل, إلى التي ارتحت كلما تذكرت ابتسامتها, نبع الحنان أُمي الحبيبة: زوليخة حفظها الله.

إلى سندي ومصدر قوتي, إلى الشمعة التي تنير لي الطريق أخي: عثمان أدام الله لي بقاءه.

إلى من لم أفرقهم عن أخي, إخوتي أولاد عمي: دحمان وأصيل.

إلى الجواهر المضيئة والدرر المصونة أخواتي: فاطمة, حنان وهديل.

إلى أخوات لم تلهن أُمي, إلى من معهم أسعد: عمتي سلوى, ندى وزوجة أخي زهرة.

إلى من قام بتلقيني العلم وغرس في نفسي حب المعرفة عمي: النوي حفظه الله. وإلى زوجته: مليكة التي كانت بمثابة أم لي.

إلى الكتاكيت الصغار: أشرف, أمين, وسيم وأريام بارك الله فيهم.

إلى جدي: الطاهر ورمضان أطال الله في عمريهما وإلى روعي جدي: رابح و دحمان رحمهما الله.


إلى جداتي: أم هاني وسعودة وجميلة أطال الله في أعمارهم.

إلى رفيقاتي دربي وصديقات عمري, إلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير: راوية, أحلام وفاتن.

إلى عماتي وأولادهم و خالاتي و أخوالي و أولادهم.

وأخيرا إلى كل من كان له فضلا في مسيرتي وساعدني ولو باليسر.

أشجان



إهداء

أهدي ثمرة جهدي و اجتهادي إلى النفس التي صنعت طموحي واليوم ترى لحظة كبري ونجاحي، إلى أعظم مخلوقة في هذا الوجود، إلى التي وهبتني الحياة وكانت سر وجودي وفرحتي، إلى من علمتني معنى الصبر وعدم اليأس " أمي حبيبتي الغالية " .

إلى روح أبي الطاهرة الذي انتقل إلى جوار ربه رحمه الله.

إلى أخواني جمال وإسماعيل وزوجته و ابنته الكتكوتة " أسينات " .

إلى أخواتي الغاليات وأولادهن " لبنى ، فاطمة ، سندس ، رشا نور الجنة ، سحر ، حنين ، سلام ،

كنوز ، بشير ، محمد الفاتح ، إسماعيل ، رفيق و أخيرا الكتكوت نوح " .

إلى رفيقاتي دربي صديقاتي اللاتي عشنا معا حلاوة مشوارنا الدراسي " عبير ، خولة ، أم هاني ، دنيا

و أمال " .

إلى كل هؤلاء أهدي خلاصة عملي و ثمرة جهدي المتواضع .

أميرة

Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Introduction générale	1
Chapitre I: Généralité sur la communication sans fil	
I.1.Introduction	4
I.2.Histoire des communications sans fil	4
I.3. Définition de communication sans fil	5
I.4.Les types de communication sans fil	5
I.4.1. Communication par satellite	6
I.4.2. Communication infrarouge	7
I.4.3. Wifi	7
I.4.4.Cellulaire	8
I.4.5.Bluetooth	8
I.5. Les avantages de la communication sans fil	9
I.5.1.Coût	9
I.5.2.Mobilité	9
I.5.3.Facilité d'installation	9
I.5.4.Fiabilité	9
I.5.5.Reprise après sinistre	10
I.6.Les inconvénients	10
I.7.Applications de la technologie sans fil	10
I.8.Technologie 802.11(e)Wifi	11
I.8.1. Architecture	12
I.8.2. Mécanismes d'accès	12
I.8.3. Mécanismes de qualité de service IEEE 802.11 e	13
I.9.Les principales normes Wifi	13

Table des matières

I.10.Défis techniques des communications sans fil	16
I.10.1.Propagation par trajet multiples	16
I.10.2.Limitations du spectre	16
I.11.Technologie de transmission	17
I.11.1.FHSS	17
I.11.2.DSSS	17
I.11.3.OFDM	17
I.12.Conclusion	18
Chapitre II: La carte Arduino et le module NRF24L01	
II.1.Introduction	20
II.2.Historique	20
II.3.Définition de module Arduino	21
II.4.Les différents modèles d'Arduino	22
II.5.Avantages de la carte Arduino	23
II.6.Présentation de la carte Arduino Uno	23
II.6.1. Alimentation	24
II.6.2. Entrées et sorties numériques	24
II.7.1. Le Microcontrôleur ATmega328	26
II.7.2. Les ports de communications	27
II.8.Partie logicielle	28
II.8.1.Définition d'IDE (Integrated Development Environment)	28
II.8.2.Interface IDE Arduino	29
II.8.3.Envoie du programme	29
II.8.4. (Télé-verser) un programme dans la carte	30
II.9. Structure d'un programme ARDUINO	31
II.9.1.En-tête déclarative (facultatif)	31
II.9.2.Fonction "Setup"	31
II.9.3. Fonction " Loop"	31

Table des matières

II.10.Définition de module NRF24L01	32
II.10.1.Arduino Uno et NRF24L01	33
II.11.Conclusion	34
Chapitre III: Émission et réception via Arduino	
III.1.Introduction	36
III.2.Applications et services en ligne	36
III.3. Matériels utilisé	39
III.4.Principe de fonctionnement	39
III.5.Conclusion	44
Chapitre IV: Partie pratique et analyse des résultats	
IV.1. Introduction	46
IV.2. Système d'acquisition	46
IV.3. Chaine d'acquisition	47
IV.3.1. Transmetteur de pression	48
IV.3.2. La boucle de courant 4-20 mA	50
IV.4.Circuit hydraulique	52
IV.4.1. Conduite	52
IV.4.2. Accessoires	53
IV.4.3. Fuite d'eau	53
IV.4.4. Electrovanne	53
IV.4.5. Pompe	54
IV.4.6. Réservoir	55
IV.5. Circuit électrique réalisé	55
IV.6. Résultats et discussions	57
IV.7. Conclusion	60
Conclusion générale	62
Bibliographie	65

Liste des tableaux

Tableau I.1 : les couches basses du modèle OSI et ses normes.	11
Tableau I.2 : Les différentes révisions de la norme 802.11.	14
Tableau II.1 : présentation de la carte Arduino UNO.	23
Tableau IV.1 : Spécifications techniques du transmetteur de pression	48

Liste des figures

Figure I.1 : différentes technologies sans fil	6
Figure I.2 : Communication Satellite	7
Figure I.3 : Communication infrarouge	7
Figure I.4 : Communication Wifi	8
Figure I.5 : Communication cellulaire	8
Figure I.6 : Structure du standard originel 802.11	12
Figure I.7 : La relation entre TX et RX	16
Figure II.1 : Carte Arduino Uno	22
Figure II.2 : Présentation de la carte Arduino Uno	24
Figure II.3 : Microcontrôleur ATmega328	27
Figure II.4 : Constitutions de la carte Arduino UNO	28
Figure II.5 : Interface IDE Arduino	29
Figure II.6 : Paramétrage de la carte	30
Figure II.7 : Arduino et Pc	31
Figure II.8 : Module NRF24L01	32
Figure II.9 : Canaux de module NRF24L01	32
Figure II.10 : Présentation Module NRF24L01	33
Figure II.11 : Arduino UNO et Module NRF24L01	33
Figure III.1 : Arduino IDE.	36
Figure III.2 : Montage de la carte Arduino avec LED.	37
Figure III.3 : Code de LED	38
Figure III.4 : Arduino avec leurs modules NRF24L01.	40
Figure III.5 : Code émetteur.	41
Figure III.6 : Code de récepteur.	43
Figure IV.1 : Schéma synoptique de la chaîne d'acquisition	47

Liste des figures

Figure IV.2 : Capteur de pression	48
Figure IV.3 : Dimensions du capteur de pression	48
Figure IV.4 : Le câblage de la boucle	50
Figure IV.5 : Schéma fonctionnel de la boucle 4-20mA	51
Figure IV.6 : Câblage de la boucle 4-20 mA expérimentale	51
Figure IV.7 : Circuit hydraulique et électrique global	52
Figure IV.8 : Le canal prototype	52
Figure IV.9 : Installation des transducteurs de part et d'autre de l'électrovanne	53
Figure IV.10 : Electrovanne	54
Figure IV.11 : Bouton poussoir	54
Figure IV.12 : Pompe	55
Figure IV.13 : Réservoir	55
Figure IV.14 : Circuit électrique du système d'acquisition réalisé.	56
Figure IV.15 : Blocs LabVIEW	57
Figure IV.16 : Test avec deux signaux sinusoïdaux	58
Figure IV.17 : Test avec des signaux sinusoïdaux	58
Figure IV.18 : Signaux des transmetteurs visualisés par oscilloscope	59
Figure IV.19 : Signaux transmis par les cartes Arduinos avec une pression P_1	59
Figure IV.20 : Signaux transmis par les cartes Arduinos avec une pression P_2	60



Introduction

générale

Introduction générale

La majorité des ordinateurs et la quasi-totalité des appareils « mobiles » (tels que les téléphones portables) disposent de moyens de connexion à un ou plusieurs types de réseaux sans fil comme le Wifi, le Bluetooth ou l'infrarouge. Ainsi, il est très facile de créer en quelques minutes un réseau « sans fil » permettant à tous ces appareils de communiquer. Ces systèmes transmettaient des informations sur des distances en visibilité directe (étendues plus tard par des télescopes) en utilisant des signaux de fumée, des signaux de torche, des miroirs clignotants, des fusées éclairantes ou des drapeaux de sémaphore. Un ensemble élaboré de combinaisons de signaux a été développé pour transmettre des messages complexes avec ces signaux rudimentaires. Des stations d'observation ont été construites au sommet des collines et le long des routes pour relayer ces messages sur de grandes distances. Les premiers systèmes radio ont transmis des signaux analogiques. Aujourd'hui, la plupart des systèmes radio transmettent des signaux numériques composés de bits binaires, où les bits sont obtenus directement à partir d'un signal de données ou en numérisant un signal analogique. Une radio numérique peut transmettre un flux binaire continu ou elle peut regrouper les bits en paquets. Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres.

Notre projet de fin d'étude vise à exploiter cette technologie pour la détection à distance des signaux de fuite qui se produisent dans les réseaux de distribution d'eau. A cet effet nous avons placé des transducteurs de pression sur une conduite prototype qu'on a réalisée au niveau de notre laboratoire. Les signaux sont transmis en mode WIFI par des antennes ayant une portée allant jusqu'à 1 km.

Afin d'effectuer une étude détaillée sur la norme Wifi, notre mémoire est organisée en quatre chapitres :

Le premier chapitre intitulé (Généralité sur la communication sans fil) est dédié à présenter brièvement les différentes technologies sans fil ainsi ses avantages, inconvénients et leurs applications.

Dans le deuxième chapitre, intitulée (la carte Arduino et le module NRF24L01) nous avons projeté la lumière sur une carte d'Arduino UNO, commençant par ses différents types, son architecture externe les étapes d'installation de l'application IDE, nous avons

aussi expliqué les deux parties essentielles relatives à l'exploitation de cette carte (la partie matérielle et la partie programmation), et un aperçu sur le module NRF24L01 et sa relation avec Arduino a été également traité.

Dans le chapitre 3, nous avons appris à identifier la transmission et la réception à l'aide de cartes Arduino. Nous avons d'abord fait quelques expériences simples avec une carte Arduino via le port série du PC et une autre avec le module NRF24L01 pour faire communiquer les deux cartes entre elles.

Le dernier chapitre est dédié à la partie pratique et à l'analyse des résultats obtenus. Finalement une conclusion générale résume le travail et indique la contribution apportée, sans oublier d'exposer les éventuelles perspectives.

Chapitre I

Généralité sur la communication sans fil

I.1. Introduction

En industrie, les communications sans fil, qui font partie de la grande famille communications sont, à tous égards, la partie qui connaît la croissance la plus rapide. À ce contexte, il a capté l'attention des médias et l'imagination du public. Autrement dit, les systèmes cellulaires ont connu une croissance exponentielle au cours de la dernière décennie et il existe actuellement environ deux milliards d'utilisateurs dans le monde. En effet, les téléphones cellulaires sont devenus un outil commercial essentiel pour la vie quotidienne dans la plupart des pays développés et supplantent rapidement les systèmes filaires aux pays en voie de développement. De plus, les réseaux locaux sans fil complètent ou remplacent actuellement les réseaux câblés de nombreux foyers, entreprises et campus. Il est judicieux dans ce chapitre de commencer par un bref historique et une définition des communications sans fil. Un panorama des différents types de communication sans fil est présenté. Les avantages et inconvénients de ce type de communication sont également exposés. Sans oublier de citer les différentes Applications de la technologie sans fil. En fin la Technologie 802.11(e) Wifi et ses principales normes sont éclairci [1].

I.2. Histoire des communications sans fil

Les premiers réseaux sans fil ont été développés à l'ère préindustrielle. Ces systèmes transmettaient des informations sur des distances en visibilité directe (étendues plus tard par des télescopes) en utilisant des signaux de fumée, des signaux de torche, des miroirs clignotants, des fusées éclairantes ou des drapeaux de sémaphore. Un ensemble élaboré de combinaisons de signaux a été développé pour transmettre des messages complexes avec ces signaux rudimentaires. Des stations d'observation ont été construites au sommet des collines et le long des routes pour relayer ces messages sur de grandes distances. Ces premiers réseaux de communication ont été remplacés d'abord par le réseau télégraphique (inventé par Samuel Morse en 1838) puis par le téléphone. En 1895, quelques décennies après que le téléphone a été inventé, Marconi a démontré la première transmission radio de l'île de Wight à un remorqueur à 18 miles de là, et les communications radio sont nées. La technologie radio a évolué rapidement pour permettre des transmissions sur de plus grandes distances avec une meilleure qualité, moins d'énergie et permettant la naissance des appareils plus petits et moins chers, ainsi les communications radio publiques et privées, la télévision et les réseaux sans fil sont apparus.

Les premiers systèmes radio ont transmis des signaux analogiques. Aujourd'hui, la plupart des systèmes radio transmettent des signaux numériques composés de bits binaires, où les bits sont obtenus directement à partir d'un signal de données ou en numérisant un signal analogique. Une radio numérique peut transmettre un flux binaire continu ou elle peut regrouper les bits en paquets [2].

I.3. Définition de communication sans fil

Un réseau sans fil (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 fil, 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 fil sont basés sur une liaison utilisant des ondes radioélectriques (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 fil 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 (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies. En contrepartie se pose le problème de la réglementation relative aux transmissions radio-électriques. En effet, les transmissions radioélectriques servent pour un grand nombre d'applications (militaires, scientifiques, amateurs, ...), mais sont sensibles aux interférences, c'est la raison pour laquelle une réglementation est nécessaire dans chaque pays afin de définir les plages de fréquence et les puissances auxquelles il est possible d'émettre pour chaque catégorie d'utilisation. 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 (c'est le cas par défaut). 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 fil [3].

I.4. Les types de communication sans fil

À l'époque contemporaine, la technologie de la communication sans fil a pris une forme intégrale car elle permet aux utilisateurs d'établir une communication à partir de

régions éloignées. Les appareils utilisés pour les communications sans fil sont les téléphones mobiles sans fil, les unités GPS, les pièces d'ordinateur sans fil ainsi que les télévisions par satellite [4]. Ces technologies peuvent être classées en quatre parties :

- Les réseaux personnels sans fil : WPAN (**W**ireless **P**ersonal Area Network) ;
- Les réseaux locaux sans fil : WLAN (**W**ireless **L**ocal Area Network) ;
- Les réseaux métropolitains sans fil : WMAN (**W**ireless **M**étropolitain Area Network) ;
- Les larges réseaux sans fil : WWAN (**W**ireless **W**ide Area Network) [9] comme indiqué par la **Figure (I.1)**.

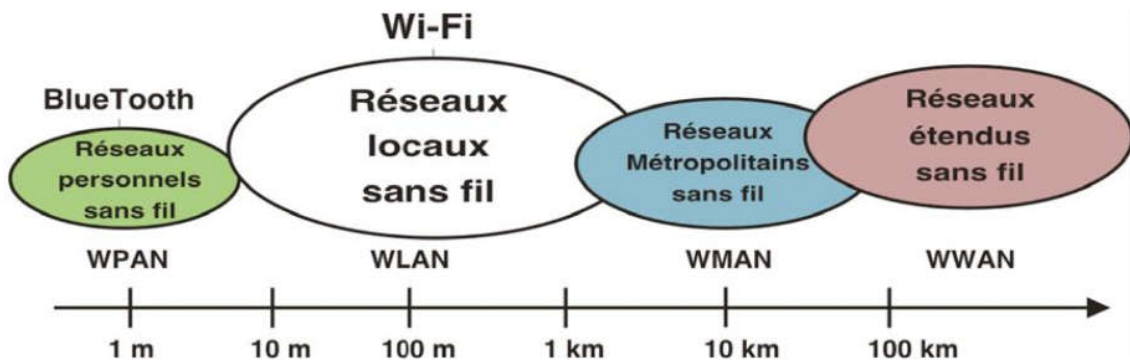


Figure I.1. Les différentes technologies sans fil

I.4.1. Communication par satellite

La communication par satellite est un type de technologie de communication sans fil autonome, elle est largement répandue dans le monde entier pour permettre aux utilisateurs de rester connectés presque partout sur la terre. Lorsque le signal (un faisceau de micro-ondes modulé) est envoyé près du satellite, le satellite amplifie le signal et le renvoie au récepteur d'antenne qui est situé à la surface de la terre. La communication par satellite comprend deux composants principaux, comme le segment spatial et le segment sol. Le segment sol comprend les équipements fixes ou mobiles de transmission, de réception et auxiliaires et le segment spatial, qui est principalement le satellite lui-même [5] **Figure (I.2)**.



Figure I.2. Communication par satellite.

I.4.2. Communication infrarouge

La communication infrarouge sans fil communique des informations dans un appareil ou des systèmes par rayonnement infrarouge. IR est l'énergie électromagnétique à une longueur d'onde plus longue que celle de la lumière rouge. Il est utilisé pour le contrôle de sécurité, la télécommande du téléviseur et les communications à courte portée. Dans le spectre électromagnétique, le rayonnement IR se situe entre les micro-ondes et la lumière visible. Ainsi, ils peuvent être utilisés comme source de communication pour une communication infrarouge réussie, un émetteur photo LED et un récepteur photo diode sont nécessaires. L'émetteur LED transmet le signal infrarouge sous forme de lumière non visible, qui est captée et enregistrée par le photorécepteur. Ainsi, les informations entre la source et la cible sont transférées de cette manière. La source et la destination peuvent être des téléphones mobiles, des téléviseurs, des systèmes de sécurité, des ordinateurs portables, etc. prennent en charge la communication sans fil [5] **Figure (I.3)**.



Figure I.3. Communication infrarouge.

I.4.3. Wifi

Le Wifi est une technologie de communication sans fil à faible coût. Une configuration Wifi consiste en un routeur sans fil qui sert de hub de communication,

reliant un appareil portable à une connexion Internet **Figure (I.4)**. Ce réseau facilite la connexion de nombreux appareils en fonction de la configuration du routeur. Ces réseaux sont limités en portée en raison de la faible transmission de puissance, permettant à l'utilisateur de se connecter uniquement à proximité [6].



Figure I.4.Communication Wifi.

I.4.4. Cellulaire

Un réseau cellulaire utilise des liaisons radio cryptées, modulées pour permettre à de nombreux utilisateurs de communiquer sur la bande de fréquences unique **Figure(I.5)**. Comme les combinés individuels manquent d'une puissance de diffusion importante, le système dépend d'un réseau de tours cellulaires qui sont capables de trianguler la source de tout signal et de transférer les tâches de réception à l'antenne la plus appropriée. La transmission de données sur des réseaux cellulaires est possible avec des systèmes 4G modernes capables de vitesses atteignant celle du DSL filaire. Les entreprises de téléphonie mobile facturent à leurs clients une minute de leur voix et des kilo-octets pour les données [6].

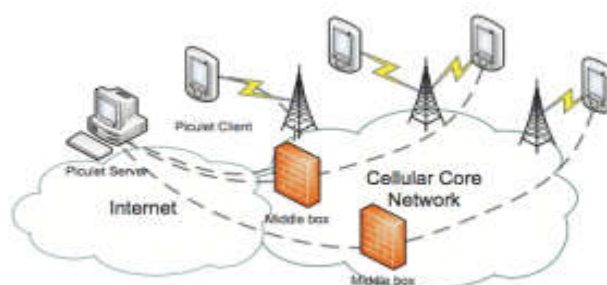


Figure I.5. Communication cellulaire

I.4.5. Bluetooth

Le Bluetooth est l'une des normes sans fil les plus récentes. Bluetooth est un candidat solide pour le réseau personnel ou appareils PAN. PAN est défini comme un réseau sans

fil allant de quelques pouces jusqu'à 10 pieds ; essentiellement un réseau autour de son espace personnel. Bluetooth fonctionne également dans la bande ISM. Les applications actuelles de Bluetooth incluent la synchronisation des données pour l'ordinateur de poche assistants numériques personnels, casques sans fil et gadgets similaires [7].

I.5. Les avantages de la communication sans fil

Il existe de nombreux avantages de la technologie de communication sans fil, de la mise en réseau sans fil et des systèmes sans fil par rapport à la communication filaire comme le coût, la mobilité, la facilité d'installation et la fiabilité [8].

I.5.1. Coût

Le coût d'installation des fils, câbles et autres infrastructures est éliminé dans les communications sans fil et donc réduit le coût global du système par rapport au système de communication filaire. Installer un réseau câblé dans un bâtiment, déterrer la Terre pour poser les câbles et faire passer ces fils dans les rues est un travail extrêmement difficile, coûteux et long. Dans les bâtiments historiques, percer des trous pour les câbles n'est pas une meilleure idée car il détruit l'intégrité et l'importance du bâtiment. De plus, dans les bâtiments anciens sans lignes dédiées à la communication, la communication sans fil comme le Wifi ou le LAN sans fil est la seule option.

I.5.2. Mobilité

Comme mentionné précédemment, la mobilité est le principal avantage du système de communication sans fil. Il offre la liberté de se déplacer tout en étant connecté au réseau.

I.5.3. Facilité d'installation

La configuration et l'installation de l'équipement et de l'infrastructure du réseau de communication sans fil sont très faciles car nous n'avons pas à nous soucier des tracas de câbles. En outre, le temps requis pour configurer un système sans fil comme un réseau Wifi par exemple, est très inférieur par rapport à la configuration d'un réseau câblé complet.

I.5.4. Fiabilité

Comme il n'y a pas de câbles et de fils impliqués dans la communication sans fil, il n'y a aucun risque de panne de communication en raison des dommages de ces câbles qui

peuvent être causés par les conditions environnementales, l'épissure des câbles et la dégradation naturelle des conducteurs métalliques.

I.5.5. Reprise après sinistre

En cas d'accidents dus à un incendie, une inondation ou d'autres catastrophes, la perte de l'infrastructure de communication dans le système de communication sans fil peut être minime.

I.6. Les inconvénients

- ✓ Il dispose d'un débit souvent plus faible qu'un réseau câblé.
- ✓ Selon les cas, une atténuation rapide du signal en fonction de la distance qui induit l'impossibilité pour un émetteur de détecter une collision au même moment. En effet, le medium utilisé est dit half-duplex, ce qui correspond à un medium sur lequel l'émission et la réception sont impossibles en même temps.
- ✓ L'inévitabilité des interférences. Les transmissions radios ne sont pas isolées, et le nombre de canaux disponibles est limité, ce qui force le partage. Les interférences peuvent être de natures diverses à savoir des émetteurs travaillant à des fréquences trop proches ; des bruits parasites dus à l'environnement ; des phénomènes d'atténuation, de réflexion et de chemins multiples dus à l'environnement...
- ✓ Les limitations de la puissance du signal par des réglementations strictes en vigueur.
- ✓ La limitation de l'énergie par l'autonomie de batteries. En effet, les applications relatives aux réseaux sans fil ont un caractère nomade portable. Emettre ou recevoir des données consomme de l'énergie.
- ✓ La faible sécurité : il est facile "d'espionner" passivement un canal radio.
- ✓ Enfin, le dernier réside dans les changements provoqués par la mobilité des nœuds sur la topologie du réseau.

I.7. Applications de la technologie sans fil

1. Téléphones portables.
2. Communications de données sans fil.
3. Wifi.
4. Service de données cellulaires.
5. Communications mobiles par satellite.
6. Réseaux de capteurs sans fil.

7. Transfert d'énergie sans fil.
8. Technologies médicales sans fil.
9. Périphériques d'interface informatique.

I.8. Technologie 802.11(e)Wifi

Le réseau local sans fil (WLAN ou Wireless Local Area Network) 802.11 est un système de transmission des données standardisé par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Il fonctionne dans les bandes de fréquences 2.4, 3.6 et 5Ghz avec des débits variantes entre 11 et 108Mbit/s. Il permet d'assurer une liaison indépendante de l'emplacement des périphériques informatiques qui composent le réseau et utilisant les liens sans fil plutôt qu'une infrastructure câblée. Dans l'entreprise, les WLANs sont généralement mis en œuvre comme le lien final entre le réseau câblé existant et un groupe d'ordinateurs clients, offrant ainsi aux utilisateurs de ces machines un accès sans fil à l'ensemble des ressources et des services du réseau de l'entreprise, sur un ou plusieurs bâtiments [9].

La norme 802.11 s'attache à définir les couches basses du modèle OSI **Tableau (I.1)** pour une liaison sans fil utilisant des ondes électromagnétiques, c'est-à-dire :

a) La couche physique (notée parfois couche PHY), proposant trois types de codage de l'information.

b) 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 radioélectriques 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. La norme 802.11 propose en réalité trois couches physiques, définissant des modes de transmission alternatifs [12] **Figure (I.6)**:

Tableau I.1.Les couches basses du modèle OSI et ces normes.

Couche Liaison de données (MAC) 802.11	802.2		
	802.11		
Couche Physique (PHY)	DSSS	FHSS	Infrarouges



Figure I.6 : Structure du standard originel 802.11.

I.8.1. Architecture

Dans le standard 802.11, une station sans fil (STA) représente l'interface air de l'utilisateur. Deux modes d'utilisation des réseaux WLAN sont définis :

- le mode infrastructure, où une station de base, appelée AP (Access Point), joue le rôle de pont entre le WLAN et le réseau filaire. Avant toute communication, les STAs doivent exécuter une procédure d'association avec l'AP. Ce dernier est donc l'élément central d'un WLAN.
- Le mode ad hoc où les STAs communiquent directement entre elles sans avoir recours à un AP ou une connexion à un réseau filaire. Ce mode permet de créer rapidement et simplement un WLAN là où il n'existe pas d'infrastructure filaire. Ainsi, il est doté des capacités qui lui permettent de s'organiser et de se configurer de manière autonome.

I.8.2. Mécanismes d'accès

Le canal est divisé en intervalles temporels appelés super trame. La super trame est divisée en deux périodes :

- une période d'accès sans contention (Contention Free Period : CFP) durant laquelle les STAs accèdent en utilisant le mécanisme d'accès centralisé PCF (Point Coordination Function).
- une période d'accès avec contention (Contention Period : CP). Les STAs y accèdent en utilisant le mécanisme d'accès distribué DCF (Distributed Coordination Function) ; Le mécanisme d'accès au canal PCF définit une entité appelée le point de coordination PC (généralement l'AP). Cette entité PC gère l'accès au canal. Il interroge à tour de rôle (polling) les STAs afin de leur offrir l'opportunité de transmettre. Le PC accède au canal

plus rapidement que les autres stations classiques car il possède des délais d'attente plus faibles. Ce mode d'accès est cependant optionnel, par conséquent très peu déployé.

I.8.3. Mécanismes de qualité de service IEEE 802.11 e

Afin d'apporter un support de qualité de service, le groupe IEEE 802.11 propose des améliorations intégrées dans un nouveau standard 802.11e. Ces modifications introduisent deux nouvelles méthodes d'accès, EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) et HCCA (Hybrid Controlled Channel Access), chacune basée respectivement sur les mécanismes d'accès standard DCF et PCF précédemment décrits. Un nouveau concept, l'opportunité de transmission (TXOP) est introduite dans 802.11e, à la fois pour EDCF et HCF. TXOP détermine une date de début et une durée pendant laquelle une station a le droit d'émettre. Ainsi, une station peut transmettre plusieurs trames dans la même opportunité TXOP, tant qu'elles ne s'étendent pas au-delà.

Procédure d'accès distribué améliorée : EDCA Le mécanisme EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) propose un service de différenciation :

Quatre catégories d'accès (Access Category : AC) au niveau MAC sont définies. Elles sont implémentées au sein des stations sous forme de différentes files de transmission. Chaque catégorie d'accès est considérée comme une entité de transmission MAC indépendante, car elle possède ses propres paramètres tels que la borne haute CW.

Ainsi pour chaque file d'accès i , en faisant varier la taille de l'intervalle CW [i] pour l'obtention du délai back off, on offre un accès au canal différencié entre les stations, mais également au sein des stations. La catégorie d'accès la plus prioritaire est celle qui possède les plus petites valeurs d'attente. Comme nous pouvons le constater, le trafic à transmettre provenant de la couche supérieure doit être étiqueté (marqué) avec une priorité adéquate afin d'être dirigée dans la file d'attente à QoS correspondante.

I.9. Les principales normes Wifi

Quand la norme 802.11 est apparue, elle n'a pas cessé d'évoluer pour satisfaire certains besoins comme la portée, le débit, et surtout le critère le plus important la sécurité. Le tableau I-2 résume les différentes catégories de cette norme qui a commencée avec un débit de 1Mb/s et arrivée maintenant jusqu'à 54Mb/s (cinq fois plus que le débit offert par le réseau filaire Ethernet le plus utilisé et presque la moitié qu'offre le Fast Ethernet) ainsi que l'évolution des protocoles de sécurité en ajoutant des protocoles basés sur les clés de chiffrement pour accéder à des stations ou des points d'accès jusqu'au chiffrement des communications, lors d'échange de données [10].

Tableau I.2. Les différentes révisions de la norme 802.11 [10].

Nom de la norme	Nom	Description
802.11a	Wifi5	La norme 802.11a (baptisé Wifi5) permet d'obtenir un haut débit (54 Mbits/s théoriques, 30 Mbits/s réels). La norme 802.11a spécifie 8 canaux radio dans la bande de fréquence des 5 GHz.
802.11b	Wifi	La norme 802.11b est la norme la plus répandue actuellement. Elle propose un débit théorique de 11 Mbits/s (6 Mbits/s 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.
802.11c	Pontage 802.11 vers 802.1d	La norme 802.11c n'a pas d'intérêt pour le grand public. Il s'agit uniquement d'une modification de la norme 802.1d afin de pouvoir établir un pont avec les trames 802.11 (niveau liaison de données).
802.11d	Internationalisation	La norme 802.11d est un supplément à la norme 802.11 dont le but est de permettre une utilisation internationale des réseaux locaux 802.11. Elle consiste à permettre aux différents équipements d'échanger des informations sur les plages de fréquence et les puissances autorisées dans le pays d'origine du matériel
802.11e	Amélioration de la qualité de service	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.

<p>802.11f</p>	<p>Itinérance (roaming)</p>	<p>La norme 802.11f est une recommandation à l'intention des vendeurs de point d'accès pour une meilleure interopérabilité des produits. Elle propose le protocole « Inter-Access point roaming Protocol » permettant à un utilisateur itinérant de changer de point d'accès de façon transparente lors d'un déplacement, quelles que soient les marques des points d'accès présentes dans l'infrastructure réseau. Cette possibilité est appelée itinérance (ou roaming en anglais).</p>
<p>802.11g</p>		<p>La norme 802.11g offrira un haut débit (54 Mbits/s théoriques, 30 Mbits/s réels) sur la bande de fréquence des 2.4 GHz. Cette norme n'a pas encore été validée, le matériel disponible avant la finalisation de la norme risque ainsi de devenir obsolète si celle-ci est modifiée ou amendée. La norme 802.11g a une compatibilité ascendante avec la norme 802.11b, ce qui signifie que des matériels conformes à la norme 802.11g pourront fonctionner en 802.11b.</p>
<p>802.11h</p>		<p>La norme 802.11h vise à rapprocher la norme 802.11 du standard Européen (Hiper LAN 2, d'où le h de 802.11h) et être en conformité avec la réglementation européenne en matière de fréquence et d'économie d'énergie.</p>
<p>802.11i</p>		<p>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 Encryptions Standard) et propose un chiffrement des communications pour les transmissions utilisant les technologies 802.11a, 802.11b et 802.11g.</p>
<p>802.11IR</p>		<p>La norme 802.11j a été élaborée de telle manière à utiliser des signaux infrarouges. Cette norme est désormais dépassée techniquement.</p>

802.11j	La norme 802.11j est à la réglementation japonaise ce que le 802.11h est à la réglementation européenne.
----------------	--

I.10. Défis techniques des communications sans fil

Description de haut niveau des défis techniques des systèmes de communication sans fil sont les suivants : Propagation par trajets multiples, limitations du spectre, limitations énergétiques, et mobilité des utilisateurs [11].

I.10.1. Propagation par trajet multiples

Pour les communications sans fil, le support de transmission est le canal radio entre l'émetteur TX et le récepteur RX. Le signal peut du TX au RX via un certain nombre de chemins de propagation différents. Dans certains cas, une connexion Line Of Sight (LOS) peut exister entre TX et RX. De plus, le signal peut passer du TX au RX en étant réfléchi ou diffracté par différents objets en interaction (IO) dans l'environnement : maisons, montagnes (pour les environnements extérieurs), fenêtres, murs, etc. Le nombre de ces propagations possibles les chemins sont très grands. Chacun des trajets a une amplitude, un retard (temps d'exécution du signal), une direction de départ par rapport au TX et une direction d'arrivée distincts ; plus important encore, les composants ont des déphasages différents les uns par rapport aux autres. Dans ce qui suit, nous discutons de certaines implications de la propagation par trajets multiples pour la conception du système **Figure (I.7)**.

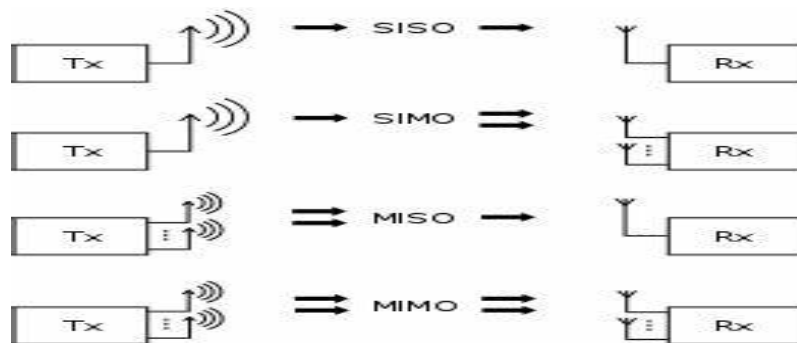


Figure I.7. La relation entre TX et RX

I.10.2. Limitations du spectre

Le spectre disponible pour les services de communications sans fil est limité et réglementé par accords internationaux. Pour cette raison, le spectre doit être utilisé de manière très efficace. Deux approches sont utilisées : l'utilisation régulée du spectre, où

un seul opérateur de réseau a le contrôle de l'utilisation du spectre et du spectre non réglementé, où chaque utilisateur peut transmettre sans contrôle supplémentaire, tant qu'il respecte certaines restrictions sur la puissance d'émission et bande passante. Dans ce qui suit, nous examinons d'abord les plages de fréquences attribuées à différents services de communication.

I.11. Technologie de transmission

I.11.1. FHSS

FHSS est un acronyme pour spectre étalé à sauts de fréquence. Il existe deux types de propagation radio à spectre, FHSS et spectre étalé à séquence directe. FHSS est une technologie de transmission utilisée dans les transmissions de réseau local sans fil (LAWN) où le signal de données est modulé avec un signal porteur à bande étroite qui saute littéralement dans une séquence aléatoire mais prévisible à partir de la fréquence à la fréquence. Le calcul est fonction du temps sur une large bande de fréquences. Le signal d'énergie est réparti dans le domaine temporel plutôt que de découper chaque élément en petits morceaux dans le domaine des fréquences. Cette technique réduit les interférences car un signal provenant d'un système à bande étroite n'affecte pas le signal à spectre étalé si les deux transmettent à la même fréquence en même temps. Si ceci est synchronisé correctement, un seul canal logique est pris en charge [7].

I.11.2. DSSS

DSSS est un acronyme pour le spectre étalé à séquence directe, qui utilise l'étalement de fréquence, autrement dit étaler le spectre. DSSS est une technologie de transmission utilisée dans les transmissions PELOUSE où une donnée le signal à la station émettrice est jointe à une séquence de bits à débit de données plus élevé ou à un code de tranche les données utilisateur selon un rapport d'étalement. Le code de déchetage est un modèle de bits redondant pour chaque bit transmis. Cela augmente la résistance du signal aux interférences. Un ou plusieurs bits doivent-ils le motif soit endommagé pendant la transmission, les données originales peuvent être récupérées en raison de la quantité de redondance accrue de la transmission [7].

I.11.3. OFDM

OFDM est un acronyme pour le multiplexage orthogonal en fréquence. Une modulation OFDM est une technique de transmission de grandes quantités de données numériques sur une onde radio. L'OFDM fonctionne en découpant le signal radio en plusieurs sous-signaux plus petits qui sont ensuite transmis au récepteur en même temps

sur différentes fréquences. L'OFDM réduit la diaphonie dans les transmissions de signaux. La technologie 802.11a WLAN utilise OFDM [7].

I.12. Conclusion

En conclusion, la communication sans fil en général, et le WIFI en particulier sont des technologies intéressantes et très utilisées dans de divers domaines comme l'industrie, la santé, le commerce et le domaine militaire. Cette technologie a des avantages par exemple la facilité d'installation, la mobilité et la fiabilité, comme ils ont des inconvénients qui ne peut pas être minimisé sa valeur. Ensuite, on parle sur la technologie 802.11 wifi et ces principales normes en détaillent. Finalement, la communication sans fil facilité de nombreux services pour l'utilisateur. Le prochain chapitre est dédié à la description de la carte Arduino, le module NRF24L01 et son utilisation pour la transmission et la réception des signaux.

Chapitre II

La carte Arduino et le module NRF24L01

II.1. Introduction

Depuis le début d'exploitation des Arduino en 2005, une très grande quantité de ces pièces ont été vendues dans le monde à ce jour. Le nombre de cartes non officielles vendues dépasse sans aucun doute les cartes officielles, il est donc probable que plus d'un demi-million de cartes Arduino et ses variantes sont susceptible d'avoir été vendues illégalement. Sa popularité ne cesse de croître car de plus en plus de gens réalisent le potentiel incroyable de ce projet open source incroyable pour créer leurs projets rapidement et facilement avec une courbe d'apprentissage relativement peu profonde. Le plus grand avantage de l'Arduino par rapport aux autres plates-formes de développement de microcontrôleurs est sa facilité utilisation ; les personnes non « technophiles » peuvent apprendre les bases et créer leurs propres projets dans un délai relativement court. Les artistes, en particulier, semblent trouver le moyen idéal pour créés des œuvres d'art interactives rapidement et sans connaissances spécialisées en électronique.

Il existe une énorme communauté de personnes utilisant l'Arduino et partager leurs codes et leurs schémas de circuits pour que d'autres les copient et les modifient autrement dit les utilisent pour gérer leurs propres projets. Ce chapitre est dédié à la description de la carte Arduino. Les différents modèles des cartes Arduino sont également exposés. Les avantages de l'utilisation des cartes Arduino sont également éclaircis. Enfin un exemple typique d'utilisation de la carte avec ces Shields est présenté [13].

II.2. Historique

En 2005, à Ivrea, en Italie, un projet a été lancé pour fabriquer un appareil pour contrôler les projets de conception interactive construits par les étudiants qui était moins cher que les autres systèmes de prototype disponibles à l'époque. L'un des cofondateurs, Massimo Banzi, a nommé cette partie de matériel Arduino en l'honneur de Bar di Ré Arduino, et a commencé à produire des cartes dans une petite usine située dans la même région que la société informatique Olivetti [14].

La toute première carte Arduino publiée (en 2006) était la série Arduino qui n'avait même pas de port USB, mais (comme son nom l'indique) avait un port série plus ancien pour communiquer avec la puce. Pour cette carte et le kit USB suivant, un

microcontrôleur Atmel Atmega8 a été utilisé. Cette puce est la sœur cadette du célèbre Atmega328 qui est encore utilisé sur la carte Arduino Uno à ce jour. Après cette première année de sortie, il y a eu une frénésie d'activité et de développement de cartes de fabricants qui s'aligne sur le calendrier du boom des fabricants / bricoleurs. De nouvelles révisions de la carte Arduino envisagées par Massimo Banzi ont été apportées, avec un passage à l'Atmega168 qui avait deux fois la mémoire disponible de l'Atmega8. Après plusieurs autres améliorations de la carte, l'Atmega328 est arrivé dans le Duemilanove, Nano, Pro et Pro Mini [15]. L'année 2010 a vu la sortie d'Arduino Uno, tandis que d'autres peintures Arduino ont été publiées, Uno est toujours la carte la plus utilisée par les fabricants, les bricoleurs et les amateurs [15].

L'Arduino a gagné en publicité en s'associant à Google. Google a publié Android ADK, ou Kit de développement d'accessoires, basé sur l'Arduino. Une personne peut créer une application Android qui utilise la caméra, les détecteurs de mouvement, l'écran tactile et la connectivité Internet du téléphone. Il semble que l'Arduino crée un nouveau moyen de programmation moins cher. Il ne semble pas que cela disparaisse de sitôt ; il devient de plus en plus populaire [14].

II.3. Définition de module Arduino

Arduino Uno est un freeware (matériel libre) qui peut être programmé pour analyser ou produire des signaux électriques et exécuter des commandes, son interface facile et son langage de programmation simple en font un des microcontrôleurs les plus utilisés dans le monde, que ce soit par les débutants ou par les utilisateurs plus expérimentés. L'Arduino est une plateforme de contrôle, elle est constituée de deux choses :

- **Le logiciel (Software) :** gratuit et open source, développé en Java, dont la simplicité d'utilisation relève du savoir cliquer sur la souris
- **Partie Hardware (Le matériel) :** cartes électroniques dont les schémas sont en libre circulation sur internet.

Cette liberté a une condition : le nom « Arduino » ne doit être employé que pour les cartes « officielles ». En somme, les concepteurs ne pouvant pas fabriquer leurs propres cartes sur le modèle Arduino et leurs assigner le nom « Arduino ». Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le

modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme) [16].

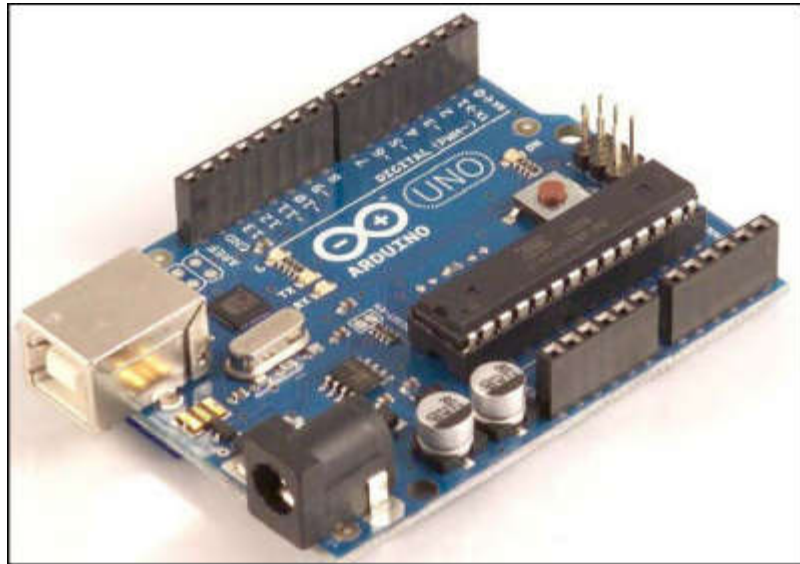


Figure. II.1. Carte Arduino UNO

II.4. Les différents modèles d'Arduino

- la carte Arduino Nano.
- la carte Arduino Méga 2560.
- la carte Arduino Lilypad.
- la carte Arduino MKRZERO
- la carte Arduino Mini
- la carte Arduino DUE.
- la carte Arduino ADK Androide.
- la carte Arduino Esplora.
- la carte Arduino pro.

II.5. Avantages de la carte Arduino

- Pas cher.
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multi plate-forme : Fonctionne sous Windows, Macintosh et Linux.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso, etc.)
- Existence de « Shield » (boucliers en français).

II.6. Présentation de la carte Arduino Uno

Tableau II.1. Présentation de la carte Arduino.

Microcontrôleur	Atmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée (recommandée)	7-12v
Tension d'entrée (limites)	6-20 V
Broche d'E/S numérique	14(dont 6 fournissent une sortie PWM)
Courant DC par broche d'E/S	40 Ma
Courant DC pour 3,3v	50mA
Mémoire Flash	32Ko (Atmega 328) dont 2Ko utilisées
SRAM	2Ko(Atmega328)
EEPROM	1Ko(Atmega328) vitesse d'horloge 16MHZ

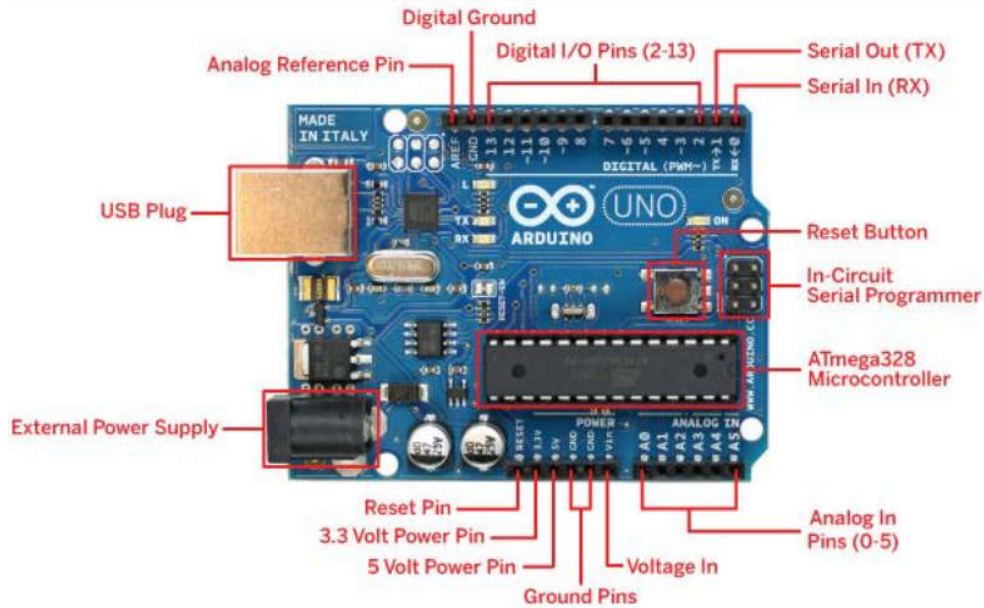


Figure II.2. Présentation de la carte Arduino Uno.

II.6.1. Alimentation

La carte Arduino UNO peut être alimentée par le câble USB, par un bloc secteur externe connecté grâce à une prise « jack » de 2,1mm ou bien par un bloc de piles dont le raccordement est réalisé par l'intermédiaire des « GND » et « VIN » du connecteur d'alimentation (POWER). L'alimentation extérieure doit présenter une tension comprise entre 7 à 12 V. La carte génère, par l'intermédiaire de régulateurs intégrés, deux tensions stabilisées : 5 V et 3,3 V. Ces deux tensions permettent l'alimentation des composants électroniques de la carte Arduino. Etant disponibles sur connecteurs placés sur le pourtour des cartes, elles permettent également l'alimentation des modules Shields [17].

II.6.2. Entrées et sorties numériques

Chacune des 14 broches numériques de la carte UNO (numérotées des 0 à 13) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions pinMode, digitalWrite et digitalRead du langage Arduino. Ces broches fonctionnent en 5V.

Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50

KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction `digitalWrite` (broche, HIGH). De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées [18].

a) Communication Série

Broches 0 (RX) et 1 (TX). Utilisées pour recevoir (RX) et transmettre (TX) les données séries de niveau TTL. Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega8U programmé en convertisseur USB-vers-port série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur [18].

b) Interruptions Externes

Broches 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. Voir l'instruction `attachInterrupt` () pour plus de détails.

c) Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée)

Broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11 fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction `analogWrite` ().

d) SPI (Interface Série Périphérique)

Broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI. Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Méga [18].

e) I2C

Broches 4 (SDA) et 5 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C (ou interface Wire/I2C (ou TWI - Two-Wire interface - interface "2 fils").

f) LED

Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau haut, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau bas, la LED est éteinte.

g) Entrées analogiques

Les six entrées analogiques, repérées A0 à A5 (PC0 à PC5), peuvent admettre toute tension analogique comprise entre 0 et 5 V (par défaut mais cela peut être modifié). Ces

entrées analogiques sont gérées par un convertisseur analogique/numérique de 10 bits, dont la sortie peut varier de 0 à 1023. Les entrées A4 et A5 peuvent également être utilisées respectivement comme la ligne de donnée SDA et la ligne d'horloge SCL de l'interface série I2C [17].

II.7.1. Le Microcontrôleur ATmega328

Un microcontrôleur ATmega328 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit au temps des pionniers de l'électronique. Aujourd'hui, en soudant un grand nombre de composants encombrants ; tels que les transistors ; les résistances et les condensateurs, tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C. la Figure (II.10) montre un microcontrôleur Atmega 328, qu'on trouve sur la carte Arduino. Le microcontrôleur ATmega328 est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur. Globalement, l'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement sur :

✓ **Une mémoire Flash**

C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible mémoire programme de 32Ko.

✓ **Une mémoire RAM**

C'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 ko .

✓ **Une mémoire EEPROM**

C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre des informations qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme [19].

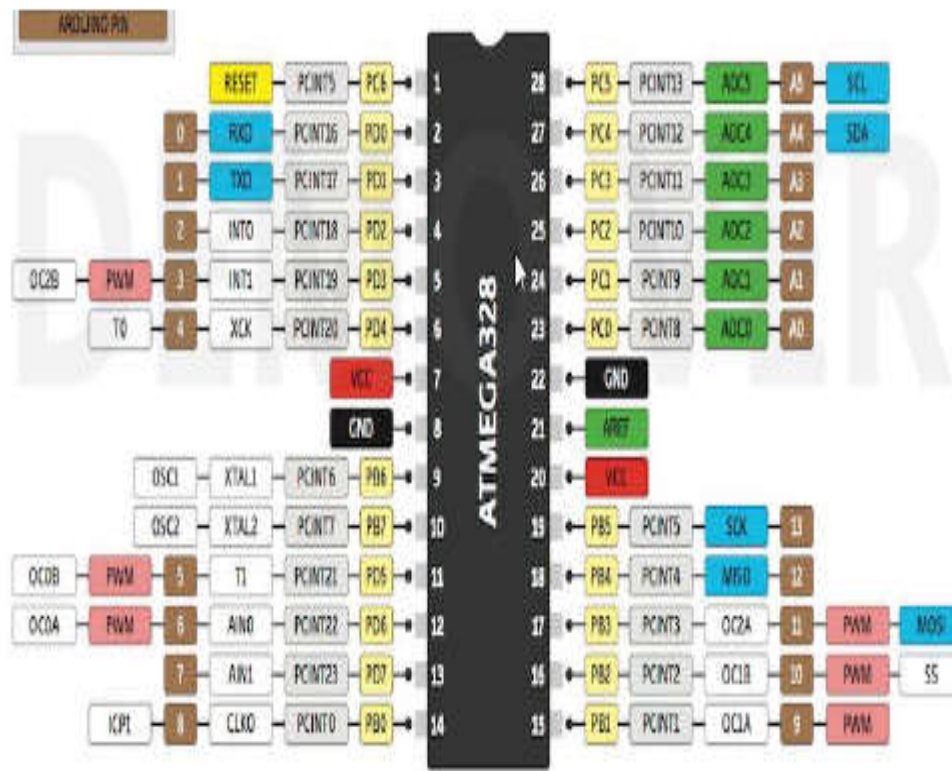


Figure II.3. Microcontrôleur ATmega328.

II.7.2. Les ports de communications

La carte Arduino UNO a de nombreuses possibilités de communications avec l'extérieur. L'Atmega328 possède une communication série UART TTL (5V), grâce aux broches numériques 0 (RX) et 1 (TX). On utilise (RX) pour recevoir et (TX) transmettre (les données séries de niveau TTL). Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega328 programmé en convertisseur USB – vers – série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur. Comme un port de communication virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur, La connexion série de l'Arduino est très pratique pour communiquer avec un PC, mais son inconvénient est le câble USB, pour éviter cela, il existe différentes méthodes pour utiliser ce dernier sans fil [18] :

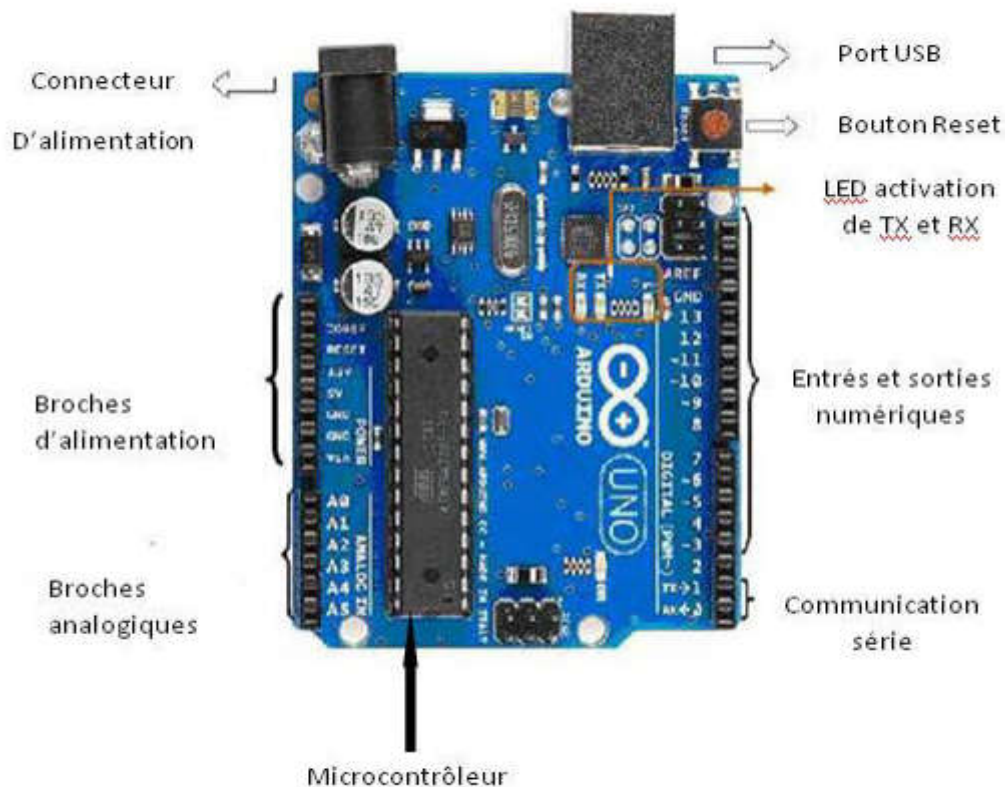


Figure II.4. Constituants de la carte Arduino UNO

II.8. Partie logicielle

II.8.1. Définition d'IDE (Integrated Development Environment)

IDE est un programme spécial en cours d'exécution sur votre ordinateur qui vous permet d'écrire des croquis pour le (www.processing.org) langage.

La magie se produit lorsque vous appuyez sur le bouton qui télécharge l'esquisse sur le tableau : le code que vous avez écrit est traduit en langage C (ce qui est généralement assez difficile pour un débutant à utiliser), et est passé au compilateur `avr-gcc`, un important morceau de logiciel open source qui fait la traduction finale dans le langage compris par le microcontrôleur. Cette dernière étape est assez importante, parce que c'est là qu'Arduino vous simplifie la tâche en évitant autant que possible de la complexité de la programmation des microcontrôleurs. Le cycle de programmation sur Arduino est essentiellement le suivant :

- ✓ Branchez votre carte sur un port USB de votre ordinateur.

- ✓ Écrivez un croquis qui donnera vie au tableau. Téléchargez ce croquis sur la carte via la connexion USB et attendez quelques secondes pour que la carte redémarre
- ✓ Le tableau exécute le croquis que vous avez écrit [20].

II.8.2. Interface IDE Arduino

Les cartes Arduino sont programmées en C. L'IDE Arduino possède une interface souple et simple est compatible aux différents systèmes d'exploitation.

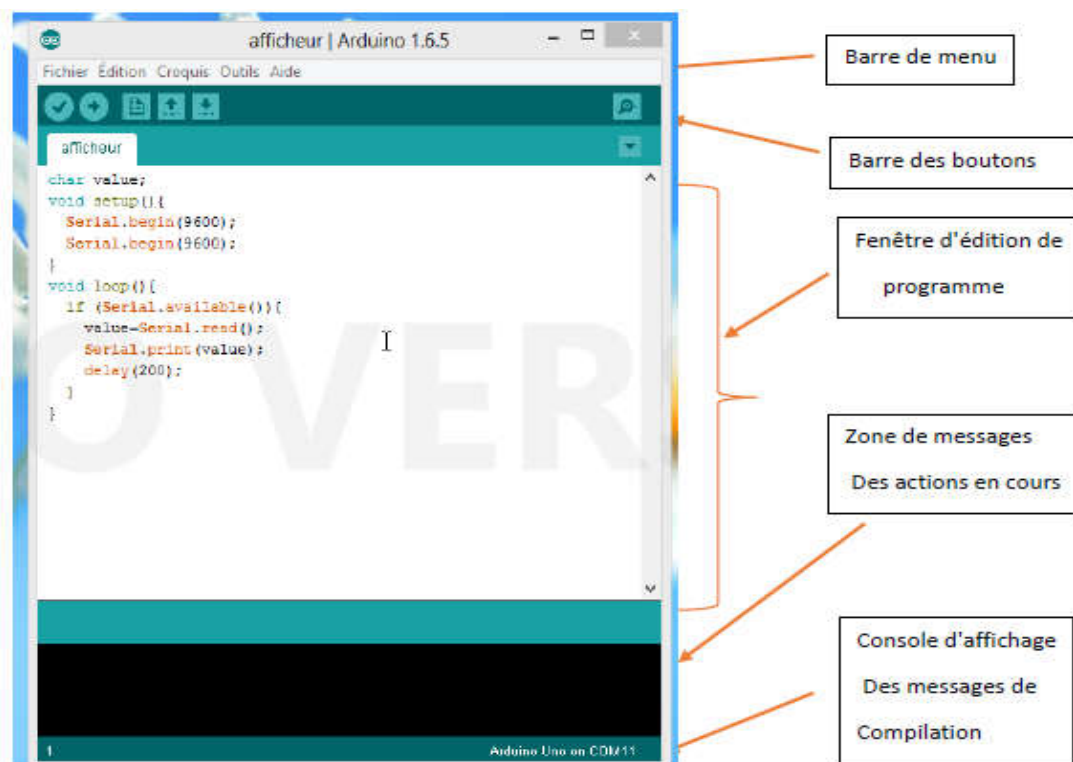


Figure II.5. Interface IDE Arduino

II.8.3. Envoi du programme

Le type de carte (Arduino UNO) et le numéro de port USB (COM 3) doivent être spécifiés **Figure(II.6)**.

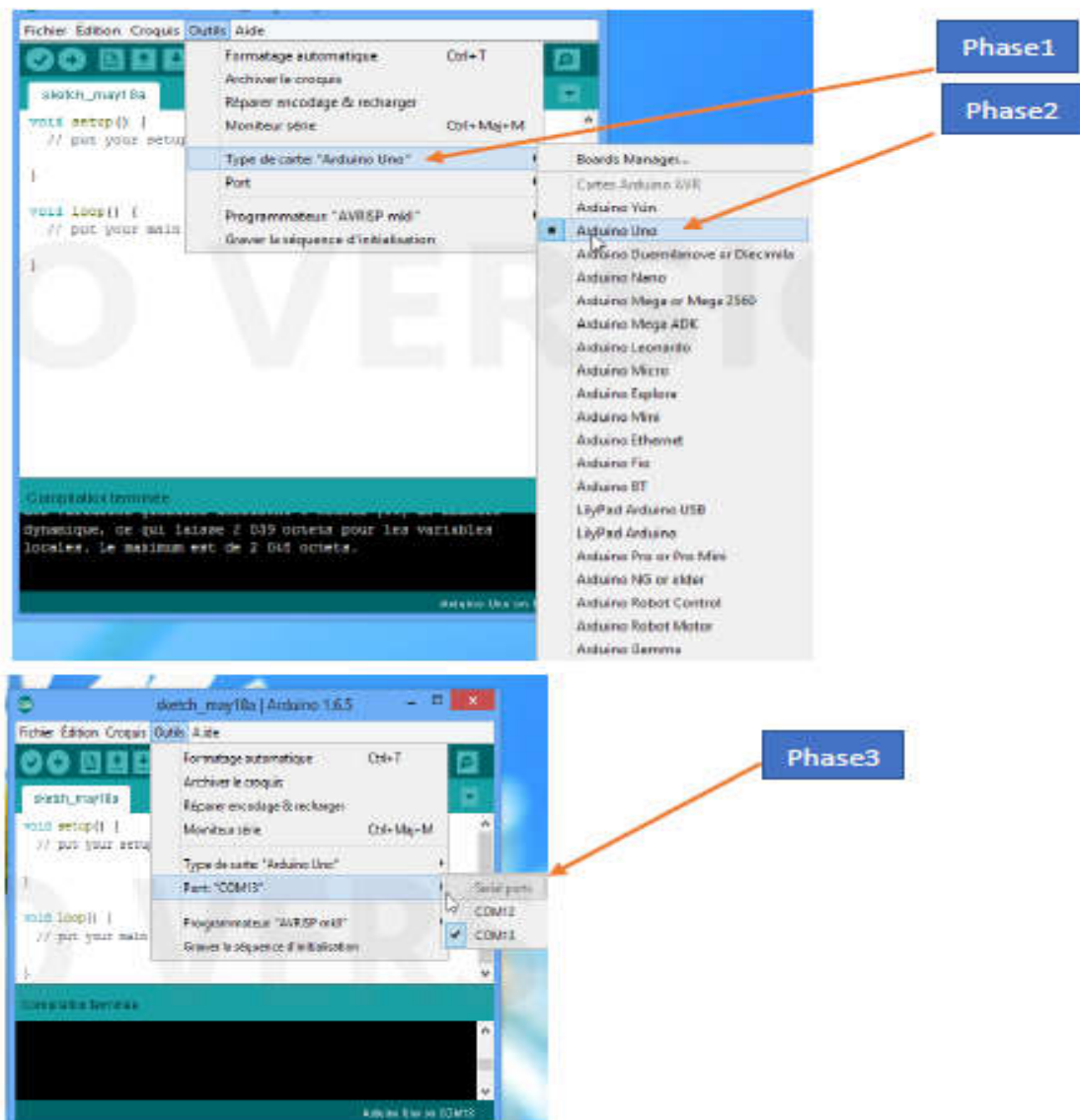


Figure II.6. Paramétrage de la carte.

II.8.4. (Télé-verser) un programme dans la carte

Étape 1 : lancer le logiciel ARDUINO IDE.

Étape 2 : ouvrir et modifier le programme.

Étape 3 : vérifier le programme.

Étape 4 : connecter la carte à l'ordinateur avec le cordon USB **Figure (II.7)** :



Figure II.7. Arduino et Pc.

Étape 5 : dans l'onglet « outils » d'IDE, vérifier le type et le port d'ARDUINO

Étape 6 : transférer le programme vers la carte.

Étape 7 : vérifier le fonctionnement.

II.9. Structure d'un programme ARDUINO

II.9.1. En-tête déclarative (facultatif)

Contenant

- ✓ Fichiers d'inclusion.
- ✓ Déclaration des constantes.
- ✓ Déclaration des variables globales.

II.9.2. Fonction "Setup"

Cette fonction est exécutée une seule fois au démarrage de l'Arduino. Elle permet de configurer les broches du Arduino : émission ou réception, allumage ou extinction d'une broche (en mode émission). Les broches configurées en réception peuvent recevoir des signaux en provenance des capteurs. Les broches configurées en émission peuvent commander des moteurs ou une LED [21].

II.9.3. Fonction "Loop"

C'est la fonction principale : c'est ici que s'exécute l'algorithme de travail. Le code contenu dans cette fonction est exécuté en boucle : une fois terminé, il recommence. C'est ici qu'on interroge les capteurs, et qu'on envoie des ordres aux moteurs par exemple [21].

II.10. Définition de module NRF24L01

Il utilise la bande 2,4 GHz et peut fonctionner avec des débits en bauds de 250 kbps à 2 Mbps **Figure (II.8)**. S'il est utilisé dans un espace ouvert avec un débit en bauds inférieur, sa portée peut atteindre 100 mètres [22].



Figure II.8. Module NRF24L01.

L'unité peut utiliser 125 canaux différents, ce qui permet à un réseau de 125 modems de fonctionner indépendamment en un seul endroit. Chaque canal peut avoir jusqu'à adresses, ou chaque unité peut connecter jusqu'à 6 autres unités en même temps [22].

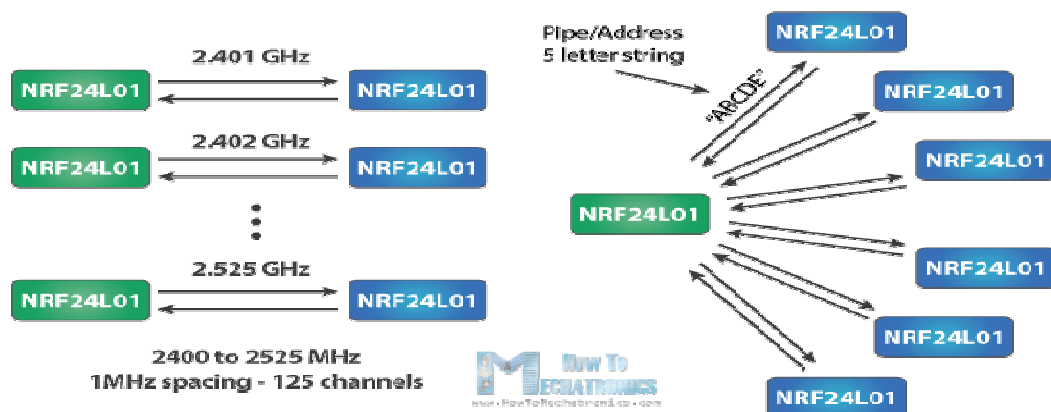


Figure II.9. Canaux de module NRF24L01.

La consommation électrique de cet appareil est d'environ 12 mA pendant le transport, et elle est même inférieure à une LED. La tension de fonctionnement de l'unité varie de 1,9 à 3,6 V, mais la bonne chose est que les autres broches tolèrent la logique de 5 V,

nous pouvons donc facilement la connecter à Arduino sans utiliser de convertisseur de niveau logique.



Figure II.10. Présentation Module NRF24L01.

Trois de ces broches sont destinées à la connexion SPI et doivent être connectées aux broches SPI dans Arduino, mais chaque carte Arduino a des broches SPI différentes. Les broches CSN et CE peuvent être connectées à n'importe quelle broche numérique de la carte Arduino et sont utilisées pour mettre l'unité en mode veille ou actif, ainsi que pour basculer entre le mode de transmission ou de commande. La dernière broche est une broche d'interruption qui ne doit pas être utilisée.

II.10.1. Arduino Uno et NRF24L01

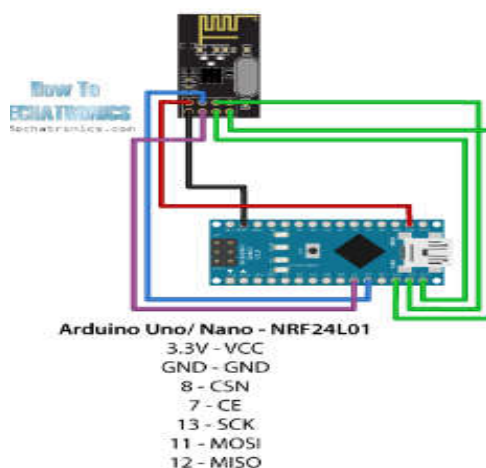


Figure II.11. Arduino UNO et Module NRF24L0

II.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons projeté la lumière sur une carte d'Arduino UNO, commençant par ses différents types, son architecture externe les étapes d'installation de l'application IDE, nous avons aussi expliqué les deux parties essentielles relatives à l'exploitation de cette carte (la partie matérielle et la partie programmation), et un aperçu de Module NRF24L01 et sa relation avec Arduino a été également traité. Dans le prochain chapitre on se familiarise avec les instructions de l'Arduino Uno et le câblage de la carte. Et l'exécution de simples exemples. Autrement dit il est dédié à l'utilisation de la carte avec un exemple typique pour s'assurer de la communication.

Chapitre III

Émission et réception via Arduino

III.1. Introduction

La communication d'une façon générale est devenue de notre jour bénéfique même indispensable. L'impact de cette dernière est particulier. Que ferions-nous sans Téléphone, Internet, TV, journaux, publicités. Autrement dit, aucun d'entre nous ne serait informé s'il n'y avait pas de connexion. L'époque des connexions filaires est révolue. Aujourd'hui, plus en plus les communications sont effectuées sans fil. Les produits des industriels sont en perpétuelle évolution. Ils pensent à présenter des produits innovant, moins compliqué lors de leurs exploitations. Parmi ces produits on trouve les cartes Arduino. Vous pourrez connecter votre carte à un ordinateur ou vous pouvez communiquer avec une autre carte Arduino via des modules émetteurs récepteurs.

Ce chapitre est dédié à l'explication de la connectivité sans fil. Afin de s'assurer du bon fonctionnement de notre système, nous allons établir une communication sans fil entre deux cartes Arduino à l'aide d'un émetteur et un récepteur NRF24L01. Nous présentons deux exemples, le premier est un exemple simple se basant sur une LED fonctionnant par Arduino, et dans le second exemple nous ferons une communication bidirectionnelle entre les cartes Arduino en présence des modules NRF24L01.

III.2. Applications et services en ligne

Pour s'assurer du bon fonctionnement de la carte Arduino et du système d'émission réception à base du module NRF24L01 deux exemples sont suggérés. Le logiciel Arduino IDE doit être installé **Figure (III.1)**.

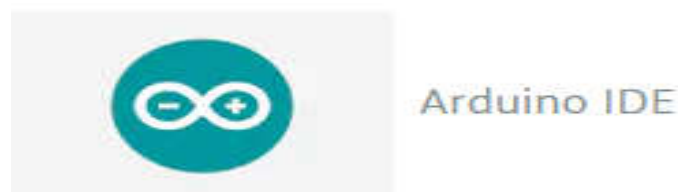


Fig. III.1. Arduino IDE

Exemple 1

Allumage et extinction d'une LED.

Matériels utilisé

- ✓ 1 led.
- ✓ 1 résistance de 110 ohms.
- ✓ Carte Arduino Uno
- ✓ Plaque d'essai
- ✓ Des câbles de connexion

Schéma de montage

Le montage est donné par la **Figure (III.2)**.

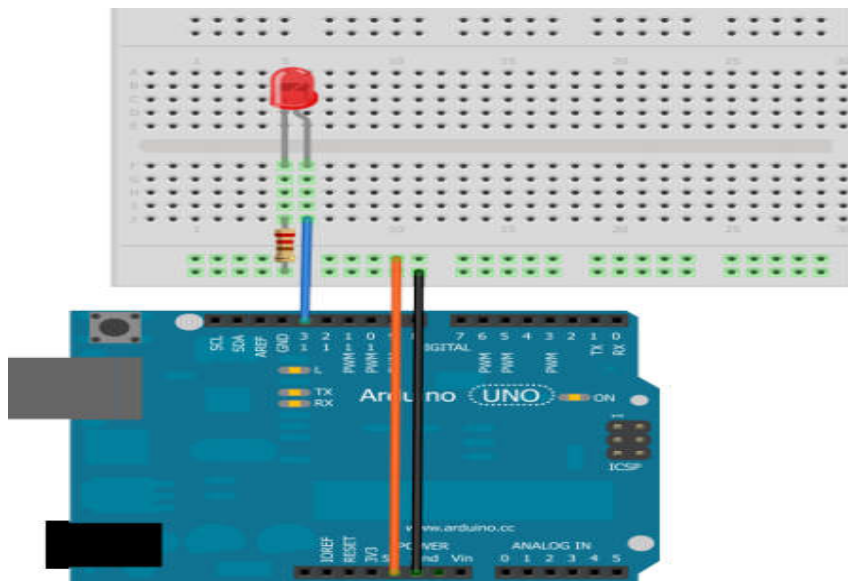


Figure III.2. Montage de la carte Arduino avec LED.

Le code utilisé

Afin de pouvoir allumer une LED de façon intermittente on a besoin de développer un programme. Ce dernier est présenté par la **Figure (III.3)**. Dans ce programme on a fait de telle sorte que la LED s'allume pendant 1s et s'éteint pendant 1 seconde infiniment.



```

LED

int LEDpin = 13;

void setup() {
  pinMode(LEDpin, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(LEDpin, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(LEDpin, LOW);
  delay(1000);
}

Compilation terminée.
Le croquis utilise 936 octets (2%) de l'espace mémoire flash disponible. Les variables globales utilisent 2 octets.

```

Fig.III.3. Code de LED

Description du code

```
int LEDpin = 13;
```

Cette commande affecte à la variable entier LEDpin la valeur 13.

```
void setup() {
  pinMode(LEDpin, OUTPUT);
}
```

L'une des commandes du programme est de définir le mode de fonctionnement de la PIN numéro 13. Cette dernière peut être configurée comme une entrée ou comme une sortie. Dans notre cas la PIN 13 est configurée comme sortie.

Remarque

L'instruction **pinMode (numéro de broche, état)** est utilisée pour déterminer la fonction de la broche et comment qu'elle est utilisée comme une entrée ou comme une sortie où le numéro ou le nom de la broche est écrit si nous avons précédemment défini une constante personnalisée, puis écrivez l'état de fonctionnement INPUT ou OUTPUT.

```
void loop() {
  digitalWrite(LEDpin, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(LEDpin, LOW);
  delay(1000);
}
```

À ce stade, nous écrivons le même programme et ce que nous voulons que la console fasse exactement cela. Dans l'exemple, le contrôleur allume la LED pendant une seconde, puis l'éteint pendant une seconde, infiniment.

Exemple 2 (Arduino avec le module NRF24L01)

Lorsque j'appuie sur le bouton connecté au premier Arduino, la LED connectée au deuxième Arduino s'allume.

III.3. Matériels utilisé

- ✓ 2 cartes Arduino Uno.
- ✓ 2 modules NRF24L01.
- ✓ 1 led.
- ✓ 1 résistance 220 ohm.
- ✓ 1 résistance 10 k ohms.
- ✓ 1 bouton poussoir.
- ✓ Fils de connexion.
- ✓ Plaque d'essai

III.4. Principe de fonctionnement

Le module NRF24L01 est un émetteur-récepteur faible puissance qui permet l'échange de données sans fil sur la bande de fréquence radio **2.4GHz**. Il permet de communiquer entre deux appareils de manière efficace et sur une moyenne distance (50m) lorsque ces derniers sont en vue directe, c'est-à-dire sans obstacle.

Schéma

Le schéma de câblage des cartes est donné par la **Figure(III.4)**.

- ✓ Vcc (Alimentation) ↔ 3V3
- ✓ CE (Reset) ↔ 2
- ✓ GND (Masse) ↔ GND
- ✓ MOSI (Master Output Slave Input) ↔ 11
- ✓ MISO (Master Input Slave Output) ↔ 12
- ✓ SCK (Serial Clock) ↔ 13
- ✓ CS (chip select) ↔ 4

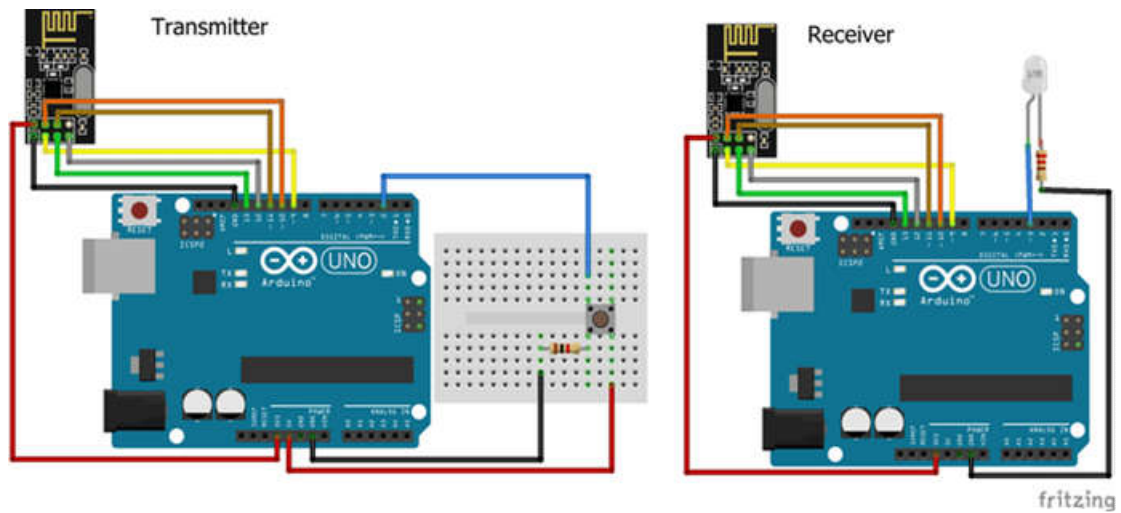


Fig.III.4. Arduino avec leurs modules NRF24L01.

Remarque

Nous devons d'abord télécharger et installer la bibliothèque RF24, ce qui rend la programmation moins difficile.

Codes utilisés

Code émetteur

Nous avons développé un programme qui fait de telle sorte qu'on commande une LED à distance par un bouton poussoir **Figure (III.5)**.

```

Fichier Edition Croquis Outils Aide
example_1_receiver
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#define butt A0
RF24 radio(9, 10); // CE, CSN
const byte addresses[][6]={"00001", "00002"};
boolean buttonState = 0;
void setup(void) {
  pinMode(butt, INPUT);
  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(addresses[1]); // 00002
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
}
void loop() {
  delay(5);
  radio.stopListening();
  int buttValue = analogRead(butt);
  int BeSendValue = map(buttValue, 0, 1023, 0, 255);
  radio.write(&BeSendValue, sizeof(BeSendValue));
}

Compilation terminée.
Le croquis utilise 2412 octets (7%) de l'espace de st
Les variables globales utilisent 46 octets (2%) de mé

```

Fig.III.5. Code émetteur

Afin de se familiariser avec les codes d'émission réception, il est judicieux de décrire minutieusement comment fonctionne le code.

Description du code émetteur

```

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

```

Bureaux spéciaux pour RF24

```
RF24 radio(9, 10); // CE, CSN
```

Crée une nouvelle instance de ce pilote. Avant d'utiliser, vous créez une instance et envoyez les broches uniques auxquelles cette puce est connectée.

Paramètre

- ✓ Cspin La broche attachée à Chip nable sur le module RF.
- ✓ Cspin La broche attachée à Chip Select.

```
const byte addresses []={00001, "00002"};
```

Octet de tableau représentant l'adresse, C'est l'adresse à laquelle nous enverrons les données, Cela devrait être le même du côté de la réception.

```
radio.begin();
```

Démarrage de la communication sans fil.

```
radio.openWritingPipe(addresses[1]); // 00002
```

Définition de l'adresse à laquelle nous enverrons les données.

Paramètre

L'adresse 40 bits du tuyau à ouvrir. Cela peut avoir n'importe quelle valeur, tant que vous êtes le seul à y écrire et qu'une seule autre radio l'écoute. Coordonnez ces adresses de canalisations parmi les nœuds du réseau.

```
radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
```

Vous pouvez le définir comme minimum ou maximum en fonction de la distance entre l'émetteur et le récepteur.

```
radio.stopListening();
```

Cela définit le module comme émetteur.

```
radio.write(&BeSendValue, sizeof(BeSendValue));
```

Envoi du message au destinataire.

Code du récepteur

Le code récepteur est donné par la **Figure (III.6)**.



```

example_1_transmitter

#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#define LED 6
RF24 radio(9, 10); // CE, CSN
const byte addresses [[6]]={"00001", "00002"};

void setup(void) {
  pinMode(LED, OUTPUT);
  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(addresses[1]); // 00002
  radio.setPALevel(RF24_PA_MIN);
}

void loop() {
  delay(5);
  radio.startListening();
  if (radio.available()) {
    while (radio.available()) {
      int LedVal = 0;
      radio.read(&LedVal, sizeof(LedVal));
      analogWrite(LED, LedVal);
    }
  }
}

```

```

Compilation terminée.

Le croquis utilise 2256 octets (6%) de l'espace.
Les variables globales utilisent 46 octets (2%)

```

Fig.III.6. Code de récepteur.

Description du code récepteur

```
radio.openWritingPipe(addresses[1]); // 00002
```

Définition de l'adresse à laquelle nous recevrons les données.

```
radio.startListening();
```

Cela définit le module comme récepteur.

```
if (radio.available()) {
```

S'il y a des données à utiliser, la fonction suivante fonctionnera, et si aucune donnée n'est disponible, elle revient à la première.

```
while (radio.available()) {  
  int LedVal = 0;  
  radio.read(&LedVal, sizeof(LedVal));  
  analogWrite(LED, LedVal);  
}
```

Définissez une variable nommée LedVL.

intLedVl = 0; Il lit les données et les enregistrent dans cette variable.

Après avoir lu les données, il change et il reçoit la nouvelle valeur envoyée par un autre Arduino. La nouvelle valeur obtenue est laissée dans le port appelé LED.

```
delay (5);
```

Il attend 5 millisecondes et refait l'action.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, on sait familiariser avec l'émission réception en utilisant des cartes Arduino. Nous avons fait quelques expériences simples au début avec une seule carte Arduino via le port série du PC et une autre en exploitant le module NRF24L01 pour faire communiquer deux cartes entre eux. Le prochain chapitre traite des informations provenant des capteurs de pression installés sur un réseau de distribution d'eau prototype dans un but de les émettraient en mode WIFI à une distance allant jusqu'à 1Km. Pour ce faire on a besoin d'un autre module qui utilise une antenne plus puissante.

Chapitre IV

Partie pratique et analyse des résultats

IV.1. Introduction

Dans le but de contrôler à distance un processus on a besoin d'émettre et recevoir les signaux. Le procédé de transmission des informations de la source vers le récepteur, est automatiquement accompagné de bruit. Le signal bruité contient deux composantes, l'une porte l'information utile et l'autre consiste à une erreur aléatoire ou bruit qui est superposé à l'information utile. Dans notre travail une conduite prototype est réalisée au niveau du laboratoire sur laquelle on a placé des transducteurs de pression pour contrôler cette dernière à des points choisis aléatoirement sur le réseau de distribution d'eau. On a également percé un orifice de forme circulaire de 1cm sur la conduite pour simuler la fuite. Cette dernière est commandée par une électrovanne qu'on contrôle manuellement par un bouton poussoir. Afin de contrôler le réseau à distance on est obligé de transmettre les signaux des transducteurs de pression. Par la suite leurs appliquer des algorithmes de traitement de signal pour localiser la position de la fuite avec précision. A cet effet on a utilisé des cartes Arduino uno avec leurs Shields NRF24L01 pour transmettre et recevoir en mode WIFI ces signaux. Des tests vont être effectués pour s'assurer du bon fonctionnement du système avant de procéder à émettre et recevoir les signaux de fuite.

IV.2. Système d'acquisition

Nous avons conçu et réalisé au niveau du laboratoire un prototype composé de deux parties. Une partie hydraulique pour faire circuler l'eau avec une pression réglable et une partie électronique pour l'acquisition, la transmission et la réception des données. On a percé la conduite par une mèche de 10mm pour simuler une fuite de forme circulaire. La chaîne permettant l'acquisition des signaux de fuite provenant des deux capteurs de pression permet le conditionnement de nos signaux car généralement les signaux physiques provenant des capteurs ont des faibles amplitudes. Généralement ses signaux sont toujours immergés dans un bruit.

Notre système de détection de fuite est basé principalement sur les transducteurs de pression (capteur de pression). Ces derniers fonctionnent selon la méthode 4-20mA. Un étage de conditionnement est indispensable pour convertir les courants à des tensions pour qu'on puisse les appliquer aux entrées analogiques des cartes Arduino utilisées à cet effet pour la transmission et la réception des signaux. Des logiciels comme Arduino IDE et LabVIEW ont été installés pour permettre l'acquisition des données, la transmission et la réception des signaux.

IV.3. Chaîne d'acquisition

Le schéma synoptique de la chaîne d'acquisition est présenté par la **Figure (IV.1)**.

Transducteurs

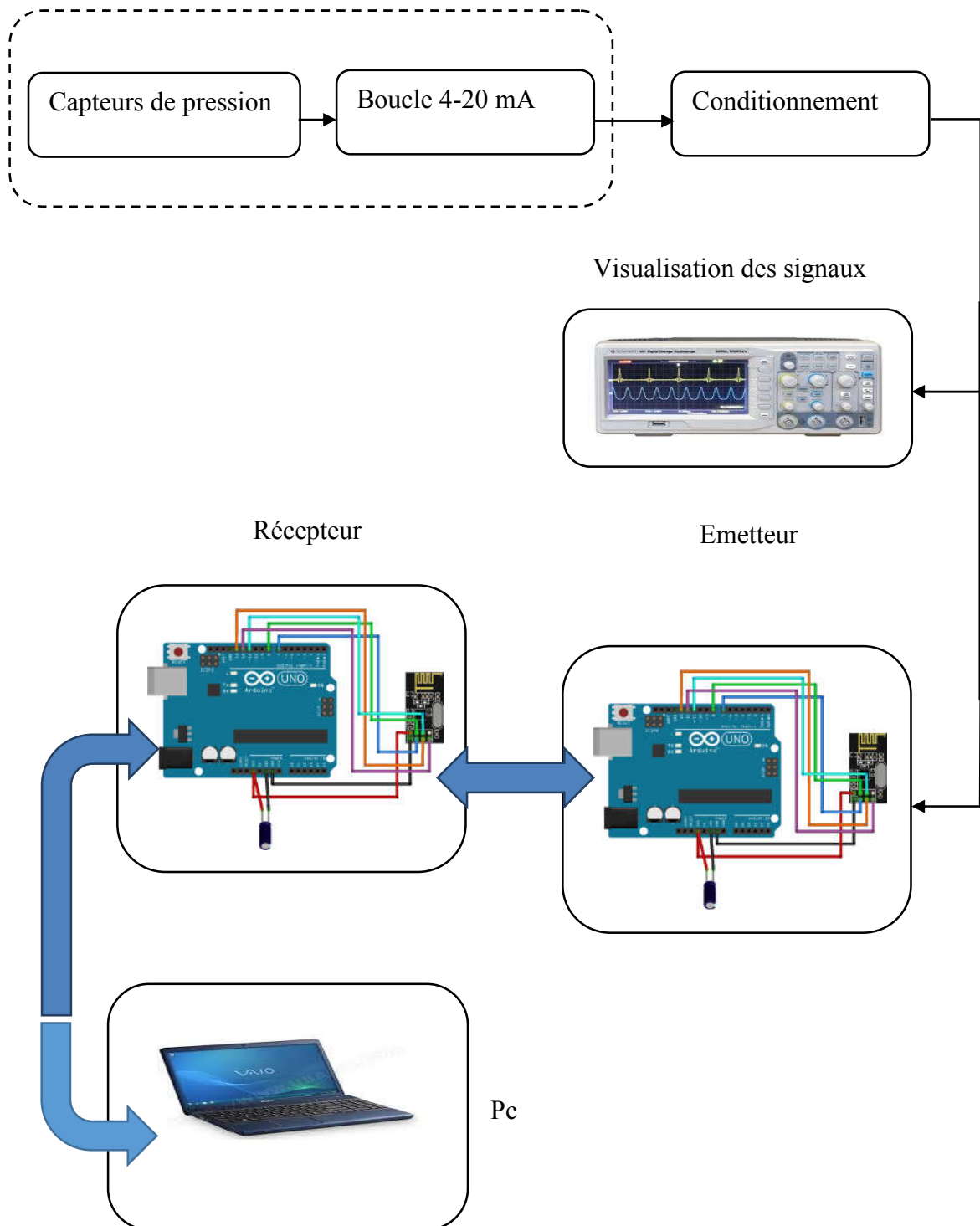


Fig. IV.1. Schéma synoptique de la chaîne d'acquisition

IV.3.1. Transmetteur de pression

On place les deux capteurs de pression avant et après la fuite telle que :

- ✓ La distance entre le premier transducteur et est fixe de 3.61 m
- ✓ La distance entre le deuxième transducteur et l’orifice simulant la fuite est variable selon les cas. Nous avons pris plusieurs positions pour confirmer les résultats obtenus.

❖ **Caractéristiques**

Selon le datasheet du constructeur le transmetteur dispose de trois fils **Figure (IV.2)** qui représentent :

- Noir —————> La sortie
- Blanc —————> La masse
- Rouge —————> Alimentation



Fig. IV.2.Capteur de pression.

Les dimensions sont indiquées par la **Figure (IV.3)**.

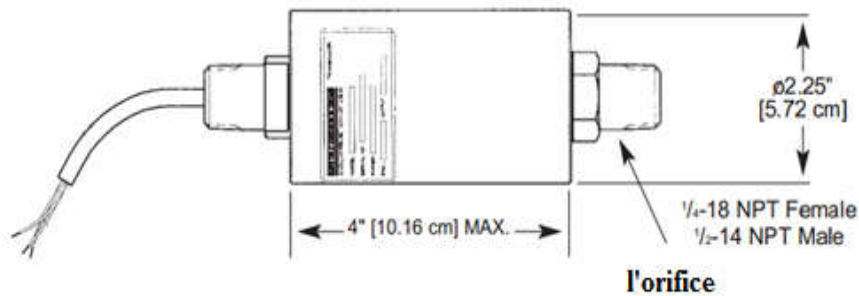


Fig. IV.3. Dimensions du capteur de pression

❖ **Spécifications techniques**

Tableau. IV.1.Spécifications techniques du transmetteur de pression

performance	Plage de pression	0-2 a10, 000psi
	Précision (min)	±0.25%F.S.

	Non linéarité (max) Hystérésis (max) Non adaptable (max) Sortie (std) résolution...	±0.15%F.S. ±0.10%F.S. ±0.05%F.S. 4-20mA Infini
Environnementale	Température, fonctionnement Température compensée Effet de température Zéro (max) Span (max)	0°F a180°F 60°F a160°F .01%F.S./°F .01%Rdg./°F
électrique	Type de strain gage excitation la résistance d'isolement Code de câblage (std) Terminaison électrique (std)...	Feuille collée 15 a40 VDC 5000migaohm@50VDC #22(See Pg.AP-8) 1/2-14NPT male w/7/8" Clé à plat .20GA 2ft.cable avec masse
mécanique	médias Surcharge sécuritaire Port de pression Matériau de pièces mouillées type Matière céramique	Gaz, liquide 50% capacité 1/4-18NPT female 1/2-14NPT male w/1 "Hex 17-4 PH inoxydable Calibre ou absolu acier inoxydable

❖ **Etalonnage du transmetteur de pression**

Pour étalonner le transmetteur de pression nous devons faire les tests suivants :

1. Alimenter le capteur de pression par une tension de 24 volts et fermer la sortie sur un milliampèremètre. Si le transmetteur est en bon état il doit indiquer 4mA

quand il n'est pas soumis à aucune pression extérieure (c.-à.-d sous pression atmosphérique uniquement).

- Je lie l'orifice du transmetteur à un ballon. Une fois presser sur le ballon ce qui veut dire donner une pression au transmetteur. Je règle la pression en agissant sur le ballon jusqu'à ce que le milliampèremètre indique la valeur de 20mA. Cette dernière doit correspondre à une certaine valeur de pression. Nous disons que notre transmetteur est étalonné si cette pression équivalente à 20mA correspond à la valeur maximale donner par le constructeur sur le corps du transmetteur.

IV.3.2. La boucle de courant 4-20 mA

La boucle de courant 4-20 mA est un moyen de transmission permettant de transmettre un signal analogique sur une grande distance sans perte ou modification de ce signal.

Pour réaliser la boucle 4-20mA, il faut utiliser au moins 4 éléments, l'alimentation, capteur, les câbles et résistance **Figure (IV.4)**.

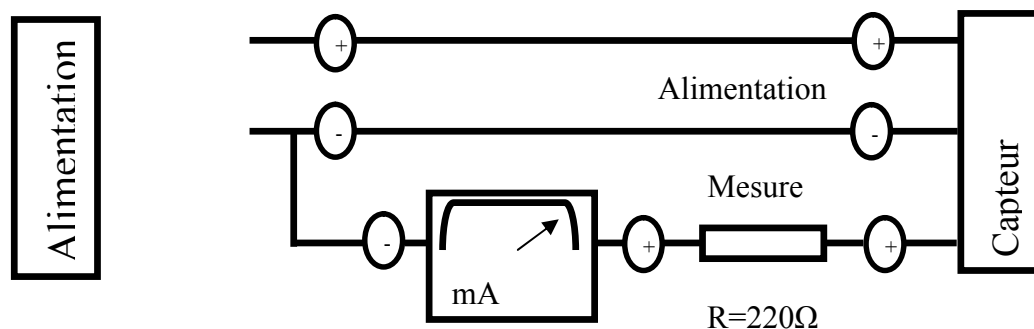


Fig. IV.4. Le câblage de la boucle.

❖ Réalisation de la boucle 4-20mA

-Le capteur dispose de trois fils (blanc, noire et rouge) tel que le fil blanc doit être relié à la masse, le fil rouge est relié avec l'alimentation (+24 V) et le fil noir est mis en série avec une résistance $R=220\Omega$. Cette dernière est aussi liée à l'ampèremètre ce dernier est attaché à la masse qui représente l'extrémité de la boucle 4-20 mA. Le schéma fonctionnel de la boucle 4-20mA est représenté par la **Figure (IV.5)**.

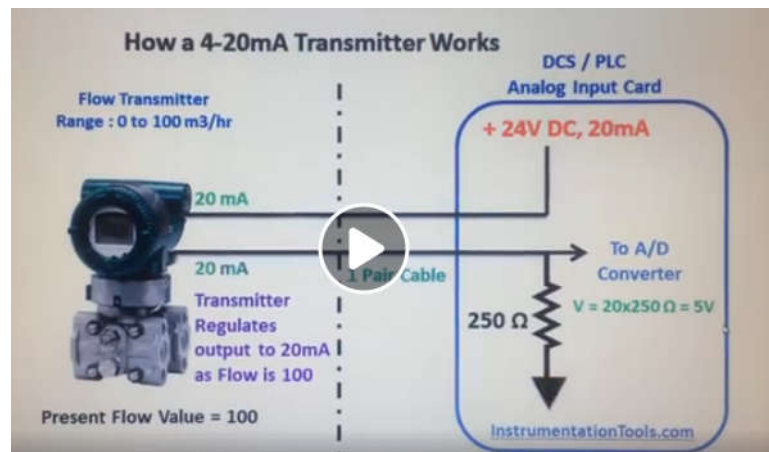


Fig.IV.5. Schéma fonctionnel de la boucle 4-20mA

Le câblage de la boucle expérimentale est montré par la **Figure (IV.6)**.

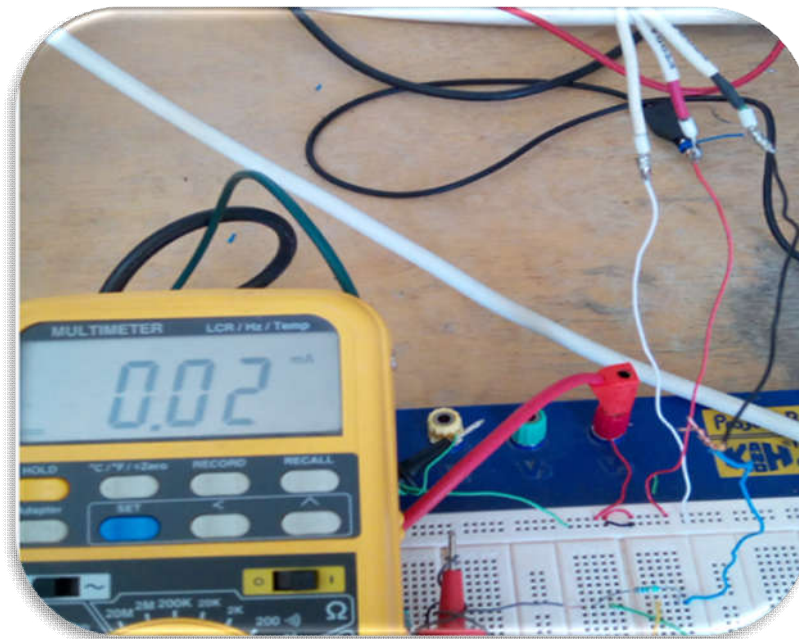


Fig.IV.6. Câblage de la boucle 4-20 mA expérimentale.

Avant d'appliquer la pression sur le capteur on l'alimente avec une tension de (+24 V). On mesure la valeur de courant sur l'ampèremètre, il doit donner un courant égale à 4mA, si on applique une pression P sur les deux capteurs, la valeur de courant augmente. Au fur et à mesure que la pression augmente.

IV.4. Circuit hydraulique

Un circuit hydraulique a été réalisé à cet effet au niveau du laboratoire. Il est composé des éléments indiqués par la **Figure (IV.7)**.



Fig. IV.7. Circuit hydraulique et électrique global

IV.4.1. Conduite

On a utilisé un tuyau en PEHD de diamètre $\varnothing = 4\text{cm}$, avec une longueur de 26m **Figure (IV.8)** sur lequel on a installé les transducteurs de part et d'autre d'une électrovanne qui simule la fuite comme présenté par la **Figure (IV.9)**.



Fig. IV.8. Le canal prototype.

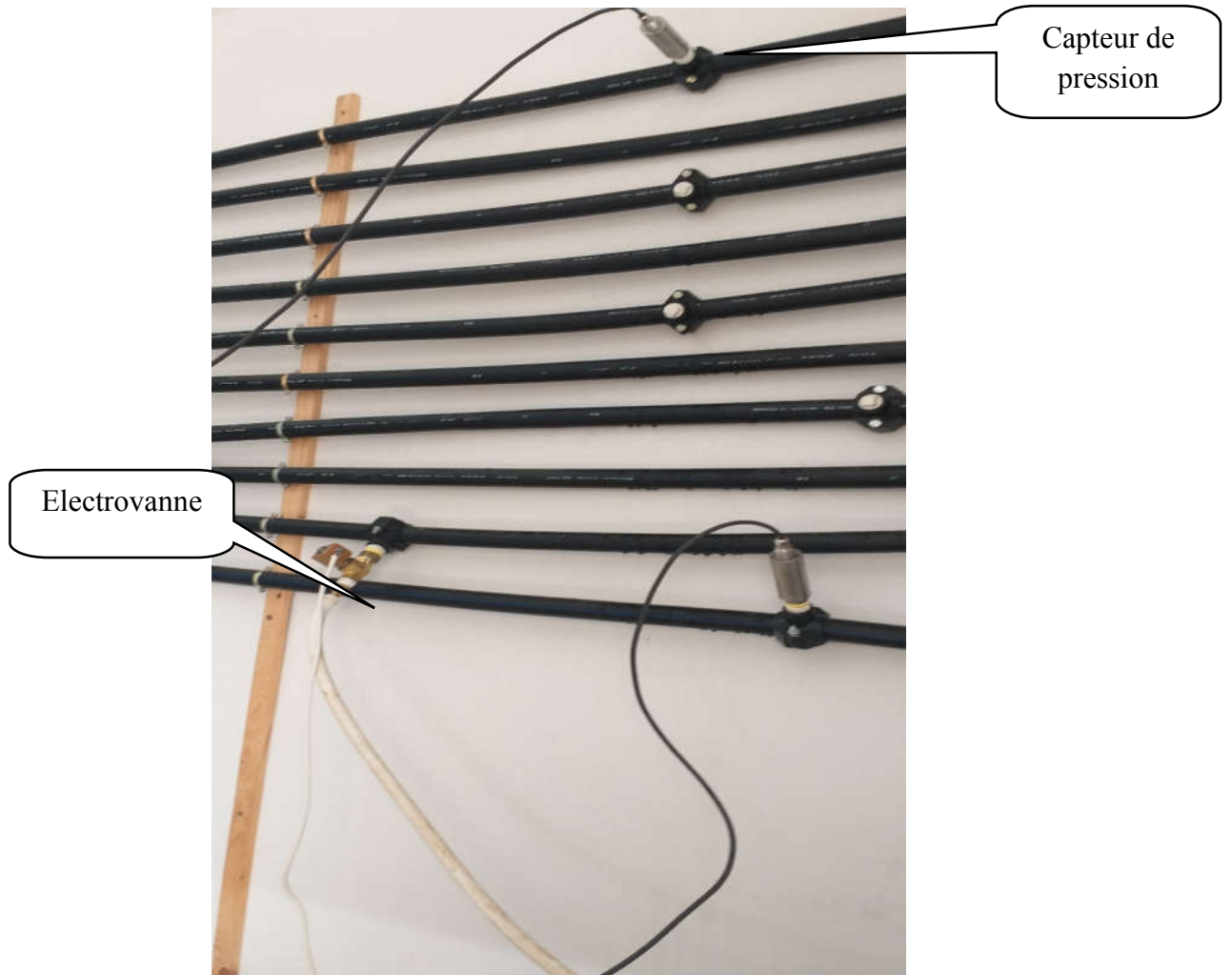


Fig. IV.9. Installation des transducteurs de part et d'autre de l'électrovanne.

IV.4.2. Accessoires

Pour former un circuit hydraulique fermé on a besoin utiliser des coudes et des joints. Afin de fixer les tuyaux au mur on a utilisé également des colliers.

IV.4.3. Fuite d'eau

Pour simuler une fuite on a percé un trou d'un diamètre de 10 mm au niveau de la conduite.

IV.4.4. Electrovanne

Une électrovanne ou électrovalve est une vanne commandée électriquement. Grâce à cet organe il est possible d'agir sur le débit d'un fluide dans un circuit par un signal électrique **Figure (IV.10)**.

- Une électrovanne d'une puissance de 8 watts avec un débit de 0.7 bars fonctionnant sous une tension de 220V a été placée au niveau du trou percé à cet effet.
- Sa commande peut être effectuée à partir d'un bouton poussoir (Noir). Pour créer la fuite il suffit d'appuyer sur le bouton poussoir **Figure (IV.11)**.



Fig. IV.10.Électrovanne.



Fig. IV.11.Bouton poussoir.

IV.4.5. Pompe

Une pompe d'eau de la marque (CALPEDA), ayant les caractéristiques suivantes **Figure (IV.12)** :

- 1- Débit : $Q_{\min/\max} = 0,4/2,3 \text{ m}^3/\text{h}$
- 2- Puissance : **0,33 kw**
- 3- Vitesse de rotation : **2900 tr/min**



Fig. IV.12.Pompe.

IV.4.6. Réservoir

Un réservoir en plastique de capacité 100 litres est utilisé pour stocker l'eau qui circule dans la conduite jouant le rôle d'une bêche à eau **Figure (IV.13)**.



Fig. IV.13. Réservoir.

IV.5. Circuit électrique réalisé

Le système de détection de fuite que nous avons réalisé est basé sur deux cartes Arduino avec leurs Shields. La première carte est utilisée pour émettre les deux signaux et l'autre pour les recevoir **Figure (IV.14)**.

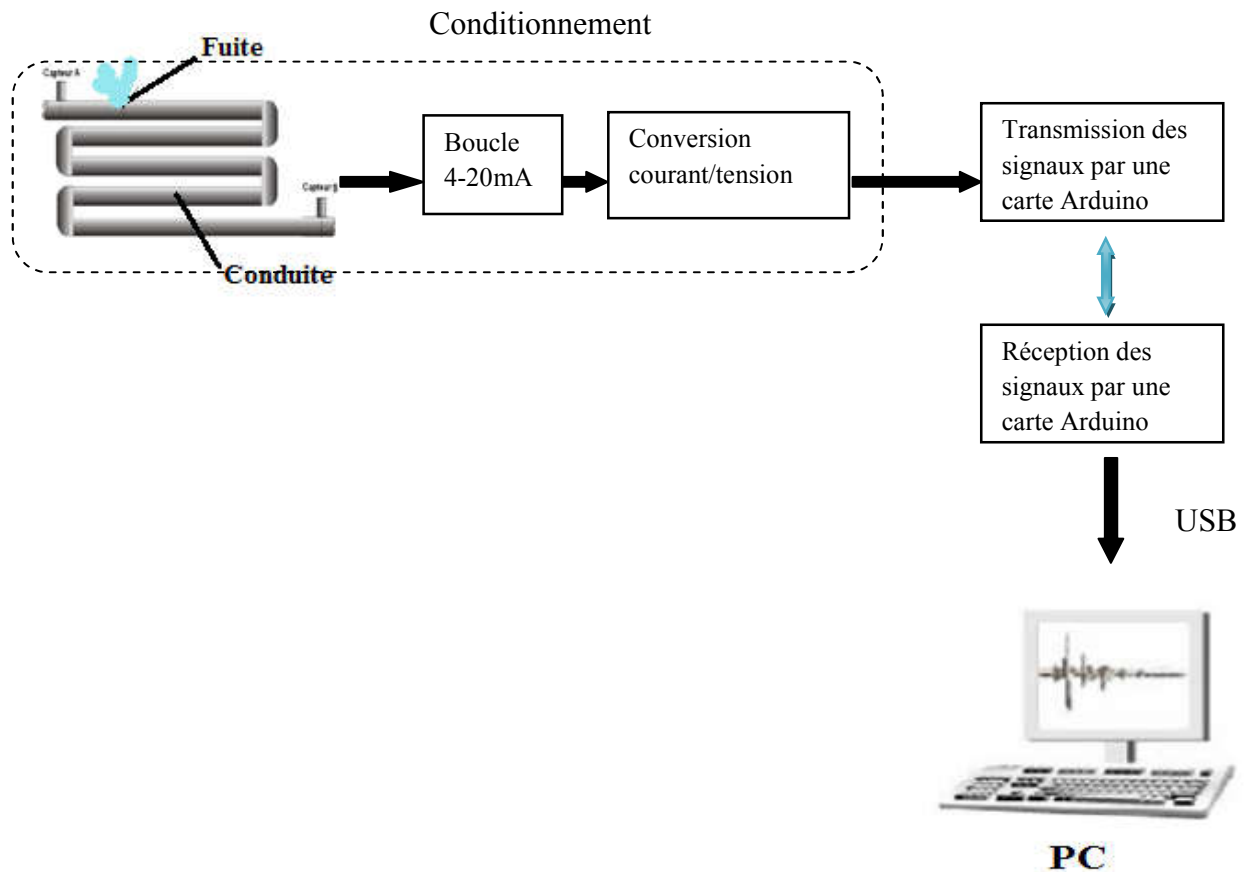


Fig. IV.14. Circuit électrique du système d'acquisition réalisé.

Les signaux obtenus à partir des deux capteurs de pressions ou des transmetteurs sont basé sur des transducteurs, Ces derniers transforment le signal de pression à des signaux électriques.

Les signaux générés par les capteurs vont passer premièrement parla boucle 4-20mA ensuite ils subissent une conversion pour rendre le signal exploitable. La liaison avec le PC est effectuée via le port série avec des cartes Arduino avec leurs Shields. Avant de faire l'enregistrement ou la sauvegarde des données, on doit installer deux logiciels Arduino IDE et LabVIEW. La sauvegarde peut s'effectuer sous plusieurs formats. Nous avons pris 1023 échantillons et un baud rate de 9600.

IV.6. Résultats et discussions

Avec une configuration des blocs LabVIEW d'une fenêtre d'acquisition de 10s, avec un nombre d'échantillons égale à 1023 et un baud rate de 9600 comme indiqué par la **Figure (IV.15)**.

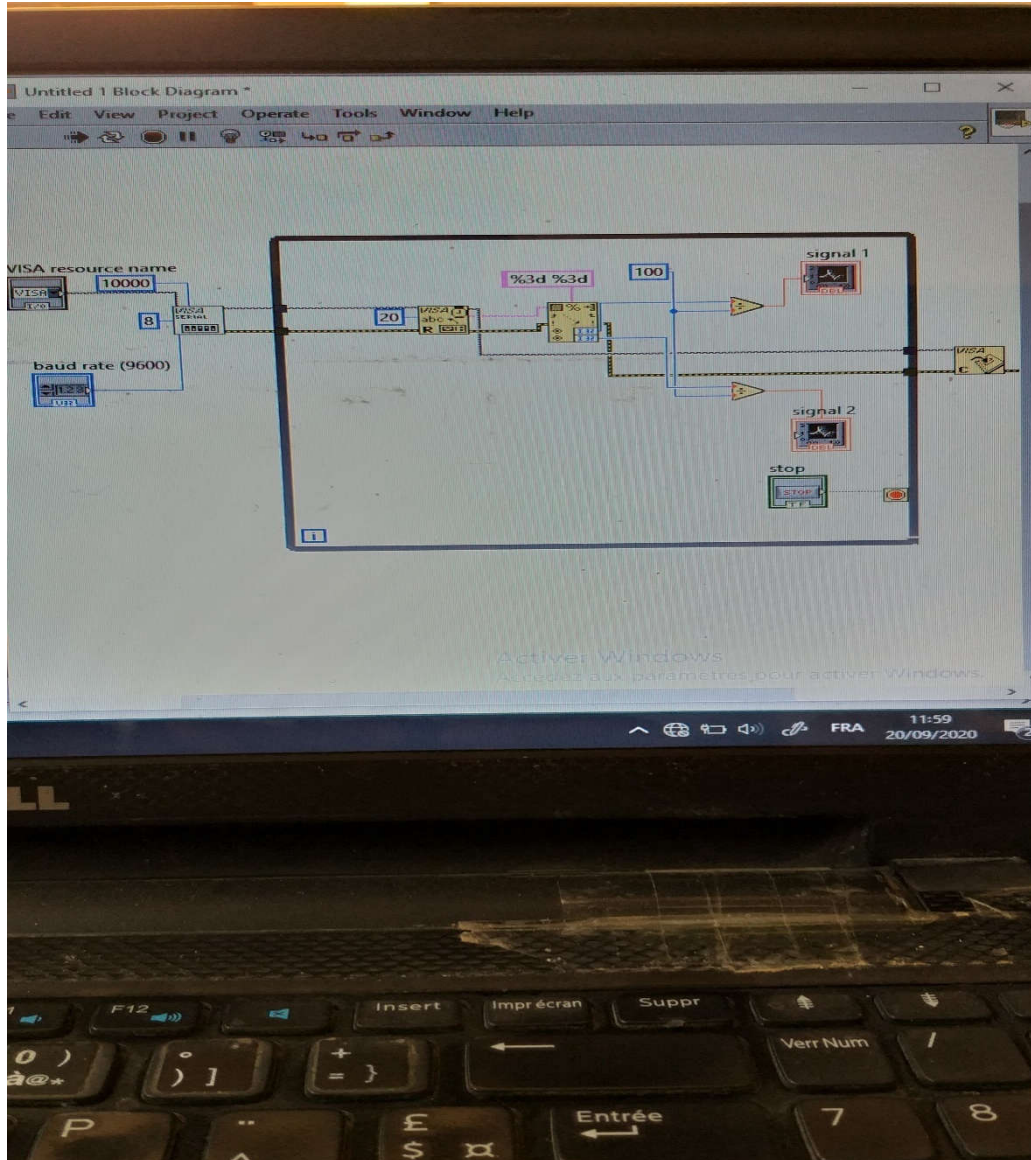


Fig. IV.15. Blocs LabVIEW

Pour s'assurer du bon fonctionnement du système de transmission réception on a utilisé un GBF de fréquence 32500Hz. Plusieurs types de signaux ont été essayés. On a constaté que le système avec un baud rate de 9600 peut faire la transmission avec succès **Figure (IV.16)**.

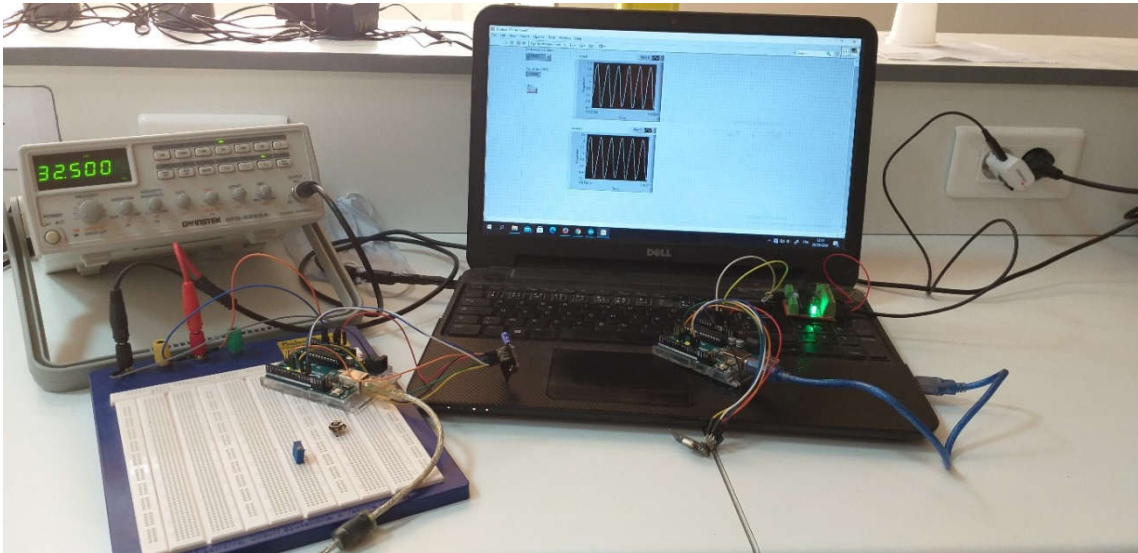


Fig. IV.16. Test avec deux signaux sinusoïdaux.

On a constaté qu'après la réception, les signaux ont gardé leurs amplitudes et leurs fréquences **Figure (IV.17)**.

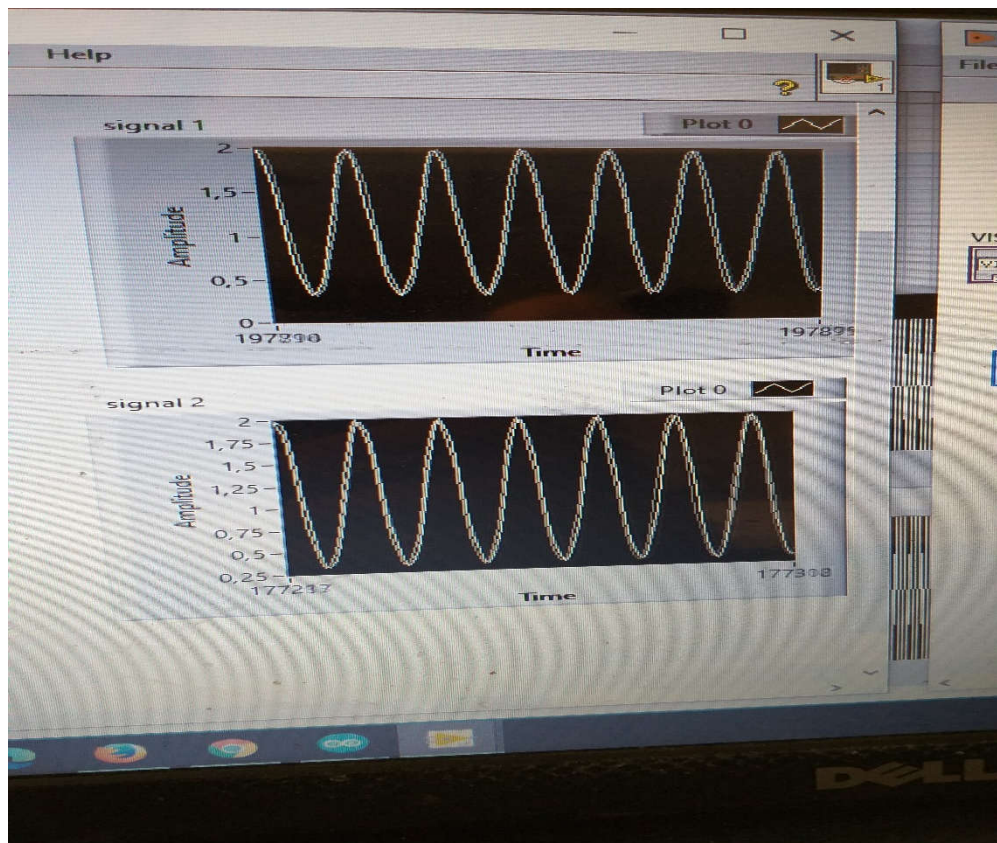


Fig. IV.17. Test avec des signaux sinusoïdaux

Après avoir essayé avec des signaux sinusoïdaux et s'assurer du bon fonctionnement du montage élaboré ont attaqué nos deux entrées analogiques de la carte Arduino utilisée comme émetteur par les signaux des transducteurs et récupérer les des deux signaux par une autre carte Arduino utilisée comme récepteur **Figure (IV.18)**.

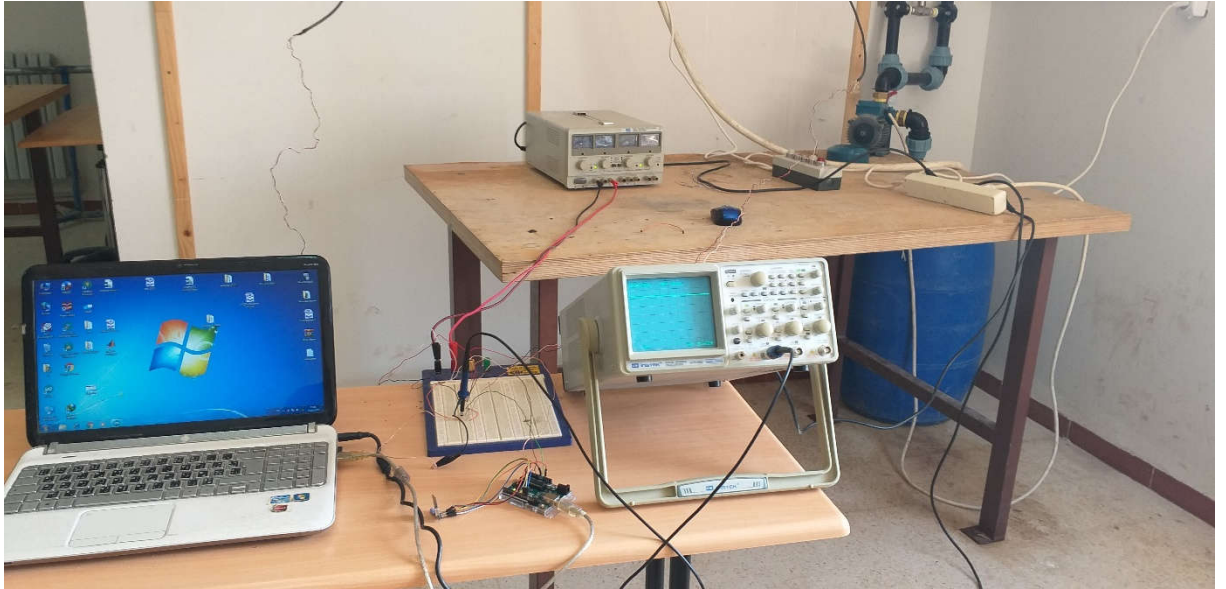


Fig. IV.18. Signaux des transmetteurs visualisés par oscilloscope

Les signaux récupérés par la carte Arduino de réception sont montrés par la **Figure (IV.19 et 20)**.



Fig. IV.19. Signaux transmis par les cartes Arduinos avec une pression P_1



Fig. IV.20. Signaux transmis par les cartes Arduinos avec une pression P_2

En analysant les signaux on constate que les deux signaux se ressemblent et à un moment donné il y a une singularité représentant l'instant où la fuite s'y produit. On remarque également un décalage temporel entre eux. Ce décalage est très important pour la localisation de la fuite par rapport à l'un des capteurs. En comparant les signaux obtenus sur oscilloscope et les signaux récupérés par la carte on trouve qu'ils sont similaires justifiant la bonne récupération des signaux transmis.

IV.7. Conclusion

Afin d'éviter les déplacements des agents de contrôle des réseaux de distribution d'eau et de minimiser les erreurs provoquées par ces agents et minimiser le nombre d'effectifs qui représente des charges pour les responsables des réseaux. Il est judicieux d'utiliser un contrôle efficace à distance pour cela nous avons pensé à utiliser des cartes Arduino et de les exploiter à transmettre et recevoir en mode WIFI les signaux pour pouvoir analyser les fuites qui surviennent sur les conduites des réseaux de distribution d'eau. L'idée est venue à cause des prix dérisoires de ces derniers et qui ne provoquent aucun encombrement. Les tests ont montré l'efficacité de la méthode utilisée.



CONCLUSION

GENERALE



Conclusion générale

Le réseau de distribution d'eau douce ou réseau d'approvisionnement en eau fait partie des réseaux stratégiques dans tous les pays du monde. Ce dernier vise à fournir aux utilisateurs de l'eau propre et sainte. C'est un réseau qui doit être contrôlé vue sa grande importance pour les responsables.

Les réseaux de distribution d'eau nécessitent une maintenance périodique et spécialisée afin de protéger le réseau des facteurs de gaspillage.

Le travail que nous avons élaboré dans ce mémoire est principalement lié à la transmission à distance des signaux fuites dans le réseau de distribution d'eau, afin de contrôler à distance les anomalies qui peuvent survenir sur ces réseaux. Nous avons conçu un système de communication radiofréquence pour recevoir des signaux de fuite en se basant sur des cartes Arduino UNO, et des transducteurs de pression installés sur ces réseaux de distribution. Nous avons utilisé la méthode 4-20mA comme image des grandeurs analogiques des pressions sur le réseau. Cette méthode est très utilisée en industrie à cause de sa fiabilité. Les tests ont montré l'efficacité du système élaboré.

Nous avons divisé le travail en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous avons donné un bref aperçu des différentes technologies sans fil et de leurs avantages, inconvénients et applications.

Dans le deuxième chapitre, nous avons met en évidence la carte Arduino UNO, en commençant par les différents types, l'architecture externe et les étapes d'installation de l'application IDE, et nous avons également donné une explication des deux principales parties liées au fonctionnement. A partir de cette carte (partie matérielle et partie programmation), un aperçu du module NRF24L01 et de sa relation avec l'Arduino est également couverte.

Dans le troisième chapitre, nous avons appris à définir la transmission et la réception à l'aide des cartes Arduino. Nous avons d'abord fait quelques expériences simples avec la carte Arduino via un port série PC et une autre avec le module NRF24L01 afin que les deux cartes communiquaient entre elles.

Le dernier chapitre, est dédié à la partie pratique et à l'analyse des résultats obtenus. Nous avons acquis des informations des capteurs de pression installés sur une conduite

prototype de réseau de distribution d'eau réalisée au niveau du laboratoire dans le but de les transmettre en mode WIFI sur une distance allant jusqu'à un kilomètre.

Comme perspective nous souhaitons contrôler plusieurs fuites à la fois. Voir l'effet des coudes sur l'information transportée. Enfin, nous voulions développer un système de détection et de localisation de fuite basé sur des modèles paramétriques. Autrement dit, estimer les paramètres du réseau par les techniques d'optimisation d'un nouveau modèle de détection et de localisation de fuites dans les réseaux de distribution d'eau potable.



BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques

- [1] : **T, Saymour et A, Shaheen, article** ” History of Wireless Communication”, 15,2 (2011) ,37-42, Université d'État de Minot.
- [2]: A, Goldsmith, livre ”Wireless communications”, la presse de l'Université de Cambridge, 2005.
- [3] : <https://www.slideshare.net/Mrsouhaib/rseau-sans-fil-technologie-wifi>
- [4] : <https://www.c-i-a.com/wireless-communication-technologies-types-avantages/>,
Écrire par [CIA](#) , **Novembre, 2017**.
- [5]: <https://www.elprocus.com/types-of-wireless-communication-applications/>.
- [6]:<https://www.typesnuses.com/different-types-wireless-communication-technologies/>,
December 9, 2019.
- [7]: Mohammed Mohammed Osman El-Zebair Taha, mémoire ”Security of Wi-Fi systems ”, Université de Khartoum, Juine 2006.
- [8]:<https://www.electronicshub.org/wireless-communication-introduction-types-applications/>.
- [9] : Frédéric Nivor, **thèse** ” Architecture de Communication pour les Applications Multimédia Interactives dans les Réseaux Sans Fil ”, l'université de Toulouse.
- [10] : A, BELABDELLI, M, OUKAZ, mémoire ” Dimensionnement D'un Réseau Sans Fil Wifi ”, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen ,2012.
- [11] : N, Muthukumaran, R, Sonya, livre ” Principles of Wireless Communications ”, India, Décembre ,2017. <https://www.researchgate.net/publication/324694254>.
- [12] : DI GALLO Frédéric, document ” Wifi L'essentiel qu'il faut savoir ”, Extraits de source diverses récoltées ,2003.
- [13]: Michael, M, livre ” Beginning Arduino ”, America, 2010.
- [14]: http://creativityprojects.blogspot.com/2013/03/history-of-arduino_4195.html
- [15]:<https://core-electronics.com.au/tutorials/history-of-arduino.html>
- [16] : Ardjani, Amer, Saida, mémoire Master(LMD) ”Mesure et Commande de la température d'une couveuse en mode local et distant ”, (22-27) p, 2018.
- [17] : Document ”carte de développement arduino pdf ”.
- [18] : Jean- Noël, ” livret Arduino en français ”, centre de ressources art sensitif

[19] : Abdoune, Saadi, mémoire Master, "Réalisation d'un système embarqué d'acquisition de données pour l'analyse et la diagnostic d'un système photovoltaïque", Bejaia, (20-21) p, 2016.

[20]: Massimo, Banz, livre "Getting Started with Arduino ", America, 2011.

[21]: <http://science-facile.fr/2018/11/structure-d-un-programme-arduino.html>

[22]:https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-wireless-communicationnrf24l01tutorial/?fbclid=IwAR0Sgv012CRrGFO_eZ_oOvo4mqX50T652IE_EU74bkrtzVE6raLgAmZNpAc

Résumé

Les réseaux de distribution d'eau dans le monde entier souffrent des fuites. Ces dernières sont dues aux mouvements d'agents divers tels que mouvements de sol, les vibrations provoquées par le trafic routier. Pour cela un control permanent est indispensable. Dans ce travail, nous avons utilisé des cartes Arduino pour envoyer et recevoir des signaux en mode wifi afin d'analyser les signaux provenant des transmetteurs de pression pour contrôler à distance les anomalies qui peuvent survenir sur le réseau. Le travail est divisé en deux parties : une partie pratique et une partie programmation, la partie pratique dépend de l'obtention des signaux contenant l'information de fuite et la partie programmation est basée sur l'application d'algorithmes connus dans ce domaine pour connaitre la position exacte de la fuite et par conséquent réduire au maximum la quantité qui se perd.

Mots clés : Fuite, Réseaux de distribution, Détection, Arduino UNO, NRF24L01.

Abstract

Water distribution networks around the world are suffering from leaks. The latter are due to the movements of various agents such as ground movements, vibrations caused by road traffic. For this a permanent control is essential. In this work, we used Arduino boards to send and receive signals in wifi mode in order to analyze the signals coming from the pressure transmitters to remotely control the anomalies that may occur on the network. The work is divided into two parts: a practical part and a programming part, the practical part depends on obtaining the signals containing the leakage information and the programming part is based on the application of algorithms known in this field to know the exact position of the leak and therefore minimize the amount that is lost.

Key words: leakage, distribution networks, detection. Arduino UNO, NRF24L01

ملخص

تعاني شبكات توزيع المياه حول العالم من تسريبات. يعود السبب إلى تحركات عوامل مختلفة مثل الحركات الأرضية والاهتزازات التي تسببها حركة المرور على الطرق. لهذا فإن التحكم الدائم ضروري. في هذا العمل، استخدمنا لوحات لإرسال واستقبال الإشارات لتحليل الإشارات القادمة من أجهزة إرسال الضغط للتحكم عن بُعد في الحالات الشاذة التي قد تحدث على الشبكة. ينقسم العمل إلى جزأين: جزء عملي وجزء برمجي، الجزء العملي يعتمد على الحصول على الإشارات التي تحتوي على معلومات التسرب وجزء البرمجة يعتمد على تطبيق الخوارزميات المعروفة في هذا المجال للتعرف على موضع التسرب بدقة وبالتالي التقليل من كمية المياه المفقودة.

الكلمات المفتاحية : التسرب ، شبكات التوزيع ، الكشف ، أردوينو UNO ، NRF24L01 .