الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique

Université Docteur Yahia Farès de MEDEA

Faculté des sciences et de la technologie

Département du Génie Electrique

Et de L'informatique

Projet de Fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme

Master en Génie Électrique

Spécialité : *Télécommunications*

Thème :

ETUDE ET REALISATION D'UN NŒUD DE CAPTEUR SANS FIL A BASE D'ARDUINO UNO

Proposé et dirigé par :

Mr. BENGHERBIA Billel

Réalisé Par :

Mr. AGHA Baghdad

Mr. RAMLI Mohamed Lamine

Année universitaire 2013-2014

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail.
Tout d'abord je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donneé la santé, la volonté et le courage.
Ensuite, à mon père et ma mère pour leurs soutien et leurs encouragements et qu'aucune dédicace ne pourra compenser leur sacrifice pour mon bien être et mon bonheur.
A mes chers frères HAMZA et YASMINE et ma petite chère ZAHRA que j'estime beaucoup.

A toute les personnes de ma famille.
La famille douali.
A mes amis, en particulier mon collègue du présent projet RAMLI Med Lamine qui n'a jamais manqué de travailler et ceux de la promotion de la 2ème année master systèmes de télécommunications.
A notre encadreur M. BENGHARBIA Billel.
Et à tous ceux qui nous ont soutenus pour l'achèvement de ce projet avec réussite.

AGHA BAGHDAD

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail.

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté et le courage.

Ensuite, à mon père et ma mère pour leurs soutien et leurs encouragements et qu'aucune dédicace ne pourra compenser leur sacrifice pour mon bien être et mon bonheur.

A mes chers frères Anes, Wael et mouad pour lequel j'ai beaucoup d'estimes.

A mes sœur Nesrine et hanene que je lui souhaite une longue vie pleine de joie et de réussite.

A mes oncles, mes tantes et toute ma famille.

A mes amis, en particulier mon collègue du présent projet AGHA Baghdad qui n'a jamais manqué de travailler et ceux de la promotion de la 2ème année master systèmes de télécommunications.

A notre encadreur M. BENGHARBIA Billel.

Et à tous ceux qui nous ont soutenus pour l'achèvement de ce projet avec réussite.

RAMLI Mohamed Lamine

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier nos profonds gratitudes à DIEU le tout puissant.

*Tous Nos remerciement à Monsieur **BENGHERBIA Billel** (encadreur) pour le soutien et l'accompagnement qu'il nous procuré, durant toute la période de recherche de ce projet. Ainsi que mes amis qui m'ont aidés SAIDI Madani Amine et LABOUKH Aboubakre.*

Egalement nous remercions les membres de jury pour leur participation dans le jugement de ce travail, ainsi tous nos professeurs, pour l'aide inconditionnel que nous avons reçu durant toutes les années d'étude à l'université de Médéa.

En fin, nous remercions tous ceux qui ont contribué à notre formation durant 18 ans d'étude.

Merci Encore une autre fois

ملخص:

الهدف من هذا المشروع هو اعداد و انشاء عقدة إستشعار لاسلكية استنادا على المتحكم أردوينو إينو

للتمكين من استقبال درجة الحرارة بواسطة لاقط عادي. و نقل القيمة الى محطة اساسية باستعمال الأداة nRF 24L01.

كلمات مفتاحية: عقدة الاستشعار اللاسلكية , أردوينو إينو,لاقط .....

Résumé :

L'objectif de ce projet est de concevoir et réaliser un nœud de capteur sans fil (RCSF) à base d'Arduino Uno, permettant l'acquisition de la température par un capteur analogique (LM335) et de transmettre la valeur vers une station de base par voie RF en utilisant le nRF24L01.

Les mots clés : nœud de capteur sans fil, capteur, Arduino , nRF ……

Abstract:

The purpose of this project is to design and implement a wireless sensor node based on Arduino Uno. Allowing the acquisition of temperature with an analog sensor (LM335) and transmit the value to a base station using RF channel with the nRF24L01.

Key words: a wireless sensor node, sensor, Arduino, nRF…….

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES ..... **I**

LISTE DES TABLEAUX ..... **II**

LISTE DES ACRONYMES ..... **III**

Introduction général **1**
CHAPITRE I: GENERALITES **2**
1. Introduction 3
2. Les réseaux de capteurs sans fils 3
2.1. Définition 3
2.2. Le nœud de capteur sans fil 3
2.3. Architecture d'un nœud capteur 3
2.4. Modèle d'un nœud 5
2.5. Bilan énergétique d'un nœud sans fil 6
2.6. Architecture de communication d'un RCSF 7
2.7. Facteurs et contraintes de conception des RCSF 8
3. La transmission RF 10
3.1. Définition et principe générale 10
3.2. L'importance de la transmission RF 10
4. Domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil 11
4.1. Applications militaires 11
4.2. Applications liées à la sécurité 11
4.3. Applications environnementales 12
4.4. Applications médicales 13
4.5. Applications écologiques 13
4.6. Applications de traçabilité et de localisation 13
4.7. Applications commerciales 14
5. Conclusion : 15
CHAPITRE II: CONCEPTION DU SYSTEME **16**
1. Introduction : 17
2. Schéma bloc du système a réalisé 17
3. L'Arduino: 18
3.1. Présentation de l'Arduino 18
3.2. Comparaison des modules microcontrôleurs ARDUINO 18
3.3. La carte Arduino Uno 22
3.4. Programmation de la carte Arduino Uno 27
4. Le module RF 28
4.1. Présentation du module nRF24L01 28
4.2. Caractéristiques techniques 28
5. Les capteurs 29
5.1. Définition d'un capteur 29
5.2. Modèle d'un capteur : 29

5.3. Le Capteur LM 335 30
6. Interface et le protocole de communication SPI 30
6.1. La liaison SPI (Serial Peripheral Interface) 30
6.2. Configuration du bus 31
6.3. Protocole du bus SPI 31
6.4. Format du transfert de données 33
7. L'afficheur LCD 16*2 34
8. Conclusion 34
CHAPITRE III: REALISATION ET MISE EN MARCHE 36
1. Introduction 37
2. PROTEUS 37
3. Simulation avec le PROTEUS 39
4. Etude pratique 40
4.1. Partie émission 40
4.2. Partie réception 41
5. Réalisation des circuits imprimés de l'application (PCB) 44
5.1. Présentation du logiciel EAGLE 44
5.2. Développement du PCB et montage des cartes 46
6. Conclusion 47

Conclusion général 48

BIBLIOGRAPHIE 49

LISTE DES FIGURES

FIGURE I.1. *LES COMPOSANTS D'UN NŒUD CAPTEUR.* 4
FIGURE I.2. *SCHEMA D'UN NŒUD D'UN RESEAU DE CAPTEURS SANS FIL.* 6
FIGURE I.3. *ARCHITECTURE DE COMMUNICATION D'UN RCSF.* 8
FIGURE I.4.*APPLICATIONS DES RCSF.* 14
FIGURE II.1. *SCHEMA BLOC DU RESEAU A REALISER.* 17
FIGURE II.2. *DIFFERENTS CARTE ARDUINO .* 18
FIGURE II.3. *LA CARTE ARDUINO UNO.* 19
FIGURE II.4. *LA CARTE ARDUINO LEONARDO.* 19
FIGURE II.5.*LA CARTE ARDUINO DUEMILANOVE .* 20
FIGURE II.6.*LA CARTE ARDUINO NANO.* 20
FIGURE II.7. *LA CARTE ARDUINO MEGA2560.* 20
FIGURE II.8. *LA CARTE ARDUINO DUE.* 21
FIGURE II.9. *LA CARTE ARDUINO MEGA ADK.* 21
FIGURE II.10. *DIFFERENTS ELEMENTS DE LA CARTE ARDUINO UNO.* 23
FIGURE II.11. *LE MICROCONTROLEUR ATMEGA328.* 26
FIGURE II.12. *LOGICIEL ARDUINO.* 27
FIGURE II.13. *LA BARRE DE BOUTONS.* 28
FIGURE II.14. *LE MODULE NRF24L01.* 28
FIGURE II.15. *CAPTEUR.* 29
FIGURE II.16.*LE CAPTEUR LM 335.[20]* 30
FIGURE II.17. *EXEMPLE DE CONFIGURATION DE BUS SPI AVEC UN MAITRE ET PLUSIEURS ESCLAVES.* 31
FIGURE II.18. *TRANSMISSION DE DONNEES ENTRE MAITRE ET ESCLAVE PAR REGISTRES A DECALAGE.* 32
FIGURE II.19. *EXEMPLE D'UNE TRANSMISSION DE DONNEES SPI DE 1 OCTET POUR CPHA=0.* 33
FIGURE II.20. *EXEMPLE D'UNE TRANSMISSION DE DONNEES SPI DE 1 OCTET POUR CPHA=1.* 34
FIGURE II.21. *LCD 16*2.* 34
FIGURE III.1. *INTERFACE UTILISATEUR.* 38
FIGURE III.2. *INTERFACE UTILISATEUR.* 38
FIGURE III.3. *SCHEMA DE SIMULATION AVEC PROTEUS.* 39
FIGURE III.4. *PARTIE EMISSION.* 41
FIGURE III.5. *PARTIE RECEPTION.* 43
FIGURE III.6. *PARTIE EMISSION RECEPTION.* 43
FIGURE III.7.*L'INTERFACE DU LOGICIEL EAGLE* 45
FIGURE III.8.*L'EDITEUR DE SCHEMA .* 45
FIGURE III.9. *L'EDITEUR DE ROUTAGE.* 46
FIGURE III.10. *LE PCB D'ADAPTATION DU CARTE EMISSION ET RECEPTION AVANT SOUDAGE.* 46
FIGURE III.11.*LE PCB DE LA CARTE PRINCIPALE AVEC SES ACCESSOIRES.* 47

LISTE DES TABLEAUX

UNO

Tableau II.1.*Tableau comparatifs des caractéristiques des modules ARDUINO……21*

Tableau II.2.*Modes de transmission SPI……32*

LISTE DES ACRONYMES

UNO

WSN	Wireless Sensor Network
RCSF	Réseau de Capteurs Sans Fil
ADC	Analog to Digital Converters
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service
MCU	Microcontrôleur Unit
MIC	Modulation par Impulsion
USB	Universal Serial Bus
SDA	Serial Data Line
SCL	Serial Clock Line
SS	Slave Select
MOSI	Master Output, Slave Input
MISO	Master Input, Slave Output
SCK	Serial Clock
SPI	Serial Peripheral Interface
I2C	Inter-Integrated Circuit
CPOL	Clock Polarity
CPHA	Clock Phase
LCD	Liquid Crystal Display
PWM	Pulse Width Modulation
ADC	Add Data Memory to ACC with Carry
AVR	Advanced Virtual RISC
I/O	Input Output

Introduction général

Dans la vie courante, l'utilisation des capteurs sans fil est de plus en plus demandée pour la supervision, un réseau de capteurs sans fil est composé d'un ensemble de terminaux ou ce qu'on appelle des nœuds capteurs qui peuvent communiquer via des liaisons radio, sans infrastructure fixe préalable. Le réseau devra fonctionner de façon autonome, sans intervention humaine.

Les nœuds sont généralement de taille réduite, construits à partir des composants pas chers. Ce type de réseau est composé de centaines ou de milliers d'éléments (capteurs), a pour but la collecte de données de l'environnement, leur traitement et leur transmission vers le monde extérieur.

C'est dans ce cadre que s'insère notre projet, qui se base sur l'étude et la réalisation d'un nœud de capteur sans fil à base d'Arduino .

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe à l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne. Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine. Arduino est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions. La carte Arduino repose sur un circuit intégré (appelé également microcontrôleur) associée à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres ; le premier présente des concepts de bases de la transmission RF, des réseaux de capteurs sans fil et leurs applications, ainsi la description générale d'un nœud de capteur sans fil. Le deuxième traite la partie matérielle et les différents composants utilisés dans cette étude, aussi que la conception hardware du système. Tandis que le dernier chapitre décrit l'aspect software ou programmation associée, ainsi que la réalisation expérimentale du nœud de capteur.

UNO

CHAPITRE I:

GENERALITES

UNO

1. Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) c'est une nouvelle technologie qui a surgi après les grands progrès technologiques concernant le développement des capteurs intelligents. Les réseaux de capteurs sans fil sont constitués de nœuds disposant de peu d'énergie avec des capacités limitées de traitement et de transmission.

Dans ce chapitre nous allons présenter l'architecture générale d'un nœud de capteur sans fil, par la suite nous passons en revers les différentes model de nœud de capteurs les plus rencontré en pratique. En fin nous introduisons les facteurs et les contraintes de conception d'un réseau de capteurs sans fil.

2. Les réseaux de capteurs sans fils

2.1. Définition

Un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF) est un ensemble de dispositifs très petits, nommés nœuds capteurs, variant de quelques dizaines d'éléments à plusieurs milliers. Dans ces réseaux, chaque nœud est capable de surveiller son environnement et de réagir en cas de besoin en envoyant l'information collectée à un ou plusieurs points de collecte, à l'aide d'une connexion sans fil. [1]

2.2. Le nœud de capteur sans fil

Un nœud de capteur sans fil est un petit dispositif électronique capable de mesurer une valeur physique environnementale (température, lumière, pression, humidité, vibration, etc.), et de la communiquer à un centre de contrôle via une station de base. Chaque capteur assure les trois principales fonctions de base qui sont : l'acquisition de données, les traitements sur ces données et leurs communications aux stations de bases [2].

2.3. Architecture d'un nœud capteur [3]

Un nœud capteur est composé de plusieurs éléments ou modules correspondant chacun à une tâche particulière d'acquisition, de traitement, ou de transmission de données. Il comprend également une source d'énergie (Figure I.1)

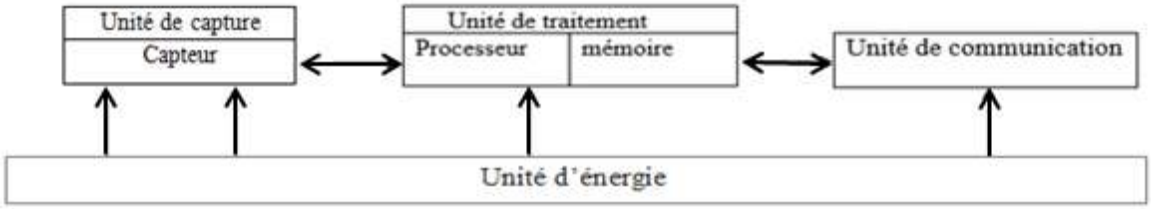


Figure I.1. *Les composants d'un nœud capteur.*

2.3.1. Unité de capture ou d'acquisition (Sensing unit)

Est généralement composée de deux sous-unités : les capteurs et les convertisseurs analogique-numérique (ADCs). Les capteurs obtiennent des mesures numériques sur les paramètres environnementaux et les transforment en signaux analogiques .

Les ADCs convertissent ces signaux analogiques en signaux numériques.

2.3.2. Unité de traitement (Processing unit) :

Les données captées sont communiquées au processeur où elles sont stockées dans la mémoire. Cette unité est composée de deux interfaces, une interface avec l'unité d'acquisition et une autre avec le module de transmission. Elle contrôle les procédures permettant au nœud de collaborer avec les autres nœuds pour réaliser les tâches d'acquisition, et stocke les données collectées.

2.3.3. Unité de communication (Transceiver unit) :

Elle est composée d'un émetteur/récepteur (module radio), elle est responsable de toutes les communications via un support de communication radio qui relie le nœud au réseau.

2.3.4. Unité d'énergie (Power unit) :

C'est la batterie qui, n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La capacité d'énergie limitée au niveau des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les réseaux de capteurs. Les unités d'énergie peuvent être supportées par des photopiles qui permettent de convertir l'énergie lumineuse en courant électrique. [3][4].

Il existe des capteurs qui sont dotés d'autres composants additionnels : les systèmes de localisation.

2.4. Modèle d'un nœud [5]

Selon l'application et la structure choisie, un RCSF peut contenir différents types de nœuds.

2.4.1. Un nœud puits

Est un nœud régulier doté d'un convertisseur série connecté à une seconde unité de communication (GPRS, Wi-Fi, WiMax, etc.). La seconde unité de communication fournit une retransmission transparente des données provenant de nœuds capteurs à un utilisateur final ou d'autres réseaux comme internet.

2.4.2. Un nœud passerelle (ou Gateway)

Est un nœud régulier permettant de relayer le trafic dans le réseau sur le même canal de communication.

Pour optimiser certains paramètres comme la durée de vie du réseau ou le délai de livraison des données, certains travaux se sont focalisés sur l'architecture (plat, hiérarchique, multiniveaux) des RCSF. Ces architectures définissent le plus souvent les rôles joués par les nœuds dans un RCSF. Nous distinguons principalement 3 rôles à savoir :

- *Nœud Source (NS)*

Dont le rôle principal est de détecter les phénomènes physiques ou physiologiques se produisant dans son environnement immédiat afin de les transmettre, directement ou via multiples sauts, à un utilisateur final. C'est en fait un nœud capteur.

- *Nœud Relais (NR)*

Ils ont pour rôle d'agréger et de retransmettre les mesures provenant des NS afin que celles-ci parviennent à un utilisateur final. Dans une architecture à plat, quelques travaux considèrent généralement un NS comme un NR.

Dans une architecture à 2 niveaux, un nœud passerelle joue le rôle de NR pour un ou plusieurs nœuds sources. Dans une telle configuration réseau, la capacité de transmission du NR est supposée généralement plus grande que celle du NS.

- *Nœud Collecteur (NC)*

Ils ont pour rôle de collecter les mesures provenant des nœuds sources et éventuellement de les agréger. Généralement, un "Cluster-Head" ou chef de cluster, est utilisé comme NC dans une architecture hiérarchique où les NS sont partitionnés en plusieurs groupes.

2.5. Bilan énergétique d'un nœud sans fil [6]

Un schéma d'un nœud d'un RCSF est présenté dans la figure I.2 Les flèches de couleurs différentes représentent respectivement le flot de l'énergie générée et de l'énergie réglée en provenance d'un réservoir local, et le flot de signaux de contrôle.

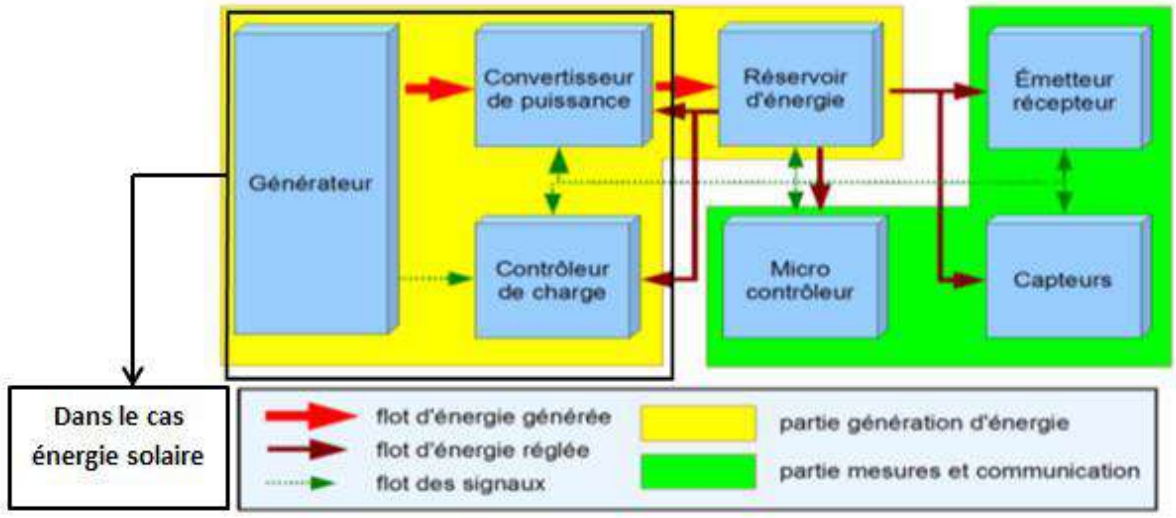


Figure I.2. *Schéma d'un nœud d'un réseau de capteurs sans fil.*

Le schéma peut être devise en deux parties : une responsable de la génération d'énergie et l'autre responsable des mesures, traitement et communication des données. La première partie est composée du générateur qui permet la conversion de l'énergie environnementale en énergie électrique, laquelle est ensuite gérée (convertisseurs AC/DC et DC/DC) par le convertisseur de puissance et transmise a un petit réservoir d'énergie (une capacité ou une batterie).

Un contrôleur de charge de très basse consommation surveille le fonctionnement de ces blocs, pour optimiser le transfert de l'énergie entre le générateur et le réservoir.

La partie mesure et communication est une partie principale qui réalise les taches attribuées au nœud. Elles consistent normalement à faire des mesures avec des capteurs divers, traiter (filtrer, compresser etc.) des données résultantes avec un microcontrôleur et les transmettre en se servant de l'émetteur - récepteur.

Si l'énergie disponible dans l'environnement n'est pas suffisante pour que le nœud entier puisse fonctionner en continu, la partie mesures et communication peut être activée uniquement pendant une très courte période de temps pour minimiser la consommation en énergie.

2.5.1. Partie radiocommunication

La partie radiocommunication (l'émetteur-récepteur), est responsable de la communication entre le nœud et le monde externe. Pour éviter toute liaison physique du nœud il est préférable d'utiliser une transmission sans fil. Il existe deux méthodes principales pour établir une telle connexion : un lien radiofréquence et un lien optique (le plus souvent infrarouge).

La consommation d'énergie de la partie radiocommunication dépend de la distance sur laquelle le nœud va communiquer et la distance dépend de l'architecture du réseau dans lequel se trouve le nœud. Il existe trois principales structures de communication :

- mode infrastructure avec une ou plusieurs stations de base.
- mode ad hoc sans station de base.
- mode mixte ad hoc avec une ou plusieurs stations de base.

2.5.2. Microcontrôleur

Le microcontrôleur va surveiller le système pendant le période de récolte des informations et de leur envoi. Un microcontrôleur lent et simple est préférable. En effet même s'il va nécessiter plus de temps pour faire les calculs il va consommer moins de puissance dans les phases d'attente de réponse des capteurs ou des systèmes de communication. De plus il consommera moins en état de veille.

2.5.3. Capteurs

La consommation de la partie capteurs dépend du type de composants utilisés. De plus il faut considérer le choix entre les capteurs analogiques et les capteurs numériques ou intelligents (avec traitement intégré des signaux). En fait pour l'application dans des nœuds pour WSN, il est très important de rendre la réponse des capteurs insensible aux changements de la température ou de l'humidité. Il faut aussi faire un choix approprié entre la consommation en énergie et le bruit dans les capteurs. Ces deux paramètres sont d'habitude antagonistes pour les capteurs passifs parce que pour obtenir une faible consommation d'énergie il faut que le capteur soit d'impédance élevée, ce qui augmente le bruit et diminue la qualité de la mesure

2.6. Architecture de communication d'un RCSF

Les nœuds capteurs sont habituellement dispersés dans une zone de capture. Chacun de ces nœuds a la possibilité de collectées les données et de les router vers une ou plusieurs stations

de base (sink nodes). Ce dernier est un point de collecte de données capturées. Il peut communiquer les données collectées à l'utilisateur final à travers un réseau de communication, éventuellement l'Internet. L'utilisateur peut à son tour utiliser la station de base comme passerelle, afin de transmettre ses requêtes au réseau. Cette architecture est illustrée dans la figure.[1]

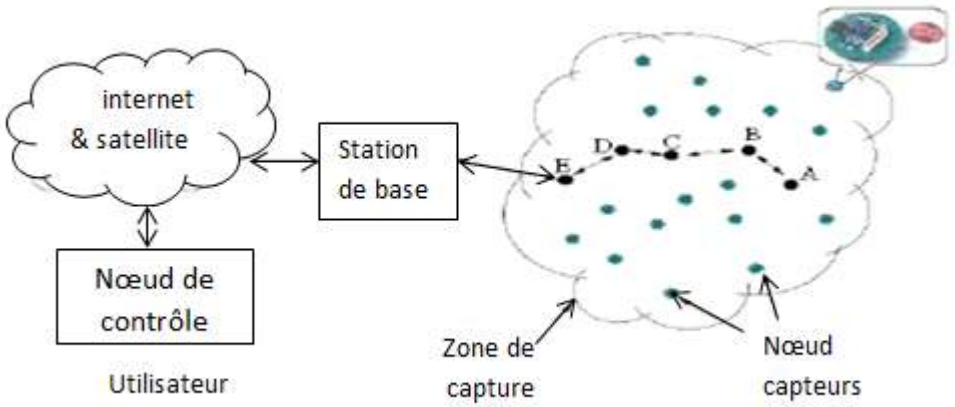


Figure I.3. *Architecture de communication d'un RCSF.*

2.7. Facteurs et contraintes de conception des RCSF [2]

La conception et la réalisation des réseaux de capteurs sans fil sont influencées par Plusieurs paramètres. Ces facteurs servent comme directives pour le développement des algorithmes et protocoles utilisés dans les RCSF.

2.7.1. Durée de vie du réseau

C'est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de déploiement du réseau de l'instant où l'énergie du premier nœud s'épuise. Selon l'application, la durée de vie exigée pour un réseau peut varier entre quelques heures et plusieurs années.

2.7.2. Ressources limitées

En plus de l'énergie, les nœuds capteurs ont aussi une capacité de traitement et de mémoire limitée. En effet, les industriels veulent mettre en œuvre des capteurs simples, petits et peu coûteux.

2.7.3. Bande passante limitée

Afin de minimiser l'énergie consommée lors de transfert de données entre les nœuds, les capteurs opèrent à bas débit. Typiquement, le débit utilisé est de quelques dizaines de kb/s.

Un débit de transmission réduit n'est pas handicapant pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission ne sont pas importantes.

2.7.4. Facteur d'échelle

Le nombre de nœuds déployés pour une application peut atteindre des milliers. Dans ce cas, le réseau doit fonctionner avec des densités de capteurs très grandes. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que la station de base soit équipée de mémoire suffisante pour stocker les informations reçues.

2.7.5. Topologie dynamique

La topologie des réseaux de capteurs peut changer au cours du temps pour les raisons Suivantes :

- Les nœuds capteurs peuvent être déployés dans des environnements hostiles (champ de batail par exemple), la défaillance d'un nœud capteur est, donc très probable.
- Un nœud capteur peut devenir non opérationnel à cause de l'expiration de son énergie.
- Dans certaines applications, les nœuds capteurs et les stations de base sont mobiles.

2.7.6. Agrégation de donnée

Dans les réseaux de capteurs, les données produites par les nœuds capteurs voisins sont très corrélées spatialement et temporellement. Ceci peut engendrer la réception par la station de base d'informations redondantes. Réduire la quantité d'informations redondantes transmises par les capteurs permet de réduire la consommation d'énergie dans le réseau et ainsi d'améliorer sa durée de vie. L'une des techniques utilisée pour réduire la transmission d'informations redondantes est l'agrégation des données.

Avec cette technique, les nœuds intermédiaires agrègent l'information reçue de plusieurs sources. Cette technique est connue aussi sous le nom de fusion de données.

2.7.7. La tolérance aux pannes

Les nœuds peuvent être sujets à des pannes dues à leur fabrication, ou plus souvent à un manque d'énergie. Les interactions externes (chocs, interférences) peuvent aussi être la cause des dysfonctionnements. Afin que les pannes n'affectent pas la tâche première du réseau, il faut évaluer la capacité du réseau à fonctionner sans interruption.

2.7.8. Le coût de fabrication

Les nœuds sont des produits fabriqués en série en raison de leur grand nombre. Il faut prendre en considération le coût de fabrication de ces nœuds lors de la conception du réseau.

2.7.9. La consommation d'énergie

L'économie d'énergie est l'un des principaux problèmes des réseaux de capteurs sans fil. En effet, la recharge des sources d'énergie est souvent trop coûteuse et parfois impossible. Il est nécessaire donc que les capteurs économisent au maximum l'énergie afin de pouvoir fonctionner.

Les réseaux de capteurs opérant suivant un mode de routage par saut, chaque nœud du réseau joue un rôle important dans la transmission de données. Le dysfonctionnement d'un nœud implique un changement dans la topologie et nécessite une réorganisation du réseau [7].

3. La transmission RF

3.1. Définition et principe générale [8]

Le terme « RF » fait généralement référence à des communications de données par voie radio fréquence. Les Réseaux locaux sans fil (WLAN) sont aujourd'hui une forme très populaire de la transmission RF.

Le terminal mobile d'un système GSM est un autre exemple très courant des systèmes RF, ce dernier fait le lien (interface) entre l'utilisateur et le système de téléphonie mobile, il a pour rôle de recueillir les données à envoyer (la parole) et de recevoir les données transmis par le réseau par voie Radio .

Le terminal a également une fonction d'émetteur et de récepteur en même temps. Les technologies dites hertziennes ou bien radio, sont basées sur la radiodiffusion, ou des ondes électromagnétiques portant des signaux à transmettre sont émises dans l'air.

Physiquement, une onde électromagnétique correspond à une variation régulière de la valeur du champ électromagnétique en un point donné. Le nombre de variations par seconde est la fréquence de l'onde (exprimée en Hertz) . Donc la RF est la transmission de données sans fil par des signaux radio numérique ou analogiques à une fréquence particulière .

3.2. L'importance de la transmission RF [9]

Les avantages d'un système de communication RF sont très nombreux, d'un côté, par le simple fait que la transmission de données est sans fil, ceci ne nécessite pas de poser des câbles pour disposer d'une installation ou d'un réseau de transmission.

Ces câbles sont dans la plus part des temps cher, moins flexibles (que la couverture RF) et sont vulnérables aux dommages. Pour les installations nouvelles, mettre en œuvre une infrastructure sans fil peut être plus économique que de faire dérouler des kilomètres de câbles à travers un environnement donnée surtout si la configuration spatiale est complexe.

L'accessibilité à l'information est un autre avantage, dans la mesure où la transmission RF permet aux utilisateurs d'être à la portée du système, ils sont toujours en contact avec leurs données d'une manière plus simple et plus libre. Cet avantage permet d'éviter la rupture de la productivité et les décisions cruciales peuvent être faites et des au point de l'activité. Moins de temps perdu signifie une gestion immédiate et efficace sans ajouter de personnel supplémentaire.

4. Domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil

Les RCSF peuvent avoir beaucoup d'applications (voir figure suivantes). Parmi elles, nous citons :

4.1. Applications militaires

Le déploiement rapide, l'auto-configuration et la tolérance aux pannes des réseaux de capteurs sont des caractéristiques qui font de ce type de réseaux un outil appréciable dans un tel domaine. Déploiement sur un endroit stratégique ou difficile d'accès, afin de surveiller toutes les activités des forces ennemies ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (par la détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations, par exemple) [10].

4.2. Applications liées à la sécurité

Les altérations dans la structure d'un bâtiment, suite à un séisme ou au vieillissement, pourraient être détectées par des capteurs intégrés dans les murs ou dans le béton, sans alimentation électrique ou autres connexions filaires. Les capteurs doivent s'activer périodiquement et peuvent ainsi fonctionner durant des années, voire des décennies. Un réseau de capteurs de mouvements peut constituer un système d'alarme distribué qui servira à détecter les intrusions sur un large secteur [11].

Déconnecter le système ne serait plus aussi simple, puisqu'il n'existe pas de point critique. La surveillance de voies ferrées pour prévenir des accidents avec des animaux et des êtres

humains peut être une application intéressante des réseaux de capteurs. La protection des barrages pourrait être accomplie en y introduisant des capteurs. La détection prompte de fuites d'eau permettrait d'éviter des dégâts. Les êtres humains sont conscients des risques et attaques qui les menacent. Du coup, ils mettent à disposition toutes les ressources humaines et financières nécessaires pour leur sécurité.

Cependant, des failles sont toujours présentes dans les mécanismes de sécurisation appliqués aujourd'hui, sans oublier leur coût très élevé. L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité pourrait diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et à la protection des êtres humains tout en garantissant de meilleurs résultats [11]

4.3. Applications environnementales

Des thermo-capteurs dispersés à partir d'un avion sur une forêt peuvent signaler un éventuel début d'incendie dans le champ de captage; ce qui permettra une meilleure efficacité pour la lutte contre les feux de forêt. Dans les champs agricoles, les capteurs peuvent être semés avec les graines. Ainsi, les zones sèches seront facilement identifiées et l'irrigation sera donc plus efficace. Sur les sites industriels, les centrales nucléaires ou dans les pétroliers, des capteurs peuvent être déployés pour détecter des fuites de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs, pétrole, etc.) et alerter les utilisateurs dans un délai suffisamment court pour permettre une intervention efficace. Une grande quantité de capteurs peut être déployée en forêt ou dans un environnement de conservation de la faune afin de recueillir des informations diverses sur l'état du milieu naturel et sur les comportements de déplacement.

Par exemple, l'université de Pise en Italie a réalisé des réseaux de capteurs pour le contrôle des parcs naturels (feux, animaux,..). Il est ainsi possible "d'observer", sans déranger, des espèces animales difficiles à étudier dans leur environnement naturel et de proposer des solutions plus efficaces pour la conservation de la faune. Les éventuelles conséquences de la dispersion en masse des micro-capteurs dans l'environnement ont soulevé plusieurs inquiétudes. En effet, chaque micro-capteur est doté d'une batterie qui contient des métaux nocifs. Néanmoins, le déploiement d'un million de capteurs de 1 millimètre cube chacun ne représente qu'un volume total d'un litre. Même si tout ce volume était constitué de batteries, cela n'aurait pas des répercussions désastreuses sur l'environnement.

Dans les immeubles, le système de climatisation peut être conçu en intégrant plusieurs micro-capteurs dans les tuiles du plancher et les meubles. Ainsi, La climatisation pourra être déclenchée seulement aux endroits où il y a des personnes présentes et seulement si c'est nécessaire. Le système distribué pourra aussi maintenir une température homogène dans les pièces. Utilisée à grande échelle, une telle application permettrait de réduire la demande mondiale en énergie réduisant du même coup les gaz à effet de serre. Rien que pour les États-Unis, on estime cette économie à 55 milliards de dollars par an avec une diminution de 35 millions de tonnes des émissions de carbone dans l'air. Ainsi, dans un contexte mondial où le réchauffement de la planète devient une préoccupation grandissante, une telle conséquence environnementale serait un pas dans la bonne direction [10].

4.4. Applications médicales

Surveillance permanente des patients et une possibilité de collecter des informations physiologiques de meilleure qualité facilitant ainsi le diagnostic de maladies grâce à des micro-capteurs qui pourront être ingères ou implantés sous la peau.

- les micros-cameras qui peuvent être ingérées et sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain,
- la création d'une rétine artificielle composée d'une centaine de micro-capteurs pour améliorer la vision de l'œil [11].

4.5. Applications écologiques

L'intégration de plusieurs micro-capteurs dans le système de climatisation et de chauffage des immeubles. Ainsi, la climatisation ou le chauffage ne sont déclenches qu'aux endroits où il y a des personnes présentes et seulement si c'est nécessaire. Le système distribué peut aussi maintenir une température homogène dans les pièces. Utilisée à grande échelle, une telle application permettrait probablement de réduire la demande mondiale en énergie [2].

4.6. Applications de traçabilité et de localisation

Suite à une avalanche il est nécessaire de localiser les victimes enterrées sous la neige en équipant les personnes susceptibles de se trouver dans des zones à risque par des capteurs. Ainsi, les ´équipes de sauvetage peuvent localiser plus facilement les victimes. Contrairement

aux solutions de traçabilité et de localisation basées sur le système de GPS (Global Positionning System), les réseaux de capteurs peuvent être très utiles dans des endroits clos comme les mines par exemple.[11] [2]

4.7. Applications commerciales

Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. Il devient alors possible pour un client qui attend la réception d'un paquet, d'avoir un avis de livraison en temps réel et de connaître la position actuelle du paquet. Pour les entreprises manufacturières, les réseaux de capteurs permettront de suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré [11].

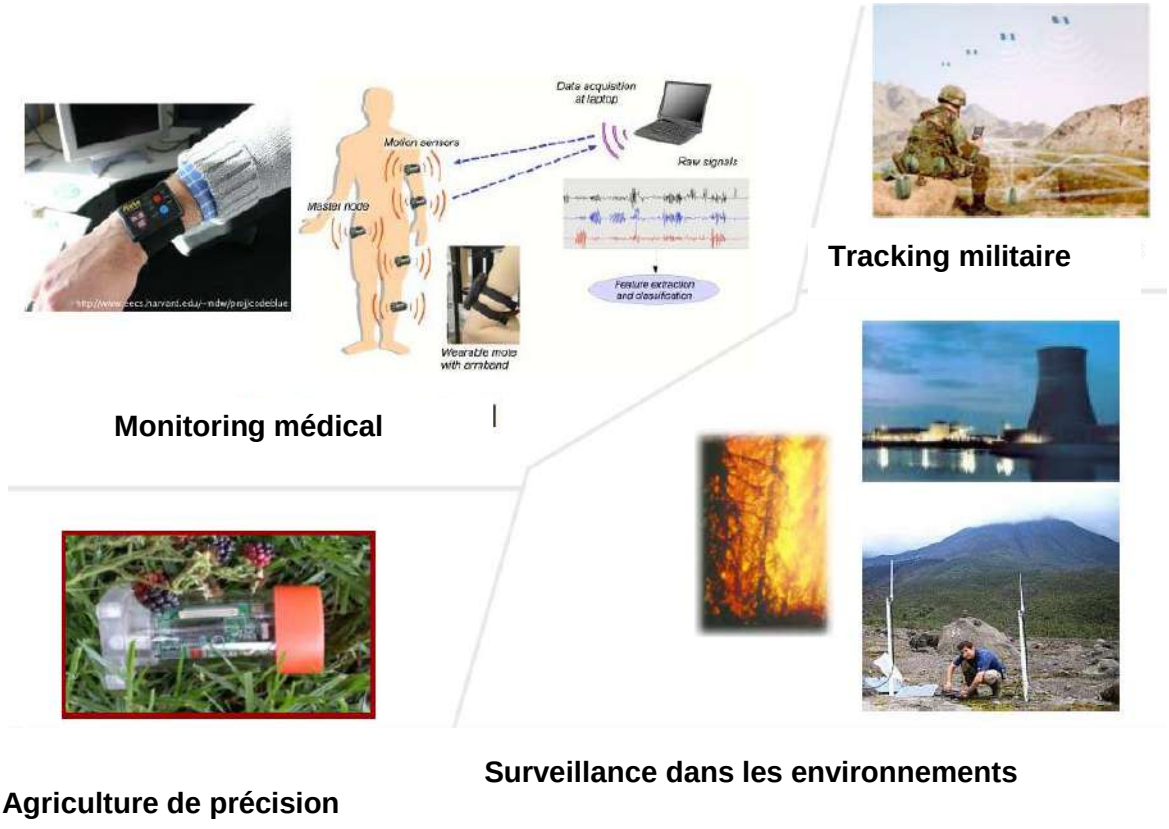


Figure I.4.*Applications des RCSF*.

5. Conclusion :

Les réseaux de capteurs sans fil présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Cet intérêt vient d'un part, La diversité actuelle des solutions RF proposées dans le commerce, Et d'autre part de la diversité et la simplicité des systèmes de traitement (Microcontrôleurs simple et puissant).

Ceci , nécessite de la part du concepteur une étude approfondie lors de la mise au point d'un système de nœuds de capteur sans fil, afin de satisfaire les critères de fiabilité, de couts, de sécurité et autres.

UNO

CHAPITRE II:

CONCEPTION DU SYSTEME

UNO

1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter la conception d'un nœud de capteur sans fil, et la mise au point d'un réseau de transmission de données par voie RF . Il servira comme plateforme pour un petit réseau de capteur sans fil (RCSF), notre nœud est réalisé autour d'un module RF de type nRF24L01 et une carte de type Arduino UNO, ces modules ont la particularité d'être simple à utiliser et le coût réduit de ce type de module. Ce réseau à réaliser est d'une portée moyenne (100 m), d'un faible encombrement et d'une consommation d'énergie très réduite.

2. Schéma bloc du système a réalisé

La figure suivante décrit le schéma bloc du réseau que nous nous proposons de réaliser. Nous avons adopté une structure très simple qui peut être amélioré e par la suite selon les besoins et les applications visées. Elle est constituée par un module terminal (End Device) qui sera relié à un ou plusieurs capteurs (assurant l'acquisition et la numérisation) et un module coordinateur (Coordinator). Les deux modules assurent les fonctions de transmissions/réceptions.

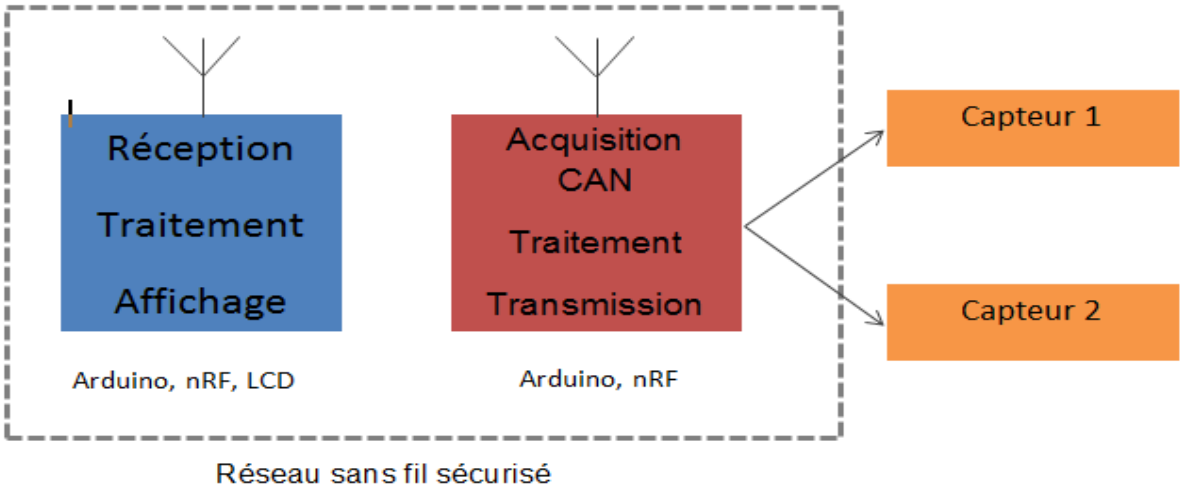


Figure II.1. *Schéma bloc du réseau à réaliser.*

3. L'Arduino:

3.1. *Présentation de l'Arduino*

L'Arduino est une plateforme open source d'électronique programmée qui est basée sur une carte à microcontrôleur et un logiciel. Plus simplement, on peut dire que l'Arduino est un module électronique, doté d'un microcontrôleur programmable. Il peut être utilisé pour développer des objets interactifs, munis d'interrupteurs ou de capteurs, et peut contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou toutes autres sorties matérielles.

Le principe de fonctionnement est simple:

1. On réalise le programme sur un ordinateur.
2. On connecte l'ordinateur à l'Arduino via une prise USB.
3. On envoie le programme sur l'Arduino.
4. L'Arduino exécute enfin le programme de manière autonome [12].



Figure II.2. *Différents carte Arduino .*

3.2. *Comparaison des modules microcontrôleurs ARDUINO [13]*

Une multitude de cartes ont été produites depuis la première Serial ARDUINO, les plus connus sont :

3.2.1. *La carte ARDUINO UNO*

L'Arduino Uno est basé sur un ATmega328. Il a 14 broches numériques d'entrée/sortie, 6 entrées analogiques, une horloge 16Mhz, un jack d'alimentation et une connexion USB. Il contient tout le nécessaire au microcontrôleur, il suffit de le connecter via USB ou de l'alimenter pour le lancer.



Figure II.3. *La carte ARDUINO UNO.*

3.2.2. *La carte ARDUINO LEONARDO*

Basé sur un ATmega32u4, l'Arduino Leonardo possède 20 branches numériques d'entrée/sortie (7 peuvent être utilisées comme PWM, et 12 comme entrées analogiques), une horloge 16Mhz, une connexion micro USB, et un Jack d'alimentation. Il diffère des autres modèles par sa communication USB, lui permettant d'apparaître comme un clavier ou une souris à un ordinateur connecté.

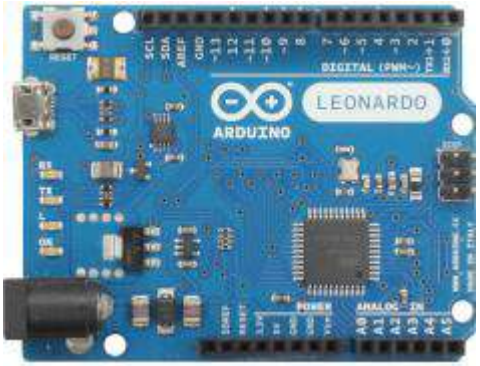


Figure II.4. *La carte ARDUINO LEONARDO.*

3.2.3. *La carte ARDUINO Duemilanove*

La Duemilanove bénéficie de 14 broches Entrées/Sortie, 6 entrées analogiques, une connexion USB et une alimentation Jack. Elle est basée sur un ATmega328 et est également prête à l'utilisation, nécessitant uniquement d'être connecté en USB à un ordinateur, ou d'être alimentée.

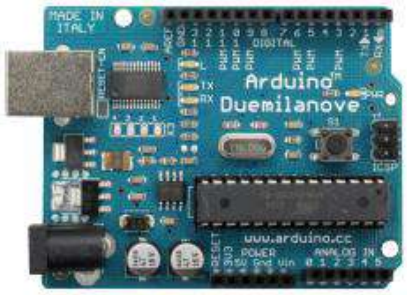


Figure II.5.*La carte ARDUINO Duemilanove* **.**

3.2.4. *La carte ARDUINO NANO*

La plus petite version de l'Arduino (43x18 mm) n'en est pas la moins complète. Ses fonctionnalités sont quasiment les mêmes que celles de la Duemilanove. Pour pouvoir réduire la taille, il n'y a pas d'alimentation Jack disponible, mais uniquement un mini USB.

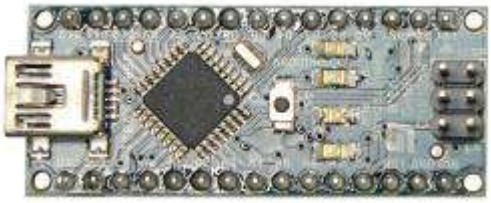


Figure II.6.*La carte ARDUINO NANO.*

3.2.5. *La carte ARDUINO MEGA2560*

Le Mega2560 est une amélioration du Mega qu'il a fini par remplacer. Il est basé sur un ATmega2560, possède 54 entrées/sorties en numériques, 16 entrées analogiques, une horloge 16Mhz, une alimentation jack et une connexion USB. Il est compatible avec les shields pour Duemilanove.



Figure II.7. *La carte ARDUINO MEGA2560.*

3.2.6. *La carte ARDUINO DUE*

L'Arduino Due est une évolution du MEGA2560. Utilisant un Atmel SAM3X8E, il est le premier module Arduino basé sur une architecture 32 bits ARM et tournant à 84Mhz. Précaution à prendre : contrairement aux autres modules, l'Arduino Due fonctionne à 3,3V. 5V pourrait endommager la carte.



Figure II.8. *La carte ARDUINO DUE.*

3.2.7. *La carte ARDUINO MEGA ADK*

L'ADK est basée sur la Mega2560. Elle utilise l'ATmega2560. Elle possède une interface hôte USB permettant de se connecter au mobile basé sur Android.



Figure II.9. *La carte ARDUINO MEGA ADK.*

Tableau II.1.*Tableau comparatifs des caractéristiques des modules ARDUINO.*

MODULE	Processeur	CPU	SRAM	FLASH	EEPROM	Broches An. Entrée	Broches Num. ES/PWM
UNO	ATmega328	16 Mhz	2 kb	32 kb	1 kb	6	14/6
LEONARDO	ATmega32u4	16 Mhz	2.5 kb	32 kb	1 kb	12	20/7
DUEMILANOVE	ATmega328	16 Mhz	2 kb	32 kb	1 kb	6	14/6
NANO	ATmega328	16 Mhz	2 kb	32 kb	1 kb	8	14/6
MEGA2560	ATmega2560	16 Mhz	8 kb	256 kb	4 kb	16	54/14
DUE	AT91SAM3X8E	84 Mhz	96 kb	512 kb	-	12	54/12
MEGA ADK	ATmega2560	16 Mhz	8 kb	256 kb	4 kb	16	54/14

- Les principaux avantages du système Arduino sont :
  - Matériel peu onéreux : Les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plateformes de développement. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, et même les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 25 €.
  - Matériel Open source et extensible : Les schémas des modules sont publiés sous une licence Creative Commons, et il est possible de réaliser nos propres versions des cartes Arduino, en les complétant et en les améliorant.
  - Logiciel gratuit et Open Source: Le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmeurs expérimentés. Le langage peut être aussi étendu à l'aide de librairies C++.
  - Logiciel multi-plateforme : Le logiciel Arduino, écrit en Java, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux.

    Modules « shield » : Cartes supplémentaires se connectant sur le module Arduino pour augmenter les possibilités : afficheur graphique couleur, interface ethernet, GPS, etc...[14]

3.3. ***La carte Arduino Uno [15]***

3.3.1. *Introduction*

Il existe plusieurs types de cartes Arduino. La carte Arduino Uno est une des versions majeures des cartes Arduino.

Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATMega328. Le microcontrôleur ATMega328 est un microcontrôleur 8 bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C. L'intérêt principal des cartes ARDUINO (d'autres modèles existent) est leur facilité de mise en œuvre. ARDUINO fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source. Le chargement du programme dans la mémoire du microcontrôleur se fait de façon très simple par port USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties courantes : gestion des E/S TOR, gestion des convertisseurs ADC, génération de signaux PWM, exploitation de bus TWI/I2C, ...

3.3.2. *Présentation*

Il s'agit d'une carte au format « standard » Arduino c'est-à-dire environ 52 mm sur 65 mm.

Deux rangées de connecteurs, situées de part et d'autre de la carte, permettent la connexion des composants extérieurs ou des modules shields, au format Arduino, il est possible d'enficher directement ces derniers dans la carte de base, sur plusieurs niveaux si nécessaire.

- *Différents éléments de la carte Arduino Uno*

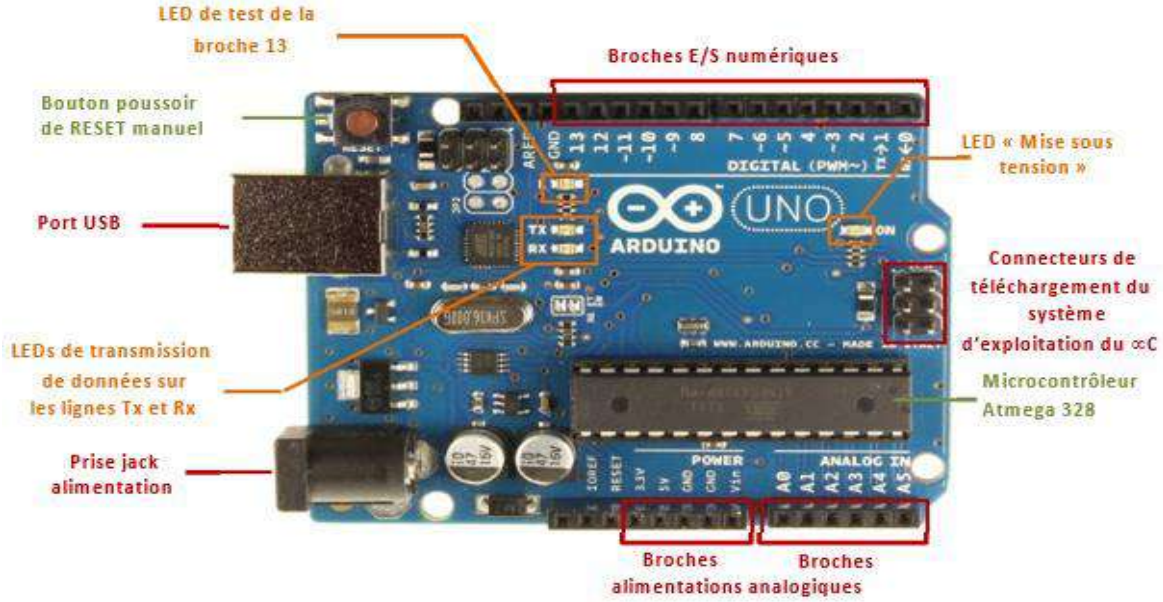


Figure II.10. *Différents éléments de la carte Arduino Uno.*

- Caractéristiques de la carte Arduino uno :
  - Microcontrôleur : ATmega328
  - Tension d'alimentation interne : 5 V
  - Tension d'alimentation (recommandée) : 7 à 12 V.
  - Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 sorties PWM
  - Entrées analogiques : 6
  - Courant max par broches E/S : 40 mA
  - Courant max sur sortie 3,3V : 50mA
  - Mémoire Flash 32 kb dont 0.5 kb utilisée par le bootloader
  - Mémoire SRAM 2 kb
  - mémoire EEPROM 1 kb
  - Fréquence horloge : 16 MHz
  - Dimensions : 68.6mm x 53.3mm

3.3.3. *L'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.

3.3.4. *Les entrées/sorties*

La carte « Arduino Uno » dispose de 14 E/S numériques et de 6 entrées analogiques.

- *Entrées/sorties numériques :*

Chacune des 14 broches numériques (repérées 0 à 13) peut être utilisée en entrée (input) ou en sortie (output) sous le contrôle du programme. Le sens de fonctionnement pouvant même changer de manière dynamique pendant son exécution.

Elles fonctionnent en logique TTL (0V-5V) ; chacune pouvant fournir (source) ou recevoir un courant maximal de 40 mA et dispose si besoin est d'une résistance interne de 'pull-up'.

- *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. [12]

3.3.5. *Le microcontrôleur ATMega 328 [16]*

Le microcontrôleur utilisé sur la carte Arduino UNO est un microcontrôleur ATMega328. C'est un microcontrôleur ATMEL de la famille AVR 8bits.

- Les principales caractéristiques sont :

- FLASH = mémoire programme de 32Ko.
- SRAM = données (volatiles) 2Ko.
- EEPROM = données (non volatiles) 1Ko.
- Digital I/O (entrées-sorties Tout Ou Rien) =3 ports PortB, PortC, PortD (soit 23 broches en tout I/O).
- Timers/Counters : Timer0 et Timer2 (comptage 8 bits), Timer1 (comptage 16bits) Chaque timer peut être utilisé pour générer deux signaux PWM. (6 broches OCxA/OCxB).
- Plusieurs broches multi-fonctions *:* certaines broches peuvent avoir plusieurs fonctions différentes choisies par programmation.
- PWM = 6 broches OC0A(PD6), OC0B(PD5), 0C1A(PB1), OC1B(PB3), OC2A(PB3),OC2B(PD3) .
- Analog to Digital Converter (résolution 10bits) = 6 entrées multiplexées ADC0(PC0) à ADC5(PC5).
- Gestion bus I2C (TWI Two Wire Interface) = le bus est exploité via les broches SDA(PC5)/SCL(PC4).
- Port série (USART) = émission/réception série via les broches TXD(PD1)/RXD(PD0).
- Comparateur Analogique = broches AIN0(PD6) et AIN1 (PD7) peut déclencher interruption.
- Gestion d'interruptions (24 sources possibles (cf interrupt vectors)) : en résumé :
    - Interruptions liées aux entrées INT0 (PD2) et INT1 (PD3).
    - Interruptions sur changement d'état des broches PCINT0 à PCINT23.
    - Interruptions liées aux Timers 0, 1 et 2 (plusieurs causes configurables).
    - Interruption liée au comparateur analogique.
    - Interruption de fin de conversion ADC.
    - Interruptions du port série USART.

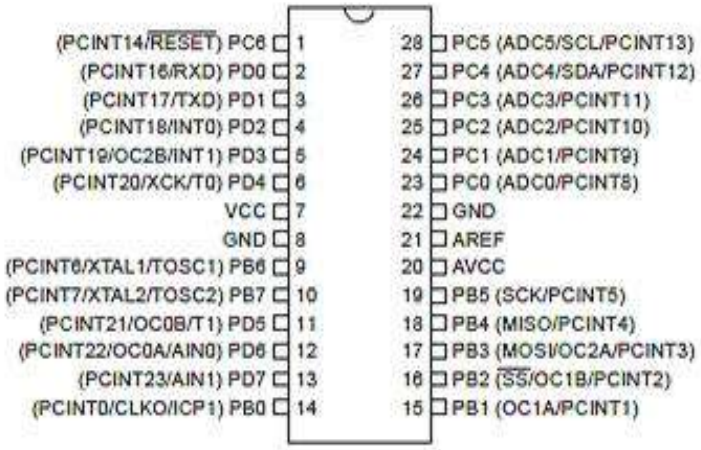


Figure II.11. *Le microcontrôleur ATMega328.*

3.3.6. *L'interface de Communication :*

La carte « Arduino Uno » a de nombreuses possibilités de communications avec l'extérieur.

L'Atmega328 possède une interface de communication série UART accessible, grâce aux broches numériques 0 (Rx) et 1 (Tx). D'autre part elle supporte le bus I2C accessible, grâce aux broches analogiques 4 (SDA) et 5 (SCL) et la liaison série synchrone SPI grâce aux broches numériques 10 (SS) ,11 (MOSI), 12(MISO) et 13 (SCK).[12]

3.3.7. *Reset*

A la mise sous tension un reset automatique permet au programme contenu en mémoire du microcontrôleur de démarrer automatiquement dès que la carte Arduino est alimentée.

La carte « Arduino Uno » est également équipée d'un bouton poussoir de reset manuel. Un appui sur celui-ci permet de relancer l'exécution d'un programme si nécessaire, soit parce qu'il s'est « planté » soit tout simplement parce que l'on souhaite le faire repartir de son début.[12]

3.3.8. *Protection de surintensité USB :*

Par mesure de sécurité pour l'ordinateur auquel sera relié l'Arduino, un fusible réarmable ou « Polyfuse » est présent sur la connexion d'alimentation 5 V de la prise USB. Toute consommation supérieure à 500 mA, provoque le déclenchement de ce fusible, protégeant ainsi le port USB de l'ordinateur auquel la carte est reliée. Le fusible étant de type réarmable, il retrouvera son état normal quelques secondes après que la consommation excessive aura cessée.[12]

3.4. *Programmation de la carte Arduino Uno [15]*

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, libre et multi-plateformes, servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware et le programme au travers de la liaison USB. Le langage de programmation utilisé est un mélange de C et de C++, restreint et adapté aux possibilités de la carte.

Le logiciel Arduino a pour fonctions principales :

- de pouvoir écrire et compiler des programmes pour la carte Arduino ;
- de se connecter avec la carte Arduino pour y transférer les programmes ;
- de communiquer avec la carte Arduino.

Pour ouvrir l'IDE d'Arduino, il faut utiliser l'icône : 

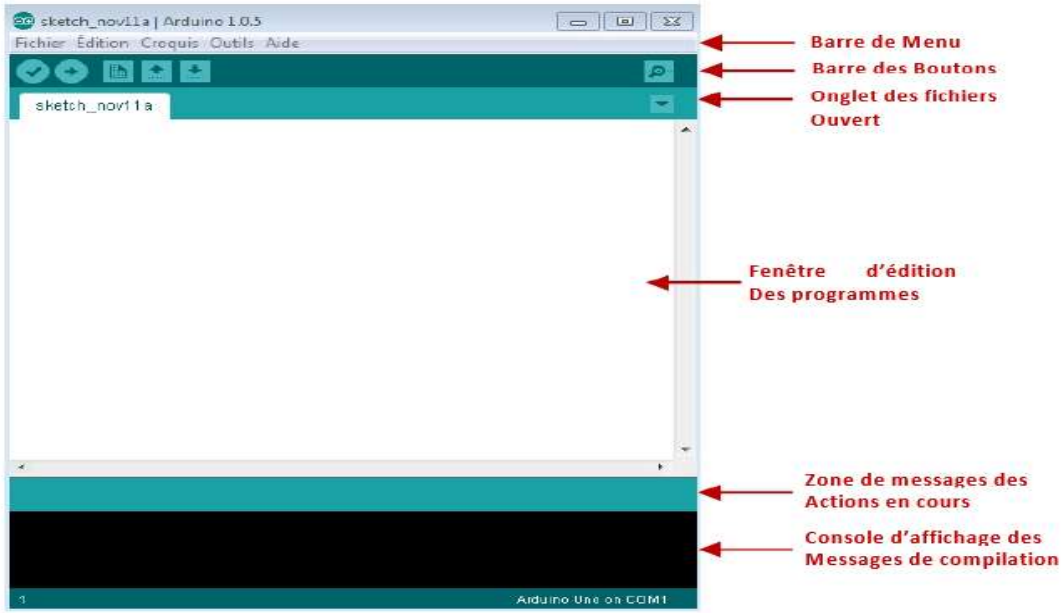


Figure II.12. *Logiciel Arduino.*

La « Barre de Boutons » qui donne un accès direct aux fonctions essentielles du logiciel. Les différents boutons sont :

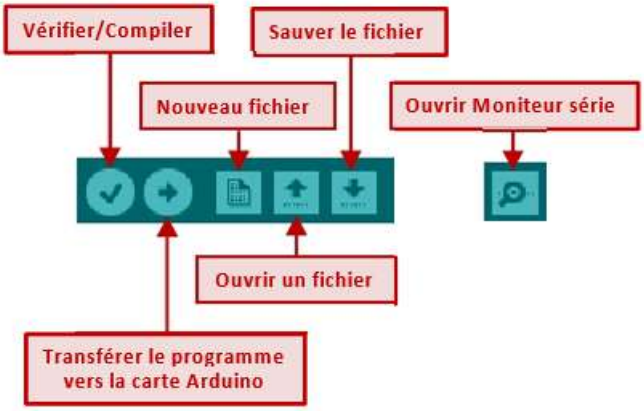


Figure II.13. *La Barre de Boutons.*

4. Le module RF [17]

4.1. *Présentation du module nRF24L01*

Le nRF24L01 est un module radio transmetteur (à la fois récepteur et émetteur), sur une porteuse 2.4GHz avec un protocole intégré de Nordic Semiconductor nommé "ShockBurst".

Il est conçu pour opérer sur la bande de fréquence de 2,4 à 2,4835 GHz. Le nRF24L01 est un module hautement intégré, ultra faible puissance (Ultra Law Power). Le taux de transfert de données sans fil que la nRF24L01 peut supporter et configurable jusqu'à 2Mb/s. Ce taux de fait de cette puce un composant tout désigné pour les projets à basse énergie.

Elle possède différents modes de fonctionnement dont un mode "relai automatique de données".



Figure II.14. *Le module nRF24L01.*

4.2. *Caractéristiques techniques*

- jusqu'à 2Mb/s sur le débit de données
- Consommation en émission à 0 dBm de 11.3 mA.

• Consommation en réception à 2 Mb/s de 12.3 mA.
• 900nA dans la mise hors tension
• 22µA en mode veille
• Le régulateur de tension intégré
• Gamme alimentation entre 1.9 to 3.6V.
• Manipulation automatique de paquets.

5. Les capteurs

5.1. *Définition d'un capteur*

Un capteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique d'entrée appelée mesurande, en une grandeur de nature électrique.[18]

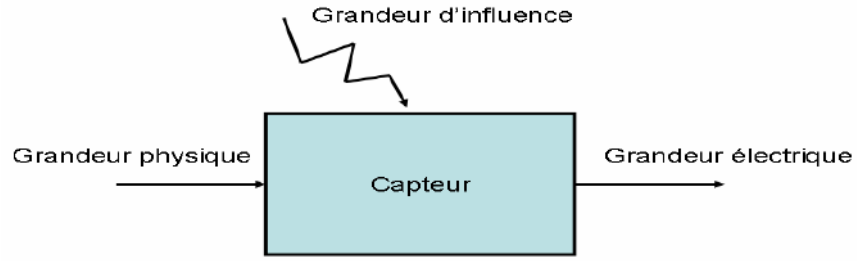


Figure II.15. *Capteur.*

La grandeur physique à mesurer est désignée comme le mesurande. La grandeur électrique est soit un courant ou une tension. Le capteur peut être vu comme une boîte noire ayant comme entrée un mesurande et comme sortie une tension ou un courant électrique.[19]

5.2. *Modèle d'un capteur :*

Du point de vue électrique, deux types de capteur existent. Le premier type est dit capteur passif. Il s'agit de capteur dont la grandeur de sortie est une variation résistance ou une impédance. Il constitue des éléments passifs d'un circuit électrique. Ce circuit a pour rôle de leur apporter une énergie pour convertir la variation d'impédance en une variation de tension ou de courant. Le modèle électrique équivalent est celui d'un dipôle dont l'impédance. Equivalente varie en fonction du mesurande. Le circuit porte le nom de conditionneur.

A l'inverse les capteurs actifs fournissent en sortie une tension ou un courant. Il prélève une partie de l'énergie utilisée par la grandeur physique à mesurer pour la transformée en

énergie électrique. Le modèle électrique de ce type de capteur que l'on nomme aussi transducteur est un générateur équivalent soit de Thévenin pour les tensions, soit de Norton pour les courants.[19]

5.3. *Le Capteur LM 335*

Le LM335 est un capteur à circuit intégré qui peut être utilisé pour mesurer la température avec un signal électrique proportionnel à la température (en K).

0°C = 273.15 °K T(°K) = t(°C) + 273.15 °K Degré Kelvin °C Degré Celsius

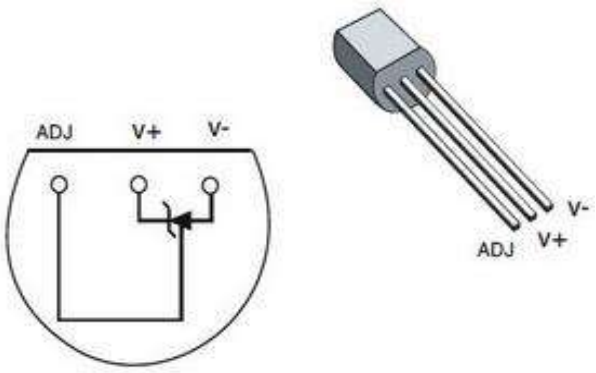


Figure II.16.*Le capteur LM 335.[20]*

6. Interface et le protocole de communication SPI

6.1. *La liaison SPI (Serial Peripheral Interface) [15]*

La liaison SPI (Serial Peripheral Interface) est un bus pour la transmission synchrone de données « série » entre un maître et un ou plusieurs esclaves (en théorie, il n'y a pas de limitations dans le nombre d'esclaves). La transmission a lieu en Full Duplex, c'est-à-dire que les données circulent simultanément dans les deux sens. Le maître génère l'horloge et initialise une transmission de données en sélectionnant l'esclave avec qui il veut communiquer.

Chaque esclave est adressé par le maître par une ligne individuelle SS (Slave Select) et n'est actif que lorsqu'il est sélectionné.

Le bus SPI est composé de deux lignes de signal et deux lignes de données:

· Slave Select (SS).

· Horloge (SCK).

· Master Output, Slave Input (MOSI).

· Master Input, Slave Output (MISO).

Toutes ces lignes sont unidirectionnelles.

6.2. ***Configuration du bus [21]***

6.2.1. *SCK (Horloge)*

L'horloge est générée par le maître et sert à la synchronisation de tous les appareils connectés.

6.2.2. *SS (Slave Select)*

Chaque esclave est adressé par le maître par une ligne individuelle SS. Le maître sélectionne un esclave donné en mettant sa ligne SS au niveau BAS. Le nombre possible d'esclaves au sein d'un tel système de bus n'est limité que par le nombre possible de raccordements SS du maître.

6.2.3. *MOSI (Master Output - Slave Input)*

Sur la ligne MOSI le maître transmet des données à l'esclave.

6.2.4. *MISO (Master Input - Slave Output)*

Sur la ligne MISO l'esclave transmet des données au maître .

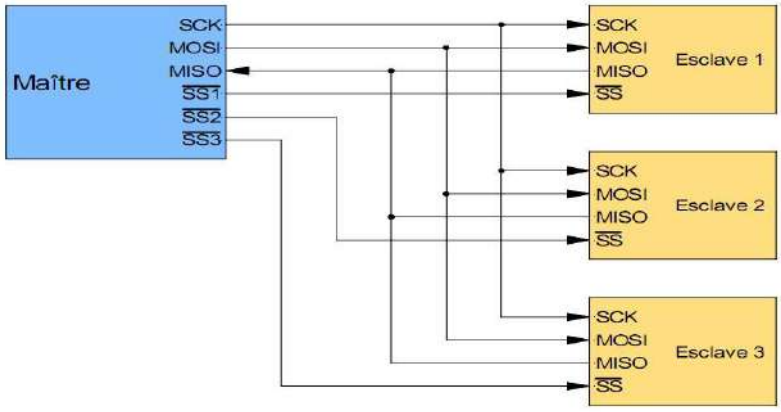


Figure II.17. *Exemple de configuration de bus SPI avec un maître et plusieurs esclaves.*

6.3. ***Protocole du bus SPI [15] [21]***

6.3.1. *Transmission de données*

Pour démarrer une transmission de données, le maître sélectionne un esclave en mettant sa ligne SS respective au niveau BAS. Ensuite, le maître transfert ses données dans le registre de sortie et rapidement après il commence à générer le signal d'horloge.

La transmission de données a lieu en Full Duplex en utilisant des registres à décalage aussi bien par le maître que par l'esclave. Avec chaque coup d'horloge le maître envoie sur la ligne MOSI une donnée à l'esclave pendant que l'esclave envoie simultanément une donnée au maître sur la ligne MISO La transmission de données est terminée dès que la ligne SS est remise au niveau HAUT.

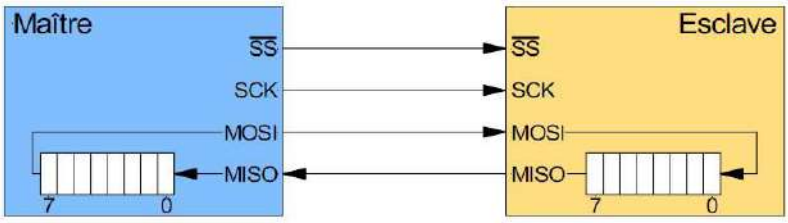


Figure II.18. *Transmission de données entre maître et esclave par registres à décalage.*

6.3.2. *Mode de service*

Le protocole bus SPI détermine le type de signal d'horloge (SCK) grâce à deux paramètres: le bit de poids fort CPOL (Clock Polarity) et le bit de poids faible CPHA (Clock Phase). Ils en résultent quatre différents modes de transmission comme indiqués en Tab II .2.

Ces paramètres de réglage déterminent sur quel front d'horloge les données sont transmises, et à quel moment ces données peuvent être modifiées. Pour une transmission de données correcte il est important que ces paramètres soient réglés de manière identique pour tous les appareils reliés au bus.

Tableau II.2.*Modes de transmission SPI.*

Mode SPI	CPOL	CPHA
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1

6.3.2.1. CPOL (Clock Polarity)

Le CPOL détermine si au repos l'horloge est sur le niveau BAS (CPOL=0) ou HAUT (CPOL=1).

6.3.2.2. CPHA (Clock Phase)

Le CPHA détermine à quel front de l'horloge les données sont transmises. CPHA=0

signifie que les données sont valides au premier front d'horloge, CPHA=1 qu'elles sont valides au deuxième front.

6.4. *Format du transfert de données [21]*

6.4.1. *CPHA = 0*

Lorsque CPHA est mis à 0, les données sont valides au premier front du signal d'horloge. La polarité CPOL détermine s'il s'agit d'un front montant ou descendant. A CPOL=0, au repos, l'horloge est sur le niveau BAS; le premier front est donc un front montant. A CPOL=1, au repos, l'horloge est sur le niveau HAUT; le premier front est donc un front descendant. Cependant, la polarité de l'horloge n'a pas d'influence sur le moment où le premier bit de données est valide et par conséquent n'a pas d'effet sur le format du transfert de données, comme indiqué en figure II.19.

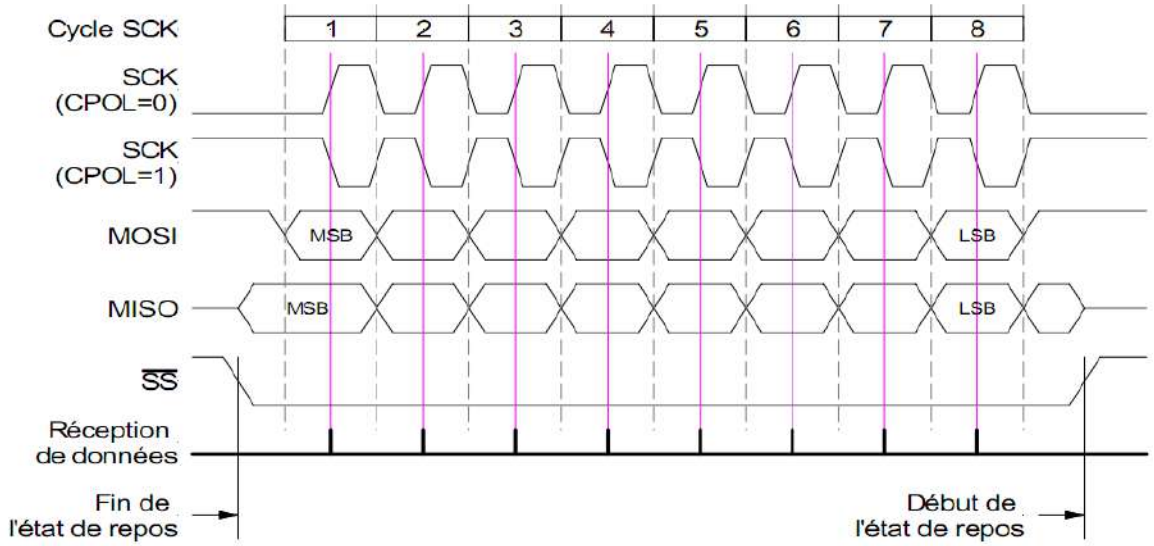


Figure II.19. *Exemple d'une transmission de données SPI de 1 octet pour CPHA=0.*

6.4.2. *CPHA = 1*

Lorsque CPHA est mis à 1, les données sont réceptionnées avec le deuxième front du signal d'horloge. La polarité CPOL détermine s'il s'agit d'un front montant ou descendant. Avec CPOL=0, au repos, l'horloge est sur le niveau BAS et monte au niveau HAUT après le premier front; le deuxième front est donc un front descendant. Avec CPOL=1, au repos, l'horloge est au niveau HAUT et descend au niveau BAS après le premier front; le deuxième front est donc un front montant.

Cependant, la polarité de l'horloge n'a pas d'influence sur le moment où le premier bit de données est valide et par conséquent n'a pas d'effet sur le format du transfert de données,

comme indiqué en Figure II.20.

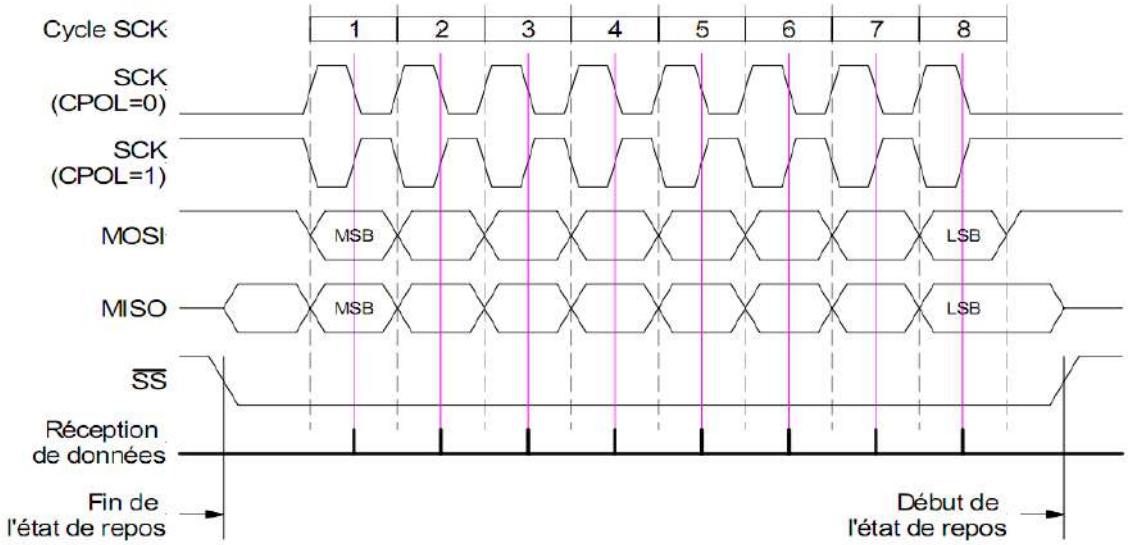


Figure II.20. *Exemple d'une transmission de données SPI de 1 octet pour CPHA=1.*

7. L'afficheur LCD 16*2 [22]

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquide Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA)

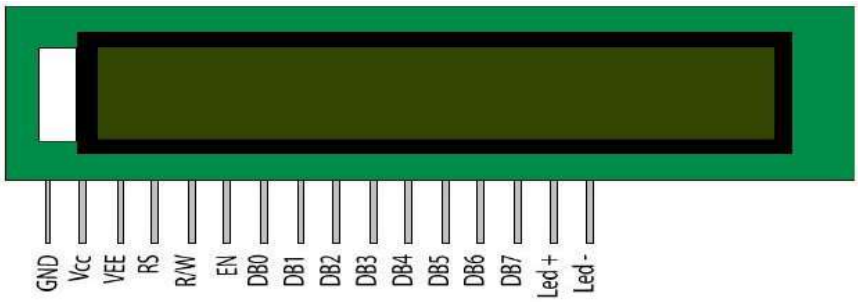


Figure II.21. *LCD 16*2.*

- *Le Rôle de l'afficheur LCD*

Les afficheurs LCD sont devenus indispensables dans les systèmes techniques qui nécessitent l'affichage de paramètres de fonctionnement. Grâce à la commande par un microcontrôleur ces afficheurs permettent de réaliser un affichage de messages aisés. Ils permettent également de créer ses propres caractères.

8. Conclusion

Notre choix des modules RF et l'ARDUINO a été très restreint, vu la non-disponibilité de ce type de module sur le marché local. Cependant, le matériel disponible (ARDUINO UNO) offre les outils nécessaires pour mettre au point un réseau de capteur sans fil fiable et répondant à nos besoins (taille réduite, fiable, et à faible coût).

UNO

CHAPITRE III:

REALISATION ET MISE EN MARCHE

UNO

1. Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons présenté les modules essentiels dans la réalisation de notre nœud de capteur, leurs caractéristiques électriques et techniques, ainsi qu'un schéma général du réseau à réaliser.

Ce chapitre traite la partie du développement Software et hardware du nœud à réaliser, nous présentons en premier l'environnement de simulation PROTEUS. Ensuite nous présenterons l'organigramme général du programme de transmission/réception. Ce dernier sera expliqué par la suite, ainsi que la configuration et le brochage des différents modules. Nous terminerons par la représentation du module réalisé.

2. PROTEUS [23]

Le logiciel PROTEUS est composé de trois modules :

- L'éditeur de schéma ISIS.
- L'outil de conception de circuit imprimé ARES.

ISIS produit d'une part, une liste d'équipotentiels qui peut être utilisée par le simulateur LISA et l'outil de conception de circuit imprimé ARES, d'autre part, une liste de matériel et des rapports de contrôle des règles électriques.

LISA est un ensemble de modules de simulation lié à ISIS. Le noyau de simulation PROSPICE est basé sur la version 3F5 du moteur SPICE publié par l'université de Berkeley.

ARES est un module de conception de circuit imprimé compatible Windows, 98 2000 et XP. Il permet le placement des composants en mode automatique, manuel ou semi-automatique et le routage des liaisons sur plusieurs couches en mode automatique manuel ou semi-automatique.

➢ *Lancement du module ISIS*

- Dans le menu *Démarrer* sélectionnez *Programme* puis *Proteus 7 professionnal* .
- Double cliquez sur l'icône ISIS placée dans le bureau.

- *Interface utilisateur*

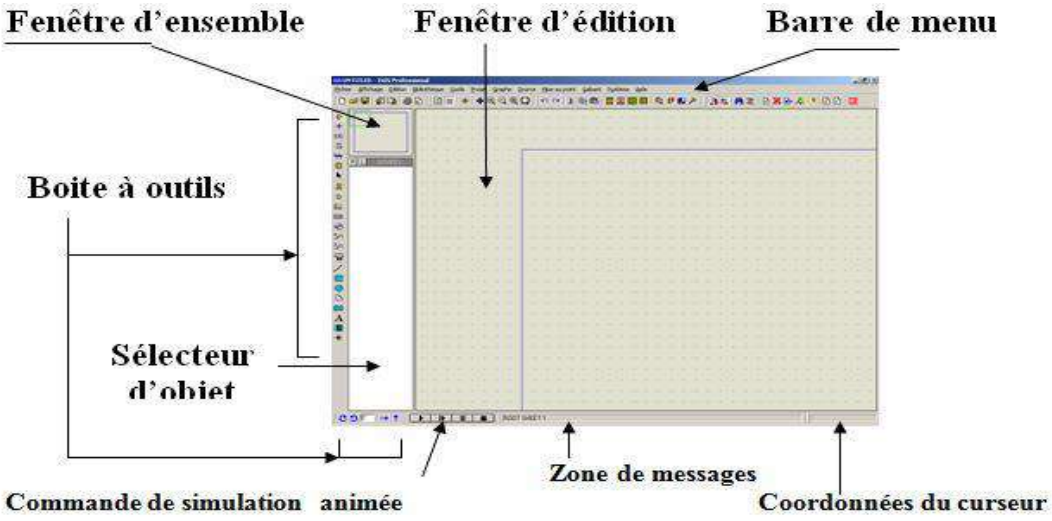


Figure III.1. *Interface utilisateur.*

- *Etape de la saisie de schema*

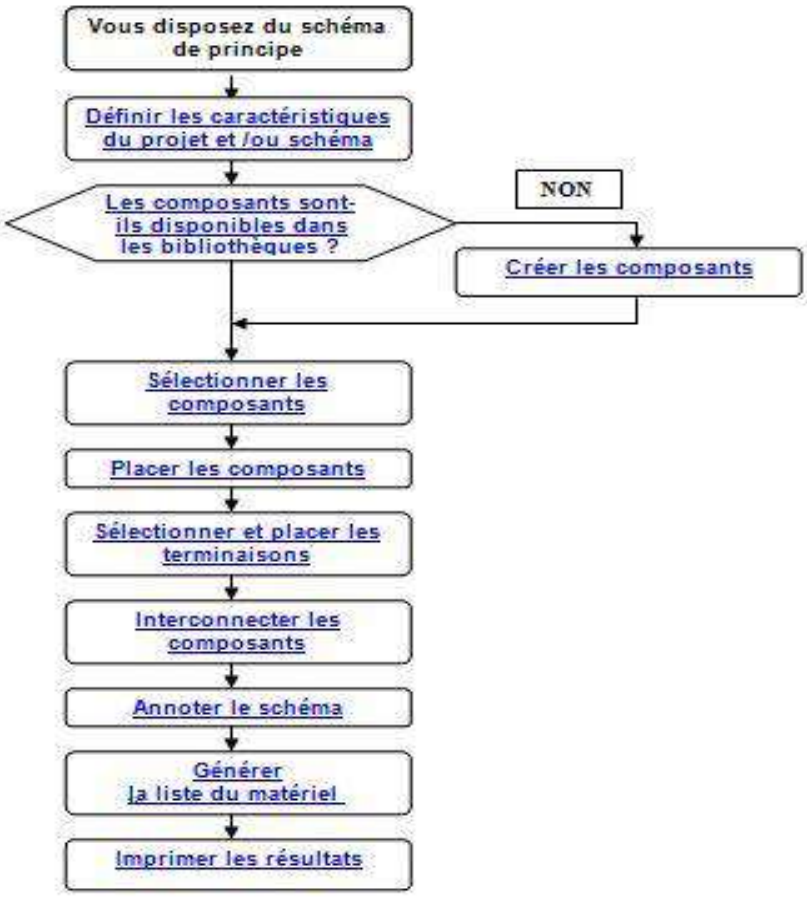


Figure III.2. *Interface utilisateur.*

3. Simulation avec le PROTEUS

Dans cette partie nous avons commencé notre étude par une simulation avec le logiciel ISIS PROTEUS qui permet de décrire le fonctionnement de notre nœud de capteur. Pour cela nous avons utilisé les modules suivants:

- Arduino UNO.
- Afficheur LCD.
- Capteur de température LM335.

On reliant les différents modules comme il est représenté sur la figure III.3, l'étape suivante consiste à charger le programme de test sur l'Arduino. Vu la non disponibilité du module nRF24L01 dans la bibliothèque du logiciel PROTEUS, ont été obligé de faire une simulation que de la partie acquisition et traitement des données du capteur sans transmission. Le reste du travail a été effectué et valider directement dans la partie pratique étudier dans ce qui suit.

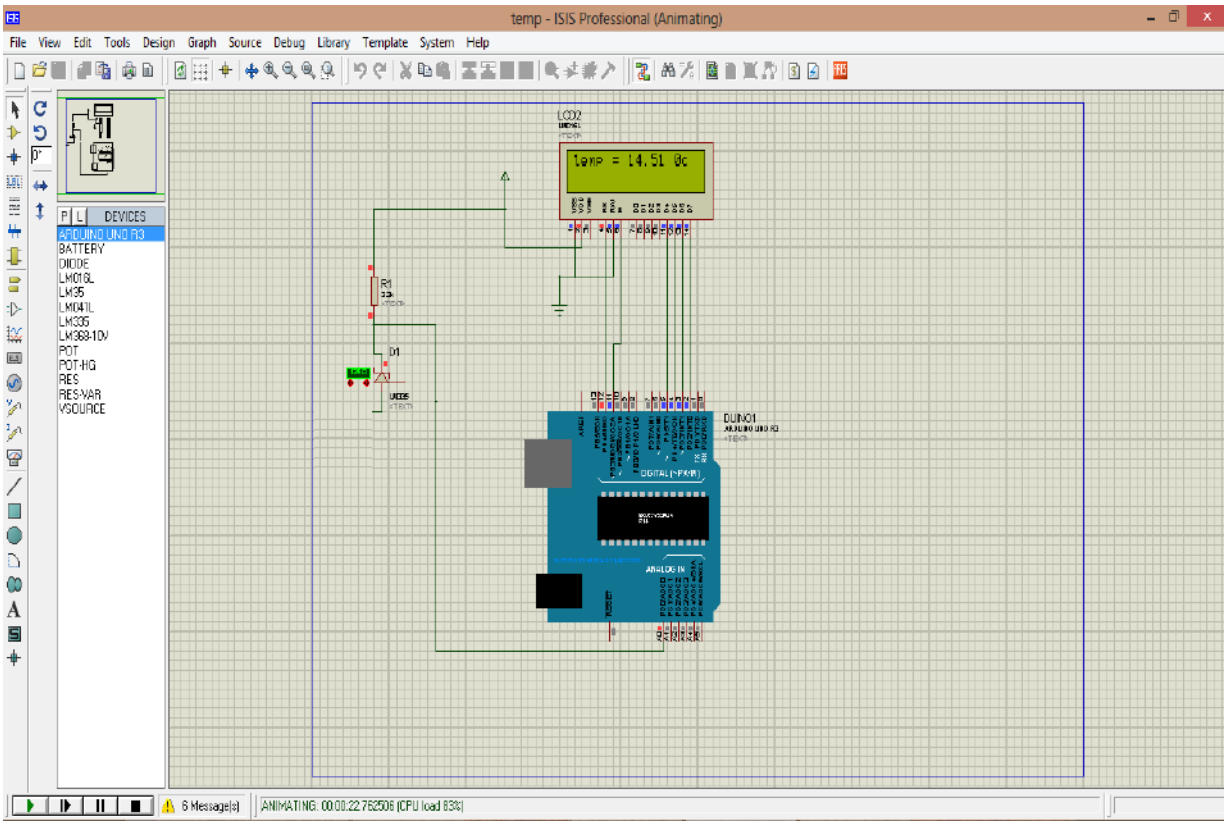


Figure III.3. *Schéma de simulation avec PROTEUS.*

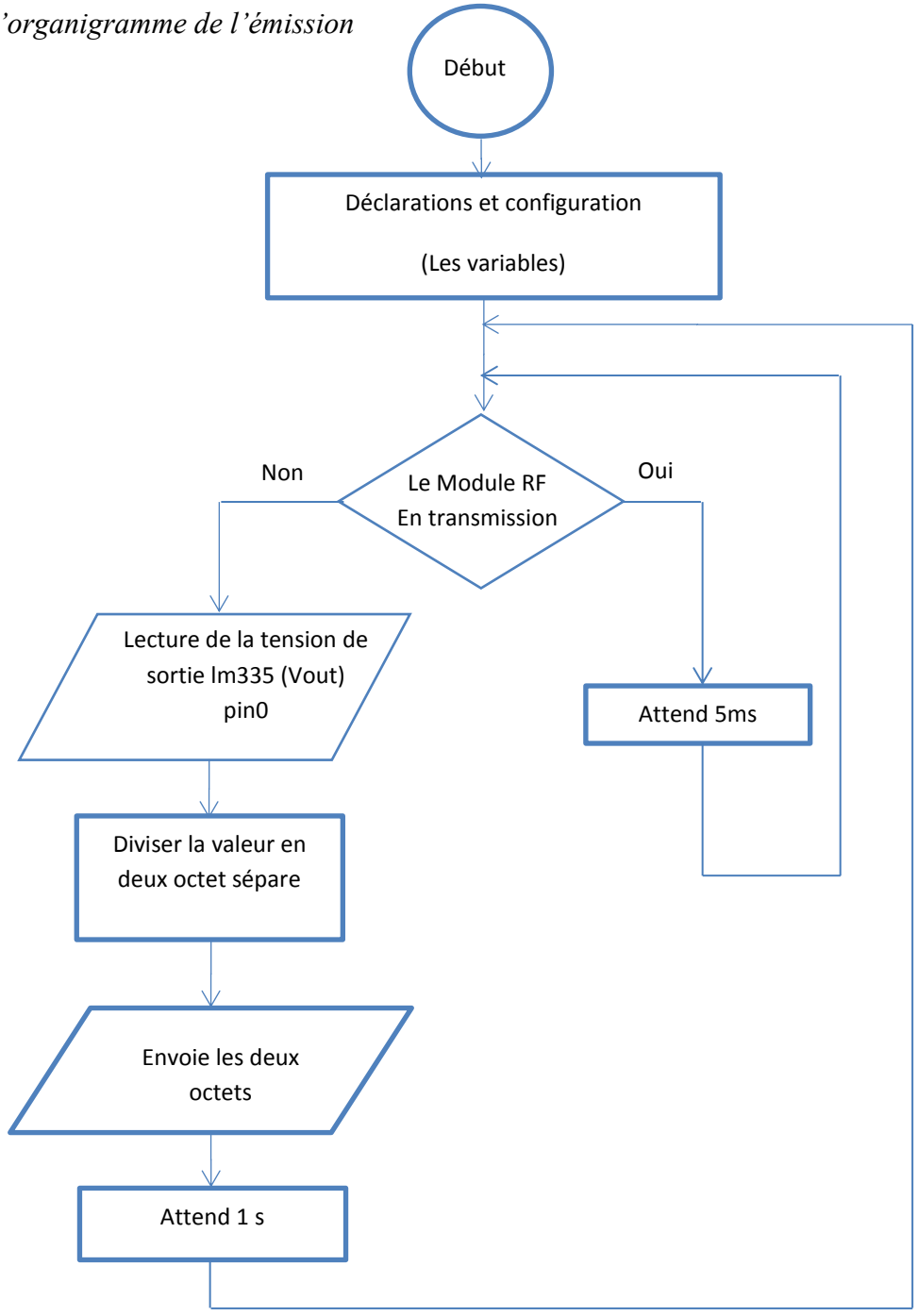
4. Etude pratique

4.1. Partie émission

Dans cette partie les modules suivants sont utilisés:

- Un module Arduino Uno .
- Capteur de température LM335.
- Le module RF : nRF24L01.

4.1.1.*L'organigramme de l'émission*



4.1.2. *Description de partie émission*

Dans le début du programme, l'Arduino va tester si le nRF est en transmission, dans ce cas l'Arduino attend 5 ms et refaire le test. Une fois le nRF est libre, l'Arduino lit la valeur de température à partir de A0 et il fait la conversion analogique numérique sur 10 bits, cette valeur sera découpée en deux octets, chaque octet est transmis individuellement sans fil via le nRF.

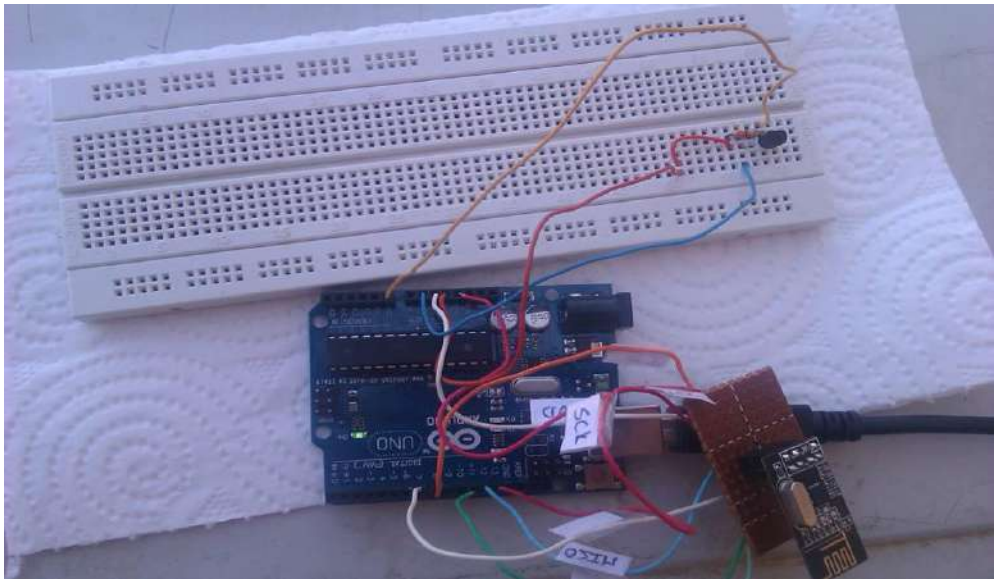


Figure III.4. *Partie émission.*

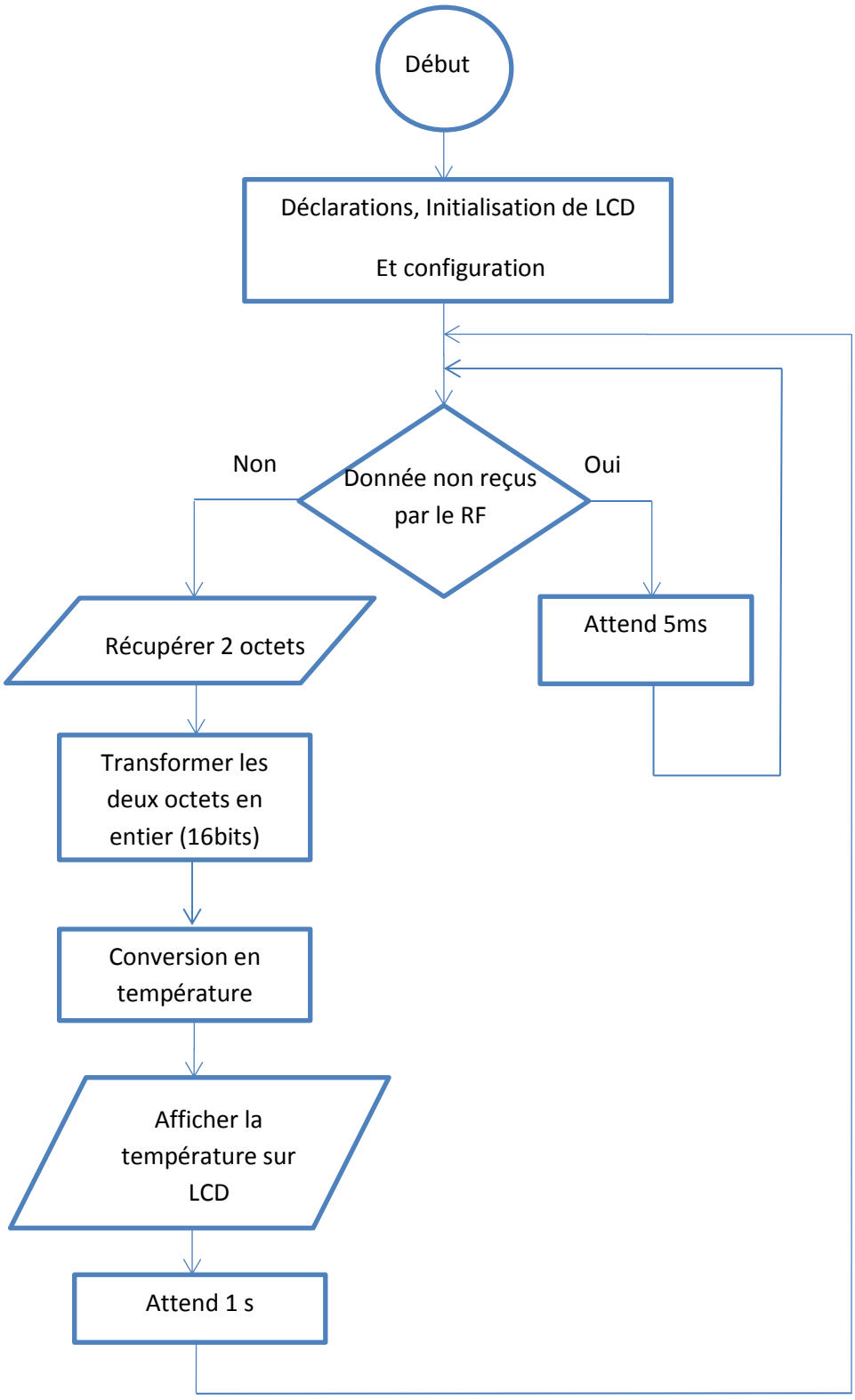
4.2. Partie réception

Pour cette partie les constituants utilisés sont :

- Un module Arduino Uno.
- Afficheur LCD.
- Le module RF : nRF24L01.

Et la conjonction se fait comme suite : Arduino avec nRF24L01 et LCD.

4.2.1. *L'organigramme de la réception*



4.2.2. *Description de partie réception*

Concernant la réception, si le nRF n'a pas reçus les données, l'Arduino attend 5ms. sinon l'Arduino récupère les deux octets et les fusionnées, on applique une formule (III.1) qui va faire la conversion en température qui sera affiché sur LCD.

$$Temp = [(Valeur \times 5) \div 10.23)] - 273 \quad \text{(III.1)}$$

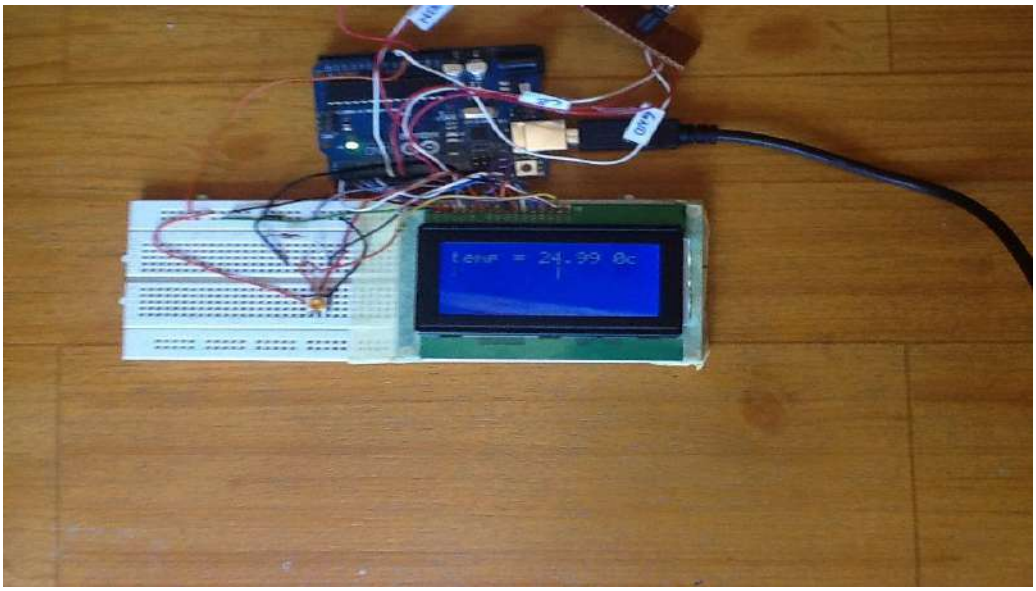


Figure III.5. *Partie réception.*

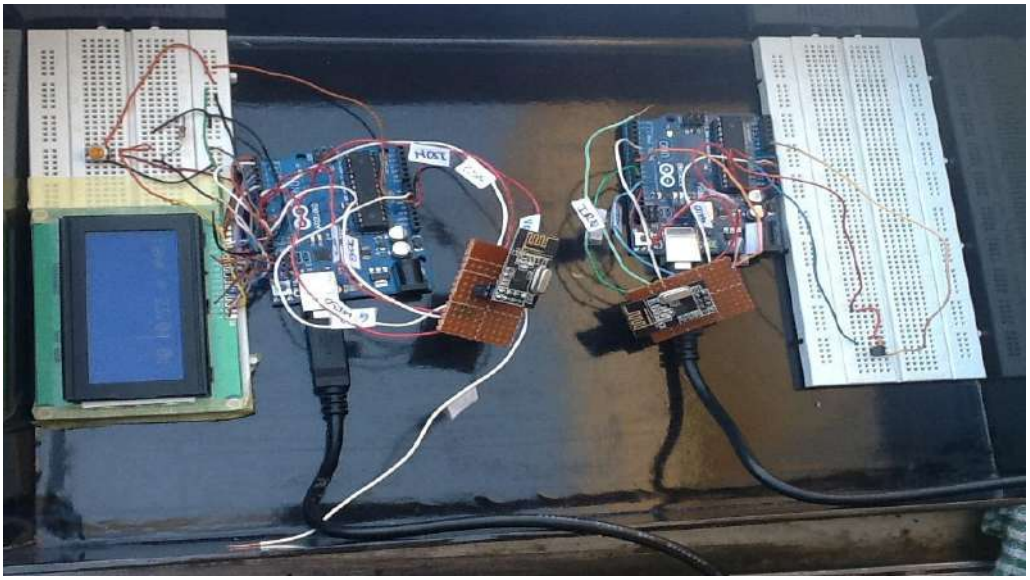


Figure III.6. *Partie émission réception.*

5. Réalisation des circuits imprimés de l'application (PCB)

Nous avons utilisé un logiciel EAGLE version 6.5 de Cadsoft pour élaborer les circuits imprimés de nos cartes.

5.1. Présentation du logiciel EAGLE

« Easily Applicable Graphical Layout Editor » est un logiciel professionnel de conception assisté par ordinateur de circuits imprimés permettant de créer des schémas électriques et de réaliser les PCB « Printed Circuit Board » de ces schémas allant des PCBs simple face aux multicouches (jusqu'à 16 couches).

Il comprend un éditeur de schémas, qui permet la saisie des schémas électriques, un editeur de Layout qui permet d'éditer les PCB avec des fonctions de routage automatique est manuelle et un éditeur de librairies fort efficaces qui sert à éditer les symboles électriques et les boitiers des nouveaux composants. La figure III .7 présente l'interface principal du logiciel EAGLE.

Bien que EAGLE soit payant, une version limité de ce même logiciel est disponible gratuitement. Cette version gratuite limitée à des cartes simples et double faces (couches top et bottom) d'une dimension maximale de 100×80 mm. Malgré cette limitation, la version gratuite du logiciel est efficace et elle est très populaire dans le milieu des électroniciens amateurs. Cette version fonctionne avec Windows, Linux et Mac, elle possède un outil qui contrôle les erreurs (exemple : composant non relié) et signale des warning « avertissement » (exemple : un nœud non placé, un composant non référencié,…). Elle comprend un outil de routage automatique, offrant la possibilité de faire un routage en simple face ou en double faces, elle possède des librairies de composants qui peuvent être étendues.

Il est possible de dessiner soi-même de nouveaux composants comme le cas de notre carte d'émission et carte de réception où nous avons été amenés à créer sa librairie.[24]

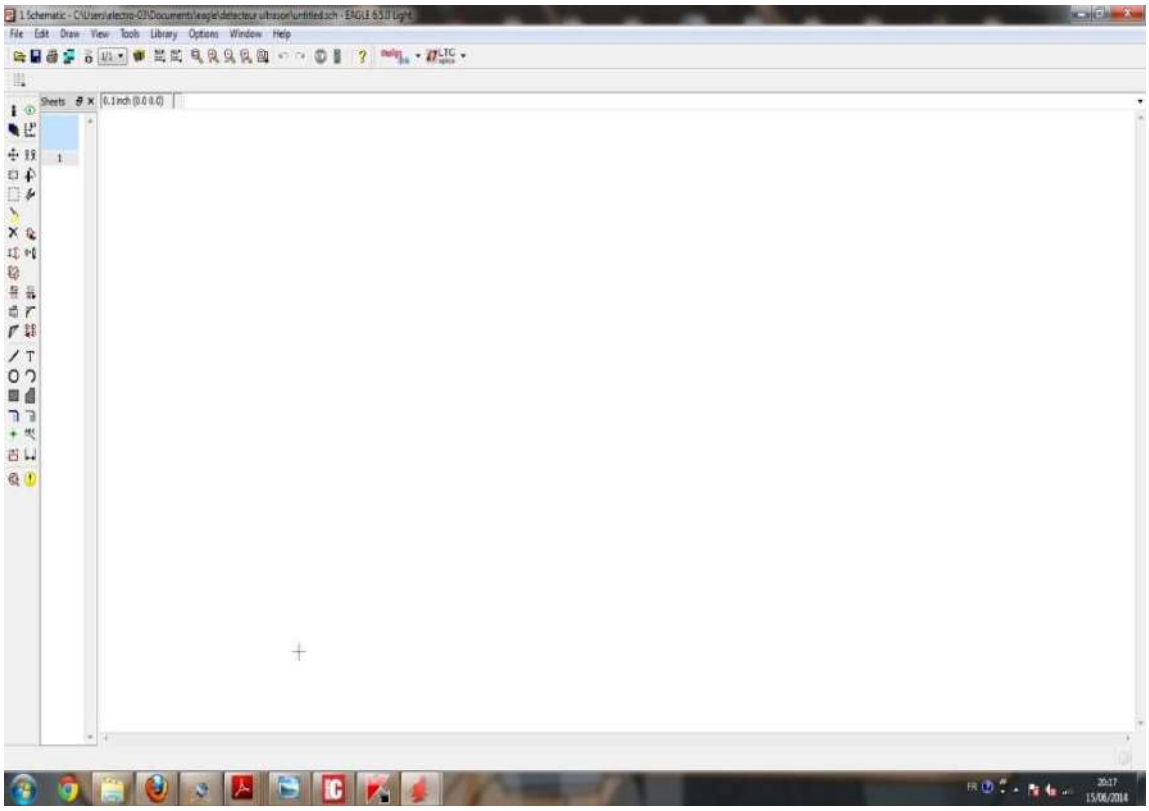
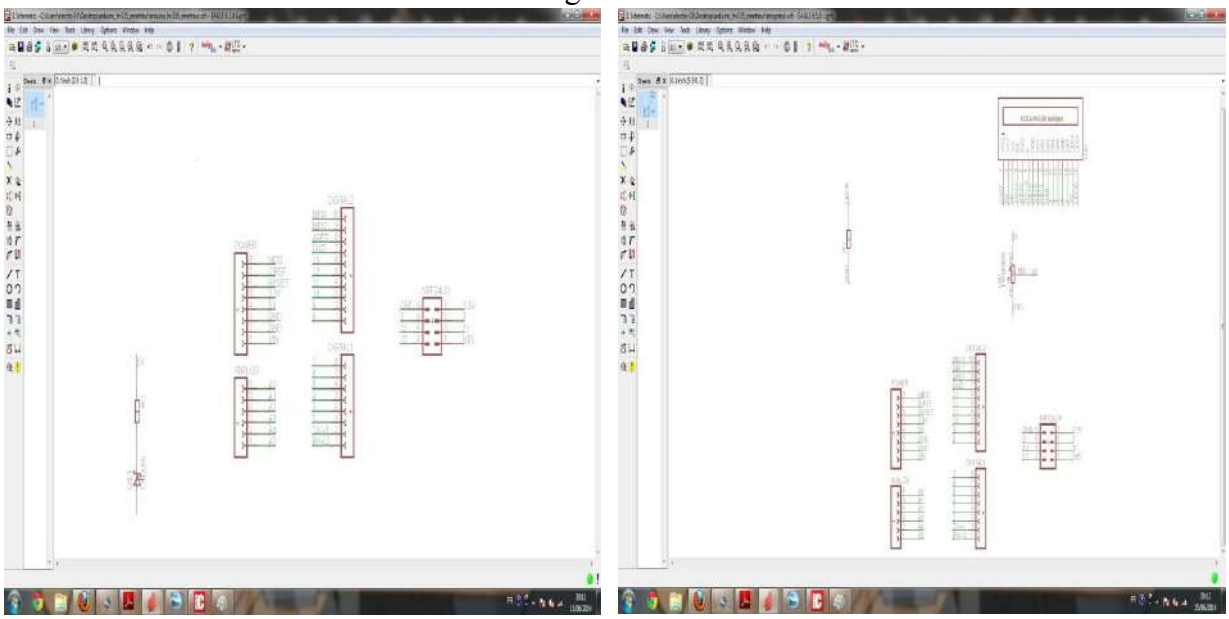


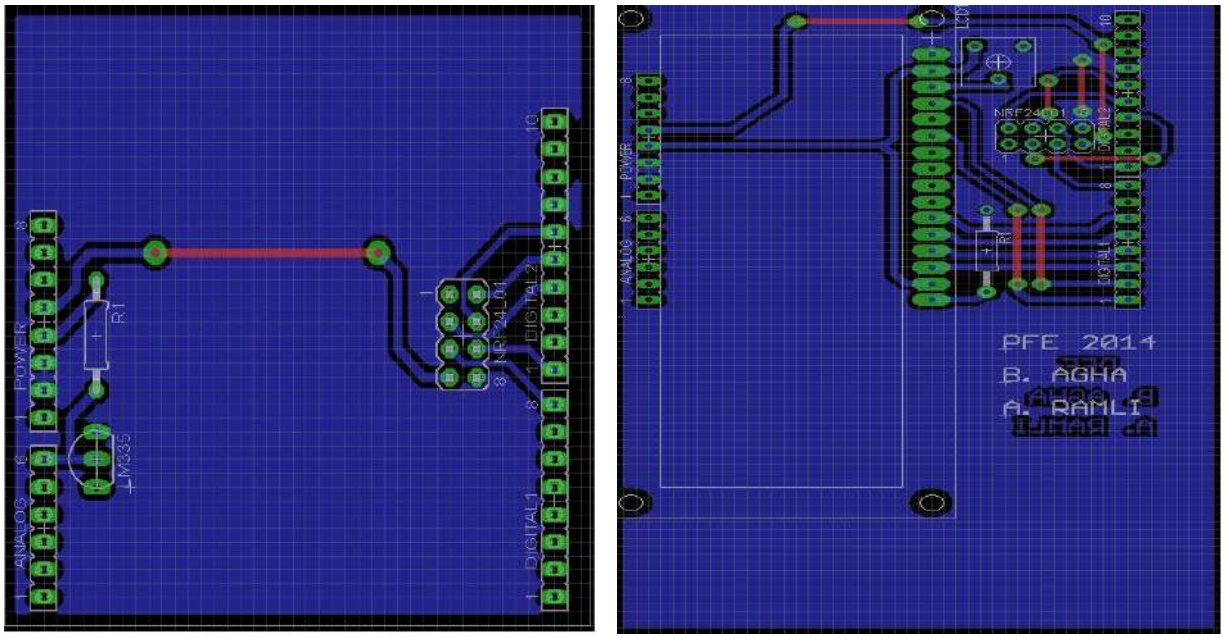
Figure III.7.*L'interface du logiciel EAGLE* .

- Les deux figures ci-dessous nous donnent un aperçu de l'interface de l'éditeur de schéma et celui de l'éditeur de routage.



Partie émission Partie réception

Figure III.8.*L'éditeur de schéma* .



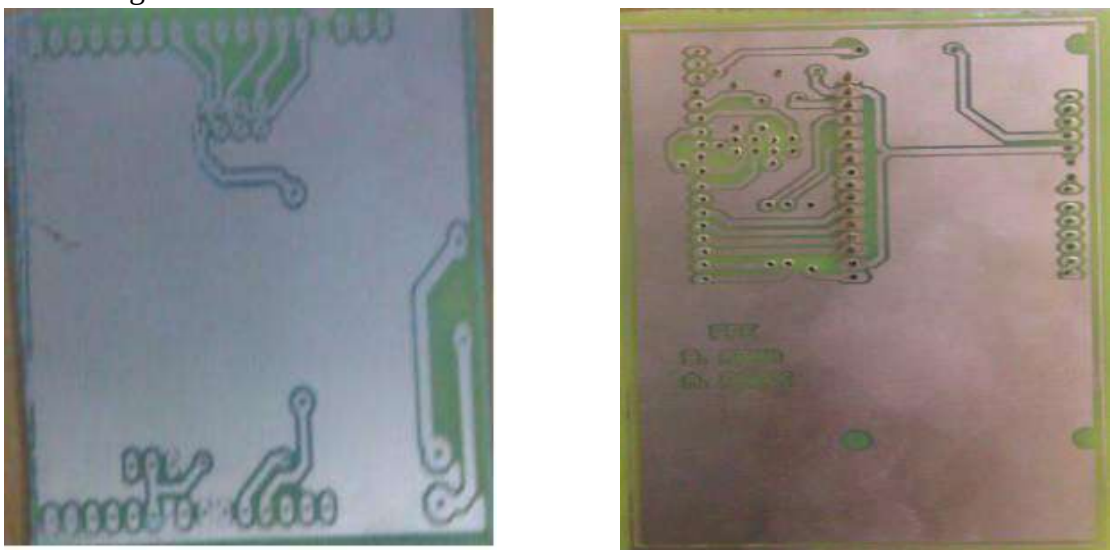
Partie émission Partie réception

Figure III.9. *L'éditeur de routage.*

5.2. Développement du PCB et montage des cartes

Les circuits imprimés des 2 cartes ont été développée suivant la méthode classique par insolation aux UV et gravure chimique (voir annexe), les figures suivantes montrent des photos des cartes réalisées.

- La figure suivante montre le PCB de la carte émission et La carte réception et après montage :



Partie émission Partie réception

Figure III.10. *Le PCB d'adaptation du carte émission et réception avant soudage.*

- La figure III.11: montre le PCB de la carte émission et la carte réception avec ses accessoires :



Figure III.11.*Le PCB de la carte principale avec ses accessoires.*

6. Conclusion

Dans ce travail nous avons développé et réalisé un nœud de capteur sans fil à faible coût basé sur un module Arduino qui peut communiquer avec une station de réception via un module de communication RF de type nRF24L01, les deux cartes réaliser permet l'acquisition d'un ensemble d'entrées analogique et assure la numérisation et l'envoie des données a travers une liaison sans fil, à la réception, la visualisation du signal est assuré par un afficheur LCD.

A travers cette étude nous pouvons déduire que notre capteur affiche une température comparable à la température du thermomètre avec une incertitude faible de ± 1, ce qui se rapproche beaucoup de la réalité, un seul problème est détecter est l'influence des ondes Wifi sur notre réalisation, pour cela on proposer d'essayer un autre module de transmission RF sur une fréquence sécuriser.

Conclusion général

Dans ce projet nous avons réalisé un nœud de capteur sans fil basé sur des composants simples comme l'Arduino et le circuit de transmission RF nRF24L01, la présence de la bibliothèque de ce composant sur la plateforme Arduino facilite la tâche de programmation.

Lors des séances de l'étude et réalisation, et en menant notre projet, nous avons pu mettre en œuvre des informations et des connaissances reçues lors des cours d'électroniques et d'informatique ainsi on a pu traduire des études théoriques en études pratiques. On a choisi ce sujet avec des composants étudiés auparavant. Cela nous a permis de se familiariser avec ce type de composants. Ce fût une expérience enrichissante, car nous avons pu réaliser un projet personnel de manière autonome, Ce projet nous a permis de rassembler des domaines différents. Nous avons beaucoup appris sur la programmation des modules Arduino.

Bibliographie

[1] MOAD Sofiane. " La consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil", Master Recherche 2 en Informatique IFSIC-Rennes 1, 2007/2008.

[2] BOUNEGTA Nadia, " Approche distribuée pour la sécurité d'un réseau de capteurs sans fils (RCSF) ", Ingénieur en Informatique et Télécommunications, université de Bechar, 2010.

[3] I. Akyildiz, W. Su, E. Cayirci, Y. Sankarasubramaniam. "A survey on sensor networks", IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA. Août 2002.

[4] B. Khalifa " La sécurité dans les réseaux de capteurs sans fil", conférence à l'université de Bechar. Printemps 2006.

[5] Isabelle GUÉRIN LASSOUSET Mme Nathalie JULIEN " Conception de l'architecture d'un réseau de capteurs sansfil de grande dimension ",Université Henri Poincaré, Nancy IEn Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique, octobre 2011.

[6] Marcin Marzencki " CONCEPTION DE MICROGÉNÉRATEURS INTÉGRÉS POUR SYSTÈMES SUR PUCE AUTONOMES" pour obtenir le grade de Docteur de l'université de JOSEPH FOURIER,Mars 2007

[7] Rahim KACIMI, "Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fils", université de Toulouse France, Septembre 2009.

[8] FERGANI nesrine (Développement d'un système de transmission RF sécurisé de moyenne portée) Université Dr YAHIA FARES DE MEDEA ,2011

[9] LXE Inc, "RF/Wireless Basics an Intro to the Latest in Wireless Data Collection Networks, Products, Standards and Solutions", LXE, 2006.

[10] A. Boukerche, "Algorithms and protocols in wireless sensor networks", university of Ottawa Canada, 2009.

[11] LEBOUKH Aboubaker et SAIDI Madani Amine (La Localisation dans les Réseaux de Capteurs Sans Fil : Cas d'un Milieu Fermé) Université Dr. YAHIA Fares de Médéa

[12] Eugène IONESCO "ARDUINO"Système d'Information et Numérique ,france 2011

[13] Jonathan OxerHugh Blemings (Practical Arduino Cool Projects for Open Source Hardware) 2009

[14] adafruit learning "systemArduino Tips, Tricks, and Techniques" Created by Ladyada 2013.pdf

[l5] Christian travenier "arduino" maitrisez sa programation et ses cartes shields ,paris 2011

[16] *B.* Cottenceau ,B311 ISTIA "carte arduino uno microcontroleur atmega 328"

[17] CALDEIRA Mathieu et MBETIBANGA kévin" Expression technique ,Récupération de l'état des batteries de plusieurs karting depuis un ordinateur " ,Université François-Rabelais de Tours ,2013 ;2014

[18] Philippe Meyne " Généralités sur les capteurs "faculté des sciences et technologie université de paris 12 val de marne ,2009

[19] H. BUYSE, " les capteurs " Université catholique de Louvain 2012

[20] PSOC_Thermometre " Sti2d projet sin"2013

[21] « Communication par bus SPI avec les capteurs de pression digitauxde la série HCE de Sensortechnic "

[22] Benouaden Abderaouf " conception d'un thermomètre électronique à base d'un capteur de chaleur, un PIC, et un afficheur LCD" l'université Mentouri de Constantine juin 2011

[23] Louis Armand "formation proteus" paris

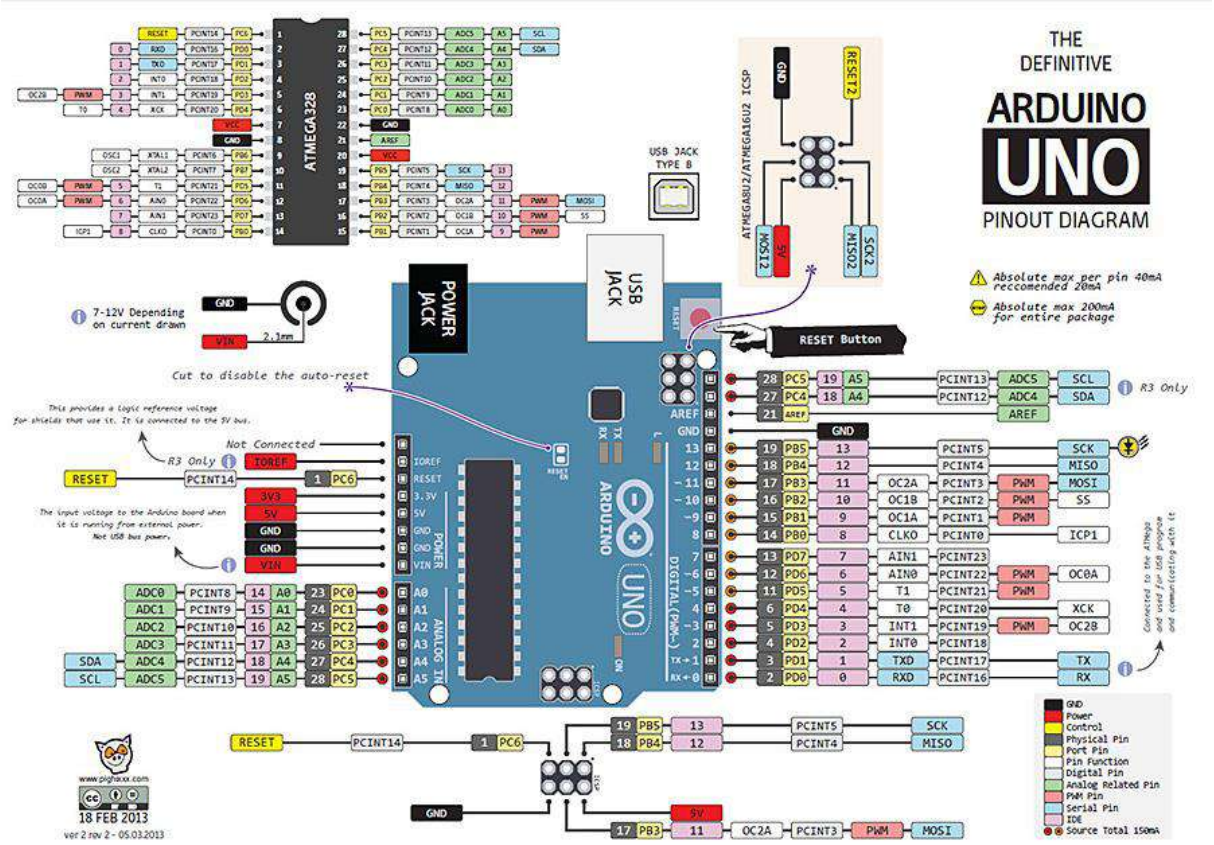
[24] Ould Ramoul Mohamed, Toumi Mohamed "Développement d'une plateforme de communication bluetooth pour microcontroleurs dspic" ,université Dr Yahia Fares de Medea, 2013

UNO

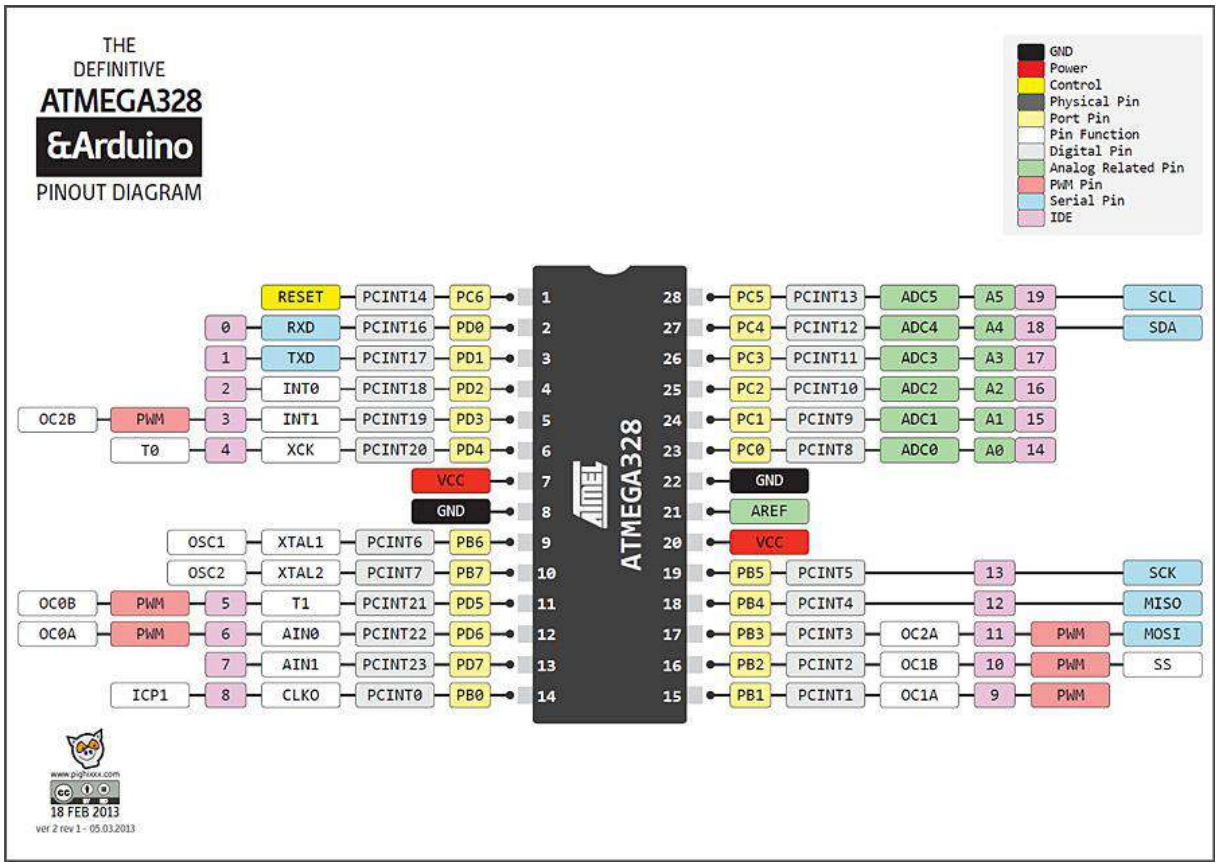
ANNEXE

UNO

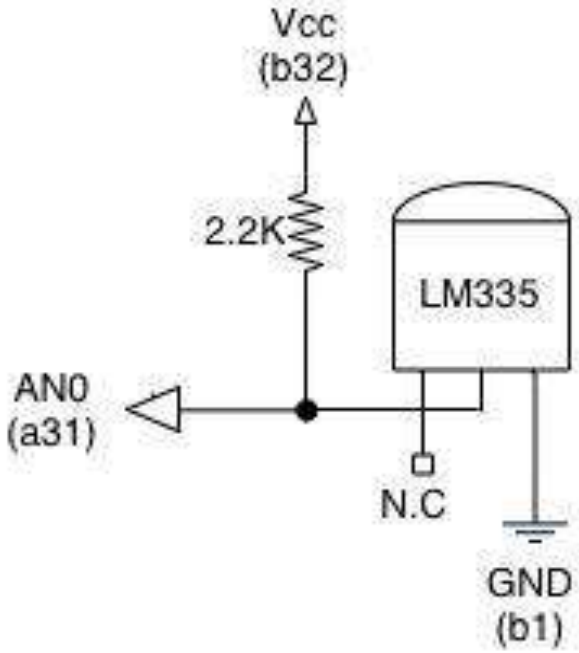
ANNEXE A : Le schéma des pins de l'Arduino UNO

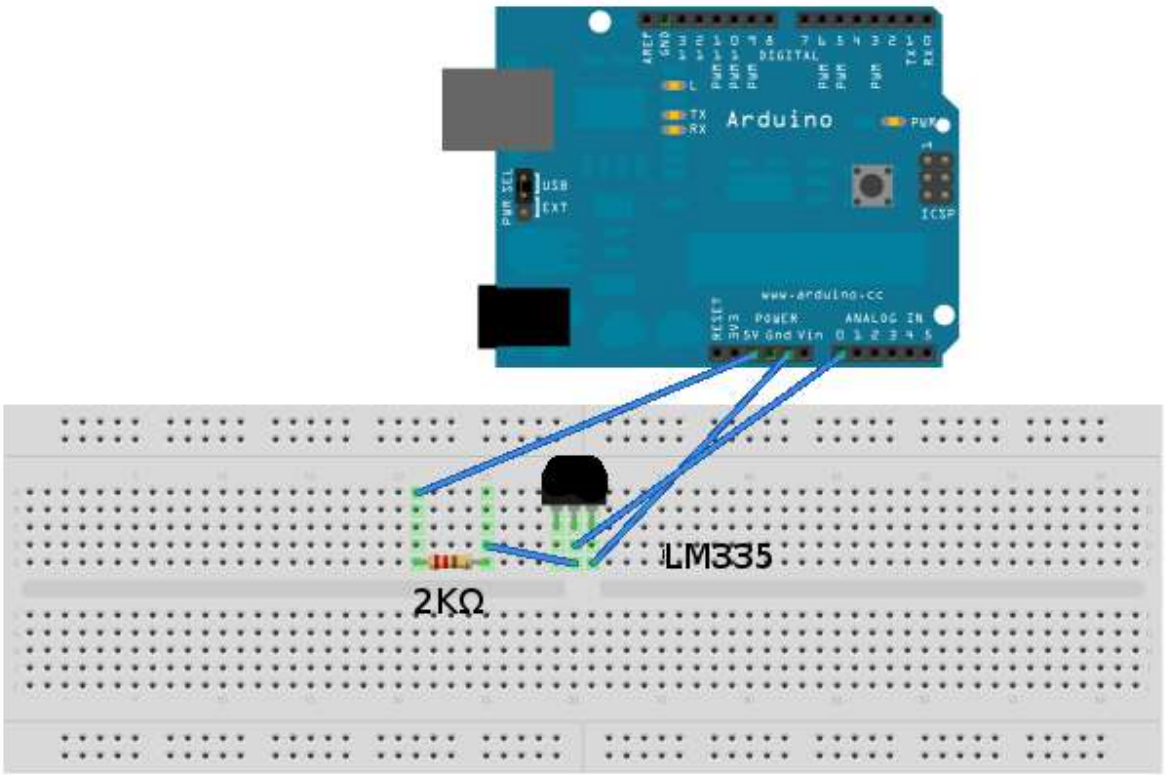


ANNEXE B : **Le schéma des pins de atmega 328**



<u>ANNEXE C :</u> Datasheet de capteur LM 335





ANNEXE D : Programme de l'émission

```
/*
   émission d'une valeur integer via module nRF24L01
*/
#include <SPI.h> // gestion du bus SPI
#include <Mirf.h> // gestion de la communication
#include <nRF24L01.h> // définition des registres du nRF24L01
#include <MirfHardwareSpiDriver.h> // communication SPI nRF24L01
byte valeur_octet[2]; // contient la valeur découpée en octet pour l'envoi
int temp=-100;
int tempSensorPin = 0; // Pin analogique pour lecture de la tension de sortie lm335 (Vout).
                       // Resolution: 10 mV / degree celsius avec une offset de 500 mv.
void setup()
{
  Mirf.cePin = 8; // CE sur broche 8
  Mirf.csnPin = 7; // CSN sur broche 7
  Mirf.spi = &MirfHardwareSpi; // utilisation du port SPI hardware
  Mirf.init(); // initialise le module SPI
  Mirf.channel = 0; // utilisation canal 0 pour communiquer (128 canaux disponible, de 0 à
127)
  Mirf.payload = sizeof(unsigned int); // = 2, déclaration taille du message à transmettre, max
32 octets
  Mirf.configRegister(RF_SETUP, 0x06); // 1 Mb/s et 0 dBm (puissance maximum)
  Mirf.config(); // configure le canal et la taille du message
  Mirf.setTADDR((byte *)"ardu2"); // définition adresse sur 5 octets de la 2ème carte Arduino
  Mirf.setRADDR((byte *)"ardu1"); // définition adresse sur 5 octets de la 1ere carte Arduino
}
```

```
void loop()
{
  while(Mirf.isSending())
  {
    // en cours d'émission
    delay(5);
  }
  temp = analogRead(tempSensorPin);
  valeur_octet[0] = temp & 0xFF; // 1er octet
  valeur_octet[1] =  (temp & 0xFF00) >> 8; // 2ème octet
  Mirf.send(valeur_octet);
  delay(1000);
}
```

ANNEXE E : Programme de réception

```
/*
   réception d'une valeur integer via module nRF24L01
*/
#include <LiquidCrystal.h>
#include <SPI.h> // gestion du bus SPI
#include <Mirf.h> // gestion de la communication
#include <nRF24L01.h> // définition des registres du nRF24L01
#include <MirfHardwareSpiDriver.h> // communication SPI nRF24L01
int valeur = 0;  // contient la valeur à recevoir
byte valeur_octet[2]; // contient la valeur découpée en octet pour la réception
byte degrees[8] = {
  B00000,
  B01000,
  B10100,
  B01000,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
  B00000,
};
LiquidCrystal lcd(1, 0, 5, 4, 3, 2);
void setup()
{
   // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
```

```
  // initialiser le caractère ° dans le LCD
  lcd.createChar( 0, degrees );
  Mirf.cePin = 8; // CE sur broche 8
  Mirf.csnPin = 7; // CSN sur broche 7
  Mirf.spi = &MirfHardwareSpi; // utilisation du port SPI hardware
  Mirf.init(); // initialise le module SPI
  Mirf.channel = 0; // utilisation canal 0 pour communiquer (128 canaux disponible, de 0 à 127)
  Mirf.payload = sizeof(unsigned int); // = 2, déclaration taille du message à transmettre, max 32 octets
  Mirf.configRegister(RF_SETUP, 0x06); // 1 Mb/s et 0 dBm (puissance maximum)
  Mirf.config(); // configure le canal et la taille du message
  Mirf.setTADDR((byte *)"ardu1"); // définition adresse sur 5 octets de la 2ème carte Arduino
  Mirf.setRADDR((byte *)"ardu2"); // définition adresse sur 5 octets de la 1ere carte Arduino
}

void loop()
{
  while(!Mirf.dataReady())
  {
    // pas prêt à recevoir
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write( "non recu" );
    lcd.print( "               " );
    delay(5);
  }
  Mirf.getData(valeur_octet); // récupére 2 octets
```

```
 valeur = valeur_octet[0] | (valeur_octet[1] << 8); // transforme en int
// Converti la lecture en tension
float temp = (valeur*5/10.23)-273.15;
 lcd.setCursor(0,0);
 lcd.write( "temp = " );
 lcd.print( temp );
 lcd.write( " 0" );  // affiche le signe degré
 lcd.print( "c" );
 // Efface les derniers caractères si
 //   la température chute subitement
 lcd.print( "      " );
 // ne pas rafraichir trop souvent
 delay(1000);
}
```

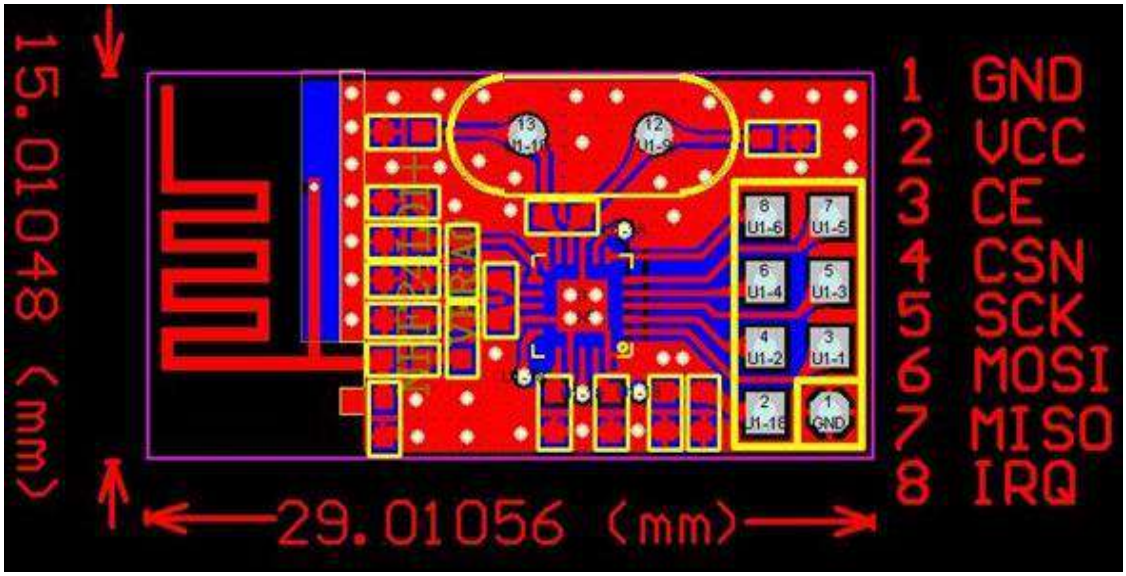
ANNEXE F : Le Brochement de l'afficheur LCD avec l'Arduino Uno

Broche LCD	Broche Aruino
RS	1
Enable	0
D4	5
D5	4
D6	3
D7	2
VSS	GND
RW	GND
VDD	5 V

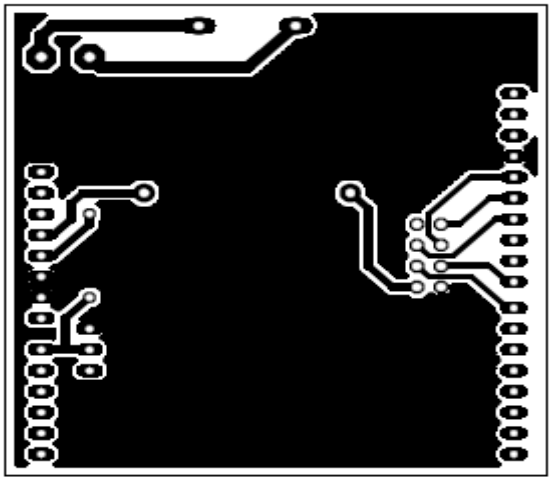
ANNEXE G : Le Brochement de nRF24L01 avec l'Arduino Uno

Broche nRF24L01	**Broche Arduino**
GND	GND
V_{CC}/3.3v	3.3v
CE	8 (configurable)
CSN	7 (configurable)
SCK	13
MOSI	11
MISO	12
IRQ	non connectée

<u>ANNEXE H :</u> Une figure qui présente le module avec les broches



ANNEXE I : **Emetteur**



ANNEXE J : **Récepteur**

