

Table des matières

Liste des figures.....	8
Liste des tableaux.....	10
Glossaire.....	11
Introduction générale	13
Chapitre I : Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil.	
I- Introduction	16
II- Capteurs	16
II-1- Unité de captage.....	17
II-2- Unité de traitement.....	17
II-3- Unité de transmission.....	17
II-4- Unité de contrôle d'énergie	18
III- Réseau de capteurs sans fil	18
III-1- Composantes.....	19
III-2- Architectures de Réseaux de capteurs	19
III-2-1- Topologie en étoile	20
III-2-2- Topologie «en toile» ou «en grille» (Mesh Network)	20
III-3- Fonctionnement d'un RCSF	20
III-3-1- Collecter les informations dans un RCSF.....	21
III-3-1-1- A la demande.....	21
III-3-1-2- Suite à un événement.....	22
III-3-2- Consommation d'énergie.....	22
III-4- Routage de données	23
III-4-1- Protocoles réactifs	23
III-4-2- Protocoles proactifs	23
III-4-3- Protocoles hybrides	23
IV- Domaine d'application des RCSF	24
IV-1- Bâtiment	24
IV-2- Bien être	24
IV-3- Engins de transport.....	25
IV-4- Environnement	25
IV-5- Agriculture.....	25

IV-6- Médical.....	26
IV-7- Militaire.....	27
V- Conclusion.....	27
Chapitre II : L'implémentation de la communication RF.	
I- Introduction	29
II- Système ARDUINO	29
II-1- Description matérielle.....	29
II-2- Description logicielle.....	30
III- Radiocommande nRF24101+.....	32
III-1- Description de module.....	32
III-2- Protocole Enhanced ShockBurst	33
III-3- Mode de fonctionnement.....	33
IV- Protocole de communication SPI	34
IV-1- Interfaces	35
IV-2- Transmission des données	35
IV-3- Broches SPI d'Arduino	36
V- Conception du réseau de capteur	36
V-1- Architecture de communication dans les réseaux de capteurs.....	37
V-2- La bibliothèque RF24 pour la couche liaison de donnée.....	39
V-3- La bibliothèqueRF24Network pour la couche réseau	39
V-4- La librairie RF24Meshpour la couche transport.....	39
VI- Firmware développé pour les nœuds du réseau	40
VII - Conclusion	44
Chapitre III : Technologie E-textile.	
I- Introduction	46
II- Présentation de la technologie wearable :	46
III- Technologie E-textile	47
III-1- Fil conducteur.....	48
IV- Domaine d'application des E-textiles.....	48
IV-1- Sport	48
IV-2- Santé	49
IV-3- Militaire.....	50
IV-4- Commercial	51

IV-5- Art.....	51
V- Conclusion	52
Chapitre IV : <i>Intégration de réseau de capteurs pour la supervision.</i>	
I- Introduction	54
II- Cahier de charge	54
III- Lilypad.....	56
IV- Calcule d'orientation	58
IV-1- Protocole I2C.....	60
IV-2- Lecture des coordonnées X, Y, Z.....	61
V- Mesure de température	62
V-1- Capteur de température.....	62
V-2- Fonctionnement du capteur.....	63
VI- Détection du son.....	64
VI-1- Microphone ADMP401	64
VI-2- Convertisseur analogique numérique au niveau d'Arduino	66
VI-3- CAN à approximation successives	67
VI-4- Détection de seuil	69
VII- Interconnexion entre les capteurs.....	70
VIII - Trame envoyé	70
IX- Conclusion	71
Conclusion générale	73
Bibliographie	75

Liste des figures

<i>Fig I.1 – Quelques modèles de capteurs.....</i>	<i>16</i>
<i>Fig I.2 – Architecture d'un capteur.....</i>	<i>18</i>
<i>Fig I.3 – Schéma d'un réseau de capteurs.....</i>	<i>19</i>
<i>Fig I.4 – Schéma de fonctionnement d'un RCSF.</i>	<i>21</i>
<i>Fig I.5 – Collecter les informations à la demande.</i>	<i>22</i>
<i>Fig I.6– Collecter les informations suite à un événement.</i>	<i>22</i>
<i>Fig I.7– Envoi par routage.</i>	<i>23</i>
<i>Fig I.8– Maison intelligente </i>	<i>24</i>
<i>Fig I.9–Détection d'incendie en utilisant un RCSF.</i>	<i>25</i>
<i>Fig I.10–Application de RCSF dans le domaine d'agriculture </i>	<i>26</i>
<i>Fig I.11– Application de RCSF dans le domaine médical.</i>	<i>26</i>
<i>Fig I.12–Application de RCSF dans le domaine militaire.</i>	<i>27</i>
<i>Fig II.1 –Vue de la carte Arduino Mega 2560.</i>	<i>30</i>
<i>Fig II.2 –Interface du logiciel Arduino.....</i>	<i>31</i>
<i>Fig II.3 –Module NRF24L01+.....</i>	<i>32</i>
<i>Fig II.4 –Connexions du module NRF24L01+.....</i>	<i>33</i>
<i>Fig II.5 –Format de paquet ShockBurst </i>	<i>33</i>
<i>Fig II.6 –Schéma synoptique du mode de transmission NRF24L01+.....</i>	<i>34</i>
<i>Fig II.7 – Mode de fonctionnement de bus SPI.</i>	<i>35</i>
<i>FigII.8 – Transmission des données dans le bus SPI.....</i>	<i>35</i>
<i>FigII.9 – Branchement nRF24L01+ avec Arduino.....</i>	<i>37</i>
<i>FigII.10 – Modèle en couches du réseau de capteurs sans fil</i>	<i>38</i>
<i>FigII.11 – Code déclaration des différentes bibliothèques </i>	<i>40</i>
<i>FigII.12 – Organigramme du firmware utilisé au niveau du nœud puits.</i>	<i>41</i>
<i>FigII.13 – Code du firmware utilisé au niveau du nœud puits.</i>	<i>42</i>
<i>FigII.14– Code du firmware utilisé au niveau d'un nœud autre que lepuits.</i>	<i>43</i>
<i>FigIII.1–Google glass et Apple Watch les dernières innovations de la technologie wearable.....</i>	<i>46</i>
<i>FigIII.2–Clignoter des LED à l'aide d'un Lilypad.....</i>	<i>47</i>
<i>FigIII.3–Matériel wearable utilisé pour la réalisation de l'exemple précédent (support pour batterie Lilypad, batterie, fil conducteur et une LED).....</i>	<i>47</i>

<i>FigIII.4–Tee-shirt intelligent</i> contient un capteur d'activité, un capteur de pulsation cardiaque et un capteur de respiration cardiaque.	49
<i>FigIII.5–Application médicale</i> permettant de mesurer plusieurs paramètres physiologiques.	50
<i>FigIII.6–Application d'E-textile</i> dans le domaine militaire.	50
<i>FigIII.7–Tapis intelligent</i>	51
<i>FigIII.8–Danseuse</i> porte une robe et pièce en E-textile.	52
<i>Fig IV.1 – Schéma générale</i> de notre application.	54
<i>Fig IV.2 – Schéma du nœud</i> nourrisson.	55
<i>Fig IV.3 – Lilypad</i> relié avec un convertisseur USB-série Arduino.	56
<i>FigIV.4 – Module</i> Arduino Lilypad.	57
<i>Fig IV.5 – Schématique</i> du module Arduino Lilypad.	57
<i>Fig IV.6 –Branchement</i> de module nRF24L01+ avec Lilypad Mega 328.	58
<i>Fig IV.7 – Capteur</i> d'orientation MAG3110.	59
<i>Fig IV.8 –Schématique</i> de capteur MAG3110.	59
<i>Fig IV.9 –Exemple</i> d'échange de données entre un maitre et un esclave.	60
<i>Fig IV.10– Code</i> source lecture de X.	61
<i>Fig IV.11– Capteur</i> de température MLX90614	62
<i>FigIV.12– Schématique</i> de capteur.	62
<i>Fig IV.13– Organigramme</i> de mesure de température.	64
<i>Fig IV.14 –Microphone</i> ADMP401.	65
<i>Fig IV.15 –Schématique</i> de microphone ADMP401.	65
<i>Fig IV.16 –Schéma</i> bloqué de CAN.	66
<i>Fig IV.17 – Conversion</i> d'un signal Analogique en une suite de valeurs numérique.	66
<i>Fig IV.18 –Schématique</i> de CAN.	67
<i>Fig IV.19– Principe</i> de dichotomie.	68
<i>Fig IV.20– Algorithme</i> de détection du son	69
<i>Fig IV.21– Code</i> source de détection de seuil.	70
<i>Fig IV.22 – Interconnexion</i> des capteurs.	71
<i>Fig IV.23 – Schéma</i> représentatif de la trame de température.	71
<i>Fig IV.24 – La</i> trame de température.	71
<i>Fig IV.25 – Schéma</i> représentatif de la trame de détection du son.	72
<i>Fig IV.26 – La</i> trame de détection du son.	72
<i>Fig IV.27 – Schéma</i> représentatif de la trame d'orientation	72

Fig IV.28 – Déclaration de la trame d'orientation. 72

Liste des tableaux

Tab II.1– Branchement nRF24L01+ avec Arduino. 37

Tab IV.1–Pins SPI de module Lilypad. 58



Glossaire

RCSF : Réseau de Capteur Sans Fil.

SPI : Serial Peripheral Interface.

I2C: Inter-Integrated Circuit.

CE : Chip Enable.

CSN : Chip Select.

SCK: Serial Clock.

MOSI: Master Output, Slave Input.

MISO: Master Input, Slave Output.

IRQ: Interrupt Reques.

SDA : Serial Data Line.

SCL : Serial Clock Line.

UARTs : Universal Asynchronous Receiver Transmitter.

ISM : Industrielle, Scientifique et Médical.

CAN : Convertisseur Analogique Numérique.



Introduction générale



Introduction générale

Les technologies sans fil offrent des nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications et des réseaux informatiques. Grâce aux progrès faits, il est apparu un nouveau type de réseau ad-hoc, qui sont les réseaux de capteurs sans fil. Il s'agit d'une nouvelle technologie qui a surgi après les grands progrès technologiques concernant le développement des capteurs intelligents, des processeurs puissants et des protocoles de communications sans fil et leurs composants de base. Les nœuds de ce type de réseaux consistent en un grand nombre de micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée. Ils sont dispersés aléatoirement à travers une zone géographique, appelée champ de captage, qui définit le terrain d'intérêt pour le phénomène capté. Les données captées sont acheminées à un nœud considéré comme un "point de collecte", appelé nœud puits. Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet ou un satellite. Ainsi, l'utilisateur peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, précisant le type de données requises et récolter les données environnementales captées par le biais du nœud puits.

Aujourd'hui on retrouve ce type de réseau aussi bien dans la surveillance industrielle, que dans la mesure de données environnementales, la détection d'incendie, l'agriculture, le bien être des individus ou bien encore dans le domaine militaire.

L'application que nous proposons fait partie de domaine médical et le bien être, elle a pour but de créer physiquement un réseau de capteurs, destiné à la surveillance des nourrissons à distance et en temps réel. Nous nous sommes proposé de réaliser cette implémentation un nœud puits chargé de transmettre au personnel de surveillance les informations récoltées en utilisant l'environnement de développement ARDUINO associé avec un module de transmission RF opérant sur la bande fréquentielle ISM (Industrielle, Scientifique et Médical).

Les nourrissons à surveiller sont associés à un nœud composant du grand réseau de capteur implémenté. Les nœuds nourrissons sont chargés de récolter les informations physiologiques : ils font intervenir trois capteurs intégrés aux habits des

nourrissons en technologie E-textile, qui fait partie du large domaine de la technologie Wearable: capteur de température, microphone sensible et calculateur d'orientation.

Pour assurer la communication avec les autres nœuds du réseau, ces capteurs sont liés avec un module RF par l'intermédiaire d'un ordinateur embarqué en environnement Arduino.

Le travail mené dans ce cadre et regroupé dans ce mémoire est organisé de la manière suivante :

Un premier chapitre présente les réseaux de capteurs, en parlant sur l'architecture, composants, fonctionnement, topologies utilisés, applications. Ainsi nous avons montré l'importance des réseaux de capteurs sans fil, qui sont en plein développement et deviennent de plus en plus répandus.

Dans le deuxième chapitre nous allons expliquer l'implémentation physique d'un réseau de capteurs, destiné à travailler pour le bien-être des nouveaux nés en utilisant l'environnement de développement ARDUINO associé avec un module de transmission RF.

Le troisième chapitre présente la technologie de l'E-textile destinée à l'habillement qui fait partie du large domaine de la technologie wearable ainsi que plusieurs domaines d'utilisations de cette technologie récente.

Le dernier chapitre présente l'application finalisée de ce travail. En effet, nous allons exploiter le réseau de capteur dans le but de surveiller des nourrissons en mesurant plusieurs paramètres physiologiques, à savoir la température, la position du nourrisson et le bruit phonique, ses informations vont être acheminées jusqu'au personnel en charge de la surveillance.

Ce travail est terminé par une conclusion générale.



Chapitre I

Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

I- Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sont une nouvelle technologie qui a surgi après les grands progrès technologiques concernant le développement des capteurs intelligents, des processeurs puissants et des protocoles de communication sans fil et leurs composants de base. Ce type de réseau, composé de centaines ou de milliers d'éléments, a pour but la collecte de données de l'environnement, leur traitement et leur dissémination vers le monde extérieur.

Les éléments de réseau, nommés nœuds capteurs, ont de petites dimensions et de sévères contraintes de ressources, notamment l'énergie, le traitement et la communication. On s'attend à ce que les RCSF soient intelligents, autonomes et connaisseurs du contexte où ils s'insèrent. Afin d'atteindre cet objectif, ils doivent s'autogérer. Dans cette partie nous allons décrire les composantes et comportements utilisés au sein des réseaux de capteurs.

II- Capteurs

Un capteur est une entité à capacités de calcul et de mémoire limitées, capable d'obtenir des informations sur son environnement : La température, la pression, la luminosité, ou la présence d'un gaz pour citer des exemples d'informations qu'un capteur est capable de recueillir [1].



Capteur de
température



Capteur de vitesse



Capteur de
pression

Fig I.1 – *Quelques modèles de capteurs.*

Un «nœud capteur» contient quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie. Selon le domaine d'application, il peut aussi contenir des modules supplémentaires tels qu'un dispositif de localisation (GPS), ou bien

un dispositif générateur d'énergie (cellule photovoltaïque). Parfois des capteurs, plus volumineux, sont pourvus d'un dispositif mobilisateur chargé de les déplacer en cas de besoin.

II-1- Unité de captage

Le capteur est le plus souvent composé de deux sous-unités : le récepteur (effectuant l'analyse) et le transducteur (convertissant le signal du récepteur en signal électrique). Le capteur apporte des signaux analogiques, basés sur le phénomène observé, au convertisseur Analogique/Numérique. Ce dernier transforme ces signaux en un signal numérique compréhensible par l'unité de traitement.

II-2- Unité de traitement

Elle comprend un processeur le plus souvent associé à une petite unité de stockage. Elle fonctionne avec un dispositif d'exploitation particulièrement conçu pour les micro-capteurs. Elle exécute les protocoles de communications qui permettent de faire «participer» le nœud avec les autres nœuds du réseau. Elle peut aussi analyser les données captées pour alléger la tâche du nœud puits.

II-3- Unité de transmission

Elle effectue l'ensemble des émissions et réceptions des données sur un medium «sans-fil». Elle peut être de type optique (comme dans les nœuds Smart Dust), ou de type radio-fréquence.

Les communications de type optique sont robustes vis-à-vis des interférences électriques. Néanmoins, ne pouvant pas établir de liaisons à travers des obstacles, elles présentent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre les entités communicantes.

Les unités de transmission de type radio-fréquence comprennent des circuits de modulation, démodulation, filtrage et multiplexage. Concevoir des unités de transmission de type radio-fréquence avec une faible consommation d'énergie est un défi car pour qu'un nœud ait une portée de communication suffisamment grande, il est indispensable d'utiliser un signal assez puissant et par conséquent une énergie consommée importante. L'alternative consistant à utiliser de longues antennes qui n'est pas envisageable à cause de la taille réduite des micro-capteurs.

II-4- Unité de contrôle d'énergie

Un micro-capteur est pourvu d'une ressource énergétique, généralement une batterie. Étant donné sa petite taille, cette ressource énergétique est limitée et le plus souvent non-remplaçable. Ceci fait fréquemment de l'énergie la ressource la plus précieuse d'un réseau de capteurs, car elle influe directement sur la durée de vie des micro-capteurs et par conséquent du réseau entier. L'unité de contrôle d'énergie doit répartir l'énergie disponible aux autres modules, de manière optimale : en réduisant les dépenses inutiles et en mettant en veille les composants inactifs. Cette unité peut aussi gérer des dispositifs de rechargement d'énergie à partir de l'environnement via des cellules photovoltaïques par exemple.

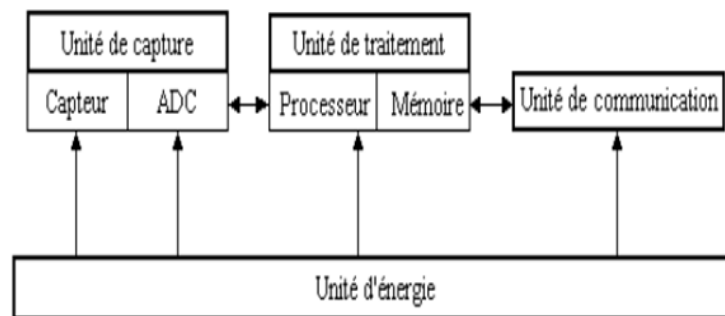


Fig I.2 – Architecture d'un capteur.

III- Réseau de capteurs sans fil

Un réseau de capteurs sans fil est un réseau ad hoc avec un grand nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données d'une manière autonome. Ils peuvent être constitués de différents types de capteurs, capables de surveiller une variété de paramètres, tels que, la température, l'humidité, la pression, le mouvement des véhicules, le niveau de bruit, la présence ou l'absence d'objets, etc [2].

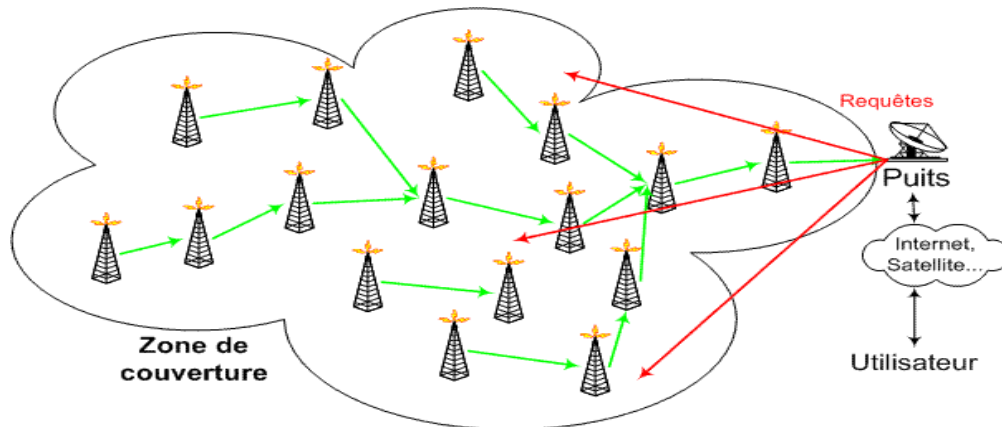


Fig I.3 – Schéma d'un réseau de capteurs [3].

III-1- Composantes

Un réseau de capteurs est composé de deux types de nœuds :

- les capteurs.
- le(s) puits.

Les capteurs sont chargés de relever et de router les informations relevées sur la zone couverte vers le point de collecte, également appelé puits. Le puits récupère les informations remontées par les différents capteurs et les transmet au centre de traitement. Les capteurs disposés de manière aléatoire forment la zone de couverture [3]

III-2- Architectures de Réseaux de capteurs

Il existe plusieurs topologies pour les réseaux à communication radio. Nous discutons ci-dessous des topologies applicables aux réseaux de capteurs.

III-2-1- Topologie en étoile

Dans cette topologie une station de base envoie ou reçoit un message via un certain nombre de nœuds. Ces nœuds peuvent uniquement envoyer ou recevoir un message de l'unique station de base, il ne leur est pas permis de s'échanger des messages.

- Avantage : simplicité et faible consommation d'énergie des nœuds, moindre latence de communication entre les nœuds et la station de base,
- Inconvénient : la station de base est vulnérable, car tout le réseau est géré par un seul nœud.

III-2-2- Topologie «en toile» ou «en grille» (Mesh Network)

Dans ce cas (dit «communication multi-sauts»), tout nœud peut échanger avec n'importe quel autre nœud du réseau, s'il est à sa portée de transmission. Un nœud voulant transmettre un message à un autre nœud hors de sa portée de transmission, peut utiliser un nœud intermédiaire pour envoyer son message au nœud destinataire.

- Avantage : Possibilité de passer à l'échelle du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes,
- Inconvénient : Une consommation d'énergie plus importante est induite par la communication multi-sauts.

Une latence est créée par le passage des messages des nœuds par plusieurs autres avant d'arriver à la station de base.

III-2-3- Topologie hybride

Une topologie hybride se situe entre celle en étoile et en grille apporte des communications réseau robustes et diverses, en assurant la minimisation de la consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs. Dans ce type de topologie, les nœuds capteur autonome en énergie ne routent pas les messages, mais il y a d'autres nœuds qui ont la possibilité de faire le routage des messages. Généralement, ces nœuds disposent d'une source d'énergie externe.

III-3- Fonctionnement d'un RCSF

Les données captées par les nœuds sont acheminées grâce à un routage multi-saut à un nœud considéré comme un "point de collecte", appelé nœud-puits (ou sink). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau (via Internet, un satellite ou un autre système). L'utilisateur peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, précisant le type de données requises et récolter les données environnementales captées par le biais du nœud puits.

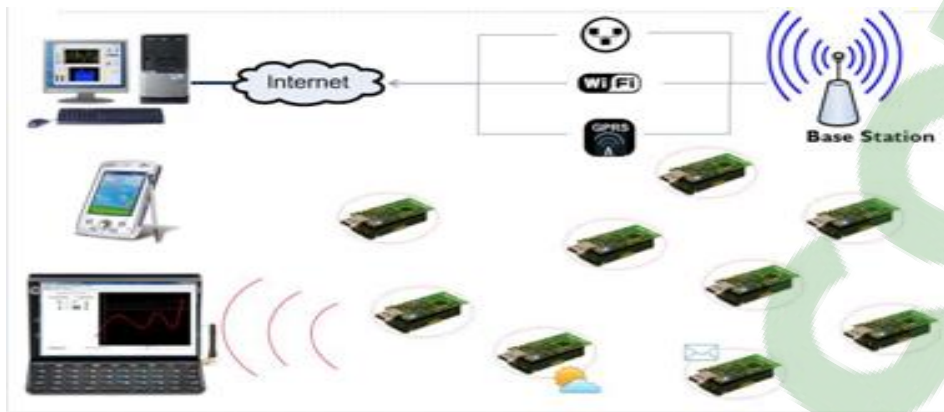


Fig I.4 – Schéma de fonctionnement d'un RCSF [5].

Les progrès conjoints de la micro-électronique, microtechnique, des technologies de transmission sans fil et des applications logicielles ont permis de produire à coût raisonnable des micro-capteurs de quelques millimètres cubes de volume, susceptibles de fonctionner en réseaux. Il intègre :

- une unité de captage chargée de capter des grandeurs physiques (chaleur, humidité, vibrations, rayonnement...) et de les transformer en grandeurs numériques,
- une unité de traitement informatique et de stockage de données et un module de transmission sans fil (wireless).

Ces micro-capteurs sont donc de véritables systèmes embarqués. Le déploiement de plusieurs d'entre eux, en vue de collecter et transmettre des données environnementales vers un ou plusieurs points de collecte, d'une manière autonome, forme un réseau de capteurs sans fil (Wireless Sensor Network ou WSN pour les anglosaxons) [5].

III-3-1- Collecter les informations dans un RCSF

Il y a deux méthodes pour collecter les informations d'un réseau de capteurs :

III-3-1-1- A la demande

Lorsque l'on souhaite avoir l'état de la zone de couverture à un moment T, le puits émet des broadcastes vers toute la zone pour que les capteurs remontent leur dernier relevé vers le puits. Les informations sont alors acheminées par le biais d'une communication multi-sauts [3].

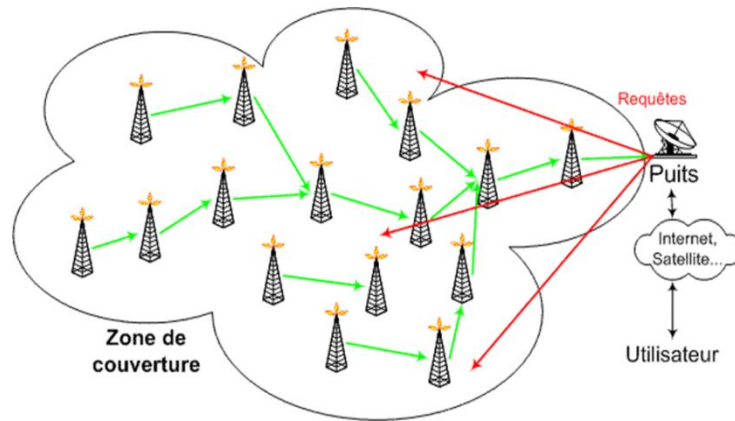


Fig I.5 – Collecter les informations à la demande [3].

III-3-1-2- Suite à un événement

Un événement se produit en un point de la zone de couverture (changement brusque de température, mouvement...), les capteurs situés à proximité remontent alors les informations relevées et les acheminent jusqu'au puits [3].

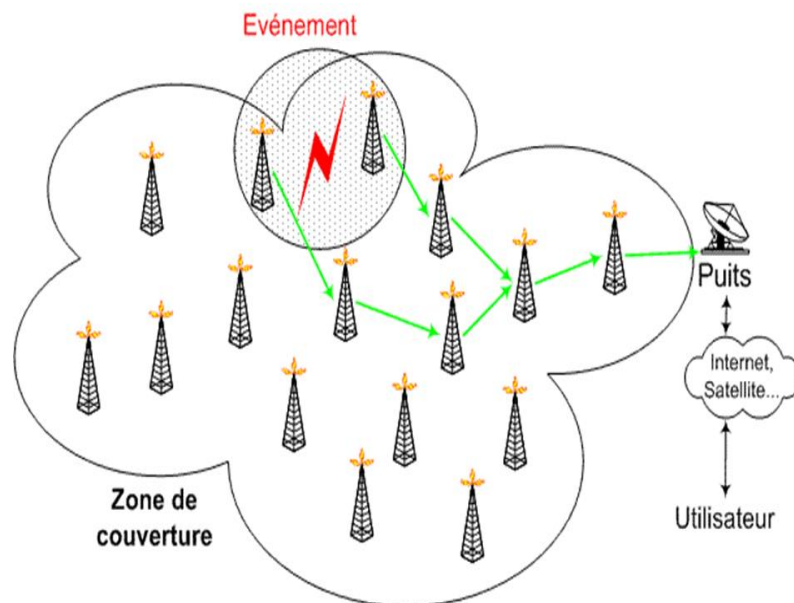


Fig I.6– Collecter les informations Suite à un événement [3].

III-3-2- Consommation d'énergie

La durée de vie d'un capteur dépend fortement de la durée de vie de sa batterie qui est une ressource critique non renouvelable dans la plupart des scénarios, donc il faut utiliser des techniques pour assurer une conservation et une bonne gestion d'énergie pour maximiser la durée de vie d'opération du réseau.

III-4- Routage de données

Lorsque des nœuds ne sont pas reliés à l'unité de collecte, l'envoi direct n'est pas possible, il faut donc appliquer des règles de routages de l'information.

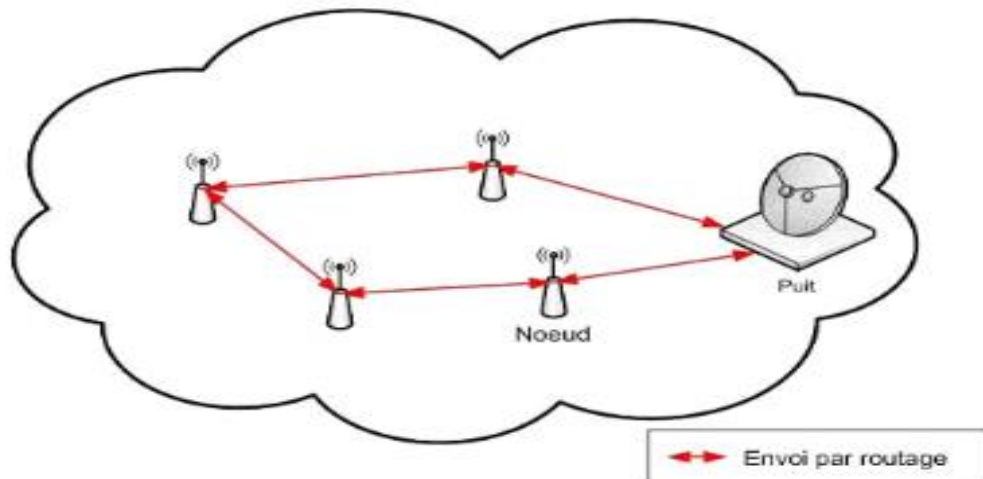


Fig I.7– Envoi par routage [4].

Cette opération nécessite des protocoles de routage. On en distingue trois types : réactifs, proactifs ou hybrides [4,6].

III-4-1- Protocoles réactifs

Les protocoles réactifs recherchent les routes suite à la demande d'une application. Lorsque le réseau a besoin d'une route, une procédure de découverte globale des routes est lancée, dans le but d'obtenir une information spécifique, inconnue au préalable.

III-4-2- Protocoles proactifs

Les protocoles proactifs établissent les routes à l'avance et sont particulièrement utilisés dans un réseau de grande taille. Ils maintiennent en permanence une vision globale de l'état du réseau ad hoc grâce à une gestion périodique des tables de routage et l'échange de trames périodique de contrôle.

III-4-3- Protocoles hybrides

Ils fonctionnent en mode proactif pour garder la connaissance locale de la topologie et le mode réactif pour les nœuds lointains.

IV- Domaine d'application des RCSF

Durant ces dernières années une maturation dans la compréhension, la conception et l'exploitation des réseaux de capteurs a été atteinte pour cette raison nous trouvons leurs application dans des différents domaines [1, 2, 5,7]

IV-1- Bâtiment

Un réseau de capteurs peut être utilisé pour contrôler l'évolution de la structure d'un ouvrage d'art,

IV-2- Bien être

Il est également possible d'exploiter les réseaux de capteurs pour gérer la température ambiante, la lumière dans une habitation via des interrupteurs autonomes non câblés, etc. tous simplement la domotique, qui constitue un exemple d'applications frappant des réseaux de capteurs.

Exemple de maison intelligente :

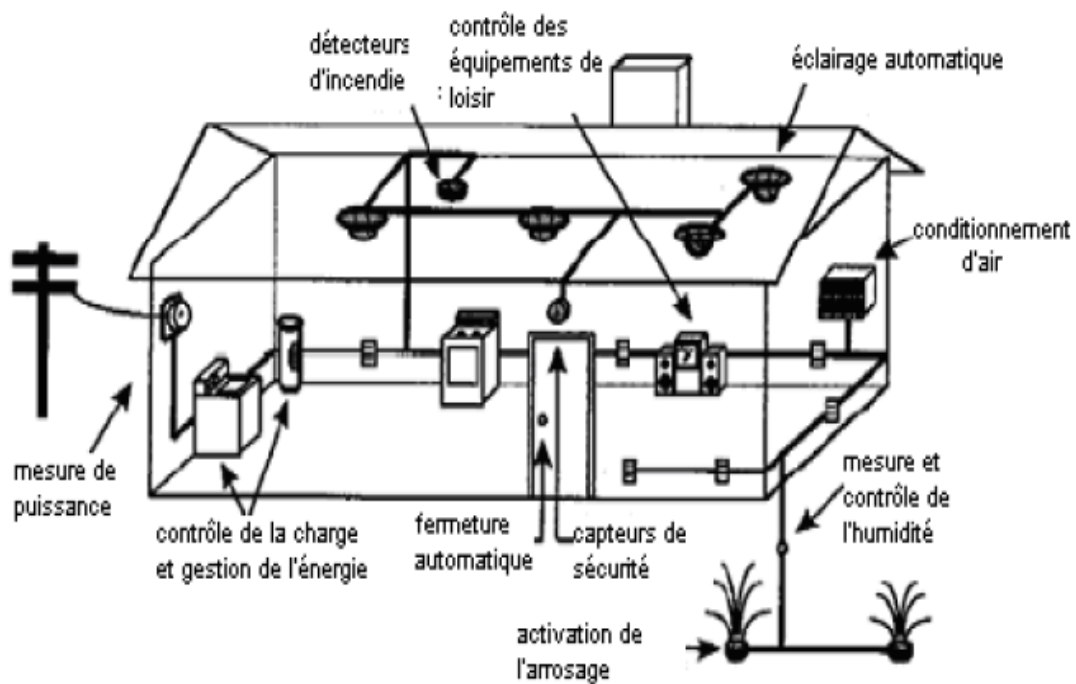


Fig I.8– Maison intelligente

IV-3- Engins de transport

Un véhicule doté d'un réseau de capteurs facilite : la gestion du trafic, le contrôle de la déformation de la structure du châssis, le contrôle de pression des pneus, etc.

IV-4- Environnement

Dans le domaine de l'environnement, nous pouvons citer : la détection de polluants dans l'air ou le sol, le suivi des mouvements des oiseaux, des animaux, la détection des incendies, la détection du niveau d'eau dans le sol, etc.

Exemple: Un réseau de capteurs peut servir de sentinelle pour la surveillance de feux de forêt. Cette application est encore au stade de recherche. Son principal intérêt est d'avoir une information en temps réel de l'état des forêts : taux d'hygrométrie, température. En cas d'incendie, la température s'élève violemment et détruit le capteur qui cesse d'émettre. Une alarme est donc déclenchée et les secours peuvent intervenir très rapidement..

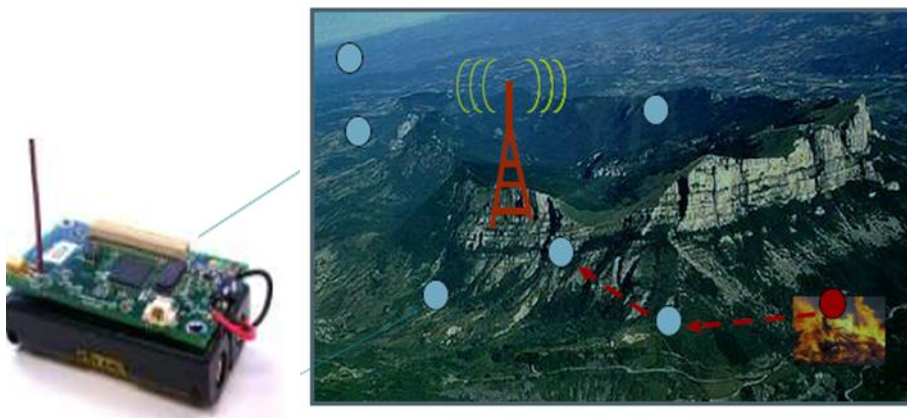


Fig I.9– Détection d'incendie en utilisant un RCSF [7].

IV-5- Agriculture

Un réseau de capteurs peut fournir des informations cruciales pour adapter l'arrosage, les systèmes antigel et le traitement des plantations à chaque parcelle. Les économies en eau et le rendement des cultures sont donc améliorés.



Fig I.10–Application de RCSF dans le domaine d'agriculture [7].

IV-6- Médical

Le domaine médical peut lui aussi intégrer des applications pertinentes. Comme par exemple : l'aide à la médication et le suivi des patients à distance : rythme cardiaque, pression du sang, etc, l'identification des allergies et des médicaments administrés aux patients, la localisation des docteurs et des patients dans l'hôpital, etc.



Fig I.11– Application de RCSF dans le domaine médical.

IV-7- Militaire

Le domaine militaire ne sera pas épargné non plus. Il pourra utiliser les RCSF par exemple dans la détection et la collecte d'informations sur la position de l'ennemi et ses mouvements, la détection d'agents chimiques ou bactériologiques, etc.

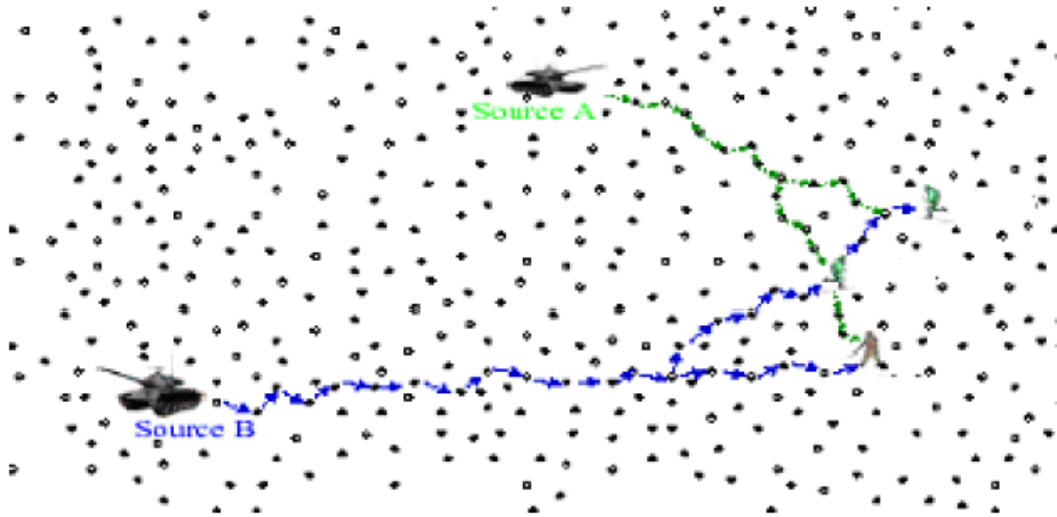


Fig I.12– Application de RCSF dans le domaine militaire.

V- Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs, en parlant sur l'architecture, composants, fonctionnement, topologies utilisés, applications. Ainsi nous avons montré l'importance des réseaux de capteurs sans fil, qui sont en plein développement et deviennent de plus en plus répandus. Dans le chapitre suivant nous allons implémenter physiquement un réseau de capteurs en utilisant l'environnement hardware ARDUINO associé avec un module de transmission RF.



Chapitre II

*L'implémentation de la
communication RF*

I- Introduction

L'objectif principal de notre travail consiste à implémenter physiquement un réseau de capteurs, destiné à assurer le bien-être des nouveaux nés. Nous nous sommes proposé de réaliser cette implémentation en utilisant l'environnement hardware ARDUINO associé avec un module de transmission RF du type nRF24L01+ opérant sur la bande fréquentielle ISM (Industrielle, Scientifique et Médical). Dans ce chapitre nous allons décrire les aspects adoptés avec ces deux modules pour l'intégration du réseau de capteur.

II- Système ARDUINO

Le système ARDUINO est une plateforme open source basée sur des cartes programmées à microcontrôleur AVR et un environnement de développement libre permettant d'écrire, compiler et tester un programme. Les cartes et modules ARDUINO sont pourvus d'entrées et de sorties qui peuvent recevoir des signaux de capteurs ou interrupteurs et peuvent commander des moteurs, éclairages, etc [8].

II-1- Description matérielle

Dans la première partie de notre conception nous avons utilisé la carte ARDUINO Mega 2560 qui est basée sur le microcontrôleur ATmega2560 et dispose de :

- 54broches numériques d'entrées/sorties
- 16 entrées analogiques
- 4 UART (port série matériel),
- un quartz 16Mhz,
- une connexion USB,
- un connecteur d'alimentation jack,
- un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- et un bouton de réinitialisation (reset).

Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB [8].

L'ATmega2560 dispose de quatre UARTs (Universal Asynchronous Receiver Transmitter ou émetteur-récepteur asynchrone universel en français) pour communication série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX). Un circuit intégré ATmega8U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série de l'un des ports série de l'ATmega 2560 vers le port USB de l'ordinateur qui apparaît comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur [9].



Fig II.1 – Vue de la carte ARDUINO Mega 2560.

II-2- Description logicielle

L'environnement ARDUINO Software (IDE) est un environnement open-source écrit en Java et fonctionne sur Windows, Mac OS X et Linux, et il peut être utilisé avec n'importe quel carte ARDUINO [10].

Pour programmer notre carte ARDUINO MEGA 2560 nous avons utilisé la version 1.6.7 de l'environnement de développement ARDUINO.

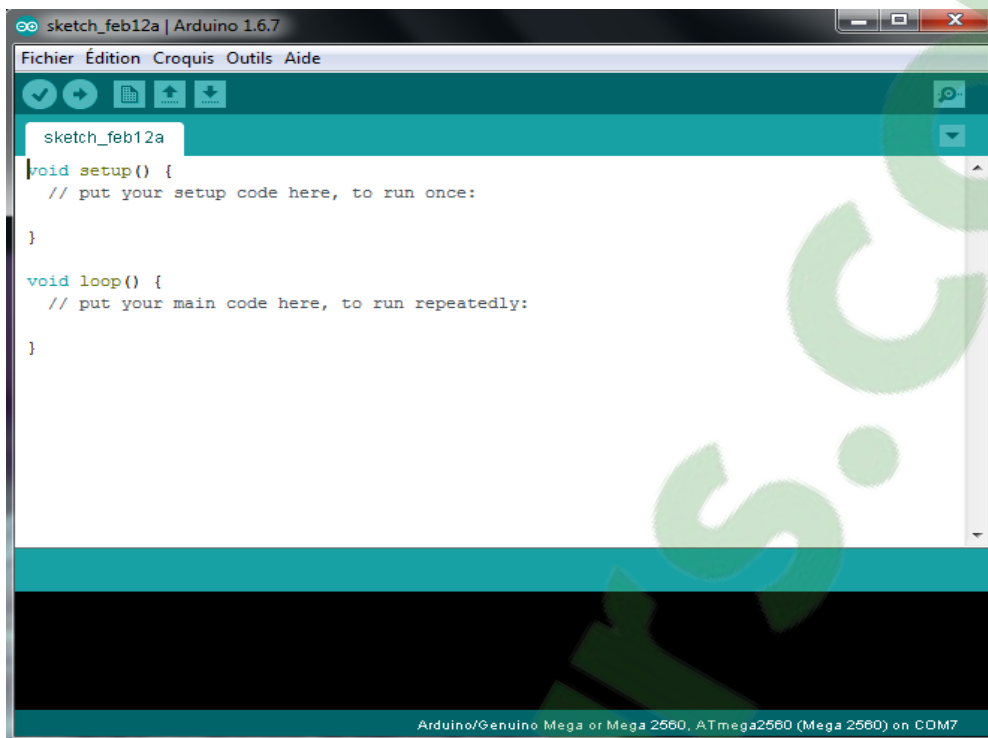


Fig II.2 – Interface du logiciel ARDUINO.

Un programme ARDUINO comporte trois parties

1. la partie déclaration des variables (optionnelle)
2. la fonction **setup ()** : cette partie s'exécute une seule et sert à initialiser les interfaces et variables.
3. la fonction **loop ()** : Cette fonction est le noyau de tout programme ARDUINO et réalise l'essentiel du travail, elle comprend le code à exécuter en continue par exemple : lire les capteurs en entrée et déclencher les actionneurs en sortie, etc [11].

Le logiciel ARDUINO inclut une fenêtre terminal série (ou moniteur série) sur l'ordinateur et qui permet d'envoyer des textes simples depuis et vers la carte ARDUINO. Les LEDs RX et TX sur la carte clignotent lorsque les données sont transmises via le circuit intégré ATmega8U2 utilisé en convertisseur USB-vers-série et la connexion USB vers l'ordinateur.

III- Radiocommande nRF24L01+

III-1- Description de module

Le module radio nRF24L01+ est un émetteur-récepteur qui permet de communiquer par ondes radio sur la bande de fréquence de 2,4 GHz, sa vitesse de transmission des données est configurable et peut atteindre 2Mbps, sa portée maximale est d'environ 100m pour un débit de 250kbps. Il est doté d'une puce qui utilise un protocole propriétaire appelé ShockBurst [12].

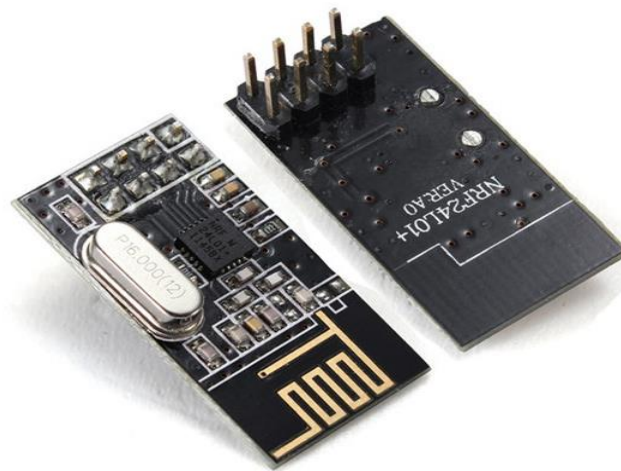


Fig II.3 – Module nRF24L01+

Le module dispose de 8 broches (Pin) comme le montre la figure (II-4) suivante [12] :

- ✓ Pin1 : GND (la masse).
- ✓ Pin2 : VCC (alimentation 3.3v)
- ✓ Pin3 : CE (Chip Enable : utilisé pour activer la puce en mode RX ou TX)
- ✓ Pin4 : CSN (Chip Select : utilisé pour activer ou désactiver le circuit).
- ✓ Pin5: SCK (Serial Clock: horloge).
- ✓ Pin6: MOSI (Master Output, Slave Input).
- ✓ pin7: MISO (Master Input, Slave Output).
- ✓ pin8: IRQ (Interrupt Reques).

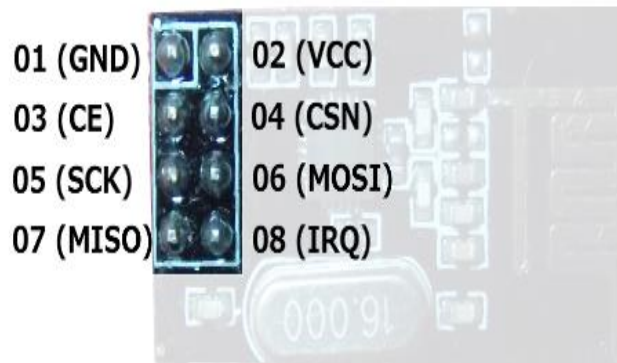


Fig II.4 – Connexions du module nRF24L01+

III-2- Protocole Enhanced ShockBurst

ShockBurst est une couche de liaison de données à base de paquets qui est responsable de l'assemblage automatique, la synchronisation, la reconnaissance automatique et retransmissions de paquets. ShockBurst™ permet la mise en œuvre de faible puissance et de communication ultra haute performance avec des microcontrôleurs d'accueil à faible coût.

Les principales caractéristiques de ShockBurst sont :

- ✓ 1 à 32 octets de longueur dynamique de la charge utile,
- ✓ le traitement automatique de paquets,
- ✓ la gestion des transactions de paquets automatique

La figure suivante montre le format du paquet ShockBurst [12] :

Préambule (1 octet)	L'adresse (3-5 octets)	la charge utile (0-32 octets)	CRC (1-2 octets)
------------------------	---------------------------	-------------------------------	---------------------

Fig II.5 – Format de paquet ShockBurst.

III-3- Mode de fonctionnement

Le module nRF24 est doté de 7 canaux logiques dans une seule bande de fréquence : un canal réservé pour l'émission et 6 pour la réception où chaque canal est

associé à un « pipe » c'est-à-dire une adresse physique, en effet le module peut écouter 6 autres modules simultanément comme indique-la Figure suivante.

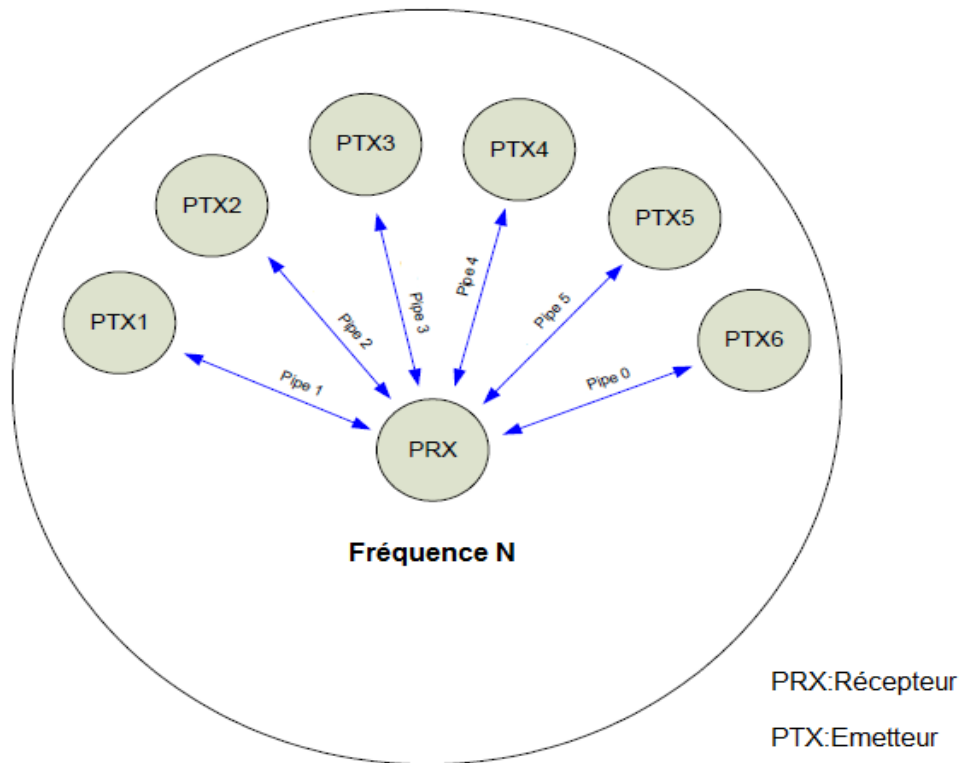


Fig II.6 – Schéma synoptique du mode de transmission nRF24L01+.

En cas de réception d'un paquet, la puce gère le protocole ShockBurst en envoyant un ACK en retour puis en désassemblant le paquet pour ne garder que son contenu utile (=les données transmises) dans une file d'attente (FIFO) spécifique pour chaque canal d'écoute.

Les données récupérées par le module nRF24L01+ peuvent être lus par le microcontrôleur associé à l'aide d'une la liaison série SPI [12].

IV- Protocole de communication SPI

La liaison SPI est un bus de données séries synchrone baptisé par Motorola, et qui opère en Full Duplex. Les circuits communiquent selon un schéma maître-esclaves, ou le maître s'occupe totalement de la communication. Plusieurs esclaves peuvent coexister sur un bus, la sélection du destinataire se fait par une ligne dédiée entre le maître et l'esclave appelée "chip select" [13].

IV-1- Interfaces

Le bus SPI contient 4 signaux logiques :

- SCLK : horloge (généré par le maitre).
- MOSI : Master Output, Slave Input (généré par le maitre).
- MISO : Master Input, Slave Output (généré par l'esclave).
- SS : Slave Select, Actif à l'état bas (généré par le maitre).

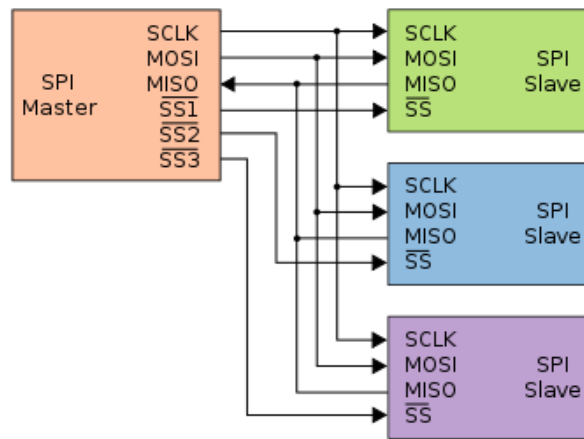


Fig II.7 – Mode de fonctionnement de bus SPI [13].

IV-2- Transmission des données

Pour commencer une communication, premièrement, le maître configure l'horloge par l'utilisation du signal SS, ensuite le maître sélectionne la seule puce esclave désirée avec qui il veut communiquer. Si une période d'attente est nécessaire (comme pour un convertisseur analogique-numérique) le maître doit attendre au moins ce temps de conversion pour pouvoir délivrer son cycle d'horloge.

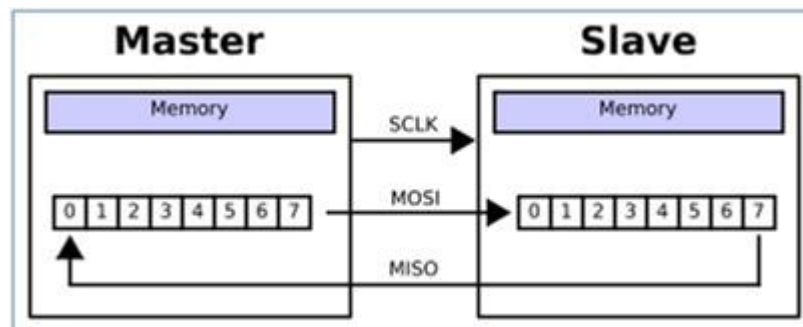


Fig II.8 – Transmission des données dans le bus SPI [13].

Durant chaque cycle d'horloge SPI, une transmission de donnée full duplex se produit :

- Le maître envoie un bit sur la ligne MOSI, l'esclave lit ce bit sur la même ligne.
- L'esclave envoie un bit sur la ligne MISO, le maître lit ce bit sur la même ligne.

À chaque coup d'horloge le maître et l'esclave s'échangent un bit, après huit coups d'horloges le maître a transmis un octet à l'esclave et vice versa. La vitesse de l'horloge est réglée selon des caractéristiques propres aux périphériques. Lorsqu'il n'y a plus de données à transmettre le maître arrête son horloge, et cela désactive l'esclave [13].

IV-3- Broches SPI d'ARDUINO

Les broches de la carte ARDUINO utilisée, ATMEGA2560, qui supportent la communication SPI sont [12]:

- Broches 50 : MISO.
- Broche 51 : MOSI
- Broche 52 : SCK
- Broche 53 : SS.

V- Conception du réseau de capteur

La Conception des nœuds de notre réseau de capteur est effectuée en intégrant ensemble un nRF24L01+ avec une carte ARDUINO, la communication est effectuée en respectant l'affectation des pins présentés ultérieurement dans le cas d'une carte ARDUINO MEGA2560. Le tableau-II-1 si dessous résume cette dernière.

Après l'interfaçage de l'ARDUINO avec le module nRF24L01+, afin de créer les différents nœuds du réseau de capteurs, il est indispensable de programmer leurs comportements. Pour le développement nous avons procédé en respectant la norme décrivant les différentes couches qui construisent un réseau de capteur.

Broche nRF24L01+	Fonctionnement	Broche ARDUINO
Pin 1	GND	GND
Pin 2	VCC	3.3V
Pin3	CE	Digital 40
Pin4	CSN	Digital 53
Pin5	SCK	Digital 52
Pin6	MOSI	Digital 51
Pin7	MISO	Digital 50
Pin8	IRQ	Non branché

Tab II.1– Branchement nRF24L01+ avec ARDUINO

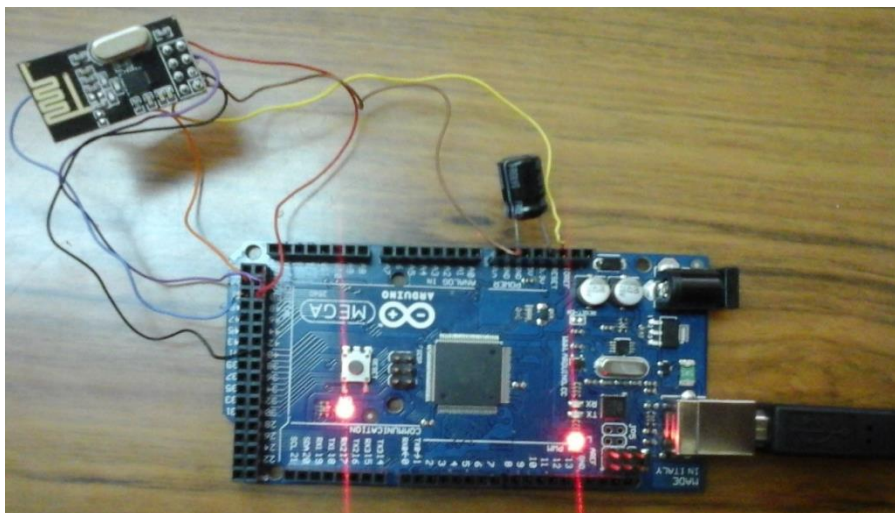


Fig II.9 – Branchement nRF24L01+ avec ARDUINO

V-1- Architecture de communication dans les réseaux de capteurs

Le modèle de communication des réseaux de capteurs comprend cinq couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI [14].

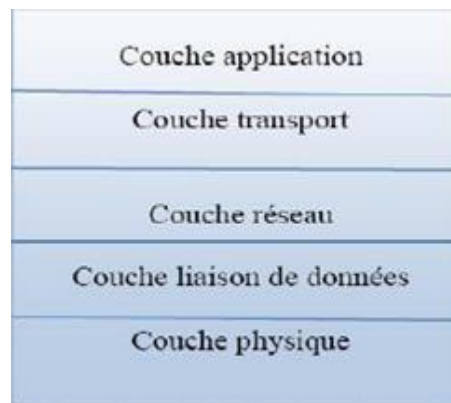


Fig II.10 – *Modèle en couches du réseau de capteurs sans fil [14].*

- **Couche physique** : Matériels pour envoyer et recevoir les données.
- **Couche liaison de données** : Gestion des liaisons entre les nœuds et les stations de base, contrôle d'erreurs.
- **Couche réseau** : Routage et transmission des données.
- **Couche transport** : Transport des données, contrôle de flux.
- **Couche application** : Interface pour les applications au haut niveau.

Sous l'environnement de développement ARDUINO chaque couche de notre réseau de capteur est matérialisée par le biais d'instructions appartenant à une bibliothèque spécifique choisie en fonction de leurs fonctionnalités désirées. En effet, une bibliothèque est un ensemble de fonctions qui s'ajoutent aux fonctions de base de l'environnement ARDUINO et qui s'adressent à un domaine particulier.

Les bibliothèques ARDUINO sont composées d'au moins deux fichiers, un fichier d'en tête et un fichier source :

- Le fichier d'en tête « .h » contient les prototypes des fonctions disponibles
- le fichier source « .cpp » contient l'implémentation du code,

Pour ajouter une nouvelle bibliothèque dans l'environnement ARDUINO, il faut copier les fichiers entête et source dans le dossier « \ARDUINO\libraries ». La nouvelle librairie ainsi installée sera utilisée à l'aide de la directive **#include**.

V-2- La bibliothèque RF24 pour la couche liaison de donnée

Pour exploiter les fonctionnalités du module nRF24L01+ nous avons fait appel à la librairie RF24, cette dernière est destinée à gérer la couche physique, elle est responsable, de la bande fréquentielle utilisée, le débit de transmission ainsi que la bonne configuration des différents registres du module nRF24L01+ [15].

V-3- La bibliothèque RF24Network pour la couche réseau

La classe RF24Network implémente la normalisation de la couche réseau en utilisant le nRF24L01+, elle est pilotée par la librairie RF24, cette librairie permet l'échange des données entre les différents nœuds à condition qu'on attribue manuellement dans le programme à chaque nœuds une adresse physique entre 1 à 255. Les adresses du réseau sont assignées sous forme d'un arbre. L'adresse d'un nœud est un nombre octal qui décrit exactement la position de ce dernier dans l'arbre. La manière d'affecter des adresses pour les différents nœuds par le programmeur est la suivante :

- Nœud 00 adresse du parent principal.
- Les nœuds 01-05 sont des nœuds fils du parent principal.
- Les nœuds 011-021-031 sont des nœuds fils du parent secondaire 01.
- Les nœuds 012-022-032 sont des nœuds fils du parent secondaire 02.

V-4- La librairie RF24Mesh pour la couche transport

La bibliothèque RF24Network fournit un système d'adressage et de routage pour les modules de radio RF24, qui permet aux grands réseaux de capteurs sans fil d'être construits. Cette bibliothèque exploite la capacité du module nRF24L01+ de communiquer simultanément avec 6 de ces semblables.

La bibliothèque RF24Mesh offre des fonctionnalités supplémentaires, à l'image de la configuration automatique et dynamique des adresses associées aux capteurs sans fil [15].

Le code ci dessous montre la façon avec laquelle nous avons utilisé les différentes bibliothèques avec une carte ARDUINO MEGA2560.

```
/*Tlemcen Le 05/04/2016 */
/*Master RST 2015/2016 */
/*PFE: Surveillance de nourrisson par réseau de capteur */
/*programme de noeud nourrisson */

/*insertion des bibliothèques*/
#include <RF24.h>
#include <SPI.h>
#include <RF24Network.h>
#include <RF24Mesh.h>

RF24 radio(40,53);//les pins (CE,CSN)utilisé (40,53)
RF24Network network(radio);//construire le réseau
RF24Mesh mesh(radio, network);//construire Mesh
```

Fig II.11 – Code déclaration des différentes bibliothèques

VI- Firmware développé pour les nœuds du réseau

Chaque nœud de notre réseau respecte pour son fonctionnement les organigrammes suivants :

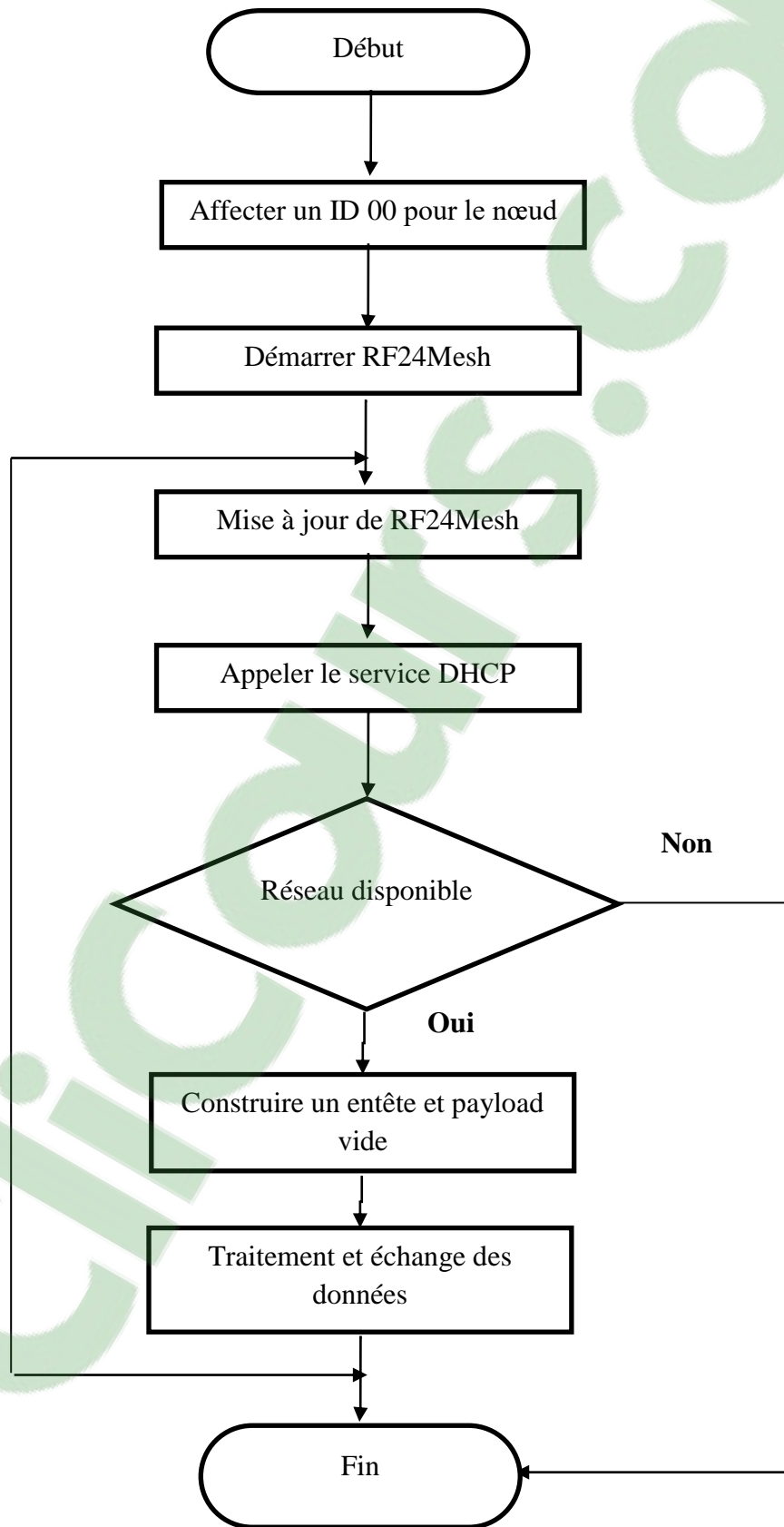


Fig II.12 – organigramme du firmware utilisé au niveau du nœud puits.

Ce dernier a été traduit dans l'environnement ARDUINO pour construire le Firmware à déployer sur les nœuds du réseau.

Le code ci dessous montre la façon avec laquelle nous avons appliqué l'organigramme sur le nœud puits :

```
void setup() {

  Serial.begin(1200); // la vitesse de transmission en serie
  mesh.setNodeID(nodeID); // donner un numero ID=00 pour le puit //
  Serial.println(F("creation mesh..."));
  mesh.begin(); // se connecter au réseau Mesh //
  Serial.println("Ok");
}

void loop() {

  mesh.update(); // Mise a jour de RF24Mesh
  mesh.DHCP(); // demarrer le service DHCP
  while(network.available()){ // verifier si le réseau est disponible
    RF24NetworkHeader h; // créer un entête vide
    donnees t;
    Serial.println("lecture :");
    network.read(h, &t, sizeof(donnees)); // lire une trame t.
  }
}
```

Fig II.13 – Code du firmware utilisé au niveau du nœud puits.

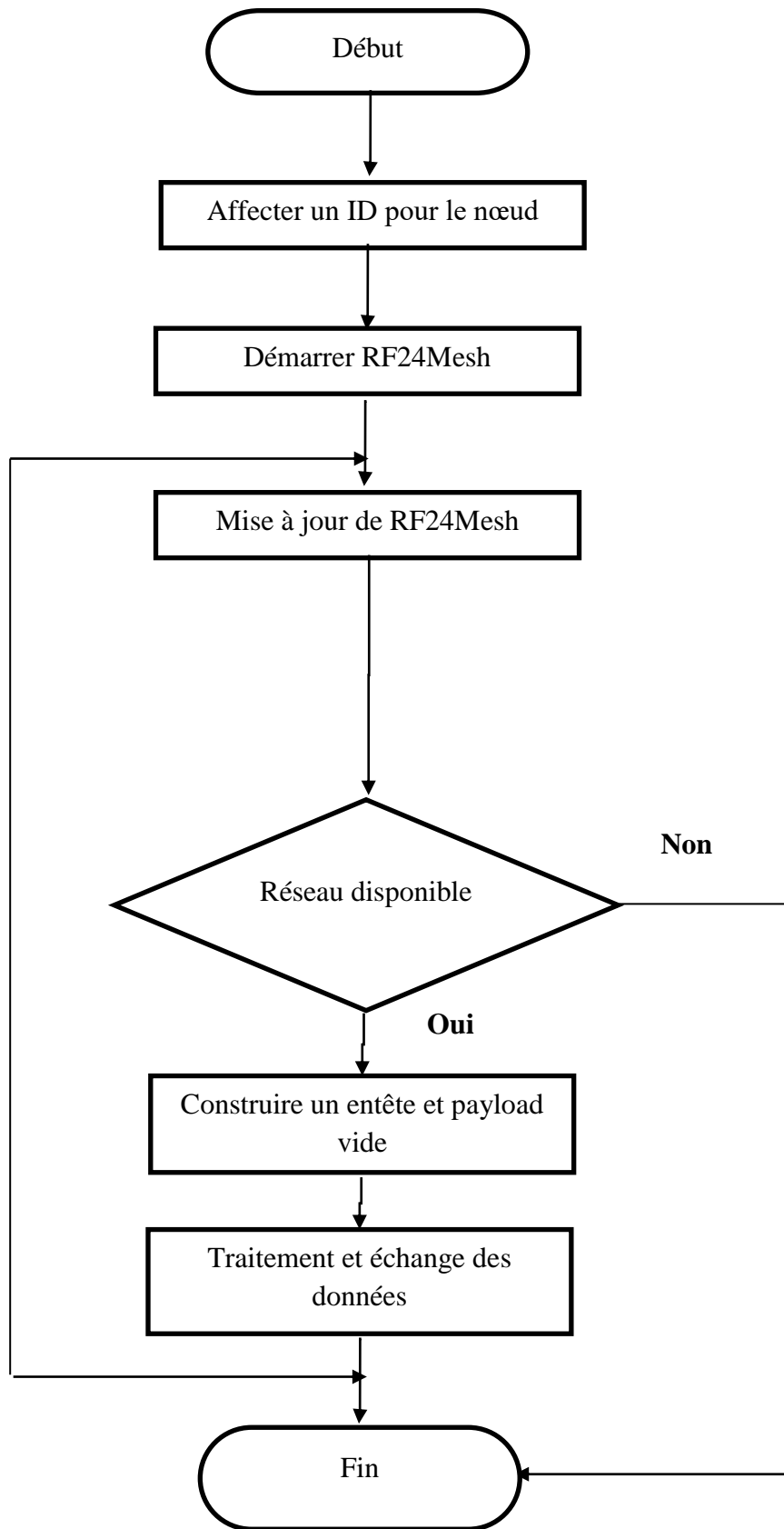


Fig II.14 – organigramme du Firmware utilisé au niveau d'un nœud autre que le puits.

VII - Conclusion

Nous avons expliqué dans ce chapitre la manière avec laquelle on a procédé pour construire les différents nœuds du réseau de capteurs en utilisant un module nRF24L01+. Ce dernier est destiné à superviser le bien être des nourrissons dans une pouponnière. Nous voulons que chaque nœud soit porté par un nourrisson en l'intégrant à son vêtement d'où la nécessité d'exploiter la récente technologie dite E-textile.



Chapitre III

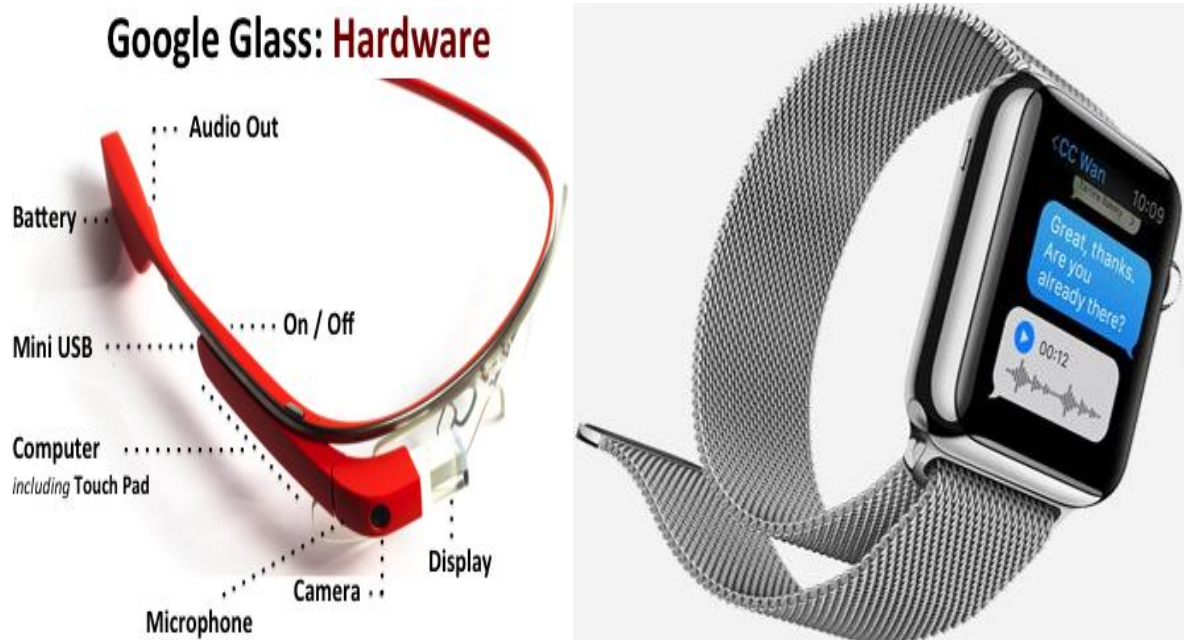
Technologie E-textile

I- Introduction

Le but de notre projet consiste à créer un réseau de capteurs pour la surveillance à distance et en temps réel des nourrissons, les capteurs que nous proposons sont de la technologie « wearable », ils sont intégrés dans les habits des nourrissons pour mesurer plusieurs paramètres physiologiques : la température, position du nourrisson et le son. En effet, les capteurs qui utilisent la technologie wearable sont de plus en plus employés dans des domaines différents. Dans ce chapitre nous allons présenter cette nouvelle technologie dite wearable ainsi que plusieurs domaines de son utilisations.

II- Présentation de la technologie wearable :

La technologie « wearable » repose sur des dispositifs électroniques et informatiques avancés qui peuvent être portés par un consommateur sous la forme d'un accessoire (collier, bracelet, lunettes, etc.) ou être intégrée dans des vêtements, ces éléments ont la possibilité de réaliser différentes activités de calcul afin de renseigner de nombreuses caractéristiques pour les utilisateurs avec une capacité de communication en temps réel [16].



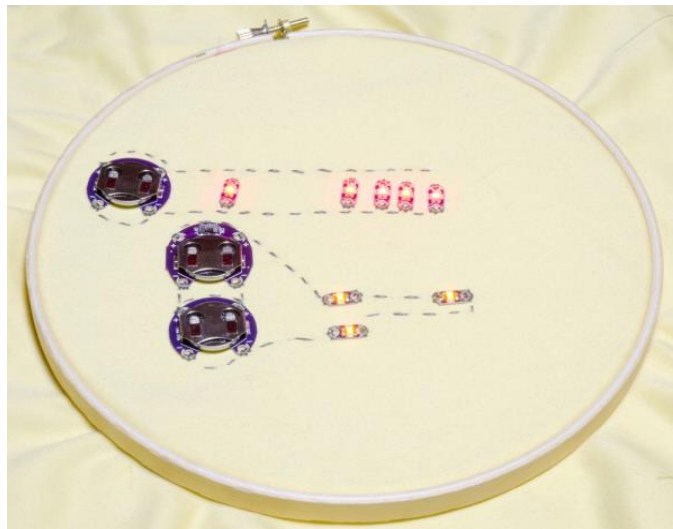
FigIII.1–Google glass et Apple Watch les dernières innovations de la technologie wearable.

Les textiles électroniques destinés à l'habillement font partie du large domaine de la technologie « wearable ».

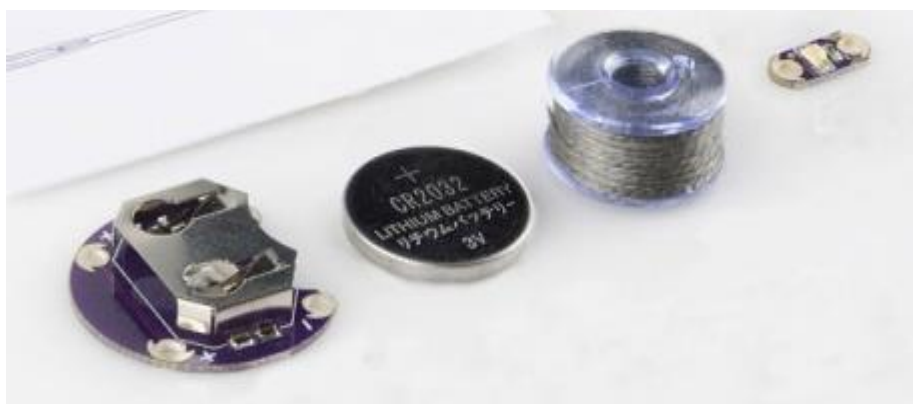
III- Technologie E-textile :

L'électronique intégrée au textile ou E-textile est une technologie récente qui repose sur l'implémentation des composants électroniques textiles tels que des capteurs, des haut-parleurs directement dans l'habillement.

Ces composants conducteurs et semi-conducteurs qui sont souples, de taille réduite et consomment peu d'énergie par rapport aux composants classiques qui sont plus rigides, s'attachent directement avec le tissu textile à l'aide d'un fil conducteur comme le montre l'exemple suivant [17] :



FigIII.2–Clignoter des LED à l'aide d'un LilyPad.



FigIII.3–Matériel wearable utilisé pour la réalisation de l'exemple précédent (support pour batterie LilyPad, batterie, fil conducteur et une LED).

III-1- Fil conducteur

Pour la réalisation de notre projet nous avons utilisé un fil conducteur lisse filées à partir de fibres d'acier inoxydable de diamètres $12\mu\text{m}$ et une résistance de $27\Omega/\text{m}$, ce fil combine la souplesse d'une fibre textile traditionnelle à la résistance aux hautes températures de l'acier.

Les fibres d'acier inoxydable présentent également les caractéristiques suivantes [17] :

- Acier austénitique présentant une résistance aux efforts mécaniques de cisaillement (contrairement aux fibres de verre, de céramique ou de carbone), une résistance à la corrosion, une résistance chimique ainsi qu'une souplesse comparable à celle du cuivre.
- Température de fusion : $1380\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Léger magnétisme lors de l'écroutissage
- Résistance au lavage.

IV- Domaine d'application des E-textiles

E-textile est utilisé dans de nombreux domaines, parmi les secteurs d'activités potentiellement impactés par cette technologie, nous citons [17]:

IV-1- Sport

Le sport est l'un des principaux secteurs d'application des textiles intelligents. Des vêtements, destinés aux sportifs professionnels et amateurs, ont été conçus sur le principe des objets connectés : tee-shirts, débardeurs ou autres tenues de sport sont pourvus de capteurs intégrés dans le tissu mesurant le rythme cardiaque, la fréquence respiratoire, la température corporelle, les calories brûlées, etc. Une fois les données physiologiques recueillies, elles sont acheminées vers un équipement externe qui peut être un ordinateur, une tablette ou un Smartphone. La connectivité entre ces unités technologiques rend possible le transfert des informations et l'application externe permet la visualisation de l'ensemble de ces données en temps réel, données qui peuvent également être sauvegardées pour une consultation en temps différé ou analyses ultérieures.

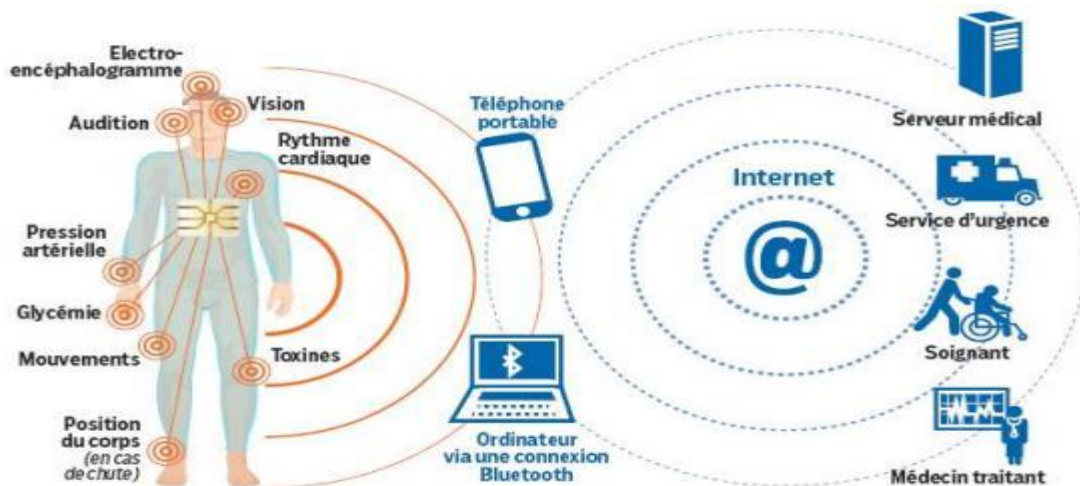


FigIII.4–Tee-shirt intelligent contient un capteur d'activité, un capteur de pulsation cardiaque et un capteur de respiration cardiaque.

IV-2- Santé

Le domaine médical n'échappe pas non plus aux smart textiles. Avec des vêtements communicants capables de prévenir et de faciliter le traitement de maladies, des tissus connectés et innovants au service des patients et même de la peau artificielle et des prothèses textiles, les possibilités médicales et thérapeutiques semblent aujourd'hui en pleine évolution.

Il s'agit simplement d'utiliser les nouvelles technologies pour mesurer, stocker et envoyer des données. Avec les textiles intelligents, on va surtout s'intéresser, via des puces ou des capteurs intégrés directement dans les vêtements, à la collecte de différentes mesures physiologiques qui vont être transmises, à l'aide d'un Smartphone ou d'un ordinateur, au médecin traitant ou à l'hôpital. Des vêtements multifonctionnalités, qui vont être particulièrement utilisés pour le suivi d'un patient après une opération ou pour une hospitalisation à domicile. Une assistance aux personnes âgées et/ou handicapées sous forme de monitoring constant et dans ce cas précis, les produits textiles avec des capteurs incorporés ou qui répondent à des stimuli, sont particulièrement appropriés.



FigIII.5–Application médicale permettant de mesurer plusieurs paramètres physiologiques.

IV-3- Militaire

Avec l'arrivée d'appareils high-tech et d'objets connectés au sein des équipements militaires, le soldat se voit rajouter un poids supplémentaire à porter, l'ensemble du câblage et des batteries nécessaires au fonctionnement de ce matériel pèse lourd.

Une entreprise anglaise « Intelligent Textiles » a intégré des circuits intelligents plats, fins et flexibles dans le combat du soldat pour minimiser le poids à transporter.



FigIII.6–Application d'E-textile dans le domaine militaire.

IV-4- Commercial

La technologie E-textile est intégrée dans le domaine commercial par le développement de nouveau produit destiné aux grands publics comme les tapis et les rideaux intelligents. Le prototype de tapis montré sur la figure ci-dessus a été faite avec des files électroniques et des capteurs pour diriger les personnes en cas de faible visibilité ou l'évacuation.



FigIII.7–*Tapis intelligent.*

IV-5- Art

Une autre utilisation des textiles intelligents qui vise à explorer l'union de l'art, de la mode et de la technologie. La robe et la pièce de tête sont conçus pour mettre en évidence des mouvements spécifiques du corps des danseurs et de mettre en valeur la fusion des techniques de couture traditionnelles et les nouvelles technologies E-textiles. Brodé à la main avec des LED, des accéléromètres et des capteurs de mouvement, le vêtement utilise la lumière comme un moyen pour éclairer les gestes sensibles d'un corps de danseurs en mouvement.



FigIII.8–Danseuse porte une robe et pièce en E-textile .

V- Conclusion

Une brève description de la nouvelle technologie E-textile suivie du différent domaine d'application a été présentée.

L'application que nous proposons fait partie de domaine médicale, elle a pour but la surveillance des nourrissons à distance et en temps réel, chaque nourrissons présente un nœud dans le grand réseau de capteur implémentés, ces nœuds sont lié par le biais de la communication RF, en exploitant des modules nRF24L01+ présenté précédemment. Les différents capteurs wearables utilisés ainsi que la façon de les coudre est présentée dans le chapitre suivant.



Chapitre IV

*Intégration de réseau de
capteurs pour la supervision*

I- Introduction

Cette partie présente l'application proposée dans ce travail. En effet, nous allons exploiter le réseau de capteurs implémentés, décrits auparavant dans le chapitre 2, ayant le but de surveiller des nourrissons en mesurant plusieurs paramètres physiologiques, à savoir la température, la position du nourrisson et le bruit phonique, ses informations vont être acheminées jusqu'au personnel en charge de la surveillance.

II- Cahier de charge

Notre application fait appel à l'implémentation d'un réseau de capteurs pour la surveillance des nourrissons, comme le montre la figure suivante :

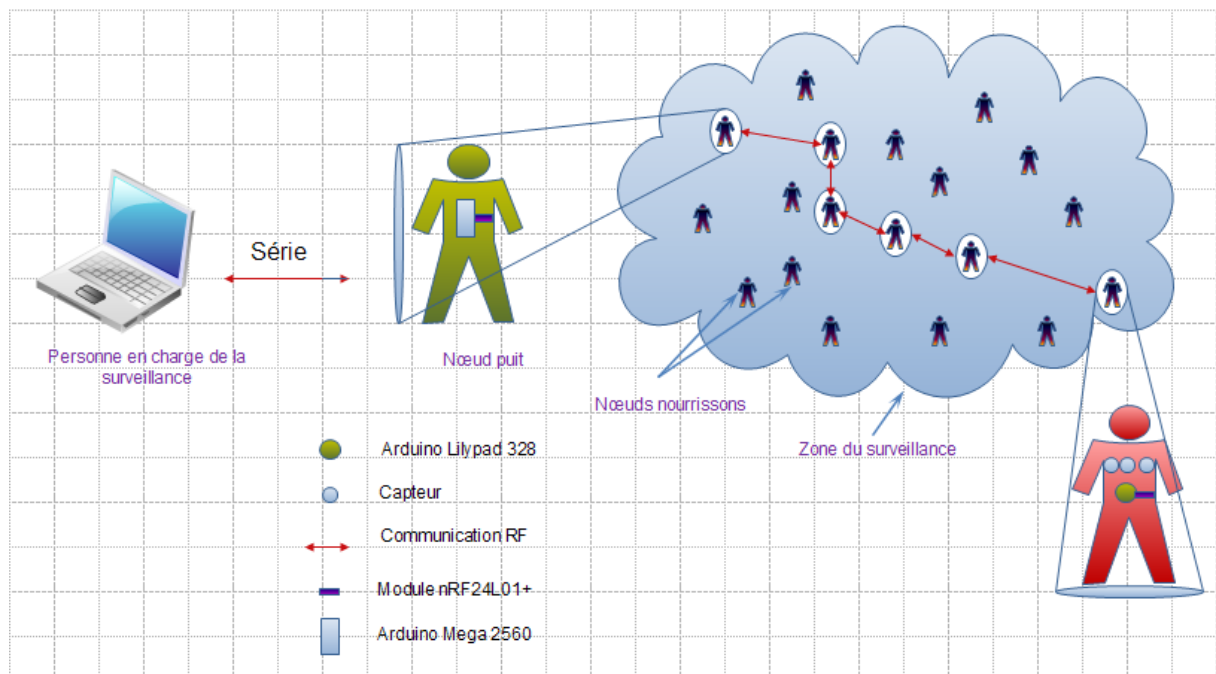


Fig IV.1 – Schéma générale de notre application.

Ce réseau se compose principalement de deux types de nœuds :

1. Les nœuds nourrissons chargés de récolter les informations physiologiques : ils font intervenir trois capteurs intégrés dans les habits des nourrissons en technologie e-textile : capteur de température MLX90614, microphone sensible MEMs ADMP401 et calculateur d'orientation à effet hall MAG3110.

Pour assurer la communication avec les autres nœuds de réseau, ces capteurs sont liés avec un module RF par l'intermédiaire d'un ordinateur embarqué Lilypad.

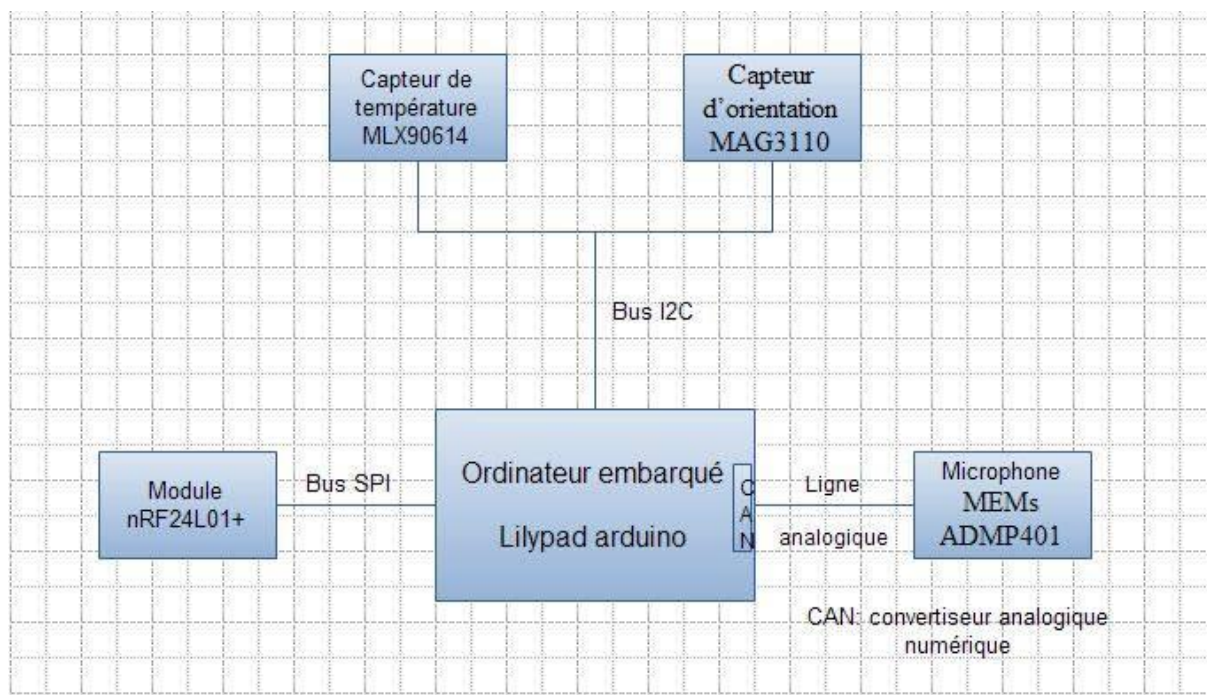


Fig IV.2 – Schéma du nœud nourrisson.

2. Le nœud puits chargé de transmettre au personnel de surveillance les informations récoltées.

Par mesure de commodité, notre nœud puits n'est pas lié avec un nourrisson, il représente le premier prototype de notre application avec une carte Arduino associée à un module RF.

Ces nœuds communiquent entre eux par ondes radio opérant sur la bande fréquentielle ISM, avec une puissance de transmission de l'ordre d'un watt, ce qui ne présente aucun danger pour la santé d'un nouveau-né.

La communication RF est déjà opérationnelle, nous l'avons configuré précédemment (chapitre II), nous présentons maintenant les différents aspects suivis pour la mise en place de capteurs utilisés, en commençant par l'ordinateur embarqué chargé d'analyser les données fournies par ces capteurs et les transmettre vers un autre nœud.

III- Lilypad

Le module Arduino Lilypad est une technologie E-textile, lavable, prévue pour être cousue sur des vêtements avec du fil conducteur, développée par Leah Buechley et SparkFun. Nous avons utilisé un module Lilypad basé sur le microprocesseur ATmega328 qui travaille avec une horloge de 8MHz, elle dispose de 22 broches d'entrées/sorties et d'un bouton de reset.

Ce module ne dispose pas de connecteur USB et nécessite un convertisseur USB-série Arduino (ou compatible) pour être programmé. Le contrôleur ATmega328 contient un bootloader qui permet de modifier le programme sans passer par un programmeur [17].

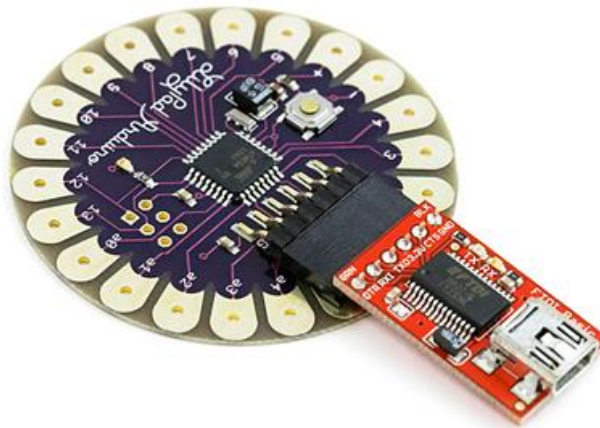
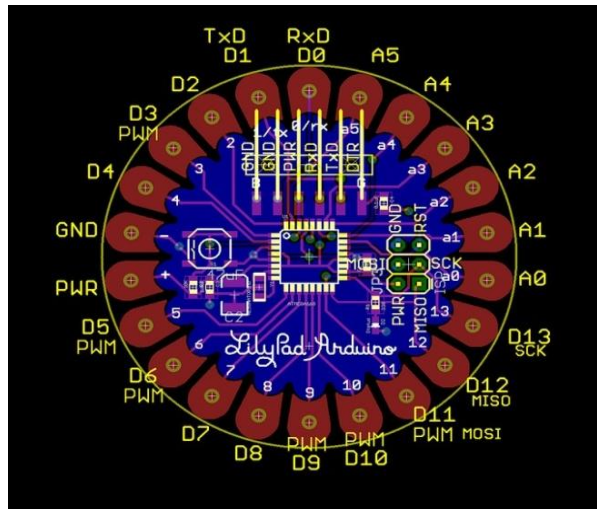


Fig IV.3 – Lilypad relié avec un convertisseur USB-série Arduino.

Caractéristiques principales :

- alimentation : 2,7 à 5,5 Vcc
- mémoire flash : 32 kB
- mémoire SRAM : 2 kB
- mémoire EEPROM : 1 kB
- 14 broches d'E/S dont 6 PWM
- 6 entrées analogiques 10 bits
- intensité par E/S : 40 mA
- fréquence : 8 MHz



FigIV.4 – Module Arduino Lilypad.

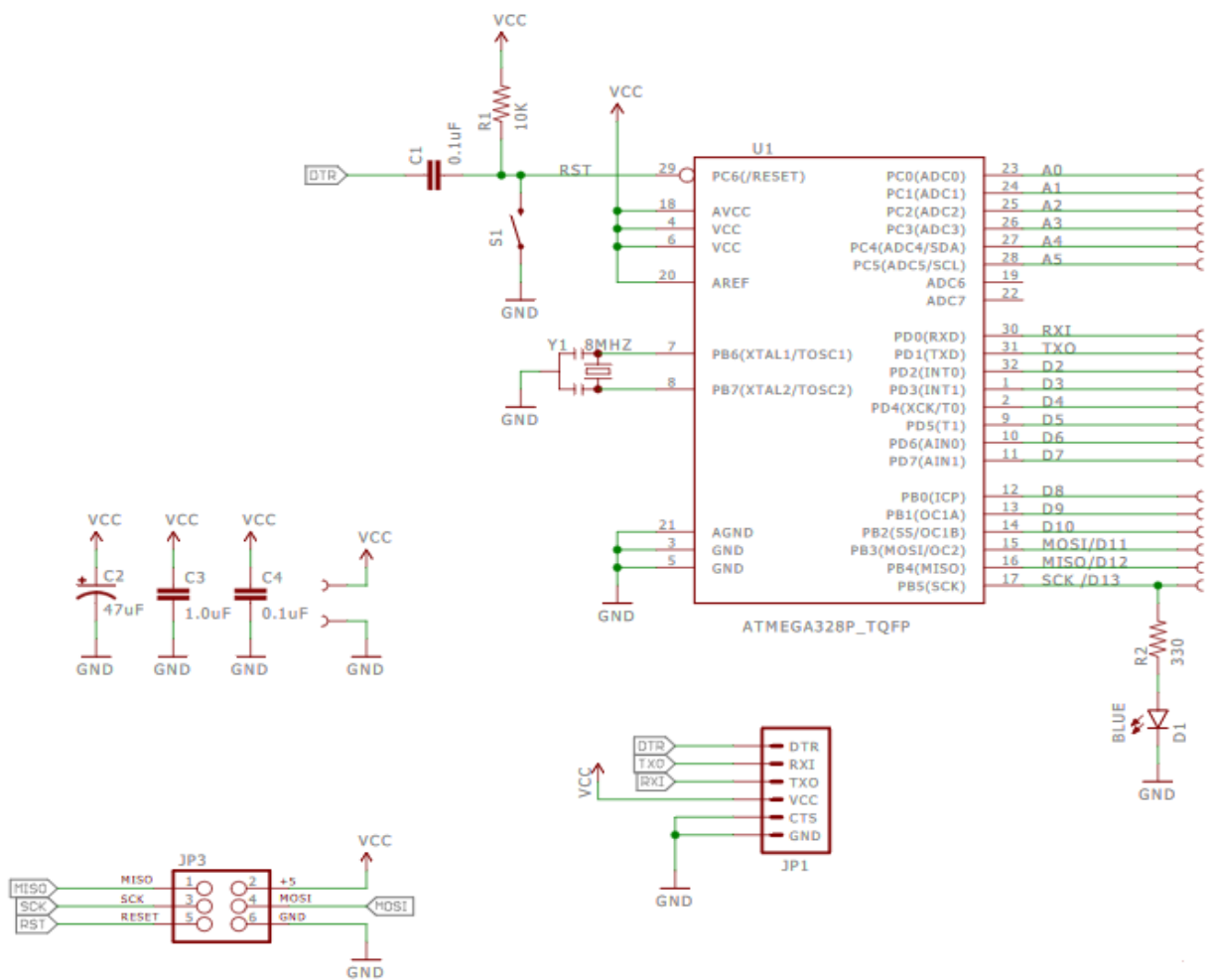


Fig IV.5 – Schématique du module Arduino Lilypad.

Comme une carte Arduino classique, ce module supporte la communication SPI, ce qui nous permet de relier un module nRF24L01+.

Les pins SPI pour un Arduino Lilypad sont les suivantes :

Broche Lilypad	Fonctionnement
D7	CSN
D8	CS
D13	SCK
D11	MOSI
D12	MISO

Tab IV.1– Pins SPI de module Lilypad.

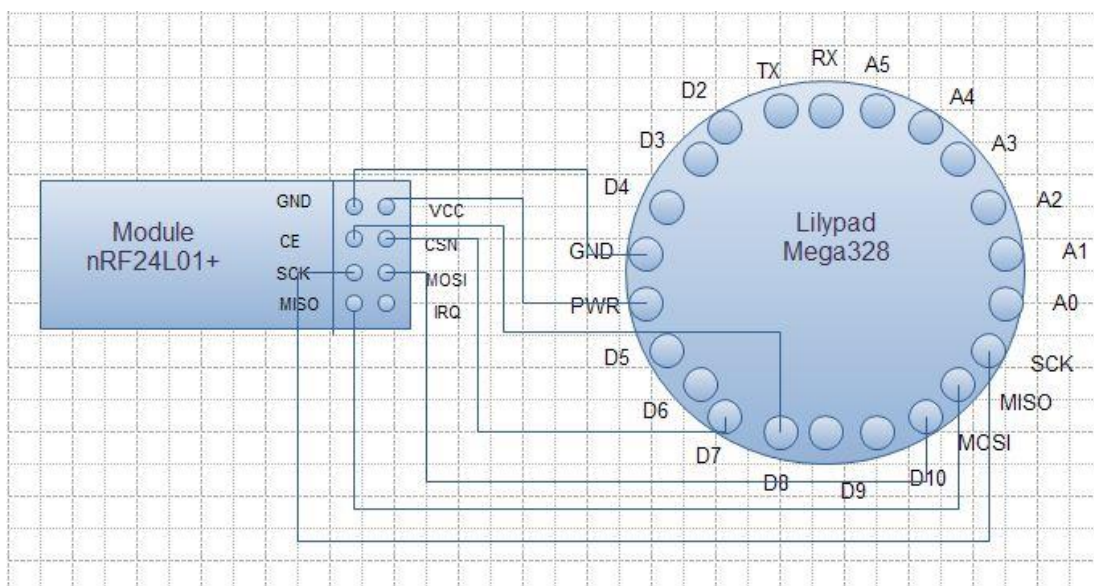


Fig IV.6 –Branchement de module nRF24L01+ avec Lilypad Mega 328.

Pour intégrer ce nœud au réseau de capteur implémenté auparavant, il suffit de flasher le Lilypad avec le Firmware déjà construit dans le chapitre II.

IV- Calcul d'orientation

Nous avons interfacé avec notre nœud sensor un capteur magnétique du type MAG3110. Ce dernier est utilisé comme boussole ainsi qu'un niveau électronique.

Pour notre application nous avons adopté de l'utiliser pour indiquer la position du sujet (nourrisson).

En effet, le MAG3110 permet de mesurer le champ électromagnétique terrestre sur les trois axes x, y et z en se basant sur l'effet Hall est un capteur précis pour indiquer l'attitude.

Le MAG3110 est capable de mesurer des champs magnétiques, avec une vitesse de sortie des données jusqu'à 80 Hz. Ce débit de données de sortie correspond à des intervalles d'échantillons de 12,5 ms à plusieurs secondes [18].

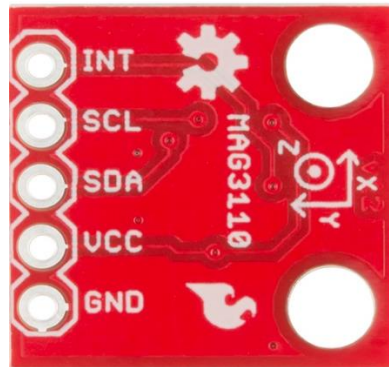


Fig IV.7 – Capteur d'orientation MAG3110.

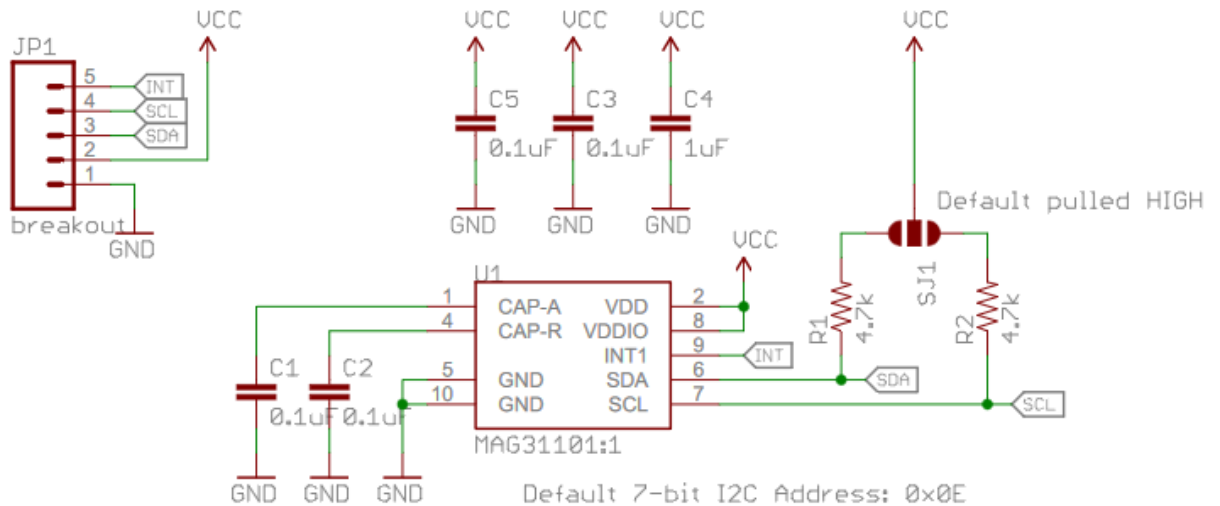


Fig IV.8 – Schématique de capteur MAG3110.

Ce capteur dispose d'une sorties standard I2C, ce qui lui permet d'être lié avec n'importe quel microcontrôleur qui intègre cette norme.

Pour notre application, nous allons exploiter les données fournies par ce capteur via le module Arduino Lilypad basé sur le microcontrôleur ATmega328 contenant le bus I2C.

IV-1- Protocole I2C

La norme I2C est un bus informatique qui a été créé pour relier facilement un microcontrôleur et différents circuits, elle fournit un moyen simple de transférer des informations numériques entre des capteurs et des cartes Arduino. C'est un bus série synchrone, bidirectionnel en half-duplex.

Les échanges sont toujours entre un maître et un/ou plusieurs esclaves par l'intermédiaire de deux lignes :

- SDA (Serial Data Line) : ligne de données bidirectionnelle.
- SCL (Serial Clock Line) : ligne d'horloge de synchronisation bidirectionnelle.

Le maître de la liaison est le circuit qui génère l'horloge SCL, les données sur SDA étant générées par le maître ou par l'esclave suivant le sens de transfert réclamé par le maître : lecture ou écriture. Un maître peut donc être récepteur ou émetteur.

Les périphériques esclaves sont identifiés par leur numéro d'adresse. Chaque esclave doit avoir une adresse unique [19-20].

La figure suivante présente un exemple d'échange de données entre un maître et un esclave :



Fig IV.9 – Exemple d'échange de données entre un maître et un esclave.

La bibliothèque Arduino « Wire » masque toutes les fonctionnalités de bas niveau du protocole I2C et permet l'emploi de commandes simples pour communiquer les appareils

entre eux, ce qui nous facilite le branchement du Lilypad avec le calculateur d'orientation et le capteur de température.

IV-2- Lecture des coordonnées X, Y, Z

Nous avons branché le sensor MAG3110 avec le module Lilypad pour lire les coordonnées X, Y, Z données par ce capteur.

Dans cette interconnexion le module Lilypad représente le maître et le capteur l'esclave, la communication entre eux est gérée par le bus I2C. la figure si dessous montre le code implémenté qui respecte les différentes phases montrés par la figure-IV-7.

```
int readX(void)
{
  int xl, xh; //definire le MSB et LSB
  |
  Wire.beginTransmission(MAG_ADDR); // transmettre au dispositif mag3110
  Wire.write(0x01); // ecrire le MSB de X
  Wire.endTransmission(); // terminer la transmission

  delayMicroseconds(2); //besoin d'au moins 1.3us temps libre entre le début et l'arrêt

  Wire.requestFrom(MAG_ADDR, 1); // demander un autre octet
  while(Wire.available())
  {
    xh = Wire.read(); // recevoir l'octet demander par le maitre qui represente le MSB de X.
  }

  delayMicroseconds(2); //besoin d'au moins 1.3us temps libre entre le début et l'arrêt

  Wire.beginTransmission(MAG_ADDR); // transmit to device 0x0E
  Wire.write(0x02); // ecrire le LSB de X
  Wire.endTransmission(); // terminer la transmission

  delayMicroseconds(2); //

  Wire.requestFrom(MAG_ADDR, 1); //
  while(Wire.available()) //
  {
    xl = Wire.read(); // recevoir l'octet demander par le maitre qui represente le LSB de X.
  }

  int xout = (xl|(xh << 8)); //concaténer le MSB et LSB
  return xout;
}
```

Fig IV.10 – Code source lecture de X.

V- Mesure de température

V-1- Capteur de température

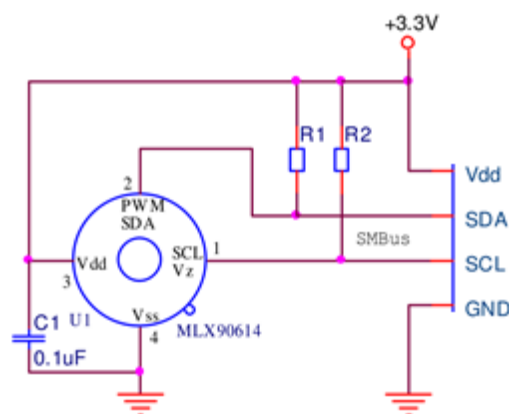
Le MLX90614 est un capteur de température sans contact, par infrarouge, qui est capable de mesurer la température d'un objet sans contact à une distance de quelques centimètres, et une température ambiante à partir de la température sur la matrice du capteur [19-21].



Fig IV.11 – Capteur de température MLX90614

Caractéristique du capteurs:

- alimentation : 3.3 Vcc
- La température de l'objet de -70 à 382,2
- La température ambiante de -40 à 125 ° C.
- Une résolution de 0.02° C.
- Haute précision de 0.5 °C



FigIV.12– Schématique de capteur.

V-2- Fonctionnement du capteur

En interne, le MLX90614 est doté de deux dispositifs : un détecteur à thermopile infrarouge et un processeur de traitement des signaux.

Par la loi de Stefan-Boltzmann, un objet qui ne soit pas inférieur à zéro absolu (0 °K) émet de la lumière dans le spectre infrarouge qui est directement proportionnelle à sa température. La thermopile infrarouge spéciale à l'intérieur du MLX90614 détecte la quantité d'énergie infrarouge émise par les matériaux dans son champ de vision, et produit un signal électrique proportionnel à celui.

La tension produite par la thermopile est prise en charge par le processeur de traitement des signaux et ensuite transmet vers un microcontrôleur.

Le champ de vision d'un thermomètre détermine la relation entre la distance d'un objet et la zone d'espace observée, pour le champ de vue de MLX90614 est en forme de cône, avec un angle de vision =90 °. Cela signifie que pour chaque 1cm vous vous éloignez d'un objet, la zone de détection augmente de 2cm.

Le capteur est configuré et lu via une interface SMBus très similaires et compatible à I2C. Les deux signaux SDA et SCL portent les données et les signaux d'horloge respectivement. Pour ce capteur la librairie « SparkFunMLX90614.h » fournie avec le capteur permet de simplifier la complexité des manipulations avec I2C [19-20-21].

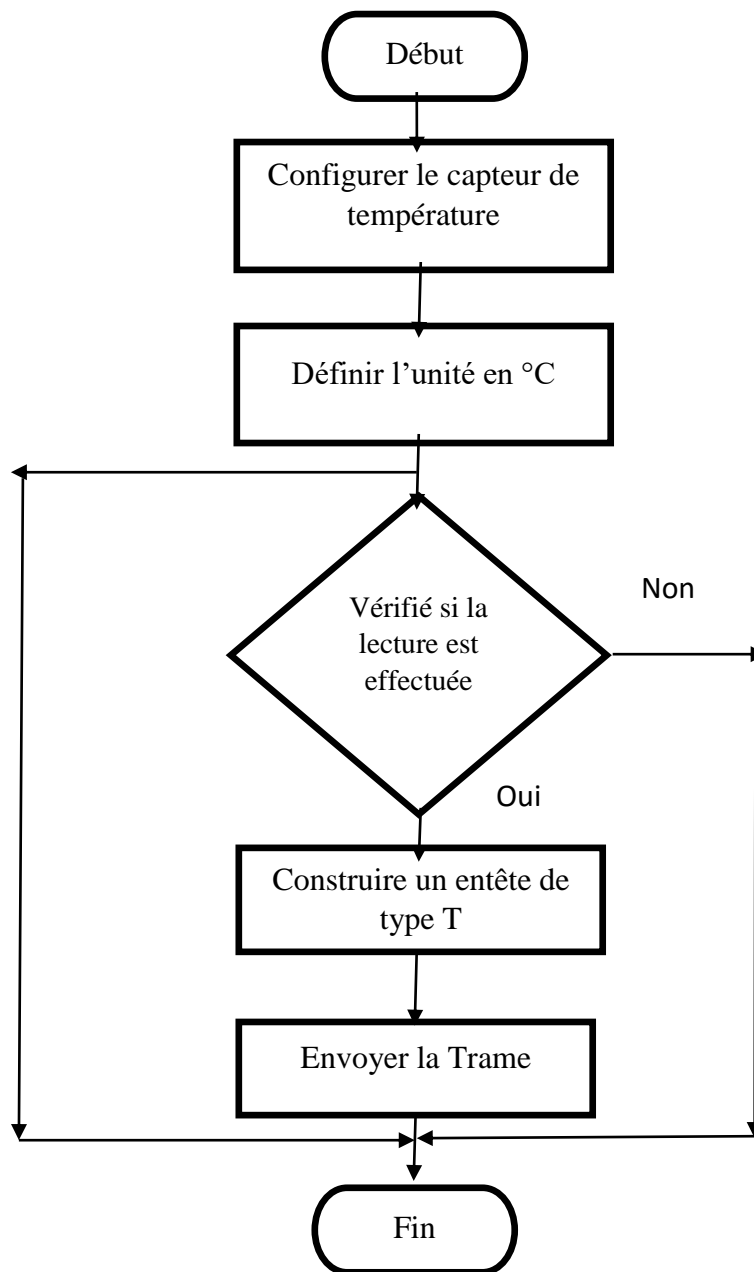


Fig IV.13– Organigramme de mesure de température.

VI- Détection du son

VI-1- Microphone ADMP401

La puce ADMP401 produit des fonctionnalités d'un microphone très sensible avec une faible consommation de courant, ce qui lui permet d'être adopté pour les applications portables.

La puce comprend un microphone MEMS, un circuit d'amplification avec un gain de 67 et un filtre passe bande laisse passer que les fréquences comprennent entre 100Hz et 15Khz.

Caractéristique :

Tension d'alimentation 3.3V.

Le rapport signal sur bruit SNR=-62dBA [22].

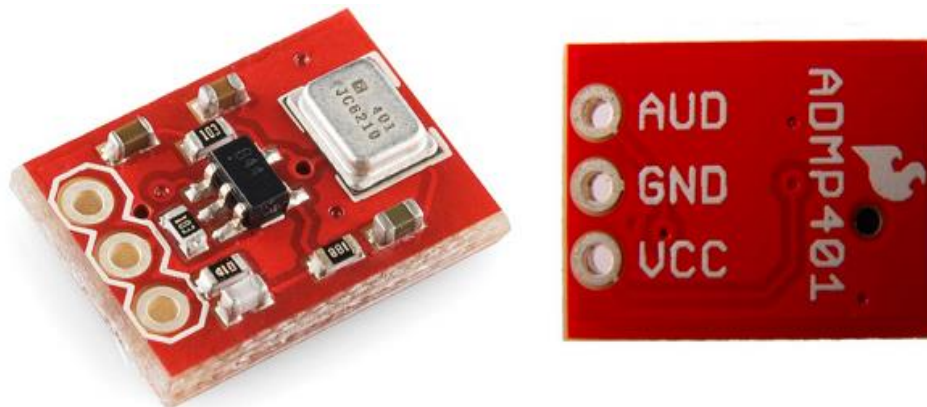


Fig IV.14 –Microphone ADMP401.

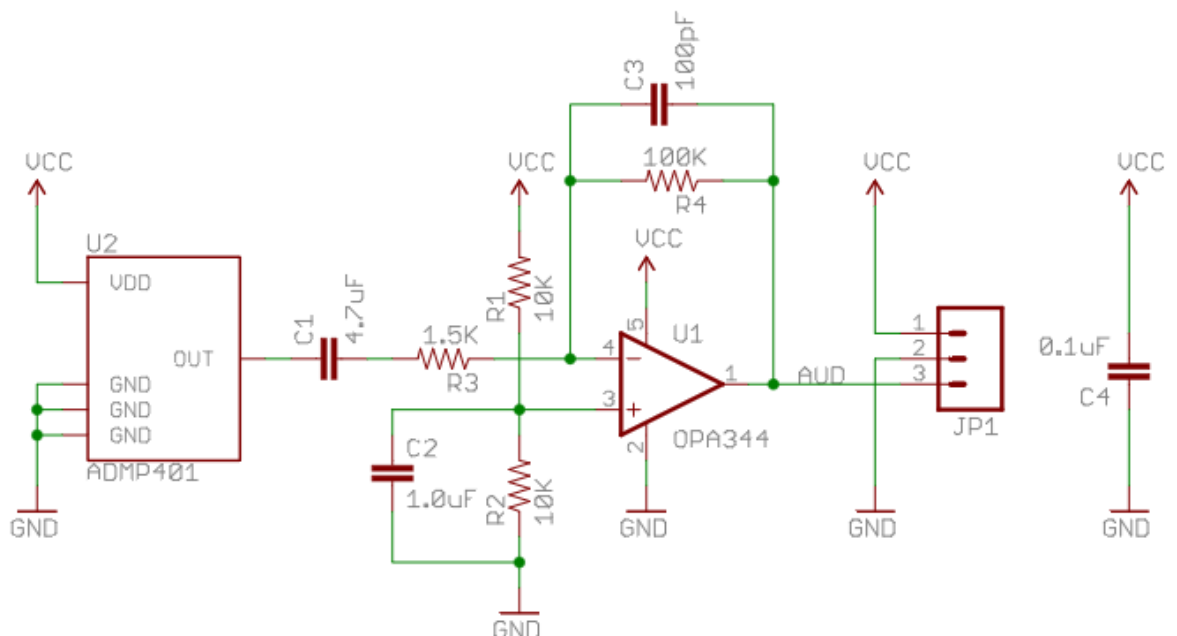


Fig IV.15 –Schématique de microphone ADMP401.

Le microphone ADMP401 est connecté avec le module arduino lilypad au niveau de la pin analogique **A2**.

Les entrées analogiques d'un Arduino sont prises en charge par un CAN (Convertisseur Analogique Numérique) pour pouvoir être traitées par le microcontrôleur.

VI-2- Convertisseur analogique numérique au niveau d'Arduino

Un convertisseur analogique – numérique, ou CAN, est un montage permettant de traduire une information analogique tel qu'une tension ou un courant en une information numérique (binaire) sur n bits [23].

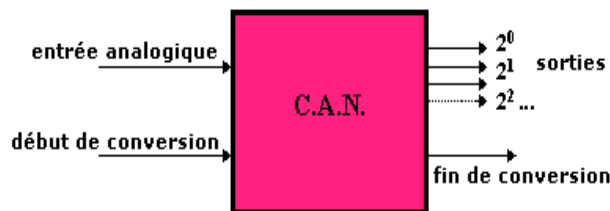


Fig IV.16 – Schéma bloqué de CAN [23].

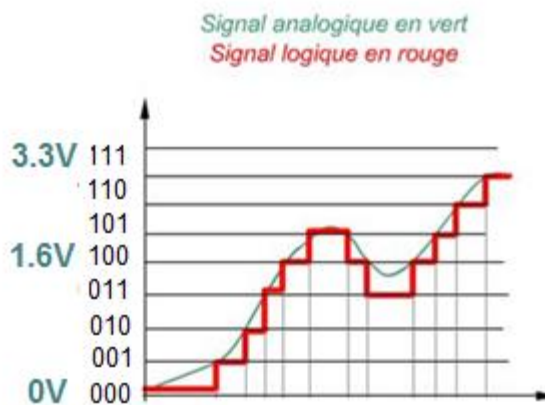


Fig IV.17 – Conversion d'un signal Analogique en une suite de valeurs numérique.

Il existe plusieurs types de convertisseurs analogique numérique, nous citons [23] :

- CAN flash (ou parallèle)

- CAN à double rampe (ou par intégration)
- CAN à approximation successives

Notre module arduino utilise le dernier type cité (CAN à approximation successives).

VI-3- CAN à approximation successives

Un convertisseur analogique numérique par approximations successives (aussi appelées pesées successives) est constitué de :

- Un comparateur de tension
- Un séquenceur ou registre d'approximations successives (SAR)
- Un convertisseur numérique analogique à réseau R/2R

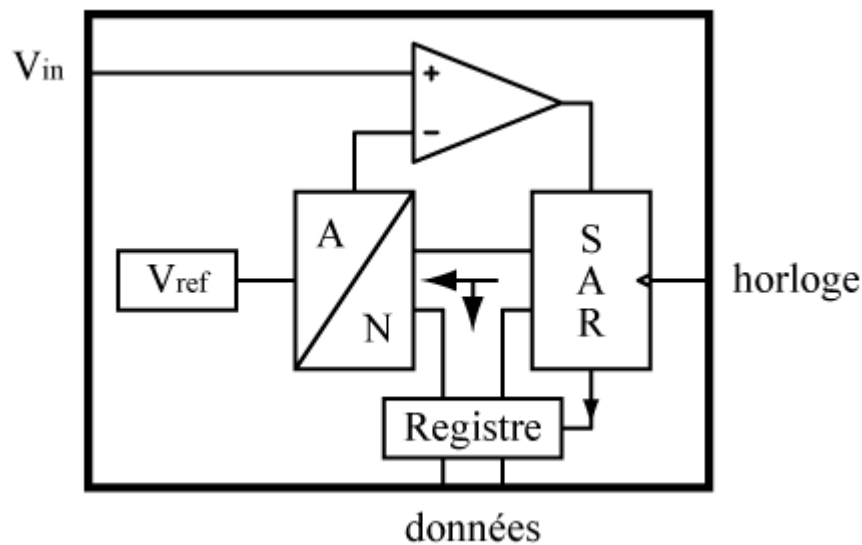


Fig IV.18 –Schématisation de CAN [23].

Un registre d'approximations successives couplé à un CNA, produit une tension analogique, qui est comparée au signal à convertir. Le résultat de cette comparaison est alors introduit dans le SAR, qui va le prendre en compte, pour la suite du processus de dichotomie, jusqu'à achèvement [23].

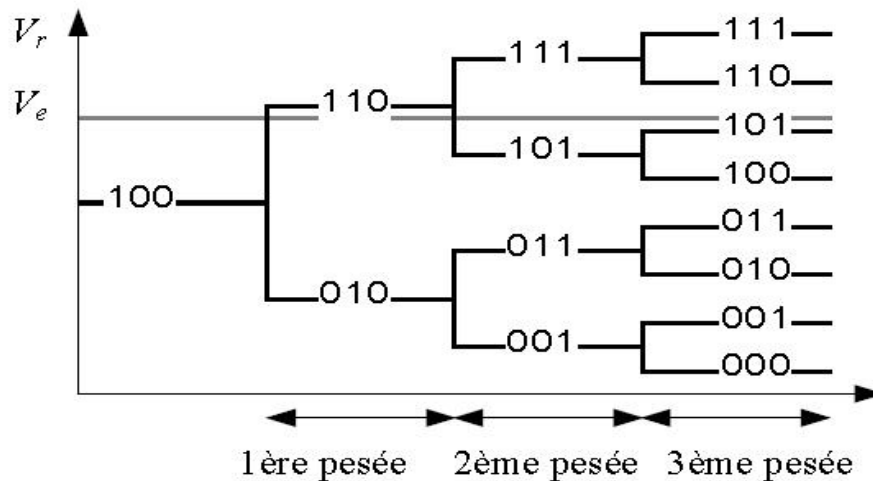


Fig IV.19 – Principe de dichotomie[23].

▪ Au début, nous savons que V_e est compris entre 000 et 111, nous trouvons le milieu de cet intervalle, c'est-à-dire 100.

- Au terme de la première pesée, V_e est compris entre 100 et 111.
- Au terme de la deuxième pesée, V_e est compris entre 100 et 110.
- Au terme de la troisième pesée, V_e est compris entre 101 et 110.
- $V_e > 101$ mais on peut considérer que $V_e = 101$

Le convertisseur réalise donc sa conversion en positionnant en premier le bit de poids fort (MSB) et en descendant progressivement jusqu'au LSB.

Le convertisseur analogique numérique intégré dans l'ATMEGA328 est doté des caractéristiques suivant :

- Une résolution de 10 bits, soit $2^{10} = 1024$ possibilités de 0 à 1023
- une tension de référence par défaut $V_{ref} = 3.3$ Volts,

Si la tension analogique d'entrée échantillonnée est V_E , la grandeur numérique N (ici en entier décimal) en sortie du convertisseur peut être calculée grâce à relations suivantes :

$$N = \frac{\text{tension d'entrée } V_E}{Q}$$

AVEC :

$$Q = \frac{V_{ref}}{2^{10}}$$

Cette valeur N est retournée grâce à la commande trouvée dans L'environnement Arduino : analogRead.

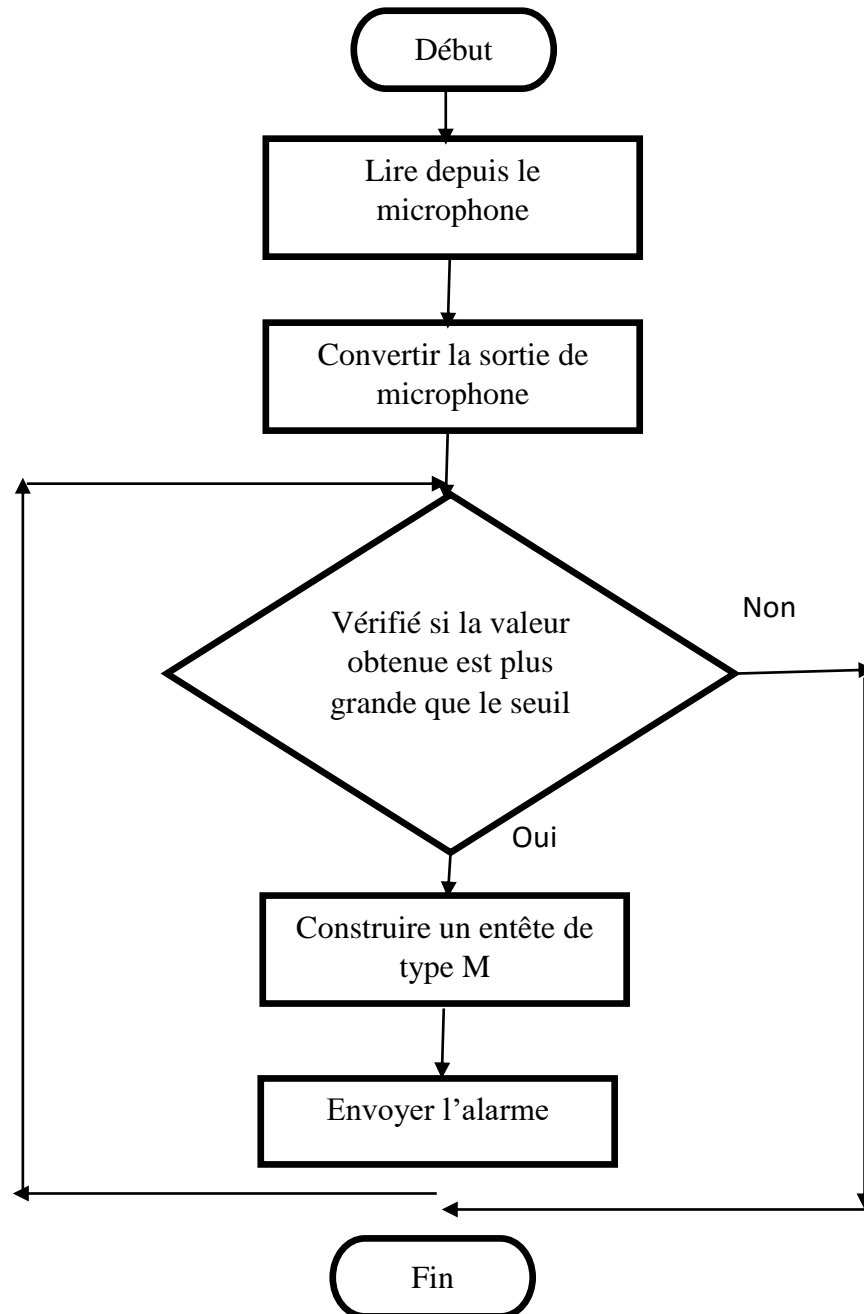


Fig IV.20 – Algorithme de détection du son

VI-4- Détection de seuil

Quand on alimente le microphone admp401, il génère un signal aléatoire ou les pics dépendent de la tension du son.

Pour déclencher une alarme quand un nourrisson pleure, nous avons rédigé ce programme afin de connaître la valeur minimum affichées en cas de silence, et le maximum en cas de cris de bébé.

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}

unsigned int max = 0;
unsigned int min = 1024;

long duree = 5000;
void loop() {
  unsigned long demarage = millis();
  while((millis()-demarage)< duree){
    int audio = analogRead(A2);

    if(audio > max){ max = audio;}
    if(audio < min){ min = audio;}
  }
  Serial.print("Max : "); Serial.println(max);
  Serial.print("Min : "); Serial.println(min);
  max=0; min=1024;
}
```

Fig IV.21 – Code source de détection de seuil.

VII- Interconnexion entre les capteurs

L'interconnexion de ces nœuds est montrée sur la figure, nous avons procédé en respectant la particularité de chaque PIN ainsi en évitant que les fils à coudre conducteurs s'interconnectent entre eux pour empêcher les courts de circuit [17].

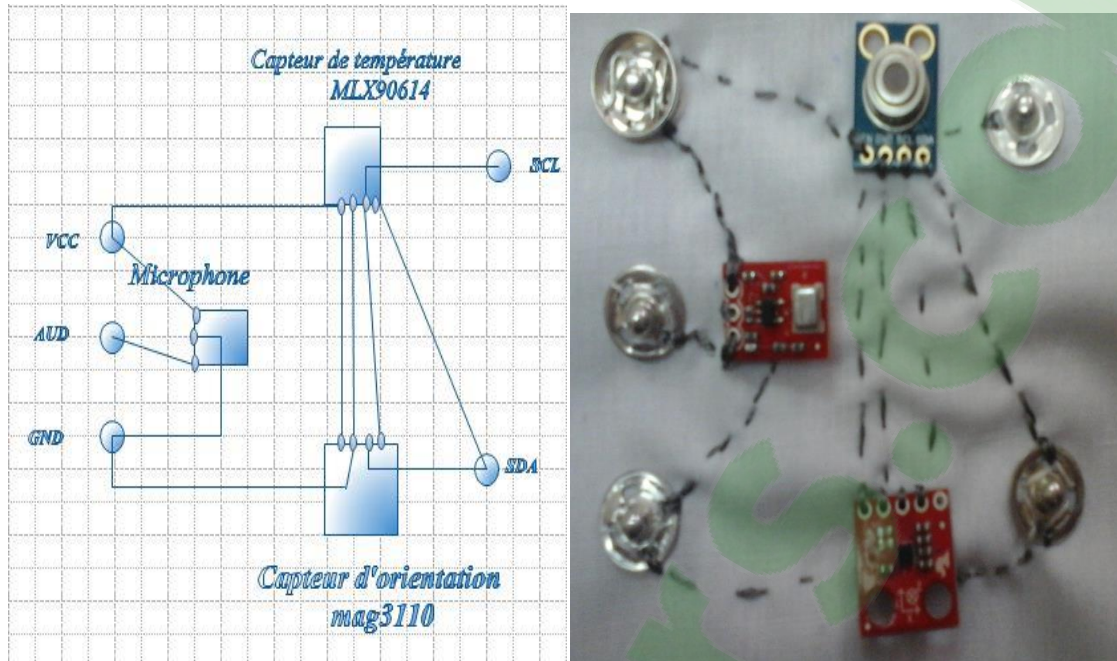


Fig IV.22 – Interconnexion des capteurs.

VIII - Trame envoyé

Les données fournit par les capteurs sont envoyées sous forme de trame via la transmission RF, ou la taille de chaque trame dépendre de type de l'information définit dans l'entête.

- La trame de température :

Entête de type (1octet)	T	Température ambiante (4 octets)	Température objet (4 octets)
-------------------------	---	---------------------------------	------------------------------

Fig IV.23 – Schéma représentatif de la trame de température.

Au niveau du Firmware, la trame de température est déclarée de la façon suivante :

```
struct temperature {
    float ambientT; // la temperature ambiante
    float objectT ;// la temperature d'objet
};
```

Fig IV.24 – La trame de température.

- La trame de détection du son et l'envoi d'une alerte

Entête de type (1octet)	S	Son détecté (2octets)
-------------------------	---	-----------------------

Fig IV.25 – Schéma représentatif de la trame de détection du son.

Déclaration de la trame de détection du son au niveau firmware :

```
struct microphone{
    int audio ;//son détecté
};
```

Fig IV.26 – La trame de détection du son.

- La trame d'orientation

Entête de type (1octet)	O	X (2 octets)	Y (2 octets)	Z (2 octets)
-------------------------	---	--------------	--------------	--------------

Fig IV.27 – Schéma représentatif de la trame d'orientation

Déclaration de la trame d'orientation :

```
struct orientation{
    int X;
    int Y;
    int Z;
};
```

Fig IV.28 – Déclaration de la trame d'orientation.

IX- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la fin de la conception de notre réseau de capteur que nous avons intégré en exploitant la technologie de l'e-textile. Les différents nœuds vont acheminer des informations vitales pour les nourrissons à savoir la température, le bruit phonique (cri de bébé) et la position.



Conclusion générale



Conclusion générale

Au cours de notre mémoire, nous nous sommes intéressés à implémenter physiquement un réseau de capteur sans fil dont la tâche principale est la surveillance des nourrissons à distance et en temps réelle. Une technologie qui peut s'avérer utile pour les parents ou du personnel en charge d'une pouponnière. De limiter les angoisses voir accélérer les interventions en cas de problèmes. L'un de nos objectifs majeur est de réaliser fidèlement le comportement des réseaux de capteurs. Nous avons effectué une étude approfondie sur les Réseaux de capteurs sans fils.

Les nœuds associés aux nourrissons sont proposés à base de la technologie de l'E-textile. Nous avons discuté brièvement sur la nouvelle technologie E-textile avec ces avantages et différents domaines d'applications.

Les nœuds communiquent entre eux par ondes radio opérants sur la bande fréquentielle ISM, avec une puissance de transmission de l'ordre d'un watt, ce qui ne présente aucun danger pour la santé d'un nourrisson.

Les nœuds nourrissons chargés de récolter les informations physiologiques : fond intervenir trois capteurs intégrés dans les habits des nourrissons en technologie E-textile : capteur de température MLX90614, microphone sensible MEMs ADMP401 et calculateur d'orientation à effet hall MAG3110. Pour assurer la communication avec les autres nœuds du réseau, ces capteurs sont liés avec un module RF par l'intermédiaire d'un ordinateur embarqué Lilypad.

Un nœud Arduino Mega2560 est chargé d'acheminer les données vers les destinataires. Nous avons réalisé cette tâche en exploitant une simple liaison série. Plusieurs perspectives restent ouvertes avec ce projet à savoir l'exploitation des données via des portails web ou à travers des Smartphones.



Bibliographie



Bibliographie

[1] HADDOU BENDERBAL Hichem et KOULOUGHLI Imen, " Etude et proposition d'un modèle d'économie d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil" ; mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique; Soutenu en 2012.

[2] BENADDA Belkacem, " Détection Coopérative multiagents pour réseaux de capteurs " ; thèse pour l'obtention du diplôme de Docteur en Télécommunication ; à Université Abou Bakr Belkaid ; Soutenu en 2011.

[3] <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/Bunel/Routage.html>

[4] DZALI Kevin et VESSAH Blaise ; " Réseau de capteur " ; Systèmes embarqués réseaux de capteurs et informatique ubiquitaire.

[5] Benoît Rivollet et Claude-Emmanuel Serre " Les réseaux de capteurs "

[6] LUDOVIC Samper " Modélisation et Analyse de réseaux de capteurs", Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'INPG au laboratoire VERIMAG dans le cadre de l'école doctorale Mathématiques, Sciences et technologies de l'information, information ; Soutenu en Avril 2008.

[7] "Des capteurs au service de l'environnement " à l'école nationale supérieure en systèmes avancés et réseaux.

[8] http://www.mon-club-elec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielMega2560

[9] LE CAM Quentin et TRICHA M'hamed "Interface Android pour la consultation de données envoyées par un capteur" ; à Université de Bretagne occidentale ; Soutenu en Juin 2012.

[10] Ph.D.Jack Purdum "Beginning C for Arduino ; Learn C Programming for the Arduino and Compatible Microcontrollers.

[11] Atelier Arduino "Initiation a la mise en oeuvre matérielle et logicielle de l'Arduino" ; Centre de Ressources Art Sensitif ; novembre 2006.

[12] nRF24l01+ Single Chip 2.4 GHz Transceiver Preliminary Product Specification v1.0 ; Nordic semiconductor.

[13]http://www.simius.be/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=10

[14] BOUZIDI Zeyneb et BENAMEUR Amira "Mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour l'irrigation intelligente " ; à Université Abou Bakr Belkaid ; mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique Soutenue en Juin 2012.

[15] <https://github.com/TMRh20/RF24Mesh>.

[16] SUBHAS CHANDRA Mukhopadhyay "Wearable Electronics Sensors" For Safe Healthy Living.

[17] KYLIE Pepler, MELISSA Gresalfi, KATIE Salen Tekinbas, RAFI Santo ; forword by LEAH Buechley " Soft Circuits " ; Crafting E-Fashion with diy electronics.

[18] Freescale Semiconductor, MAG3110, Technical Data Rev. 9.2, 02/2013

[19] MICHAEL J.McGrath and CLIODHNA NI Scanail "Sensor Technologie" ; Healthcare, Wellness and Environmental Applications.

[20] TONY Olsson "Arduino Wearable Projects" ; Dessign, code, and exciting wearable projects using Arduino tools.

[21] MLX90614 Family ; Single and Dual Zone Infra Red Thermometer in TO-39 ; MELEXIS ; Microelectronic Integrated Systems.

[22] Omnidirectional Microphone with Bottom Port and Analog Output, Analog Devices, 2010.

[23] <http://conversion-can-cna.e-monsite.com/pages/i-can/convertisseur-analogique-numerique-par-approximations-pesees-successives.html>

Résumé

Les nouveaux nés font toujours l'attention de surveillances accrues des parents ou nourrices. En effet la crainte de la mort subite du nourrisson est très forte : infection, étouffement, hyperthermie.... Intégrée une solution de surveillance temps réelle à distance peut s'avérer utile pour les parents ou du personnel en charge d'une pouponnière. Notre projet vise la création d'une solution dédiée au bien être des nourrissons, principalement en exploitant la technologie des réseaux de capteurs. Avec l'environnement de développement Arduino et en exploitant la technologie de l'E-textile les nourrissons sont dotés d'un nœud qui permet de mesurer la température, le bruit phonique (cri de bébé) et l'attitude de ce dernier. Les informations ainsi récupérées sont transmises à un nœud central qui communique avec les utilisateurs via une simple liaison série.

Abstract

The new born are subject to intense attention from parents or nurses. Indeed, cerebral degradation, the fear of sudden infant death, infection, suffocation, hyperthermia occurs often in case of inattention. Integrated remote real-time monitoring solution can be useful for parents or staff in charge of a nursery to prevent diseases. Our project aims to create a solution dedicated to the well being of infants, by exploiting sensors network technology. Based on the Arduino development environment and exploiting e-textile technology, infants are prepared with an e-textile node that measures temperature, noise sound (baby cries) and attitude. The information collected are transmitted to a central node that communicates with users through a simple serial link.

ملخص

تمثل مراقبة الرضع، أهمية قصوى للوالدين أو الممرضات خوفا من تدهور المؤهلات العقلية اثر ارتفاع مفاجئ لدرجات الحرارة، الموت المفاجئ، الاختناق، التي قد تحدث في حالة الغفلة عن المراقبة. مشروعنا يهدف لاستعمال شبكات المجسات التي تعرض كحل لرصد في وقت حقيقي درجة الحرارة والضجيج (بكاء الرضيع) والوضع. وكذلك استعمال تكنولوجيا المنسوجات الالكترونية لتجهيز الرضع بأجهزة الاستشعار اللازمة ، و إرسال المعلومات إلى نقطة مركزية تسمح بربط الآباء أو الموظفين المسؤولين عن الحضانة و الوقاية بالرضع.