الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Yahia Farés de MEDEA

Faculté de Technologie

Département du Génie Electrique

Projet de Fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de

Master en Génie Électrique

Spécialité : *Electronique des Systèmes Embarqués*

Thème

Conception et implémentation de nœuds de capteurs à base de microcontrôleurs PSoC

Réaliser par :

Melle. OUADANI Chaîmaa

Melle. HAMIDI Hadda

Proposé par :

Promoteur *: Mr. CHADLI Samir*

Co-promoteur*: Dr. BENGHARBIA Billel*

Année universitaire 2019-2020

Remerciement

Nous remercions tout d'abord

Le GRAND DIEU pour l'achèvement de ce mémoire.

Nous remercions Mr. CHADLI Samir,

Notre encadreur, pour ses conseils et suggestions

Avisés et qui nous a aidés à mener à bien ce travail, et d'avoir rapporté à ce mémoire ces remarques et conseils.

Nous exprimons nos gratitudes

À Monsieur le président de jury d'avoir accepté d'e présider notre jury.

Nous remercions Monsieur l'examinateur, d'avoir accepté d'examiner notre travail et prendre part à ce jury ainsi que pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Enfin nos remerciements vont à tous nos enseignants de L'UNIVERSITE YAHIA FARES ainsi que nos collègues Etudiantes précisément ceux de la promotion de l'année2019/2020.

Et à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin dans ce travail.

Merci à tous.

Dédicaces

A mes chers parents.

A mes frères Kamel

Et Yousef

Et Ma sœur Imene.

A mon tous Abdeljalil,

Àmes chers amies Hadda,

Manel et Hanane.

Chaîmaa

Dédicaces

A mes chers parents.

A mes frères et mes sœurs.

A mes chères amies.

Hadda

ملخص

الهدف من هذا المشروع هو إعداد و تصميم عقد استشعار لاسلكية اعتمادا على رقاقات من فئة PSoCوالتي تسمح بالتقاط المعطيات عبر مجموعة من أجهزة الاستشعار المستخدمة و من ثم نقل هذه البيانات إلى محطة أساسية عن طريق قناة تردد الراديو باستخدام وحدة nRF24L01+.

الكلمات المفتاحية: نظام مبرمج على شريحة PSoC ,مستشعر,شبكة الاستشعار اللاسلكية RCSF.

Résumer :

L'objectif de ce travail est la conception et l'implémention d'un ensemble de nœuds de capteurs à base de microcontrôleurs de type PSoC pour l'acquisition des données à partir d'un ensemble de capteurs et par la suite transmettre ces données vers une station de base par voie radio fréquence en utilisant un module nRF24L01+.

Les mots clés : PSoC, Capteur, RCSF.

Abstract:

The aim of this work is the design and the implementations of a set of sensor nodes based on PSoC microcontroller for the acquisition of data from a set of sensors and transmit this data later to a base station by radio frequency channel using an nRF42L01+ module

.**Key words:** PSoC, Sensor, WSN

Sommaire

Liste des figures.....……I

Liste des tableaux IV

Liste des acronymes.....V

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur les RCSFs

1. Introduction 3

2. Réseaux des capteurs sans fils (WSN).....3

2.1 Le capteur.....4

2.2 Architectures d'un nœud de capteurs sans fil (WSN).....5

2.3 Facteur et contrainte de conception des WSN.....8

3. Domaine d'application des réseaux de capteurs sans fils 10

3.1 Application militaire 10

3.2 Applications environnementales.....11

3.3 Applications industrielles.....12

3.4 Applications médicales 12

3.5 Applications sportif.....13

4. Topologies des réseaux de capteurs sans fil 13

4.1. Topologie en étoile.....14

4.2. Topologie en toile (Mesh Network).....14

4.3. Topologies Hybrid 15

5. Réseau de capteurs corporels sans fil (WBAN) 15

5.1. Avantages 15

5.2. Comparative des normes 16

5.3. Différence entre WBAN et WSN 17

6. Conclusion 20

Chapitre II : Conception d'un système de RCSFs

1. Introduction 21

2. Schéma bloc du système de RCSF 21

3. Les microcontrôleurs PSoC.....22

3.1. Présentation 22

3.2. L'environnement de développement de PSoC 24

3.3. Les différentes familles PSoC 25

3.4. Présentation des kits PSoC 4 utilisés 27

4. La partie RF 29

4.1. L'importance de la transmission RF 30

4.2. Présentation du module de transmission nRF2L01+ 30

4.3. Le système multicievers 33

4.4. Caractéristiques des modules nRF24 33

5. L'afficheur LCD 34

5.1. Définition.....34

5.2. Différentes types d'afficheurs LCD 35

6. L'interface de communication UART 36

7. Conclusion.....36

Chapitre III : implémentation de nœuds de capteur

1. Introduction 37

2. présentation de l'application.....37

3. principe de fonctionnement 37

4. étude des différents nœuds de l'application 38

4.1. Schéma synoptique des nœuds End_Device 38

4.2. Schéma synoptique des nœuds coordinateur (sink) 40

4.3. Choix des capteurs 40

4.4. Choix des kits 44

5. Le développement dans l'IDE PSoC Creator.....45

6. programmation des kits utilisées 48

7. Implémentation des nœuds End_Device.....54

8. Implémentation des nœuds puits (Sink).....56

9. Description de la partie d'émission 57

10. Description de la partie réception 59

11. Conclusion.....61

Conclusion générale 62

Bibliographies.....VI

ANNEXE…….....IX

Liste des figures

Figure I.1. Réseau de Capteurs Sans Fil 3
Figure I.2. Différents modèles de capteurs de catégorie physique..... 5
Figure I.3. Architecture d'un nœud de capteurs sans fil. 6
Figure I.4. L'application de RCSF en domaine militaire 11
Figure I.5. L'application de RCSF en domaine de surveillance de L'environnement 12
Figure I.6. L'application de RCSF en domaine médicales. 13
Figure I.7. Topologies des réseaux de capteurs sans fil 14
Figure I.8. Réseaux WBAN 16
Figure I.9. Positionnement des différentes normes de communication. 17
Figure II.1. Schéma bloc du système à réaliser..... 21
Figure II.2. Les éléments constitutifs d'un PSoC. 22
Figure II.3. Différence entre un circuit intégré avant et après le PSoC..... 23
Figure II.4. Architecture interne d'un PSoC..... 24
Figure II.5. L'IDE PSoC Creator. 25
Figure II.6. Le kit pioneer PSoC4. 27
Figure II.7. Bloc diagramme de kit pioneer PSoC4 28
Figure II.8. Le kitCY8CKIT-049-4xxx 29
Figure II.9. Bloc diagramme de kit CY8CKIT-049-4xxx. 29
Figure II.10. Le module nRF24L01+ 31

Figure II.11. Bloc de diagramme de module nRF24l01+. 31

Figure II.12. Les broches du module nRF24L01+ 32

Figure II.13. Le mode Multicievers du module nRF24L01+..... 33

Figure II.14. Les broches d'un module LCD. 34

Figure II.15. Quelques types d'afficheur LCD alphanumériques. 35

Figure III.1. Schéma de principe de fonctionnement 37

Figure III.2. Schéma synoptique de nœud End_Device 39

Figure III.3. Schéma synoptique de nœud Sink 40

Figure III.4. Le capteur de température LM35 42

Figure III.5. Accéléromètre MMA7361 43

Figure III.6. Création d'un nouveau projet 45

Figure III.7. Choix de kits et nom de projets 45

Figure III.8. L'environnement l'IDE PSoC 46

Figure III.9. La fenêtre de configuration de l'ADC 47

Figure III.10. Fenêtre du fichier .cydwr 47

Figure III.11. Connexion de câble USB au J10 48

Figure III.12. Les étapes de chargement du programme dans la carte ....

..... 49

Figure III.13. La programmation par MiniProg3 49

Figure III.14. La programmation par MiniProg3 50

Figure III.15. Le module Timer et sa configuration..... 51

Figure III.16. Paramètre de téléchargement..... 52

Figure III.17. Schéma blocs de projet Reset_boot_loader..... 52

Figure III.18. Organigramme du programme principal..... 53

Figure III.19. Organigramme du Sous-programme..... 53

Figure III.20. L'utilitaire Bootloader Host 54

Figure III.21. Bloc ADC..... 55

Figure III.22. Configuration du bloc ADC 55

Figure III.23. Structure du nœud End_Device..... 56

Figure III.24. Structure du nœud sink 57

Figure III.25. Organigramme d'END_DEVICE..... 58

Figure III.26. Réalisation pratique de nœud END_DEVICE 59

Figure III.27. Organigramme de coordinateur..... 60

Figure III.28. Réalisation pratique de nœud Sink 61

Liste des tableaux

Tableau I.1. Différences entre WBAN et WSN 17

Tableau I.2. Capteurs utilisés dans les systèmes WBAN et leur fonction, Topologie et débit de données. 19

Tableau II.1. Différence entre PSoC1, PSoC3, PSoC4, PSoC5 et PsoC6 26

Tableau III.1. Broches de MMA7361 43

Liste des acronyms

ASIC	Application Specific Integrated Circuit
BAN	Body Area Network
BS	Base Station
CAN	Convertisseur Analogique\ Numérique
DSP	Digital Signal Processors
EN	Enable
FPGA	Field Programmable Gate Array
LCD	Liquid Crystal Display
MCU	Microcontroller unit
MISO	Master Input, Slave Output
MOSI	Master Output, Slave Input
PC	Personnel Computer
PIC	Programmable Integrated Circuit
PSoC	Programmable System on Chip
RCSF	Réseau de capteurs sans fil
RF	Radio Frequency
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UDB	Universal Digital Block
USB	Universal Serial Bus
WBAN	Wireless Body Area Network
WSN	Wireless Sensor Network

Introduction générale

Introduction générale

Depuis leur création, les réseaux de communication sans fil ont connu un succès sans cesse croissant au sein des communautés scientifiques et industrielles. Grâce à ses divers avantages, cette technologie a pu s'instaurer comme acteur incontournable dans les architectures réseaux actuelles.

Le média hertzien offre en effet des propriétés uniques, qui peuvent être résumées en trois points : la facilité du déploiement, l'ubiquité de l'information et le coût réduit d'installation. Au cours de son évolution, le paradigme sans fil a vu naître diverses architectures dérivées, telles que : les réseaux cellulaires, les réseaux locaux sans fils et autres. Durant cette dernière décennie, dans le domaine de l'instrumentation et de la mesure, un concept nouveau a vu le jour qui est les réseaux de capteurs sans fil (RCSF).

Un RCSF est composé d'un ensemble d'unités de traitements embarqués appelés nœuds communiquant via des liens sans fils. Le but général d'un RCSF est la collecte d'un ensemble de paramètres de l'environnement entourant les nœuds tel que la température afin de les acheminer vers une station de base pour les traités localement.

C'est dans ce cadre que s'insère notre projet, qui a pour but l'étude et la réalisation de nœuds de capteurs sans fil à base des microcontrôleurs de la famille PSoC (Programmable System On Chip. Ces derniers sont constitués généralement d'un microcontrôleur 8 ou 32 bits, associé à un ensemble de blocs analogiques (multiplexeurs, ADC, Comparateur, filtres, ….) et numériques (Timer, circuits logiques et séquentielles, …) en plus d'entrées et de sorties (I/O) numérique/analogiques qui permettent à l'utilisateur de personnaliser 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, il permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine.

PSoC est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres :

- le premier présente des concepts de bases des réseaux de capteurs sans fil et leurs applications, ainsi que la description générale d'un nœud de capteur sans fil.
- le deuxième chapitre traite la partie matérielle et les différents composants utilisés dans cette étude, aussi bien que la conception hardware du système.
- le dernier chapitre décrit l'aspect software ou programmation associée, ainsi que la mise en marche et le test des nœuds de capteur.

Chapitre I : *Généralités sur les RCSFs*

1. Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSFs) ou WSN (Wirless Sensor Network en anglais) est une nouvelle technologie qui a surgi après les grands progrès technologiques dans les domaines des télécommunications, de l'instrumentation et des capteurs, ils offrent un panel très intéressant de possibilité d'exploitation. En effet, un réseau de dispositifs de petite taille communicant par ondes radio et pouvant effectuer des traitements sur les données récoltées peut avoir d'innombrables applications couvrant des domaines aussi variés comme la santé, la domotique, les transports, la sécurité...etc. Le succès qu'ont connu les réseaux de capteurs est dû aux facteurs cités précédemment.

Pour étudier les réseaux de capteurs, nous commençons dans ce chapitre par donner un bref aperçu sur ces derniers, les applications potentielles et les principaux facteurs influençant leur conception.

2. Réseaux des Capteurs Sans Fils(WSN)

Un réseau de capteurs sans fil est un ensemble de nœuds capteurs communicant en liaison sans fil.

La figure I.1 est présente un exemple sur un réseau de capteur sans fil.

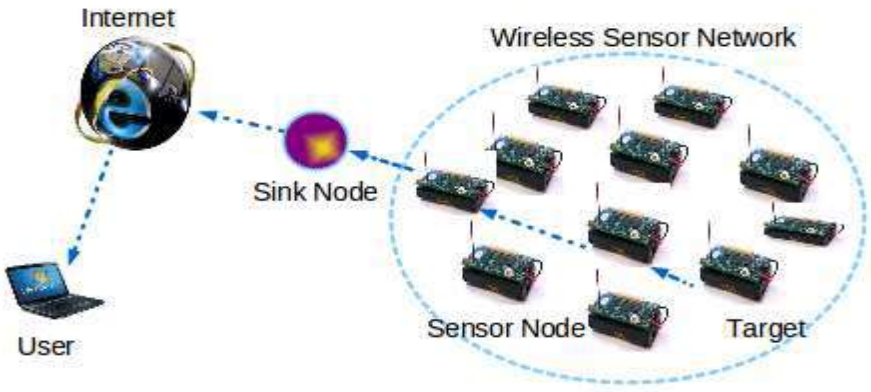


Figure I.1. *Réseau de Capteurs Sans Fil*.

Ces nœuds capteurs sont capables de s'auto-organiser en sous-réseaux distribués pour collecter les informations du monde physique sur lequel ils sont déployés. Les données collectées sont ensuite transmises à une station de traitement de données appelée "station de base" (BS : *Base Station*). Ce transfert des données collectées, de manière périodique ou évènementielle, à la station de base peut être fait directement ou à travers un ou plusieurs nœuds spéciaux fixes ou mobiles appelés "puits" (*Sink*) [1].

2.1. Le capteur

Un capteur est un système qui soumit l'action d'un mesurande (grandeur physique) présente une caractéristique de nature électrique (charge, tension, courant ou impédance) qui est fonction du mesurande [2]. La tendance actuelle dans le monde de la mesure en termes d'utilisation est leur capacité à communiquer de manière radio (réseaux sans fil) avec d'autres capteurs proches (quelques mètres). On peut ainsi constituer un réseau de capteurs qui collaborent sur une espace assez vaste. Comme les ressources d'un capteur sont souvent très limitées, on peut même envisager que la réalisation d'une application plus complexe, puisse être effectuée grâce à une composition de services plus simples et donc à une forme de collaboration « intelligente » entre capteurs [3].



Figure I.2. *Différents modèles de capteurs de catégorie physique.*

2.2.Architectures d'un nœud de capteurs sans fil (WSN)

Un nœud capteurs contient quatre composants de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie. Il est censé à faire ces trois tâches:

- ✓ Capter des données (de type son, vibration, lumière,...).
- ✓ Traiter et calculer des informations à l'aide de ces valeurs collectées.
- ✓ Les communiqués avec d'autres nœuds de capteur [4].

Il peut contenir également, suivant son domaine d'application, des éléments supplémentaires tels qu'un système de localisation, ou bien un système générateurs d'énergie.

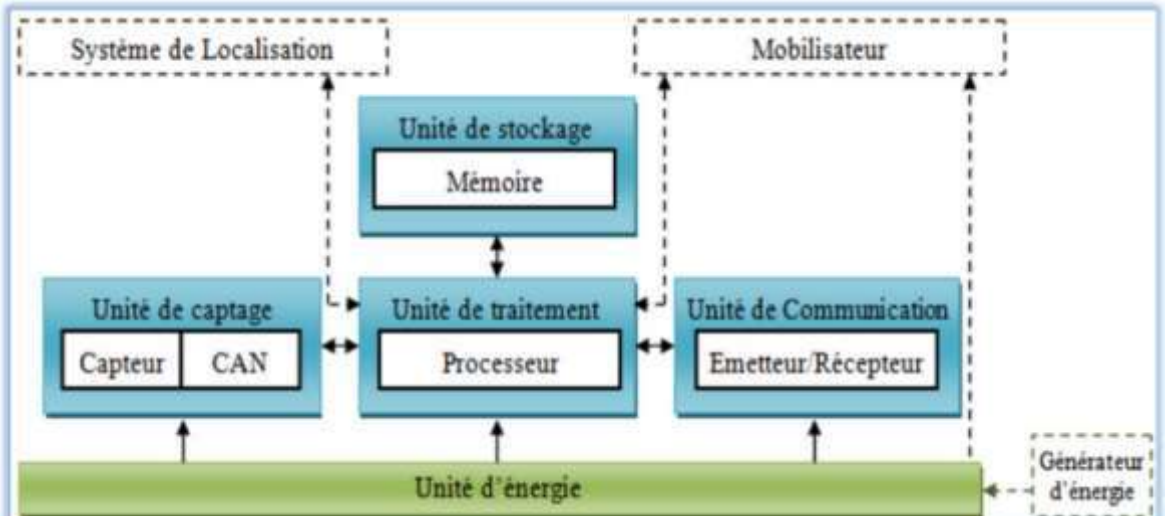


Figure I.3. *Architecture d'un nœud de capteurs sans fil.*

a) Unité d'énergie

Après leur déploiement, les nœuds d'un réseau de capteurs sont généralement inaccessibles, de ce fait, la durée de vie du réseau dépend complètement de celle de la source d'énergie du nœud capteurs. Celle-ci est influencée considérablement par la contrainte de taille des nœuds. La source d'énergie est généralement une batterie [5].

Pour alimenter tous ses composants. Les batteries utilisées sont soit rechargeables ou non. Souvent, dans les environnements sensibles, il est impossible de recharger ou changer une batterie. Pour cela, l'énergie est la ressource la plus précieuse puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des nœuds de capteurs et donc d'un réseau de capteurs.

b) Unité de captage

La fonction principale de l'unité de captage est de capturer ou mesurer les données physiques à partir de l'objet cible. Elle est composée de deux sous-unités :

- le capteur, dont la sortie est fonction du phénomène a observé, ce dernier quantifie la valeur du mesurande ;

- et le plus souvent un CAN (Convertisseur Analogique/Numérique) convertissant la sortie analogique du capteur en signal numérique pour la transmettre à l'unité de traitement [6].

c)Unité de traitements (processeur)

Elle est composée d'une interface d'acquisition et d'une interface pour l'unité de transmission ainsi qu'un processeur et un système d'exploitation spécifique. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de transmission.

Les types de processeurs qui peuvent être utilisés dans un capteur incluent le Microcontrôleur, les DSP (Digital Signal Processors), les FPGA (Field Programmable Gate Array), les ASIC (Application Spécif Integrated Circuit) et les PSoC (programmable system on chip) [7] [8].

d) Unité de communication

Les communications basées sur les composants de type radiofréquence nécessitent des circuits de modulation, démodulation, filtrage, et multiplexage, ce qui implique la complexité de ce type de nœud et l'augmentation de leur coût de production.

De plus, et puisque les antennes utilisés par ces nœud sont très proches du sol, la perte du signal transmit entre eux peut être très élevée. Toutefois, ce mode de communication reste le mode préféré par la plupart des projets de recherche menés sur les réseaux de capteurs, car les paquets échangés dans ces réseau sont de petite taille, et ils sont transmis à un faible débit, la possibilité de réutilisation de fréquence est également considérable à cause de la petite distance entre les nœuds.

Toutes ces caractéristiques favorisent l'utilisation des composants de transmission radio dans les réseaux de capteurs, mais la réalisation de tels composants avec une faible consommation d'énergie constitue, jusqu'à présent, un défi technique important.

e)Unité de stockage (Mémoire)

Elle inclut la mémoire de programme et la mémoire de données. La taille de cette mémoire est souvent limitée essentiellement par les considérations économiques et elle est en continuelle amélioration au fil des années [9].

2.3. Facteurs et contraintes de conception des WSN

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 RCSFs [10].

2.3.1. 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 [10].

2.3.2. 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 [10].

2.3.3. 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 [10].

2.3.4. 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 [10].

2.3.5. 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 [10].

2.3.6. 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. [11]

2.3.7. Agrégation des données

Il a été démontré dans plusieurs publications scientifiques que le fait d'agréger les données avant de les envoyées à une station de base va permettre de diminuer le nombre de messages envoyés, de réduire les puissances d'émission et ainsi économiser de l'énergie. [12]

2.3.8. Facteur d'échelle

Les réseaux de capteurs contiennent souvent un nombre de nœuds très important. Ces réseaux sont souvent peu stables et très dynamiques, les nœuds qui ont épuisés leur

pile, disparaissent et de nouveaux nœuds doivent être déployés pour assurer la connectivité [12].

2.3.9. Tolérance aux pannes

Les nœuds peuvent être sujets à des pannes dues à leur fabrication (ce sont des produits de série bon marché, il peut donc y avoir des capteurs défectueux) ou plus fréquemment à un manque d'énergie. Les interactions externes (chocs, interférences) peuvent aussi être la cause des dysfonctionnements. La panne d'un nœud capteur ne doit pas affecter le fonctionnement global de son réseau. La tolérance aux pannes est donc la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruption due à une panne d'un nœud capteur [13].

2.3.10. Contraintes de volume

Un nœud de capteurs le plus souvent doit être placé dans un petit volume avec un faible poids.

3. Domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil

La miniaturisation des capteurs, le coût de plus en plus faible, la large gamme des types de capteurs disponibles ainsi que le support de communication sans fil utilisé, permettent aux réseaux de capteurs de se développer dans plusieurs domaines d'application.

Les principaux domaines d'application sont catégorisés selon le type d'informations mesurées ou transportées par le réseau. Parmi les domaines où ces réseaux peuvent offrir les meilleures contributions, nous citons les domaines : militaire, environnemental, médical, industriel, sportif… etc.

3.1.Applications militaires

Les RCSFs sont le résultat de la recherche militaire. Ils sont utilisés dans la surveillance des champs de bataille pour connaitre exactement la position, le nombre, l'armement (chimique, biologique, nucléaire…etc.), l'identité et le mouvement des

soldats. Ils peuvent contribuer au contrôle et à la surveillance des forces, des équipements et des munitions et ainsi empêcher leur déploiement sur des zones à risques.

Les réseaux de capteurs sans fil peuvent être une partie intégrante dans les systèmes militaire.



Figure I.4. *L'application de RCSF en domaine militaire.*

3.2. Applications environnementales

Le contrôle des paramètres environnementaux parles réseaux de capteurs peut donner naissance à plusieurs applications. Par exemple, le déploiement des thermo-capteurs dans une forêt peut aider à détecter un éventuel dé but de feu et par suite faciliter la lutte contre les feux de forêt avant leur propagation.

Le déploiement des capteurs chimiques dans les milieux urbains peut aider à détecter la pollution et analyser la qualité d'air. De même leur déploiement dans les sites industriels empêche les risques industriels tels que la fuite de produits toxiques (gaz, produits chimiques, éléments radioactifs, pétrole,… etc.).



Figure I.5. *L'application de RCSF en domaine de surveillance de l'environnement.*

3.3. Applications industrielles

Dans le domaine de l'industrie, ce type de réseaux peut assurer :

- La surveillance de la fatigue du matériel et le contrôle de la qualité des produits ;
- La commande et le guidage des robots dans les environnements de fabrication automatique ainsi que le contrôle des processus et l'automatisation des cycles d'usinage ;
- La surveillance et le diagnostic des machines ;
- La vérification de l'inventaire de gestion **:** A chaque article dans un entrepôt peut être joint un nœud capteur. Les utilisateurs peuvent découvrir l'endroit exact de l'article et connaître le nombre d'articles dans la même catégorie.

3.4. Applications médicales

Les réseaux de capteurs peuvent être très utiles dans le domaine médical :

- Capteurs intégrés pour la surveillance de patients et des personnes âgées;
- Administration des médicaments au sein d'un hôpital ;
- Surveillance des mouvements et de processus ;

- Fournir des interfaces d'aides aux handicapés.

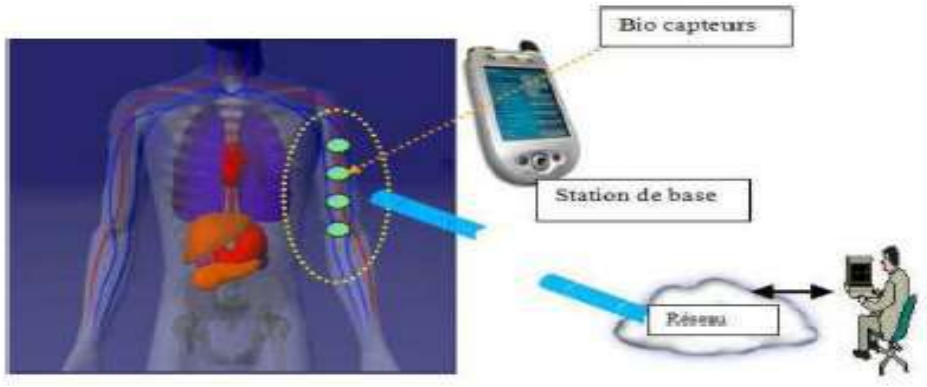


Figure I.6. *L'application de RCSF en domaine médicales.*

3.5. Applications sportifs

Les réseaux de capteurs sans fil sont utilisés de plus en plus dans le domaine sportif, à savoir les systèmes de surveillance, les systèmes de calcul de trajectoires (comme dans le cas du tennis), systèmes de détection d'erreurs d'arbitrage (comme dans le football indiquent si le balle a franchi la ligne de but ou non) [14].

4. Topologies des réseaux de capteurs sans fil :

Un RCSF est composé d'un ensemble de nœuds capteurs et de nœuds routeurs (Gateway) qui s'occupent de collecter les données des capteurs et de les transmettre à l'utilisateur par le bais du nœud de base via internet ou via les réseaux de communications. Ces réseaux de capteurs sans fil peuvent avoir plusieurs topologies, la Figure I.7 présente l'aspect des trois topologies les plus utilisées :

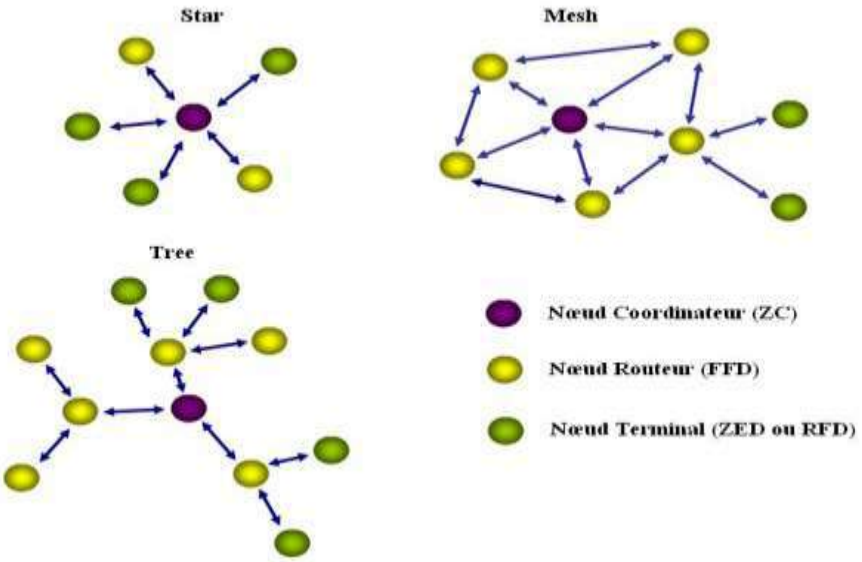


Figure I.7 : *Topologies des réseaux de capteurs sans fil*

4.1. Topologie en étoile :

La topologie en étoile est un système uni-saut. Tous les nœuds envoient et reçoivent seulement des données avec la station de base. Cette topologie est simple et elle demande une faible consommation d'énergie, mais la station de base est souvent altérable et la distance entre les nœuds et la station est limitée.

Avantage : simplicité et faible consommation d'énergie des nœuds, faible 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.

4.2. Topologie en toile : (Mesh Network) :

La topologie en toile (maillé) est un système multi-saut. La communication entre les nœuds et la station de base est possible. Chaque nœud a plusieurs chemins pour envoyer les données. Cette topologie a plus de possibilités de passer à l'échelle

du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes, mais elle demande une consommation d'énergie plus importante.

Avantage : Possibilité de passer à l'échelle du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes.

Inconvénient: Une consommation d'énergie plus importante induite par la communication

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

4.3. Topologie hybride :

La topologie hybride est un mélange des deux topologies précédentes. Les stations de base forment une topologie en toile et les nœuds autour d'elles sont en topologie étoile.

Elle assure la minimisation de la consommation de l'énergie dans les réseaux de capteurs.

5. Réseau de capteurs corporels sans fil (WBAN)

Un WBAN (Wireless Body Area Networks ou réseau sans fils sur corps humain) est un réseau constitué de mini-capteurs portables ou implantés dans le corps humain. Chaque nœud capteur est généralement capable de détecter une ou plusieurs caractéristiques physiologiques à partir du corps humain ou de son environnement. Le nœud capteur stocke puis transmet les données mesurées, par l'intermédiaire d'un réseau sans fil à un dispositif de traitement central connu sous le nom de serveur personnel.

Les WBANs ont plus d'exigences en termes de sécurité et de miniaturisation des capteurs par rapport aux WSNs.

5.1. Avantages

- ✓ La surveillance à distance.
- ✓ La surveillance en temps réel.

- ✓ Les soins à long termes.
- ✓ La liberté du mouvement pour le patient.
- ✓ La surveillance permanente de l'état physiologique.
- ✓ La surveillance permanente des organes vitaux du patient.

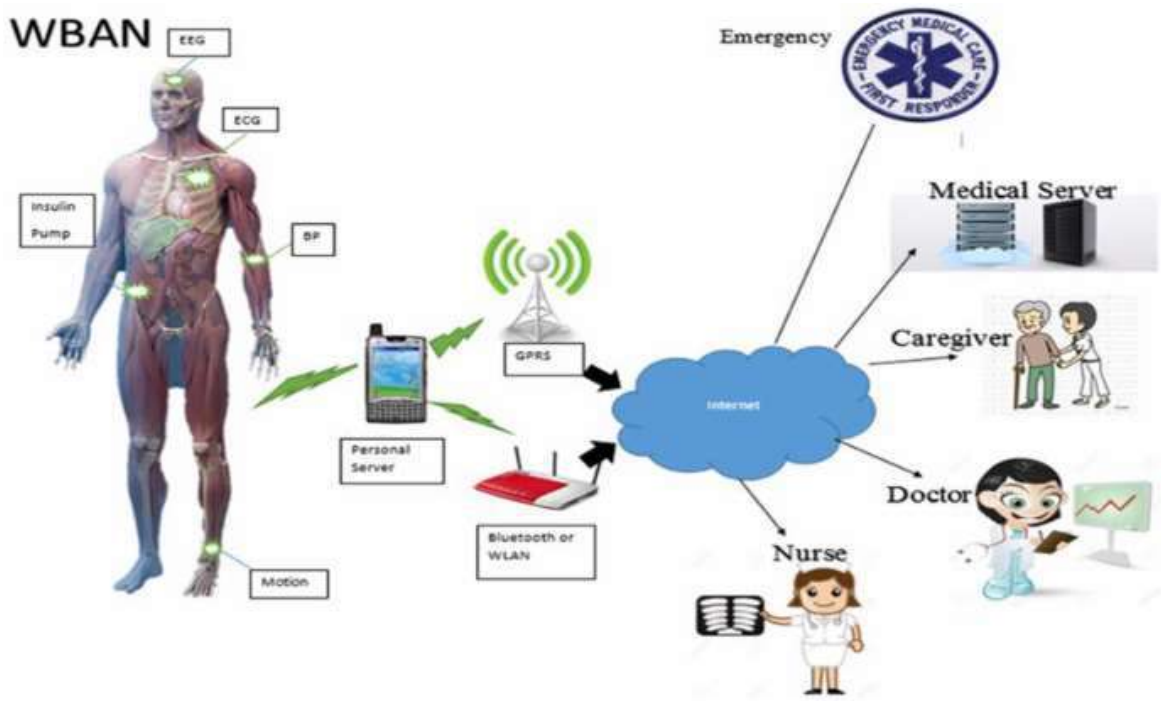


Figure I.8. *Réseau WBAN*

5.2. Comparatif des normes

Le figure suivante montre le positionnement des réseaux BAN en termes de débits et consommation d'énergie par rapport à d'autres types de réseaux sans fil sur la base des travaux du groupe de standard IEEE 802.15.6 qui est chargé d'élaborer des dispositifs économes en énergie et de développer des applications pour les réseaux WBAN.

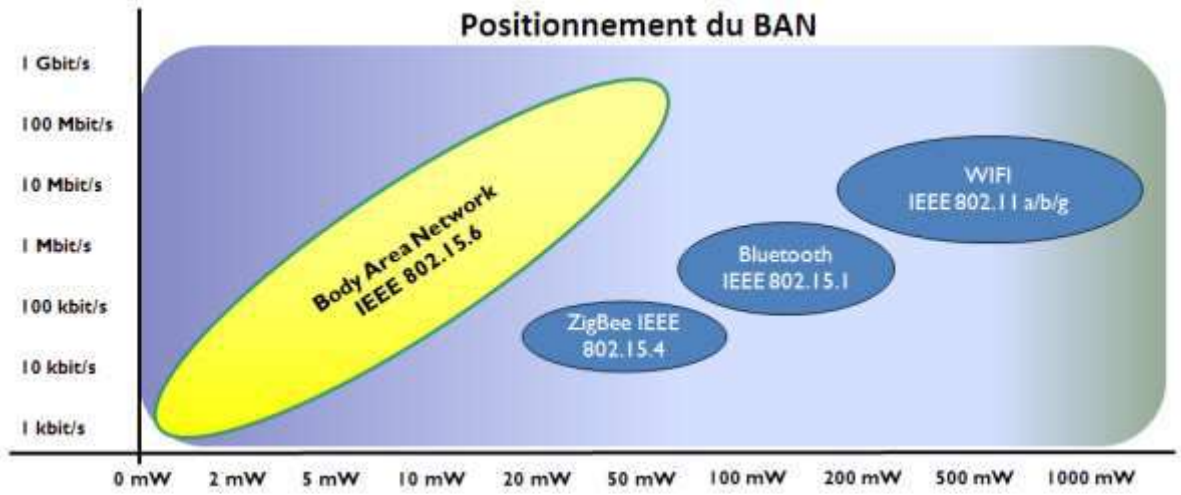


Figure I.9. *Positionnement des différentes normes de communication.*

5.3. Différence entre WBAN et WSN

Le tableau suivant résume les différences entre WBAN et WSN qui sont classifiées selon plusieurs facteurs :

Tableau I.1. *Différences entre WBAN et WSN*

Paramètre	WBAN	WSN
Déploiement	Sur le corps humain	Dans les endroits qui ne sont pas facilement accessibles
Densité	Pas dense	Danse
Débit	Actions périodiques	Actions à des intervalles irréguliers
Latence	Temps de latence réduit	Temps de latence élevé
Mobilité des nœuds	Mobiles	Stationnaires

5.3.1. Le déploiement et la densité

Le nombre des nœuds de capteurs déployés par l'utilisateur dépend de différents facteurs. Typiquement, les nœuds dans les WBAN sont placés stratégiquement sur le

corps humain, ou sont cachés sous les vêtements. Les réseaux WBAN n'emploient pas de nœuds redondants pour faire face à divers types de défaillances. Par conséquence, le nombre des nœuds dans les réseaux WBAN n'est pas dense. Par contre, dans les réseaux WSN, les nœuds sont souvent déployés dans des endroits qui ne sont pas facilement accessibles, ce qui exige de placer un nombre plus élevé de nœuds pour établir une architecture de redondance afin de contourner les problèmes de défaillance des nœuds.

5.3.2. Débit de données

La plupart des réseaux WSN sont utilisés pour la surveillance des événements, où ces événements peuvent se produire à des intervalles irréguliers. Par contre les réseaux WBAN sont utilisés pour mesurer des activités physiologiques et des actions qui peuvent se produire d'une manière plus périodique et peut donner lieu à des flux de données présentant des taux relativement stables.

5.3.3. Latence

Dans le cas des réseaux WBAN, le remplacement des batteries pour les capteurs est beaucoup plus facile par rapport au cas des réseaux WSN dont les nœuds peuvent être physiquement inaccessibles après le déploiement. Par conséquence, il peut être nécessaire de maximiser la durée de vie des batteries dans un réseau WSN. Le temps de latence dans les WBAN est plus petit par rapport au temps de latence dans les WSN à cause du nombre des sauts réduits.

5.3.4. Mobilité

Dans le cas des réseaux WBAN, les personnes portant des capteurs peuvent se déplacer et par conséquence les nœuds capteurs sont des nœuds mobiles contrairement aux nœuds WSN qui sont habituellement considérés comme des nœuds stationnaires.

5.4. Les différents capteurs utilisés dans les réseaux WBAN

La table ci-dessous représente quelques capteurs utilisés dans le domaine WBAN :

Tableau I.2. *Capteurs utilisés dans les systèmes WBAN et leur fonction, topologie et débit de données* [15].

Non du capteur	Fonction	Topologie/Débit
Accéléromètre et gyroscope	Surveillant la posture du corps et ses mouvements physiques	Etoile/élevé
Capteur de glycémie	Mesure la concentration de glucose dans le sang	Etoile/élevé
Capteur de tension artérielle	Mesure la pression systolique et diastolique du sang humain	Etoile/ faible
Détection de gaz CO2	Mesure le niveau de CO2 pour surveiller la concentration d'O2 lors de la respiration humain	Etoile/très faible
Capteur ECG	Mesure les signaux électriques produits par le cœur humain et permet d'évaluer l'activité cardiaque	Etoile/élevé
Capteur EMG	Mesure les signaux électriques produits par les muscles	Etoile/très élevé
Capteur Oxymétrie de pouls(SpO2)	Mesure la saturation en oxygène dans l'hémoglobine	Etoile/ faible
Capteur de température	Mesure la température du corps humain et/ou l'environnement entourant le patient	Etoile/très faible
Capteur d'humidité	Mesure l'humidité de l'environnement entourant le patient	Etoile/très faible

6. Conclusion

Les caractéristiques intrinsèques de cette technologie associées aux progrès réalisés dans le monde des capteurs (miniaturisation, possibilité de prétraitement, communication, diversité des capteurs (optiques, thermiques, multimédias, etc.), faible coût, …etc.) ont ouvert de nouvelles perspectives applicatives très larges et très variées pour ces réseaux de capteurs dans de nombreux domaines.

Dans le présent travail nous avons opté pour une famille de microcontrôleurs très performante qui est la famille des PSoC pour la conception de notre système, cette famille de microcontrôleurs se distingue par sa flexibilité pour réaliser des applications très complexe et très performantes, à son prix abordable et sa faible consommation énergétique.

Dans le chapitre qui suite nous présentons les caractéristiques de la famille PSoC, ainsi que les kits utilisés pour le développement.

Chapitre II: *Conception d'un système de RCSF.*

1. Introduction :

Dans ce chapitre Nous allons présenter une conception d'un système électronique (réseau de capteur sans fil (RCSF)), constitué de nœuds de capteurs réalisés à base de microcontrôleurs PSoC et des modules de communication RF de type nRF24L01.

2. Schéma bloc du système à réaliser :

La communication dans un réseau WSN nécessite au moins deux nœuds de capteur, un nœud pour l'émission et l'autre pour la réception, ces nœuds sont du type :

- Sink (comme une station de base pour la partie de réception).
- End_device (pour la partie d'émission).

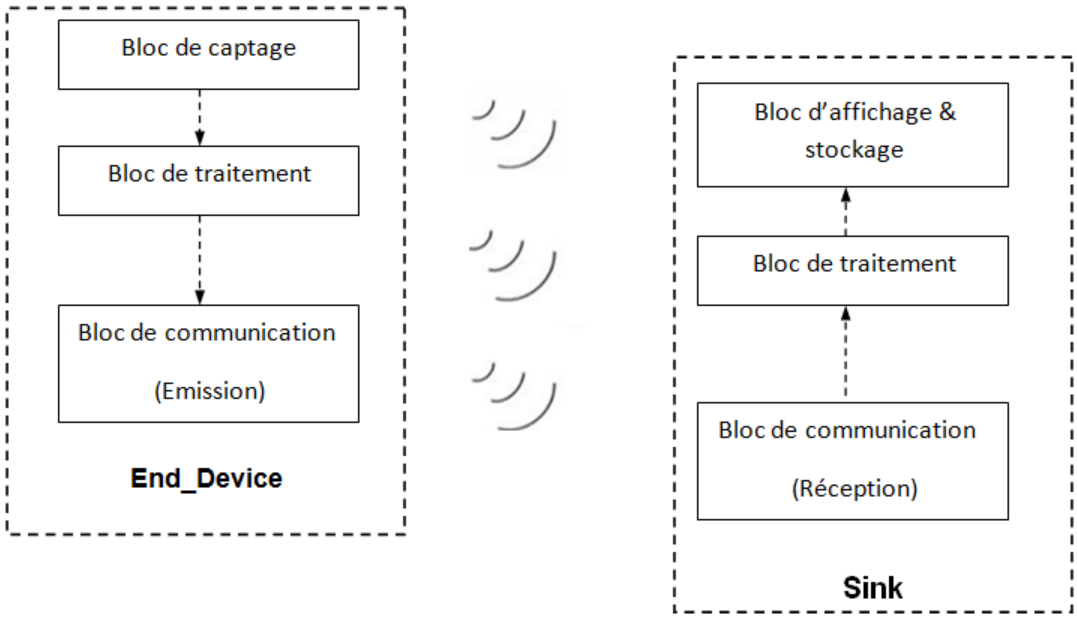


Figure II.1. *Schéma bloc du système à réaliser.*

L'utilisation d'un ensemble de nœud de capteurs de type (End_device) avec le nœud sink nous donne ce qu'on appelle un système **multicievers**, et ce qu'on va l'expliquer dans la suite.

3. Les microcontrôleurs PSoC :

3.1. Présentation :

Le système programmable sur puce (Programmable System on Chip) est un circuit intégré introduit dans les années 2000 par l'entreprise Cypress. Il est constitué d'un microcontrôleur et des circuits logiques et analogiques ainsi que des modules pour la communication filaire et sans fil (RS232, CAN, Bluetooth, WIFI…etc.) [16].

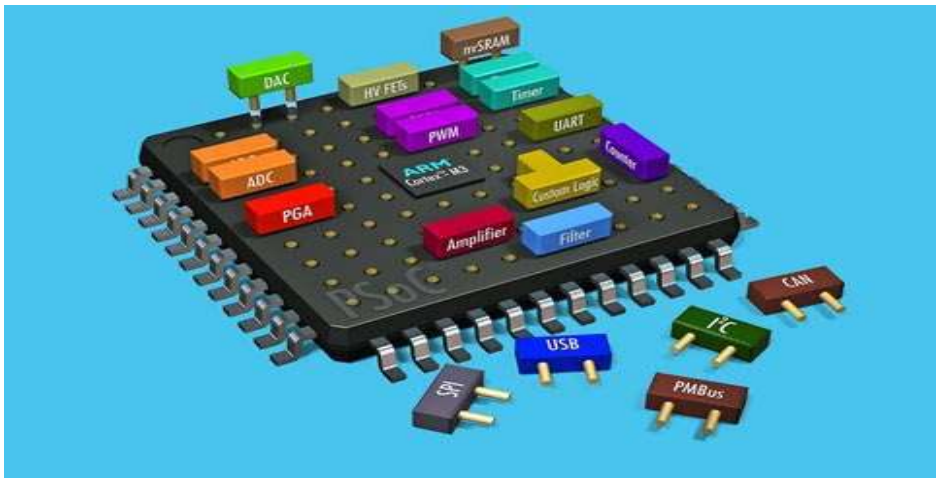


Figure II.2. *Les éléments constitutifs d'un PSoC.*

L'idée est de remplacer le microcontrôleur et les circuits d'interfaces analogiques (CAN et CNA, filtres, amplificateurs opérationnels, comparateurs etc.) Ou numériques (compteurs, Timer, Uart,… etc.) associés par un circuit unique. On intègre ainsi un système électronique embarqué complet dans un circuit intégré unique, ou tout au moins, on réduit très considérablement le nombre de composants d'un circuit électronique.



Figure II.3. *Différence entre un circuit intégré avant et après le PSoC.*

La particularité d'un PSoC est d'être reconfigurable en fonctionnement : on peut par exemple imaginer un système embarqué qui s'arrête de fonctionner 1 à 2 minutes par jour pour se reconfigurer en modem et envoyer toutes les données qu'il a acquises dans la journée. Les fonctions utilisées pour la mesure sont reconfigurées en modem, donc un seul modèle peut répondre à une multitude d'application. On peut considérer ce point-là comme un point fort pour les PSoC par rapport aux autres types de microcontrôleurs comme les PICs.

Un PIC ne possède pas de circuits logiques ou analogiques configurables, en conséquence lorsqu'on développe une application, en fonction de ses besoins, on doit choisir son circuit dans toute une série de PICs avec des variantes spécifiques [17].

La figure ci-dessus représente l'architecture du microcontrôleur PSoC avec ces différents blocs :

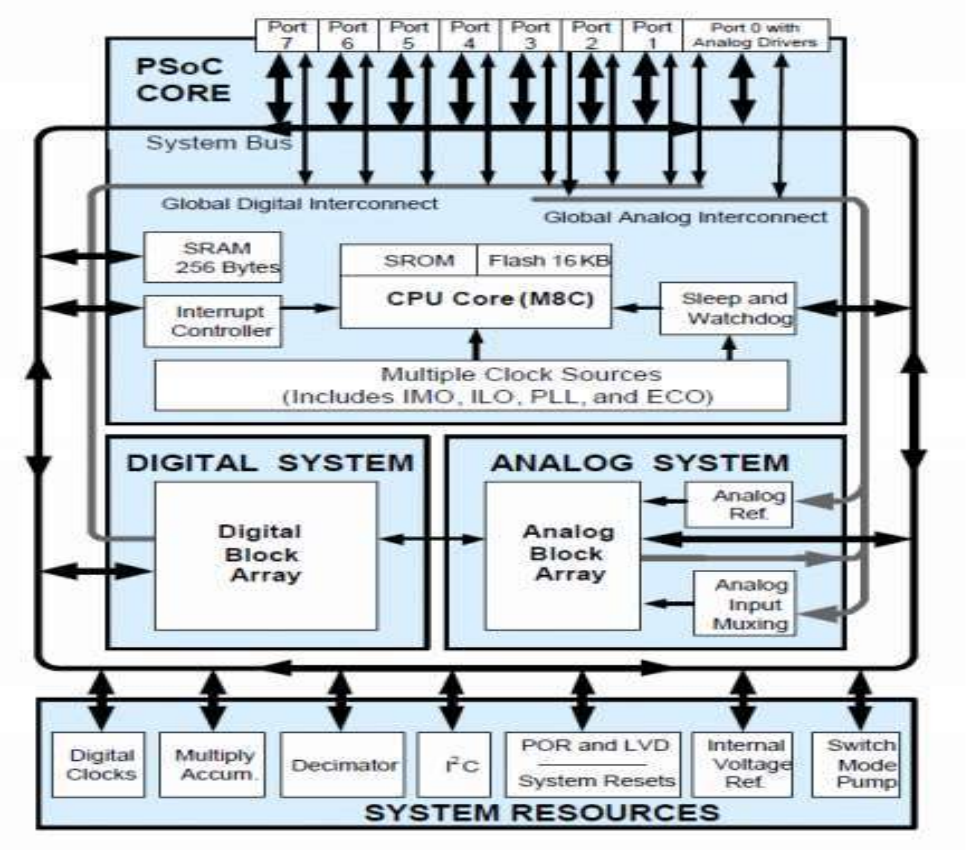


Figure II.4. *Architecture interne d'un PSoC.*

3.2. L'environnement de développement de PSoC :

Avec l'IDE PSoC Creator (aussi PSoC designer ou PSoC Programmer), on développe des applications à base des puces PSoC, et la programmation est définie en langage «C» grâce à un compilateur intégré.

La figure ci-dessus présente la fenêtre principale de l'IDE PSoC Creator :

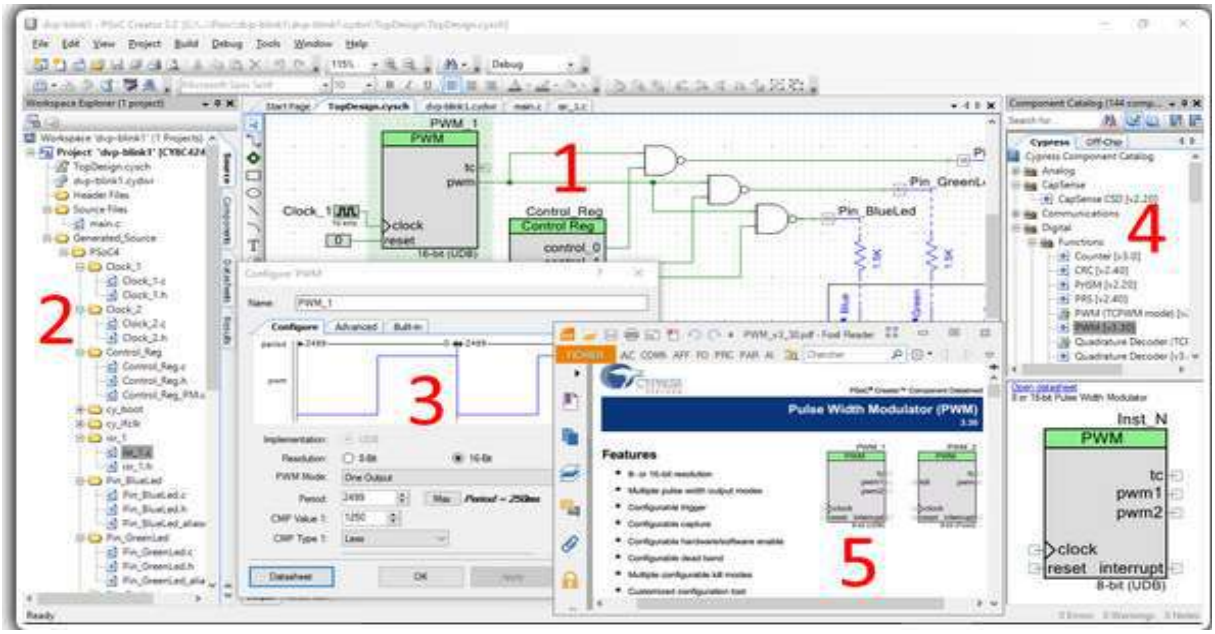


Figure II.5. *L'EDI PSoC Creator.*

- **1 :** Glisser-déposer des composants et les connecter entre eux dans la fenêtre de travail (design) pour concevoir son système câblé.
- **2 :** Gérer les fichiers sources du projet.
- **3 :** Configurer les composants dans des boîtes de dialogue.
- **4 :** Accéder et explorer plus d'une centaine de composants proposés dans le catalogue de composants qui comprend dans une seule interface des fonctions logicielles, des fonctions logiques et analogiques fixes issues des périphériques du processeur et des fonctions logiques avancées prédéfinies et prêtes pour implantation dans les blocs UDB.
- **5 :** Accéder à la documentation (datasheet) de chaque composant.

3.3.Les différentes familles PSoC:

La première génération c'était le PSoC1 donc c'est la famille d'origine, par la suite deux famille sont introduites au début des années 2010 : PSoC3 et PSoC5.

La différence entre ces familles réside essentiellement dans:

- Les performances et caractéristiques du processeur utilisé.
- La taille et le type de mémoire de programme et celle de la mémoire de données.
- Le nombre d'interfaces logiques et analogiques.

- Les différents éléments d'entré et de sortie…etc.

Le tableau de la figure suivante résume quelques différences entre les générations de microcontrôleurs PSoC :

Tableau II.1. *Différence entre PSoC1, PSoC3, PSoC4, PSoC5 et PsoC6.*

PSoC 1	PSoC 3	PSoC 4	PSoC 5 / 5LP	PSoC 6
CPU 8 bits M8C jusqu'à 24 MHz, 4 MIPS	CPU 8 bits 8051 (cycle unique) jusqu'à 67 MHz, 33 MIPS	CPU 32 bits ARM Cortex-M0 jusqu'à 48 MHz	PU 32 bits ARM Cortex-M3 jusqu'à 80 MHz, 84 MIPS	CPU 32 bits ARM Cortex-M4(jusqu'à 150 MHz) + CPU 32 bits ARM Cortex-M0 +(Jusqu'à 100 MHz)
Mémoire prog : 4 ko à 32 ko SRAM: 256 oct à 2 ko	Mémoire prog : 8 à 64 ko SRAM: 3 à 8 Ko	Mémoire prog : 16 à 256 ko SRAM: 2 à 32 ko	Mémoire prog : 32 à 256 ko SRAM: 8 à 64 ko	Mémoire prog : 512 à 2048 ko SRAM: 128 à 512 ko
I²C, SPI, UART, FS USB 2.0	²C, SPI, UART, LIN, FS USB 2.0, I²S, CAN	I²C, SPI, UART, CAN	²C, SPI, UART, LIN, CAN, FS USB 2.0, I²S	²C, SPI, UART, LIN, BLE (opt), FS USB 2.0
16 blocs UDBs (Universal Digital blocs)	16 à 24 UDBs	4 à 8 UDBs	20 à 24 UDBs	0 à 12 UDBs
1 ADC Sigma-Delta (6 à 14 bits) Jusqu'à deux DACs (6 à 8 bits)	1 ADC Sigma-Delta (8 à 20 bits) Jusqu'à quatre DACs (8 bits)	1 ADCSAR (12 bits) Jusqu'à deux DACs (7 à 8 bits)	1 ADC Sigma-Delta (8 à 20 bits) 2 ADCSAR (12 bits) Jusqu'à quatre DACs (8 bits)	1 ADCSAR (12 bits) 1 DAC12 Bit
Jusqu'à 64 E/S	Jusqu'à 72 E/S	Jusqu'à 98 E/S	Jusqu'à 72 E/S	Jusqu'à 104 E/S

Le défi dans le PsoC4 est de prendre la flexibilité de PSoC1 ainsi que les performances des PSoC3, avec un MCU de type ARM cortex_M0 de 32 bits qui nous offre un grand niveau de flexibilité et la possibilité de concevoir tout ce que nous voulons.

Et dernier lieu, il faut noter que la génération PsoC6 est la plus récentes elle spécialement conçu pour l'IOT (Internet Of Things).

3.4. Présentation des kits PsoC4 utilisés :

3.4.1. Le kit Pioneer (CY8C4245AXI483):

C'est une carte de développement complète qui inclut un microcontrôleur de la famille PsoC4 de la série CY8C42xx, avec :

- ✓ Un CPU ARM® Cortex™-M0 (32 bits).
- ✓ Une vitesse de 48MHz.
- ✓ Mémoire programme (flash) de 32KB.
- ✓ Mémoire de donnés (SRAM) de 4KB.
- ✓ Nombre de pins : 44pins.

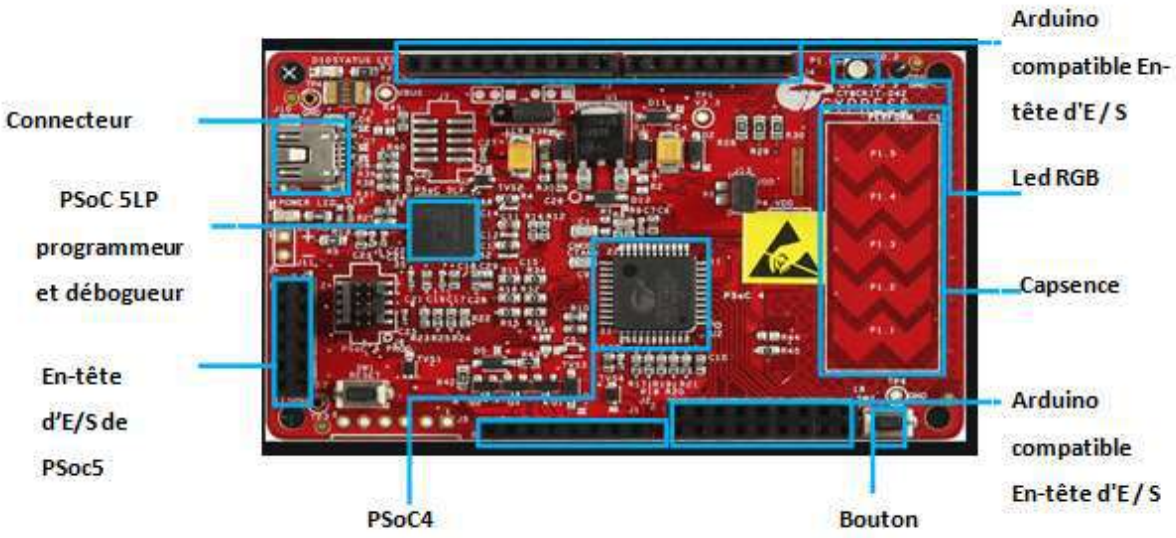


Figure II.6.*Le kit Pioneer PSoC4.*

La figure suivante présente le schéma bloc de cette carte de dévéloppement :

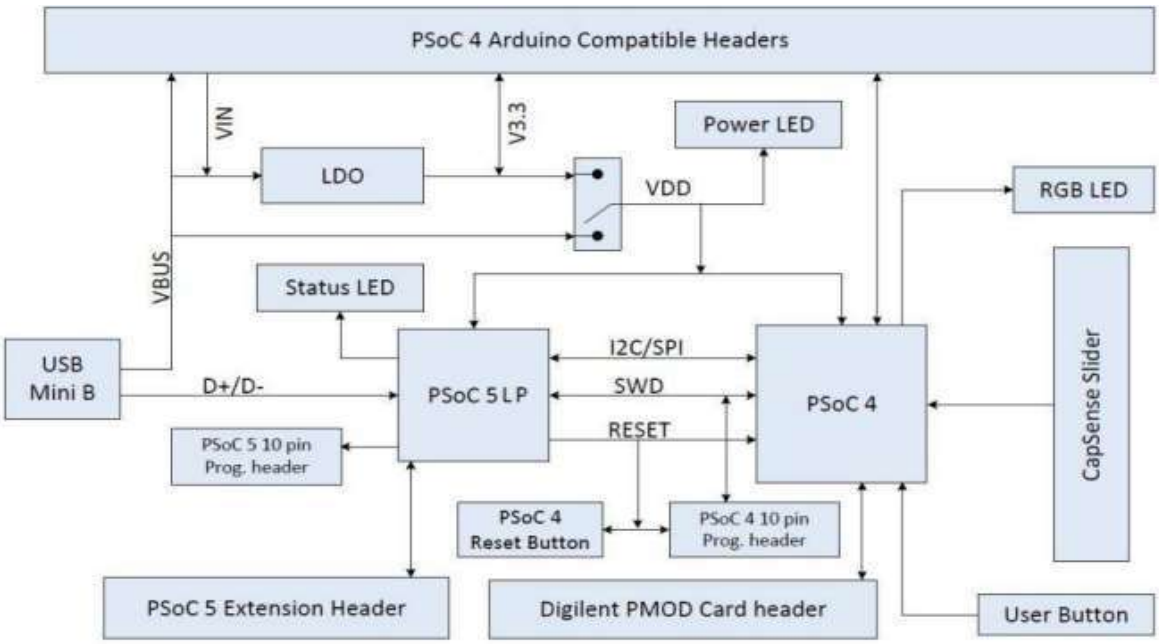


Figure II.7.*Bloc diagramme de kit pioneer PSoC4.*

3.4.2. Les kits: CY8CKIT-049-4xxx (CY8C4125AXI483) et (CY8C4225AXI483):

Le PSoC CY8C4125AXI483 est un microcontrôleur de 4^{e} génération et de la série CY8C41xx, Alors que le CY8C4225AXI483 est de la même famille mais de la série CY8C42xx, donc ils ont des caractéristiques qui se ressemblent:

- ✓ Un CPU ARM® Cortex™-M0 (32 bits).
- ✓ Une vitesse de 24MHz.
- ✓ Mémoire programme (flash) de 32KB.
- ✓ Mémoire de donnés (RAM) de 4KB.
- ✓ Nombre de pins : 44pins.

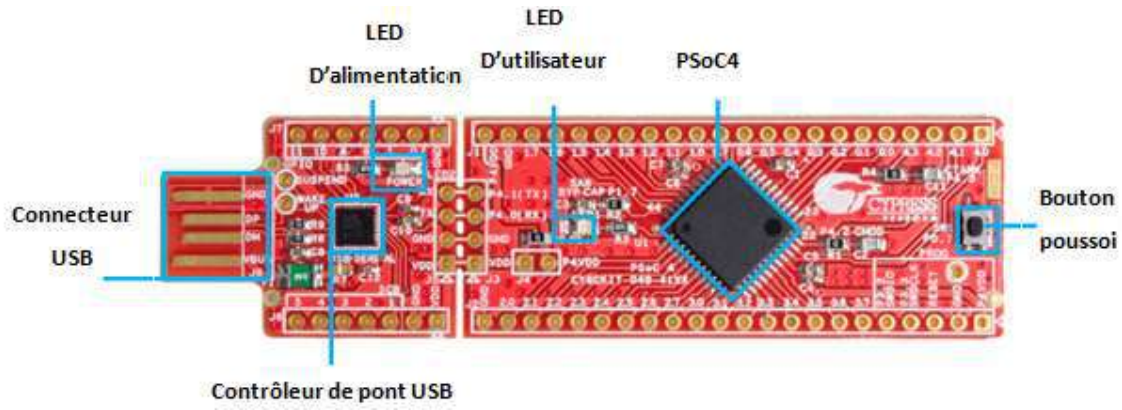


Figure II.8.*Le kit CY8CKIT-049-4xxx.*

La figure suivante présente le schéma bloc de ces cartes de dévéloppement :

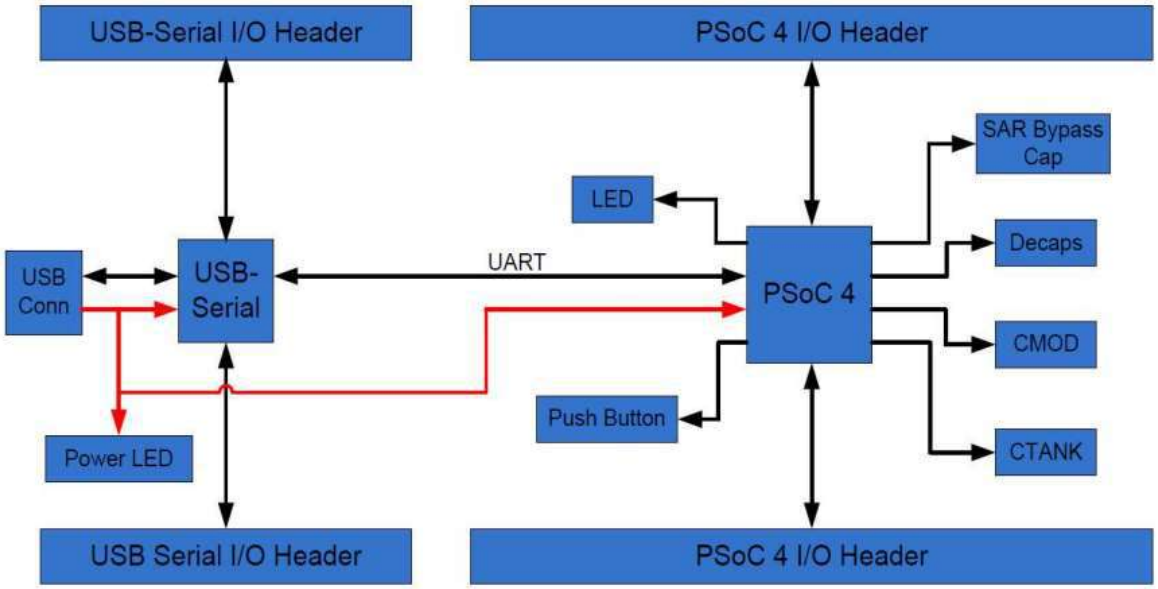


Figure II.9.*Bloc diagramme de kit CY8CKIT-049-4xxx.*

4. La partie RF :

L'époque des communications câblées est révolue. Aujourd'hui, de plus en plus de communications se font sans fil. La Radio Fréquence est une technologie sans fil qui permet de transmettre des données par rayonnement radiofréquence à un récepteur munie d'une antenne se trouvant plus loin [18].

La communication RF (dites hertziennes ou bien radio) est basé sur la radiodiffusion ou bien sur les ondes électromagnétiques (portant les signaux à transmettre) 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 [19].

4.1. L'importance de la transmission RF

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. Moins de temps perdu signifie une gestion immédiate et efficace sans ajouter de personnel supplément [20].

4.2. Présentation du module de transmission nRF24L01+ :

Pour notre application nous avons retenu le module nRF24L01+ qui est un émetteur/récepteur d'une puce unique avec la possibilité d'être utilisé dans les applications ultra faible puissance. Il fonctionne dans la bande de la fréquence (2.400-2.4835GHZ) avec un taux de transfert de données de : 250Kbps, 1 Mbps et 2 Mbps.

La configuration et la gestion de ce module est réaliser par une l'interface série (SPI). Grace à cette dernière la carte de registres du module est accessible (les registres de configuration du nRF24L01).

La figure suivante présente l'aspect externe du module nRF24 :



Figure II.10. *Le module nRF24L01+.*

Par contre la figure qui suit montre le diagramme interne de la puce nRF24 :

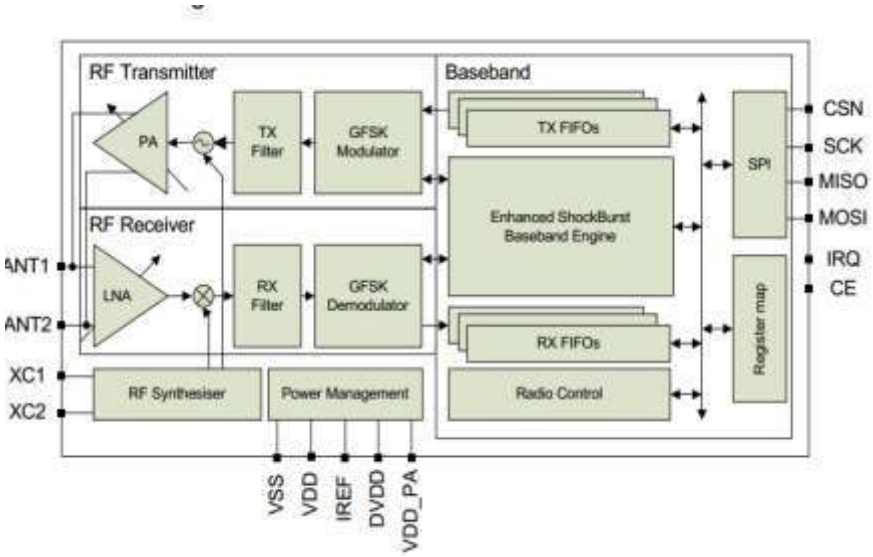


Figure II.11. *Bloc de diagramme de module nRF24l01+.*

L'interfaçage du module se produit via ces 6 broches représentées par :

- **GND** : est la broche de terre. Elle est généralement marquée en entourant la broche dans un carré afin de pouvoir être utilisée comme référence pour identifier les autres broches.
- **VCC** : pin d'alimentation du module, de 1,9 à 3,9 V.

- **CE** :(Chip Enable) est une broche active HIGH. Lorsqu'elle est sélectionnée, le module nRF24L01 transmettra ou recevra, selon le mode dans lequel il se trouve actuellement.
- **CSN** (Chip Select Not) : est une broche active LOW, elle est normalement maintenue à l'état HIGH pendant la transmission. Lorsque cette broche devient Low, le nRF24L01 commence à écouter les données sur son port SPI et les traite en conséquence.
- **SCK** (Serial Clock):accepte les impulsions d'horloge fournies par le maître du bus SPI.
- **MOSI** (Master Out Slave In) : est l'entrée SPI du nRF24L01.
- **MISO** (Master In Slave Out) : est la sortie SPI du nRF24L01.
- **IRQ** : est une broche d'interruption pouvant alerter le maître lorsque de nouvelles données sont disponibles pour traitement [21].



Figure II.12. Les *Broches du module nRF24L01.*

Le module émetteur-récepteur nRF24L01+ transmet et reçoit des données sur une certaine fréquence appelée canal. De plus, pour que deux ou plusieurs modules d'émetteur-récepteur puissent communiquer l'un avec l'autre, ils doivent se trouver sur le même canal. Chaque canal occupe une largeur de bande inférieure à 1 MHz. Cela nous donne 125 canaux possibles avec un espacement de 1 MHz. Ainsi, le module peut utiliser 125 canaux différents, ce qui permet d'avoir un réseau de 125 modems fonctionnant de manière indépendante au même endroit [21].

4.3. Le système multicievers :

Le nRF24L01+ fournit aussi une fonctionnalité appelée Multicievers. C'est une abréviation pour plusieurs émetteurs associés à un récepteur unique. Chaque canal RF est divisé logiquement en 6 canaux de données parallèles appelés canaux de données (Pipes). En d'autres termes, un canal de données est un canal logique dans le canal RF physique. Chaque canal de données a sa propre adresse physique (adresse de canal de données) et peut être configuré, ceci peut être illustré comme indiqué ci-dessous [21].

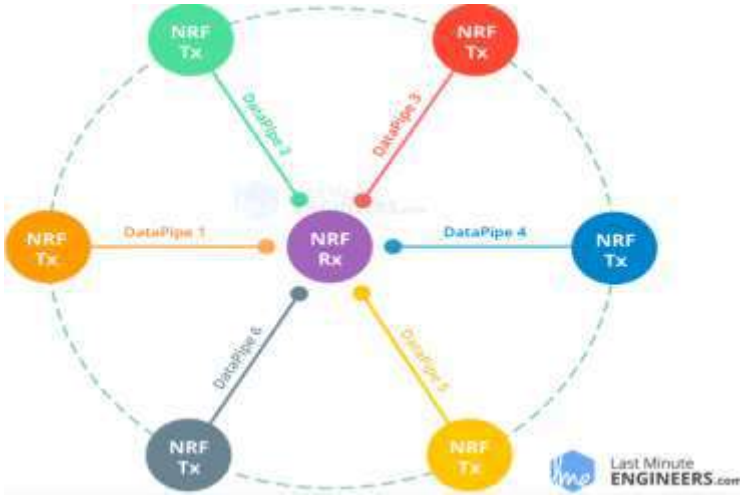


Figure II.13. *Le mode Multicievers du module nRF24L01+.*

4.4. Caractéristiques du module nRF24:

- Alimentation: 1.9V à 3.6V.
- Tension des niveaux logiques : 0 ~ 3.3V / 5V.
- Taux d'émission : + 7 dB.
- Sensibilité de réception : ≤ -90dB.
- Portée de transmission : 100m en zone ouverte.
- Dimension: 15x29mm [22].

5. L'afficheur LCD:

5.1. Définition:

LCD est l'abréviation du terme anglais "Liquid Crystal Display" qui signifie en français "Écran à cristaux liquides». Il est en particulier une interface visuelle entre un système (projet) et l'homme (utilisateur). Son rôle est de transmettre les informations utiles d'un système à un utilisateur. Il affichera donc des données susceptibles d'être exploiter par l'utilisateur d'un système [23], Ils permettent également de créer ses propres caractères (numériques, alphanumériques ou graphiques).

Il consomme relativement peu (de 1 à 5 mA) et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleur, et permettent une grande convivialité. Ils peuvent aussi être utilisés lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables.

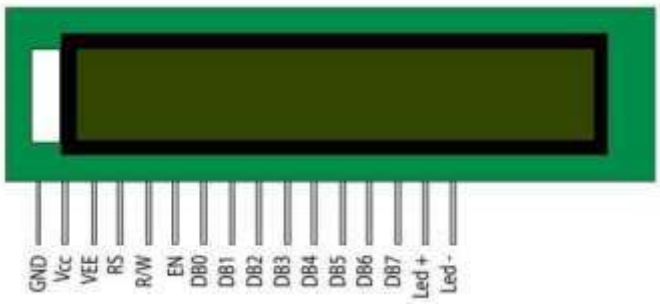


Figure II.14.*Brochage d'un module LCD.*

- GND : Masse.
- Vcc : Alimentation positive (V+).
- VEE : Contraste réglable par potentiomètre.
- RS : Sélection de registre (0= instruction; 1 = donnée).
- R/W : Lecture ou écriture (1= lecture; 0=écriture).
- EN : Enable (validation, actif au niveau haut).
- DB0 : Bit 0 du bus de données.
- DB1 : Bit 1 du bus de données.

- DB2 : Bit 2 du bus de données.
- DB3 : Bit 3 du bus de données.
- DB4 : Bi t4 du bus de données.
- DB5 : Bit 5 du bus de données.
- DB6 : Bit 6 du bus de données.
- DB7 : Bit 7 du bus de données [24].

5.2. Différentes types d'afficheurs LCD :

Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes) et du nombre de caractères qu'ils peuvent affichés (de 6 à 80 caractères), mais aussi par :

- Leurs caractéristiques techniques.
- Leur tension de service.
- Le mode de visualisation.
- Le contraste positif ou négatif (Positif : Caractères sombres sur fond clair / Négatif : Caractères clairs sur fond sombre…etc.

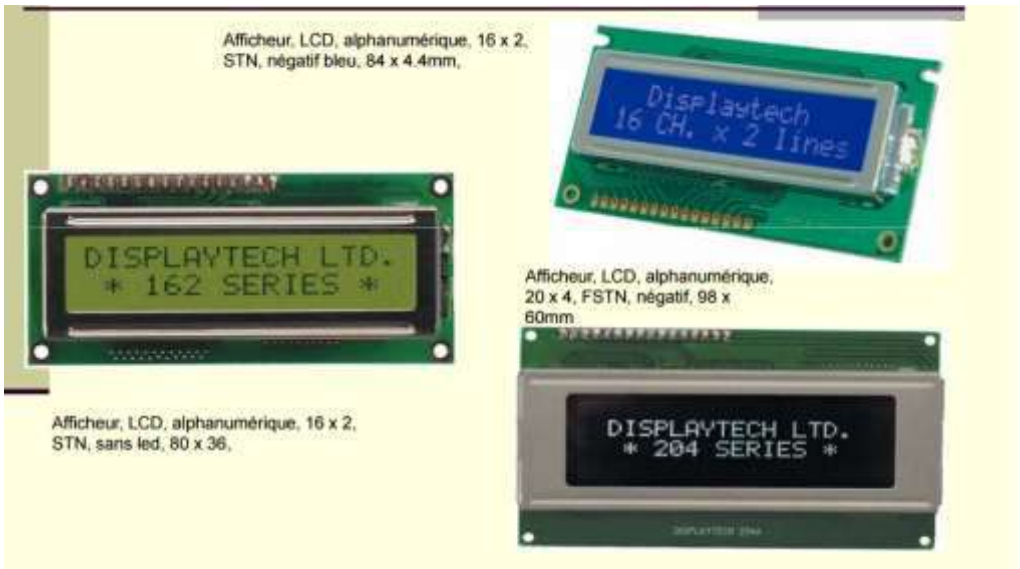


Figure II.15. Quelques types d'afficheur LCD alphanumériques.

6. L'interface de communication UART:

L'UART est un terme qui vient de l'anglais, ce sont les initiales de : Universal Asynchronous Receiver Transmitter. L'UART est par conséquent un émetteur-récepteur asynchrone universel, cela signifie qu'il n'y a pas de signal d'horloge (Clock) entre l'émetteur et le récepteur.

En langage familier, c'est le composant utilisé pour faire la liaison entre l'ordinateur et le port série. L'ordinateur envoie les données en parallèle (autant de fils que de bits de données). Il faut par conséquent transformer ces données pour les faire passer à travers une liaison série qui utilise un même fil pour faire passer l'ensemble des bits de données.

7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les éléments hardware retenues pour notre conception pour la mise au point d'un réseau de capteurs sans fil.

On conclure que le PSoC est le meilleure choix pour la conception et l'implémentation de notre travaille grâce a leur performance par rapport d'autres microcontrôleurs.

Chapitre III : *Implémentation des nœuds.*

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons traiter la partie du développement et d'implémentation Software et Hardware de nos nœuds de capteurs à base des composants décrits dans le chapitre précédent.

Tout d'abord, nous allons décrire le principe de fonctionnement, ensuite nous allons passer à l'étude pratique et nous présenterons les organigrammes généraux des programmes de transmission et de réception, Ainsi que la configuration et le brochage des différents modules.

2. Présentation de l'application

L'idée générale est de faire collecter des données issues de différents capteurs, les transférer et par la suite les afficher selon la manière souhaitée en utilisant des nœuds de capteurs a base sur de PsoC4.

3. Principe de fonctionnement

La figure suivante montre le schéma de principe de fonctionnement de notre application:

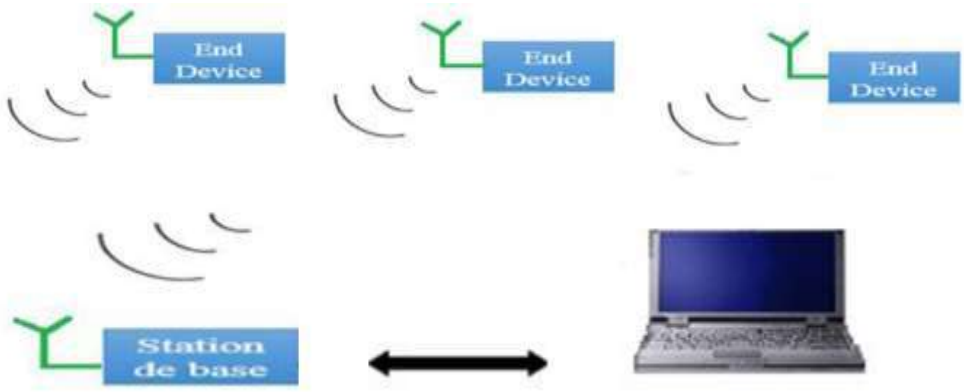


Figure III.1. *Schéma de principe de fonctionnement.*

Chaque nœud mesure une ou plusieurs grandeurs physiques et les transforment en données numériques .Il envoie ces données vers la station de base via une communication RF (grâce aux modules nRF24L01).

La station de base renvoi ces données via un bus de communication série vers un terminal (ordinateur).

4. Etude des différents nœuds de l'application

Les deux types de nœuds de capteurs utilisés dans l'application sont illustrés par les schémas synoptiques Chaque nœud mesure une ou plusieurs grandeurs physiques et les transforment en données numériques .Il envoie ces données vers la station de base via une communication RF (grâce aux modules nRF24L01).

La station de base renvoi ces données via un bus de communication série vers un terminal (ordinateur).

Les deux types de nœuds de capteurs utilisés dans l'application sont illustrés par les schémas synoptiques

suivants :

4.1. Schéma synoptique des nœuds End_device :

Les nœuds End_device sont basés sur un ensemble de blocs assurant le traitement des données des capteurs par le PSoC, puis l'envoies à travers le module RF**.**

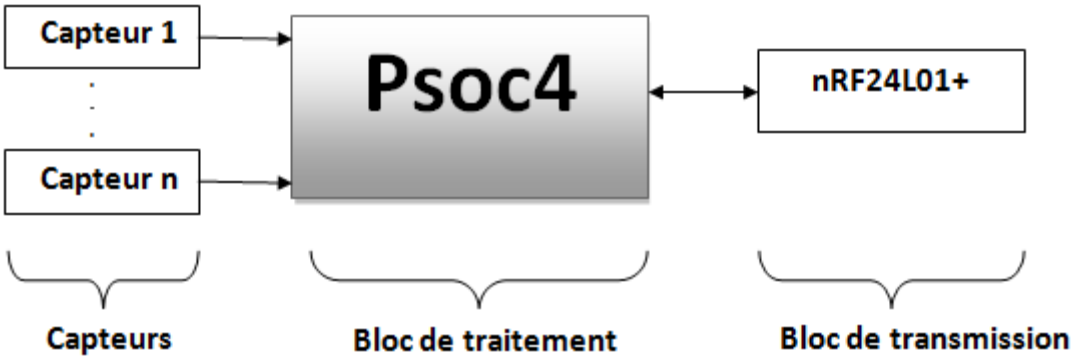


Figure III.2.*Schéma synoptique de nœud End_device.*

4.1.1. Capteurs :

Ce bloc assure le prélèvement et la quantification de l'information d'un phénomène déterminé (accélération, température, pression artérielle, …etc.).

4.1.2. Bloc de traitement :

C'est le bloc responsable des divers traitements de mesure (évaluation, conversion, ...etc.) ainsi que la gestion de la transmission des data via le bloc RF en utilisant le microcontrôleur PsoC4.

4.1.3. *Bloc de transmission RF :*

Assure la transmission des data (mesures) vers la station de base via le module RF utilisé (nRF24L01).

4.2. Schéma synoptique de nœud coordinateur (sink)

Le nœud sink est basé sur l'ensemble de blocs suivants :

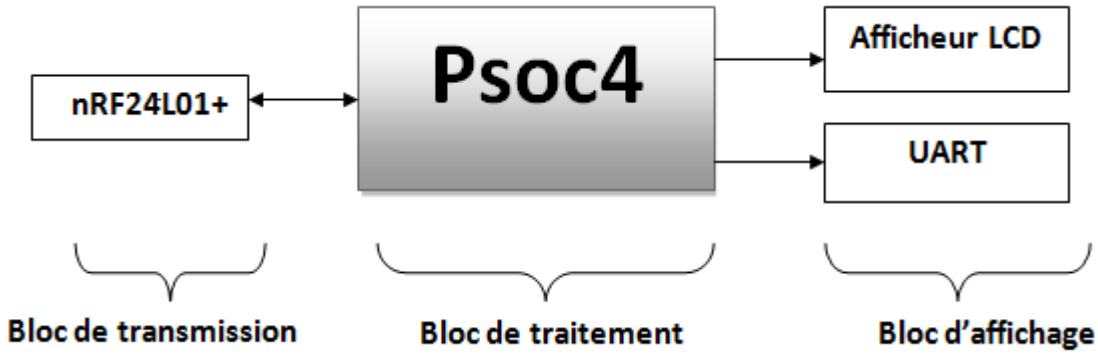


Figure III.3. *Schéma synoptique de nœud sink.*

4.2.1. Bloc de transmission RF :

Assure la réception des données collectées grâce au module nRF24L01relié au bloc de traitement à travers la liaison série SPI.

4.2.2 Bloc de traitement :

Le PsoC4 s'occupe du traitement à effectuer sur les données reçues puis il les transmit vers le terminal (ordinateur) à travers l'UART.

4.2.3 Bloc d'affichage

L'afficheur LCD permet d'afficher les données reçues par le nœud sink.

4.3. Choix des capteurs

Afin de tester le fonctionnement des nœuds, nous avons choisis d'utilisé deux capteurs simples qui sont :

- ✓ Le capteur de température LM35 pour le nœud End_Device 1.
- ✓ Le capteur d'accélération analogique MMA7361pour le nœud End_Device 2.

4.3.1 Le capteur de température LM35 : [1]

La température d'un objet détermine la sensation de chaud ou de froid ressentie en le touchant. Plus spécifiquement, c'est une mesure d'énergie cinétique moyenne des particules d'un échantillon de matière, exprimée en unités de degrés sur une échelle standard.

Il est possible de mesurer la température de plusieurs façons différentes qui se distinguent par le coût des équipements, la précision ainsi que le temps de réponse. Les types les plus courants de capteurs sont les sondes RTD (Resistance Température Detectors - capteurs de température à résistance), les thermistances et les thermocouples.

RTD :

- Avantage : Stable, linéaire et Plus cher.
- Inconvénient : temps de réponse long ; faible sensibilité.

Thermistance :

- Avantage : sensibilité de mesure plus élevée.
- Inconvénient : une gamme de températures ne dépassant pas 300 °C, un taux de réponse de l'ordre de la seconde.

Thermocouple :

- Avantage : peu onéreux tout en étant précis, une large gamme de températures, un taux de réponse rapide.
- Inconvénient : un signal électrique faible.

Notre sélection pour l'application se concentre sur le capteur **LM35** en raison de sa précision, faible coût et sa simplicité d'utilisation. La température mesurée par le capteur est proportionnelle à la tension sur la sortie analogique du capteur.

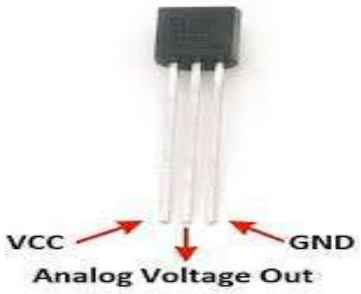


Figure III.4.*Le capteur de température LM35.*

Caractéristique techniques :

- Calibré directement en ˚ Celsius (Centigrade).
- Facteur d'échelle 10,0 mV / ˚C.
- Précision de 0,5˚C garantie (à + 25˚C).
- Une plage de mesure de – 55 jusqu'a + 150˚C.
- Tension d'alimentation de 4 à 30 volts.
- Un Sortie basse impédance, 0,1Ω pour une charge de 1 mA [2].

On peut également souligner qu'il existe de nombreuses versions du LM35 :

- **LM35AH** : boitier métal TO46 avec une plage de -55° jusqu'à 150 °C.
- **LM35CH** : boitier métal TO46 avec une plage de -40° jusqu'à 100 °C.
- **LM35CZ** : boitier plastique TO92 avec une plage de -40° jusqu'à 100 °C.
- **LM35DH** : boitier métal TO46 avec une plage de -0° jusqu'à 100 °C.
- **LM35DZ** : boitier plastique TO92 avec une plage de -0° jusqu'à 100 °C [2].

4.3.2 Le capteur d'accélération MMA7361:

Les accéléromètres sont utilisés pour enregistrer à la fois les accélérations statiques (la gravité) et dynamique (choc, mouvement).Ils se reposent tous dans leur fonctionnement sur le principe fondamental de la dynamique : F=m* a avec (F: force; m : masse & a: accélération).

Les chocs correspondent à des accélérations pulsées. Les vibrations, quant à elles, peuvent être caractérisées par le déplacement, la vitesse ou l'accélération en des points déterminés de la structure vibrante. Par conséquent, l'accéléromètre est le capteur le plus adapté et le plus utilisé pour la mesure des vibrations et des chocs [3].

Le MMA7361 est un capteur d'accélération trois axes, il est doté d'une interface analogique simple. Il fonctionne en 3,3V et délivre une tension analogique sur chacune de ses trois sorties. La tension de sortie est proportionnelle à l'accélération mesurée. La sensibilité est ajustable via une ligne spéciale. Ce capteur est très facile à connecter à un microcontrôleur disposant d'un convertisseur analogique numérique intégré comme le cas des PSoC.

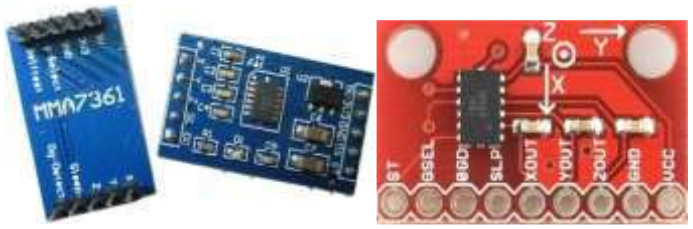


Figure III.5.*Accéléromètre MMA7361.*

Le tableau suivant présente le brochage su capteur utilisé :

Table III.1.*Broches du MM7361.*

Pin No	Pin Name	I/O	Details
1.	VCC	Power IN	Positive Power supply,5V
2.	GND	Power GND	Negative(ground)connection of power supply
3.	Z	O/P	Z direction output voltage
4.	Y	O/P	Y direction output voltage
5.	X	O/P	X direction output voltage
6.	SLP	I/P	Logic input pin to enable product or sleep mode
7.	0GD	O/P	Linear freefall digital output signal
8.	GSEL	I/P	Logic input pin to select g level
9.	ST	I/P	Input pin to initiate Self Test

Caractéristique techniques :

- Faible consommation de courant: 400 μA.
- Fonctionnement basse tension: 2,2 - 3,6 V.
- Sensibilité configurable (± 1,5 g, ± 6 g).
- Haute sensibilité (800 mV / g dans la gamme 1,5 g).
- Autotest pour le diagnostic de détection de chute libre.
- Détection du 0g pour la protection contre les chutes libres.
- Conception robuste, haute résistance aux chocs.
- Faible prix.

4.4. Choix des kits

Le choix des kits pour les deux types de nœuds de capteurs a été effectué principalement selon la disponibilité et certains facteurs comme indiqué ci-dessous :

✓ La CY8CKIT_042_PSoC_R_4_Pioneer_Kit pour le nœud **sink**:
- Une vraie liaison USB.
- Une programmation directe.
- Connecteurs compatibles Arduino (afin d'utiliser le shield d'affichage LCD).

✓ Les kits: CY8CKIT-049-4xxx (CY8C4125AXI483) et (CY8C4225AXI483) pour les deux nœuds **End_Device** :
- Une taille petite qui nous permet de réaliser des applications portatives (par l'ajoute d'une pile).

5. Le développement dans l'IDE PSoC Creator :

Sous l'IDE PSoC Creator, le développement d'une application à base d'un PSoC s'effectue selon les étapes suivant :

a. Création d'un nouveau projet dans PSoC Creator 4.3 :

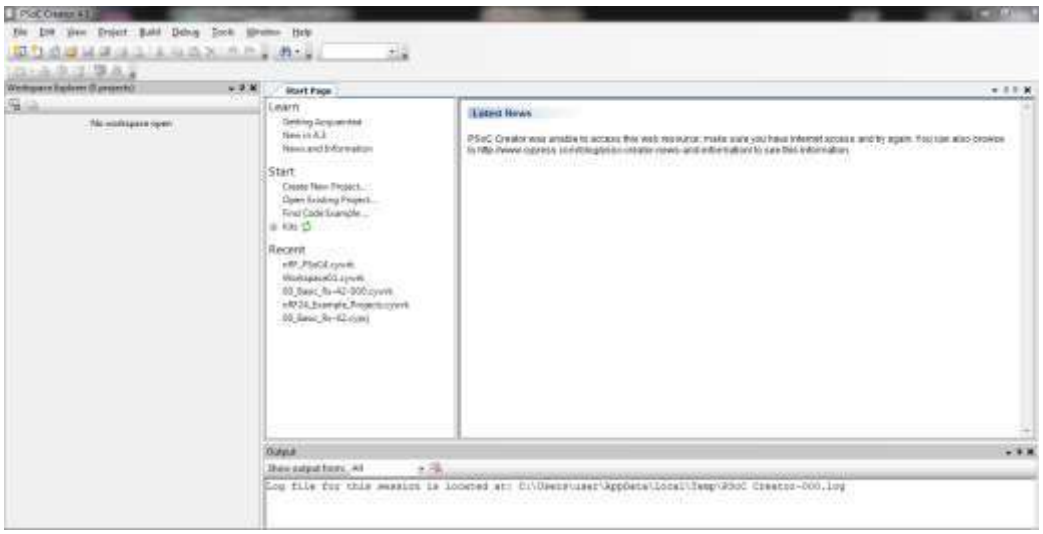


Figure III. 6. *Création d'un nouveau projet.*

b. On doit choisir le kit à utiliser ainsi que le nom et le chemin de projet :

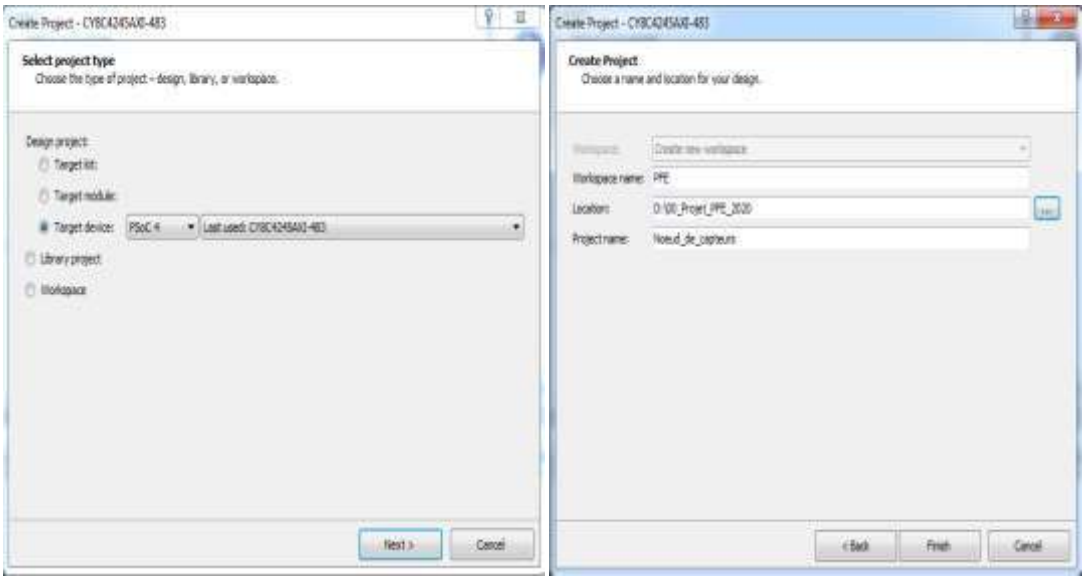


Figure III. 7. *Choix de kit et nom de projet.*

c. L'ajout du matériel :

Maintenant nous devons ajouter des éléments matériels au schéma (suivant le "Catalogue de composants"), l'EDI génère des fichiers API pour prendre en charge le matériel.

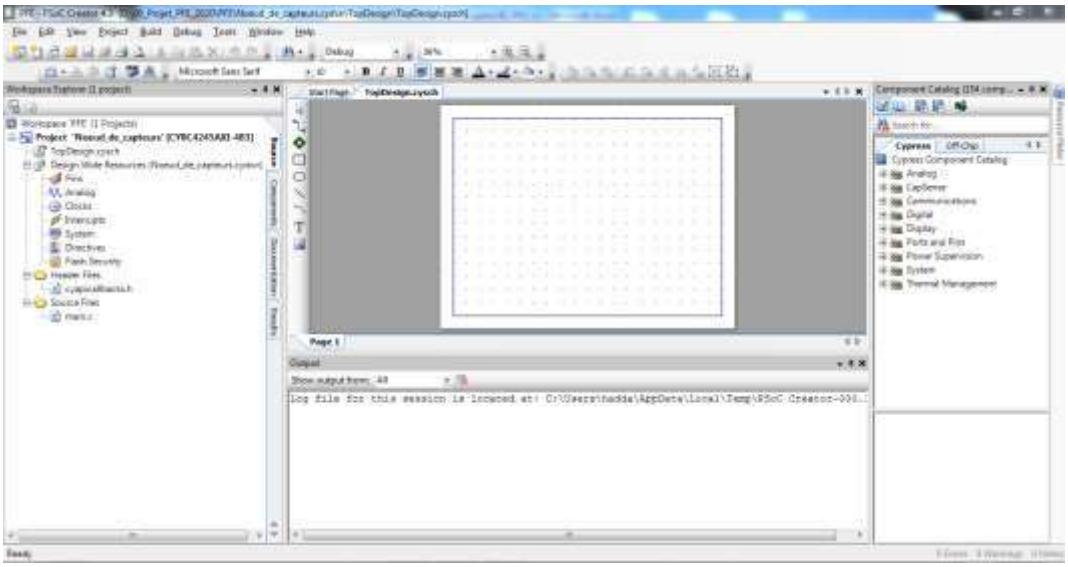


Figure III. 8. *L'environnement IDE PSoC.*

L'onglet "Cypress" contient les périphériques actifs, qui seront réellement créés, et l'onglet "Off-Chip" nous permet d'ajouter les composants externes aux puces PSoC comme les résistances, les bobines, …etc.

Après avoir choisi les éléments à utilisées on double clic sur chaque composant ajouter, nous obtiendrons une fenêtre de configuration de ce composant, où nous pouvons définir les différents paramètres (nom, pins, fréquence…etc.) qui définissent le composant au moment de la construction.

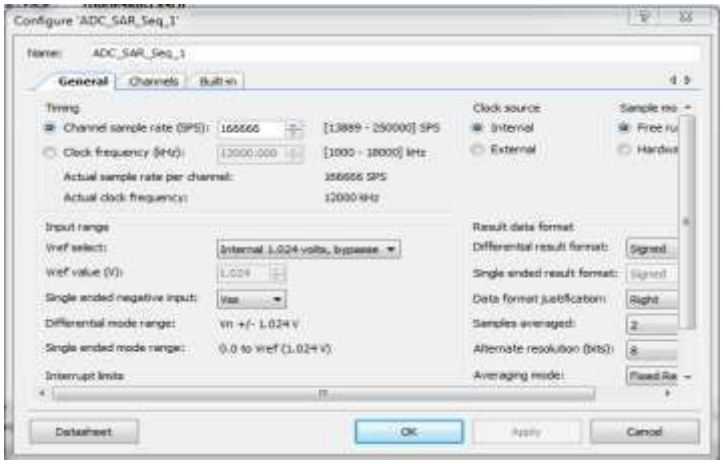


Figure III. 9. *La fenêtre de configuration de l'ADC.*

Le bouton en bas à gauche: "Datasheet" (figure III.9)permet d'afficher une fiche technique très bien écrite décrivant les aspects techniques du composant utilisé.

La dernière chose à faire avant de pouvoir écrire du code est d'attribuer (assigner) les broches logiques aux broches physiques du microcontrôleur (à partir du fichier .cydwr trouvé dans l'explorateur d'espace de travail).

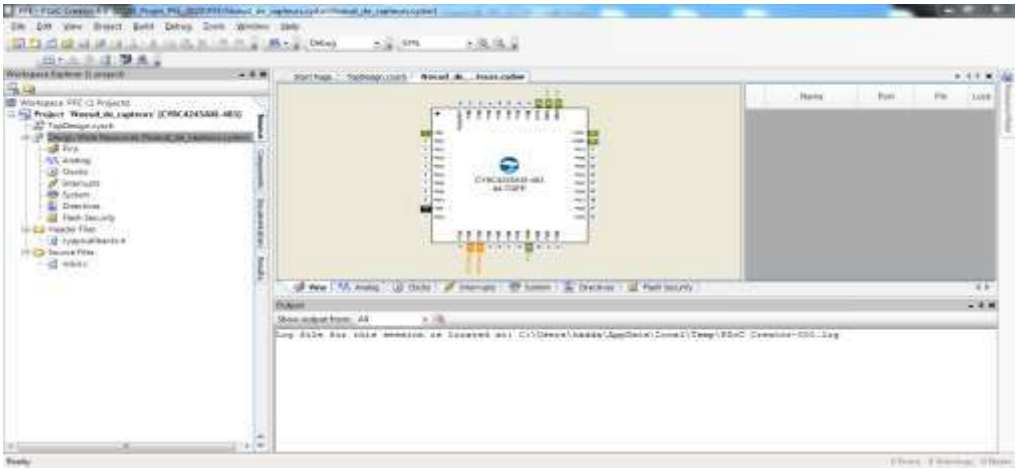


Figure III.10. *Fenêtre du fichier .cydwr.*

d. Le code :

Enfin nous pouvons accéder à l'écriture du code (dans le fichier .c trouvé aussi dans l'explorateur d'espace de travail).

6. Programmation des kits utilisés

Leur programmation se déroule de deux manières selon le type du kit :

✓ **Le CY8CKIT_042_PSoC4_Pioneer_Kit**

Sa programmation s'effectue aussi en deux modes :

- *Utilisation du programmateur PSoC5LP embarqué :*

On brancher le câble USB dans le connecteur USB de programmation J10 comme illustré dans la figure III.11, le kit sera énumérer comme un périphérique composite.



Figure III.11. *Connexion de câble USB au J10.*

Et le chargement du programme par la suit s'effectue par la commande ***Program*** du menu ***Debug*** :

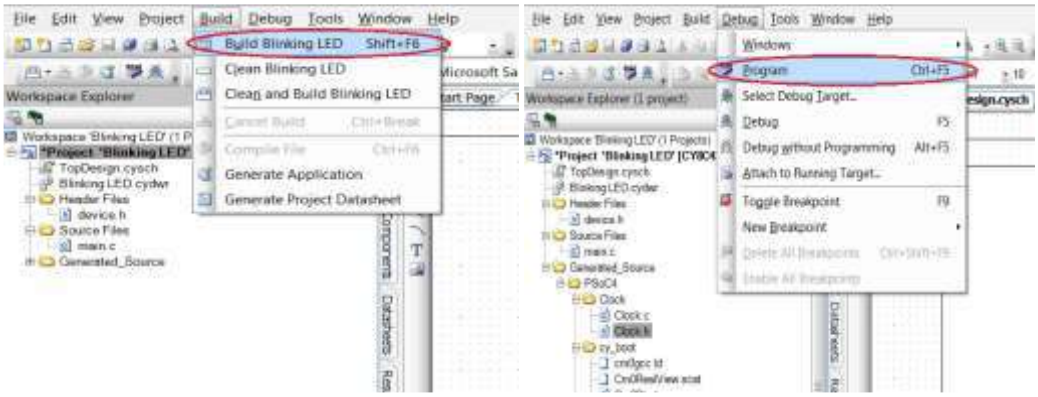


Figure III.12.*Les étapes de chargement du programme dans la carte.*

- *utilisation du programmateur MiniProg3 :*

Ou bien par le bais d'un programmateur spécial du constructeur comme le cas avec MiniProg3 à travers une interface dédiée de type JTAG :

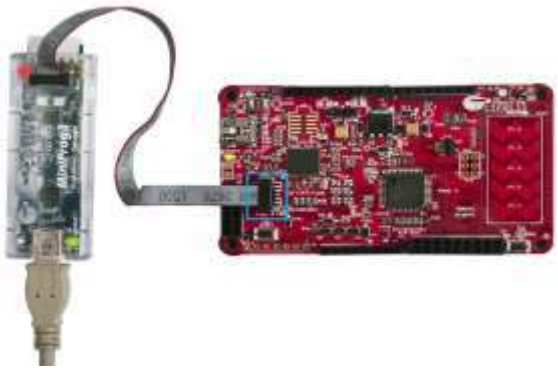


Figure III.13.*La programmation par MiniProg3.*

✓ **Les cartes CY8CKIT-49-4xxx :**

Dans le cas de ces kits la programmation s'effectue aussi de deux manières :

- Une programmation via une interface série par un programme Bootloader (chargeur de démarrage) inclus dans le projet d'application.
- Ou bien par utilisation du programmateur MiniProg3.

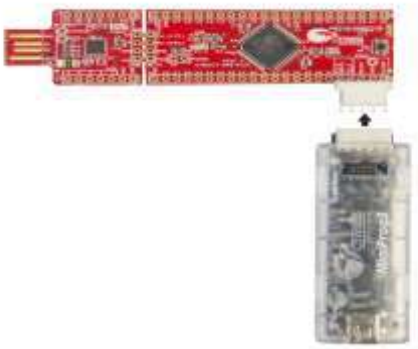


Figure III.14.*La programmation par MiniProg3.*

➢ ***Le Mode Bootloader et l'application Bootloadable***

Le Bootloader est un petit programme qui réside dans le microcontrôleur et qui communique avec le PC au travers d'une interface série. Il reçoit du PC le programme d'utilisateur et l'écrit dans la mémoire flash du microcontrôleur, quand il est chargé le programme est automatiquement exécuté.

Au début La carte de prototypage CY8CKIT_049_4xxx est préprogrammée avec un simple programme pour faire clignoter lentement la LED bleu intégrée. Le Bootloader est activé lorsque nous branchons le kit tout en appuyant sur le bouton SW1.Nous pouvons observer l'état de la carte en notant la vitesse à laquelle la LED bleu clignote (un clignotement rapidement indique que le mode Bootloader est actif). Ceci est obtenu grâce au programme de chargement de démarrage qui lit l'état du bouton SW1 lors de la mise sous tension.

Si ce bouton n'est pas enfoncé, le chargeur de démarrage saute au code d'application de l'utilisateur qui existe déjà en mémoire du kit. Si le bouton est enfoncé,

le chargeur de démarrage attend qu'une nouvelle application soit transférée, pendant sa durée d'attente, il fait clignoter la LED bleu intégrée avec une cadence rapide.

Cette méthode d'activation du mode Bootloader peut prendre du temps et nous oblige à retirer le kit du PC à chaque fois que nous apportant une modification sur l'application.

Dans notre projet, nous avons introduit un simple et un petit programme basé sur le module Timer qui sert à activer le mode Bootloader à n'importe quel moment tout en appuyant sur le bouton SW1 pendant 2s sans faire débrancher le kit. Cette démarche est présentée dans ce qui suit :

Projet PSoC Creator 4.3 (Reset_boot_loader): afin de réaliser cette procédure nous avons besoin d'un ensemble de modules et de certaines configurations :

- **Timer:** La fonction principale du bloc Timer/Counter est de générer une temporisation de 2s.

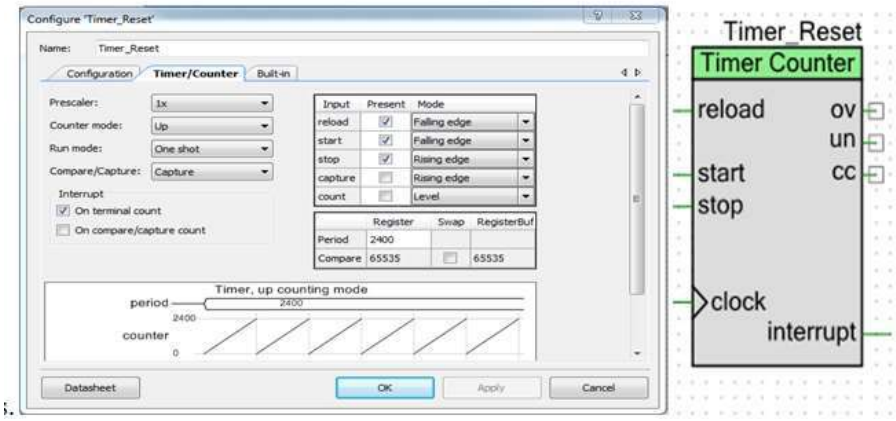


Figure III.15.*Le module Timer et sa configuration.*

- **Pin digitale input :** elle serve pour la lecture de l'état du bouton SW1 qui est intégré au kit présenté par un pin relié à la ligne 7 du port 0 (P0 [7]).
- **Un module clock :** une horloge configurée à 12kHz.
- **Un composanteintérruption :** une composante d'interruption pour prendre en tache le débordement du Timer.

- **Une composante Bootloadable:**qui indique à l'application qu'il s'agit d'un programme rechargeable au démarrage ainsi que les chemins des fichiers associés.

Le paramétrage de cette composante s'effectue en cliquons sur l'onglet Dependancies dans la fenêtre de configuration, ensuite il faut sélectionner les fichiers du programme Uart Bootloader et l'inclure au projet en cours.

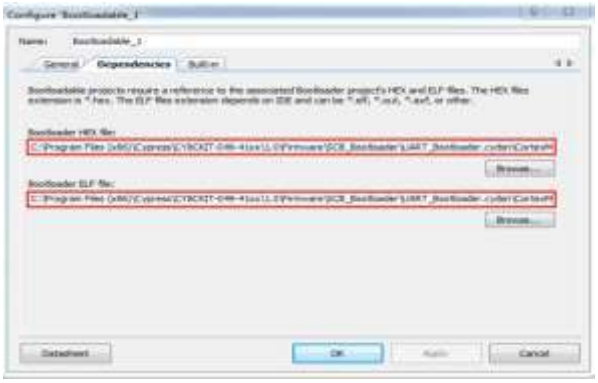


Figure III.16.*Paramètres de téléchargements.*

La figure suivante présente le schéma bloc de la partie Reset_boot_loader implémentée sur les nœuds End_device :

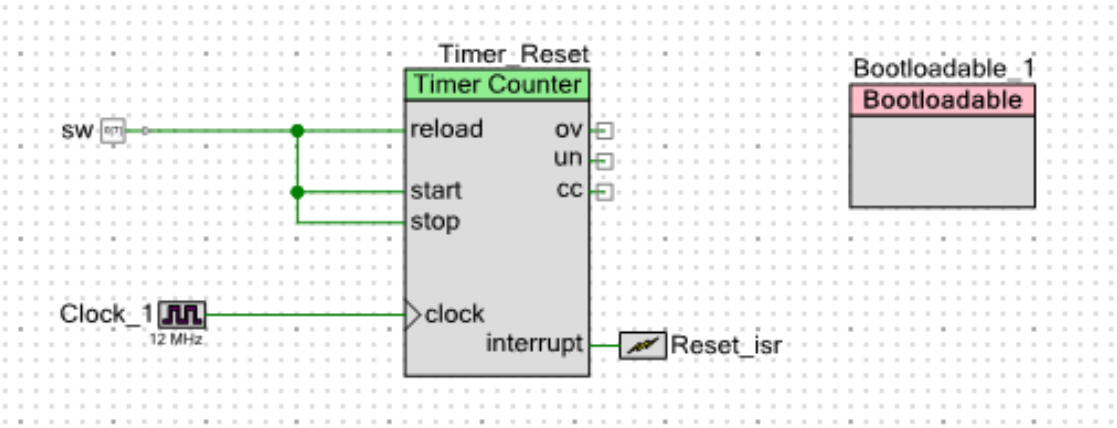


Figure III.17. *Schéma blocs de projet Reset_boot_loader.*

En fin, il faut ajouter au fichier main (programme principale) une partie du code qui est illustrée par l'organigramme de la figure III.18.

Au départ et après initialisation du module Timer, on doit activer l'interruption du débordement du Timer, par la suite une boucle scrute l'état logique de la ligne P0(7) associé au bouton poussoir SW1. Si ce dernier est activé le programme mis en marche le Timer qui commence à décompter. Lorsque le temps d'enfoncement du bouton SW1 atteint 2 s le Timer déborde et génère une interruption qui est pris en charge par un sous-programme de traitement dont l'organigramme est présenté sur la figure III.19

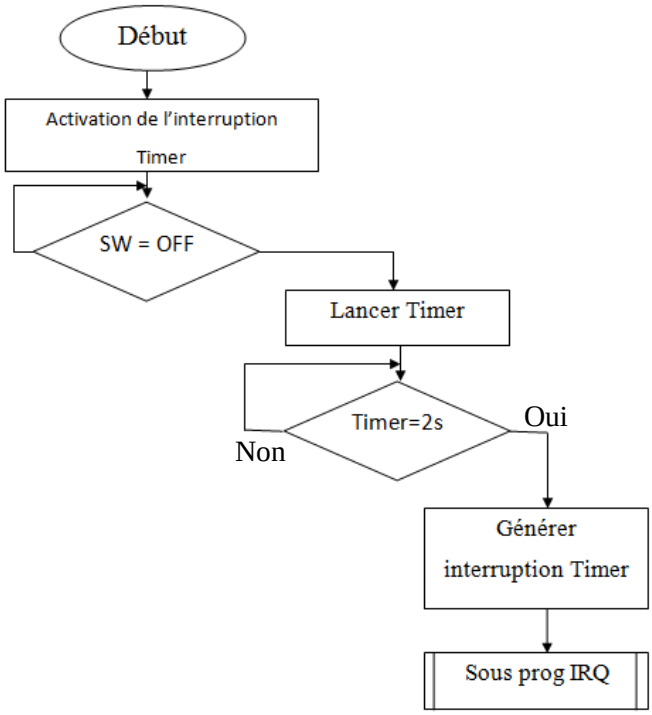


Figure III.18.*Organigramme du programme principal.*

La figure suivante présente l'organigramme du sous-programme d'interruption :

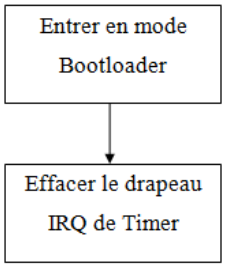


Figure III.19. *Organigramme du sous-programme.*

Le sous-programme à une tache très simple, au début lorsque l'application entre en interruption, il commençant par l'activation du programme Bootloader et par la suite il efface le drapeau IRQ du Timer afin de prendre en considération une nouvelle interruption.

Lorsque le programme Bootloader s'exécute le kit se met en attente du nouveau programme à télé verser vers le kit. Ceci est obtenu par la compilation du projet en cours et l'exécution de l'utilitaire *Bootloader Host* en sélectionnant *Tools> Bootloader Host* dans le menu PSoC Creator. En doit par la suite spécifier le port COM et effectuer la configuration de port.



Figure III.20. *L'utilitaire Bootloader Host.*

En fin on doit sélectionner le fichier ***.cyacd*** du projet en cours.

7. Implémentation du nœud End_Device :

Le développement du nœud End_Device sous l'IDE PSoC Creator 4.3 nécessite les éléments suivant :

- ✓ Des capteurs, selon les besoin et l'application. Dans notre projet nous avons utilisé deux capteurs : le capteur de températureLM35 avec l'accéléromètre MMA 7361.

✓ Un bloc ADC (convertisseur Analogique / Numérique) : il sert à convertir les valeurs des capteurs utilisées. Nous l'avons configuré a :

- Donc on a besoin de 4 canaux d'entrées du multiplexeur, une pour le capteur de température et les trois autres pour les trois axes de l'accéléromètre.
- On doit configurer $V_{réf}$= V_{DDA} c'est-à-dire 5 V.
- On choisit la résolution de l'ADC voulue.

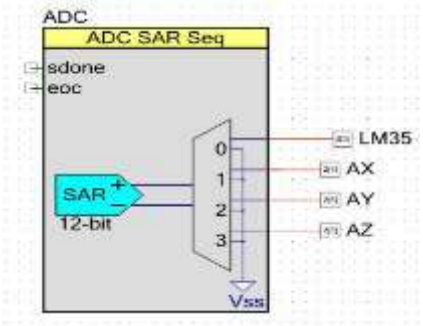


Figure III. 21. *Bloc ADC.*

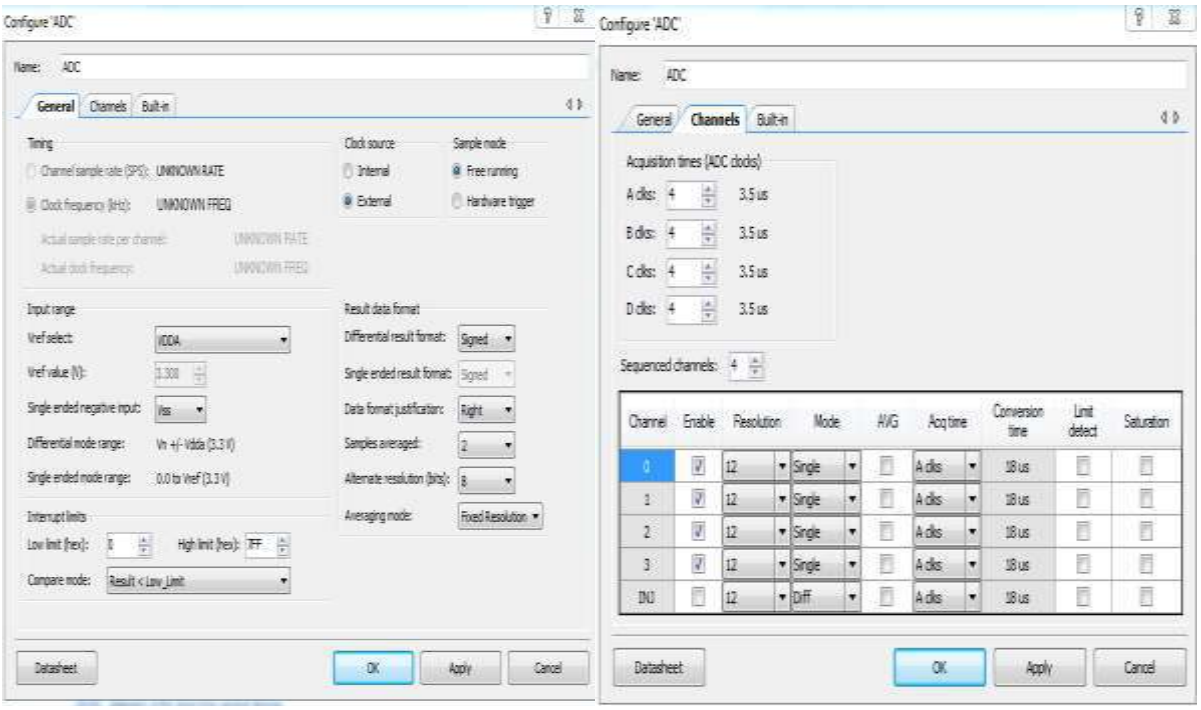


Figure III. 22. *Configuration du Bloc ADC.*

✓ Un module nRF24L01+ : pour la transmission sans fil des données des deux capteurs. Nous avons également ajouté deux pins de sortie numérique pour le pin SS et CE et ainsi que le pin d'interruption du module.

✓ Un module SPI : relie au module nRF24L01+.

✓ Un module Bootloadable : pour le chargement du programme dans la carte en mode Bootloader.

La figure suivante présente le top design du nœud End_device :

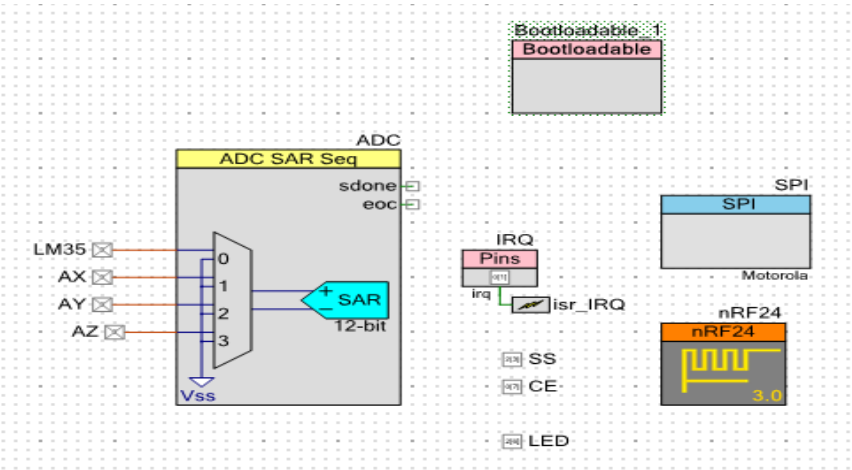


Figure III.23. *Structure du nœud End_device.*

8. Implémentation des nœuds puits (sink) :

Le développement du nœud sink aussi sous l'IDE PSoC Creator 4.3 nécessite l'utilisation des modules suivants :

✓ Les deux Modules: nRF24L01+ et SPI avec le pin d'interruption IRQ (même procédure que le nœud End_Device sauf que le module RF ici doit être configurée en récepteur alors que dans l'End_Device il doit être émetteur).

✓ Un afficheur LCD : afin d'afficher les valeurs des capteurs transférées d'un nœud à l'autre.

✓ Un module UART : pour le partage des données avec le PC.

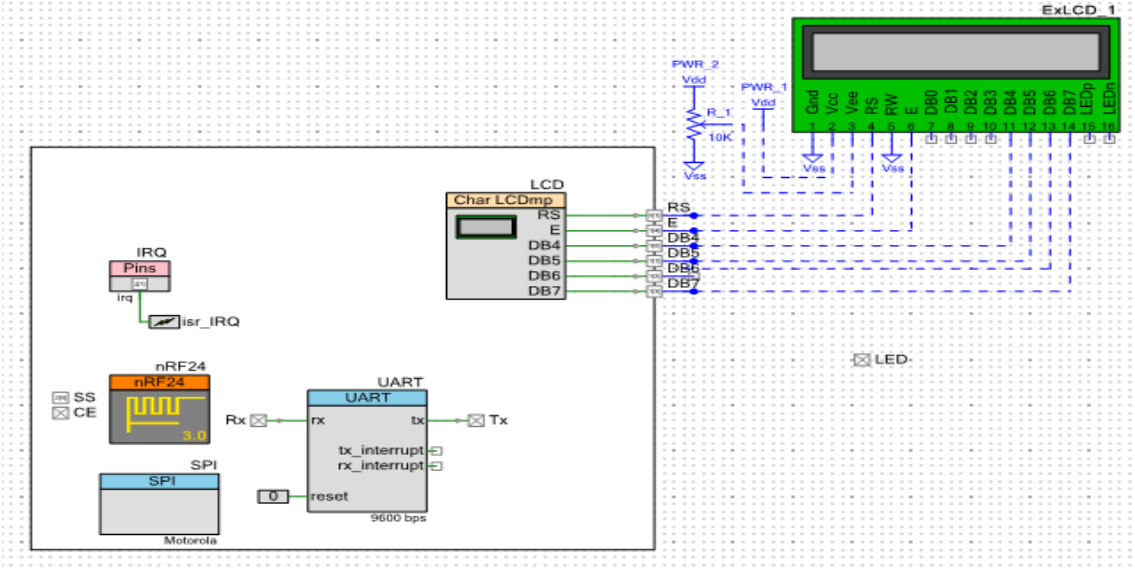


Figure III.24. *Structure du nœud Sink.*

9. Description de la partie d'émission :

Au départ, et après l'initialisation des variables, des constantes et des modules SPI, ADC, on doit tester l'état du module nRF24L01+. Si se dernier est en mode de transmission, on doit effectuer la conversion numérique des deux capteurs (Ax, Ay, Az et LM35). On calcule donc les valeurs d'accélération et de température. Et enfin la transmission des données s'effectue.

Le système entre en temporisation de 10 ms à fin d'envoie des données et aussi quand le module RF est n'est pas en mode de transmission.

L'organigramme du nœud End_device est présenté sur la figure suivante :

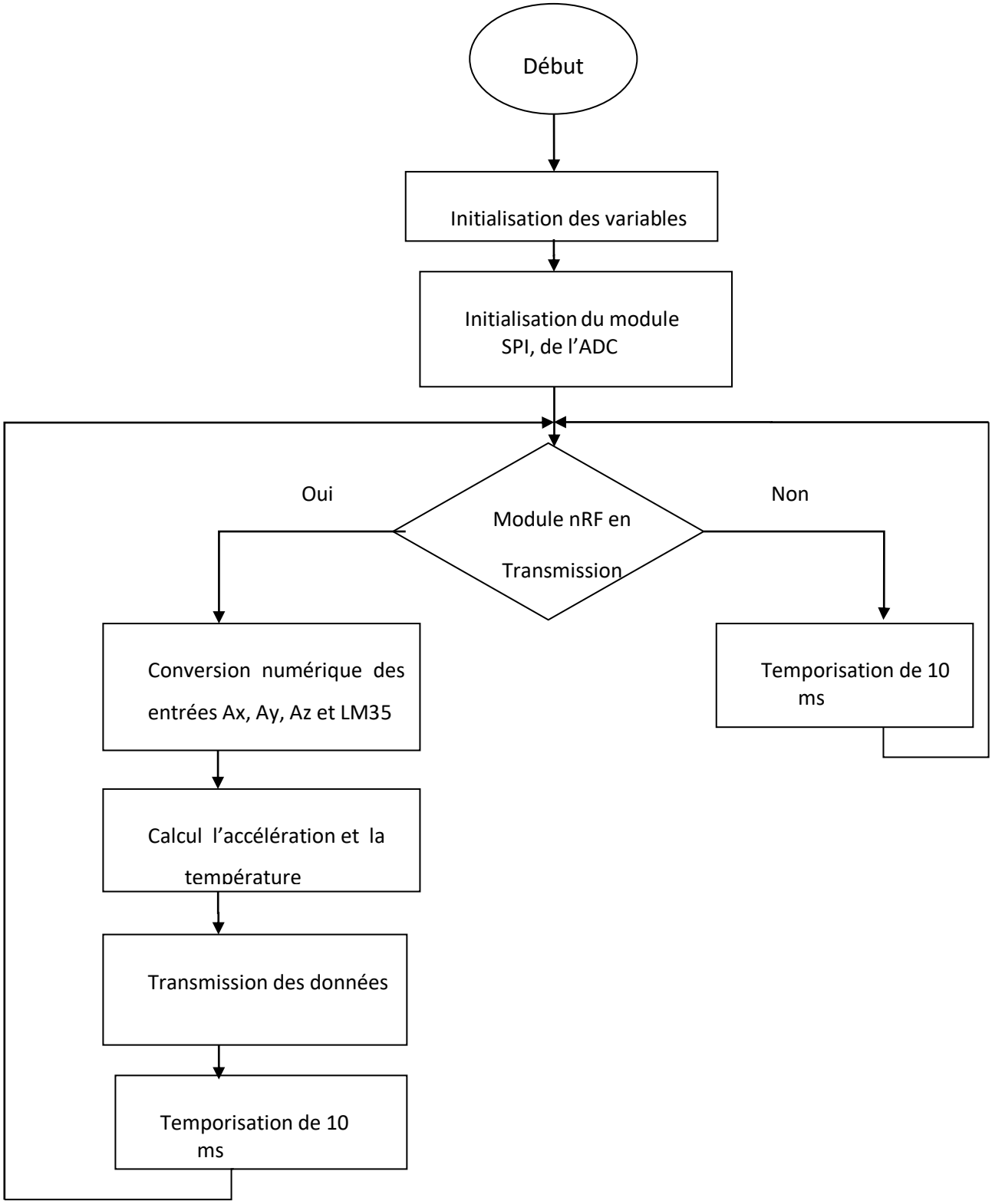


Figure III.25. *Organigramme d'END DEVICE.*

La figure suivant représente le teste pratique de notre travail concernant le nœud END_DEVICE :

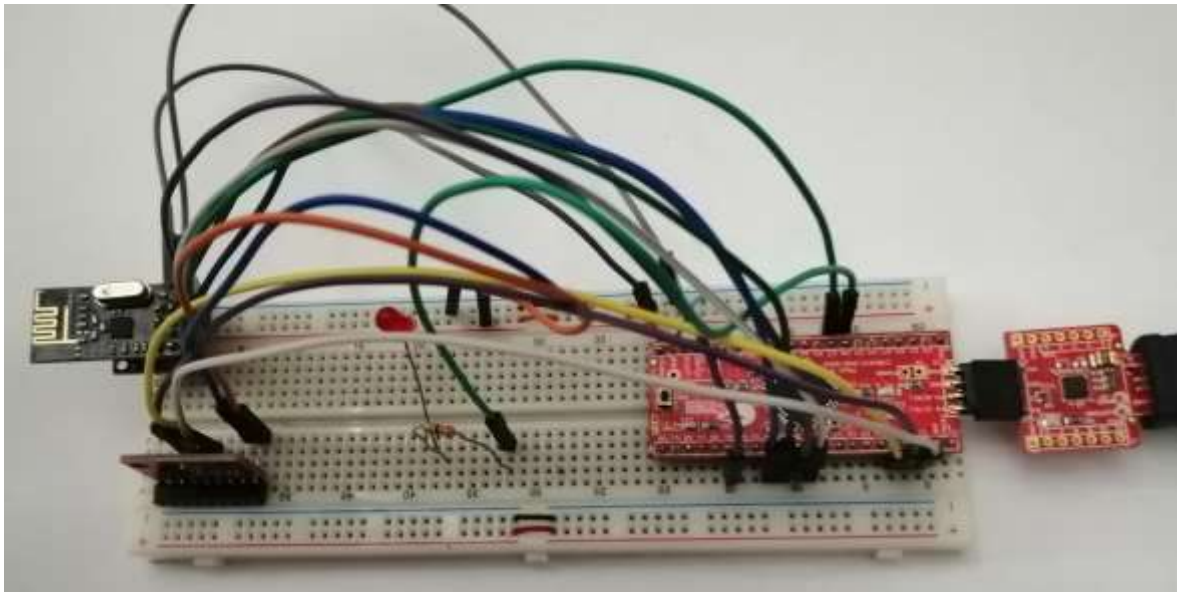


Figure III.26. *Réalisation pratique de nœud END DEVICE.*

10. Description de la partie réception :

Au départ, et après l'initialisation aussi des variables, constantes et des modules SPI, ADC, l'UART et du module LCD, on doit tester l'état du module nRF24L01+. Si se dernier est en mode de réception, on sauvegarde les données et puis l'affiche sur l'LCD et l'envoie vers le PC.

Le système entre en temporisation de 10 ms à fin de la réception des données et aussi quand le module RF est n'est pas en mode de réception.

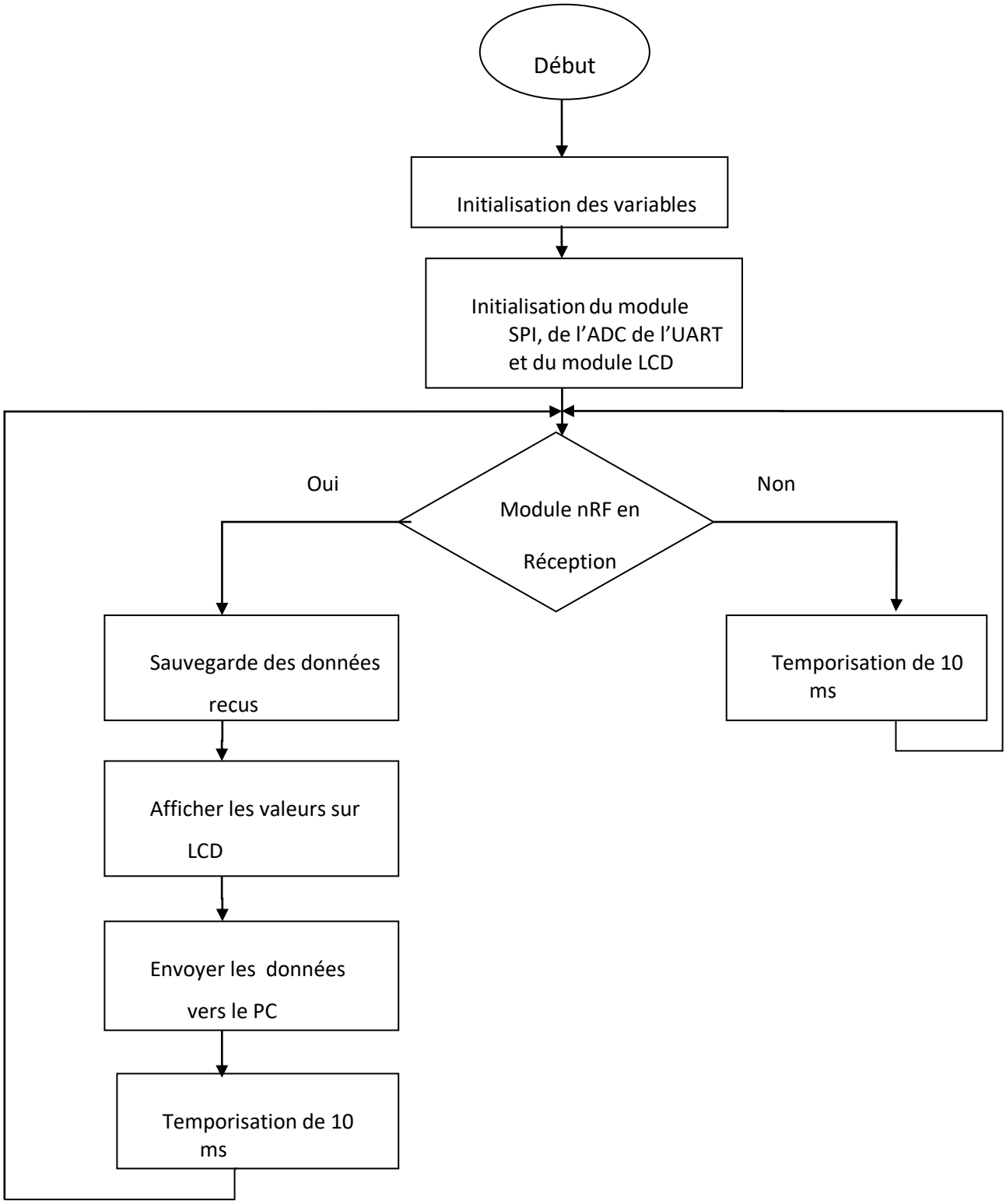


Figure III.27. *Organigramme de nœud Sink.*

La figure suivant représente le teste pratique de notre travail concernant le nœud sink :

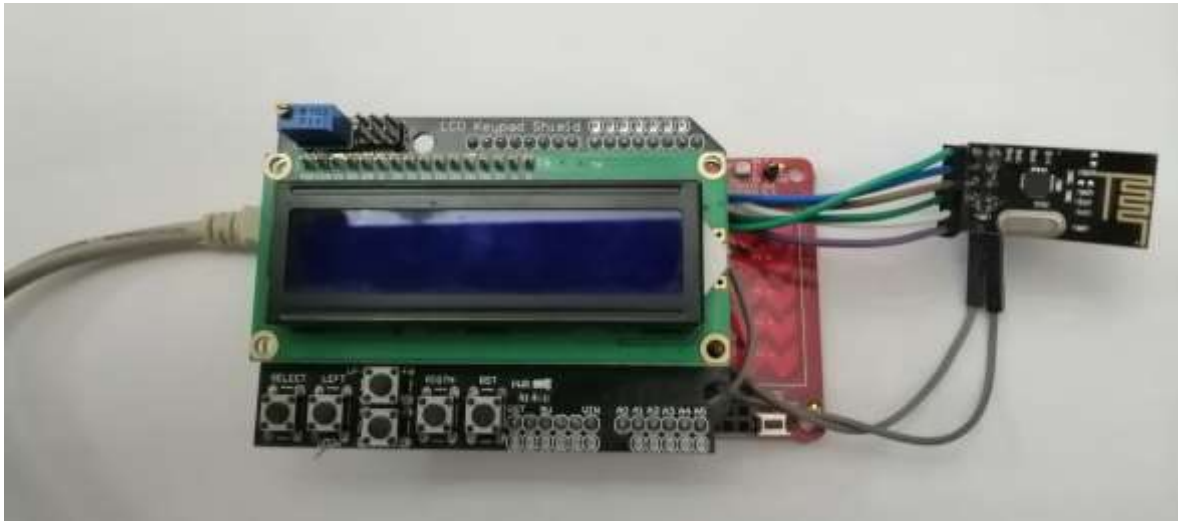


Figure III.28. *Réalisation pratique de nœud sink.*

11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait l'implémentation d'un nœud sink et d'un nœud de capteurs sans fil « End _Device», à base d'un module RF de type nRF24L01+ et une puce PSoC4. Cette implémentation nous a permis l'acquisition des deux grandeurs qui sont l'accélération et la température.

Conclusion générale.

Conclusion générale

Dans ce projet nous avons réalisé des nœuds de capteurs sans fil à base de microcontrôleurs de la famille PSoC4 associés au transmetteur nRF24L01+ et quelques capteurs,…

La présence d'une interface SPI configurable sur la plateforme PSoC simplifie largement la tache de programmation concernant la liaison entre l'nRF24L01+ et le PSoC4.

Lors des séances d'étude et de 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 toucher des domaines différents. Nous avons beaucoup appris sur la programmation sur puce, qui présente une grande évolution dans le domaine d'électronique et des systèmes embarqués.

Bibliographie

[1] Said HARCHI, *Un protocole session dans les réseaux de capteurs sans fils*, Thèse de Doctorat en Automatique, Traitement du Signal et des Images, de l'université de Lorraine,06/12/2013.

[2] Georges Asch et coll. *Les capteurs en instrumentation industrielle*, Edition Dunod.(2010)

[3] Benhabib Imane et AbouraWissam, *Etude et caractérisation de la couche physique du standard IEEE802.16/WIMAX*, 2012.

[4] Dilmi Ahlem et Dahal Hamza, *Étude et implémentation d'une plateforme de communication ZigBee a base d'un microcontrôleur ATmega***,** mémoire de Master, Université Yahia Farés de Médéa, 2015.

[5]S. Sudevalayam, P. Kulkarn, "*Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications*", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 13, No. 3, pp. 443-461, September 2011.

[6] J. P. Lynch, A. Sundararajan, K. H. Law, A. S. Kiremidjian, E. Carryer, "*Embedding damage detection algorithms in a wireless sensing unit for operational power efficiency*", Smart Materials and Structures, Vol. 13, No. 4, pp. 800-810, April 2004.

[7] H. Qi, Y. Xu, X. Wang, "*Mobile-agent-based collaborative signal and information processing in sensor networks*", Proceedings of the IEEE, Vol. 91, No. 8, pp. 1172-1183, August 2003.

[8] Ben L. Titzer ET J. Palsberg, "*Nonintrusive Precision Instrumentation of Microcontroller Software*", ACM, New York, NY, ETATS-UNIS, Vol. 40, No. 7, pp. 59-68, July 2005.

[9] I. Vasilescu, K. Kotay, D. Rus, M. Dunbabin, P. Corke, "*Data collection, storage, and retrieval with an underwater sensor network*", In Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems, ACM, pp. 154-165, November 2005.

[10]Bounegta Nadia, " *Approche distribuée pour la sécurité d'un réseau de capteurs sans fils (RCSF)* ", Mémoire d'Ingéniorat en Informatique et Télécommunications, université de Bechar, 2010.

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

[12] C. Castelluccia et A.Francillon, *Protéger les réseaux de capteurs sans fil*, SSTIC2008, Juin 2008]

[13] LabraouI Nabila, *La sécurité dans les réseaux sans fil ad hoc*, thèse doctorat en Informatique de l'université de Tlemcen, 2012.

[14] Benazzouz Mohamed, *Surveillance de tout point d'une zone d'intérêt à l'aide d'un réseau de capteur multimédia sans fil*, Mémoire de Magistère de Ecole nationale supérieur d'informatique Oued-Smar Alger, 2013.

[15] Boudra hasna, *Un prototype de système de télésurveillance médicale basé sur les capteurs et les réseaux de capteurs sans fil*, Université du Québec à Montréal, 2014.

[16]Débuter avec les cartes Cypress PSoC et l'EDI PSoC Creator

https://f-leb.developpez.com/tutoriels/psoc4-psoc-creator/debute

[17]Reynier Louis– Lycée Cabanis – Brive – PSOC niveau 0 – Avril 2012

[18]Bendali Braham Hocine et Esselimani M.houssem, *Etude et réalisation d'un nœud de capteur WBAN*, Mémoire de Master, Université Yahia Farés de Médéa, 2016

[19] Fergani nesrine, *Développement d'un système de transmission RF sécurisé de moyenne portée*, Université Yahia Farés de Médéa, 2011

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

[21]Module sans fil nRF24L01+PA-LNA 2.4Ghz et interface avec Arduino

https://static.cinay.xyz/2019/07/Module-sans-fil-nRF24L01-et-interface-avec-Arduino.html#brochage-du-module-d%C3%A9metteur-r%C3%A9cepteur-nrf24l01

[22]https://boutique.semageek.com/fr/544-module-nrf24l01-24ghz-rf.html.

[23]https://plaisirarduino.fr/afficheur-lcd-comment-lexploite.

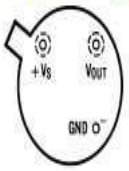
[24]Modules Afficheurs LCD Alphanumériqueshttp://genelaix.free.fr/IMG/pdf/afficheur_lcd_ppt.pdf

ANNEXES

Diagrammes de connexion de LM35:

Connection Diagrams

TO-46
Metal Can Package*

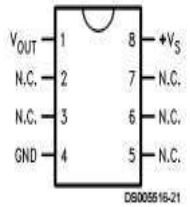


BOTTOM VIEW
DS005516-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

SO-8
Small Outline Molded Package



DS005516-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM

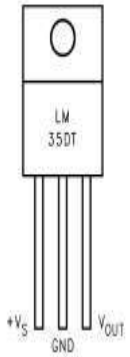
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW
DS005516-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ

TO-220
Plastic Package*



Connexion des pins de capteur MMA7361 :

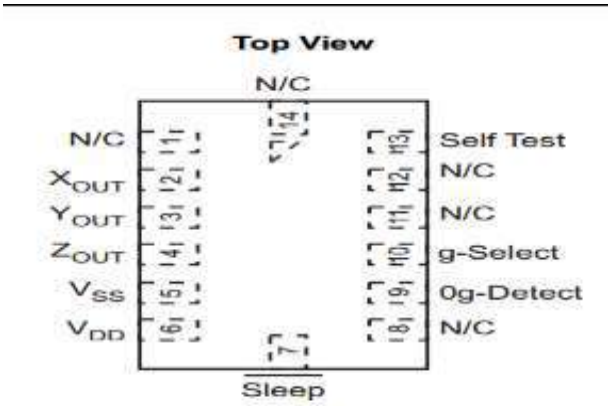
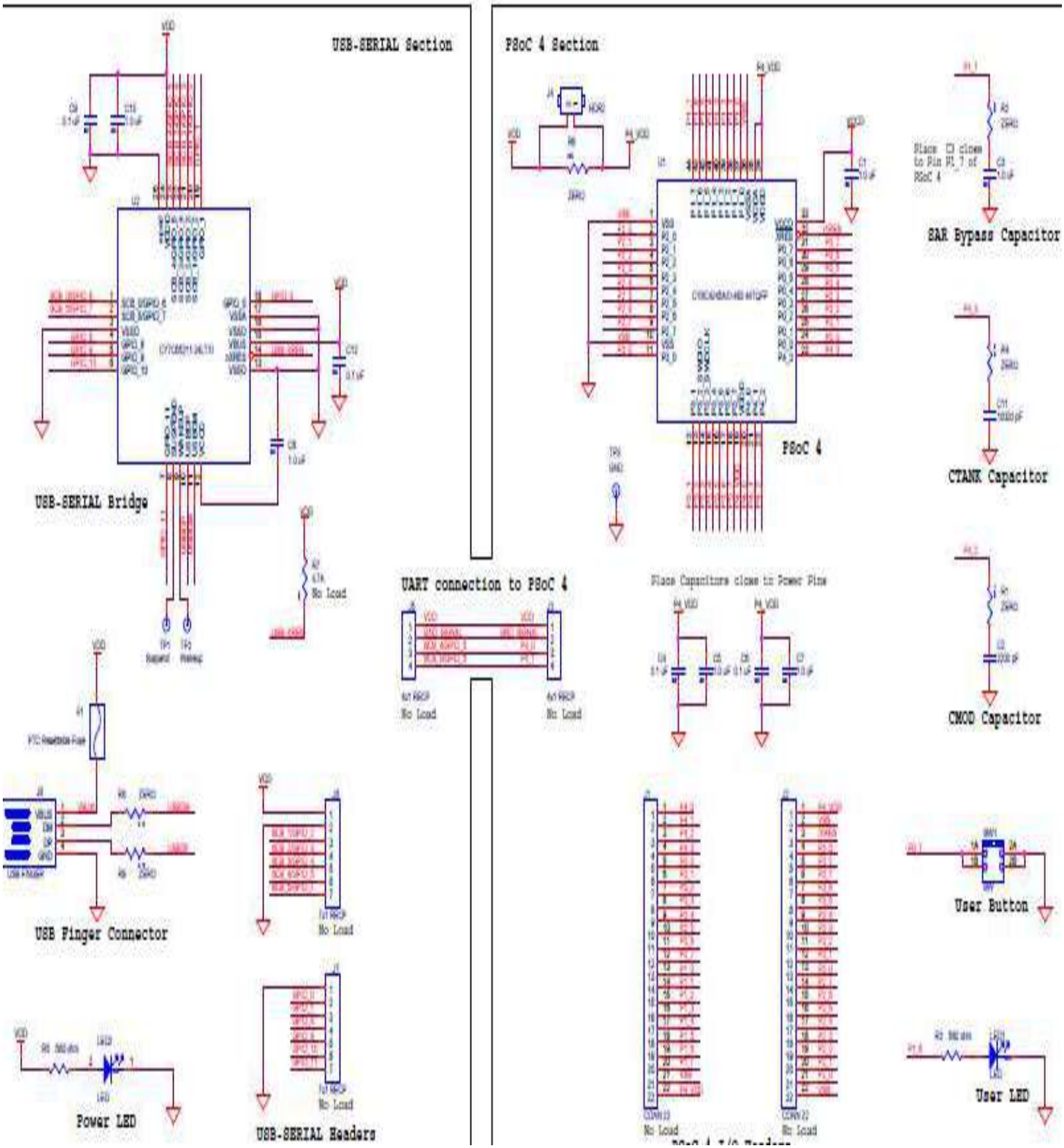


Figure 1. Pin Connections

Schéma électrique des kits CY8CKIT-049-4xxx :



Brochage des kits CY8CKIT-049-4xxx :

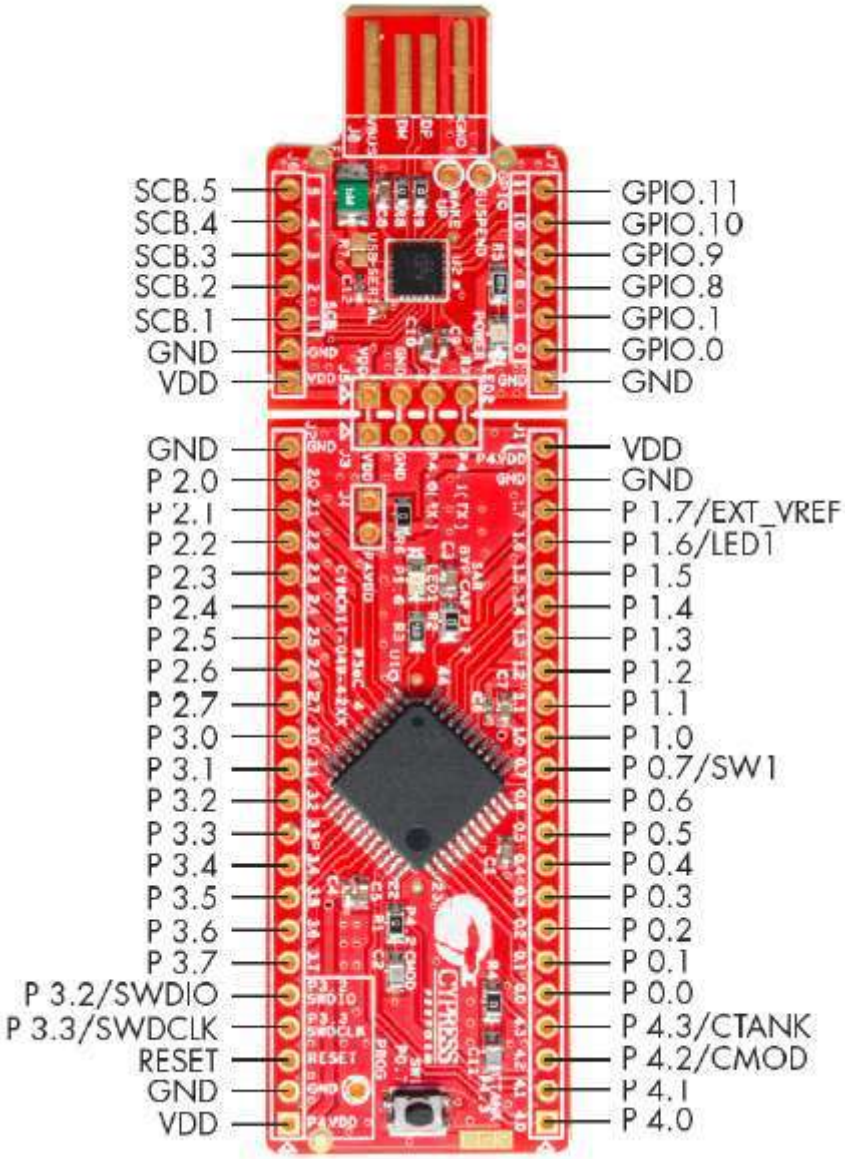
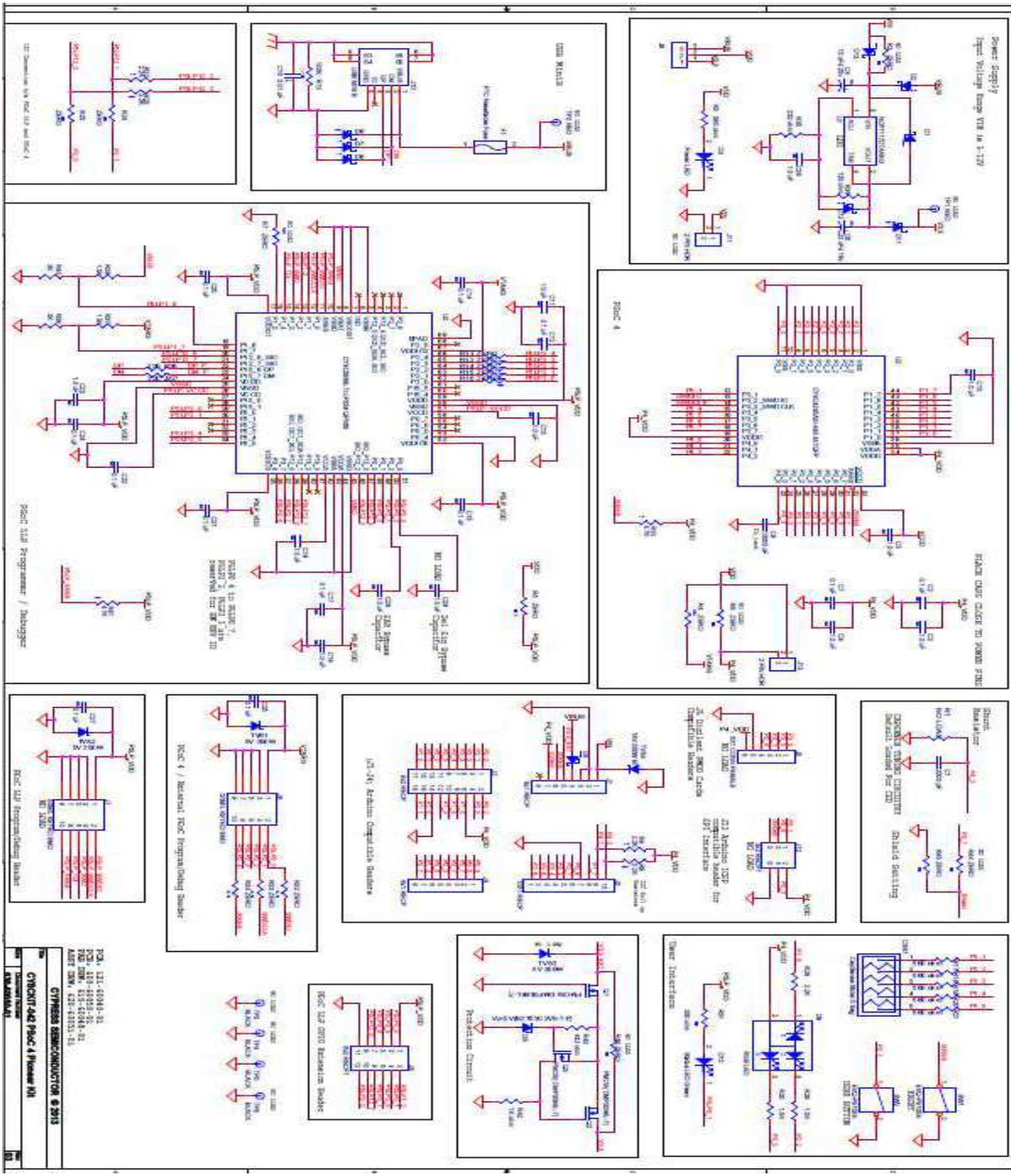


Schéma électrique du kitCY8CKIT-042-PsoC4-Pioneer :



Brochage du kitCY8CKIT-042-PsoC4-Pioneer:

