



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

RACHIDI Fatima Ezzahra

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

**Agriculture intelligente :
Configuration et test d'un système intelligent
basé sur des capteurs pour l'acquisition de
données agroenvironnementales**

Encadré par :

Pr EL AMRANI EL IDRISSEI Najiba

Soutenu le 25 Juin 2014, devant le jury composé de :

Pr EL AMRANI EL IDRISSEI Najiba: Encadrant

Pr Nor-Said ECHATOUI : Examineur

Pr Abdellah MECHAQRANE : Examineur

Remerciement

« A cœur vaillant, rien d'impossible » Il suffit de se présenter courageux, attentif et gaie et toutes les portes de la vie vous seront ouvertes, C'est une clef précieuse indispensable pour une réussite fascinante dans notre vie professionnelle et voire même privée.

La réussite d'un tel projet proprement dite vient d'un effort incontournable de part de toute une équipe de travail, un encadrement et un centre d'intérêt qui est le stagiaire, Dans l'impossibilité de citer nommément ces personnes, j'adresse mes remerciements les plus distingués à :

Mme EL AMRANI ELIDRISSI Najiba : Mon Encadrant Pour le temps qu'il m'a consacré, Pour sa compréhension et pour les idées et les remarques qu'il m'a présentées pour l'élaboration et le cheminement de ce rapport.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont concouru à rendre ce passage en laboratoire de recherche agréable.

Résumé

Depuis dix ans, les recherches sur la technologie du réseau de capteurs sans fil se succèdent sans pour autant proposer un système fiable répondant à toutes les contraintes subies. Un des intérêts de cette technologie est, de proposer une solution de supervision et de contrôle à distance d'infrastructures agricoles par exemple. Cela permet à un utilisateur de minimiser son temps de déplacement et de gestion pour se consacrer à une autre activité.

Mon travail a consisté à contribuer à l'avancée de cette technologie qui est encore dans le domaine de la recherche. Afin de permettre l'addition de tout type de cartes, qui constituent le noeud, j'ai configuré une carte embarquée Fluctus pour l'acquisition les données issues du capteur de température et humidité AM2315, à l'aide du logiciel licencié IAR Embedded Workbench. Cette carte a pour but de réaliser une mesure rapide et elle doit pouvoir intégrer les nœuds.

Aujourd'hui, la carte de mesure effectue correctement son rôle, le protocole de communication fonctionne mais plusieurs cartes ne peuvent pas encore communiquer ensemble. Des corrections sont à apporter pour que cette communication fonctionne et le protocole peut être amélioré pour qu'il gère au mieux le processeur lorsqu'il se met au repos.

Mots clefs : réseau de capteurs sans fil, agriculture, irrigation intelligente, protocole de communication, langage C, carte de mesure.

Abstract

During the last ten years, many researches in wireless sensor network technology have been led; however, no reliable developed system satisfies all of the met constraints. This technology aims at the development of a more scalable system. For example, one of the interests of this technology is to offer a remote supervision and control solution for agricultural infrastructures. This allows user to minimize his time of movement and control in order to another activity. My work contributed to the development of this technology, which is still a research area. To allow the addition of different kinds of electronic cards, forming a wireless sensor, I configured a embedded board Fluctus to acquire data received from the humidity ant temperature sensor AM2315 with the licensed software IAR Embedded Workbench.. This card aims to realize a quick acquisition and must be able to be integrated with the sensors designed

Nowadays, the acquisition card performs correctly its function, the communication protocol operates but several cards can not yet communicate together. Corrections must be realised in order to achieve correct communication and, the protocol can be improved to control the processor when it enters sleep mode.

Key words: wireless sensor network, agriculture, Smart irrigation, communication protocol, C programming language, acquisition card.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	
Résumé/Abstract	
Table des matières	
Table des figures	
Liste des tableaux	
Partie 1 :	
Chapitre 1 : Une irrigation intelligente face à la crise mondiale de l'eau ?!	
Section 1 : La crise mondiale de l'eau.....	14
I.1- Vue d'ensemble sur la crise mondiale de l'eau.....	14
I.1.1La crise mondiale de l'eau en chiffres.....	15
I.1.2Les principales causes :.....	16
I.2-Comment faire face à la crise mondiale de l'eau.....	18
I.2.1 Solutions liées à l'utilisation quotidienne des ménages	19
I.2.2Solutions liées aux techniques d'arrosage et d'irrigation	22
Section 2 : L'irrigation intelligente (de précision) : la solution type.....	24
I.3- C'est quoi l'irrigation de précision ?.....	25
I.3.1 Les types d'irrigation :.....	25
I.3.2 L'irrigation de précision : cela consiste à quoi exactement ?.....	26
I.4-L'irrigation intelligente : avantages, inconvénients, et obstacles.....	27
I.4.1 Avantages et inconvénients.....	27
I.4.2 Les obstacles à surmonter.....	28
Chapitre 2 : Réseau de capteurs sans fils.....	
Section 1 : c'est quoi un réseau des capteurs sans fil ?.....	30
II.1-Présentation générale.....	30
II.1.1 Définitions.....	31
II.1.2 Types et domaines d'application.....	32
II.2-Caractéristiques et limites des RCSF.....	33
II.2.1 Caractéristiques	33
II.2.2 Limites	36
Section 2 : Architecture et fonctionnement d'un réseau des capteurs sans fil	37
II.3-Architecture :.....	37

II.3.1 Architecture de capteur sans fils	38
II.3.2 Architecture de communication dans les réseaux de capteurs	39
II.4 -Fonctionnement :	43
II.4.1 Topologies des réseaux de capteurs	43
II.4.2 Technologies des réseaux sans fil utilisés	45
II.4.3 Agrégation de données dans les réseaux de capteurs	48
Partie 2 :	
Chapitre 3 : Présentation du HARDWARE et du SOFTWARE	
Section 1 : Présentation du HARDWARE	51
III.1 Aperçue général	51
III.1.1 Qu'est-ce qu'un système de capteurs intelligents Fluctus?	51
III.1.2 Objectifs de Fluctus.....	51
III.1.3 Les application de Fluctus ¹	52
III.2. Présentions du Hardware.....	53
III.2.1. Architecture modulaire	53
III.2.2 Caractéristiques de la carte mère Fluctus	54
III.2.3 Les Input / Output	56
III.2.4. Horloge en temps réel - RTC	57
III.2.5 LEDs	58
III.3. Architecture et Système	58
III.3.1.Concepts.....	58
III.3.2 Le module WiFi.....	59
III.3.3 Le module GPRS/UMTS.....	60
III.3.4 Le module ZigBee.....	61
III.3.5 Le port d'extension.....	
III.3.5 Le capteur choisi AM2315	
Section 2 : Environnement de programmation (Software.....	63
III.4. IAR Embedded Workbench	64
III.4.1 Introduction à l'IAR Embedded Workbench	64
III.4.2. Eléments clés	65

III.4.3 la sûreté de fonctionnement	66
III.5 CooCox CoIDE :	67
III.5.1. Introduction à CooCox CoIDE:	67
III.5.2. Eléments clés :	68
III.5.3 La terminologie spéciale à CooCox CoIDE:	69
III.6. Virtual LCD :	70
Chapitre 4 : Travail effectué	
IV.1 Présentation du projet.....	72
IV.1.1 cahier de charge.....	72
IV.1.2 Méthode de travail :.....	72
IV.2-Organisation de travail	73
IV.2.1 Contraintes liés au projet.....	73
IV.1.5 Premier programme de test	74
IV.2 Programme de Configuration du capteur	75
IV.2.1 Structure globale du programme.....	75
IV.2.2 déroulement du programme.....	75
IV.3 Détails du programme.....	76
IV.3.1 l'entête déclarative :	76
IV.3.2 Configuration initiale	77
IV.3.3 Implémentation du protocole I ² C.....	77
IV.3.4 Le code en C de la configuration initiale	78
IV.3.5 Calcule du CRC	79
IV.3.6Le programme main	80

Table de figures

- Figure 1 : réseau des capteurs sans fil
- Figure 2 : Exemple d'un capteur sans fil
- Figure 3 : Architecture d'un capteur sans fils
- Figure 4 : La pile protocolaire des RCSF
- Figure 5 : Les catégories des réseaux sans fils
- Figure 6 : Réseau de capteurs sans fils sans agrégation
- Figure 7 : La carte mère Flucus
- Figure 8 : La carte mère Flucus et ses modules d'extention 1
- Figure 9 : La carte mère Flucus et ses modules d'extention 2
- Figure 10 : la carte-mère Fluctus et ses modules d'extension 3
- Figure 11 : Module Wifi Redpine RS9110-N-4-24-02
- Figure 12 : module GPRS Telit GC864-QUAD V2
- Figure 13 : module ZigBee 2,4 GHz 802.15.4
- Figure 14 : Connecteur des capteurs
- Figure 15 : Capteur d'humidité et température AM2315
- Figure 16 : IAR Embedded Workbench
- Figure 17: Différent outils de IAR Embedded Workbench
- Figure 18: Différent outils de Coocox CoIDE
- Figure 19 : fenêtre d'accueil de Virtual LCD
- Figure 20: diagramme de Gantt de mon projet
- Figure 21: diagramme de Pert de mon projet
- Figure 22 : fenêtre de virtual LCD
- Figure 23: Les grandes étapes de configuration
- Figure 24: schéma de la configuration initiale
- Figure 25 : Trame de réception d'informations.
- Figure 26: Trame de demande d'informations.
- Figure 27 : organigramme de la commande d'initialisation
- Figure 28 : organigramme de la commande de réception

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de la carte mère Fluctus

Tableau 2 : Caractéristiques du module Wifi Redpine RS9110-N-4-24-02

Tableau 3 : Caractéristiques du module GPRS Telit GC864-QUAD V2

Tableau 4 : Caractéristiques du module UMTS Telit UC864-E

Tableau 5 : Caractéristiques du module ZigBee 2,4 GHz 802.15.4

Introduction générale :

Le besoin d'observer et de contrôler des phénomènes physiques (comme la température, l'humidité, la pression ou encore la luminosité,...) est et il était depuis quelques décennies, essentiel pour de nombreuses applications industrielles, militaires et scientifiques. Et il n'y a pas si longtemps, la seule solution qui était possible pour acheminer les données du capteur jusqu'au contrôleur central, était le câblage qui avait comme principaux défauts d'être coûteux et encombrant.

Mais avec l'essor des technologies sans fil qui offre aujourd'hui de nouvelles perspectives dans le domaine des télécommunications. Et en comparaison avec l'environnement filaire, l'environnement sans fil permet aux utilisateurs une souplesse d'accès et une facilité de manipulation des informations à travers des unités de calcul mobiles (PC portable, PDA...).

Cet essor s'est manifesté principalement par les avancées techniques en terme de performances et de miniaturisation, réalisées dans les microsystèmes électromécaniques (MEMS: microcontrôleur, transceiver RF...) et par la création et le développement d'une nouvelle notion, à savoir celle des réseaux de capteurs sans fil , une technologie qui a permet d'offrir des solutions économiquement intéressantes pour la surveillance à distance et le traitement des données dans les environnements complexes et distribués.

Les applications des réseaux de capteurs sans fil sont nombreuses. Elles comprennent différents domaines allant du militaire à l'environnemental passant par des différents domaines touchants la vie quotidienne des hommes et principalement le domaine agricole. Et c'est dans ce cadre-là, que mon Projet de fin d'étude trouve sa place.

En effet, le courant travail consistait à configurer une carte embarquée Fluctus pour l'acquisition les données issues du capteur de température et humidité AM2315, dans un premier lieu, et par la suite d'utiliser des protocoles de communication (Wifi) pour contribuer à mettre en œuvre l'utilisation de la plate-forme. Le choix d'un tel thème entrain dans le cadre de la future collaboration pour le développement des capteurs optiques envisagée entre le L.S.S.C et CUBIT sous l'encadrement de MOICT.

- L.S.S.C : Le laboratoire Signaux Systèmes et Composants (L.S.S.C) du département génie électrique à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès et qui a constitué le lieu de passage de mon stage de fin de formation ;
- CUBIT : Le laboratoire italien « CUBIT » est un laboratoire présenté sous forme d'une société à responsabilité limitée et qui a été fondée en Avril 2007 comme étant le fruit d'une collaboration entre d'une part, les Départements de génie de l'information, de l'électronique, et des technologies de l'information et des télécommunications de l'Université de Pisa, et d'autre part, d'un certain nombre d'entreprises très innovantes dans tout le pays afin de créer un nouveau modèle de collaboration dans le but d'accélérer le processus de tisser ensemble les différents secteurs des télécommunications. et qui mène actuellement ses activités dans les domaines suivants: Prototypage et l'intégration du système; Conseil et ingénierie; Essais et de certification).
- MOICT : est un projet Européen (Morocco research advance in ICT for water): ce projet financé par la commission européenne a pour ambition de renforcer les capacités co-opérationnelles et techniques de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah de Fès dans le domaine des TICs appliquées à la recherche sur l'eau dans le contexte de l'espace de recherche européen ERA (European Research Area). Il vise également à développer un centre de recherche d'excellence à l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah dans le domaine des TICs pour l'eau.

Et comme étant le projet de fin d'étude proposé consiste à contribuer à la mise en place d'un réseau de capteurs sans fil à utiliser dans le cadre de ce qu'on appelle l'irrigation intelligente ou l'irrigation de précision qui consiste au déploiement de ces réseaux pour superviser des champs agricoles et cela dans le but de la détection des zones sèches afin de bien contrôler le processus d'irrigation, selon le taux d'humidité du sol, j'ai choisi d'aborder le sujet de la manière suivante :

Dans une première partie dédiée dans son premier chapitre à la présentation de la notion d'irrigation intelligente, j'ai essayé de donner une première vue d'ensemble sur la crise

mondiale de l'eau, sa situation actuelle, ses principales causes et les solutions envisagées et à envisager pour faire face à cette crise, avant de passer à une brève présentation de la notion d'irrigation intelligente, ses types, ses avantages, ses inconvénients, et les obstacles rencontrés lors de la mise en place de ce genre de systèmes.

Toujours pour la première partie, j'ai essayé dans le deuxième chapitre de mettre la lumière sur la notion de réseau des capteurs sans fil, ses caractéristiques, ses limites, son architecture et son fonctionnement.

Dans une deuxième partie dédiée dans son premier chapitre à la description du Hardware et du software, j'ai essayé de présenter la carte d'acquisition Fluctus, son architecture modulaire, ses différents modules et le capteur d'humidité et de température AM2315, puis passer à une présentation du logiciel de développement IAR Embedded Workbench ainsi l'interface Virtual LCD

.

Et pour le deuxième chapitre de cette dernière partie, j'ai essayé de présenter mon travail effectué, en détaillant les différentes phases de réalisation. J'achèverai cette étude par une conclusion dressant le bilan du travail réalisé et abordant les perspectives suite à ce projet.

PARTIE 1:

Crise de l'eau, Irrigation intelligente, Réseaux des capteurs sans fil :

Notions et Relations

« Dans cette partie consacrée à la présentation des différentes notions théoriques en relation avec le sujet traité, on va donner dans un premier temps une présentation des notions suivantes : la crise mondiale de l'eau (causes et solutions), l'irrigation intelligente (types, avantages, inconvénients et obstacles), avant de passer dans un deuxième temps à la mise sous loupe de la notion de réseau des capteurs sans fil, ses caractéristiques, ses limites, son architecture et son fonctionnement. »

Chapitre 1 : Une irrigation intelligente face à une crise mondiale de l'eau

Section 1 : La crise mondiale de l'eau

En ce début du XXI^e siècle, la Terre et ses formes de vie diverses et abondantes (notamment ses 6 milliards d'êtres humains), sont confrontées à une grave crise de l'eau. Tous les signes suggèrent que cette crise s'intensifie et que la situation continuera d'empirer tant qu'aucune action corrective ne sera menée.

En effet, l'eau constitue l'élément qui garde le monde en vie, l'importance de l'eau pour la vie humaine n'est plus à démontrer car il est parmi les composants essentiels dans l'équilibre de l'écosystème dans le monde. Cette ressource qui répond aux besoins fondamentaux de l'homme est un élément clé du développement, en particulier pour générer et entretenir la prospérité par le biais de l'agriculture, de la pêche, de la production d'énergie, de l'industrie, des transports et du tourisme. En outre, l'eau est vitale pour tous les écosystèmes du monde.

I.1. Vue d'ensemble sur la crise mondiale de l'eau

A première vue, l'eau semble la ressource la plus abondante sur terre. Mais en réalité, l'eau douce ne représente que 1% de toute l'eau terrestre. Les 99% restants sont indisponibles pour l'utilisation humaine, car on les retrouve sous forme d'eau de mer ou d'eau saumâtre, de neige ou de glace. Alors que les ressources en eau douce ne sont pas extensibles, la demande explose sous l'effet d'une croissance rapide de la population mondiale qui puise dans les réserves de la planète, et d'une augmentation exponentielle de la consommation.¹

Le problème ne se limite pas aux pays en voie de développement. Aux Etats-Unis, pourtant moins densément peuplés, l'offre peine aussi à satisfaire la demande, en raison notamment d'une consommation très élevée liée au mode de vie américain.

¹ Mémoire de fin d'études « La Mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour l'irrigation intelligente, » travail fait par : BOUZIDI Zeyneb et BENAMEUR Amina

Depuis 1900, la population des Etats-Unis a doublé, mais la consommation d'eau par personne a été multipliée par huit, car la technologie et l'amélioration du niveau de vie ont entraîné une multiplication par deux de la consommation d'eau tous les 20 ans.

Aujourd'hui, les Américains utilisent en moyenne 382 litres d'eau par personne et par jour, dépassant de beaucoup le minimum de 78 litres par jour estimé nécessaire pour les besoins vitaux, l'hygiène et la production de nourriture [CE02].

Dans le livre blanc « L'irrigation pour un monde en croissance » publié par Rain et Bird, des options telles que le dessalement, la ré-tarification, le recyclage de l'eau et l'amélioration de l'infrastructure et des systèmes de distribution d'eau requièrent une mobilisation des pouvoirs publics et des organisations internationales.

I.1.1. La crise mondiale de l'eau en chiffres

Entre 1900 et 1995, la consommation mondiale en eau a été multipliée par 6, soit un rythme d'augmentation deux fois plus rapide que celui de la population au cours de la même période.²

D'après une récente analyse¹, la pénurie d'eau dans certaines régions pourrait bien devenir le problème le plus préoccupant du XXI^e siècle après la croissance démographique. A première vue, on pourrait penser que l'accès à l'eau douce est un problème purement socio-économique - certains disposant de ressources hydriques et/ou des moyens de les exploiter et d'autres non. C'est oublier que certaines applications de la science comme les engrais chimiques, divers processus industriels ou encore l'irrigation intensive sont en partie responsables de ce risque imminent de pénurie. Heureusement, il est d'autres applications de la science qui offrent au moins une amorce de solutions.

En effet, l'eau est la première cause de misère, de souffrance, d'inégalité et de pauvreté dans le monde. Chaque jour ce sont 25.000 personnes qui décèdent de maladies liées à l'eau, dont la moitié d'enfants.³

Les maladies hydriques aient causé, en 2004, près de 8 millions de morts, s'imposant ainsi comme la première cause de mortalité dans le monde (dix fois plus de morts que l'ensemble des guerres qui sévissent à travers la planète).

2 . La science pour le XXI^e siècle : Un nouvel engagement, article publié sur le site de l'UNESCO

3 .Camdessus, B.Badré, I.Chéret, P-F.Ténière-Buchot : « Eau », Fayard 2004, page 32

On est en présence d'un double défi: la gestion durable des ressources et l'accès des populations pauvres à l'eau. Le manque d'accès à l'eau potable et à l'assainissement est au cœur du problème. La communauté internationale se mobilise depuis quelques années (Sommet du Millénaire de New York en 2000 et Sommet sur le développement durable de Johannes burg en 2002) autour de cette question et elle l'a notamment mise au cœur de l'un des huit Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD). Dix ans auparavant, l'eau n'avait reçu qu'une faible attention au Sommet de la Terre de Rio, en 1992. La prise de conscience des enjeux du problème est donc assez récente. L'un des « objectifs du millénaire » est de diviser par deux, d'ici à 2015, le nombre de personnes n'ayant pas accès à l'eau potable ou à l'assainissement dans le monde.

Aujourd'hui, plus d'un milliard d'humains ne sont pas ravitaillés en eau potable (plus de 15% de la population mondiale) et 2,6 milliards ne bénéficient pas de systèmes d'assainissement de base (42% de la population mondiale). Or « les chiffres montrent qu'on est loin d'atteindre les Objectifs du millénaire (Loïc Fauchon). Sur l'accès à l'eau potable, des progrès sont à noter, sauf en Afrique. Mais en ce qui concerne l'assainissement, tout reste à faire.

I.1.2. Les principales causes :

Les principales causes d'une telle crise peuvent être résumées en ce qui suit :

- **Une ressource déjà rare :** Plus de 70 % de la surface du globe est recouverte d'eau mais 2,5 % seulement de cette masse est constituée d'eau douce, le reste étant l'eau salée des océans. Et sur cette quantité relativement réduite d'eau douce, 1 % seulement, soit moins de 0,007 % de la masse globale des eaux du monde, est d'un accès facile. C'est l'eau qu'on trouve dans les lacs, rivières, réservoirs et les nappes souterraines assez peu profondes pour que leur exploitation soit rentable. Seules ces réserves sont régulièrement reconstituées par les précipitations et la neige et peuvent donc être considérées comme une ressource renouvelable.
- **Une répartition inégale :** Les régions largement irriguées par de grands fleuves disposent d'importantes réserves en eau même si le niveau peut varier énormément entre saisons sèche et humide. Alors que le bassin de l'Amazonie charrie 16 % de la

- masse des eaux fluviales du globe, les zones arides, qui représentent 40 % des terres émergées, ne disposent que de 2% du total.
- **La sécurité alimentaire** : Plus la population augmente et plus la quantité d'aliments nécessaires pour nourrir la planète s'accroît. Depuis les années 60, les agriculteurs ont recours à l'irrigation intensive pour satisfaire cette demande croissante. L'irrigation représente actuellement 70 % de l'ensemble de la consommation mondiale d'eau douce. Dans les zones arides, l'irrigation absorbe jusqu'à 90 % des ressources en eau disponibles.
- **Le gaspillage** : Dans un sens, l'eau ne se perd jamais, puisqu'elle passe simplement d'un état ou d'un lieu à un autre. Mais il faut 1400 ans pour qu'une couche d'eau souterraine (ce qu'on appelle un aquifère) se reconstitue.

A ce sens, on constate que :

- Dans les pays en développement les fuites représentent jusqu'à 50 % de la perte de l'eau potable.
 - L'irrigation intensive, s'accompagne également de pertes qui peuvent aller jusqu'à 40 % de l'eau de pompage.
 - Les membres d'une famille vivant dans des régions arides d'Afrique disposent de 10 à 40 litres d'eau par personne et par jour pour boire, faire la cuisine et se laver, alors que les habitants des villes d'Europe ou d'Amérique du Nord consomment de 300 à 600 litres par jour et par personne.
-
- **La pollution** : L'industrie restitue aux fleuves et aux lacs la majeure partie de l'eau qu'elle utilise, mais celle-ci est souvent contaminée. Et l'eau de drainage provenant de l'irrigation contient souvent des engrais et des pesticides qui polluent les sources et les rivières. Andras Szöllösi-Nagy, Directeur de la Division des sciences de l'eau de l'UNESCO, n'hésite pas à qualifier la pollution des eaux de véritable "bombe à retardement". Selon lui, en ce qui concerne les réserves d'eaux souterraines de l'Europe, "on peut considérer que la couche supérieure de l'aquifère est condamnée. La concentration en nitrates et en phosphates y est si forte que nous allons bientôt

devoir forer jusqu'à un deuxième niveau, à supposer que celui-ci existe".⁴

- **L'explosion démographique** : La population mondiale devrait compter 8,7 milliards d'hommes d'ici 2025, soit 2,6 milliards de plus qu'en 1995, et cette croissance sera surtout sensible dans les régions qui souffrent déjà de rareté ou de pénurie d'eau. A l'heure actuelle, les trois quarts de la population mondiale vivent dans des régions qui consomment un peu plus de 20 % des ressources en eau disponibles.
- **Le changement climatique** : Beaucoup d'analystes prévoient une élévation de un à deux degrés de la température de l'air d'ici 2050 par suite du réchauffement planétaire. Dans les zones arides, cela pourrait entraîner une baisse de 10 % des précipitations et une réduction de 40 à 70 % de la masse des eaux lacustres et fluviales. Dans les régions plus froides éloignées de l'équateur, l'amplitude accrue du dégel printanier pourrait se traduire par des inondations, alors que le débit d'étiage des rivières serait plus faible.

I.2. Comment faire face à la crise mondiale de l'eau

Une question se pose : aurons-nous assez d'eau, en 2050, pour nourrir les 9 milliards d'habitants de la planète ? L'agriculture en est, de loin, la plus grande consommatrice, avec 70% des volumes. Le message de la communauté scientifique et des praticiens du secteur est aujourd'hui clair : c'est le secteur agricole qui doit en priorité économiser l'eau si le monde veut éviter une crise des ressources hydriques, liée à la fois à l'augmentation des besoins et aux effets du réchauffement climatique. "Il faut doubler la production agricole d'ici quarante ans et, si rien ne change, les besoins en eau pour l'agriculture doubleront aussi, explique David Molden, directeur de recherche à l'International Water Management Institute (IMWI). Nous devons impérativement produire plus avec moins d'eau." D'un côté, des solutions en relations avec les mauvaises habitudes peuvent être envisagées, et

⁴ - La science pour le XXIe siècle : Un nouvel engagement, article publié sur le site de l'UNESCO

d'autre côté, on constate que des solutions techniques existent. D'abord, mieux capter et utiliser l'eau de pluie. Mais pas forcément en construisant de nouveaux grands barrages :

"En développant de petites infrastructures de stockage, et en apportant de petites quantités d'eau au moment où la plante en a le plus besoin, on peut passer d'un rendement de dix quintaux de céréales à l'hectare à trente", explique Sami Bouarfa, spécialiste du Maghreb à l'Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (Cemagref). De petits aménagements (cordons de pierre, par exemple) ou l'amélioration du travail du sol permettent aussi, en retenant l'humidité, d'améliorer les rendements, parfois de manière spectaculaire.

I.2.1. Solutions liées à l'utilisation quotidienne des ménages :

Globalement l'industrie et l'agriculture ont fait de gros progrès pour limiter la croissance de leurs besoins en eau. Seule aujourd'hui la consommation des ménages ne cesse d'augmenter. La production d'eau potable représente 18 % de l'ensemble du volume prélevé.

Au début, les initiatives d'économie d'eau des ménages ont visé des réductions de consommation à l'intérieur des habitations, telles que la mise au point de modèles de WC plus économes dans les années 1960. Des études ont révélé que les chasses d'eau consommaient jusqu'à 50% du budget des ménages consacré à l'eau. Une décennie plus tard, l'étalement généralisé des villes aux Etats-Unis et les pénuries d'eau résultantes ont incité les sociétés de distribution d'eau à imposer de nouvelles mesures d'économie d'eau domestique et mener de grandes campagnes d'éducation.

La prise de conscience de la nécessité d'économiser l'eau aussi à l'extérieur, et l'organisation de campagnes de sensibilisation en ce sens, sont plus récentes.⁵

Aujourd'hui encore, la plupart des propriétaires connaissent mieux "les bonnes pratiques" d'économie d'eau intérieures, telles que l'utilisation de WC à chasse économique, de douches à pompe économique ou de lave-vaisselles ou machines à laver économiques, que les mesures d'économie d'eau extérieures.

5- Guide d'économiser d'eau en arrosage - Rain Bird

Etant donné que l'irrigation du jardin peut représenter 20 à 50% de la consommation annuelle de 359.614 litres d'eau d'un ménage américain moyen, la réduction de l'arrosage peut contribuer de manière importante à la résolution des problèmes de pénurie d'eau.

Ceci dit, les particuliers ont souvent bien du mal aujourd'hui à concilier les impératifs d'économie d'eau et leur désir d'avoir un beau jardin. Pour beaucoup, un espace vert favorisant l'économie d'eau évoque des images de sable, de rochers et de cactus, voire même de béton. Cette conception minimaliste constitue peut-être le summum de l'économie d'eau, mais ne fait généralement pas partie des choix envisageables par les personnes concernées, pour des raisons de climat ou de préférences personnelles.

En résumé, on peut dire que la facilité d'accès à cette précieuse ressource, les mauvaises habitudes, la tranquille négligence et le conditionnement culturel participent de cette surconsommation d'eau.

Une petite prise de conscience et quelques gestes simples suffiraient à faire baisser la consommation de chacun d'entre nous sans effort particulier.

De petits équipements complémentaires et peu coûteux permettent de faire baisser la facture pour le consommateur et pour l'environnement :

• Le réducteur de débit

L'équipement s'installe entre le tuyau et la pomme de douche. Il consiste à réduire le diamètre de passage de l'eau. Le débit de l'eau baisse de 50 à 60 % tout en gardant une pression équivalente. D'une douche de 40 litres on passe alors à 20-25 litres !

• Le mousseur

Le principe du mousseur est identique à celui du réducteur. Il permet en plus d'aérer le jet d'eau ce qui limite le débit réel en offrant une sensation de puissance équivalente. Les mousseurs se fixent sur les embouts des robinets. L'économie attendue est de l'ordre de 50 %

• La pomme de douche économique :

Le principe de l'appareil consiste à frictionner les gouttes d'eau entre elles. La surface de contact est ainsi plus grande avec la peau et limite les besoins en débit. L'économie est de 50 % environ !

• **Le stop douche :**

Ce système se fixe à la base du tuyau de douche, juste après le robinet. Très pratique il permet d'interrompre momentanément le flux de la douche, le temps de se savonner par exemple, et de le reprendre sans subir de refroidissement. L'équipement permet de gagner jusqu'à 50 % d'eau sur une douche, soit 20 litres environ !

• **Le mitigeur thermostatique :**

C'est un système plus élaboré qui ne s'ajoute pas à la robinetterie mais en fait partie à l'origine. Le thermostat permet de régler la température d'un côté et la puissance du flux de l'autre. Ainsi l'utilisateur ne perd plus d'eau en cherchant la température qui lui convient.

• **La chasse d'eau à 2 vitesses :**

A défaut d'installer des toilettes sèches, solution radicale pour réduire sa consommation d'eau, il est possible de réaliser de conséquentes économies avec une chasse d'eau à double vitesse. Un bouton libère 5 litres d'eau environ, l'autre 9 litres.

Notons que les équipements électroménagers sont désormais classés par leur potentiel d'économie d'énergie. Ce classement est symbolisé par des lettres allant de A pour les plus performants à G pour les plus énergivores. La consommation d'eau est intégrée dans cette classification.

I.2.2. Solutions liées aux techniques d'arrosage et d'irrigation :

I.2.2.1. Arroser plus efficacement son jardin :

L'eau devient une ressource de plus en plus rare qu'il convient de protéger. Nombreux sont encore les jardiniers qui arrosent de façon inadéquate leur parcelle. Les besoins sont d'environ 6 litres par mètre carré par jour, un jardin s'arrose tous les trois jours en période estivale, quand on sait que 80% de l'eau projetée dans les airs n'atteint pas la plante car elle s'est évaporée, nous nous devons de changer nos habitudes.⁶

Cela passe généralement en délivrant l'eau au plus près des racines pour éviter toute évaporation massive. Exemple : un tuyau est relié au robinet qui amène de l'eau au plus près des plantes. Ce tuyau est perforé tous les 30 à 50 cm en fonction de l'espacement des plantations pour un arrosage optimal. Ou encore préférez l'arroseur plutôt que le jet d'eau automatique.

Cela présente un double avantage :

- **optimisation de l'arrosage,**
- **économie sur la facture d'eau.**

I.1.2.2. Bien choisir le type de sol :

Le type de sol est un facteur important à considérer lors de la conception et de la gestion d'un système d'irrigation. Un sable faiblement pourvu en matière organique retiendra à peine 5% de son poids en eau. Par contre, un sol limoneux pourra en retenir près de 30 %. Cette quantité d'eau retenue influence directement sur les fréquences d'irrigation. Par exemple, une argile aura assez d'eau en réserve en début de saison pour approvisionner une culture pendant un mois, alors qu'un sable grossier n'aura de réserve que pour quelques jours.

6 - Livret : « La consommation de l'eau » de SURESNES.FR

La matière organique joue un rôle déterminant dans la rétention d'eau. Comme une éponge, elle retient l'eau des précipitations pour la restituer à la demande des besoins à la culture.

I.2.2.3. Analyse des espaces verts

La conception correcte d'un espace vert dépend pour beaucoup d'une analyse correcte de ses différentes zones. Les systèmes d'arrosage les plus économiques divisent le terrain en zones d'arrosage distinctes, correspondant à des végétations dont les besoins en eau sont différents.

De nombreux jardins comprennent par exemple des pelouses, des parterres de fleurs des massifs, des arbres et même des plantes en pot. Chacun de ces types de végétation a des besoins en eau différents, et doit être traité comme une unité séparée. Des différences d'ensoleillement (zone ombragée ou plein soleil) influencent aussi les besoins d'arrosage.

Le gazon et certaines autres plantes ont généralement besoin d'un apport d'eau plus important pour rester en bonne santé. Diviser un espace vert en différentes zones évite d'imposer les besoins du gazon à toute la végétation et de donner ainsi trop d'eau aux massifs et aux arbres, et réduit d'autant la consommation d'eau totale.

On néglige trop souvent de tenir compte de caractéristiques naturelles préexistantes telles que le relief du terrain et la nature du sol plus ou moins perméable, rocheuse, sablonneuse ou argileuse. Tenir compte de la perméabilité du sol et de l'écoulement naturel de l'eau à travers le terrain permet d'inclure des zones d'arrosage adaptées à la compensation des défauts de drainage.

Conclusion

Résoudre la crise de l'eau sous ses multiples aspects est l'un des nombreux défis que devra relever l'humanité en ce début du troisième millénaire, et c'est donc dans ce contexte que le problème doit être posé. La crise de l'eau doit trouver sa place dans un scénario plus général de résolution des problèmes et des conflits. Comme l'a souligné en 2002 la Commission sur le développement durable (Commission for Sustainable Development, CSD) : « L'éradication de la pauvreté, en changeant les modes de production et de consommation insoutenables à terme et en gérant les ressources naturelles du développement économique et social, est l'objectif dominant, et l'exigence essentielle, du développement durable. »

Néanmoins, de toutes les crises d'ordre social ou touchant aux ressources naturelles auxquelles l'humanité est confrontée, la crise de l'eau est au cœur de notre survie et de celle de notre planète.

Section 2 : L'irrigation intelligente (de précision) : la solution type

Quelles sont les solutions ? Il y a bien sûr l'amélioration des espèces pour les rendre moins gourmandes en eau ou plus résistantes à la sécheresse. Ou encore l'adaptation des cultures aux terres et aux ressources en eau. Certaines méthodes de cultures — je pense en particulier aux cultures dans les zones désertiques ou quasi-désertiques — devraient être amenées à disparaître dans les décennies à venir sous la pression de l'affaiblissement des ressources hydriques.

Mais il y a surtout la bonne gestion de l'irrigation. Or, 80% des terres agricoles américaines ne sont aujourd'hui pas irriguées. Et en Californie, le système d'irrigation, datant de plus d'un siècle, est aujourd'hui dépassé par les nouvelles contraintes et exigences environnementales et hydriques.

La généralisation de l'irrigation mais aussi et surtout le passage à une irrigation de précision, capable de réduire drastiquement les quantités d'eau utilisées est donc un indispensable

I. 3. C'est quoi l'irrigation de précision ?

La superficie totale des terres irriguées dans le monde dépasse désormais 300 millions d'hectares, et la superficie totale récoltée est encore supérieure, selon les estimations, car deux ou trois récoltes annuelles peuvent parfois être faites sur les mêmes terres. Le développement de l'irrigation est principalement concentré en Asie, où la riziculture irriguée couvre environ 80 millions d'hectares, avec des rendements moyens de cinq tonnes à l'hectare (contre 2,3 tonnes à l'hectare pour les rizières non irriguées, qui s'étendent sur 54 millions d'hectares). En revanche, en Afrique, l'agriculture irriguée ne couvre que quatre pour cent des terres cultivées, en raison principalement d'un manque d'investissements.

I.3.1. Les types d'irrigation :

A cet égard on peut lister les trois types suivants :

- **L'irrigation de surface** : par planches, par bassin ou par rigoles est souvent moins efficace et moins uniforme que l'aspersion en hauteur (c'est-à-dire par aspersion, au goutte-à-goutte ou par gaine perforée). La *micro-irrigation* a été perçue comme une solution technologique au problème du mauvais fonctionnement de l'irrigation de plein champ et comme un moyen d'épargner l'eau. Elle est de plus en plus adoptée par les horticulteurs commerciaux, tant dans les pays développés que dans les pays en développement, malgré le coût élevé des investissements nécessaires.⁷
- **L'irrigation déficitaire** et ses variantes, comme l'irrigation déficitaire régulée (IDR), sont de plus en plus utilisées pour l'arboriculture commerciale et certaines cultures de plein champ qui réagissent positivement au stress hydrique contrôlé, à des stades critiques de leur croissance. L'irrigation déficitaire régulée est souvent pratiquée en même temps que la micro-irrigation et l'irrigation fertilisante, qui prévoit l'application d'engrais dans le système de micro-irrigation, directement dans la zone où se développent la plupart des racines. Cette méthode a été adaptée à partir du système plus rudimentaire d'irrigation par rigoles, utilisé en Chine. Les

7- Livre produire plus avec moins La gestion de l'eau des technologies pour produire plus avec moins

avantages, en termes de réduction de la consommation d'eau, sont évidents, mais ce système n'est utilisable que si l'approvisionnement en eau est très fiable.

- **L'irrigation de précision**, fondée sur le savoir, offre aux agriculteurs des possibilités souples et fiables d'irrigation; c'est une composante importante de l'intensification durable des cultures. On a testé des systèmes automatisés utilisant à la fois des arroseurs fixes et des dispositifs de micro-irrigation qui contrôlent l'humidité du sol et la température de la partie aérienne des plantes pour définir le niveau d'irrigation à appliquer, en différents endroits du champ. L'irrigation de précision et l'application de précision d'engrais dans l'eau irrigation sont, dans un cas comme dans l'autre, des atouts futurs pour les cultures de plein champ et les cultures horticoles, mais les problèmes potentiels ne manquent pas. Récemment, des simulations par ordinateur ont montré qu'en horticulture, la gestion de la salinité est un facteur critique pour la durabilité de la production.

I.3.2. L'irrigation de précision : cela consiste à quoi exactement ?

L'irrigation de précision est un nouveau concept mondial dans le domaine d'irrigation. Elle implique l'application exacte et précise de l'eau pour répondre aux besoins spécifiques et particuliers de chaque plante.

Communément la définition acceptée de l'irrigation de précision est la gestion durable des ressources en eau ce qui implique l'application d'eau à la récolte au bon moment, la bonne quantité, au bon endroit et bonne manière aidant ainsi à gérer la variabilité du domaine de l'eau et par conséquent, augmenter l'efficacité de la productivité des cultures ainsi que la réduction des coûts de l'énergie sur les opérations d'irrigation.

Autrement dit, l'irrigation de précision consiste à apporter de l'eau au plus près des plantes. Elle se distingue des procédés traditionnels par le fait que seule une fraction du sol est arrosé avec un faible débit, qu'elle ne nécessite que des faibles pressions et donc des équipements relativement légers. Plusieurs techniques ont été développées dans ce but,

parmi lesquelles on peut citer le goutte à goutte au moyen de goutteurs et la micro-asperion au moyen de diffuseurs et, de façon plus marginale, l'utilisation de canalisations poreuses.

Dans le but de minimiser la consommation d'eau, une programmation de l'irrigation peut être envisagée. Cela consiste à déterminer la quantité d'eau à apporter, pendant combien de temps et à quelles heures du jour (programmation temporelle préétablie).

Plusieurs de ces paramètres sont affectés par des facteurs liés aux conditions météorologiques (température, humidité, ensoleillement), aux propriétés du sol (taux d'infiltration, pente) et au type de culture, ainsi qu'à la phase de croissance du végétal. La programmation peut alors varier d'un jour à l'autre selon les conditions météorologiques ce qui nécessite la conduite par un personnel qualifié. Pour les exploitations importantes, il est possible de prévoir une programmation plus sophistiquée tenant compte de tous ces paramètres vis d'un professionnel qualifié.

I.4. L'irrigation intelligente : avantages, inconvénients, et obstacles

I.4.1. Avantages et inconvénients

I.4.1.1 Avantages de l'irrigation de précision

L'irrigation de précision a le potentiel d'augmenter à la fois l'efficacité d'utilisation de l'eau l'efficacité des rendements agricoles.

Il a été rapporté que l'irrigation de précision peut améliorer l'économie de l'eau jusqu'à la hauteur de 80-90% contre 40-45% pour le Procédé d'irrigation en surface (Dukes, 2004). Les résultats des études de l'irrigation dans différents cas ont montré que l'irrigation de précision permet la réalisation des économies d'eau allant de zéro à 50%. L'avantage économique potentiel de l'irrigation de précision réside dans la réduction du coût des intrants et dans l'augmentation du rendement.

- **Les économies d'eau :** l'objectif principal de l'irrigation de précision est d'appliquer une quantité optimale de l'irrigation tout au long de champs. Il est

rapporté par de nombreux chercheurs comme le moyen le plus susceptible de la réalisation d'importantes économies d'eau (Evans et Sadler, 2008).

- **Rendement et profit** : les études expérimentales effectuées par King et al. (2006) ont démontré une augmentation du rendement en pommes de terre sous les applications d'irrigation de précision. Il a été rapporté que les rendements étaient mieux dans deux années consécutives. Booker et al. (2006)

A ajouter aussi la facilité d'utilisation et d'entretien. Il permet aussi une économie de main-d'œuvre puisqu'une seule personne est nécessaire pour arroser toute une parcelle (les seules actions sont l'ouverture et la fermeture de la vanne).

I.4.1.2 Les inconvénients de l'irrigation de précision :

Le coût initial d'installation est relativement élevé. Toutefois, on peut trouver maintenant du matériel assez bon marché adapté aux petites surfaces. La personne en charge de l'exploitation doit avoir reçu une formation pour une utilisation adaptée. L'automatisation intégral sur des grandes surfaces est compliqué.

I.4.2. Les obstacles à surmonter

L'un des principaux obstacles à surmonter consiste à aider les agriculteurs à adopter les méthodes d'irrigation intelligentes. La stratégie à employer à cet égard doit être axée sur les deux points suivants: d'une part, on doit chercher à sensibiliser l'opinion en diffusant les résultats des recherches sur le sujet et, d'autre part, on doit s'efforcer d'assurer une formation et un appui technique, en collaboration avec les associations des agricultures.

Dès lors que les agriculteurs acceptent d'adopter des méthodes d'irrigation intelligentes, il faut leur fournir des informations précises sur les besoins journaliers d'irrigation pour leurs cultures. C'est alors qu'intervient la mise au point d'une application informatique ou sur le web qui leur donne ces renseignements à tout moment.

Un autre obstacle a trait aux zones où la salinité du sol est élevée et où la qualité de l'eau est mauvaise. Ces zones sont pour le moment exclues du domaine d'application de la

recherche, et les résultats y seront sans doute moins favorables, mais les agriculteurs qui y cultivent ont, eux aussi, besoin d'être aidés. L'une des possibilités serait d'utiliser les informations fournies par une cartographie des sols et d'introduire dans l'application web les données les plus récentes sur le degré de salinité dans chaque région. On pourrait ensuite tenir compte de ces données dans le calcul des besoins en eau pour l'irrigation.⁸

⁸ « Une technique d'irrigation intelligente pour une agriculture durable » article publié sur le site ITE News

Chapitre 2 : Réseau de Capteurs Sans Fils WSN :

Section 1 : c'est quoi un réseau des capteurs sans fil ?

Les avancées technologiques récentes confortent la présence de l'informatique et de l'électronique au cœur du monde réel. De plus en plus d'objets se voient ainsi équipés de processeurs et de moyens de communication mobiles, leur permettant de traiter des informations mais également de les transmettre. Les réseaux de capteurs sans-fil entrent dans ce cadre. En effet, ceux-ci sont constitués d'un ensemble de petits appareils, ou capteurs, possédant des ressources particulièrement limitées, mais qui leur permettent néanmoins d'acquérir des données sur leur environnement immédiat, de les traiter et de les communiquer.

II.1 Présentation générale

Les récents progrès des nouvelles techniques ont provoqué une énorme importance dans le domaine des réseaux sans fil. La technologie des réseaux de capteurs sans fil est devenue une des merveilleuses technologies dans le 21ème siècle ; les réseaux de capteurs ont montré leur impact sur notre vie quotidienne.

II.1.1 Définitions

Un réseau des capteurs sans fil (RCSF) consiste en un nombre de capteurs connectés entre eux qui sont capables de sonder l'environnement dans lequel ils se trouvent , et remonter l'information vers certains nœuds (Sink) déployés, qui sont en mesure de relayer l'information à grande échelle comme l'illustre le schéma suivant :

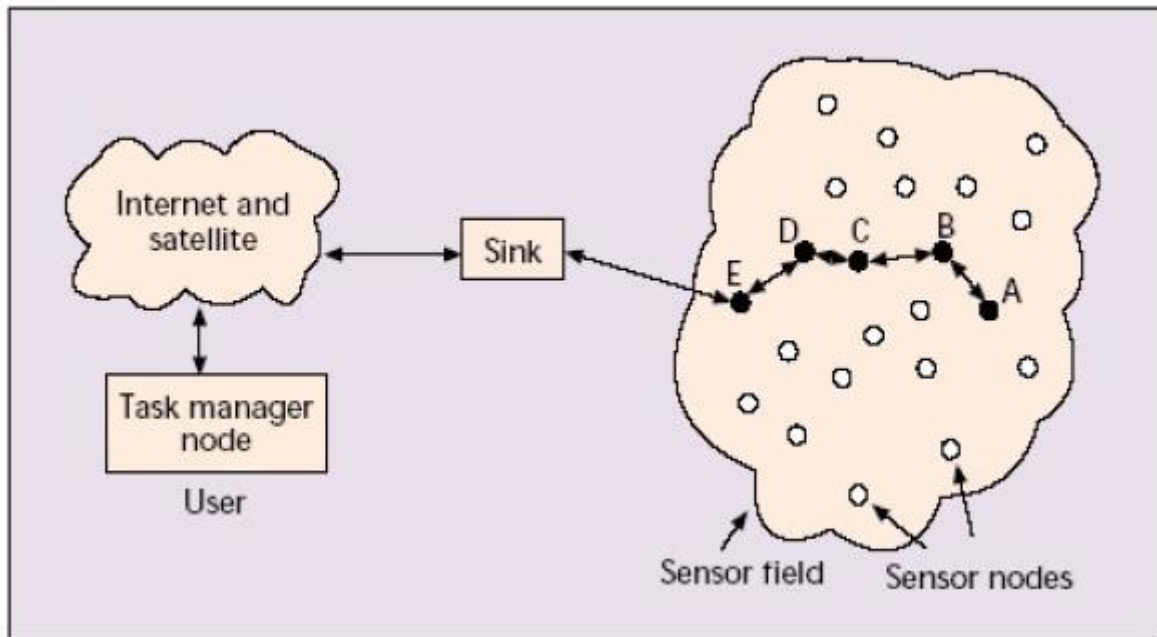


Figure 1 : Réseau des capteurs sans fil

Les RCSF dans leur contexte pratique

Les RCSF forment une nouvelle génération de réseaux aux propriétés spécifiques, qui n'entrent pas dans les architectures classiques. Ils présentent un champ d'application très vaste et couvrent plusieurs domaines à caractère scientifique, logistique, militaire ou de santé.

Définition des Capteurs:

Les capteurs sont des dispositifs de taille extrêmement réduite avec des ressources très limitées, autonomes, capable de traiter des informations et de les transmettre, via les ondes radio, à une autre entité (capteurs, unité de traitements...) sur une distance limitée à quelques mètres.

Capteur sans fils

Les réseaux de capteurs utilisent un très grand nombre de ces capteurs, pour former un réseau sans infrastructure établie. Un capteur analyse son environnement, et propage les données récoltées aux capteurs appartenant à sa zone de couverture. Chaque capteur relayant l'information sur sa propre zone de couverture, le réseau se trouve entièrement couvert.



Figure 2 : Exemple d'un capteur sans fil

Définition d'un RCSF ou WSN (Sensor Network)

Un réseau de capteurs sans fil est un type spécial de réseaux ad hoc avec un grand nombre de nœuds qui sont des micro-capteurs capables de recevoir et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome sans intervention humaine. ⁹

La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée, ils peuvent être aléatoirement dispersés dans une zone géographique appelée « champ de captage » correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté (par exemple : lâchée de capteurs sur un volcan pour étudier les phénomènes vulcanologiques et leurs évolutions).

Le réseau possède en général un nœud particulier, la base (ou sink), connectée avec les autres nœuds par un réseau filaire est reliée à une alimentation électrique.

II.1.2. Types et domaines d'application

Les différents types des réseaux des capteurs sans fils peuvent être résumés comme suit :

9- Mémoire de fin d'études « La Mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour l'irrigation intelligente, BOUZIDI » travail fait par : Zeyneb et BENAMEUR Amina

a- Réseaux de poursuite

Ces réseaux sont généralement développés par l'armée, ils peuvent servir à surveiller toutes les activités d'une zone stratégique ou d'accès difficile, ainsi on pourra détecter des agents chimiques, biologiques ou des radiations avant des troupes. On peut aussi penser à des capteurs embarqués sur les soldats pour faciliter leur guidage et le contrôle de leur position depuis la base.

b- Réseaux de collection des données d'environnement

Les nœuds de ce type de réseau peuvent avoir plusieurs fonctionnalités et différents types de capteurs. Ce type de réseau nécessite généralement un flux de données faible, une durée de vie importante ; il sert à la collecte périodique des données environnementales puis leur transmission vers la station de base. C'est le type utilisé généralement pour l'installation d'un système d'irrigation intelligent.¹⁰

c- Réseaux de surveillance et sécurité

La différence entre ce réseau et le réseau de collection d'environnement est que les nœuds ne transmettent pas l'ensemble des données collectées mais seulement les rapports concernant une violation de la sécurité. Ce sont en général des nœuds fixes qui contrôlent d'une façon continue la détection d'une anomalie dans le fonctionnement d'un système. Ainsi les altérations dans la structure d'un bâtiment, suite à un séisme, pourraient être détectées par des capteurs intégrés dans les murs ou dans le béton, sans alimentation électrique ou autres connexions filaires.

II.2. Caractéristiques et limites des RCSF

II.2.1 Caractéristiques :

- La consommation réduite d'énergie : Les nœuds capteurs utilisent des batteries de taille minuscule comme ressources en énergie, ce qui limite leur durée de vie. La spécificité des applications des RCSF (militaires, sismiques et autres) fait que la recharge

10- « Introduction aux réseaux de capteurs sans fil » Laboratoire STIC

ou le remplacement de ces batteries est une tâche difficile ou presque impossible, ce qui nous mène à déduire que la durée de vie d'un nœud est essentiellement dépendante de la durée de vie de la batterie. Ainsi, la méthode de gestion de consommation d'énergie constitue une contrainte majeure dans ce type de réseau.¹¹

- L'auto-configuration des nœuds capteurs :

Dans un RCSF, les nœuds sont déployés soit d'une manière aléatoire (missile, avion...), soit placés nœud par nœud par un humain ou un robot, et ceci à l'intérieur ou autour du phénomène observé (champ de guerre, surface volcanique, patient malade...). Ainsi, un nœud capteur doit avoir des capacités d'une part, pour s'auto-configurer dans le réseau, et d'autre part pour collaborer avec les autres nœuds dans le but de reconfigurer dynamiquement le réseau en cas de changement de topologie du réseau

Dans un RCSF, chaque nœud X possède une unité émettrice/réceptrice qui lui permet de communiquer avec les nœuds qui lui sont proches; En échangeant des informations avec ces derniers, le nœud X pourra alors découvrir ses nœuds voisins et ainsi connaître la méthode de routage qu'il va adopter selon les besoins de l'application.

L'auto-configuration apparaît comme une caractéristique nécessaire dans le cas des RCSF étant donné que d'une part, leur déploiement s'effectue d'une manière aléatoire dans la majorité des applications, et d'autre part le nombre des nœuds capteurs est très grand.

- La scalabilité :

Contrairement aux réseaux sans fil traditionnels (personnel, local ou étendu), un RCSF peut contenir un très grand nombre de nœuds capteurs (des centaines, des milliers...). Un réseau de capteur est scalable parce qu'il a la faculté d'accepter un très grand nombre de nœuds qui collaborent ensemble afin d'atteindre un objectif commun.

- La tolérance aux pannes : Dans le cas de dysfonctionnement d'un nœud (manque d'énergie, interférences avec l'environnement d'observation...) ou aussi en cas d'ajout de nouveaux nœuds capteurs dans le réseau, ce nœud doit continuer à fonctionner normalement sans interruption. Ceci explique le fait qu'un RCSF n'adopte pas de topologie fixe mais plutôt dynamique.

11- Protocole de sécurité Pour les Réseaux de capteurs Sans Fil, PFE Samir ATHMANI

- **Une densité importante des nœuds** : Les RCSF sont caractérisés par leur forte densité. Cette densité peut atteindre, selon le type d'application, 20 nœuds/m³.

- **La capacité de communication** : Elle peut prendre deux aspects : Le multi saut ou à un seul saut. Parce que le multi saut est moins énergivore, il reste le type de communication le plus sollicité par les applications de RCSF qui requièrent une faible consommation d'énergie.

- **Les types de communication** : Il existe différents types de communication utilisée dans les réseaux des capteurs sans fil :

- **Unicast** : ce type de communication est utilisé pour échanger des informations entre deux nœuds sur le réseau.
- **Broadcast** : la station de base ou « Sink » transmet des informations vers tous les nœuds du réseau. Ces informations peuvent être des requêtes de données bien précises (ex : la température dans la région A), des mises à jour de programmes ou des paquets de contrôle.
- **Local Gossip** : ce type de communication est utilisé par des nœuds situés dans une région bien déterminée qui collaborent ensemble afin d'avoir une meilleure estimation de l'évènement observé et d'éviter l'émission du même message vers le nœud « Sink » ce qui contribue à consommer moins d'énergie.
- **Convergecast** : il est utilisé dans les communications entre un groupe de nœuds et un nœud bien spécifique (qui peut être le « Sink »). L'avantage de ce type de communication est la diminution de contrôle d'entête des paquets (« control overhead ») ce qui économise l'énergie au niveau du nœud récepteur.
- **Multicast** : il permet une communication entre un nœud et un groupe de nœuds. Ce type de communication est utilisé dans les protocoles qui incluent le « clustering » dans lesquels, le « Clusterhead » s'intéresse à communiquer avec un groupe de nœuds.

- **Une architecture « data-centric »** : Du fait que le remplacement ou la recharge des batteries des nœuds capteurs est une tâche non pratique et difficile à réaliser, alors il est

d'usage normal qu'on trouve des nœuds capteurs redondants (effectuant la même tâche dans la même région) ;

L'importance d'un nœud particulier est, par conséquent, réduite par rapport à l'importance attribuée aux données observées par les nœuds.

Ce type d'architecture diffère des architectures « node-centric » adoptées par les réseaux traditionnels où les nœuds possèdent une place importante (Exemple : un utilisateur qui veut connecter son lap top au serveur web X).

- Une collaboration entre les nœuds : Les contraintes strictes de consommation d'énergie mènent les nœuds capteurs à détecter et traiter les données d'une manière coopérative afin d'éviter le traitement redondant d'une même donnée observée, source de la perte d'énergie.

- La bande passante (ou capacité du canal) : c'est une caractéristique beaucoup plus importante dans les réseaux cellulaires (GSM) et les réseaux locaux sans fils (WLAN), que dans les RCSF ; le débit étant en effet un objectif secondaire pour les RCSF.

II.2.2 Limites :

Les limites observées pour les réseaux des capteurs sans fil, peuvent être lister comme suit :

- Les ressources de calcul et de mémoire des nœuds sont relativement faibles, par exemple les nœuds de capteur de type "mote" sont composés d'un microcontrôleur 8-bits 4MHz, 40 KOctets de mémoire et une radio avec un débit d'environ 10 kbps.

Cela reste vrai même pour les nœuds de moyenne gamme, comme les UCLA/ROCKWELL'S WINS, qui ont un processeur StrongARM 1100 avec une mémoire flash de 1 MO, une mémoire RAM de 128 KO et une radio de 100 Kbps.

- Non seulement les capacités des nœuds sont faibles, mais en plus ils opèrent sur des piles et par conséquent ont une durée de vie limitée.
- L'énergie limitée des capteurs est probablement la caractéristique la plus pénalisante, le plus grand des défis dans le domaine des réseaux de capteurs reste de concevoir des

protocoles, entre autre de sécurité, qui minimisent l'énergie afin de maximiser la durée de vie du réseau. En d'autres mots, l'énergie est sans aucun doute la ressource qui convient pour gérer avec la plus grande attention.

Section 2 : Architecture et fonctionnement d'un réseau des capteurs sans fil

II.3 Architecture :

II.3.1. Architecture de capteur sans fils

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. Il peut contenir également, suivant son domaine d'application, des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire)¹². On peut même trouver des micro-capteurs, un peu plus volumineux, dotés d'un système mobilisateur chargé de déplacer le micro-capteur en cas de nécessité.

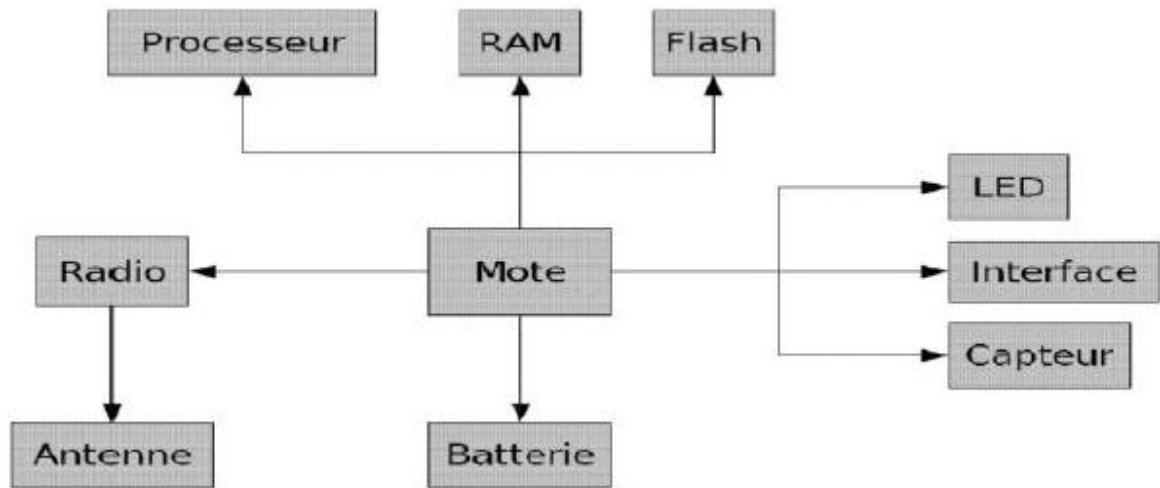


Figure 3 : Architecture d'un capteur sans fils

On peut voir sur la figure 1 les différents composants qui constituent un capteur. Pour être plus précis chaque groupe de composants possède son propre rôle :

¹² Wikipédia.org

- **Unité de traitement** : « Mote, processeur, RAM et Flash »:

On appelle généralement Mote la carte physique utilisant le système d'exploitation pour fonctionner. Celle-ci a pour cœur le bloc constitué du processeur et des mémoires RAM et Flash. Cet ensemble est à la base du calcul binaire et du stockage, temporaire pour les données et définitif pour le système d'exploitation. Cette unité est chargée d'exécuter les protocoles de communications qui permettent de faire collaborer le nœud avec les autres nœuds du réseau. Elle peut aussi analyser les données captées pour alléger la tâche du nœud puits.

- **Unité de transmission** : « Radio et antenne »:

Les équipements étudiés sont donc généralement équipés d'une radio ainsi que d'une antenne. Cette unité est responsable d'effectuer toutes les 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 radiofréquence. Les communications de type optique sont robustes vis-à-vis des interférences électriques. Néanmoins, elles présentent l'inconvénient d'exiger une ligne de vue permanente entre les entités communicantes. Par conséquent, elles ne peuvent pas établir de liaisons à travers des obstacles.¹³

- **Unités de captage** : « LED, interface, capteur » :

On retrouve donc des équipements de différents types de détecteur et d'autre entrée. Le capteur est généralement composé de deux sous-unités : le récepteur (reconnaissant l'analyste) et le transducteur (convertissant le signal du récepteur en signal électrique). Le capteur est responsable de fournir 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.

- **Unités de control d'énergie** : « Batterie » :

Un micro-capteur est muni d'une ressource énergétique (généralement une batterie de type AAA) pour alimenter tous ses composants. Cependant, en conséquence de sa taille réduite,

¹³ Rapport : « Développement d'une bibliothèque de capteurs » réalisé par FARES Abdelfatah

la ressource énergétique dont il dispose est limitée et généralement irremplaçable. Cette unité peut aussi gérer des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement observé telles que les cellules solaires, afin d'étendre la durée de vie totale du réseau. Cependant quelques différences existent suivant les fabricants. Chacun d'eux développe son type de capteurs, ces types peuvent être mica, mica2, telos ou telosb par exemple.

Cependant, il existe des applications dont les besoins nécessitent d'autres composants qui s'ajoutent à ceux décrits précédemment, comme :

- Le système de localisation pour déterminer la position des nœuds.
- Le mobilisateur ou « mobilizer » pour déplacer un nœud d'un lieu à un autre.

II .3.2. Architecture de communication dans les réseaux de capteurs

Le modèle de communication comprend cinq couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI ainsi que trois couches pour la gestion d'énergie, la gestion de la mobilité et la gestion des tâches.

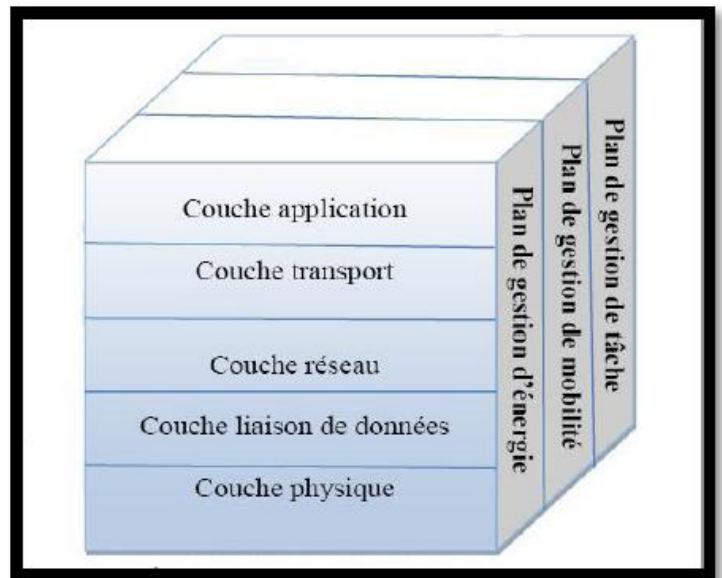


Figure 4 : La pile protocolaire des RCSF

La pile protocolaire des RCSF

- **La couche physique :**

Elle est responsable de la sélection de fréquence, la génération de la fréquence porteuse, la détection du signal, la modulation/démodulation et le cryptage/décryptage des informations. La consommation d'énergie au niveau de la couche physique peut être affectée par l'environnement de l'application, le choix du type de la modulation ou

la bande de fréquence utilisée. Il est avantageux en matière d'économie d'énergie que le concepteur de la couche physique choisisse une transmission à multi-sauts plutôt qu'une transmission directe qui nécessite une puissance de transmission très élevée.

- **La couche liaison de données :**

Elle est responsable de la détection des trames de données, le contrôle d'accès au support (MAC) et le contrôle d'erreurs. Elle maintient aussi la fiabilité des connections point à point ou multipoints dans les RCSF.

La couche liaison de données contient deux sous-couches qui sont :

- **- La sous-couche MAC :**

Dans un réseau des capteurs sans fil, la couche MAC doit accomplir deux principales tâches qui sont celles de :

- établir des liaisons de communication entre les nœuds capteurs pour effectuer le transfert des données et permettre au réseau la capacité de s'auto-organiser.
- décider du moment et de la manière dont les nœuds capteurs peuvent accéder au canal avec un minimum de perte d'énergie.

- **- La sous-couche de contrôle d'erreurs :**

La technique de contrôle d'erreurs la plus utilisée dans les réseaux RCSF est le « Forward error correction » (FEC) ; Cette technique comporte de simples mécanismes de codage et de décodage (codes de contrôle d'erreurs simples).

- **La couche réseau :**

La couche réseau gère les échanges (et éventuellement les connexions) au travers du RCSF. Elle gère entre autre l'adressage et l'acheminement des données.

Les applications des réseaux RCSF requièrent le plus souvent des protocoles de routage à multi sauts entre le nœud émetteur, le ou les nœuds relais et le nœud « Sink ».

Les protocoles de routage traditionnels des réseaux ad hoc ne peuvent pas être utilisés dans les réseaux RCSF puisqu'ils ne satisfont pas les critères de conservation d'énergie et de scalabilité

Les métriques considérées par les chercheurs pour déterminer la route la plus optimisée dans les réseaux RCSF sont :

- ✚ L'énergie nécessaire pour transmettre le paquet d'une manière fiable ;
- ✚ L'énergie disponible dans chaque nœud capteur.

Les algorithmes de routage peuvent alors sélectionner les routes entre le nœud émetteur et le nœud «Sink» en se basant soit sur le maximum d'énergie disponible au niveau des nœuds intermédiaires, soit sur la route qui consomme le moins d'énergie pour transmettre d'un nœud vers un autre.

Le type d'adressage le plus utilisé dans les RCSF est l'adressage géographique, c'est-à-dire que chaque nœud capteur est identifié dans le réseau par sa localisation. D'ailleurs, l'adressage géographique est employé surtout dans les applications de monitoring (« environmental monitoring »...).

- **La couche transport :**

Le rôle de cette couche intervient essentiellement lorsqu'on va accéder à partir de notre RCSF vers un autre RCSF ou vers Internet.

Le protocole de transport utilisé entre le nœud émetteur et le nœud « Sink » peut être UDP. Il importe de mentionner que l'utilisation du protocole TCP est impossible vu la taille limitée des mémoires des nœuds capteurs qui ne leur permet pas d'enregistrer de grandes quantités d'informations pour la gestion des communications (mécanismes de fenêtres).

Les communications entre l'utilisateur et le nœud « Sink » peuvent être gérées par TCP ou UDP via Internet ou satellite.

- **La couche application :**

Il existe plusieurs protocoles applicatifs qui ont été proposés. Parmi lesquels, on peut citer le SMP (Sensor Management Protocol) qui permet à l'utilisateur d'exécuter des tâches administratives telles que la configuration du RCSF, la mise en marche/fermeture des nœuds, la synchronisation entre les nœuds, le déplacement des nœuds capteurs...

En plus du protocole SMP, on trouve SQDDP (Sensor Query and Data Disseminations Protocol) qui permet à l'utilisateur à travers des interfaces d'interroger le réseau en se basant non pas sur un système d'adressage particulier (interroger un nœud bien particulier) comme tel est le cas des réseaux sans fil classiques mais plutôt sur la localisation des nœuds.

Exemple de requête : « quelles sont les localisations des nœuds qui captent des températures supérieures à 70° ».

- **Le plan de gestion d'énergie :**

Il gère la manière dont le nœud utilise son énergie. Par exemple, si le nœud capteur est faible en énergie, il pourra informer ses nœuds voisins par multicast qu'il ne pourra pas participer dans le routage des paquets.

- **Le plan de gestion de la mobilité :**

Il détecte les mouvements des nœuds et indique leurs placements.. De cette manière, chaque nœud peut connaître les nœuds qui lui sont voisins (il pourra alors balancer ses tâches vers un autre nœud au cas où il manque d'énergie). Il doit aussi maintenir à n'importe quel instant la route séparant le nœud mobile du nœud « Sink ».

- **Le plan de gestion des tâches :** Il assure un ordonnancement des tâches de capture dans une région bien déterminée tout en évitant la redondance des tâches de capture à un même instant, et ceci dans le but d'économiser de l'énergie sur le réseau.

L'intérêt de ces trois plans réside dans le fait qu'ils assurent une gestion optimale de la consommation d'énergie, de la mobilité et des tâches au niveau de chaque nœud capteur.

II.4 Fonctionnement :

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 pour récolter les données environnementales captées par le biais du nœud-puits.

Les progrès conjoints de la microélectronique, 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.

Ces capteurs intègrent : 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 des données et un module de transmission sans fil.¹⁴

II.4.1. Topologies des réseaux de capteurs

Un réseau de capteurs sans fil est composé d'un ensemble de nœuds capteurs et des Gateway qui s'occupent de collecter les données des capteurs et de les transmettre à l'utilisateur via l'internet ou le satellite, il existe plusieurs topologies pour les réseaux de capteurs :

a- 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

¹⁴ Wikipédia.org

une faible consommation d'énergie, mais la station de base est vulnérable et la distance entre les nœuds et la station est limitée.

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.

b- Topologie en toile (Mesh Network)

La topologie en toile est un système multi-saut. La communication entre les noeuds et la station de base est possible. Chaque noeud a plusieurs chemins pour envoyer les données.

¹⁵

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

c- Topologie hybride

La topologie hybride est un mélange des deux topologies ci-dessus. Les stations de base forment une topologie en toile et les noeuds autour d'elles sont en topologie étoile. Elle assure la minimisation d'énergie dans les réseaux de capteurs.

¹⁵ Wikipédia.org

II.4.2. Technologies des réseaux sans fil utilisés :

Il existe plusieurs catégories de réseaux sans fil qui diffèrent par le périmètre géographique qu'ils couvrent ainsi que par les types d'applications supportées. Le schéma suivant illustre les catégories des réseaux sans fil.

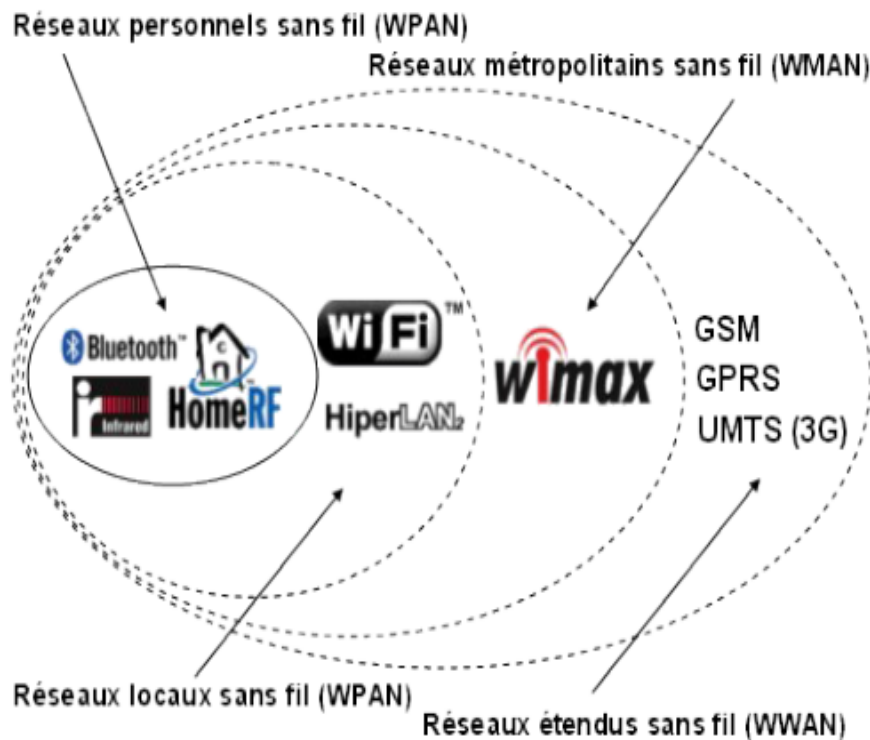


Figure 5 : Les catégories des réseaux sans fil¹⁶

a- Le réseau personnel sans fil (WPAN) :

Il concerne les réseaux sans fil d'une faible portée : de l'ordre de quelques dizaines de mètres. Ce type de réseau sert généralement à relier des périphériques (imprimante, téléphone portable, appareils domestiques, PDA...). Il existe plusieurs technologies utilisées pour les WPAN :

¹⁶ Article de ALLEN Dessureault publié sur icriq.com

+ La technologie Bluetooth :

Elle est connue aussi sous le nom de la norme IEEE 802.15.1, elle a été lancée par Ericsson en 1994, proposant un débit théorique de 1 Mbps lui permettant une transmissions de la voix, des données et des images, d'une portée maximale d'une trentaine de mètres. Bluetooth est une technologie peu onéreuse, grâce à sa forte intégration sur une puce unique de 9 mm sur 9 mm ; Elle présente également l'avantage de fonctionner sur des appareils à faible puissance d'où une faible consommation d'énergie.

+ La technologie ZigBee :

Elle est connue aussi sous le nom de la norme IEEE 802.15.4 et permet d'obtenir des liaisons sans fil à bas prix et avec une très faible consommation d'énergie, ce qui la rend particulièrement adaptée pour être directement intégrée dans de petits appareils électroniques (capteurs, appareils électroménagers...). Les réseaux ZigBee permettent d'offrir des débits jusqu'à 250 Kbits/s dans la bande classique des 2,4GHz. Les RCSF constituent une des applications que cette norme peut couvrir.

+ Les liaisons infrarouges :

Elles permettent de créer des liaisons sans fil de quelques mètres avec des débits pouvant monter à quelques mégabits par seconde. Cette technologie est largement utilisée dans la domotique (télécommandes), elle souffre toutefois des perturbations dues aux interférences lumineuses.

b- Le réseau local sans fil (WLAN)

C'est un réseau permettant de couvrir une portée d'environ une centaine de mètres. Il permet de relier entre-eux les terminaux présents dans la zone de couverture. Il existe deux technologies concurrentes :

+ Les réseaux Wi-Fi (Wireless-Fidelity) :

Ils proviennent de la norme IEEE 802.11, qui définit une architecture cellulaire. On y trouve principalement deux types de réseaux sans fil : Ceux qui travaillent à la

vitesse de 11 Mbits/s à 2.4 GHz (IEEE 802.11b) et ceux qui montent à 54 Mbits/s à 5 GHz (IEEE 802.11 a/g).

✚ **Les réseaux HiperLAN (High Performance LAN) :**

Ils découlent de la norme européenne élaborée par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). HiperLAN permet d'obtenir un débit théorique de 54 Mbps sur une zone d'une centaine de mètres dans la gamme de fréquence comprise entre 5 150 et 5 300 MHz. Ce type de réseau n'a pas reçu autant de succès que la technologie Wi-fi.

c- Le réseau métropolitain sans fil (WMAN)

Il est connu aussi sous le nom de Boucle Locale Radio (BLR). Il convient de rappeler que la BLR permet, en plaçant une antenne parabolique sur le toit d'un bâtiment, de transmettre par voie hertziennne de la voix et des données à haut débit pour l'accès à l'internet et la téléphonie.

Il existe plusieurs types de réseaux WMAN dont le plus connu est :

✚ **les réseaux Wimax (Worldwide interoperability for Microwave Access) :**

Ils émanent de la norme IEEE 802.16 et ont pour but de développer des liaisons hertziennes concurrentes aux techniques xDSL terrestres et offrent un débit utile de 1 à 10 Mbit/s dans la bande 10-66 GHz pour une portée de 4 à 10 kilomètres, ce qui destine principalement cette technologie aux opérateurs de télécommunication.

d- Le réseau étendu sans fil (WWAN)

Il est connu sous le nom de réseau cellulaire mobile et il est le plus répandu de tous puisque tous les téléphones mobiles sont connectés à un réseau étendu sans fil. Les principales technologies sont les suivantes : GSM (Global System for Mobile Communication), GPRS (General Packet Radio Service), UMTS (Universal Mobile Télécommunication System).

II.4.3 Agrégation de données dans les réseaux de capteurs :

Dans les capteurs, la problématique principale concerne la consommation d'énergie : en effet, ces derniers doivent rester opérationnels le plus longtemps possibles, comme il n'est pas possible de recharger leur énergie ni changer les piles il est nécessaire d'économiser au maximum l'énergie consommée par ces derniers.

On estime que la transmission des données d'un capteur représente environ 70% de sa consommation d'énergie.

De plus, les réseaux de capteurs étant assez denses en général, cela signifie que des nœuds assez proches en terme de distance (voisins) peuvent capter les mêmes données et donc il apparaît nécessaire d'introduire le mécanisme d'agrégation de données afin d'éviter la duplication d'information au sein du réseau de capteurs et donc de préserver leur énergie et d'augmenter la durée de vie du réseau.

L'agrégation est une technique utilisée pour réduire la transmission d'informations redondantes et consiste à remplacer les lectures individuelles de chaque capteur par une vue globale, collaborative sur une zone donnée (clustering), et Avec cette technique, les nœuds intermédiaires agrègent l'information reçue de plusieurs sources. Cette technique est connue aussi sous le nom de fusion de données.¹⁷

Exemple sans agrégation :

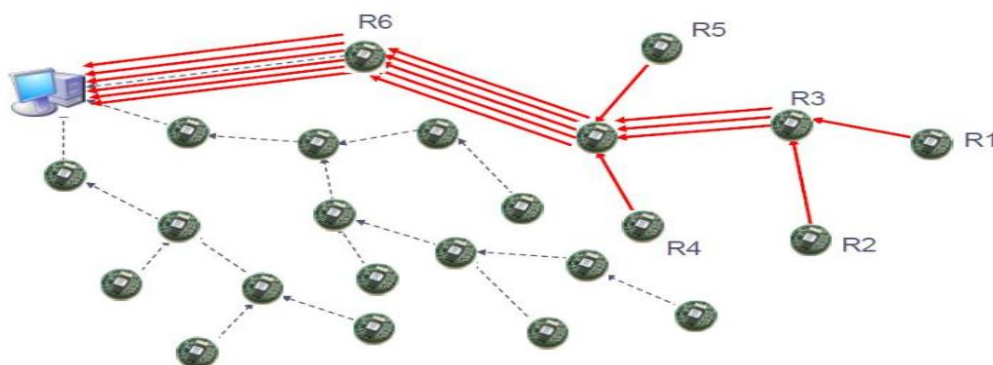


Figure 6 : Réseau de capteurs sans fils sans agrégation

¹⁷ Eude bibliographique : « La consommation d'énergie dans les de capteurs sans fil » réalisé par Sofian MOAD

Au total, 18 messages sont envoyés sur le réseau de capteurs. En utilisant le mécanisme d'agrégation de données, on obtient un total de 7 messages envoyés sur le réseau:

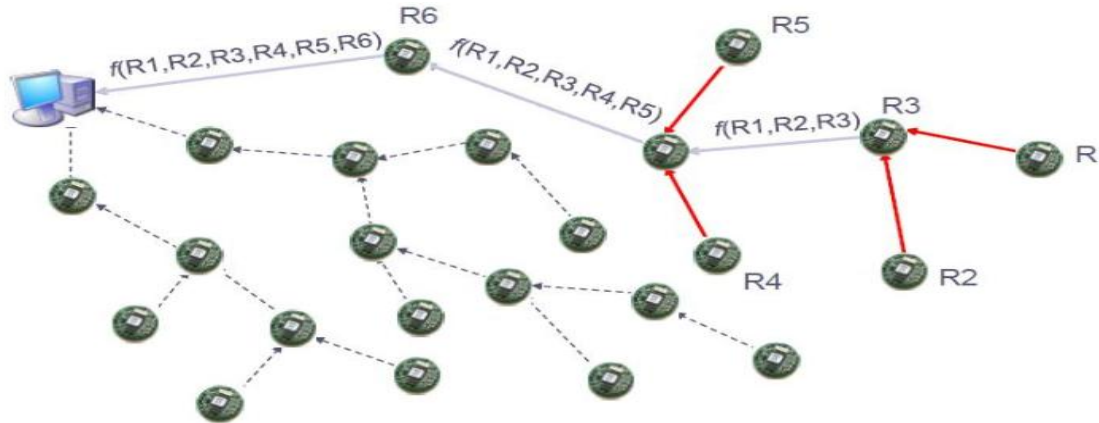


Figure 7 : Réseau de capteurs sans fils avec agrégation

Les techniques d'agrégation de données peuvent être découpées en deux :

a- Agrégation centralisée :

Agrégation dans des clusters, formés via un protocole de clustering (classification). On définit d'abord des zones (clusters) via ce protocole puis ensuite on agrège les données dans ces zones grâce à un chef de zone. Ce chef peut éventuellement changer au cours du temps afin de répartir au mieux la consommation d'énergie entre tous les nœuds du réseau.

b- Agrégation distribuée :

Agrégation dans un arbre c'est – à - dire que le réseau est vu de façon globale

PARTIE 2:

Matériels, logiciels, configuration et programmes

Description et présentation

« Dans cette partie consacrée à la description Hardware et la présentation de software, on va donner dans un premier temps une présentation de la carte d'acquisition et ses expansions, les environnements de programmation avant de passer dans un deuxième temps au travail effectué »

Chapitre 3 : Présentation du HARDWARE et du SOFTWARE :

Section 1 : Présentation du Hardware (matériels) :

III .1 Apercue général :

III.1.1 Qu'est-ce qu'un système de capteurs intelligents Fluctus?

Fluctus est un système de capteurs intelligents¹⁸, qui permet la création et la gestion de réseaux de capteurs.

Fluctus offre un système de haute technologie : un matériel ouvert (open Hardware) et une plateforme logicielle ouverte (open software platform), pour **l'internet des objets** et Les applications des **villes intelligentes** (smart cities).

Fluctus est un ensemble de modules matériels qui collectent des données à partir d'une variété de capteurs par exemple des capteurs de méthane, de CO, de NOX, de SOX-qualité d'air, de la température de l'air, de l'humidité, et de la pression atmosphérique ; et qui transmettent des informations à une plate-forme Cloud, par le biais de différents technologies (UMTS / GPRS / WiFi / Zigbee / Ethernet).

Fluctus assure la haute performance en termes de stabilité des communications radio et de l'interopérabilité.

III.1.2 Objectifs de Fluctus

Fluctus est le résultat de plus d'une décennie de la recherche et du développement dans le domaine des technologies sans fil, réalisée par Cubit et de ses partenaires, Witech et Istech, dans le but de transférer des technologies innovantes sur le marché. Fluctus réunit la forte expertise de CUBIT dans les systèmes de TIC innovantes et notamment les technologies radio de fréquence, avec les compétences spécifiques de ses partenaires dans le développement des plates-formes de Cloud.

¹⁸ 01- FluctuS Intelligent Sensor System

Fluctus s'adresse à une cible professionnelle: intégrateurs de systèmes, consultants en design dans le secteur de l'internet des objets (IoT) et Smart Cities. Fluctus veulent être un lieu virtuel où les intervenants et la communauté Web pourraient partager les biens technologiques innovantes et leurs applications Fluctus;

III.1.3 Les application de Fluctus¹⁹ :

Avec la plate-forme Fluctus il est possible de développer des villes intelligentes, domotique et des applications de réseaux de capteurs sans fils.

Grace à cette plate-forme de la Communauté peut développer des applications dans tous les secteurs:

- Smart Lighting** - réseaux d'éclairage intelligents, de permettre la mise en œuvre de services Internet pour les citoyens;
- Smart Water** - contrôle de la qualité de l'eau dans la mer et des rivières afin de surveiller la composition chimique, son aptitude à l'emploi de la faune et potable; surveillance du niveau d'eau dans les rivières, les barrages et les réservoirs;
- Smart logistics** - surveillance de la qualité des biens Pendant le transport (ouvertures, vibrations, accidents vasculaires cérébraux ou de l'interruption de la chaîne du froid), le suivi des marchandises;
- Smart Agriculture** - contrôle des conditions micro-climatiques pour améliorer à la fois la qualité et la quantité de la production de fruits et légumes. Station météo Réseaux de prévision des phénomènes météorologiques (pluie, la glace, la neige, la sécheresse);
- Panneaux photovoltaïques** - suivi et optimisation de la production d'énergie dans les centrales solaires;
- Surveillance industrielle** - contrôle de la qualité de l'air intérieur. Auto-diagnostic des machines. Surveillance de la température des denrées périssables. suivi RFID des biens stockés

¹⁹ 02- FluctuS Developing Applications

III.2. Présentations du HARDWARE

III.2.1. Architecture modulaire

Fluctus est basé sur une architecture modulaire. L'idée est d'intégrer uniquement les modules nécessaires dans chaque dispositif. Ces modules peuvent être modifiée et étendue en fonction des besoins.

Les modules²⁰ disponibles pour intégration dans Fluctus sont classés en:

- ✚ Modules de ZigBee/802.15.4 (2,4 GHz, 868 MHz, 900 MHz).
- ✚ Module GSM / GPRS (quadribande: 850MHz/900MHz/1800MHz/1900MHz)
- ✚ Module UMTS (quadribande EGSM 850/900/1800/1900 MHz)
- ✚ Module WiFi (Redpine RS9110-N-4-24-02)
- ✚ Module PoE (Power over Ethernet)
- ✚ Modules de capteurs (Expansion Board)

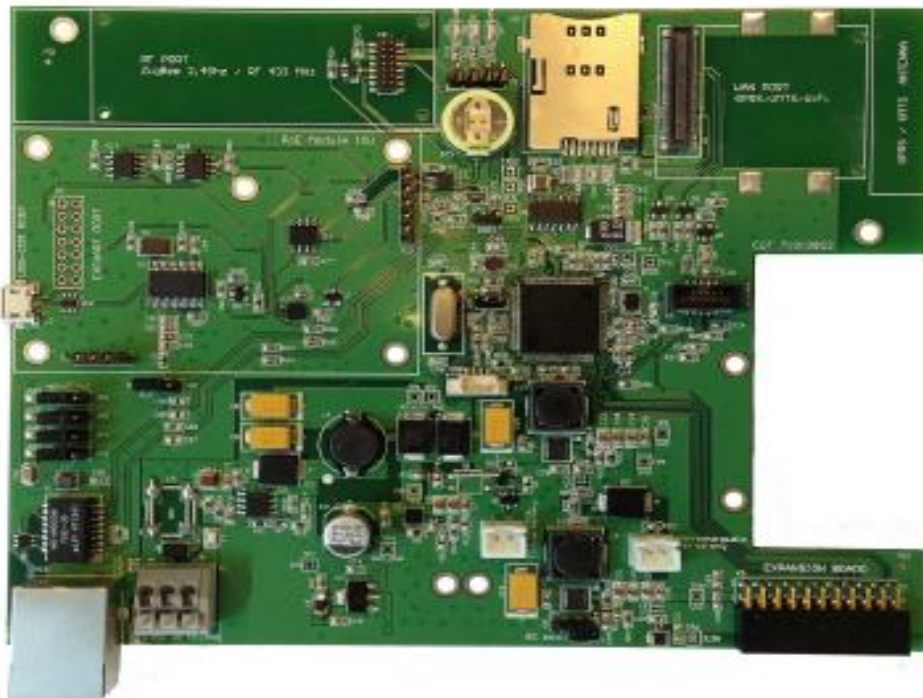


Figure 7 : La carte mère Fluctus

²⁰ Fluctus Technological Training

III .2.2 Caractéristiques de la carte mère Fluctus :

Toutes les caractéristiques de la carte Fluctus sont regroupées dans le tableau et les figures suivants :

CPU	Stellaris LM3S9B90, core ARM Cortex-M3 32bit
CPU Speed	Up to 80MHz
Flash	256 KByte
SRAM	96KByte
Real Time Clock	DS1339U with CR1220 Battery
USB	Virtual COM Device Port
Wan Port	GPRS, UMTS, WiFi
RF Port	Module RF Sub 1GHz or 2.4GHz for Local Wireless Networks
EXP UART	Uart Tx, Rx - 3.3V (alternative to USB Virtual Com)
EEPROM	Parameters - 128 bytes
EEPROM	2 x 256Kb Backup remote software update
Ethernet	10/100 Mbps with MAC address
Alimentation	9 to 24 Vdc
PoE alimentation	Optional
Battery	Li-ion 3,7V rechargeable
	Li-SoCl2 3,6 V not rechargeable
Dimensions	10 x 15 cm
Temperature Range	[-20°C + 65°C]

Tableau 1 : Caractéristiques de la carte mère Fluctus

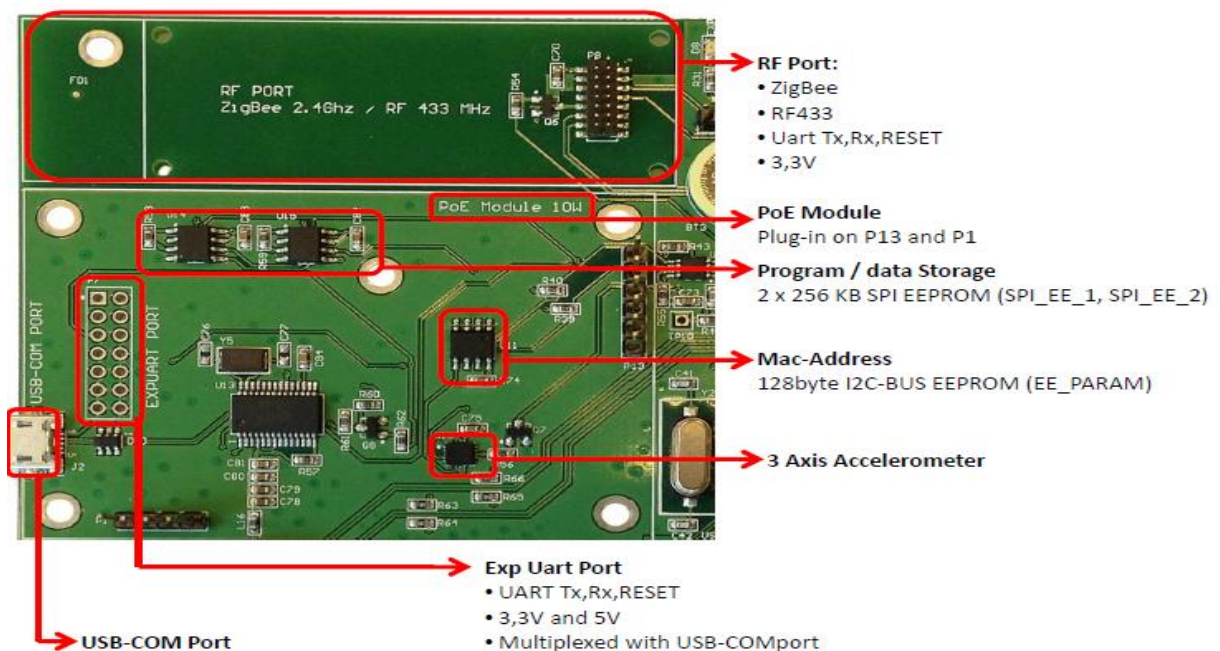


Figure 8 : la carte-mère Fluctus et ces modules d'extension 1

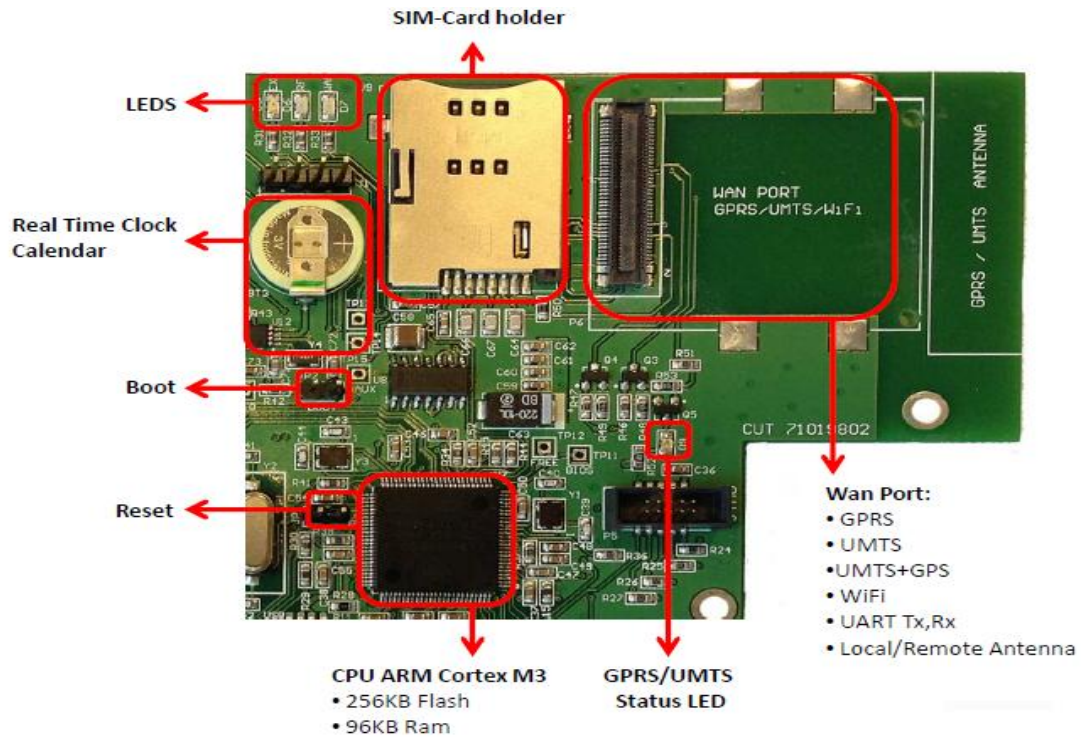


Figure 9 : la carte-mère Fluctus et ces modules d'extension 2

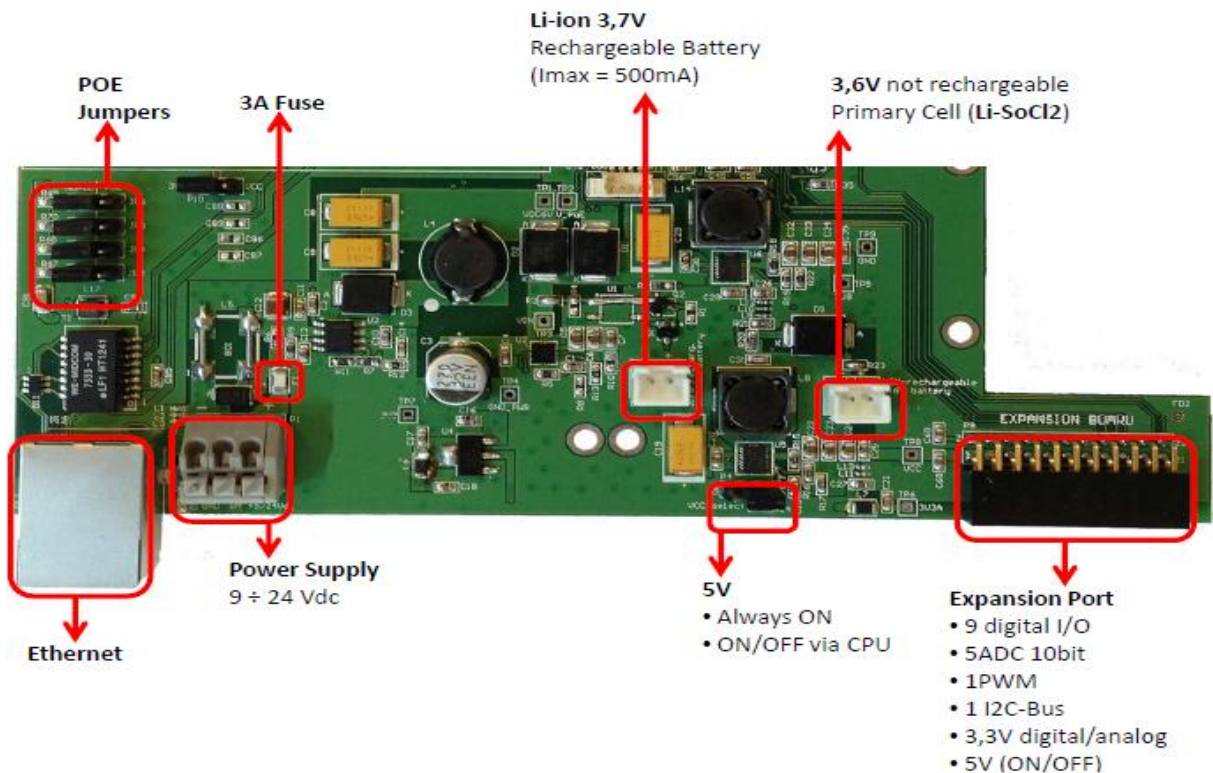


Figure 10 : la carte-mère Fluctus et ces modules d'extension 3

III.2.3 Les Input / Output :

Fluctus peut communiquer avec d'autres dispositifs externes, par l'intermédiaire de différents ports d'entrée / sortie .

III.2.3.1 I/O Analogique

Fluctus dispose de 8 entrées analogiques accessibles dans le connecteur du capteur. Chaque entrée est reliée directement au microcontrôleur. le microcontrôleur utilise 10 bits successifs d'approximation analogique à numérique (ADC). La valeur de tension de référence pour les entrées est 0V (GND). La valeur maximale de la tension d'entrée est de 3,3 V ce qui correspond à la tension d'alimentation générale du microcontrôleur.

III.2.3.2 I/O numérique

Fluctus possède des broches numériques qui peuvent être configurés en tant qu'entrée ou sortie en fonction des besoins de l'application. Les valeurs de tension correspondant aux différentes valeurs numériques seraient :

- 0V pour 0 logique
- 3,3 V pour la logique 1

III.2.3.3 PWM²¹

Broche numérique peut également être utilisé comme PWM de sortie (Pulse Width Modulation) avec laquelle un signal analogique peut être "simulé". il est en fait une onde carrée entre 0V et 3.3V pour laquelle la proportion de temps, où le signal est élevé, peut être modifié de 0% à 100%, simulant une tension de 0 V (0%) à 3,3 V (100%). La résolution est de 8 bits, de sorte que jusqu'à 255 valeurs entre 0-100% peut être configuré

²¹ 88019801_rev11_ENG_FluctuS Developer Guide

III.2.3.4. UART

Il existe trois UART dans Fluctus UART0 ,UART1 et UART2. En outre, il existe plusieurs orifices susceptibles d'être raccordés à ces derniers , à travers deux multiplexeurs différents, un pour chaque un .

- **UART0** est partagée par le port USB et le Socket0. Cette prise est utilisée pour les modules ZigBee, modules RFID.Le multiplexeur dans cet UART contrôle le signal de données qui est par défaut toujours activé à Socket0.
- **UART1** est partagée par quatre ports: Socket1, Prise de GPS, Auxiliar1 et prises Auxiliar2. Cette interface série UART asynchrone est dédié à l'échange de données avec le port "EXPORT" ou avec le convertisseur "USB-COM PORT".
- **UART2** est dédié à l'échange de données avec un module "PORT WAN" (GPRS / UMTS / WiFi).

III.2.3.5. I2C

Le bus de communication I2C est également utilisé dans Fluctus où deux dispositifs sont connectés en parallèle: l'accéléromètre et le RTC. Dans tous les cas, le microcontrôleur agit comme maître tandis que les autres appareils connectés au bus sont des esclaves.

III.2.3.6 USB

USB est utilisée dans Fluctus pour la communication avec un ordinateur ou des périphériques USB compatibles. Cette communication permet au programme de microprocesseur d'être chargé. Pour la communication USB, la UART0 de microcontrôleur est utilisé. La puce FT232RL effectue la conversion à la norme USB.

III.2.4. Horloge en temps réel - RTC

Fluctus dispose d'une horloge²² Realtime Clock intégrée alimenté par batterie,, qui la tient informée de la situation en temps réel et fournissant des fonctions horloge / calendrier /

²² 88019801_rev11_ENG_FluctuS Developer Guide

alarme.

Toute la programmation et le contrôle RTC se fait via le bus I2C.

III.2.5 LEDs

Les trois LED D6, D7 et D8 à bord Fluctus ont un nom qui les relie aux ports de communication, à savoir RF Port, Port WAN e EXP Port. Cependant, leur utilisation est ouverte et à la discrétion du programme d'application.

III.3. Architecture et Système

III.3.1. Concepts

L'architecture de Fluctus est basée sur le microcontrôleur Arm Stellaris LM3S9B90. Cette unité de traitement commence à exécuter le bootloader binaire, qui est responsable du chargement des programmes dans la mémoire, et des bibliothèques compilées précédemment stockées dans la mémoire FLASH, de sorte que le programme principal qui a été créé peut enfin commencer à courir.

Lorsque Fluctus est connecté et lance le chargeur de démarrage²³(bootloader), il ya un temps d'attente (de 62.5ms) avant de commencer la première instruction, ce temps est utilisé pour démarrer le chargement de nouvelles mises à jour des programmes compilés. Si un nouveau programme est reçu à partir de l'USB au cours de cette période, il sera chargé dans la mémoire FLASH (128 Ko) substituer des programmes déjà existants. Dans le cas contraire, si un nouveau programme n'est pas reçu, le dernier programme stocké dans la mémoire commence à fonctionner.

La structure des codes est divisée en deux parties principales: La configuration « setup » et la boucle « loop. ». Ces deux parties du code ont un comportement séquentiel, ils exécutent des instructions dans un ordre défini.

²³ 88019800_rev10_Fluctus Startup Guide

La configuration est la première partie du code, qui n'est exécuté qu'une seule fois lorsque le code est initialisé. Dans cette partie, il est recommandé d'inclure l'initialisation des modules qui vont être utilisées, ainsi que la partie du code qui est seulement important lorsque Fluctus est démarré.

La boucle de partie appelée s'exécute en continu, en formant une boucle infinie. En raison du comportement de cette partie du code, l'utilisation d'interruptions est recommandée d'effectuer des actions avec Fluctus.

Une technique de programmation commune pour économiser l'énergie serait basée sur le blocage du programme (soit le maintien du micro éveillé ou endormi dans des cas particuliers) jusqu'à ce que quelques-uns des interruptions disponibles dans Fluctus montrent que l'événement a eu lieu. De cette façon, lorsque une interruption est détectée, la fonction associée, qui a été préalablement stocké dans un vecteur d'interruption est exécuté. Pour être en mesure de détecter la capture des interruptions au cours de l'exécution du code, une série de drapeaux ont été conçus et activée pour indiquer l'événement qui a généré l'interruption.

III.3.2 Le module WiFi²⁴

Le module WiFi pour la plate-forme Fluctus complète les possibilités de connectivité actuelle permettant la communication directe des nœuds de capteurs avec un routeur WiFi. En plus de cela, cette radio permet la carte Fluctus à envoyer directement l'information à n'importe quel Smartphones sans la



Figure 11 : Module Wifi Redpine RS9110-N-4-24-02

nécessité d'un routeur intermédiaire, ce qui rend possible de créer un réseau de capteurs WiFi partout en utilisant simplement Fluctus et un appareil mobile. Avec cette radio, Fluctus peut établir des connexions HTTP récupération et envoi d'informations sur les serveurs Web et FTP à la fois par des modes normaux et sécurisés

²⁴ Fluctus WiFi Module

(HTTPS / FTPS), ainsi que l'utilisation de TCP / IP et UDP sockets / IP pour se connecter à un serveur sur l'Internet.

IEEE WLAN Standard	802.11 b/g/n
Bit Rate	11 to 56 Mbps
RF Band	2.412 ÷ 2.484 Ghz
Autentication	WPA and WPA-PSK
Supply voltage	3.8V , 280 mA
Temperature range	-40 °C / + 85 °C
Max Tx Power	+15 dBm
Rx Sensitivity	- 97 dBm at 1Mbps - 71 dBm at 65Mbps

Tableau 2 : Caractéristiques du module Wifi Redpine RS9110-N-4-24-02

III.3.3 Le module GPRS²⁵/UMTS²⁶

Les module GPRS et UMTS vous permet d'augmenter la connectivité de la Carte mère Fluctus, afin d'atteindre Fluctus Cloud en temps réel.

Ces module sont équipés d'une antenne à circuit imprimé pour une solution totalement intégrée dans la carte mère.

Il est possible de commander la carte d'extension par:

- Les commandes AT standard
- Bibliothèque de fonctions Fluctus BIOS



Figure 12 : module GPRS Telit GC864-

²⁵ 88019803_rev10_FluctuS AppNote GPRS Sw Update

²⁶ 88019804_rev11_FluctuS AppNote UMTS Sw Update

Band	Quad-band EGSM 850/900/1800/1900 Mhz
GPRS class	10
Supply voltage	3.8V
Tx Power	Class 1 (1W) at 1800/1900 Mhz Class 4 (2W) at 850/900 Mhz
Rx Sensitivity	-107dBm
Maximum Data Rate	14400 Kbps
Temperature range	-40 °C / + 85 °C

Tableau 3 : Caractéristiques du module GPRS Telit GC864-QUAD V2

Module	Telit UC864-E
Band	Quad-band EGSM 850/900/1800/1900 MHz - UMTS 2100 MHz
Supply voltage	3.8V
Tx Power	Class 1 (1W) at 1800/1900 MHz Class 4 (2W) at 850/900 MHz Class 3 (0.25W) at UMTS
Rx Sensitivity	-107dBm
Maximum Data Rate	HSDPA Downlink 7.2 Mbps - Uplink 384 Kbps
Temperature range	-40 °C / + 85 °C

Tableau 4 : Caractéristiques du module UMTS Telit UC864-E

III.3.4 Le module ZigBee²⁷ :

Le module d'extension de ZigBee permet la création facile et rapide des réseaux multi-hop avec des dispositifs alimentés. Cela signifie que les deux dispositifs qui désirent échanger des données dans un réseau ZigBee peuvent dépendre d'autres dispositifs intermédiaires d'être en mesure de le faire avec succès. Il existe trois types d'unités logiques dans un réseau ZigBee : un Coordonnateur, un routeur et un fin périphériques. Un réseau ZigBee se compose d'un nœud de coordonnateur et plusieurs nœuds de routeur et de fin périphériques.

Ce module peut être utilisé en tant que coordonnateur ou routeur.

²⁷ Z-Stack Developer's Guide , de Texas Instruments page 2



Figure 13 : module ZigBee 2,4 GHz 802.15.4

IEEE Standard	802.15.4
RF Band	2.412 ÷ 2.484 Ghz
Supply voltage	3.8V , 90 mA
Temperature range	-40 °C / + 85 °C
Max Tx Power	+20 dBm

Tableau 5 : Caractéristiques du module ZigBee 2,4 GHz 802.15.4

III.3.5 Le port d'extension²⁸ :

Le connecteur ExpPort permet d'interfacer la carte mère avec les différents types de capteurs, et il dispose de pièces dédiées à la fourniture de la logique numérique, analogique, et numérique pour 9 E / S et 5 canaux ADC.

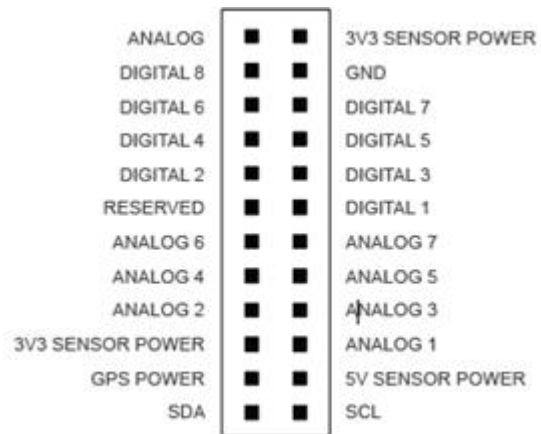


Figure 14 : Connecteur des capteurs

²⁸ 88019801_rev11_ENG_FluctuS Developer Guide

La conception de Fluctus vise à faciliter l'intégration des deux entrées (capteurs) et de sortie (actionneurs)

III.3.5 Le capteur choisi AM2315 ²⁹:

AM2315 est un capteur d'humidité et température, avec une I2C interface.

Ce capteur comprend un capteur de température DS18B20 et un capteur d'humidité capacitif, équipée d'un microcontrôleur interne permettant de relayer les données sur le bus I2C.



Figure 15 : Capteur d'humidité et température AM2315

Les caractéristiques de ce type de capteur sont :

Alimentation	3,5 à 5,5 V_{cc}
consommation	10 mA pendant une mesure
Plage de mesure	- humidité: 0 à 100 % HR - température: -20 à +80 °C
Précision:	- humidité: $\pm 2\%$ - température: $\pm 0,1$ °C
Taux de rafraîchissement	0,5 Hz
Dimensions sonde	$\varnothing 16 \times 98$ mm
Longueur cordon	60 cm

Tableau 6 : Caractéristiques du capteur AM2315

²⁹ <http://www.lextronic.fr/P28862-capteur-de-temperaturehumidite-am2315.html>

Section 2 : Environnement de programmation (Software)

L'environnement de programmation est adapté en fonction du matériel à programmer. Le Microcontrôleur qui doit être programmé dans notre cas sera l'ARM Stellaris LM3S9B90 .

ARM Stellaris LM3S9B90 se programme avec le logiciel IAR Embedded Workbench ou un alternatif. Pour programmer, il faut tout d'abord créer un projet avec différents fichiers que l'on peut rattacher au projet. Tous les fichiers qui sont rattachés au projet seront compilés et injectés dans le processeur. Pour injecter le code compilé dans le processeur, il faut posséder un programmeur JTAG qui se branche sur un port USB et sur le port JTAG du processeur.

III.4. IAR Embedded Workbench :

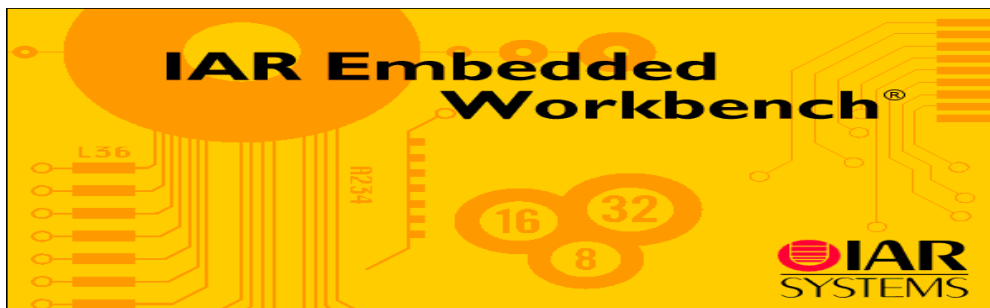


Figure 16 : IAR Embedded Workbench

III.4.1 Introduction à l'IAR Embedded Workbench :

L'outil de développement intégré «IAR Embedded Workbench™» est un environnement de développement intégré très puissant (IDE: Integrated Development Environment), permettant de développer et gérer des applications embarquées sous forme de projets.

C'est une plate-forme de développement, avec toutes les configurations nécessaires pour des ingénieurs de développement. Tous les outils nécessaires aux développements ont été intégrés dans l'environnement de travail, soit: un compilateur C/C++ optimisé pour les applications utilisant un MSP430, un assembleur pour le MSP430, un éditeur de lien XLINK Linker™, une bibliothèque Build d'IAR XAR, un éditeur convivial, un système de management de projet, et un programme de mise au point (debugger) IAR C-SPY™...

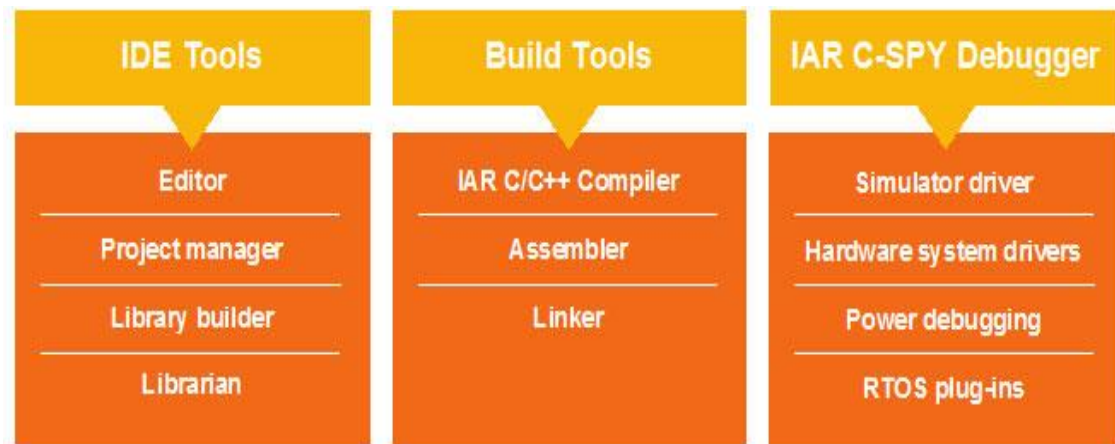


Figure 17: Différent outils de IAR Embedded Workbench

L'environnement «IAR Embedded Workbench» offre des outils complets et optimisés permettant de développer de nouveaux produits compétitifs. Les optimisations de vitesse en circulation permettent à l'IAR Embedded Workbench de générer du code plus rapidement que jamais.

Avec des temps d'exécution les plus courts possible, il est le choix idéal pour le développement d'applications de faible puissance. De sa part la convivialité est améliorée avec un nouveau navigateur source et éditeur de texte.

De sa part, le compilateur (en C / C + +) est le leader mondial et la suite d'outils de débogage, avec le soutien le plus large de MCU, est maintenant encore plus puissant.

IAR Embedded Workbench se compose d'une part, d'un compilateur (C / C + +) de très haute performance, et d'autre part d'une suite d'outils de débogage pour les applications basées sur des microcontrôleurs de 8 , 16 , et 32-bit qui doit être qualifiée comme super fort.

IAR Systems collabore avec tous les principaux fournisseurs de silicium à travers le monde pour que le logiciel prenne en charge plusieurs dispositifs en plusieurs architectures de processeurs.

III.4.2. Eléments clés :

Les éléments clés de cet environnement peuvent être résumés comme suit:

- L'environnement de développement intègre des outils performants de gestion de projet en plus d'un éditeur ;
- Une très bonne optimisation de compilateur C et C++ pour ARM ;
- Le contrôle automatique de règles MISRA C (MISRA C: 2004) ;
- IAR Embedded Workbench possède un puissant débogage pour visualiser la consommation d'énergie en corrélation avec le code source ;
- Débogueur C-SPY® avec un simulateur d'ARM, le soutien et l'appui JTAG pour le débogage RTOS-courant sur le matériel ;
- Les plug-ins de RTOS disponibles chez « IAR Systems » et chez les fournisseurs RTOS ;
- « JTAGjet-Trace » soutient ETM sur tous les cœurs ARM7, ARM9, ARM11 et Cortex-M/R/A.
- Les composants : « JTAGjet », « J-Link », et « J-Link Ultra » Prennent en charge de tous les cœurs ARM7, ARM9, ARM11 et Cortex-M/R/A.
- Plus de 3100 simples projets pour les Cartes d'Evaluation venant de la part des différents constructeurs : Actel, Analog Devices, Aiji Systems, ARM, Atmel, Cirrus Logic, EnergyMicro, Freescale, Fujitsu, Holtek, Keil, LogicPD, Micronas, Nohau, Winbond Electronics, NXP, OKI, Olimex évaluation, ON Semiconductor, Pasat, Phytex, Samsung, ST, Texas Instruments et Toshiba. ;
- Support pour 4 Gbyte d'applications en ARM
- Support de NEON intrinsèque
- Aide en ligne et des Guides d'utilisateur et de référence au format PDF ;

III.4.3 la sûreté de fonctionnement :

La suite IAR Embedded Workbench for ARM du suédois IAR Systems a été certifiée par l'organisme TÜV SÜD en tant qu'environnement qualifié pour le développement d'applications obéissant à des contraintes de sûreté de fonctionnement. Parallèlement, IAR annonce la disponibilité d'un contrat de support spécifique pour les utilisateurs engagés sur des développements critiques au niveau de la sûreté fonctionnelle.

IAR Workbench for ARM a été testé et certifié conforme aux exigences imposées aux outils par la norme CEI 61508, le standard générique international pour la sûreté

fonctionnelle, ainsi que par la norme ISO 26262, dédiée aux systèmes automobiles. L'évaluation a porté sur les éléments afférents au sein des processus de développement d'IAR Systems, ainsi que sur la documentation liée à la sûreté de fonctionnement et le support client. Les mesures d'assurance qualité prises par l'éditeur suédois et le Manuel de sûreté (Safety Manual) associé doivent permettre aux utilisateurs de l'environnement Embedded Workbench for ARM d'effectuer des développements logiciels répondant à n'importe quel niveau de sûreté de fonctionnement SIL (Safety Integrity Level), tel que défini par la norme CEI 61508, ainsi qu'à n'importe quel niveau ASIL (Automotive Safety Integrity Level) de la norme ISO 26262. Selon IAR, tout outil de qualification supplémentaire est inutile.

La version certifiée de l'environnement est fournie avec un certificat de sûreté fonctionnelle, ainsi qu'un rapport du TÜV SÜD et un Manuel de sûreté.

III.5 CoxCox CoIDE :



Figure 17: Logiciel CoxCox CoIDE

III.5.1. Introduction à CoxCox CoIDE:

L'environnement CoxCox CoIDE est construit pour être un environnement hautement intégré de développement d'application pour ARM Cortex M3 et M0 microcontrôleurs basés.

L'IDE inclut tous les outils nécessaires pour développer des solutions logicielles de haute qualité en temps opportun et rentable. Il intègre cobuilder et CoDebugger pour la simplicité et la facilité d'utilisation.



Figure 18: Différent outils de CoCoX CoIDE

Le CoIDE peut être utilisé donc pour l'édition de code, navigation dans le code, la compilation, la liaison, le débogage, la gestion de projet, il peut également être utilisé pour obtenir des composants, de partager des composants et d'échanger des idées.

III.5.2. Eléments clés :

Les éléments clés de cet environnement peuvent être résumés comme suit:

Le réseau de composants :

Le réseau des composants contient une grande quantité de composants libres, les composants sont fournis par CoCoX et par les utilisateurs de CoCoX.

CoCoX a fourni RTOS, gestionnaire de flash, base de données intégrée, pile de protocole et d'autres composants qui sont tous libres et ouverts. Tout le monde peut utiliser ces composants et télécharger leurs propres composants.

Programmation orientée composants :

Dans le développement d'applications intégré, si il n'ya pas de bibliothèques convenables, le travail de développement va devenir très compliqué. Une fois que vous avez les bibliothèques appropriées, tout sera manipulé dans vos mains.

CoCoX composants réseau CoIDE : contient une grande quantité de composants libres, les utilisateurs peuvent choisir les composants appropriés en fonction de leurs propres besoins, et peuvent ainsi utiliser les extraits de code des composants pour construire une application plus rapidement.

Avec un grand nombre de composants et grâce à la documentation détaillée des composants, la programmation sera très simplifiée.

Documentation de composants :

Chaque composant possède une documentation détaillée, y compris la description de composant, les relations de dépendance du composant, les fichiers source des composants, l'utilisation du composant, commentaires et ainsi de suite. CoIDE génère automatiquement la documentation pour les fichiers source. Si le style de commentaire de code est compatible avec doxygen, la documentation sera très détaillée.

Interaction :

Afin d'aider les utilisateurs à résoudre les problèmes rencontrés dans le processus de développement, CoIDE fournit une fonction d'interaction puissante. En CoCox CoIDE, tout peut interagir, comme puce, composant, périphérique, extrait de code et ainsi de suite, les utilisateurs peuvent même poser des questions directement à résoudre leurs problèmes.

Environnement de développement :

CoIDE est basé sur la plate-forme de développement Eclipse, il a les caractéristiques suivantes:

- Editeur CDT Intégré: Vous pouvez modifier et parcourir le code, il est un éditeur complet.
- Lite chaîne d'outils Sourcery G+ + intégrée: Utilisation de la chaîne d'outils gcc, qui est efficace et stable.
- Une interface claire: menus et barre d'outils sont simples, clairs et faciles à utiliser.
- GUI Cadre: Dialogues pour tous les paramètres.

III.5 .3 La terminologie spéciale à CoCox CoIDE:

Cette section décrit certaines terminologies utilisées dans CoCox CoIDE.

Composants : En CoCox CoIDE, le code réutilisable est appelé composant. Un composant peut être une bibliothèque, un ensemble de fichiers source et ainsi de suite. Il doit fournir des fonctions utiles, faciles à comprendre et à utiliser, et le plus important, qui peuvent fonctionner correctement.

Chaque composant possède ses extraits correspondants de code, son utilisation, son documentation et ses commentaires.

Dépendance : Si le composant A appelle le contenu du composant B (connue sous le nom Compilation dépendance), ou composant A ne peut pas exécuter correctement sans composant B (connu comme dépendance de l'application), Nous appelons composant A dépend de composant B.

Lorsque vous vérifiez le composant A, CoIDE sera vérifier automatiquement les composants de la dépendance de composant A. Un composant peut dépendre de plusieurs composants, et peut également être dépendait de plusieurs composants.

Code Snippet : Le code snippet qui est également connu comme un exemple de code, constitue une extension du composant. Si le composant est orienté objet, l'extrait de code sera axée sur l'application. Exemple, une interface PIO peut être connue comme un composant, une fonction utilisant le pilote PIO pour atteindre clignotement de la LED peut être connu comme un code snippet.

Le code snippet ou l'extrait de code est généralement très courte, mais les caractéristiques ne sont pas limitées. Il peut être automatiquement inséré dans le code.

III.6 . Virtual LCD :

LCD virtuel est un logiciel distribué gratuitement pour Windows qui est utilisé pour mettre en œuvre un écran de terminal + clavier pour les cartes électroniques qui ne sont pas équipés de microprocesseur.

LCD virtuel se compose d'une zone de texte tapez les caractères alphanumériques affichage de 40x20, défilement vertical zone de texte (tel que Hyper Terminal) et une zone graphique pour afficher jusqu'à 6 ensembles de données.

L'interface se fait par un système de port COM qui peut être un port série RS-232 ou un adaptateur série / USB ou un autre point de vue de l'interface du système d'exploitation comme un port COM.

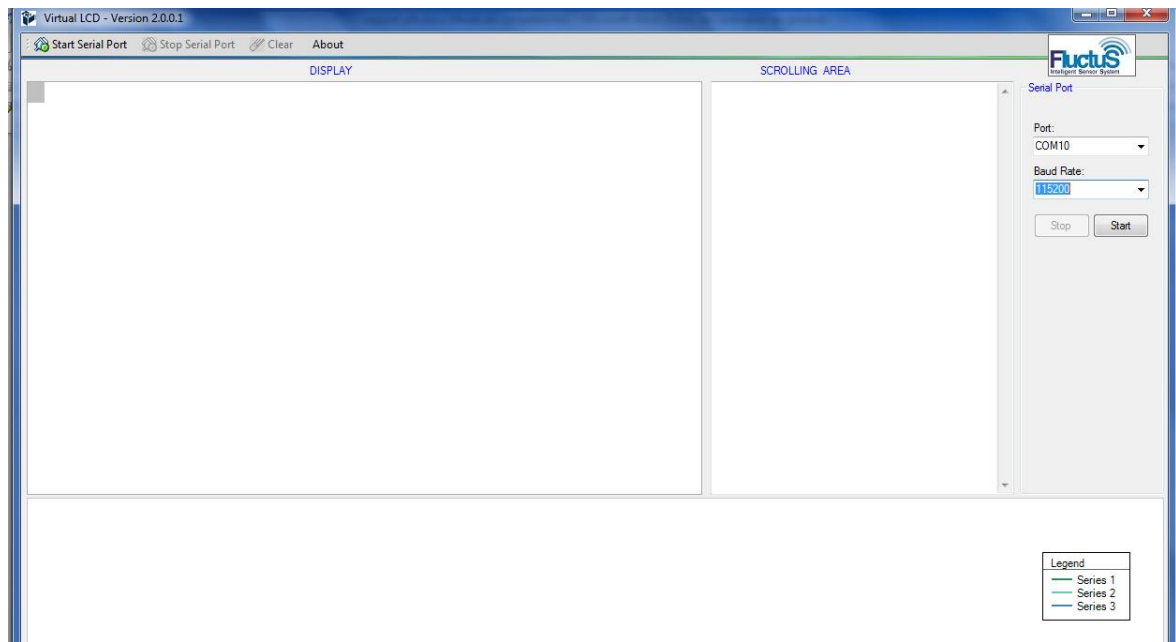


Figure 19 : fenêtre d'accueil de Virtual LCD

Chapitre 4 : Présentation du travail effectué :

IV .1 Présentation du projet :

IV.1.1 Cahier de charge

Afin de bien comprendre et de faire réussir mon projet, j'étais amenée à comprendre l'architecture de la carte d'acquisition (Fluctus) et le fonctionnement du capteur choisi (AM2315).des choix sur les techniques de communications (wifi/Zigbee) entre cartes étaient à faire. L'installation et le développement sous l'environnement IAR Embedded workbench s'imposera. Il m'a fallait avoir une licence permettant la continuité du développement afin de pouvoir terminer le travail et aussi aller au-delà de ça.

IV.1.2 Méthode de travail :

En accord avec mon encadrant nous avons décidé d'organiser le travail de la manière la plus appropriée dans le cadre de ce projet .

- ✓ Avoir un contact avec le labo de recherche « CUBIT » pour la collaboration dans le cadre du projet.
- ✓ Configurer le capteur de température et d'humidité AM2315, dans un premier temps.
- ✓ Passer à la partie du transfert des données acquises
- ✓ Un diagramme de Gantt (et Pert) a été réalisé montrant le déroulement de projet et la répartition de tache. Ce diagramme peut évoluer suivant le déroulement de projet.

IV.1.3 Organisation du travail :

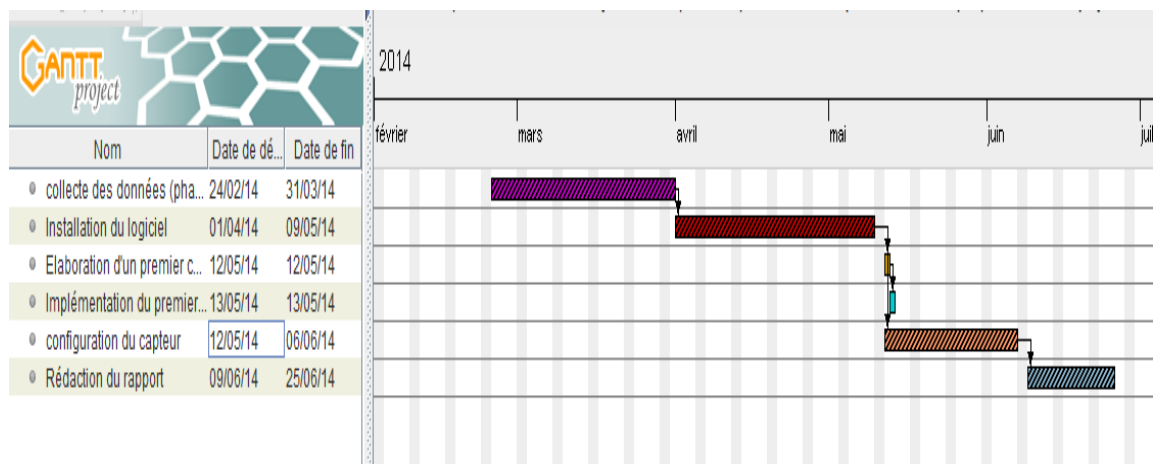


Figure 20: diagramme de Gantt de mon projet

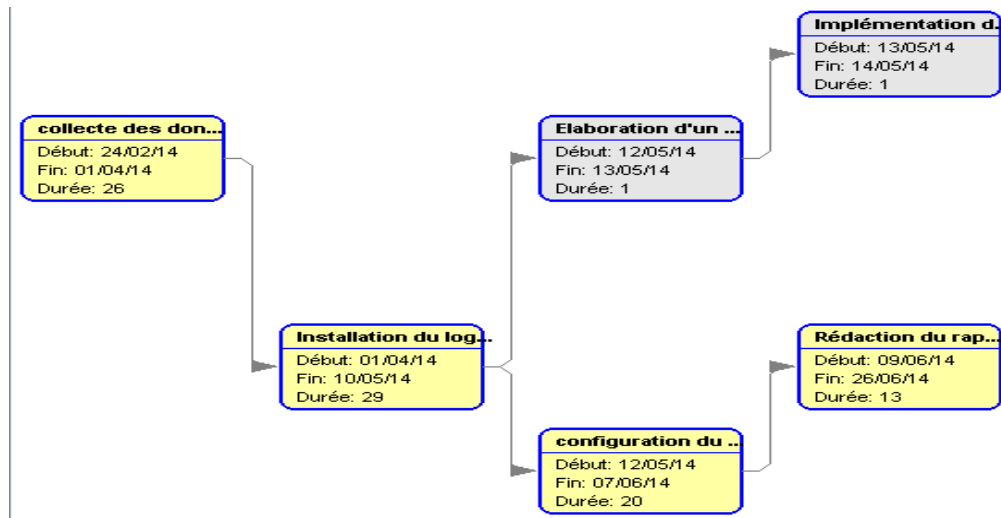


Figure 21: diagramme de Pert de mon projet

IV.1.4 Contraintes liés au projet :

- Contrainte logiciel (licence expiré avant de terminer le travail)
- Contraintes matériels :
 - ✓ un module wifi manquant
 - ✓ Routeur ZigBee non disponible à la FST

IV.1.5 Premier programme de test :

Pour tester le hardware et s'assurer qu'il est en bonne état, j'ai été amenée à charger un premier programme du test. Pour cela il fallait suivre les étapes ci-dessous :

Tout d'abord faire appel à un projet Empty disponible sur le site officiel de Fluctus contient des bibliothèques et des bios permettant d'initialiser la carte Fluctus.

Remarque :

Sur ce chapitre vous pouvez remarquer que les figures utilisées sont sous le logiciel CooCox CoIDE, au lieu de l'IAR, cela est dû au problème de licence comme j'ai déjà cité auparavant, et parce que malheureusement j'ai pas pu garder des capteurs d'écran pendant le développement, mais les fichier Hex je l'ai toujours sur mon pc.

Le programme principal de test est :


```

VL_Clear();
  VL_DisableCurs();
  VL_Curs(0,14);
  VL_Puts("TEST MENU");
  VL_Curs(2,1);
  VL_Puts(" 0. RF port          1. WAN port");
  VL_Curs(3,1);
  VL_Puts(" 2. BATT.CHARGER      3. LEDs");
  VL_Curs(4,1);
  VL_Puts(" 4. RTC                5. EEPROMs");
  VL_Curs(5,1);
  VL_Puts(" 6. ACCELEROMETER     7. ETHERNET");
  VL_Curs(6,1);
  VL_Puts(" 8. RESET              9. EXPBOARD");
  VL_Curs(7,1);
  VL_Puts(" 10. TH Sensor");

  c = VL_WaitKey();
  VL_Clear();
  
```

Ce programme permet l'affichage d'un menu sous VLCD permettant d'accéder à une des applications ou des modules de la carte.

Après une compilation avec succès, l'implémentation sur carte donne Le résultat suivant :

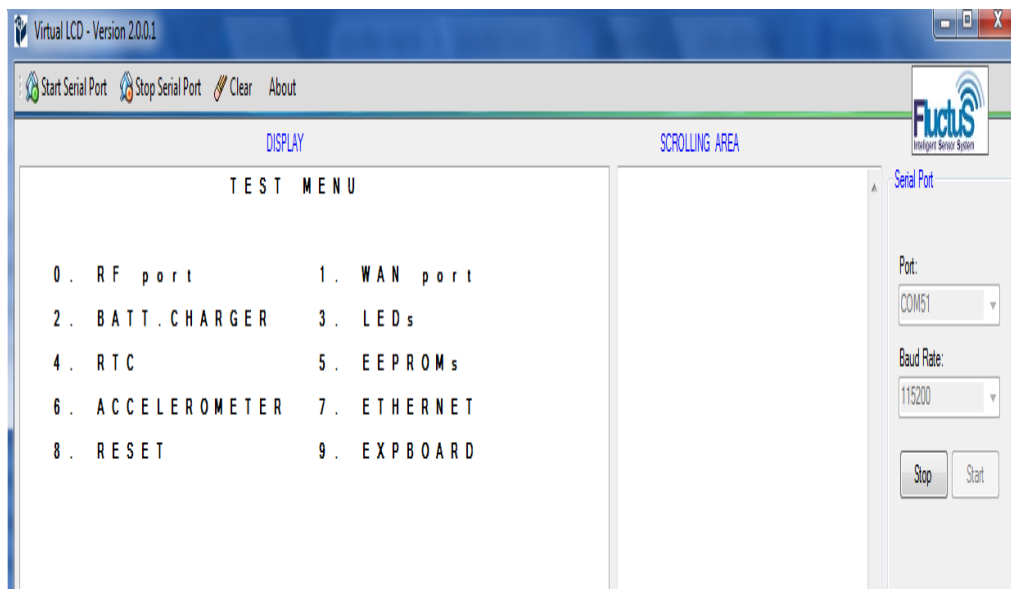


Figure 22 : fenêtre de virtual LCD

IV.2 Programme de Configuration du capteur :

Ce programme est un test de mesure de température et d'humidité à l'aide du capteur AM2315-I2C , et affichage du résultat dans la fenêtre Terminal Virtual LCD.

L'intérêt essentiel de ce programme est de détailler toutes les étapes de mise en œuvre du capteur, dès la détection sur le bus jusqu'à l'affichage du résultat de mesure .

IV.2.1 Structure globale du programme

Ce programme comprend :

- un entête déclaratif
- une partie « configuration » qui ne sera exécutée qu'une fois
- une partie constituée d'une boucle sans fin que le programme répètera à l'infini : c'est le cœur du programme.

IV.2.2 Déroulement du programme

Le programme se déroule de la façon suivante :

- Après avoir pris en compte les instructions de la partie déclarative,
- puis après avoir exécuté la partie configuration
- le programme bouclera sans fin , exécutant de façon répétée le code compris dans la boucle sans fin.



Figure 23: Les grandes étapes de configuration

IV.3 Détails du programme

IV.3 .1 l'entête déclarative :

C'est généralement les fichiers header « .h » qui contient les variables globales et les constantes.

```

usr_main.c  am2315.c  *am2315.h
4 /* Definizioni di tipo ----- */
5
6 typedef struct
7 {
8     uchar          State;
9     signed int16   Temp;           // la valeur de Temperature
10    int16           Hum;           // la valeur d'Humidité
11
12 }AM2315STRUCT;
13
14 /* Definition des constantes ----- */
15
16 #define AM2315_ADDR          0x5C    // Address de AM2315
17
18 #define AM2315_WRITE         0x10    // écriture dans registre de commande
19 #define AM2315_READ         0x03    // lire les données registre de commande
20 |
21 #define I2C_WRITE           0        // définir les commandes de lecture ou d'écriture
22 #define I2C_READ            1
23
24 #define AM2315_HUM_H_REG    0x00    // Registri d'Accelerometre
25 #define AM2315_HUM_L_REG    0x01
26 #define AM2315_TEMP_H_REG   0x02
27 #define AM2315_TEMP_L_REG   0x03
28
29
30 #define AM2315_ON            1        // accelerometre d'etat
31 #define AM2315_OFF          0
32
33
34 /* Definition des Prototypes ----- */
35
36 uchar  AM2315I11Read (uint16 addr, uchar len, uchar* p);
37 uchar  AM2315read (void);
38 uchar  AM2315readTot (void);
39 unsigned short AM2315crc(uchar *ptr, uchar len);

```

IV.3.2 Configuration initiale :

A cette étape, l'initialisation des bus I2C sera la première chose à faire, puis la détection du capteur présent sur la broche, la suite est exécutée seulement si un capteur est détecté (c-a-d selon la valeur de retour de la fonction read) . si un capteur est détecté son code d'adresse sera stocker dans le tableau d'adresse, et en fin le control du CRC aura lieu « **contrôle de redondance cyclique** » (c'est le dernier octet de l'adresse 64bits est un code de contrôle CRC).

Cela peut être schématisé comme suit :

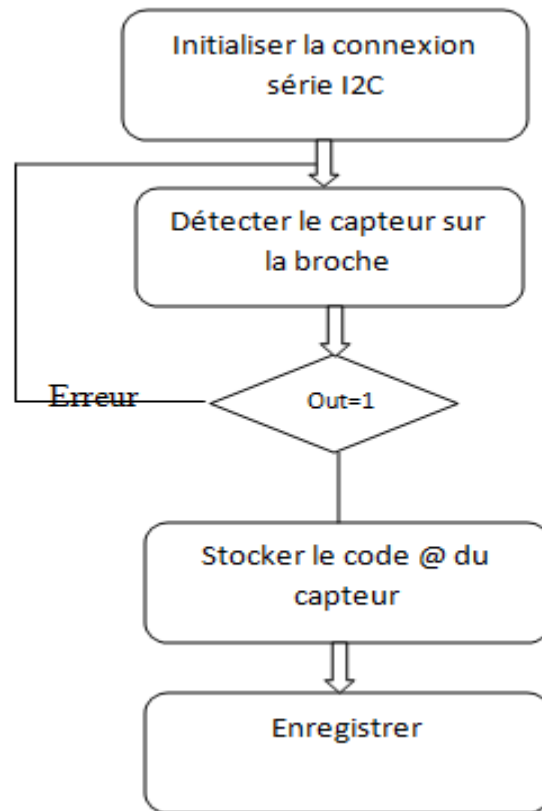


Figure 24 : schéma de la configuration initiale

IV.3.3 Implémentation du protocole I²C

- Les Trames I²C

Les trames I²C utilisées sont sous la forme suivante :

- La première trame a pour but de récupérer une ou plusieurs informations.

Comme il n'y a que le maître qui peut mettre un terme à la communication, le programme doit permettre de savoir quand la communication va être terminée.

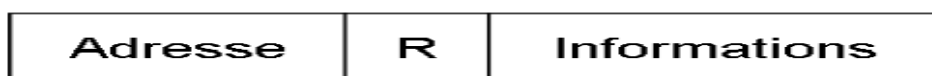


Figure 25 : Trame de réception d'informations.

- La seconde trame I²C a pour but de demander une information. La trame indique que le maître va envoyer des codes au capteur via le bit d'écriture (W). Le code de la commande permet de définir les informations que l'on recherche et l'ID du capteur permet de différencier si l'on s'adresse à la carte, à un capteur en particulier ou à tous les capteurs.



Figure 26: Trame de demande d'informations.

- Les Opérations

L'utilisation de ces trames permet de réaliser plusieurs opérations.

La première opération est l'initialisation. Elle permet à la carte mère de créer la structure des modules qu'ils interrogent, ainsi que celle des capteurs qui lui sont associés.

L'opération se termine une fois que toutes les informations ont été reçues. L'initialisation sert à configurer la structure du côté de la carte mère.

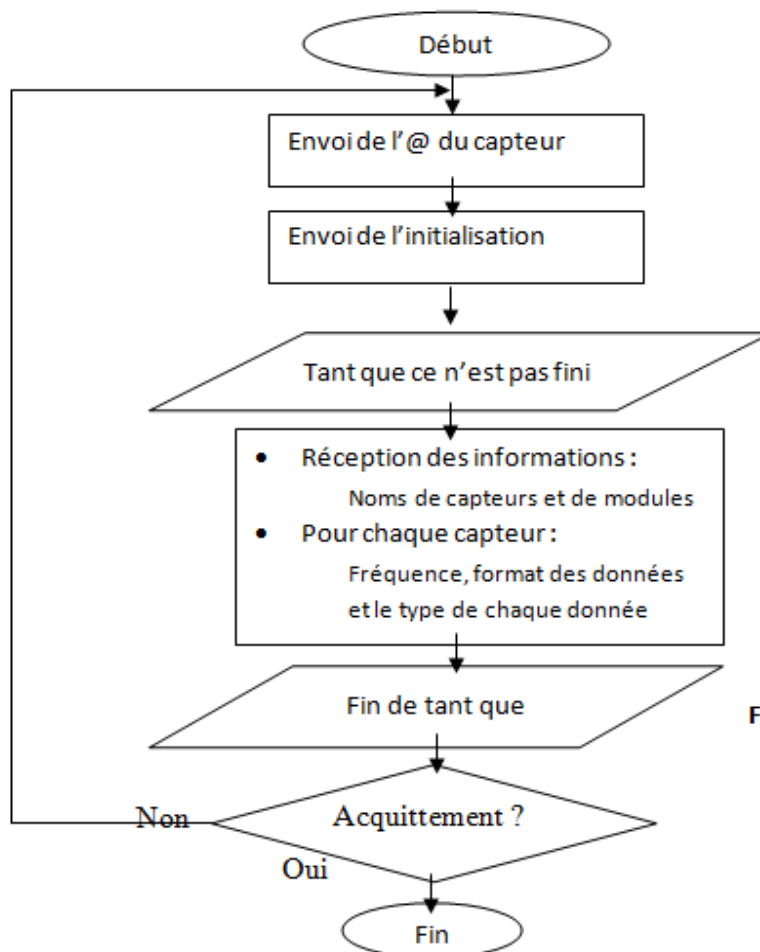


Figure 27 : organigramme de la commande d'initialisation

L'opération suivante permet de récupérer une information de la structure stockée en mémoire du processeur de la carte. L'opération de réception est la plus utilisée. Puisque l'initialisation n'a lieu qu'au démarrage ou au redémarrage de la carte mère. Cette opération a pour but de recueillir les données des capteurs.

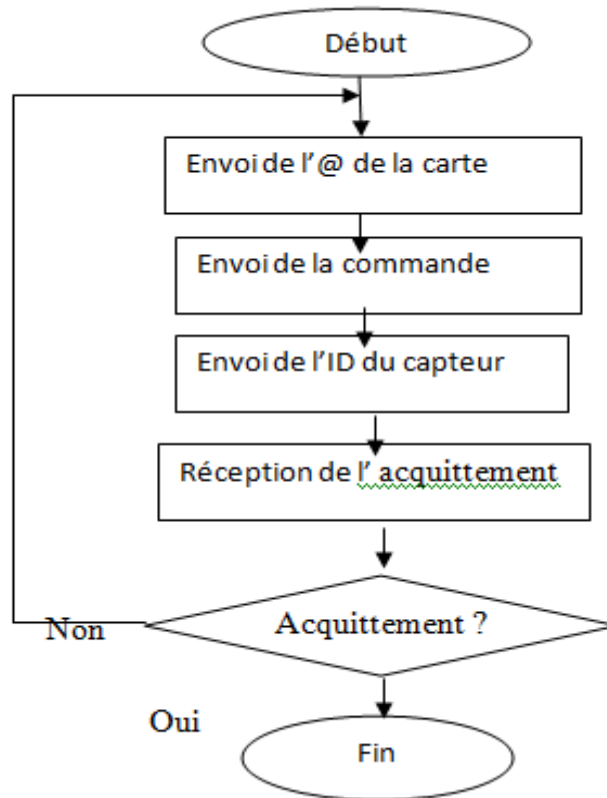


Figure 28 : organigramme de la commande de réception

IV.3.4 Le code en C de la configuration initiale :

Le code d'initialisation sera bien détailler et commenter en Annexe (Voir Annexe 1)

IV.3.5 Calcule du CRC :

Cyclic Redundancy Check. Code (polynômial) de redondance cyclique. Le CRC est utilisé pour se prémunir contre les pertes d'informations ou leur altération en créant une

redondance limitée permettant de garantir la non-altération du message. Les CRC comprennent 16 ou 24 bits. Pour notre capteur c'est sur 16bits.

Le code en C de la fonction CRC est le suivant :

```
/* Calculate the crc of the message */  
  
unsigned short AM2315crc(uchar *ptr, uchar len)  
{  
    unsigned short crc = 0xFFFF;  
    uchar i;  
  
    while(len--)  
    {  
        crc ^= *ptr++;  
        for(i=0;i<8;i++)  
        {  
            if(crc & 0x01)  
            {  
                crc>>=1;  
                crc^=0xA001;  
            }  
            else  
            {  
                crc >>=1;  
            }  
        }  
    }  
}
```

IV.3.6Le programme main :

Le programme cœur contient la fonction boucle permettant la continuité d'affichage de l'humidité et de la température sur l'interface VLCD.

La fonction loop en C est la suivante :

```
//AM2315start();
while(c != K_ESC)
{
    if (VL_IsKey()) c = VL_GetKey();

    if( AM2315readTot ())
    {
        if( (AM2315struct.Hum >0 && AM2315struct.Hum <1000 ) )
        {
            if( AM2315struct.Temp > -200 && AM2315struct.Temp < 800)
            {
                VL_Curs(2,1);
                VL_Puts("                ");
                VL_Curs(3,1);
                VL_Puts("                ");

                VL_Curs(2,1);
                sprintf((char *)kk,"Hum. -> %03d    [%]", AM2315struct.Hum/10);
                VL_Puts(kk);
                VL_Curs(3,1);
                sprintf((char *)kk,"Temp.-> %03d,%02d [°C]", (AM2315struct.Temp/10), (uint16)(AM2315struct.Temp%10));
                VL_Puts(kk);

                VL_DatoGraph (0,0, AM2315struct.Temp/10);           //
                VL_DatoGraph (1,0, AM2315struct.Hum / 10); //

                waitMsec(3000);
            }
        }
    }
}
```


Conclusion

Quand on parle actuellement à propos des réseaux informatiques, on évoquera certainement, une intégration à différentes échelles de ces réseaux dans la vie humaine quotidienne. Hier, les réseaux LAN, MAN, et WAN s'ingéniaient à nous interconnecter et aujourd'hui, les PAN (Personal Area Network) s'intéressent à notre confort et à notre protection.

Généralement, quand on parle des PAN, on fait référence aux réseaux des capteurs sans fil qui, comme déjà avancé tout au cours de ce travail, présentent un large domaine d'application allant du militaire à l'environnemental passant par différents domaines touchants la vie quotidienne des hommes et principalement le domaine agricole qui constitue actuellement un secteur économique majeur, une importance qui se mesure en termes d'espaces, d'emplois et d'économie.

En effet, l'apport économique de l'agriculture de précision (la notion qui désigne l'utilisation des réseaux des capteurs sans fil dans l'agriculture) incite les entreprises agricoles à mettre le paquet dans la recherche scientifique. Jusqu'à présent les moyens utilisés ne sont pas à la hauteur car le thème de l'agriculture de précision est relativement nouveau, mais des avancées significatives ont été réalisées. Et c'est dans ce cadre là que le sujet de mon projet de fin d'étude pourra être classé.

Et comme synthèse de travail, je résume comme suite :

La première partie était dédiée dans son premier chapitre à la présentation de la notion d'irrigation intelligente, au cours de cette partie, j'ai essayé de donner une première vue d'ensemble sur la crise mondiale de l'eau, sa situation actuelle, ses principales causes et les solutions envisagées et à envisager pour faire face à cette crise, avant de passer à une brève présentation de la notion d'irrigation intelligente, ses types, ses avantages, ses inconvénients, et les obstacles rencontrés lors de la mise en place de ce genre de systèmes. Toujours pour la première partie, j'ai essayé dans le deuxième chapitre de mettre la lumière sur la notion de réseau des capteurs sans fil, ses caractéristiques, ses limites, son architecture et son fonctionnement.

La deuxième partie était dédiée dans son premier chapitre à la description du Hardware et du software, j'ai essayé de présenter la carte d'acquisition Fluctus, son

architecture modulaire, ses différents modules et le capteur d'humidité et de température AM2315, puis passer à une présentation du logiciel de développement IAR Embedded Workbench ainsi l'interface Virtual LCD. Et pour le deuxième chapitre de cette dernière partie, j'ai essayé de présenter mon travail effectué.

Le fruit de ce travail est le bon fonctionnement du capteur qui permet d'effectuer un relevé d'humidité du sol et de la température mais l'intégration dans le noeud n'est pas complètement opérationnelle : Le protocole de communication n'est pas complètement intégré.

En guise de conclusion, et d'un point de vue personnel, je peux confirmer que le sujet traité : «Configuration et test d'un système intelligent basé sur des capteurs pour l'acquisition de données agroenvironnementales» m'était bénéfique : d'un côté il m'a permis de découvrir un nouveau domaine, et d'un autre, il m'a donné l'occasion d'apprendre une nouvelle manière de travailler, d'analyser et de programmer, avec des contraintes techniques et matérielles très importantes.

Bibliographie

<u>Titre de travail</u>	<u>Type de travail</u>	<u>Auteur</u>	<u>Année</u>	<u>Edition</u>
« La Mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour l'irrigation intelligente, »	Mémoire de fin d'études	BOUZIDI Zeyneb et BENAMEUR Amina		-
« Eau »	Livre	Camdessus, B.Badré, I.Chéret, P- F.Ténière- Buchot	2004	Fayard
« Guide d'économiser d'eau en arrosage »	Livre	Rain Bird corporation	2014	-
« produire plus avec moins »	Livre	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)	2011	-
« Introduction aux réseaux de capteurs sans fil »	Travail de recherche	Laboratoire STIC à l'université Abou- bekr Belkaid Tlemcen, Algérie	2013	-
« Protocole de sécurité Pour les Réseaux de capteurs Sans Fil »	PFE	Samir ATHMANI Université Hadj Lakhder - Batna, Algérie	2010	-
« Développement d'une bibliothèque de capteurs »	Rapport	Mr- FARES Abdelfatah Université Montpellier2, France	2012	
« La consommation d'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil »	Etude bibliographique	Sofian MOAD, IFSIC-Rennes 1	2008	

« FluctuS Intelligent Sensor System», «FluctuS Developing Applications», et «FluctuS Technological Training»	Documentations diverses	« CUBIT corporation »	2014	-
Z-Stack Developer's Guide ,	Guide d'utilisation	Texas Instruments corporation	2014	-

Webiographie

<u>Nom de domaine</u>	<u>Nature</u>	<u>Titre / Auteur / propriétaire</u>	<u>Année</u>
www.unesco.org	Article	La science pour le XXIe siècle : Un nouvel engagement	1999
www.suresnes.fr	Livret	« La consommation de l'eau » / SURESNES	2013
www.itunews.itu.int	Article	« Une technique d'irrigation intelligente pour une agriculture durable	2014
www.icriq.com	Article	ALLEN Dessureault	2006
wikimemoires.com	Etude	« wikipédia »	2006
Wikipedia.org	L'encyclopédie libre	« wikipédia »	-
www.fao.org	Article	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)	2011

Annexes

Annexe 1 :

```
#include "global.h"
#include "am2315.h"

/* Definition des variables globales -----*/
AM2315STRUCT AM2315struct;
/* Procedure -----*/
/* Read n byte from AM2315
inp : addr = address to start to read
      len = number of byte to read
      p = destination buffer */

uchar AM2315IIRead (uint16 addr, uchar len, uchar* p)
{
    uchar i, dat2[20], a, b;
    unsigned short check;

    // Start bit + cmd write + address
    MAP_I2CMasterSlaveAddrSet(I2C0_MASTER_BASE, AM2315_ADDR, I2C_WRITE);
    MAP_I2CMasterDataPut(I2C0_MASTER_BASE, AM2315_READ);
    MAP_I2CMasterControl(I2C0_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_SEND_START);
    while(I2CMasterBusy(I2C0_MASTER_BASE));
    MAP_I2CMasterDataPut(I2C0_MASTER_BASE, (uchar)addr);
    MAP_I2CMasterControl(I2C0_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_SEND_CONT);
    while(MAP_I2CMasterBusy(I2C0_MASTER_BASE));
    MAP_I2CMasterDataPut(I2C0_MASTER_BASE, len);
    MAP_I2CMasterControl(I2C0_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_SEND_FINISH);
    while(MAP_I2CMasterBusy(I2C0_MASTER_BASE));
    // Start bit + cmd write + address
    Delay_us(100);
    MAP_I2CMasterSlaveAddrSet(I2C0_MASTER_BASE, AM2315_ADDR, I2C_WRITE);
    MAP_I2CMasterDataPut(I2C0_MASTER_BASE, AM2315_READ);
    MAP_I2CMasterControl(I2C0_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_SEND_START);
    while(I2CMasterBusy(I2C0_MASTER_BASE));
    Delay_us(100);
    MAP_I2CMasterDataPut(I2C0_MASTER_BASE, (uchar)addr);
    MAP_I2CMasterControl(I2C0_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_SEND_CONT);
    while(MAP_I2CMasterBusy(I2C0_MASTER_BASE));
```

```
Delay_us(100);
MAP_I2CMasterDataPut(I2CO_MASTER_BASE, len);
MAP_I2CMasterControl(I2CO_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_SEND_FINISH);
while(MAP_I2CMasterBusy(I2CO_MASTER_BASE));

Delay_us(1500);

// Start bit + cmd write + address
MAP_I2CMasterSlaveAddrSet(I2CO_MASTER_BASE, AM2315_ADDR, I2C_READ);
MAP_I2CMasterControl(I2CO_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_RECEIVE_START);
while(MAP_I2CMasterBusy(I2CO_MASTER_BASE));
dat2[0] = (uchar) MAP_I2CMasterDataGet(I2CO_MASTER_BASE);    // Receive function code

Delay_us(100);
MAP_I2CMasterControl(I2CO_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_RECEIVE_CONT);
while(I2CMasterBusy(I2CO_MASTER_BASE));
dat2[1] = (uchar) MAP_I2CMasterDataGet(I2CO_MASTER_BASE)    // Receive number of bytes read

Delay_us(100);
MAP_I2CMasterControl(I2CO_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_RECEIVE_CONT);
while(I2CMasterBusy(I2CO_MASTER_BASE));
*p = (uchar) MAP_I2CMasterDataGet(I2CO_MASTER_BASE);    // Receive first data byte
dat2[2] = *p;
p++;

if (len > 1)
{
    for (i = 0; i < len - 1; i++)
    {
        Delay_us(100);
        MAP_I2CMasterControl(I2CO_MASTER_BASE,
I2C_MASTER_CMD_BURST_RECEIVE_CONT);
        while(I2CMasterBusy(I2CO_MASTER_BASE));
        *p = (uchar) MAP_I2CMasterDataGet(I2CO_MASTER_BASE);
        dat2[3+i] = *p;
        p++;
    }
}
}
```

```
Delay_us(100);
MAP_I2CMasterControl(I2CO_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_RECEIVE_CONT);
while(I2CMasterBusy(I2CO_MASTER_BASE));
a = (uchar) MAP_I2CMasterDataGet(I2CO_MASTER_BASE);           // Receive CRC low byte

Delay_us(100);
MAP_I2CMasterControl(I2CO_MASTER_BASE, I2C_MASTER_CMD_BURST_RECEIVE_FINISH);
while(MAP_I2CMasterBusy(I2CO_MASTER_BASE));
b = (uchar) MAP_I2CMasterDataGet(I2CO_MASTER_BASE);           // Receive CRC hi byte

check = (uchar) a;
check |= (int16) (b<<8);

if( AM2315crc(dat2, len+2) == check) return 1;
else
return 0;
}

/* Calculate the crc of the message */

unsigned short AM2315crc(uchar *ptr, uchar len)
{
    unsigned short crc = 0xFFFF;
    uchar i;

    while(len--)
    {
        crc ^= *ptr++;
        for(i=0;i<8;i++)
        {
            if(crc & 0x01)
            {
                crc>>=1;
                crc^=0xA001;
            }
            else
            {
                crc >>=1;
            }
        }
    }
}
```



```
/* Read temperature and humidity sensor
out: 0=error, 1=ok e update AM2315struct */

uchar AM2315read (void)
{
uchar dat;

Delay_us(2000);

if (! AM2315IIRead(AM2315_HUM_H_REG,1,&dat)) return 0;           // Humidity
AM2315struct.Hum = (int16) (dat<<8);
Delay_us(2000);
if (! AM2315IIRead(AM2315_HUM_L_REG,1,&dat)) return 0;
AM2315struct.Hum |= (uchar) dat;

Delay_us(2000);
if (! AM2315IIRead(AM2315_TEMP_H_REG,1,&dat)) return 0;         // Temperature
AM2315struct.Temp =(signed int16) (dat<<8);
Delay_us(2000);
if (! AM2315IIRead(AM2315_TEMP_L_REG,1,&dat)) return 0;
AM2315struct.Temp |= (uchar) dat;
return(1);
}
/* Read temperature and humidity sensor
out: 0=error, 1=ok and update value in AM2315struct */

uchar AM2315readTot (void)
{
uchar dat[30];
uchar dat2;

Delay_us(2000);

if (! AM2315IIRead(AM2315_HUM_H_REG,4,dat)) dat2 = 0;           // Humidity
else
{
    AM2315struct.Hum = (256*dat[0]+dat[1]);
    AM2315struct.Temp = (256*dat[2]+dat[3]);
    dat2 =1;
}
}
```