



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen  
Faculté des Sciences  
Département d'Informatique

## Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

*Option: Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D)*

## Thème

**Réalisation d'un prototype d'un réseau de capteurs sans fil dédié à l'agriculture de précision**

Réalisé par :

- Mlle Chaouche Hanane

Soutenue en Juin 2015 devant le jury composé de MM.

- |                         |             |
|-------------------------|-------------|
| - Mr. BENAMAR Abdelkrim | (Président) |
| - Mme. LABRAOUI Nabila  | (Encadreur) |
| - Mr. BEKARA Chakib     | (Examineur) |
| - Mr. BELHOUCINE AMINE  | (Examineur) |

Année universitaire: 2014-2015

## *Remerciements*

*Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans la volonté de DIEU qui m'a offert santé, force, courage et volonté jusqu'au dernier moment. Je te remercie DIEU pour ça et pour tout le reste.*

*Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont aidés de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ; je pense particulièrement à :*

*- Madame **Labraoui Nabila**, non seulement pour avoir accepté de m'encadrer et ainsi me faire profiter de ses connaissances, mais aussi pour sa patience et pour la totale confiance qu'elle m'a accordée.*

*- Mes parents pour leurs encouragements, leurs soutiens et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.*

*- Mes sœurs et mes frères qui ont toujours su être là dans tous les moments, les bons comme les difficiles.*

*- Enfin, je ne peux pas oublier de remercier mon amie Halima et toutes mes amies sans exception.*

*Mes remerciements vont également à Monsieur le président **Mr BENAMAR Abdelkrim** pour l'honneur qu'il m'a fait de présider le jury de soutenance, et les membres du jury **Mr BEKARRA Chakib** et **Mr BELHOUCINE Amine**, d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission d'examineur.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes parents qui ont éclairé mon chemin et qui m'ont encouragé et soutenue tout au long de mes études, et à qui je dois tout ce travail est le fruit de leurs encouragement et sacrifices.*

*A ma grand-mère pour sa douceur et sa gentillesse et que Dieu le tout-puissant la garde en bon santé.*

*A la mémoire de mon cher grand-père qui nous a quitté il y a très peu de temps que Dieu le tout puissant s'accorde son paradis éternel.*

*A mes sœurs Rahma et Hadjer que je leur souhaite une vie pleine de joie et de réussite et mon beau-frère Omar.*

*A mes frères Anes et Nassim en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.*

*A mes tantes, mes oncles, mes cousins et mes cousines. Et a toute ma famille "Chaouche" et "Aliane".*

*A tous ceux qui je compte pour eux et qui comptent pour moi.*

## Résumé

Comme les réseaux de capteurs ont émergé comme une nouvelle zone de recherche passionnante, un de ces domaines prometteurs est l'agriculture de précision où les RCSF peuvent fournir un support important qui facilitera les pratiques agricoles et qui peut moderniser et remplacer certaines des techniques traditionnelles.

Dans ce mémoire, nous mettons en œuvre un prototype pour l'agriculture de précision et le contrôle d'environnement qui permet de récupérer une des données les plus fondamentales requises pour l'agriculture de précision, à savoir la teneur en eau du sol. Ce prototype est composé d'un nœud MicaZ, d'une sonde diélectrique EC-5 de Decagon et une carte d'acquisition MDA300. Notre système pourrait être un bon point de départ d'un irrigateur intelligent.

**Mots clés :** Réseaux de capteurs sans fil, prototype, agriculture de précision.

## Abstract

As sensor networks have emerged as a new exciting research area, one of these promising areas is precision agriculture where WSN can provide important support that can facilitate agricultural practices and modernize or replace some traditional techniques.

In this paper we propose a prototype for precision agriculture and environmental control that retrieves one of the most fundamental data required for precision agriculture: the soil moisture. The prototype consists of a MicaZ node, an EC-5 sensor Decagon and MDA300 acquisition card. Our system could be a good starting point for a smart irrigator.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, prototype, precision agriculture.

## ملخص

كما ظهرت شبكات الاستشعار كمنطقة البحوث الجديدة والمثيرة واحدة من هذه المناطق الواعدة هو الزراعة الدقيقة حيث WSN يمكن أن توفر دعما كبيرا لتسهيل الممارسات الزراعية والذي يمكن أن تطور أو تحل محل بعض الأساليب التقليدية.

في هذا البحث نقترح نموذجا أوليا للزراعة الدقيقة والتحكم البيئي الذي يقوم باسترداد واحدة من البيانات الأساسية المطلوبة للزراعة الدقيقة في المحتوى المائي للتربة، ويتكون النموذج الأولي من بطاقة الاكتساب MicaZ و استشعار EC-5 معشر الزوايا و MDA300 يمكن أن يكون نظامنا نقطة انطلاق جيدة للري الذكية.

**كلمات البحث :** شبكات الاستشعار اللاسلكية، النموذج، الزراعة الدقيقة.

# I. Table de Matière

INTRODUCTION GENERALE.....	I-4
----------------------------	-----

## Chapitre I : Concepts généraux sur les réseaux de capteurs

I. INTRODUCTION.....	7
II. LES CAPTEURS.....	7
II.1- DEFINITION D'UN CAPTEUR.....	7
II.2- ARCHITECTURE D'UN NŒUD CAPTEUR .....	8
II.3- TYPES DE CAPTEURS.....	9
III. LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL (RCSF) .....	10
III.1-DEFINITION : .....	10
III.2-ARCHITECTURE DES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL .....	11
III.3- CARACTERISTIQUES DES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL .....	12
III.4-APPLICATIONS DES RCSF.....	12
III.5- SYSTEME D'EXPLOITATION POUR RCSF.....	14
III.6- LES SPECIFICITES DES RCSF.....	15
IV. CONCLUSION .....	17

## Chapitre II : L'irrigation intelligente basée sur les RCSF

I. INTRODUCTION.....	19
II. AGRICULTURE DE PRECISION .....	19
II.1-L'UTILISATION DES RCSF POUR L'AGRICULTURE DE PRECISION .....	20
II.2- L'AVANTAGE DES RCSF DANS L'AGRICULTURE DE PRECISION .....	21
III. SYSTEME D'IRRIGATION .....	21
III.1- LES SYSTEMES D'IRRIGATION EXISTANTS .....	22
III.2-TYPES DE CONTROLEURS D'IRRIGATION .....	24
III.3-IRRIGATION INTELLIGENTE BASEE SUR RCSF.....	25
III.4-EXIGENCE DES RCSF POUR SYSTEMES D'IRRIGATION INTELLIGENTE .....	26
III.5-LES AVANTAGES D'IRRIGATION INTELLIGENTE BASEE SUR RCSF .....	27
III.6- ARCHITECTURE DU SYSTEME D'IRRIGATION INTELLIGENTE .....	27
IV. STATISTIQUES DES SUPERFICIES IRRIGUEES DANS LA WILAYA DE TLEMCE EN 2013-2014.....	28
V. CONCLUSION.....	29

## Chapitre III : Réalisation de l'application

I. INTRODUCTION.....	31
II. ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL.....	31
II.1- TINYOS.....	31
II.2- NES.....	31
II.3- LE CAPTEUR TELOS.....	32
II.4- LE MICA.....	32
II.5- LE MICA.....	34

II.6- DECAGON EC-5 SOIL MOISTURE SENSOR .....	34
II.7- JAVA.....	35
II.8- PHPMYADMIN.....	36
<b>III. MISE EN PLACE DE LA PLATEFORME.....</b>	<b>36</b>
<b>IV. L'ARCHITECTURE DE L'APPLICATION .....</b>	<b>38</b>
VI.1- BASE DE DONNEES .....	39
<b>V. QUELQUES EXECUTION .....</b>	<b>39</b>
<b>VI. CONCLUSION .....</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>44</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>45</b>
<b>WEBOGRAPHIE.....</b>	<b>47</b>
<b>ANNEXE A.....</b>	<b>48</b>
<b>ANNEXE B.....</b>	<b>50</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>52</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>53</b>

# **Introduction générale**

# *Introduction générale*

---

## **Introduction Générale**

L'évolution de la technologie dans les domaines de l'informatique et l'électronique a permis l'émergence des réseaux de capteurs sans fil (RCSF), qui sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc dont ces nœuds sont des capteurs à faible coût, à faible puissance et facilement déployables. Ils sont capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome. La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée, ils sont dispersés aléatoirement à travers une zone géographique, appelée champ de captage, qui définit le terrain d'intérêt pour le phénomène capté. Les données captées sont acheminées grâce à un routage multi-sauts à un nœud considéré comme un "point de collecte", appelé nœud puits (sink, ou station de base). Ce dernier peut être connecté à l'utilisateur du réseau via Internet ou un satellite. Ceci est une technologie largement utilisée parce qu'elle est devenue le candidat idéal pour fournir des solutions efficaces et économiquement viables pour une grande variété d'applications qui collectent et traitent les données de le monde physique allant de la surveillance de la santé, la collecte de données scientifiques, la surveillance environnementale des opérations militaires.

Nous nous intéressons dans ce mémoire à mettre en place un réseau de capteur pour l'irrigation intelligente donc l'économie d'eau, le projet cible le secteur de l'agriculture pour contrôler la quantité d'eau nécessaire aux plantes en fonction de l'humidité ou la teneur en eau du sol. Ceci nous permettons d'avoir une gestion précise des ressources. En présentant un autre type de matériel qui nous permet de mesurer la teneur en eau du sol tel que la sonde diélectrique EC-5 de Decagon reliée au capteur MicaZ via la carte d'acquisition MDA300CA. Le prototype mis en place permet recueillir les données captées et transmises via un autre capteur sans fil TelosB qui va servir de station de base qui va stocker ces données dans une base de données pour une étude ultérieure.

Ce manuscrit est organisé en trois chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre, on présente les *Concepts généraux sur les réseaux de capteurs sans fil*. On commence d'abord par décrire un nœud capteur et ses caractéristiques, ensuite on expose les réseaux de capteurs sans fil et leurs architectures, leurs applications potentielles et aussi leurs spécificités.



# ***Introduction générale***

---

Dans le deuxième chapitre, *L'irrigation intelligente basée sur les réseaux de capteurs sans fil*, nous essayons d'aborder l'utilisation des réseaux de capteurs sans fil dans l'agriculture de précision, en s'intéressant sur l'utilité d'irrigation intelligente qui est basée sur les RCSF pour économiser de l'eau.

Dans le dernier chapitre *La réalisation de l'application* le cœur de notre travail nous présentons les différentes étapes de conception et l'implémentation de l'application.

Nous terminons ce mémoire par une *Conclusion générale* dans laquelle nous présentons les connaissances acquises durant ce projet.

# ***CHAPITRE I :***

## ***Concepts généraux sur les réseaux de capteurs***

### I. Introduction

Au cours de ces dernières années l'évolution dans le domaine des communications sans fils et l'informatique mobile ont connu un succès croissant, qui a permis le développement d'un nouveau type de réseaux sans fils appelé réseaux de capteurs sans fil (RCSF), dotés de circuits « radio ». Cette technologie a pu s'instaurer comme acteur incontournable dans les architectures réseaux actuelles, ils sont considérés comme un type particulier des réseaux Ad-hoc, dans lesquels les nœuds de ce type de réseaux consistent en un grand nombre (plusieurs milliers) de micro-capteurs qui sont des capteurs intelligents et étroitement contraints en termes d'énergie, mémoire, capacité de traitement, débit réalisable, et bande passante réduite [1]. Les RCSF sont devenus de plus en plus omniprésents.

Selon le magazine Technology Review du MIT<sup>1</sup>, il s'agit de l'une des dix nouvelles technologies qui bouleverseront le monde et notre manière de vivre et de travailler. [2]

### II. Les capteurs

Dans cette section, on présente les capteurs, leurs architectures et leurs différents modèles.

#### II.1- Définition d'un capteur

Les capteurs sont des objets électroniques 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.

Dans « Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges », CHEE-YEE CHONG et SRIKANTA P. KUMAR ont parlé de trois générations de nœuds de capteurs. Le tableau 1.1 illustre cette catégorisation des capteurs en des générations

---

<sup>1</sup> Massachusetts Institute of Technology .

## Chapitre1 : Concepts généraux sur les RCSF

Génération	Période	Taille	Poids	Batterie
1 <sup>er</sup>	Les années 80 et 90	Grande boîte à chaussures	Kilogrammes	Grosse
2 <sup>e</sup>	2000-2003	Boîte de cartes	Grammes	AA

Tableau I. 1: Les trois générations des nœuds de capteurs [3]

Grâce aux progrès des techniques sans fil, les réseaux de capteurs seront aussi communs dans nos vies quotidiennes que les ordinateurs et l'Internet [3].

### II.2- Architecture d'un nœud capteur

L'évolution de l'architecture des capteurs est l'un des facteurs qui a permis l'essor de solutions à base de réseaux de capteurs. En effet les capteurs des générations précédente avaient une architecture qui se limitait au capteur proprement dit (dispositif capable de mesurer une grandeur physique) et une unité d'alimentation (batterie, piles, etc...). Le détecteur d'incendies est le parfait exemple de ce type de capteur, Celui-ci n'est composé que d'un système de capture alimenté par une pile, capable de détecter la fumée et de déclencher une alarme [4].

Figure I-1 est l'illustration la plus générale de l'architecture d'un capteur dit intelligent.

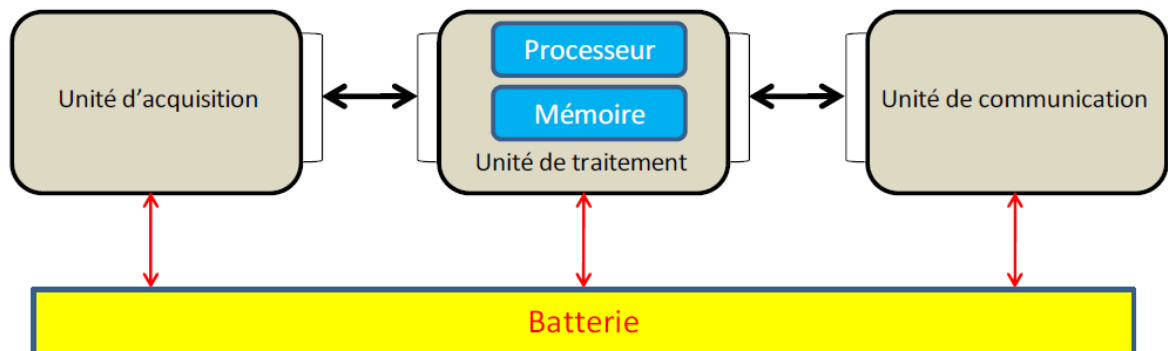


Figure I. 1: Architecture d'un capteur [5]

Cette architecture s'articule autour de quatre unités :

- **l'unité de traitement** : c'est l'unité principale du capteur. Elle est composée d'un microcontrôleur dédié et de la mémoire, son rôle est de contrôler le bon fonctionnement des autres unités. Cette unité est chargée aussi d'exécuter les protocoles de communications qui permettent de faire collaborer un capteur avec d'autres capteurs. Elle peut aussi analyser les données captées.

- **l'unité d'acquisition** : Composée d'un ou plusieurs capteurs, Habituellement elle est composée d'un dispositif qui va obtenir des mesures analogiques sur les paramètres environnementaux et les transformer en signaux numériques et d'un convertisseur Analogique/Numérique afin de pouvoir être traité par l'unité de traitement [6].
- **l'unité de transmission** : est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via « un médium sans fil » [7].
- **l'unité d'alimentation** : c'est la batterie qui, n'est généralement ni rechargeable ni remplaçable. L'énergie limitée des capteurs représente la contrainte principale lors de conception de protocoles pour les RCSF. Les unités d'énergie peuvent être supportées par des photopiles qui permettent de convertir l'énergie lumineuse en courant électrique [8].

### II.3- Types de capteurs

Il existe actuellement un grand nombre de capteurs, avec des fonctionnalités diverses et variées. Tous ces différents capteurs ne pourraient être décrits ici, cependant une liste exhaustive peut être trouvée sur le site The Sensor Network Museum [4].

La plupart des capteurs dépendent de l'application pour lesquels ils ont été conçus (capteurs aquatiques, sous-terrain, etc. . .). La figure I-2 illustre l'évolution des capteurs au cours de ces 20 dernières années. Cette représentation met en avant l'importance des travaux de recherche de l'université de Berkeley dans l'essor des réseaux de capteurs.

Les capteurs fabriqués par Crossbow<sup>2</sup> au cours des dix dernières années (famille de capteurs Mica et Telos) sont les plus utilisés dans les expériences et les travaux de recherche. Ceux-là sont capables de mesurer plusieurs métriques (température, humidité, luminosité, etc.) [4].

---

<sup>2</sup> Crossbow : entreprise de fabrication de capteurs appelés aussi XBow.



Figure I. 2: Evolution des capteurs [4]

### III. Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF)

#### III.1-Definition

Un Réseau de Capteurs Sans Fil, (RCSF ou WSN : Wireless Sensor Networks en anglais) est un réseau interconnecté de tels dispositifs, avec la capacité de détecter, traiter et transmettre des informations avec limitations, c'est un système distribué de grande échelle [8], mettant en communication des nœuds qui sont des micro-capteurs communicants entre eux via des liens radio pour le partage d'information et le traitement coopératif.

La position de ces nœuds n'est pas obligatoirement prédéterminée, sont distribués de façon aléatoire dans des endroits où l'accès est difficile appelé « champs de captage » ou « zone de couverture » correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté, les données collectées par ces capteurs sont acheminées directement ou via les autres capteurs de proche en proche à un "point de collecte" appelé station de base (ou sink) [6], qui les transmettent par d'autres moyens (réseau filaire, internet, satellite...etc) à un utilisateur final. De plus, l'utilisateur final peut utiliser la station de base comme une passerelle pour diffuser ses requêtes sur le réseau [9].

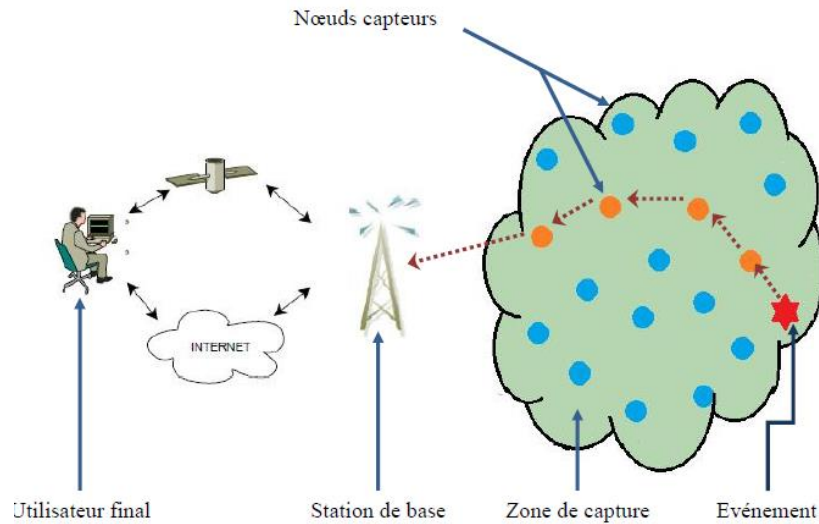


Figure I. 3: Exemple d'un réseau de capteurs sans fil [9]

### III.2-Architecture des réseaux de capteurs sans fil

Le processus d'acheminement de l'information des capteurs à la station de base peut prendre quatre formes. Dans les architectures à plat, les capteurs peuvent communiquer directement avec la station de base en utilisant une forte puissance (figure I.3 (a)), ou via un mode multi-sauts avec des puissances très faibles (figure I.3 (b)), alors que dans les architectures hiérarchisées, le nœud représentant le cluster, appelé cluster-head, transmet directement les données à la station de base (figure I.3 (c)), ou via un mode multi-saut entre les cluster-heads (figure I.3 (d)). [1]

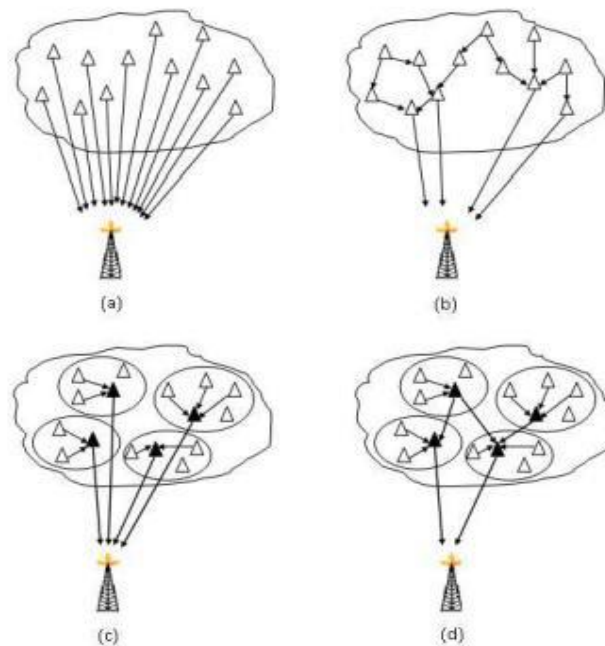


Figure I. 4: Architecture de communication dans RCSF [1]

### III.3-Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil

- *Absence d'infrastructure* : Les réseaux de capteurs en particulier se distinguent des autres réseaux par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et cela dans le but d'assurer la continuité du service offert par le réseau des capteurs [10], les hôtes mobiles sont responsables d'établir et de maintenir cette connectivité.
- *Taille importante* : un réseau de capteurs peut contenir un grand nombre de nœuds dispersés aléatoirement.
- *Interférences* : Lors d'avoir deux transmissions simultanées sur la même fréquence ou bien l'utilisation des fréquences proches peuvent interférer, et aussi les liens radio ne sont pas isolés.
- *Topologie dynamique* : les capteurs peuvent être attachés à des objets mobiles qui se déplacent d'une façon libre et arbitraire rendant ainsi la topologie du réseau fréquemment changeante.
- *Bande passante limitée* : La bande passante réservée à un nœud soit modeste car l'utilisation d'un médium de communication partagé.
- *Le manque de fiabilité* : certains capteurs peuvent générer des erreurs ou ne plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, d'un dégât matériel ou d'une interférence environnementale.

### III.4-Applications des RCSF

Le concept de réseaux de capteurs sans fil est basé sur une simple équation [11] :  
« **Capteurs + Processeur + Radio = Une centaine d'applications potentielles** »

Industrie, santé, sécurité, agriculture, domotique... les capteurs communicants s'immiscent peu à peu dans notre quotidien et bouleversent notre manière de vivre ou de travailler. Les réseaux de capteurs peuvent se révéler très utiles dans de nombreuses applications lorsqu'il s'agit de collecter et de traiter des informations provenant de l'environnement [2]. Quelques exemples d'applications sont listés ici.

**Application militaire** : Comme dans le cas de plusieurs technologies, le domaine militaire a été un moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs [12], afin de surveiller toutes les activités des forces ennemies, ou d'analyser le terrain avant d'y envoyer des troupes (détection d'agents chimiques, biologiques ou de radiations).





**Figure I. 5:** réseau de capteurs militaire [12]

**Application environnementale :** Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour surveiller les changements environnementaux [11]. La petite taille et les capacités relativement grandes au niveau de calcul et de communication des capteurs permettent de les placer aux endroits que les humains ne peuvent ou ne veulent pas accéder, comme par exemple les grandes forêts, les volcans, les profondeurs des océans, les régions polaires, ou encore d'autres planètes que la terre [6]. Pour déterminer les valeurs de certains paramètres, comme par exemple : la température, la pression atmosphérique, etc.

**Application commerciale :** Les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour des applications commerciales ou professionnelles pour le génie civil (surveillances des fondations, des bâtiments, des structures), le contrôle des stocks, la surveillance de trafic et le contrôle des équipements (éclairage, chauffage, ventilation, climatisation...) [13].

**Application médicale :** Les réseaux de capteurs ont aussi des développements dans le domaine de diagnostic médical. Par exemple, des micro-caméras sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain avec une autonomie de 24 heures.

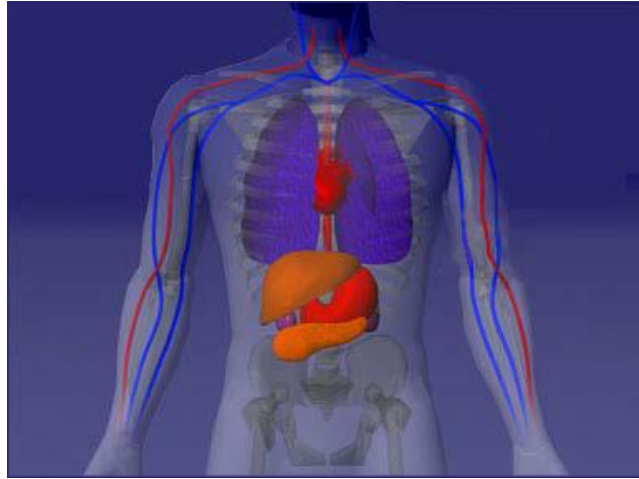


Figure I. 6: ensemble de capteurs dans un corps humain [12]

**Applications agricoles :** Dans les champs agricoles, les capteurs peuvent être utilisés pour réagir convenablement aux changements climatiques par exemple le processus d'irrigation lors de la détection de zones sèches dans un champ agricole.

### III.5- Système d'exploitation pour RCSF

**TinyOS :** est un système d'exploitation open source conçu pour les capteurs sans fils et développé par l'Université de Berkeley. Il respecte une architecture basée sur une association de composants, réduisant la taille du code nécessaire à sa mise en place, et son exécution est dirigée par des événements. Cela s'inscrit dans le respect des contraintes de mémoires qu'observent les réseaux de capteurs. Les applications sont écrites en Nesc qui est syntaxiquement proche du C.

**Contiki :** est un système développé et soutenu par l'Institut d'Informatique Suédoise. Adam Dunkels est l'initiateur du projet [7]. Le système complet est supposé pouvoir tourner sans problème avec 2 ko de RAM et 40 ko de mémoire flash, il est configurable modulaire pour réseaux de capteurs, le code est écrit en C.

**LiteOS :** LiteOS est open source fournit un environnement comparable à Unix, il utilise langage de programmation orienté objet C++ pour développer des programmes et permettre leur déploiement sur les capteurs. LiteOS possède une faible empreinte mémoire et peut fonctionner avec 4 ko de RAM et 128 Ko de mémoire flash.

Les résultats expérimentaux montrent que le système TinyOS est le système le plus économe en énergie en comparaison avec les systèmes mentionnés ci-dessus [14].

### III.6- Les Spécificités des RCSF

- **Topologie** : Un réseau de capteurs sans fil est composé d'un ensemble de nœuds capteurs et des Gateway qui sont déployés aléatoirement dans une zone d'intérêt, qui s'occupent de collecter les données des capteurs et de les transmettre à l'utilisateur.

Il existe trois types de topologies pour les réseaux de capteurs [3] :

**Topologie en étoile** : La topologie en étoile est un système uni-saut. C'est-à-dire que tous les CSF<sup>3</sup> sont en liaison directe avec la station de collecte. Cette topologie demande une faible consommation d'énergie et aussi simple, mais son inconvénient la station de base est vulnérable car tout le réseau est géré par un seul nœud, et la distance entre les nœuds et la station est limitée.

**Topologie en toile (Mesh Network)** : Cette topologie est un système multi-saut, dont la communication entre les nœuds et la station de base est possible. Chaque nœud a plusieurs chemins pour envoyer les données. Ceci offre les possibilités de passer à l'échelle du réseau, avec redondance et tolérance aux fautes, Or elle demande une consommation d'énergie plus importante

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

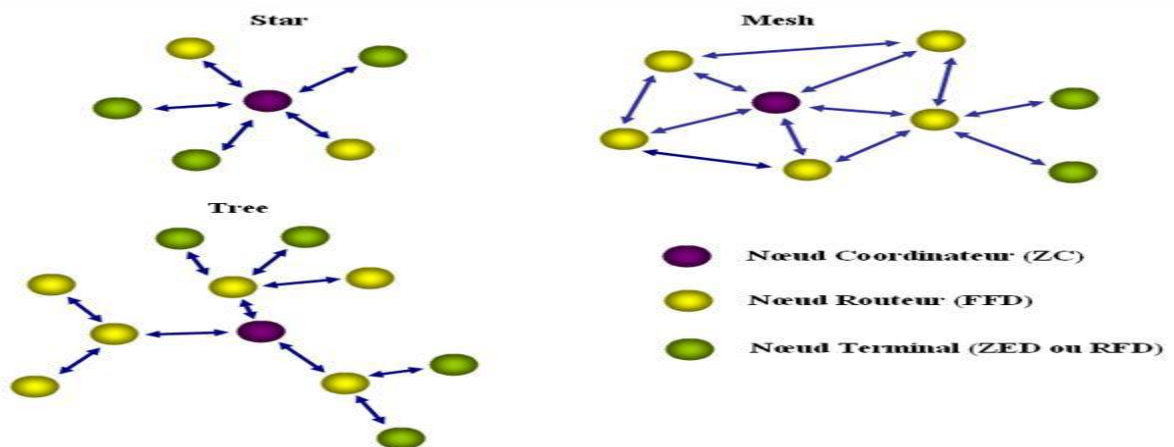


Figure I. 7: Topologies des réseaux de capteurs [3]

- **Medium** : Le médium utilisé par les RCSF est l'onde radio. Trois grandes technologies radios ont été utilisées pour des applications à bases de réseaux de capteurs. Ces trois technologies sont :

<sup>3</sup> CSF : Capteur Sans Fil.

**IEEE 802.11x/WiFi** : Le protocole de communication WiFi est le plus utilisé pour toutes les applications sans fil, les capteurs ont eu recours à ce protocole pour permettre la communication entre nœuds. En outre, cette technologie exige une consommation d'énergie trop importante. Par conséquent, la durée de vie de capteurs alimentés par des piles ne dépasse généralement quelques heures C'est pourquoi les applications de capteurs à base de communication sans fil WiFi ont été négligées [4].

**IEEE 802.15.1/Bluetooth** : Elle utilise des communications sur de courtes distances avec un débit de communication limitée, ceci a comme but la création et le maintien de réseaux à portée personnelle. Mais il n'est pas les plus utilisé dans les réseaux de capteurs car son grand défaut est sa trop grande consommation d'énergie [2] et il supporte une taille limitée du réseau ce qui est incompatible avec la volonté de former des réseaux denses de capteurs.

**IEEE 802.15.4/ Zigbee** : il nécessite très peu d'énergie pour son fonctionnement ce qui favorise l'utilisation de ce standard dans le cas des réseaux de capteurs. Néanmoins, le débit offert par Zigbee est un point critique surtout si le réseau considéré est dense, plus de 65000 noeuds avec une portée de l'ordre de 100 mètres pour un débit de 250 Kb/s.

- **La tolérance des fautes** : Dans les RCSF, un ou plusieurs capteurs peuvent ne pas fonctionner correctement, car les capteurs sont des entités sensibles aux altérations d'états mais ce problème n'affecte pas le fonctionnement du réseau il est capable de maintenir sans interruptions.
- **Mise à l'échelle** : lors de l'ajout de capteurs, le réseau est sensé fournir le même service. En outre les réseaux de capteurs doivent pouvoir continuer à fournir des services d'une manière régulière et être efficaces quel que soit leurs nombres.
- **Bande passante limitée:** Les capteurs opèrent à bas débit pour minimiser l'énergie utilisée lors de transfert de données entre les nœuds. Alors, le débit utilisé est de quelques dizaines de Kb/s. Or, un débit de transmission réduit n'est pas handicapant pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission ne sont pas importantes.
- **Energie** : Un RCSF peut toutefois s'auto détruire par l'épuisement de ses capacités énergétiques. En effet, la durée de vie d'un réseau dépend essentiellement de la durée de vie de ses nœuds capteurs. Parallèlement, la durée de vie d'un nœud capteur dépend en grande partie de la durée de vie de sa source d'énergie. Il est encore plus difficile d'intervenir pour trouver d'autres moyens d'alimentation en

ressource énergétiques pour les capteurs tels que le moyen de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique, intégrer d'autres sources comme les dispositifs d'énergies renouvelables (modules solaires)...etc [9]. Enfin les communications sont les coûteuses en termes de consommation d'énergie. Il est donc fortement nécessaire de limiter le nombre de communications entre capteurs et si possible la quantité de calculs [4].

- **Sécurité** : Les RCSF nécessitent dans de nombreuses applications qui assurent la sécurité des informations circulant sur le réseau et de garantir le contrôle d'accès, l'intégrité des messages, et la confidentialité.
- **Puissance de calcul** : Malgré les progrès récents dans la fabrication de capteurs de plus en plus puissants, les capteurs actuels souffrent d'un manque de puissance de calcul (par exemple seulement 16 Mhz de puissance et 128K octets de mémoire programmable pour un capteur MicaZ). Cette faible puissance ne permet pas d'utiliser des algorithmes complexes. La faiblesse de puissance de calcul est aussi préjudiciable pour le temps de réponse du réseau. Si l'on demande à un capteur d'effectuer de nombreux calculs, la latence va sensiblement augmenter [4].

## IV. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini un état de l'art détaillé sur les réseaux de capteurs, nous avons introduit dans un premier temps une brève explication sur les capteurs, ensuite nous avons présenté les RCSF et leurs spécificités qui représentent un domaine très utile et une technologie récente qui sont en plein développement et qui deviennent omniprésents.

Dans le chapitre suivant nous allons parler sur l'agriculture de précision ensuite nous allons présenter l'irrigation intelligente dans l'agriculture de précision pour l'économie de l'eau et nous allons aborder des statistiques pour les différents types d'irrigation.

## ***CHAPITRE II :***

### ***L'irrigation intelligente basée sur les RCSF***

### I. Introduction

L'eau (L'eau) est un des enjeux majeurs du 21<sup>e</sup> siècle, il constitue un élément important voire vital à la vie de la plante. L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés [15].

Il est important de savoir que l'agriculture est de loin le plus grand consommateur d'eau dont l'irrigation est une pratique essentielle dans de nombreux systèmes de culture agricoles dans les zones arides et semi-arides. En outre les applications de l'eau et sa gestion efficaces sont les principaux systèmes d'irrigation. Le développement d'un système distribué sur le terrain à base de capteurs spécifiques à l'irrigation du terrain offre la possibilité d'augmenter le rendement et la qualité tout en économisant l'eau [16], dont la technologie des RCSF peut offrir un support important qui permettra la gestion précise des ressources (l'eau, les engrais, etc.) en raison de leur nature rentable et la souplesse de déploiement, en outre le réseau de capteurs sans fil possède des capteurs à faible coût, très fiable et ils ont un rayon de transmission, ce dernier mesure en autonomie les paramètres d'humidité, de température et de luminosité et communique par la technologie sans fil avec une station centrale de collecte de données [17]. Ce qu'il permet à l'agriculteur d'utiliser cette technologie qui offre la possibilité aux producteurs d'accéder à distance via une communication radio sans fil pour voir les conditions de terrain et l'opération d'irrigation, à la maison ou au bureau.

Dans ce chapitre nous présentons une vue générale sur l'agriculture de précision ainsi que l'agriculture de précision basée sur les réseaux de capteurs sans fil, ensuite l'irrigation intelligente pour économiser l'eau, leurs types de contrôleurs, leurs différents systèmes existants et les différentes technologies.

### II. Agriculture de précision

Le terme «agriculture de précision» est défini comme l'application de diverses technologies et principes pour gérer la variabilité spatiale et temporelle associée à tous les aspects de la production agricole.

Ceci est un système agricole basé sur l'information et axé sur la technologie, conçu pour améliorer les procédés agricoles en contrôlant précisément chaque étape pour assurer une production agricole maximale avec un impact environnemental réduit. On peut l'utiliser pour régler les paramètres de semis, la modulation des doses de fertilisants, et aussi l'application spécifique de site de l'eau, etc. Fermes irriguées étayées

par des besoins en eau estimées est l'une des composantes essentielles de l'agriculture de précision pour réduire le gaspillage de l'eau. Compte tenu des ressources limitées en eau, en optimisant l'efficacité de l'irrigation est très essentiel [18].

Agriculture de précision conduit donc à des avantages décisifs suivants de l'agriculture, de l'environnement et de l'énergie aspects car il améliore le rendement des cultures, fournit des informations pour de meilleures décisions de gestion, réduit les coûts de produits chimiques et d'engrais grâce à des applications plus efficaces, fournit des registres de la ferme plus précis, augmente la marge bénéficiaire et réduit la pollution.

### **II.1-L'utilisation des RCSF pour l'agriculture de précision**

Les réseaux de capteurs sans fil se composent de dispositifs répartis dans un environnement pour surveiller et gérer, sur la base des phénomènes physiques spécifiques. Ces petits appareils sont appelés capteurs. En utilisant les ressources informatiques et aux technologies appropriées, de telles activités sont effectuées automatiquement.

L'utilisation de WSN dans l'agriculture de précision permet de prendre la décision appropriée pour chaque zone dans la ferme. Contrairement aux réseaux traditionnels, les RCSF sont centrées dans l'environnement physique, spécialement les données elles-mêmes. Les nœuds de capteurs interagissent avec l'environnement sur lesquels ils sont insérés avec une collaboration entre eux, ces capteurs peuvent être programmés pour enregistrer des mesures telles que la température et l'humidité. Toutes les données qui sont recueillies par les capteurs sont transférés à un nœud puits qui les envoyé à l'utilisateur final à travers le réseau sans fil, Internet ou LAN.

Les RCSF est révélée être utile dans des applications qui impliquent des données de surveillance en temps réel. Afin d'optimiser le rendement et l'utilisation des ressources disponibles, ils peuvent jouer un rôle important en raison de leur capacité de fournir des données en temps réel recueillies par les capteurs répartis dans l'espace.





**Figure II. 1:** Les réseaux de capteurs dans l'agriculture de précision

### II.2- L'avantage des RCSF dans l'agriculture de précision

L'avantage principal de l'utilisation des RCSF dans l'agriculture est l'absence de câblage ce qui réduit considérablement le coût d'installation. En outre la flexibilité de déploiement et la facilité d'entretien. En effet, les capteurs sont autonomes et nécessitent très peu d'intervention humaine sur les champs notamment dans le cas où les protocoles de communication sont tolérants aux panne et supportent la mobilité des nœuds [19], et aussi son objectif est d'aider les agriculteurs à économiser de l'eau et des fertilisant et à gagner du temps, d'où ils peuvent le contrôler via son ordinateur, depuis son bureau.

Cette technologie augmente l'efficacité de l'irrigation, ce qu'elle nous permet de suivre le taux d'humidité de manière à conserver au maximum les plantes en vie, car chaque plante a besoin d'un taux d'humidité spécifique, d'où une irrigation inadaptée ou mal conçue peut être source de beaucoup de problèmes.

### III. Système d'irrigation

L'irrigation dans les systèmes de culture agricoles étant le secteur le plus important en termes de gestion et d'utilisation de l'eau, la maîtrise des dépenses en eau demeure un enjeu majeur des industriels et des producteurs indépendants. Deux jeunes chercheurs turcs de l'Université Technique du Moyen-Orient (Ankara), Aydin Oztoprak

et Ozgur Ruhi Ulvan, ont conçu un système d'arrosage automatique à énergie solaire dit "intelligent" [20].

Ces systèmes peuvent réduire la consommation de l'eau dans un champ à 50%. Et aussi minimiser les dépenses en énergie électrique le fait d'utiliser un ensemble de panneaux solaires et de batteries rechargeables, la plate-forme est possédée de divers capteurs d'humidités enfouie dans le sol qui permet de calculer les besoins réels des sols en eau et réguler le débit en conséquence grâce à d'une petite unité électronique. Ce système permet de contrôler de façon constante et en temps réel des différents paramètres atmosphériques et du sol, et les besoins des plantes.

### III.1- Les systèmes d'irrigation existants

- **Irrigation goutte à goutte** : Il est également nommé l'irrigation localisé, C'est une technique efficace qui est principalement utilisé dans des conditions tropicales chaudes, elle permet à l'eau s'égoutter lentement vers les racines des plantes, que ce soit sur la surface du sol ou directement sur la zone des racines, par l'intermédiaire d'un réseau de vannes, de tuyaux, des tubes, et des émetteurs.

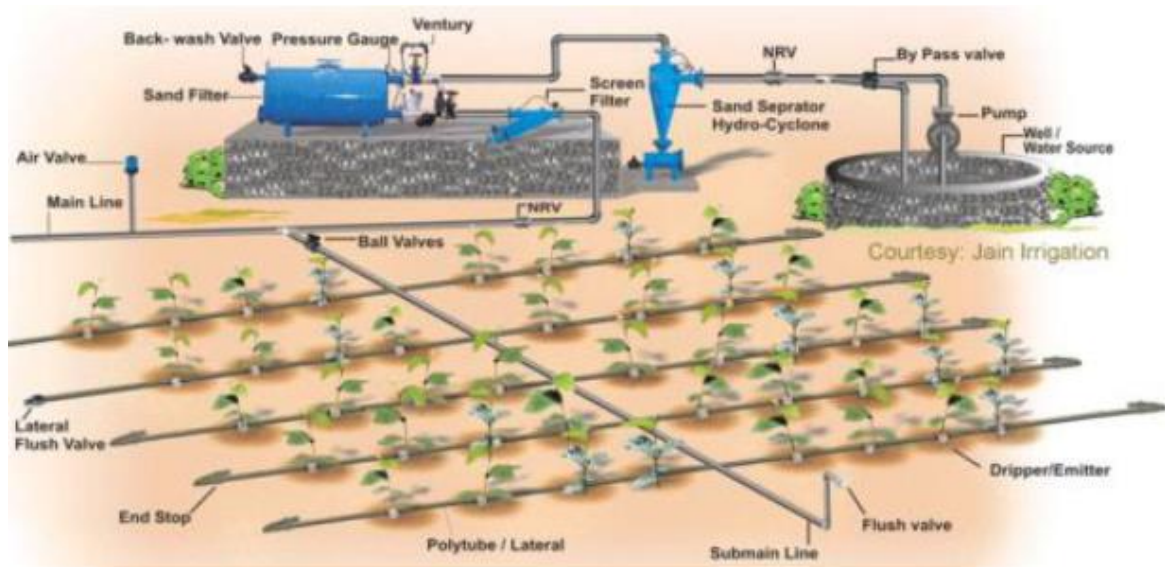


Figure II. 2: Disposition d'irrigation goutte à goutte [21]

- **Irrigation gravitaire** : L'irrigation gravitaire consiste à répartir l'eau directement sur la parcelle cultivée par ruissellement sur le sol dans des sillons, par nappe ou encore par submersion contrôlée. Il s'agit du mode d'irrigation le plus ancien C'était la seule méthode possible jusqu'au milieu du 20ème siècle. Mais il est peu coûteux en investissement et il s'agit de la méthode la plus utilisée à travers le monde [22].



**Figure II. 3:** Les systèmes d'irrigation gravitaire

- **Irrigation par aspersion :** On peut dire qu'il est un type de pluie artificielle, d'où les composants de base de cette irrigation sont source d'eau, la pompe de pression pour pressuriser l'eau, un réseau de canalisations pour distribuer l'eau sur le terrain, les gicleurs pour pulvériser de l'eau sur le sol et Vannes pour contrôler le flux de l'eau [21], dont l'eau est distribuée par un système de tuyaux généralement par pompage. Il est ensuite pulvérisé dans l'air et irrigue la surface du sol à travers la tête de pulvérisation de sorte qu'il se brise en gouttelettes d'eau qui tombent sur le sol.



**Figure II. 4:** Les systèmes d'irrigation par aspersion [3]

### III.2-Types de contrôleurs d'irrigation

L'irrigation est l'application manuelle de l'eau pour les cultures. Dans la production de cultures elle est principalement utilisée dans les zones arides et pendant pénurie de précipitations pour protéger les cultures. Il existe différents types d'irrigation comme l'irrigation de surface, l'irrigation localisée, irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion. Dans le domaine de l'agriculture, l'utilisation de la méthode appropriée de l'irrigation et son contrôle est importante.

Deux types généraux de contrôleurs sont utilisés pour contrôler les systèmes d'irrigation: les systèmes de boucle de régulation ouverte et systèmes de boucle de régulation fermée. Systèmes de boucle de régulation ouverte appliquent une action prédéfinie, comme est fait avec des minuteries d'irrigation simples. Boucles de régulation fermées reçoivent une rétroaction de capteurs, prendre des décisions et d'appliquer les résultats de ces décisions sur le système d'irrigation [23].

- 1- **boucle de régulation ouverte** : Dans ce système l'opérateur prend la décision sur la quantité d'eau qui sera appliquée et quand l'événement d'irrigation se produira, Cette information est programmée dans le contrôleur et l'eau est appliquée selon le programme désiré. Ceci utilise soit la durée d'irrigation ou le volume spécifique appliqué pour le contrôle. L'arrêt de l'irrigation peut être basé sur un temps prééglé ou peut être basé sur un volume spécifique de l'eau passant par un compteur de débit. Ce système est généralement peu coûteux et facilement accessible à partir d'une variété de Fournisseurs, mais son inconvénient est incapacité à répondre automatiquement à l'évolution des conditions dans l'environnement [23].
- 2- **boucle de régulation fermée** : Dans ce système l'opérateur développe une stratégie générale de contrôle. Une fois que la stratégie générale est définie, le système de contrôle assure et prend des décisions détaillées sur le moment où appliquer l'eau et combien d'eau à appliquer. Ce type de système des décisions d'irrigation sont prises et les actions sont effectuées sur la base de données de capteurs. Contrôleurs en boucle fermée nécessitent l'acquisition de données de paramètres environnementaux (tels que l'humidité du sol, la température, le rayonnement, la vitesse du vent, etc.) ainsi que les paramètres du système (pression, débit, etc.) et ils basent généralement leurs décisions d'irrigation sur

les capteurs qui mesurent l'humidité du sol, la température, et d'autres données climatiques pour estimer les besoins en eau d'une culture [23].

### III.3-Irrigation intelligente basée sur RCSF

Les capteurs sans fil sont choisis pour leur coût quasiment faible, leur fiabilité et leur rayon de transmission. En plus, il y a une grande nécessité de maîtriser la technologie et de bénéficier des avantages qu'elles offrent et surtout pour l'irrigation [15].

Le but principal de ce système est de présenter une solution complète d'irrigation pour l'agriculteur à la base de réseau de capteurs sans fil. Son principe est de créer un système d'irrigation automatisé qui peut réduire dans le même temps les déchets et les eaux efficace, et aussi il possède différents paramètres pour mesurer la quantité efficace de l'eau nécessaire par les plantes. Cette technologie consiste à utiliser des nœuds de capteurs d'humidité du sol et de température à faible coût ayant consommation de puissance réduite placés dans la zone des racines des plantes, selon la valeur que l'irrigation est contrôlée, ceci n'est rien d'autre qu'un système d'irrigation commandé par un programmeur, l'irrigation est déclenchée automatiquement par le programmeur aux jours et heures voulus, pour la durée programmée, sans intervention humaine [24].

Le système est composé de différents types de nœuds. Dont Chaque nœud est constitué d'un grain TelosB et capteurs ou actionneurs adéquats. Nœuds de sol sont des capteurs capables de relever le contenu des sols pour détecter le niveau d'humidité et la température dans le sol. Nœuds météo surveillé la changes, Et les autres nœuds climatique sont connectés aux déclencheurs qui aptes à commander l'ouverture de la soupape si nécessaire d'irrigation. Ceci est très pratique lorsqu'il est bien réglé, il fournit juste la quantité d'eau requise, au bon endroit, pratiquement sans effort pour l'utilisateur.

L'avantage principal de ce système est de résoudre les deux grands problèmes dans l'agriculture : la sous-irrigation et la sur-irrigation, ce qui permet une meilleure production. Et la possibilité de suivre le taux d'humidité de manière à conserver au maximum les plantes en vie, car chaque plante a besoin d'un taux d'humidité spécifique [15], à un débit adapté pour permettre l'absorption de cette eau.



Figure II. 5: Irrigation goutte à goutte à l'aide de réseaux de capteurs sans fil [21]

### III.4-Exigence des RCSF pour systèmes d'irrigation intelligente

Il y a nombre de défis identifiés pour le déploiement de solution de WSN pour les applications d'irrigation intelligents. Ces défis conduisent à l'identification de l'ensemble des exigences solution de WSN devrait fournir:

- **Sensibilité:** sortie de WSN devrait être sensible, c'est-à-dire sensibles à des petits changements en termes l'humidité du sol ou de la demande de l'usine.
- **Réactivité:** WSN devrait être en mesure de fournir une surveillance continue et répondre rapidement (en temps réel) pour détecter des changements afin de maintenir les niveaux d'eau optimaux.
- **Universalité:** WSN devrait être adaptable à différents types de cultures et les différents stades de croissance.
- **Robustesse:** WSN devrait être robuste contre les défaillances et servir comme une Source fiable de données d'irrigation.
- **Évolutivité:** solution de WSN devrait être évolutive et permettre petite déploiement initial et simple extension de plus vers moyenne échelle ou déploiements à grande échelle si nécessaire.
- **Convivial:** interface WSN vers l'utilisateur final doit être intuitive, facile à utiliser et ne devrait pas nécessiter une formation importante de l'utilisateur. Les développements récents dans les applications de Smartphones et systèmes d'exploitation devraient servir d'excellente base pour une interface conviviale entre l'utilisateur final et l'WSN.
- **Déclencheur actionné:** WSN devrait représenter non seulement la détection mais la Solution agissant ainsi (WSN - capteur sans fil et actionneur Network). WSN est capable de fournir une solution entièrement automatisée.

- **Efficacité énergétique:** nœuds de capteurs doivent être soit alimenté par batterie ou préférable, il devrait utiliser une partie des solutions récemment émergents de récupération d'énergie.
- **Communication fiable:** WSN devrait assurer une communication fiable entre grains de capteurs et un grain et la station de base pendant des distances de l'ordre de 1 km qui sont pertinents dans un environnement grand champ agricole.
- **Faible coût:** solution WSN devrait être peu coûteux et pas cher pour entretenir et exploiter, nœuds de capteur doit être facile à déployer et à remplacer.

### III.5-Les avantages d'irrigation intelligente basée sur RCSF

L'irrigation à base de capteurs augmente l'efficacité de l'irrigation, tout en bénéficiant de l'environnement. D'où l'utilisation de l'accès sans fil pour les opérations d'irrigation offre beaucoup plus de potentiel pour un gain de temps et le coût des agriculteurs dans la gestion de l'eau des cultures. En outre il y a le contrôle sur vos besoins d'irrigation et de gagner plus de profit dont l'utilisation efficace de l'eau.

Les agriculteurs reçoivent des informations exactes et complètes sur l'état de cultures et l'eau utiliser et il y a un service complet avec certitude sur le support logiciel ou l'entretien de l'équipement et des récoltes de meilleure qualité, et on plus on a les applications web pour supporter les décisions d'irrigation des cultures avec des données en temps réel.

L'importance de l'irrigation dans le monde est définie par N.D Gulhati un indien : « *L'irrigation est dans beaucoup de pays est un art ancien – aussi que la civilisation – mais pour le monde entier c'est une science moderne, la science de survie* » [15].

### III.6- Architecture du système d'irrigation intelligente

Un système composé de stations de champ capteurs répartis à travers le champ, d'une station de contrôle de l'irrigation, et une station de base. Les stations de champ capteurs surveillent les conditions sur le terrain de l'humidité du sol, la température du sol et la température de l'air, tandis qu'une station météorologique proche surveille l'information micro-météorologique sur le terrain, c'est à dire, la température de l'air, l'humidité relative, précipitations, vitesse du vent, direction du vent, et le rayonnement solaire. Toutes les données de champ sensorielles sont transmises sans fil à la station de base. La station de base traite les données de champ sensorielles grâce à un programme de décision convivial et envoie des commandes de contrôle à la station de contrôle de

l'irrigation, la station de base se nourrit des signaux de commande à la station de contrôle de l'irrigation pour fonctionner site spécifiquement chaque groupe d'arrosage individuel d'appliquer une profondeur d'eau donnée [15].

#### **IV. Statistiques des superficies irriguées dans la wilaya de Tlemcen en 2013-2014**

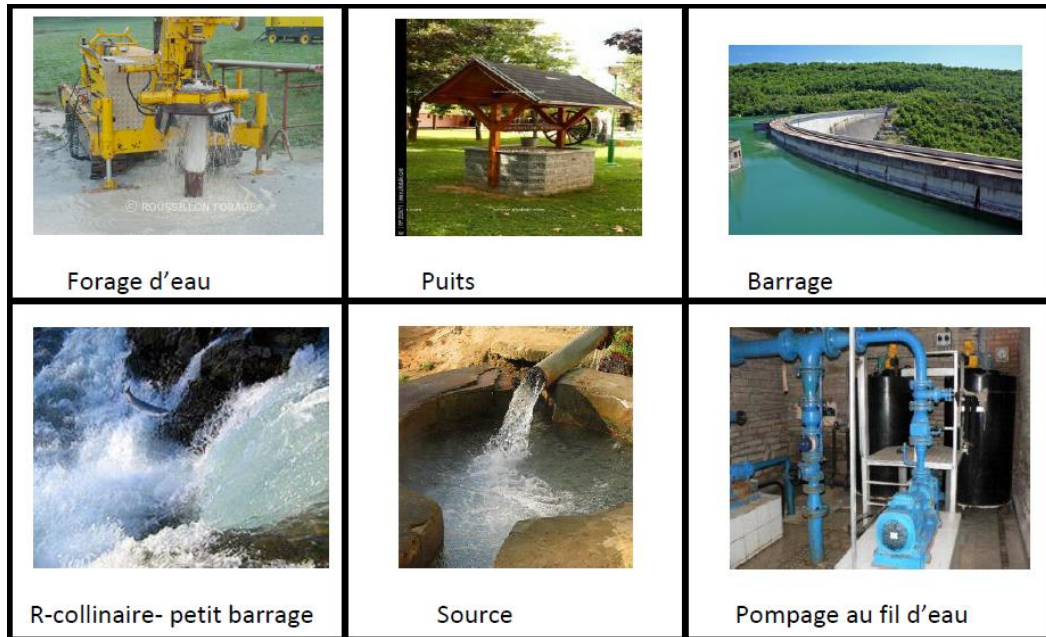
Dans cette section nous allons montrer quelques statistiques d'irrigation par la direction des services d'agriculture dans la wilaya de Tlemcen.

<b>Forages</b>		<b>Puits</b>		<b>Barrages</b>		<b>R -collinaire- Petits barrages</b>	
<b>Nbre</b>	<b>Suprf</b>	<b>Nbre</b>	<b>Suprf</b>	<b>Nbre</b>	<b>Suprf</b>	<b>Nbre</b>	<b>Suprf</b>
1505	9380	1450	4440	05	4530	09	700
<b>Sources</b>		<b>Pompage au fil de l'eau</b>		<b>STEP</b>		<b>Surface totale irriguée (ha)</b>	
<b>Nbre</b>	<b>Suprf</b>	<b>Nbre</b>	<b>Suprf</b>	<b>Nbre</b>	<b>Suprf</b>	26380	
222	2150	600	3610	1	670		

**Tableau II. 1:** Superficies irriguées par types d'ouvrage

Le Tableau II-1 nous montre les superficies irriguées selon le type d'ouvrage, on voit qu'on utilise un nombre importants des forages (1505) pour irrigué une superficie de 9380 ha, et un nombre assez grand de puits (1480) pour irriguée une superficie de 4440 ha ce qu'elle représente la moitié de la surface utilisée par forage. Le tableau illustre aussi que le pompage au fil d'eau représente aussi un nombre essential il utilise 600 pompages pour irrigué 3610 ha, et nous avons une superficie de 2150 ha irrigué par 222 sources. Mais les petits barrages et STEP utilisent un nombre assez petit d'où les petits barrages ont 9 pour une surface de 700 ha et on a seulement 1 STEP pour 670 ha.





**Figure II. 6:** Les types d'ouvrages [3].

Ce Tableau II-2 illustre la superficie irriguée par chaque système d'irrigation et la superficie totale :

<b>Systèmes d'irrigation</b>	<b>Gravitaire (ha)</b>	<b>Aspersion (ha)</b>	<b>Localisé (ha)</b>	<b>Surface Totale (ha)</b>
<b>Superficies irriguées</b>	9069,5	5816,5	6214	21100

**Tableau II. 2:** Superficies irriguées par système d'irrigation

On estime que système gravitaire irrigue une superficie importante 9096.5 ha par rapport les autres systèmes grâce à ces avantages dont l'augmentation de la biodiversité et aussi une technologie ancienne et très connue.

## V. Conclusion

Aujourd'hui, les normes sans fil sont appliquées dans le but d'atteindre un niveau plus élevé d'intégration et d'accéder aux données en temps réel, dans le monde entier.

Dans ce chapitre nous avons expliqué la notion d'agriculture de précision basée les RCSF et l'irrigation intelligente qui est une technologie très utile pour l'économie de l'eau ce qui garde le monde en vie, ensuite nous avons abordé quelques statistiques sur les superficies par types de système d'irrigation et selon les types d'ouvrages.

## ***CHAPITRE III :***

### ***Réalisation de l'application***

### I. Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil joueront un rôle important dans notre vie quotidienne dans les années à venir. Les applications de réseaux de capteurs vont des systèmes de surveillance distribués aux systèmes intelligents de gérer embarqués.

Comme l'approvisionnement en eau se raréfie à cause de la pollution, il y a un besoin urgent pour irriguer plus efficacement afin d'optimiser l'utilisation de l'eau. Les progrès récents dans l'eau du sol contrôle combiné avec la popularité croissante des réseaux de capteurs rendent l'utilisation commerciale de ces systèmes applicables non seulement pour l'agriculture et l'industrie, mais aussi pour les maisons.

Dans ce dernier chapitre, nous détaillons le fonctionnement de l'application que nous avons développée. Nous commençons en premier lieu par une description du matériel ainsi que l'environnement logiciel utilisé. Ensuite, nous exprimons une vue globale sur le fonctionnement de l'application. Nous terminerons ce chapitre par une présentation des résultats.

### II. Environnement de travail

#### II.1- TinyOS

TinyOS est un système d'exploitation open-source conçu pour des réseaux de capteurs sans fil développé et maintenu par l'université de Berkeley et de nombreux contributeurs. C'est le plus répandu des OS pour les réseaux de capteurs sans fil en plus, il est utilisé dans les plus grands projets de recherches. Il permet de respecter les contraintes de mémoire et de puissance des nœuds en utilisant une programmation par composants, qui permet de réduire le code nécessaire à son fonctionnement. L'avantage de ce système est de permettre une programmation simple mais puissante des nœuds tout en gardant la portabilité du code pour les nombreuses plateformes supportées [7].

#### II.2- NesC

C'est un langage de programmation dérivé du langage C, Celui-ci propose une architecture basée sur des composants, permettant de minimiser la taille mémoire du système et l'utilisation de puissance de calcul par les capteurs.

NesC permet de déclarer 2 types de fichiers: les fichiers interfaces, les fichiers modules et les fichiers configurations.

## Chapitre 3 : Réalisation de l'application

- Les fichiers *configuration* définissent un ou des composants qui seront utilisés par l'application déployée sur le capteur.
- Les fichiers *modules* constituent les briques élémentaires de code et implémentent une ou plusieurs interfaces [5].
- Les *interfaces* sont des fichiers décrivant les commandes et évènements proposés par le composant qui les implémente.

### II.3- Le capteur telosb

La plate-forme TelosB a été élaborée et publiée à la communauté scientifique par l'université Berkeley. Cette plate-forme offre une faible consommation d'énergie, elle est compatible avec la distribution open-source de TinyOs. Ce type de nœud peut être utilisé dans les applications suivantes :

- Plate-forme à faible puissance pour le développement de la recherche.
- Expérimentation des réseaux de capteurs sans fil [8]

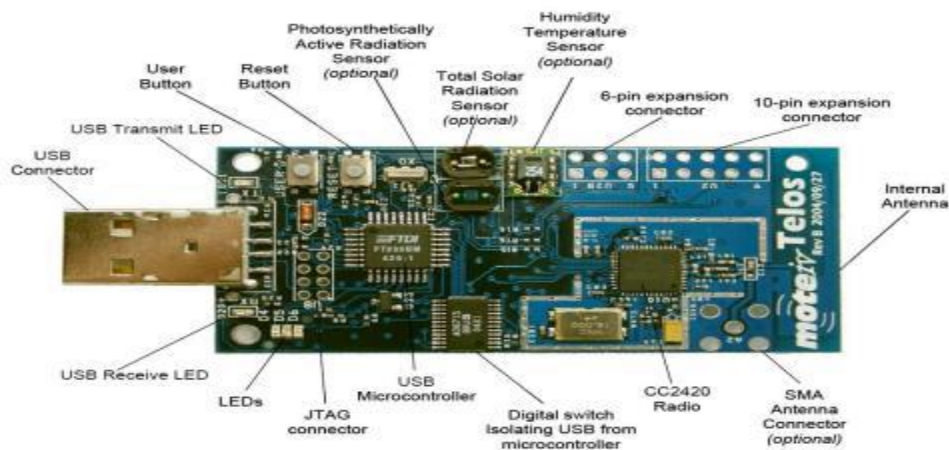


Figure III. 1: Capteur telosb [8]

### II.4- Le MicaZ

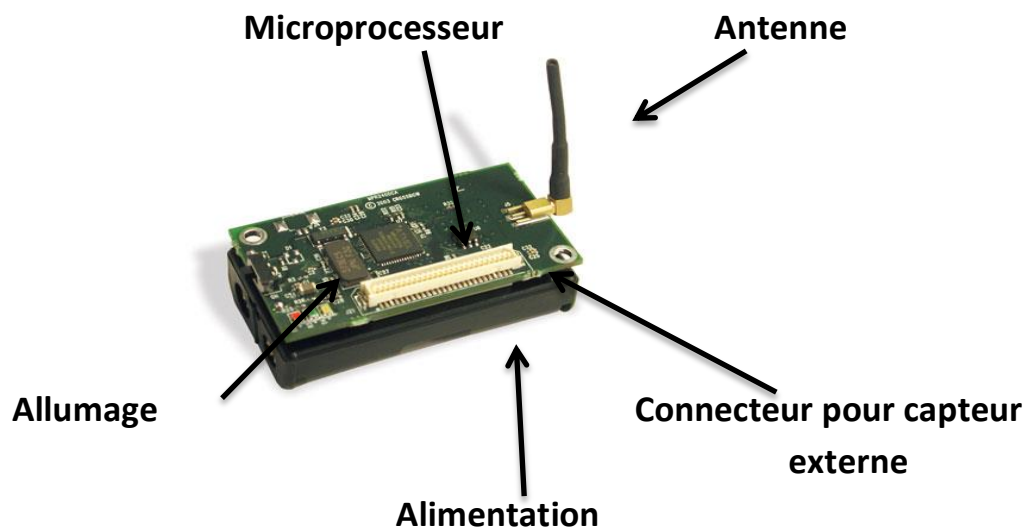
Dans la gamme de produit de la société MEMSIC, les modules MICAz sont des capteurs utilisant la norme de communication IEEE 802.15.4 dans la gamme des 2,4GHz et compatible avec la bande ISM. C'est un module utilisant la pile protocolaire Zigbee ; c'est un protocole de haut niveau permettant la communication de petites radios, à consommation réduite, pour les réseaux à dimension personnelle (Wireless Personal Area Networks : WPANs) pour un débit de données 250kb/ [25].

Le MicaZ est constituées de quatre principaux groupes de composants ayant chacun leur propre rôle [26] :

## Chapitre 3 : Réalisation de l'application

- **Processeur et mémoire** : composé du processeur qui effectue les traitements de la mémoire ram qui stocke les données temporaires et de la mémoire flash qui contient le système d'exploitation.
- **Communication** : compose d'une antenne et d'un système de communication radio afin de pouvoir émettre et recevoir des signaux sans fil.
- **Alimentation** : compose de la batterie fournissant l'énergie nécessaire au fonctionnement et assurant ainsi l'autonomie du capteur.
- **Interactions** : compose des interfaces, de système de capture, de LEDs et qui permet au capteur d'interagir avec son environnement.

Le MicaZ est constitué d'une mémoire flash de 512 Kbytes permettant de stocker plus de 100 000 mesures ainsi que d'une mémoire flash de 128 Kbytes.



**Figure III. 2:** Le module de communication Micaz

Les MicaZ n'ont pas une liaison directe au PC, ils sont interfacés au PC via USB grâce à un autre module le MIB 520 qui est considéré comme une passerelle entre l'ordinateur et le micaz, dont il fournit une connectivité USB pour la communication et la programmation du système.



**Figure III. 3 :** Le MIB520 [25]

### II.5- Le MDA300CA

Le MDA 300CA offre la possibilité de pouvoir placer les capteurs possédant des entrées – sorties analogiques, compatible avec les modules de MICAZ et de MICA2 et elle offre une solution pratique et flexible à ces modalités de capteurs zones couramment trouvés tels que la surveillance de l'environnement et de l'habitat ainsi que de nombreuses autres applications de détection personnalisés.



Figure III. 4: MDA300CA

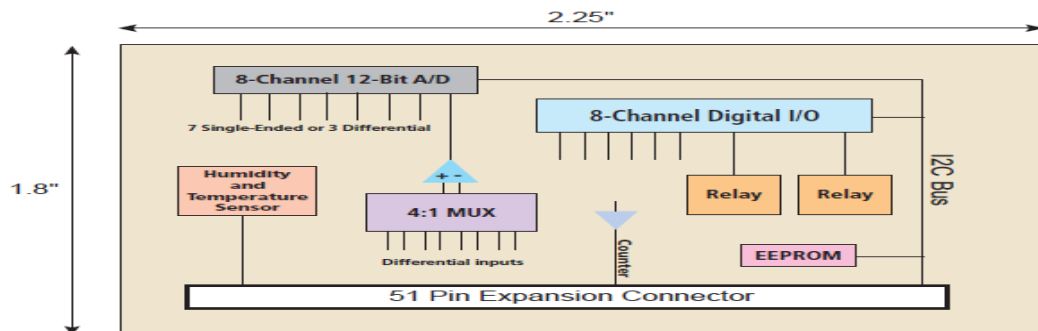
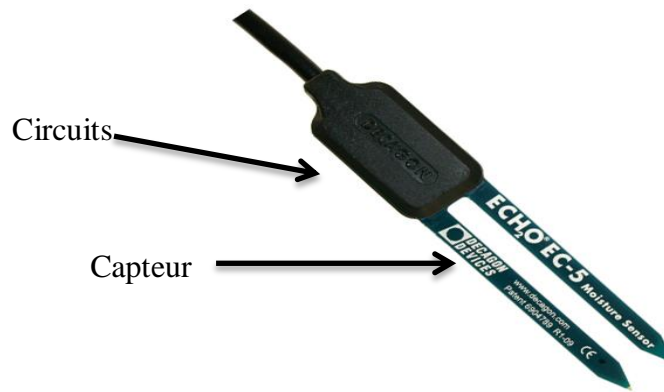


Figure III. 5: Schéma de MDA300CA [25]

### II.6- Decagon EC-5 Soil Moisture Sensor

La sonde diélectrique EC-5 est un capteur d'humidité du sol disponible dans le commerce fourni par Decagon Devices. Il mesure le constant diélectrique du sol à une technologie dans le domaine fréquentiel, il utilise 70 MHz pour le rendre insensible à la texture du sol. On mesure la teneur volumétrique en eau de 0 à 100% dans la détermination de l'humidité du sol. La teneur en eau volumétrique de la gamme de sol saturé de 40% à 60%. La gamme varie selon les différents types de sol [27].



**Figure III. 6:** Decagon EC-5 Soil Moisture Sensor [27]

Le circuit de la lecture de capteur comprend trois éléments à savoir: le détecteur de phase, l'oscillateur et le tampon. Le détecteur de phase est relié à la ligne de transmission du capteur et la sortie du circuit tampon. Un filtre passe-bas est inclus pour donner une tension de sortie qui est constant et proportionnel à la différence de phase entre les entrées du détecteur de phase. Circuit oscillateur fournit un signal de sortie à la fréquence désirée. Il comprend également un multivibrateur astable l'état continu donne à l'oscillateur. Le capteur EC-5 a été conçu pour être installé facilement dans le sol. Il n'y a aucune nécessité de creuser le sol. Pour placer le CE-5 dans le sol, il suffit de pousser jusqu'à ce que la profondeur désirée comme montré dans la figure III.6 [27].



**Figure III. 7:** L'installation d'EC-5 [27]

### II.7- JAVA

Java contient les bibliothèques nécessaires au développement d'interfaces homme/machine grâce à sa bibliothèque Swing et la caractéristique principale est le seul dont le code exécutable est portable. Pour l'environnement de développement, nous avons utilisé NetBeans IDE (Integrated Development Environment) est libre, modulable et open source pour le développement de l'application sur les systèmes d'exploitation Windows, Mac, Linux.

### II.8- PhpMyAdmin

PhpMyAdmin est une des applications les plus populaires pour la gestion des bases de données MySQL. Il est un outil libre écrit en PHP. Grâce à ce logiciel, nous pouvons créer, modifier, supprimer, tables de base de données MySQL importation et d'exportation. Nous pouvons exécuter des requêtes MySQL, d'optimiser, de réparation et de vérifier les tables, changer la collation et exécuter d'autres commandes de gestion de base de données [28].

## III. Mise en place de la plateforme

Dans cette partie nous avons deux étapes: l'installation logicielle et l'installation matérielle.

**a. Installation logicielle** dans cette étape, nous avons commencé par l'installation de TinyOs 2.1.2 dans Ubuntu 14.04 après PhpMyAdmin, ensuite nous avons essayé de se familiariser avec les capteurs telosb, MicaZ et le langage NesC.

**b. Installation matérielle** dans notre cas, nous avons utilisé un capteur telosb comme Receiver et 2 capteurs MicaZ comme Sender dont chacun représentant un rôle bien spécifique, les détails sont illustrés dans la représentation graphique de chaque programme qui a été généré grâce à la commande *make telosb docs* pour le capteur telosb et *make micaz docs* pour le MicaZ.

Le MicaZ communique avec la station de base via une liaison sans fil et la station de base communique avec l'ordinateur via le câble USB.

Le Micaz est flashé avec le programme ReadSensor dont la figure III.7 illustre sa documentation

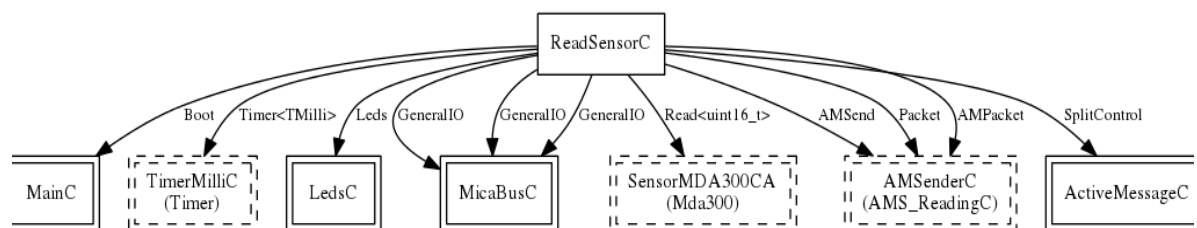


Figure III. 8: Représentation graphique du composant ReadSensorC



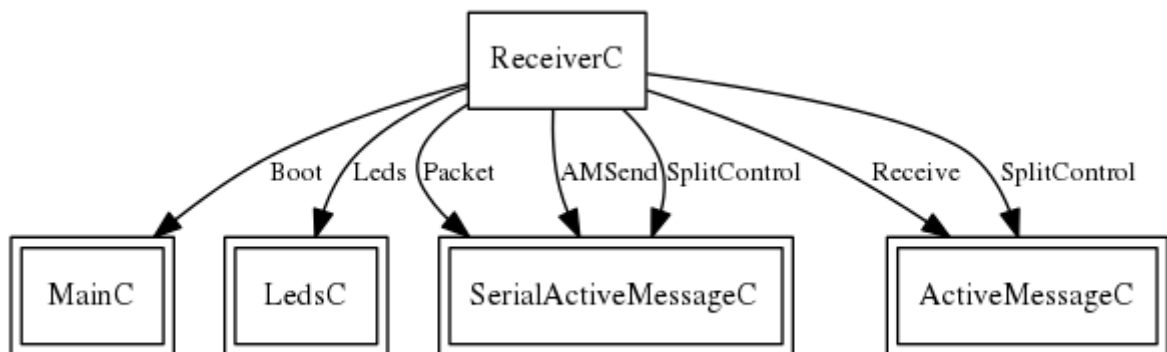
### Chapitre 3 : Réalisation de l'application

---

Ce programme s'articule autour des composants suivants :

- Boot : permet d'initialiser tous les composants au démarrage, elle est fournie par la configuration.
- MainC : représente le cœur de l'application.
- Leds : utilisée pour la manipulation des leds.
- Timer<TMilli> : c'est une interface de synchronisation qui permet le déclenchement d'évènements périodiques.
- SplitControl : utilisée pour l'émission radio fournie par la configuration
- ActivemessageC : permet l'accès à la liaison sans fil et l'encapsulation de messages qui pourront être ensuite envoyés via la liaison sans fil.
- AMSendC : pour l'envoi du paquet via la liaison sans fil.
- SensorMDA300CA () as Mda300: fil pour l'entrée de la tension à travers le capteur on associe le nom Sensor.

En effet, le capteur telosb est flashé avec le programme Receiver dont la figure III.8 illustre sa documentation



**Figure III. 9:** Représentation graphique du composant ReceiverC

Il possède les mêmes composants en ajoutant :

- SerialActiveMessageC : est un composant générique pour l'envoi et la réception de paquets et qui permet la communication série entre le capteur qui joue le rôle de station de base et le PC.

### IV. L'architecture de l'application

Dans notre architecture il y a une plateforme hybride constituée d'un nœud MicaZ, relié à une sonde EC-5 de Decagon à travers la carte d'acquisition MDA300, et un capteur telosb.

le MicaZ envoie la mesure de la teneur en eau qui est mesurée par la sonde Ec-5 au capteur Telosb qui joue le rôle de station de base. Cette station de base va envoyer les données reçues à l'application Java installée sur le PC. A son tour l'application Java recueille les données et les enregistre dans la base de données. La figure III.9 illustre cette architecture.

Les capteurs peuvent être déployés dans différents zone d'intérêt pour connaître l'endroit où il y a des zones sèches, ou zone irriguée ou bien des zones qui dépassent un certain seuil en termes de teneur en eau c-à-d des zones saturés.

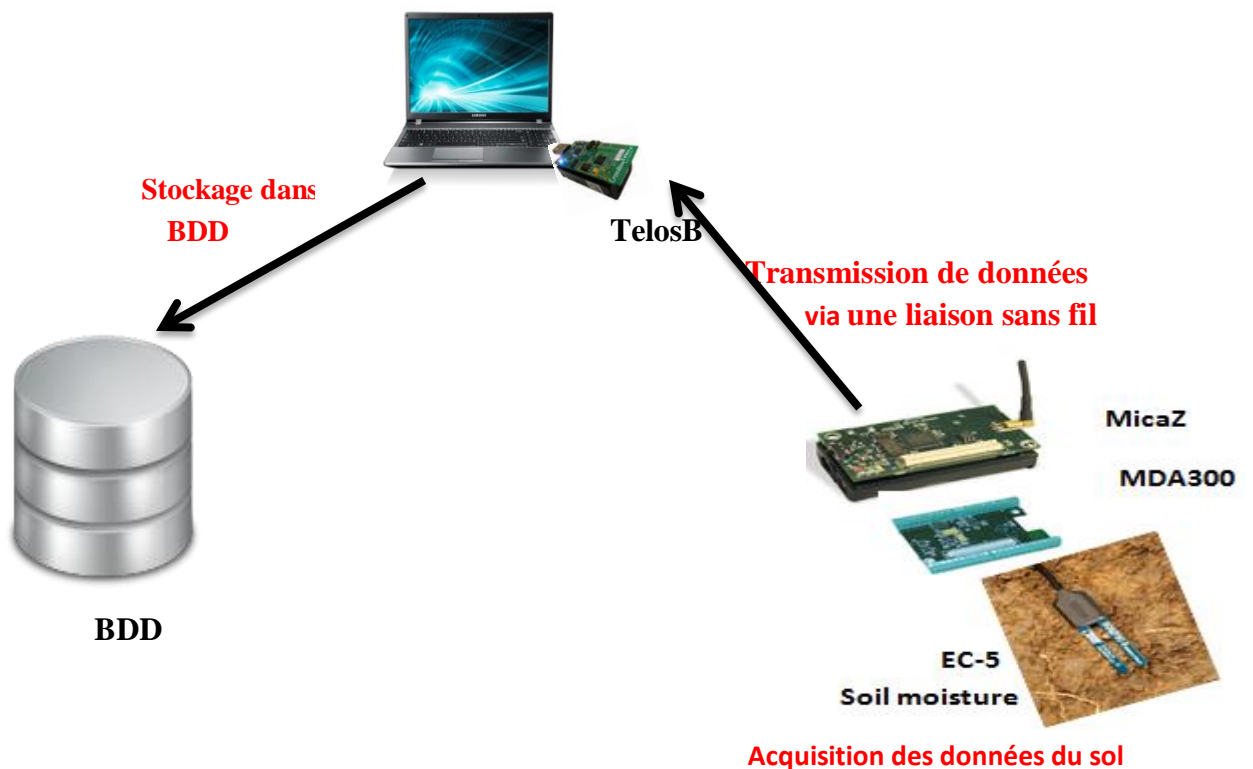


Figure III. 10: L'architecture de l'application mise en œuvre.

Pour que l'application java communique avec la base de données nous avons utilisé l'API JDBC (Java DataBase Connectivity) qui est le standard pour la connectivité de base de données indépendante entre le langage de programmation Java et la base de données SQL.

JDBC fonctionne avec Java sur une variété de plates-formes, telles que Windows, Mac OS, et les différentes versions d'UNIX.

- Pour installer le JDBC sous ubuntu on tapera simplement la commande :

```
sudo apt-get install libmysql-java
```

Et on ajoutera cette ligne dans le fichier `.bashrc` :

```
export CLASSPATH=$CLASSPATH:/usr/share/java/mysql-connector-java-5.1.28.jar
```

### VI.1- Base de données

Dans notre application nous avons besoin de créer une table dans la base de données pour qu'on puisse stocker les données recueillies via le telosb, notre table est nommée « capteur » possède 6 champs : numéro de séquence qui incrémente automatiquement à chaque fois qu'on ajout une information, ID du capteur, la teneur mesuré, la date et heure du relevé et la zone. La figure III.11 illustre la table.

num_seq	id_capteur	teneur_en_eau	date	heure	zone
1	1	44	2015-05-14	17:38:44	zone1
2	1	44	2015-05-14	17:38:47	zone1
3	1	45	2015-05-14	17:38:50	zone1
4	1	47	2015-05-14	17:38:53	zone1

Figure III. 11 : La table capteur

## V. Quelques exécution

Pour exécuter notre application java nous avons besoin d'un outil pour générer du code qui traite les messages TinyOS qui est le MIG (Message Interface Generator).

Le MIG est fourni par tinyos il permet d'établir une interface java dont il est capable d'analyser le fichier « fichier.h » et convertir chacun des champs dans le paquet en classes Java. Ceci fournit un ensemble d'accesseurs et manipulateurs standard qui nous permettent d'accéder et de récupérer les données désirées.

Pour qu'on peut utiliser le MIG en ajoutant cette syntaxe dans le Makefile :

```
mig java -target=null $(CFLAGS) -java-classname=TeneurMsg Message.h Teneur_Msg -o $@
```

Maintenant pour afficher notre interface on tapera cette commande sous console :

```
Java MsgReader -comm serial@/dev/ttyUSB0 :telosb
```

### Chapitre 3 : Réalisation de l'application

Note application consiste à afficher les valeurs de la teneur-en-eau du sol , si la valeur va être inférieure à 35% sera signifie que la zone est sèche , si elle varie entre 35% et 55% la zone est bien irriguée sinon elle saturée .

Après l'exécution nous avons obtenu la teneur-en-eau de la zone 1 est 44%, et la zone 2 est 62% (Figure III.12).

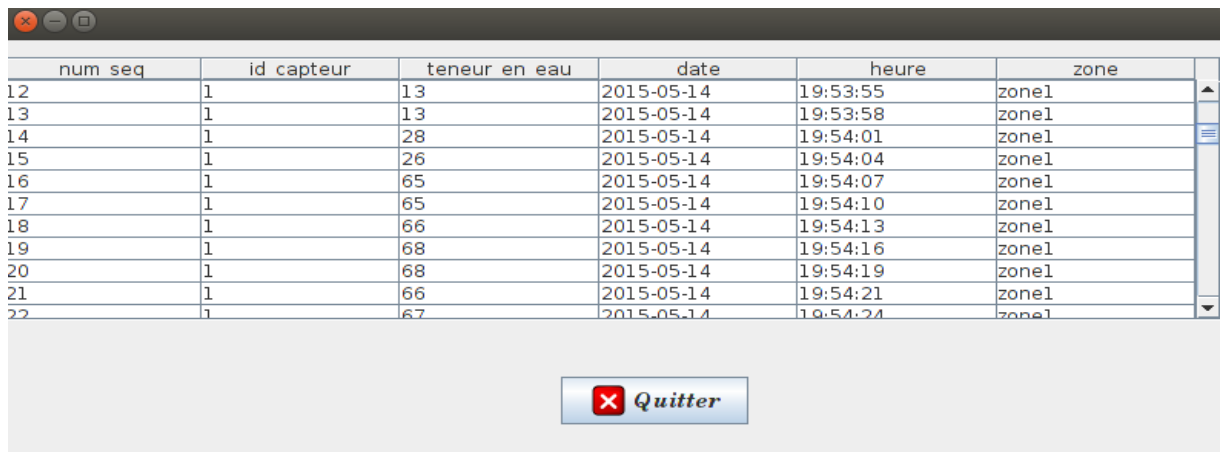


Figure III. 12 : Interface Java

Dans cette interface nous avons quatre boutons :

- Le premier bouton est destiné pour la gestion de la base de données, il se compose d'un tableau qui permet de voir le contenu de la base de donnée.

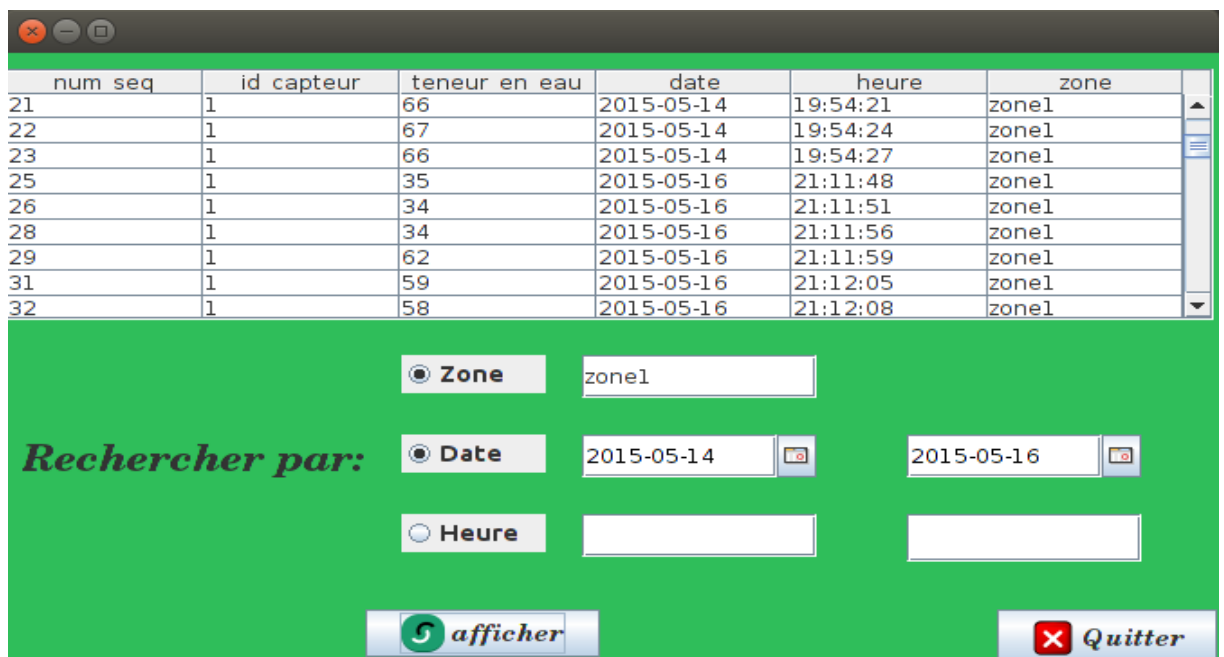
### Chapitre 3 : Réalisation de l'application



num seq	id capteur	teneur en eau	date	heure	zone
12	1	13	2015-05-14	19:53:55	zone1
13	1	13	2015-05-14	19:53:58	zone1
14	1	28	2015-05-14	19:54:01	zone1
15	1	26	2015-05-14	19:54:04	zone1
16	1	65	2015-05-14	19:54:07	zone1
17	1	65	2015-05-14	19:54:10	zone1
18	1	66	2015-05-14	19:54:13	zone1
19	1	68	2015-05-14	19:54:16	zone1
20	1	68	2015-05-14	19:54:19	zone1
21	1	66	2015-05-14	19:54:21	zone1
22	1	67	2015-05-14	19:54:24	zone1

Figure III. 13 : la gestion de la base de données

- Le deuxième bouton « rechercher » afin de lancer une recherche ou bien pour voir l'historique d'une zone, nous avons trois boutons radio pour faciliter la recherche dont un pour faire la recherche par zone, le deuxième recherche par date ou bien par heure.



num seq	id capteur	teneur en eau	date	heure	zone
21	1	66	2015-05-14	19:54:21	zone1
22	1	67	2015-05-14	19:54:24	zone1
23	1	66	2015-05-14	19:54:27	zone1
25	1	35	2015-05-16	21:11:48	zone1
26	1	34	2015-05-16	21:11:51	zone1
28	1	34	2015-05-16	21:11:56	zone1
29	1	62	2015-05-16	21:11:59	zone1
31	1	59	2015-05-16	21:12:05	zone1
32	1	58	2015-05-16	21:12:08	zone1

**Rechercher par:**

Zone

Date

Heure

Figure III. 14 : La partie recherche

- Le troisième bouton est destiné pour générer la courbe d'évolution de la teneur en eau du sol comme le montre la Figure III.15.

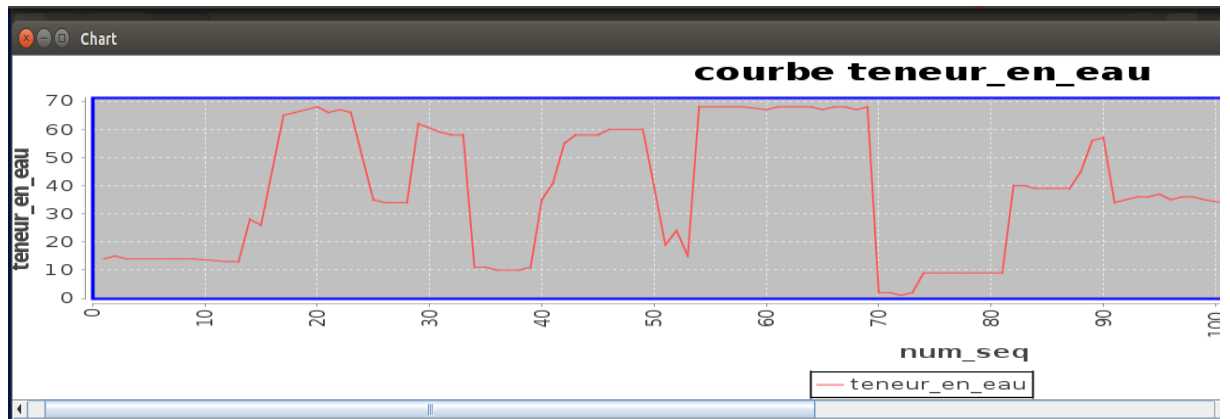


Figure III. 15 : Courbe de teneur-en-eau

- Le quatrième bouton « son » nous donne l'état de la zone est ce qu'elle est sèche, irriguée ou bien zone saturée.

## VI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons implémenté notre application qui consiste à mettre en œuvre un système de réseau de capteurs sans fil pour la surveillance de l'humidité du sol, nous avons intégré un autre type de capteur spécial d'humidité du sol qui a été examiné dans ce travail. Ce qui est prévu pour aider les spécialistes de l'agro-écologiques à réaliser une gestion efficace de l'utilisation des ressources agro-écologiques.

# **Conclusion générale**

# *Conclusion générale*

---

## **Conclusion Générale**

Les réseaux de capteurs sans fil (WSN) sont un phénomène relativement nouveau et en évolution rapide, ils sont des réseaux de classe qui peuvent fournir les données traitées sur le terrain en temps réel à partir de capteurs répartis dans le domaine.

Les nœuds de capteurs déployés sur la mesure du champ de divers paramètres atmosphériques et du sol. Ces mesures peuvent aider à la prise de décision sur l'irrigation (automatisation, semi-automatisation), les applications d'engrais et de pesticides, la détection d'intrusion, la détection des ravageurs, la prévision de rendement, la prédiction des maladies des plantes, de détection d'incendie, etc.

Dans ce mémoire, nous avons présenté une brève description des réseaux de capteurs puis nous avons exposé les RCSF dans le domaine d'agriculture de précision, nous nous sommes intéressés à présenter la conception et la mise en place d'un prototype de réseau de capteurs dans le domaine d'agriculture de précision ce qui nous a permis de contrôler en temps réel le paramètre de teneur en eau du sol. Il a fallu pour cela prendre en main beaucoup de nouvelles technologies, comme TinyOS et le nesC.

Comme perspectives, d'une part il serait très intéressant d'implémenter cette application avec une liaison par internet ce qui offre à ce système la possibilité d'être géré à distance par exemple permettant d'accéder et de contrôler le système via l'utilisation de services web. D'une autre part, on peut l'intégrer avec un système d'arrosage automatique en ayant recours à une équipe multidisciplinaire pour la réalisation d'une application d'arrosage intelligent.



## Bibliographie

- [1] M. LEHSAINI, Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les réseaux de capteurs : application à la domotique, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen et Université de Franche-Comté, 2009.
- [3] Z. BOUZIDI, A BENAMEUR, Mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour l'irrigation intelligente, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université de Tlemcen, juin 2012.
- [4] D. Martins, Sécurité dans les réseaux de capteurs sans fil sténographie et réseaux de confiance, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 2010.
- [5] B. SAHRAOUI, La Géo--localisation dans les Réseaux de Capteurs sans Fil, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme Ingénieur d'Etat en Informatique, Université de Tlemcen, Juillet 2011.
- [6] N. LABRAOUI, La sécurité dans les réseaux de capteurs sans fil, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Novembre 2012.
- [7] I. BENCHOUK, A. BALASKA, Agrégation des données dans les réseaux de capteurs sans fil, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université de Tlemcen, juin 2013.
- [8] F. Khedim, Détection des attaques par répliation dans un réseau de capteurs sans fil, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université de Tlemcen, juillet 2013.
- [9] M. Ramdani, Problèmes de sécurité dans les réseaux de capteurs avec prise en charge de l'énergie, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Magister en Informatique, Université de Bouira, 2013.
- [10] F. MORCHID, Nouveau modèle pour le positionnement des senseurs avec contraintes de localisation, Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Maîtrisées sciences appliquées en Génie Informatique, École Polytechnique de Montréal, avril 2010.
- [11] A. MAKHOUL, Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données, Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, novembre 2008.

- [12] D.E. BOUBICHE, Protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil, Pour l'obtention du diplôme de Magister en Informatique, Université de l'Hadj Lakhdar-Batna, 2008.
- [13] C. Lamorinière, D. Ligot, Réseaux de capteur, EPS, European Project Semester, 2008.
- [14] D. HAMDAN, Détection et diagnostic des fautes dans des systèmes à base de réseaux de capteurs sans fils, Thèse de Doctorat, Université de Grenoble et Université Libanaise, février 2013.
- [15] I. Belkacem, L'irrigation intelligente, GDN, 15th Annual Global Development Conference, Ghana, 2014.
- [16] Y. Kim, M. William, Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 57, no. 7, Juillet 2008, pp. 1379 - 1387.
- [18] N. G. Shah, I. Das, « Precision Irrigation: Sensor Network Based Irrigation », Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management, book edited by Manish Kumar, ISBN 978-953-51-0117-8, Published: March 9, 2012.
- [19] W. Bechkit, A. Bouabdallah, Y. Challal, Un Prototype de Réseaux de Capteurs sans Fils pour l'Agriculture, CFIP 2011 - Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, Sainte Maxime, France. Mai 2011.
- [21] R. Hussain, J.L. Sahgal, Anshulgangwar, M.d. Riyaj, Control of Irrigation Automatically By Using Wireless Sensor Network, In International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), vol.3, no.1, pp. 2231-2307, Mars 2013.
- [22] N. BARBISAN, [et al.], Méthodes d'irrigation en milieu aride, projet d'eau, 2012.
- [23] P. Patil, B.L.Desai, Intelligent Irrigation Control System by Employing Wireless Sensor Networks ,In International Journal of Computer Applications, vol.79, no.11, pp.0975-8887, Octobre 2013.
- [25] S. Jose, Wireless Sensor Network, Product Reference Guide. Crossbow Technology, Inc, California, 2007.
- [26] C. LABORDE, F. DELGADO, Réseaux de capteurs sans fil : Configuration et test de connectivité IP, Projet Tutoré, Master Technologie de l'Internet 1ère année, Université de Pau, Mai 2010.

[27] W.Y. Chung, F. Jocelyn, [et al.], Wireless Sensor Network Based Soil Moisture Monitoring System Design, Conference on Computer Science and Information Systems pp. 79–82, 2013.

## Webographie

[2] « Réseau de capteurs sans-fil »

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=11711>, Consulté le 01/06/2015

[17] « Logiciel disp'eau pour gestion de l'irrigation »

<http://www.captiven.fr/article/logiciel-dispeau-pour-gestion-de-lirrigation>, Consulté le 24/05/2015.

[20] « Agriculture : un arrosage intelligent à énergie solaire »

<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/57559.htm>, Consulté le 24/05/2015.

[24] « Arrosage automatique ».

<http://arrosage.comprendrechoisir.com/comprendre/arrosage-automatique>, Consulté le 24/05/2015.

[28] « PhpMyAdmin Tutorial »

<https://www.siteground.com/tutorials/phpmyadmin/>, Consulté le 31/05/2015.

## Annexe A

### Installation de Tinyos 2.1.2 sous Ubuntu 14.04

1. Exécutez la commande sous console :

```
$ sudo gedit /etc/apt/sources.list
```

2. Ajoutez le lien du package de Tinyos à la fin du fichier

```
« deb http://tinyos.stanford.edu/tinyos/dists/ubuntu lucid main »
```

3. Maintenant on va installer tinyos-2.1.2 en tapant :

```
$ sudo apt-get update
```

```
$ sudo apt-get install tinyos-2.1.2
```

3. Après créer le fichier tinyos.sh dans le dossier cd /opt/tinyos2.1.2 avec le contenu suivant :

```
#!/usr/bin/env bash
```

```
# Here we setup the environment
```

```
# variables needed by the tinyos
```

```
# make system
```

```
echo "Setting up for TinyOS 2.1.2"
```

```
export TOSROOT=
```

```
export TOSDIR=
```

```
export MAKERULES=
```

```
TOSROOT="/opt/tinyos-2.1.2"
```

```
TOSDIR="$TOSROOT/tos"
```

```
CLASSPATH=$CLASSPATH:$TOSROOT/support/sdk/java
```

```
MAKERULES="$TOSROOT/support/make/Makerules"
```

```
export TOSROOT
```

```
export TOSDIR
```

```
export CLASSPATH
```

```
export MAKERULES
```

Ensuite, enregistrer et quitter.

4. Maintenant, ouvrez le fichier : **\$ sudo gedit ~/.bashrc**

Ajouter les lignes indiquées ci-dessous à la fin de ce fichier :

```
export TOSROOT=/opt/tinyos-2.1.2
export TOSDIR=$TOSROOT/tos
export CLASSPATH=$TOSROOT/support/sdk/java/tinyos.jar:.$CLASSPATH
export MAKERULES=$TOSROOT/support/make/Makerules
export PATH=/opt/msp430/bin:$PATH
source /opt/tinyos-2.1.2/tinyos.sh
# End TinyOS pathing
```

Et sauvegarder par :

```
source ~/.bashrc
```

5. Ensuite, changez la permission en utilisant cette commande :

```
$ sudo chown -R <username> /opt/tinyos-2.1.2/
```

6. Finalement pour tester si tout est bien, branchez le capteur sur le pc puis tapez :

```
motelist
```

Vous allez voir les résultats suivants :

```
Reference Device Description
-----
MFV6KPJN /dev/ttyUSB0 FTDI MTM-CM5000MSP
usb-lsusb: 200555V 200545V 270555V 270545V /opt/tinyos-2.1.2/src/blink.c
```

Après, vous compilez le programme **Blink** :

```
$ cd /opt/tinyos-2.1.2
```

```
$ make telosb
```

## Annexe B

# Installation de PhpMyAdmin sous Ubuntu 14.04

Exécuter la commande suivante pour mettre à jour :

```
sudo apt-get update
```

*Etape 1:*

- Ouvrez le terminal et tapez la commande suivante pour l'installation d'Apache2

```
sudo apt-get install apache2
```

*Etape 2:*

- Ouvrir /etc/apache2/httpd.conf. Ajouter la ligne suivante :

```
ServerName localhost
```

*Etape 3 :*

- Maintenant, redémarrez le service Apache

```
sudo /etc/init.d/apache2 restart
```

*Etape 4 :*

- Installez le serveur Mysql en tapant la commande suivante dans le terminal.

```
sudo apt-get install mysql-server
```

Cette commande va installer mysql-serveur et mysql-client avec des dépendances.

Il demandera un nouveau mot de passe pour le serveur mysql. Donnez quelques mot de passe fort et retaper le même mot de passe pour confirmation.

*Etape 5 :*

- Tapez la commande ci-dessous pour installer php5.

```
sudo apt-get install php5 php5-mysql
```

Créer un fichier php et coller le code ci-dessous dans le fichier de montrer la configuration de PHP. Aller à l'apache racine dont le chemin par défaut / var / www.

Créer un nouveau fichier texte phpinfo.php et coller le code ci-dessous et enregistrez-le.

```
<? php
```

```
phpinfo ();
```

```
?>
```

**Etape 6 :**

- Maintenant, redémarrez le service apache2.

**Etape 7 :**

- Finalement, l'installation de phpMyadmin se déroule sur plusieurs étapes :
  - Installez le phpMyadmin en tapant la commande suivante dans le terminal.

**sudo apt-get install phpmyadmin**

Comme l'installation se passe, vous serez invité à quelques questions simples concernant la configuration de base de phpMyAdmin.

- Sélectionnez apache2 en utilisant la barre d'espace, puis appuyez sur Entrée pour continuer.
- Sélectionnez Oui, pour la question suivante "configurer la base de données pour phpmyadmin avec dbconfig-commun?", puis appuyez sur Entrée pour continuer.
- entrez votre mot de passe MySQL, puis appuyez sur Entrée pour continuer.
- Et enfin réglé le mot de passe que vous utilisez pour vous connecter à phpmyadmin, Appuyez sur Entrée pour continuer et confirmer votre mot de passe.
- Maintenant, ouvrez le fichier :

```
$ sudo gedit ~/etc/apache2/apache2.conf
```

Ajoutez ce qui suit à la fin du fichier:

```
# Configuration phpMyAdmin
```

```
inclure /etc/phpmyadmin/apache.conf
```

Puis enregistrez et quittez le fichier.

Et, redémarrez Apache 2 avec la commande suivante:

```
sudo /etc/init.d/apache2 restart
```

- Vérifiez que phpMyAdmin fonctionne en visitant l'`@IP_de_votre_serveur/phpmyadmin`. Par exemple: `http://127.0.0.1/phpmyadmin`.

# Liste des figures

## CHAPITRE I

FIGURE I. 1: ARCHITECTURE D'UN CAPTEUR [5].....	8
FIGURE I. 2: EVOLUTION DES CAPTEURS [4] .....	10
FIGURE I. 3: EXEMPLE D'UN RESEAU DE CAPTEURS SANS FIL [9].....	11
FIGURE I. 4: ARCHITECTURE DE COMMUNICATION DANS RCSF [1] .....	11
FIGURE I. 5: RESEAU DE CAPTEURS MILITAIRE [12] .....	13
FIGURE I. 6: ENSEMBLE DE CAPTEURS DANS UN CORPS HUMAIN [12] .....	14
FIGURE I. 7: TOPOLOGIES DES RESEAUX DE CAPTEURS [3].....	15

## CHAPITRE II

FIGURE II. 1: LES RESEAUX DE CAPTEURS DANS L'AGRICULTURE DE PRECISION.....	21
FIGURE II. 2: DISPOSITION D'IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE [21].....	22
FIGURE II. 3: LES SYSTEMES D'IRRIGATION GRAVITAIRE.....	23
FIGURE II. 4: LES SYSTEMES D'IRRIGATION PAR ASPERSION [3].....	23
FIGURE II. 5: IRRIGATION GOUTTE A GOUTTE A L'AIDE DE RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL [21] .....	26
FIGURE II. 6: LES TYPES D'OUVRAGES [3]. .....	29

## CHAPITRE III

FIGURE III. 1: CAPTEUR TELOS B [8].....	32
FIGURE III. 2: LE MODULE DE COMMUNICATION MICAZ.....	33
FIGURE III. 3 : LE MIB520 [25].....	33
FIGURE III. 4: MDA300CA.....	34
FIGURE III. 5: SCHEMA DE MDA300CA [25] .....	34
FIGURE III. 6: DECAGON EC-5 SOIL MOISTURE SENSOR [27].....	35
FIGURE III. 7: L'INSTALLATION DE EC-5 [27] .....	35
FIGURE III. 8: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU COMPOSANT READSENSORC.....	36
FIGURE III. 9: REPRESENTATION GRAPHIQUE DU COMPOSANT RECEIVERC .....	37
FIGURE III. 10: L'ARCHITECTURE DE L'APPLICATION MISE EN ŒUVRE. ....	38
FIGURE III. 11 : LA TABLE CAPTEUR .....	39
FIGURE III. 12 : INTERFACE JAVA .....	40
FIGURE III. 13 : LA GESTION DE LA BASE DE DONNEES .....	41
FIGURE III. 14 : LA PARTIE RECHERCHE .....	41
FIGURE III. 15 : COURBE DE TENEUR-EN-EAU.....	42



## Liste des Tableaux

TABLEAU I. 1: LES TROIS GENERATIONS DES NŒUDS DE CAPTEURS [3] .....	8
TABLEAU II. 1: SUPERFICIES IRRIGUEES PAR TYPES D'OUVRAGE .....	28
TABLEAU II. 2: SUPERFICIES IRRIGUEES PAR SYSTEME D'IRRIGATION .....	29

## Résumé

Comme les réseaux de capteurs ont émergé comme une nouvelle zone de recherche passionnante, un de ces domaines prometteurs est l'agriculture de précision où les RSCF peuvent fournir un support important qui facilitera les pratiques agricoles et qui peut moderniser et remplacer certaines des techniques traditionnelles.

Dans ce mémoire, nous mettons en œuvre un prototype pour l'agriculture de précision et le contrôle d'environnement qui permet de récupérer une des données les plus fondamentales requises pour l'agriculture de précision, à savoir la teneur en eau du sol. Ce prototype est composé d'un nœud MicaZ, d'une sonde diélectrique EC-5 de Decagon et une carte d'acquisition MDA300. Notre système pourrait être un bon point de départ d'un irrigateur intelligent.

**Mots clés :** Réseaux de capteurs sans fil, prototype, agriculture de précision.

## Abstract

As sensor networks have emerged as a new exciting research area, one of these promising areas is precision agriculture where WSN can provide important support that can facilitate agricultural practices and modernize or replace some traditional techniques.

In this paper we propose a prototype for precision agriculture and environmental control that retrieves one of the most fundamental data required for precision agriculture: the soil moisture. The prototype consists of a MicaZ node, an EC-5 sensor Decagon and MDA300 acquisition card. Our system could be a good starting point for a smart irrigator.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, prototype, precision agriculture.

## ملخص

كما ظهرت شبكات الاستشعار كمنطقة البحوث الجديدة والمثيرة واحدة من هذه المناطق الواعدة هو الزراعة الدقيقة حيث WSN يمكن أن توفر دعما كبيرا لتسهيل الممارسات الزراعية والذي يمكن أن تطور أو تحل محل بعض الأساليب التقليدية.

في هذا البحث نقترح نموذجاً أولياً للزراعة الدقيقة والتحكم البيئي الذي يقوم باسترداد واحدة من البيانات الأساسية المطلوبة للزراعة الدقيقة في المحتوى المائي للتربة، ويتكون النموذج الأولي من بطاقة الاكتساب MicaZ واستشعار EC-5 معشر الزوايا و MDA300 يمكن أن يكون نظاماً نقطة انطلاق جيدة للري الذكية. **كلمات البحث :** شبكات الاستشعار اللاسلكية، النموذج، الزراعة الدقيقة.