



École Supérieure Multinationale des Télécommunications



BÉNIN BURKINA FASO GUINÉE MALI MAURITANIE NIGER SÉNÉGAL

MÉMOIRE FIN DE FORMATION POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

THÈME

*Conception et Implémentation d'un champ connecté
pour une meilleure gestion des cultures*

Sous la direction de :

Pr. Fabé I. **BARRO**
Maître de conférences des Universités

Dr Gualbert Séraphin **DOREGO**
Géographe / Géomaticien ISRA / CNRA de Bambey

Présenté et soutenu par :

M. Idrissa Aliou **SALL**

Promotion 2014 - 2017

Décembre 2017

DEDICACE

Je dédie ce modeste mémoire à :

- Ma très chère mère Zeinabou SALL,
- Mon cher père Aliou SALL et ses frères
- Mes très chers frères et très chères sœurs,
- Toute la grande famille SALL
- La Famille de défunt grand père Aboubacar CAMARA
- Mes amis et camarades de promotion

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à DIEU, le Tout Puissant, Présent au commencement et à la fin de toute chose.

Je tiens tout d'abord à remercier mes encadreurs, Dr. Gualbert Séraphin DEROGO et Pr. Fabé Idrissa BARRO pour leurs accueils, le temps passé ensemble et le partage de leurs expertises au quotidien. Grâce aussi à leur confiance, j'ai pu m'accomplir totalement dans mes missions. Ils furent d'une aide précieuse dans les moments les plus délicats. Je vous prie de recevoir, Dr. Gualbert Séraphin DEROGO et Pr. Fabé Idrissa BARRO, l'expression de ma plus profonde gratitude.

A mes parents, mes frères, mes sœurs, mes amis, ma famille, j'exprime ma profonde gratitude pour tous les sacrifices consentis, ainsi que leur soutien indéfectible.

A mon frère et cher ami Hademou Sirakhata Camara, pour toute l'ambiance dont tu m'as entourée, pour toute la spontanéité et ton élan chaleureux, trouve ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie. Puisse Dieu le Tout Puissant exaucer tous tes vœux.

Je remercie également tous les camarades impliqués de près ou de loin dans la réalisation de ce projet et plus particulièrement M. Ousmane SARR.

Je suis également reconnaissant à l'égard du corps professoral et de l'administration de l'Ecole Supérieure Multinationale des Télécommunications (ESMT), centre d'excellence africain, pour l'encadrement dont j'ai bénéficié durant ces trois dernières années.

Je décerne une mention spéciale à Cyrille ESSOH, Aminou SANI, Abou CAMARA, Yahaya CAMARA, Mohamed CAMARA, la Team Ic_Future, tout le membre du Fablab de Kër Thiossane, tous les ingénieurs et chercheurs du CNRA (Centre Nationale de Recherche Agronomique) pour leur encouragement et leur assistance aussi bien matériel que moral qui m'ont permis de faire ce mémoire dans de très bonnes conditions.

Je ne saurais finir sans remercier mes camarades de promotion avec qui j'ai partagé de très bons moments, riches en émotions et en enseignements.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE, PRESENTATION DU SUJET ET LA STRUCTURE D'ACCUEIL EN STAGE	3
1.1. Problématique	3
1.2. Présentation du sujet	4
2.3. Présentation de la structure d'accueil en stage	6
CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART DE L'AGRICULTURE INTELLIGENTE	10
2.1. Agriculture intelligente : Définition et concepts utilisés	10
2.2. Solutions existants	13
2.3. Avantages	15
2.4. Présentation de la maquette	15
CHAPITRE 3 : ANALYSE FONCTIONNELLE ET ETUDE CONCEPTUELLE	18
3.1. Le principe de fonctionnement	18
3.2. Les acteurs	20
3.3. Langages de programmation et outils libres utilisés :	22
3.4. Langage de modélisation « UML (Unified Modeling Language)»	26
CHAPITRE 4 : MISE EN ŒUVRE DU SYSTEME	32
4.1. Matérialisation des fonctionnalités du système	32
4.2. Réalisation de la maquette	47
CONCLUSION	55
BIBLIOGRAPHIE	i
WEBGRAPHIE	ii
TABLES DES MATIERES	iv
ANNEXES	vii
Annexe 1. Logiciel Fritzng.....	vii
Annexe 2. Quelques lignes de code arduino	viii
Annexe 3. Fiche technique de la culture du Niébé	ix

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Architecture d'un capteur « intelligent ».....	11
Figure 2.2 : L'interaction entre le microcontrôleur, les capteurs et les actionneurs	13
Figure 2.3 : Schéma montrant le bac, système d'arrosage et l'emplacement du dispositif	16
Figure 2.4 : vue interne du système montrant le moteur de la pompe à eau	17
Figure 2. 5: schéma global du bac	17
Figure 3.1 : Diagramme fonctionnel	21
Figure 3.2 : Diagramme de cas d'utilisation	28
Figure 3.3 : Diagramme de séquence « déclencher la pompe de façon automatique ».....	29
Figure 3.4 : Diagramme de séquence « ouvrir/fermer la pompe à distance »	30
Figure 3.5 : Diagramme de séquence « affichage de tableau des données ».....	31
Figure 4. 1 : Montage de capteur d'humidité avec arduino	37
Figure 4. 2 : Vue schématique du montage de DHT avec arduino	41
Figure 4. 3 : Vue schématique du montage (photorésistance avec arduino)	42
Figure 4. 4 : Architecture du système embarqué.....	45
Figure 4. 5 : Diagramme de séquence du système embarqué	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 : Caractéristiques technique de l'arduino Uno	33
Tableau 4.2 : Caractéristiques de Wemos D1	34
Tableau 4.3 : Quelques conseils pour bien entretenir le capteur de pH.....	39

LISTE DES CAPTURES

Capture 3.1: Interface de draw.io.....	24
Capture 3. 2 : Interface de SketchUp	25
Capture 4.1 : Carte Arduino Uno.....	33
Capture 4.2 : Wemos D1	34
Capture 4.3 : Architecture interne d'ULN2803	35
Capture 4. 4 : Capteur d'humidité du sol.....	37
Capture 4.5 : Capteur de pH avec Logo_PHsensor compatible arduino	38
Capture 4. 6 : Pompe péristaltique.....	43
Capture 4.7 : LCD I2C avec arduino Uno.....	44
Capture 4. 8 : l'image du bac d'expérimentation en cours de préparation.....	47
Capture 4. 9 : l'image du bac d'expérimentation montrant le trou de passage d'eau	48
Capture 4. 10 : Calibrage du capteur de pH, Labo sol CNRA de Bambey	49
Capture 4. 11 : Valeur de pH lue sur l'écran LCD	49
Capture 4.12 : L'emplacement du système embarqué sur le bac.....	50
Capture 4. 13 : Schéma montrant l'emplacement du dispositif.....	51

SIGLES ET ABREVIATIONS

AOF	Afrique Occidentale Française
CdS	Cadmium-Sulfite
CNRA	Centre Nationale de Recherche Agronomique
CI	Circuit Imprimé
CMOS	Complementary Metal Oxide Semi-conducteur
CRA	Centre de la Recherche Agronomique
CSS	Cascading Style Sheets
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
ESMT	Ecole Supérieure Multinationale des Télécommunications
FAO	Food and Agriculture Organization
FRAM	Ferro-électrique Random Access Memory
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IDE	Integrated Développement Environnement
IoT	Internet of Things
IRAT	Institut de Recherches sur les Cultures Vivrières et Tropicales
IRSTEA	Institut national de Recherche en Science et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture
ISRA	Institut Sénégalaise des Recherches Agricoles
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
M2M	Machine to Machine
ODD	Object Oriented Design

OOSSE	Object Oriented Software Engineering
OMT	Object Modeling Technique
PAPEM	Point d'Appui pour l'Expérimentation Multilocale
pH	Potentiel Hydrogène
PIB	Produit Intérieur Brut
PWM	Pulse Width Modulation
PSE	Plan Sénégal Emergent
RAM	Random Access Memory
ROM	Read-only Memory
SAU	Sol Agriculture Utile
SCL	Serial Clock Line
SDA	Serial Data Line
SDIC	Service de Documentation Information & Communication
SEA	Station Expérimentale de l'Arachide
SI	Système d'Information
SSID	Service Set Identification
SSRA	Secteur Soudanais Recherches Agronomiques
TIC	Technologies de l'information et de la Communication
TTL	Transistor-Transistor Logic
UML	Unified Modeling Language
USB	Universal Serial Bus
Wi-Fi	Wireless Fidelity
XML	Extensible Markup Language

INTRODUCTION

De nos jours notre société est marquée par la révolution des technologies de l'information et de la Communication (TIC) qui représentent un facteur influent opérant dans l'amélioration du niveau de vie des citoyens et des communautés. L'essor de ces technologies a donné naissance à de nombreuses autres technologies telles que les systèmes embarqués, les objets connectés etc. Ces technologies ne cessent de prendre de l'ampleur dans les activités humaines et de s'imposer en gagnant des parts sur le marché mondial. Par ailleurs, ces technologies convergent vers d'autres domaines pour y apporter des solutions innovantes.

Le développement de l'agriculture est l'un des leviers les plus puissants permettant de mettre fin à l'extrême pauvreté dans nos pays sous-développés ou en voie de développement. Selon le rapport des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, afin de nourrir la population croissante de la terre, le monde devra produire un surplus de 70% de la production actuelle pour nourrir 2,3 milliards de personnes de plus d'ici 2050 [10]. L'agriculture est également un facteur essentiel de croissance économique. En 2014, elle représentait encore un tiers du Produit Intérieur Brut (PIB) mondial [10]. Comparée à d'autres secteurs, sa croissance a des effets plus efficaces sur l'augmentation des revenus des populations les plus démunies. Selon une étude publiée en 2016, 65% des travailleurs pauvres dépendent de l'agriculture pour vivre [11]. Dans le cas du Sénégal 95% des exploitants sont de type familial et seulement 5% de gros producteurs disposent de plus en plus des moyens modernes. L'agriculture est un levier performant du Plan Sénégal Emergent (PSE). Néanmoins l'agriculture sénégalaise a beaucoup de contraintes liées aux aléas climatiques, moins de précipitations, l'utilisation des engrais chimiques, l'accès aux informations liées au sol, l'adaptabilité des cultures. Quelles solutions existent alors pour rendre cette agriculture plus efficace et plus facile à gérer :

- La collecte et l'accès aux informations ?
- L'optimisation des ressources en eau ?
- Tester le niveau de pH du sol sans passer au laboratoire, afin de faciliter le choix de culture en fonction du sol ?

C'est pour répondre à ces interrogations que le sujet du présent mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception des télécommunications a été intitulé « Conception et implémentation d'un champ connecté pour une meilleure gestion des cultures ».

Ce travail présente une solution d'agriculture intelligente et innovante basée sur les technologies de réseau sans fil et des objets connectés destiné à toute personne désirant obtenir ou collecter les informations sur l'état de son champ en temps réel, tester et optimiser les ressources en eau. Les informations seront disponibles sur une interface web conçue à cet effet.

Afin d'atteindre les objectifs escomptés, l'état de l'art de l'agriculture intelligente est effectué dans un premier temps ; dans un second temps nous procédons à une analyse et une étude conceptuelle de la solution envisagée avant de proposer l'architecture retenue et le principe de fonctionnement du système. Nous terminons par la réalisation d'un prototype de notre solution.

CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE, PRESENTATION DU SUJET ET LA STRUCTURE D'ACCUEIL EN STAGE

1.1. Problématique

L'agriculture représente l'une des activités principales de notre société. De nos jours, les terres cultivées subissent des menaces liées à l'activité humaine et au changement climatique. En 2013, on note la perte de terres arables, touchant 74 % de la population mondiale, dont 42 % sont considérées très pauvres et 32 % moyennement pauvres [12]. En 2014, selon un rapport de la commission européenne, les effets négatifs du changement climatiques ont réduit le PIB de l'Afrique d'environ 1.4% [3]. Une grande partie de cette réduction touchant le secteur est dû au changement climatique (élévation de la température, sécheresses, inondations, extrêmes pluviométrie etc.) et induisent des coûts d'adaptation pouvant atteindre 3% du PIB par an en 2030 [3].

Au Sénégal, 55% de la population (Population totale évaluée 13.5 millions en décembre 2013) se trouvent en zone rurale [13]. Malgré cela, plus de la moitié des ruraux, en général pratiquant une agriculture de subsistance, vivent sous le seuil de la pauvreté et 30% d'entre eux sont affectés par l'insécurité alimentaire [13]. L'agriculture repose à la fois sur des cultures des rentes (arachide, coton, produits horticoles) et sur des cultures vivrières (principalement céréales). La plupart des paysans pratiquent une agriculture saisonnière et pluviale (uniquement en saison des pluies), fortement tributaire des aléas climatiques (irrégularité, déficit et pause pluviométrique, démarrage tardif et arrêt précoce...). Mais les surfaces irriguées, qui ne représente que 5% de la SAU (Sol Agriculture Utile), ont tendance à se développer [13].

Cependant, en plus des contraintes citées plutôt, la baisse de fertilité des sols et les attaques de ravageurs impactent fortement la production.

Au regard de tous ces problèmes et vu l'essor fulgurant de la technologie, l'intégration de TIC dans le processus de production agricole pour aider à la prise de décisions, des objets connectés ou encore des kits qui sont susceptibles de faire des relevés avec précision apparaît comme une piste prometteuse afin de réduire les contraintes. Cette intégration permettra de conduire de manière intelligente les opérations culturales comme par exemple faire le bon dosage de produits chimiques ou fournir des données relatives aux conditions pédoclimatiques plus appropriés.

Ainsi, le présent mémoire propose une solution d'agriculture intelligente, qui fournit des informations précises sur le sol, le climat, les besoins en eau des plantes, le cas de stress hydrique et l'adaptabilité des différentes cultures.

1.2. Présentation du sujet

Après l'énoncé de la problématique, il convient de décrire le sujet, ses objectifs, son périmètre, la démarche et méthodologie qui ont été choisies pour son élaboration.

1.2.1. Explication du sujet

Le mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de Conception des Télécommunications est intitulé « Conception et implémentation d'un champ connecté pour une meilleure gestion des cultures ».

L'analyse du sol est primordiale pour tout producteur aspirant à obtenir un bon rendement agricole. Pour ce faire il est nécessaire pour les producteurs de connaître le sol et d'avoir accès aux informations liées à celui-ci, mais aussi la culture qui peut lui être adaptée.

C'est dans cette perspective que, de nos jours de nouveaux outils techniques disponibles permettent de réduire le délai d'acquisition et d'interprétation des données de terrain (parcelle) pour une rapide prise de décisions et interventions humaines. Elle permettra de connaître les informations météorologiques adaptées à l'environnement du champ, du niveau de pH exigé pour une culture donnée, pour faciliter le choix des cultures aux agriculteurs.

L'agriculture intelligente permet une transformation majeure de la production agricole afin de relever les défis et contraintes pour une augmentation de la productivité, l'adaptation des cultures au changement climatique, et la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Dans ce contexte nous utiliserons des composants électroniques tels que des capteurs et actionneurs, commandés par un microcontrôleur pour l'acquisition et le traitement des informations. Ces composants communiquent entre eux grâce à des protocoles standards.

Cette solution consistera à :

- Collecter les informations grâce à des capteurs :
 - Capteur de pH (mesure le niveau de pH du sol)
 - Capteur de Température et humidité du sol

- Photorésistance « capteur de lumière » (mesure de la luminosité ambiante)
- Etc.
- Traiter ces informations
- Vérifier le niveau de pH, ainsi que les autres paramètres liés au sol
- Vérifier l'adaptabilité de ces paramètres par rapport à la culture considérée
- Gérer efficacement les ressources en eau avec une pompe associée au système

Toutes les informations collectées seront envoyées vers le serveur web et visualisable sur une page web de monitoring.

1.2.2. Objectif et délimitation du mémoire

Le but de ce mémoire est de proposer une maquette d'un champ connecté qui sera suivie d'une application web permettant de visualiser, à partir d'un réseau local ou distant en temps réel, les informations liées au sol et aux cultures. L'interface sera simple et intuitive pour permettre à l'utilisateur, un accès rapide à l'information.

Afin de bien mener ce projet, les objectifs intermédiaires suivants sont définis :

- Comprendre les notions associées au sujet ;
- Définir les fonctionnalités du système et les données à traiter ;
- Choisir les outils et langage de programmation à utiliser ;
- Concevoir des architectures matérielles et logicielles du système, ainsi que son fonctionnement ;
- Réaliser un prototype du système afin de démontrer les fonctionnalités essentielles du système.
- Faire une plateforme web permettant de :
 - Fournir des informations aux agriculteurs
 - Contrôler la pompe via la plateforme

En revanche, l'étude conceptuelle et technique du système ne tiendra pas en compte le déploiement et toutes questions d'ordres financières ou commerciales, ou encore le business plan du projet. Nous nous focaliserons sur les fonctionnalités essentielles du système, puis à la réalisation du prototype d'un champ connecté.

1.2.3. Démarche et méthodologie

Premièrement nous mènerons des recherches sur les différentes notions abordées par le sujet, présenter quelques systèmes existants, trouver des solutions pour offrir plus de fonctionnalités à notre système.

Ensuite, nous mettrons l'accent sur les acteurs sollicitant le système et les fonctionnalités essentiels dont devraient en profiter ces derniers. Autrement dit, faire une analyse fonctionnelle et une étude conceptuelle du système. Pour cela, nous ferons appel aux applications de méthodes conceptuelles à savoir UML (Unified Modeling Language). Ce dernier est un langage de modélisation graphique qui s'articule autour des diagrammes et s'appuie sur un formalisme de description normalisée, conçu pour visualiser la conception d'un système.

En troisième lieu, nous définirons l'architecture du système de même que son fonctionnement. Nous expliquerons tant bien au niveau logiciel qu'au niveau matériel pour mieux comprendre son fonctionnement. Et nous présenterons également les différents composants, leurs utilités et leurs interactions. En effet, au-delà de la représentation physique, il est important de définir les différents logiciels et programmes utilisés, leur orchestration en vue d'obtenir un système sûr, fiable et adapté aux besoins des usagers.

Et enfin, nous procéderons à la réalisation du prototype d'un champ connecté. Le but de ce mémoire est de prouver la faisabilité de notre projet d'étude afin de proposer une solution prête à l'emploi.

2.3. Présentation de la structure d'accueil en stage

Situé au cœur du Bassin arachidier, le Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Bambey, tel que nous le connaissons aujourd'hui, est passé par différentes étapes : la ferme modèle en 1898, la Station Expérimentale de l'Arachide (SEA) en 1913, le Secteur Soudanais Recherches Agronomiques (SSRA) en 1938, le Centre de la Recherche Agronomique (CRA) en 1950.

Enfin à l'indépendance du Sénégal en 1960 le CRA devient Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) et sa gestion est confiée à l'IRAT (Institut de Recherches Agronomique Tropicales et des cultures Vivrières) qui passe le flambeau à l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherches Agricoles) en 1974.



Le Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Bambeï qui est un des centres à compétence nationale de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) couvre 6 régions administratives (Louga, Thiès, Diourbel, Fatick, Kaolack et Kaffrine). Ces régions correspondent à trois zones agro-écologiques (Bassin arachidier (centre et nord), avec le département de Kébémér et les régions de Thiès et Diourbel), la zone sylvo-pastorale (départements de Louga et Linguère) et la zone sud du bassin arachidier (régions de Fatick, Kaolack et Kaffrine). Ces trois

zones ont un poids très important dans les productions agricoles du pays, avec 2/3 de la production d'arachide, la quasi-totalité de la production de niébé, les 4/5 du mil et le tiers de la production maïsicole.

Mission du CNRA :

Le CNRA intervient dans une zone qui connaît

- ✓ Une forte baisse de la pluviométrie
- ✓ Une dégradation progressive des sols
- ✓ Un couvert végétal quasi-désertique du fait des activités humaines
- ✓ Une absence de mécanisation des travaux agricoles.

Par conséquent Il lui a fallu adapter ses programmes de recherches à ce milieu pour lever les contraintes et améliorer la productivité agricole, voire booster les rendements, étant donné que les cultures pluviales constituent l'essentiel des activités des populations.

Pour mener à bien sa mission, le CNRA dispose d'équipes de recherches pluridisciplinaires (16 chercheurs et ingénieurs) qui s'attèlent à créer et à adapter des technologies pour une agriculture durable et rentable, en collaboration avec ses partenaires du développement rural et des ONG nationales et internationales.

Les technologies générées par le CNRA sont mises à la disposition des agriculteurs sous forme d'essais multilocaux. En plus de sa superficie de 650 ha le CNRA s'appuie sur des PAPEM (Point d'Appui pour l'Expérimentation Multilocale) de Ndiémane (12 ha situé dans la région de Diourbel) de Thilmakha (9,6 ha), de Roff (20 ha), des stations de Bandia et de Thienaba (10 ha) dans la région de Thiès.

Les programmes de recherches concernent :

- ✓ L'amélioration des variétés de céréales et de légumineuses
- ✓ L'agronomie
- ✓ L'agroclimatologie
- ✓ L'agropédologie
- ✓ La foresterie et l'agroforesterie
- ✓ Le machinisme et la technologie post-récolte
- ✓ La malherbologie
- ✓ L'entomologie des cultures et des denrées stockées
- ✓ La production et technologie des Semences
- ✓ La production de spiruline

Le CNRA dispose :

D'un laboratoire d'analyses des eaux, sols et plantes ouvert aux structures extérieures. Diverses sortes d'analyses y sont effectuées (PH, granulométrie, conductivité, teneurs en carbone, magnésium, fer, phosphore, zinc, cuivre etc.)

Des Services d'appui à la recherche (administratif et comptable et gestion des stations)

D'un Service de Documentation Information & Communication (SDIC) ouvert aux autres centres ISRA, aux partenaires, aux universités et aux Ecoles d'Agronomie et d'Agriculture.

Le SDIC Conserve les archives des services Agricoles de L'AOF (Afrique Occidentale Française), le fonds IRAT (Institut de Recherches sur les Cultures Vivrières et Tropicales).

Le CNRA a également pour vocation d'accueillir et d'encadrer les étudiants des universités (Facultés de Géographie, Biologie Végétale, Sociologie et Economie) et des Ecoles d'Agriculture et d'Agronomie pour leurs mémoires de fin d'études, de Master et de Thèse.

CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART DE L'AGRICULTURE INTELLIGENTE

Dans ce chapitre nous allons faire l'état de l'art de l'agriculture intelligente. Pour cela nous rappellerons les concepts fondamentaux liés à ce nouveau domaine qu'est l'agriculture intelligente dans un premier temps et dans un deuxième temps présentés les concepts fondamentaux associés à ce domaine et quelques solutions existants.

2.1. Agriculture intelligente : Définition et concepts utilisés

2.1.1. Définition d'une agriculture intelligente

Selon la FAO [19], l'agriculture intelligente face au climat (CSA-Climat Smart Agriculture) est une approche intégratrice qui s'adresse aux défis liés à la sécurité alimentaire et au changement climatique, qui vise explicitement 3 objectifs :

- Augmentation durable de la productivité et du revenu,
- Adaptation et renforcement de la résilience au changement climatique,
- Réduction et/ou suppression des émissions de gaz à effet de serre.

L'agriculture intelligente utilisant les IoT consiste à améliorer la gestion de l'eau, la gestion du sol, la surveillance des cultures, le contrôle des insecticides et des pesticides. Les capteurs des IoT sont capables de fournir aux agriculteurs des informations sur les rendements des récoltes, précipitations, infestation de parasites et la nutrition du sol. En plus de cela, les capteurs peuvent collecter des données précises qui peuvent être employées pour améliorer des techniques agricoles avec le temps.

La cartographie par satellite des parcelles permet d'affiner la connaissance des sols pour ne fertiliser que là où les apports d'engrais sont nécessaires ou de connaître le stress des plantes (manque d'eau ou de nutriments). En France les agriculteurs s'appuient désormais sur des stations météorologiques ou des capteurs embarqués sur les tracteurs pour suivre l'indice de végétation, les rendements, les besoins en eau, l'état de la nutrition azotée. Un institut de recherche française l'IRSTEA (Institut national de Recherche en Science et Technologie pour l'Environnement et l'Agriculture) place de grands espoirs sur les réseaux de capteurs autonomes sans fil implantés au cœur des parcelles et qui peuvent assurer en continu le suivi des cultures.

Grâce aux données collectées, les agriculteurs interviennent au bon moment et avec la dose strictement nécessaire de produit en cas d'attaque de ravageurs ou d'intempérie (grosses pluies ou sécheresses).

2.1.2. Quelques concepts utilisés

Nous développons ici quelques concepts de l'agriculture intelligente avec les IoT, leurs caractéristiques et leurs utilités.

2.1.2.1. Les capteurs

Un capteur est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable. On fait souvent la confusion entre capteur et transducteur. Il faut savoir qu'un capteur est constitué au minimum d'un transducteur.

Le capteur se distingue de l'instrument de mesure par le fait qu'il ne s'agit que d'une simple interface entre un processus physique et une information manipulable. La figure suivante montre le composant de base d'un capteur intelligent.

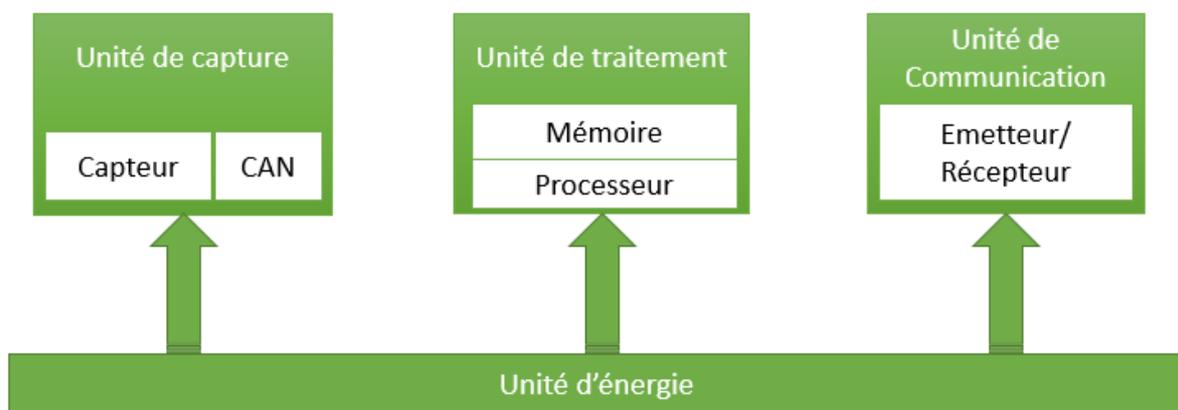


Figure 2.1 : Architecture d'un capteur « intelligent »

2.1.2.2. Les actionneurs

Un actionneur transforme l'énergie qui lui est fournie en un phénomène physique, qui fournit un effort, modifie le comportement ou l'état d'un système. Dans ce travail nous utilisons un actionneur mobile (moteur) pour déclencher l'ouverture et la fermeture de la pompe.

Exemple : moteur à courant continu

2.1.2.3. Le microcontrôleur

Un microcontrôleur, est un composant électronique intégrant tous les éléments indispensable à un ordinateur et qui se présente sous forme d'un circuit intégré. Un microcontrôleur, permet de matérialiser des systèmes et montages électroniques programmés.

Un microcontrôleur est composé de :

- Un noyau calculateur qui va prendre en charge la partie de traitement des informations. C'est lui qui va exécuter le programme embarqué dans le microcontrôleur.
- Une mémoire des données (RAM ou EEPROM) dans laquelle seront stockées les données temporaires nécessaires aux calculs. C'est en fait la mémoire du travail qui est donc volatile.
- Une mémoire programmable (Flash, Fram), qui va contenir les instructions du programme pilotant l'application à laquelle le microcontrôleur est dédié. Il s'agit ici d'une mémoire non volatile puisque le programme à exécuter est a priori toujours le même.
- Les ressources auxiliaires. Celles-ci sont généralement :
 - Port d'entrées / sorties, parallèle et série
 - Des timers pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle.
 - Des convertisseurs A/N pour traiter des signaux analogiques

Il est cadencé par un oscillateur interne qui précise le rythme d'exécution des instructions de base et se caractérise enfin par un jeu d'instructions. La figure suivante montre les interactions entre le microcontrôleur, les capteurs et les actionneurs.

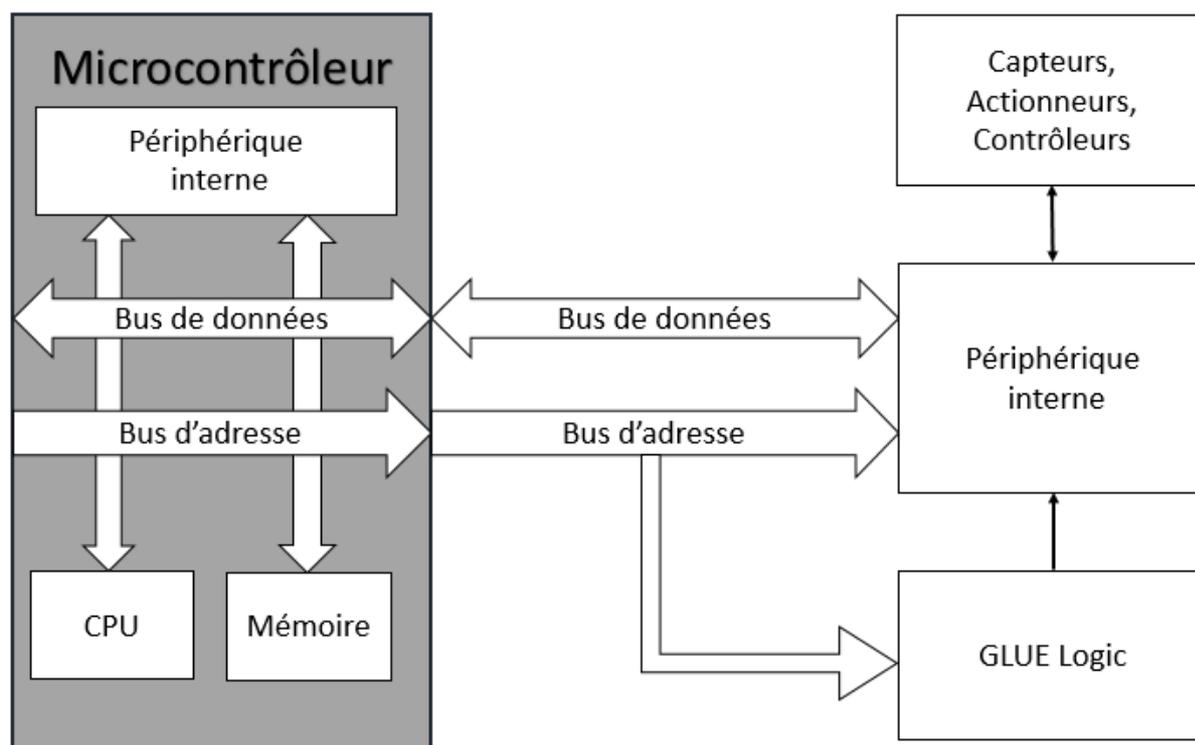


Figure 2.2 : L'interaction entre le microcontrôleur, les capteurs et les actionneurs

2.2. Solutions existants

2.2.1. Système d'irrigation par SMS, Inde

En Inde, la technologie mobile permet à un petit nombre d'agriculteurs d'irriguer leurs champs à partir d'un simple SMS. Connecté à une pompe hydraulique, le boîtier "Raita Mitra¹" envoie un SMS à l'agriculteur lorsque l'électricité est suffisante pour alimenter la pompe. L'agriculteur envoie alors un SMS pour démarrer la pompe et irriguer son champ.

L'information envoyée par ce type de module pourrait être complétée avec le taux d'humidité du sol, mesurable par capteur, et les prévisions météorologiques, de façon à ce que l'agriculteur ne déclenche pas l'irrigation si son champ n'en a pas réellement besoin.

L'enjeu de disponibilité de l'eau douce est tel que ces innovations sont nécessairement appelées à se développer. C'est la diffusion de la connaissance qui est ici ciblée. L'agriculture est affaire de savoir-faire, et la multiplication des contacts entre agriculteurs ainsi que la mise à disposition

¹ Raita Mitra est un petit boîtier connecté à une pompe hydraulique qui envoie un SMS à l'agriculteur lorsque l'électricité est suffisante pour alimenter la pompe et irriguer son champ.

de conseils aux agriculteurs sur Internet permettent de mieux diffuser les techniques les plus efficaces.

2.2.2. Where the Rain Falls, Etat de Chhattisgarh, Inde [35]

Where the Rain Falls est un projet d'adaptation au changement climatique à base communautaire créée afin d'améliorer les capacités des femmes d'Adivasi, peuple indigène indien historiquement marginalisé, à s'adapter et à faire face aux aléas liés au changement climatique dans le district de Jashpur de l'État de Chhattisgarh. Ce projet est divisé en deux phases. La première phase du projet (phase I, 2011-2014), menée en partenariat avec l'Université des Nations unies, a étudié la manière dont les changements dans les régimes des précipitations affectent les communautés rurales en apportant une meilleure compréhension des interactions entre les variations de pluviométrie, la sécurité alimentaire et les migrations des communautés locales dans huit pays concernés, dont l'Inde, à grâce à l'utilisation d'outils participatifs d'analyse. Le projet promeut l'importance d'une collaboration étroite avec les organisations communautaires afin d'améliorer l'accès, le contrôle et la gestion des femmes Adivasi aux différentes ressources. Le projet se tourne également vers la diversification et l'amélioration de nouvelles cultures, un travail sur l'amélioration des sols, de la terre, de la gestion de l'eau et des forêts sont effectué avec la participation des communautés.

La deuxième phase du projet (Phase II, 2014 - 2017), est orientée vers les points suivant :

- ✓ La réduction de la vulnérabilité des femmes Adivasi et de leur famille.
- ✓ La recherche et la mise en place de nouvelles formes de résilience.
- ✓ Le renforcement des mécanismes, pratiques, et opportunités existants concernant la résilience au changement climatique.

2.2.3. Agriculture d'avant-garde avec la serre la plus intelligente d'Europe, Algérie

La serre la plus intelligente d'Europe se trouve dans la localité de Guazamara de Cuevas del Almanzora en Algérie. Elle est totalement automatique, autosuffisante en énergie (solaire et éolienne) et économise au maximum l'eau. Elle est en fonctionnement durant toute l'année et produit 3.500.000 plantes par an et par hectare. Son système automatisé permet au travailleur de ne pas bouger de son poste durant tout le procédé, depuis la plantation jusqu'à la récolte.

2.2.4. Projet IRRIWEST, Afrique de l'Ouest

Le projet IRRIWEST (dont un site d'application est au sein du Sénégal) est une solution basée sur les nouvelles technologies qui vise à améliorer les pratiques d'irrigation afin d'optimiser la gestion des ressources en eau et d'accroître la productivité agricole en Afrique de l'Ouest, ce qui contribue à l'amélioration de la sécurité alimentaire et des stratégies de réduction de la pauvreté.

2.3. Avantages

Les principaux avantages dans l'utilisation des IoT pour mettre en valeur l'agriculture sont :

- La gestion efficace et l'optimisation des ressources en eau,
- Aide à la surveillance permanente de terre, afin que les précautions puissent être prises au stade précoce.
- Contribuer à l'augmentation de la productivité,
- Réduction du travail manuel,
- Gain de temps
- Surveillance et observation de la croissance des cultures
- Gestion du sol tel que le niveau du pH, le niveau d'humidité...,
- Facilitation dans le choix des cultures en fonction des paramètres physico-chimiques du sol
- Etc.

On peut ainsi constater que l'utilisation des IoT dans l'agriculture peut rendre celle-ci plus efficace, conduisant à une amélioration des rendements des cultures.

2.4. Présentation de la maquette

Ici nous énumérons les principales fonctionnalités du prototype d'un champ connecté.

Notre maquette pour la gestion de champ connecté est composée :

- D'un capteur de pH permettant de tester le niveau d'acidité ou salinité du sol. La valeur de pH sera lue sur un afficheur LCD
- D'un capteur de température et d'humidité relative (DHT11)
- D'un capteur d'humidité du sol, qui sera enfoncé dans le sol pour mesurer son niveau d'humidité

- Un capteur de lumière (photorésistance) qui permet de connaître le niveau de luminosité de l'environnement de notre champ
- Des voyants LED de couleur rouge, vert et bleu informent sur le niveau d'humidité du sol
- Un actionneur pour déclencher l'ouverture et la fermeture de la pompe en fonction de l'humidité du sol ou encore le besoin des cultures en eau.
- Des gaines de protection pour les fils électriques
- Des piquets pour localiser les capteurs enfoncés sur les sols

Pour cela, nous allons utiliser un bac pour montrer les fonctionnalités essentielles d'un champ connecté. La surface de notre bac (S_{bac}) est égale à 1728 cm^2 . Partant d'une expérimentation d'un champ réel nous avons choisi une échelle $E = 1/1200$ ce qui nous donne un champ total de 900 m^2 . Ce champ est divisé en quatre portions avec des allées et le système sera au centre du champ et peut être lié au point d'eau pour arroser le champ en cas de besoin. Notre bac représente une portion de ce champ, la surface d'une portion (S_p) est égale $S_{\text{bac}} \times E$ en m^2 . Donc les allées représentent 72 m^2 .

Pour illustrer notre champ d'expérimentation, nous avons utilisé un logiciel de modélisation « **Google SketchUp** » qui conduit aux résultats suivants :

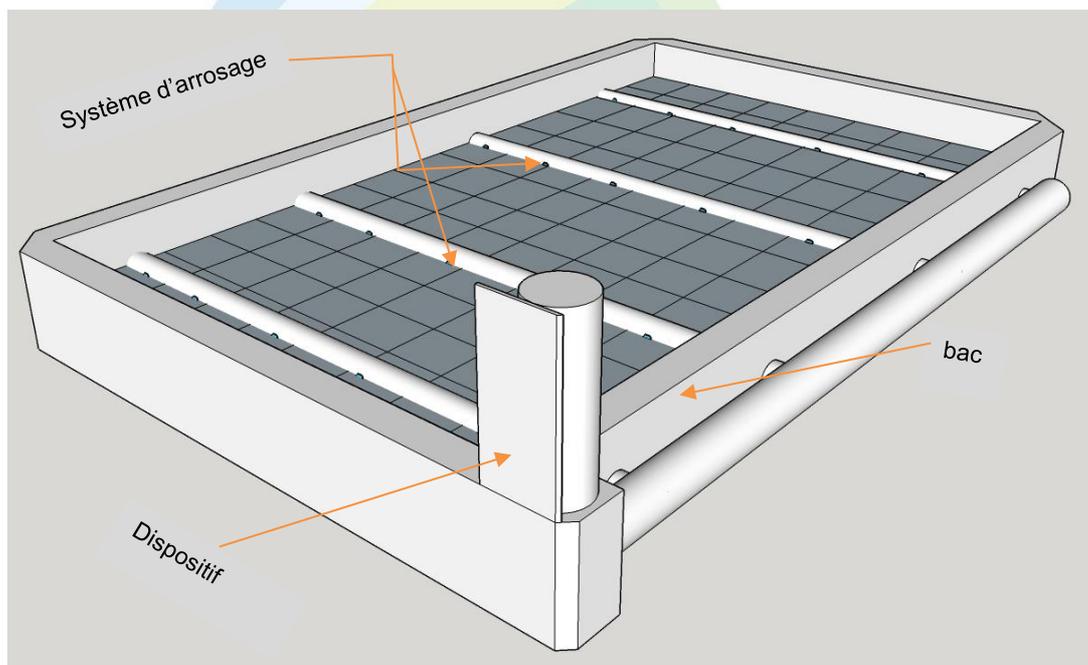


Figure 2.3 : Schéma montrant le bac, système d'arrosage et l'emplacement du dispositif

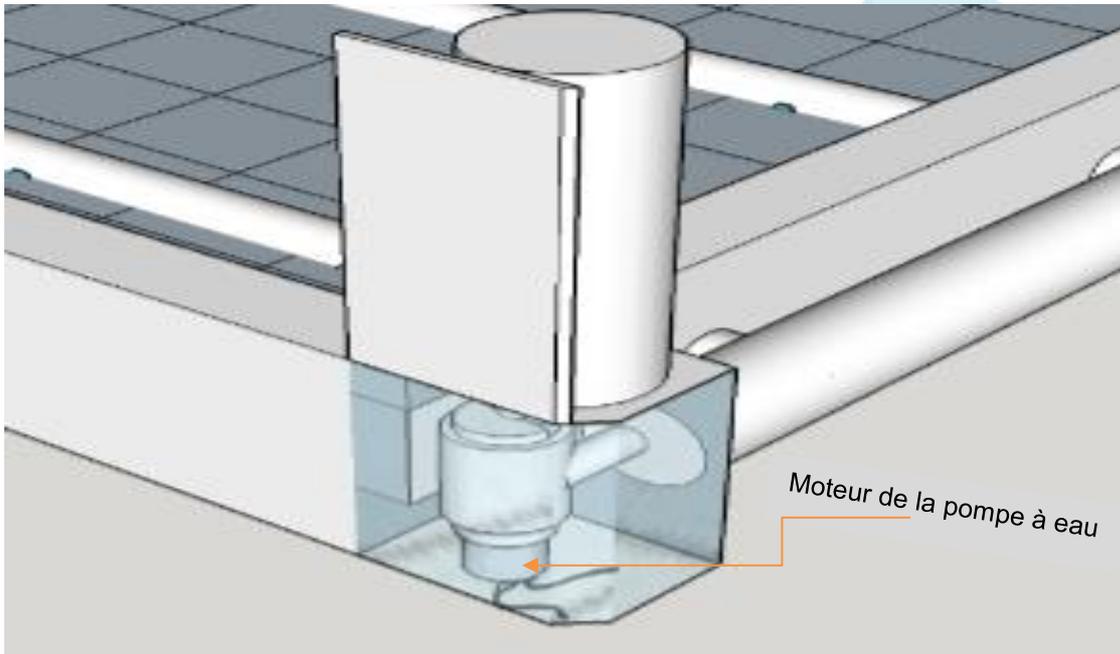


Figure 2.4 : vue interne du système montrant le moteur de la pompe à eau

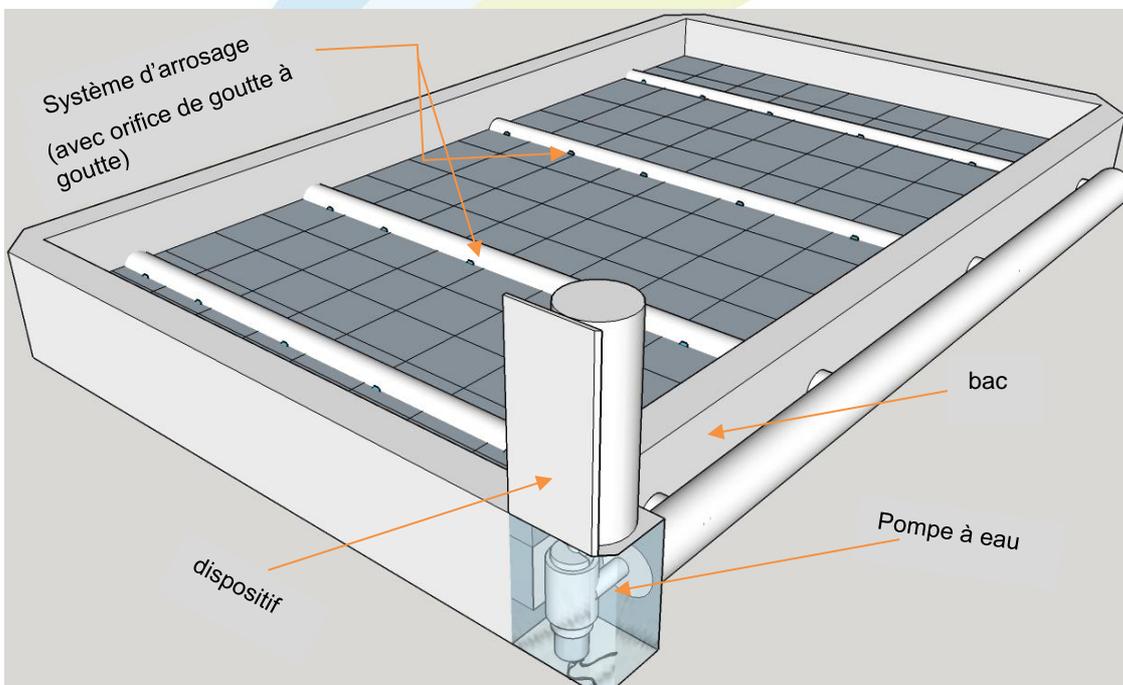


Figure 2. 5: schéma global du bac

CHAPITRE 3 : ANALYSE FONCTIONNELLE ET ETUDE CONCEPTUELLE

Dans ce chapitre nous allons faire une analyse fonctionnelle et une étude conceptuelle de notre système. Ce qui nous amène à réfléchir sur l'ensemble de l'organisation qui devra être mise en place ainsi que les outils nécessaires pour la conception.

3.1. Le principe de fonctionnement

Cette partie consiste à identifier les différentes entités intervenant dans le système. En effet il s'agira de décrire ces entités, leurs rôles et leurs interactions.

3.1.1. L'environnement de la parcelle :

Avoir une vision globale de l'environnement d'un champ ou d'une parcelle cultivable (la vulnérabilité des cultures par rapport au climat, la salinité, etc.) est essentielle pour une agriculture intelligente. En cet ordre d'idée, les agriculteurs ont besoins de connaître les informations nécessaires pour une bonne gestion de leurs champs, l'état des cultures, et les conseils de bonne pratique. En partant de cela, le dispositif permettra de remonter les informations acquises en temps réel. Les données sont envoyées au serveur pour être affichées sur une page web et les agriculteurs y auront accès en temps réel. Ceux-ci leur permettront de connaître l'état de leur champ, avoir la possibilité d'interagir à distance et aussi de prendre des mesures de prévention. Lors de la détection de certain niveau d'humidité le dispositif pourra déclencher la pompe sans aucune intervention humaine. Les détenteurs du dispositif peuvent aussi afficher des informations en local sur un écran LCD. Il est également possible de temporiser (Ex : chaque 5 ou 10 minutes) l'envoi de données sur le serveur pour diminuer la consommation de données Wi-Fi.

Nous avons choisi la culture niébé, une variété précoce appelée « niébé Yacine » dont vous trouverez sa fiche technique dans l'annexe 3.

3.1.2. Le rôle de microcontrôleur

Le microcontrôleur, est le cœur du fonctionnement de la maquette. Sous le contrôle du programme, il analyse l'état des différents capteurs et commande les actionneurs à l'aide des instructions données par le programme. Le prototype du champ connecté dispose d'une carte équipée d'un microcontrôleur. De plus, le microcontrôleur permet le fonctionnement en

autonomie avec différentes sources d'énergies telles que batteries, power Bank, panneaux solaires. Cela veut dire que le fonctionnement en autonomie s'apparente au fonctionnement réel d'un champ connecté. Le microcontrôleur se chargera aussi d'envoyer les données des capteurs vers un serveur web. Ainsi, ces données seront disponibles sur la page web.

3.1.3. Options d'affichage

Un dispositif d'affichage est un dispositif de sortie pour la présentation de l'information sous forme visuelle. Certains écrans ne peuvent afficher que des chiffres ou des caractères alphanumériques. Ils sont appelés afficheurs segments, car ils sont composés de plusieurs segments qui passent pour donner l'apparence de la sortie désirée. Les segments sont souvent de simples LED ou des cristaux liquides. Dans notre cas, nous utiliserons deux types d'affichages extérieurs :

- L'afficheur LCD ou écran à cristaux liquides : c'est un écran plat de panneau, avec affichage électronique visuel, un écran vidéo qui utilise la lumière modulant les propriétés des cristaux liquides. Dans notre système, il affiche les informations concernant le niveau de pH (acide, neutre ou basique).
- Et la LED ou Diode électroluminescente : c'est une lumière à semi-conducteurs. Les LED sont utilisées comme feux indicateurs dans de nombreux dispositifs. Nous avons utilisé un LED RGB (rouge, vert ou bleu), nous indiquant le niveau d'humidité du sol.

3.1.4. Les capteurs

Comme défini dans le chapitre 2, un capteur est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable. Le capteur, permet de prendre en compte les événements de notre environnement. Il ne dispose pas d'un système de stockage de données ou d'un afficheur. Les capteurs sont des éléments de base des systèmes d'acquisition de données. Leur mise en œuvre relève du domaine d'instrumentation.

Les capteurs peuvent-être classés selon trois critères :

- ❖ Leurs apports énergétiques : on distingue deux types :

- capteurs passifs : qui donnent une représentation de la grandeur physique mesurée par le biais d'une résistance électrique variable et ont l'avantage de pouvoir fonctionner seuls.
- capteurs actifs : dont la grandeur physique mesurée va directement établir une relation électrique de sortie c'est-à-dire qu'en sortie de ces capteurs il y aura une grandeur électrique, sans adjonction de tension à ses bornes.

❖ Leurs types des sorties : il y en a trois :

- capteurs analogiques : la sortie est une grandeur électrique dont la valeur est une fonction de la grandeur physique mesurée par le capteur. La sortie peut prendre une infinité de valeurs continues.
- capteurs numériques : la sortie est une séquence d'états logiques qui, en se suivant, forment un nombre. la sortie peut prendre une infinité de valeurs discrètes.
- capteurs logiques : la sortie est un état logique que l'on note 1 ou 0. La sortie ne peut prendre que ces deux valeurs.

❖ Leurs types de détection : il existe deux :

- détection avec contact « le capteur doit entrer en contact physique avec un phénomène pour le détecter »
- détection sans contact « le capteur détecte le phénomène à proximité de celui-ci »

Dans ce projet, nous utilisons des capteurs comme DHT11 sous le contrôle d'un microcontrôleur arduino nous donne les informations sur la température et l'humidité relative.

3.2. Les acteurs

Les acteurs représentent l'ensemble des entités externes qui interagissent directement avec notre système.

3.2.1. L'administrateur

C'est celui qui est chargé de la gestion du système et de sa configuration. En plus de cela, il est en charge de la maintenance des équipements et veille à ce que tout le système fonctionne bien.

3.2.2. Le producteur

Le producteur est celui qui interagira avec le dispositif depuis l'interface web, pour consulter les informations et commander le moteur en cas de besoin d'arrosage.

3.2.3. Le système embarqué

Il est chargé de la récupération et la mise à jour continue des données en temps réel ou de façon périodique afin de faciliter le dialogue machine to machine (M2M). Il est composé de microcontrôleurs, de capteurs, d'actionneurs, et interagira avec le serveur web pour afficher les informations.

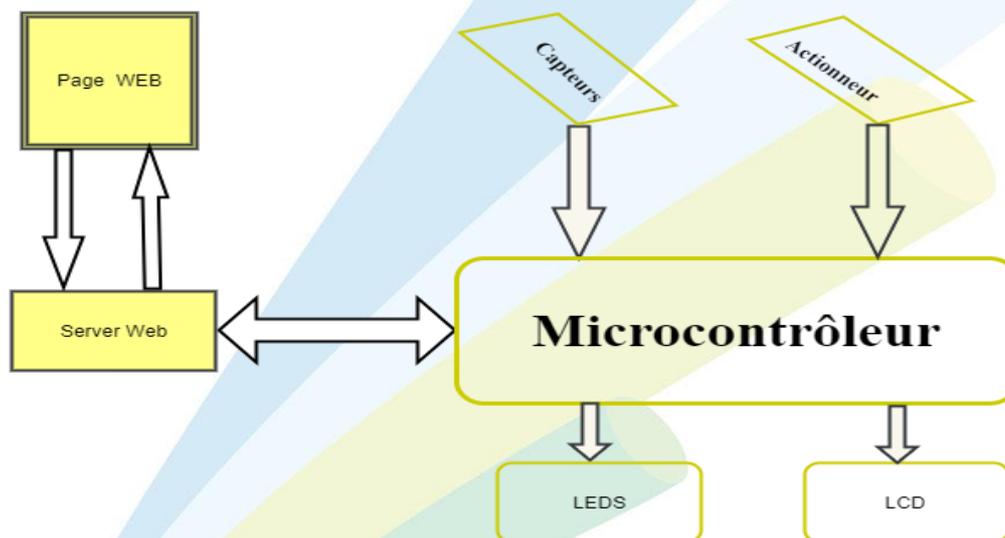


Figure 3.1 : Diagramme fonctionnel

3.3. Langages de programmation et outils libres utilisés :

Au profit de la réalisation de notre système « Champ connecté », nous avons exploré plusieurs langages de programmation particulièrement arduino, HTML (Hyper Text Markup Language), CSS (Cascading Style Sheet), JavaScript, Framework bootstrap et quelques outils libres.

3.3.1. Langages de programmation

3.3.1.1 Arduino

Arduino est une plate-forme électronique open-source utilisée pour la construction de projets électroniques. Arduino se compose à la fois d'une carte de circuit physique programmable (appelée microcontrôleur) et d'un logiciel, ou IDE (Integrated Développement Environnement) qui fonctionne sur votre ordinateur, utilisé pour écrire et télécharger un code informatique sur la carte physique. Vous pouvez simplement utiliser un câble USB. De plus, l'IDE Arduino utilise une version simplifiée de C ++, ce qui facilite l'apprentissage du programme. Arduino est un outil clé pour apprendre de nouvelles choses, facile à utiliser pour les débutants, mais assez flexible pour les utilisateurs avancés. Il fonctionne sur Mac, Windows et Linux. Contrairement à la plupart des cartes de circuit programmables précédentes, l'Arduino n'a pas besoin d'une pièce séparée (appelée programmeur) pour charger un nouveau code sur la carte. Enfin, Arduino fournit un facteur de forme standard qui éclate les fonctions du microcontrôleur en un ensemble plus accessible.

3.3.1.2. HTML

Le HTML « HyperText Markup Language) est un langage permettant de décrire les différents composants d'un document multimédia. Le HTML est tiré du XML, il est à la base de fonctionnement d'un site web. Il permet d'écrire et organiser le contenu de la page web (paragraphe, titres). Ainsi le langage HTML utilise des commandes (balises, marqueurs ou tags) pour le formatage des informations. Il est simple et compatible avec la plupart de navigateurs web. Nous avons adopté la version la plus récente qui est la version 5 « HTML5 » pour la conception de notre plateforme. Ceci nous offre beaucoup plus d'amélioration en termes des contenus, une meilleure gestion des formulaires.

3.3.1.3. CSS

Les feuilles de style en cascade ou CSS « Cascading Style Sheets » sont une extension de langage HTML. Les CSS se préoccupent de la mise en forme du contenu. Elles permettent :

- D'ajouter des propriétés à une commande HTML.
- Une mise à jour plus aisée des pages web d'un site
- Définir la typographie et l'agencement des pages web.

Actuellement nous sommes à la version 3 du CSS (CSS3) qui apporte beaucoup plus d'améliorations tant au niveau des bordures que des ombres.

3.3.1.4. JavaScript

JavaScript est un langage de programmation de script orienté objet, qui a su au fil des années s'imposer comme une technologie incontournable dans le web. C'est une technologie complète, qui regroupe un nombre impressionnant d'outils permettant de dynamiser vos pages web et de leur donner une toute autre dimension. Le JavaScript est un langage interprété qui est exécuté sur le navigateur de l'internaute : nous parlons de comportement client-side, par opposition au serveur-side (lorsque le code est exécuté sur le serveur).

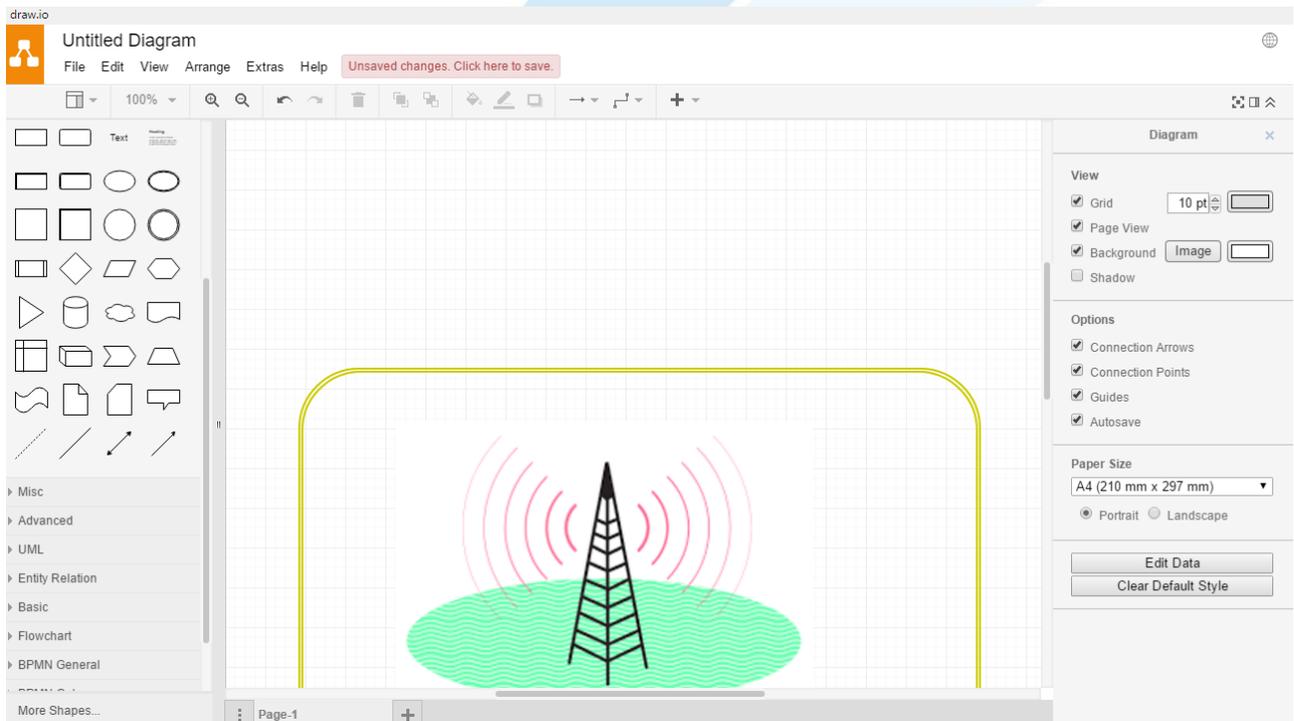
3.3.1.4. Bootstrap

Bootstrap est un Framework CSS, mais pas seulement, puisqu'il embarque également des composants HTML et JavaScript. Il comporte un système de grille simple et efficace pour mettre en ordre l'aspect visuel d'une page web. Il apporte du style pour les boutons, les formulaires, la navigation... Il permet ainsi de concevoir un site web rapidement et avec peu de lignes de code ajoutées.

3.3.2. Outils libres

3.3.2.1. Draw.io

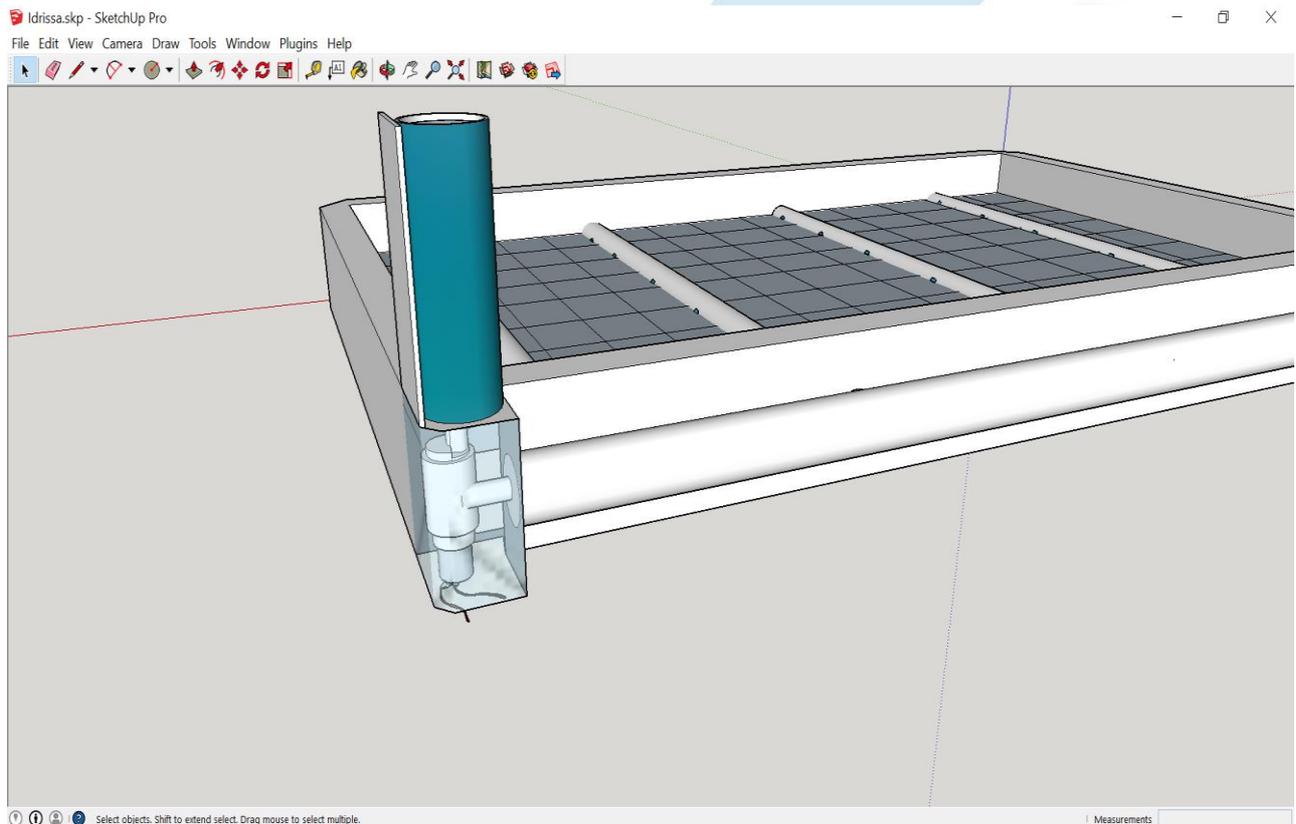
Draw.io est l'un des outils de création des diagrammes les plus riches en fonctionnalités du marché et un concurrent direct de solutions professionnelles de bureau comme Visio. Ses nombreuses barres d'outils, réunissant des centaines d'éléments visuels et de fonctions, permettent de créer des diagrammes pour toutes les applications imaginables. Les utilisateurs peuvent personnaliser et organiser leur interface pour travailler le plus efficacement possible. Ils ont la possibilité d'afficher ou de masquer les barres d'outils à tout moment, en un seul clic. Ils peuvent l'utiliser en ligne ou l'installer sur une machine. Il est utilisé dans notre cas pour la création des diagrammes d'UML. La capture suivante illustre l'interface de draw.io :



Capture 3.1: Interface de draw.io

3.3.2.1. SketchUp

SketchUp est un logiciel de modélisation en 3D, d'animation et de cartographie orienté architecture. Initialement développé en 2000 par la société @Last Software puis racheté par Google en 2006. SketchUp est simple, rapide et intuitif par rapport à d'autres logiciels de modélisation en 3D. Il nous a permis de faire quelques illustrations en 3D de notre bac dans le CHAPITRE 2.



Capture 3. 2 : Interface de SketchUp

3.4. Langage de modélisation « UML (Unified Modeling Language) »

Les méthodes d'analyse et de conception fournissent une méthodologie et des formalismes qui aident à concevoir le système d'information de qualité à définir une démarche qui illustre les tâches à effectuer, fournir un modèle pour décrire la sémantique des données ainsi que leur comportement. Les méthodes utilisées dans les années 1980 étaient fondées sur la modélisation séparées des données et de traitement. Lorsque la programmation par objet a pris de l'importance au début des années 1990, la nécessité d'une méthode qui lui soit adaptée devient évidente.

Dans la méthodologie orientée objet, on considère qu'un système est un ensemble de données interagissant. Chaque objet dispose d'un ensemble d'attribut décrivant son état. Chaque méthode se définit par une notation spécifique, mais la plupart converge en ce qui concerne la sémantique de notation.

UML (Unified Modeling Language) est né de convergence des méthodes apparaissant entre 1990 et 1995. Plusieurs méthodes ont vu le jour durant cette période, mais aucune d'entre elles n'arrive à s'imposer. Cependant, en 1994, un consensus se fait autour de trois méthodes.

- ✓ OMT de James Rembauche qui fournit une représentation graphique des aspects statique, dynamique et fonctionnel d'un système ;
- ✓ ODD de Grady Booch, définie pour le Department of Defense qui introduit le concept de paquetage (package) ;
- ✓ OOSSE d'Ivar Jacobson qui fonde l'analyse sur la description des besoins des utilisateurs (cas d'utilisation, ou use cases). Ces trois experts qui régnaient chacun sur l'une des trois méthodes se mirent d'accord pour définir une méthode commune qui rassemblait leurs apports respectifs (on les surnomme « the Amigos »). L'adjectif Unified est là pour marquer qu'UML unifie. UML n'a pas l'ambition d'être exactement une méthode : c'est un langage. Il se définit comme un langage de modélisation graphique et textuelle destiné à comprendre et à décrire des besoins à spécifier et documenter des systèmes, esquisser des architectures logicielles. Concevoir des solutions UML unifie à la fois les notations et les concepts orientés objets et s'articule autour des diagrammes s'appuyant sur un formalisme de description. UML a des diagrammes représentant autant de vues distinctes pour représenter des concepts particuliers du système d'information (SI). Ces diagrammes, d'une utilité variable selon les cas, ne sont pas nécessairement tous produits à l'occasion d'une modélisation. Les plus utiles pour la maîtrise d'ouvrage sont les diagrammes d'activités, de cas d'utilisation, de classes, d'objets, de séquence et d'états-

transitions. UML ne résout pas tous les problèmes de communication et ne guide pas. Actuellement l'UML est le standard industriel de modélisation, il sera utilisé pour la réalisation de notre système puisque qu'il nous permettra d'avoir une vision globale de la conception de notre système.

3.4.1. Inventaire de cas d'utilisation

Le fait d'énumérer des cas d'utilisation du système permet de connaître toutes les interactions et l'ensemble des actions que les acteurs auront avec le système ou pourront réaliser.

- Système embarqué : envoyé des informations en temps réel, mise à jour des informations, alerte visuelle, déclencher la pompe en fonction de l'humidité du sol.
- Producteur : afficher les données des capteurs, ouvert/fermer la pompe et tester le niveau de pH.
- Administrateur : Ajouter ou supprimer des fonctionnalités, maintenir le système,

3.4.2. Diagramme des cas d'utilisation

Un diagramme des cas d'utilisation donne le comportement d'un système sous la forme d'action et de réaction tel que l'utilisateur extérieur le voit. Il décrit les exigences fonctionnelles du système, les fonctions métiers du système selon le point de vue de ces acteurs. Un cas d'utilisation modélise un service rendu par le système et doit être relié au moins à un acteur.

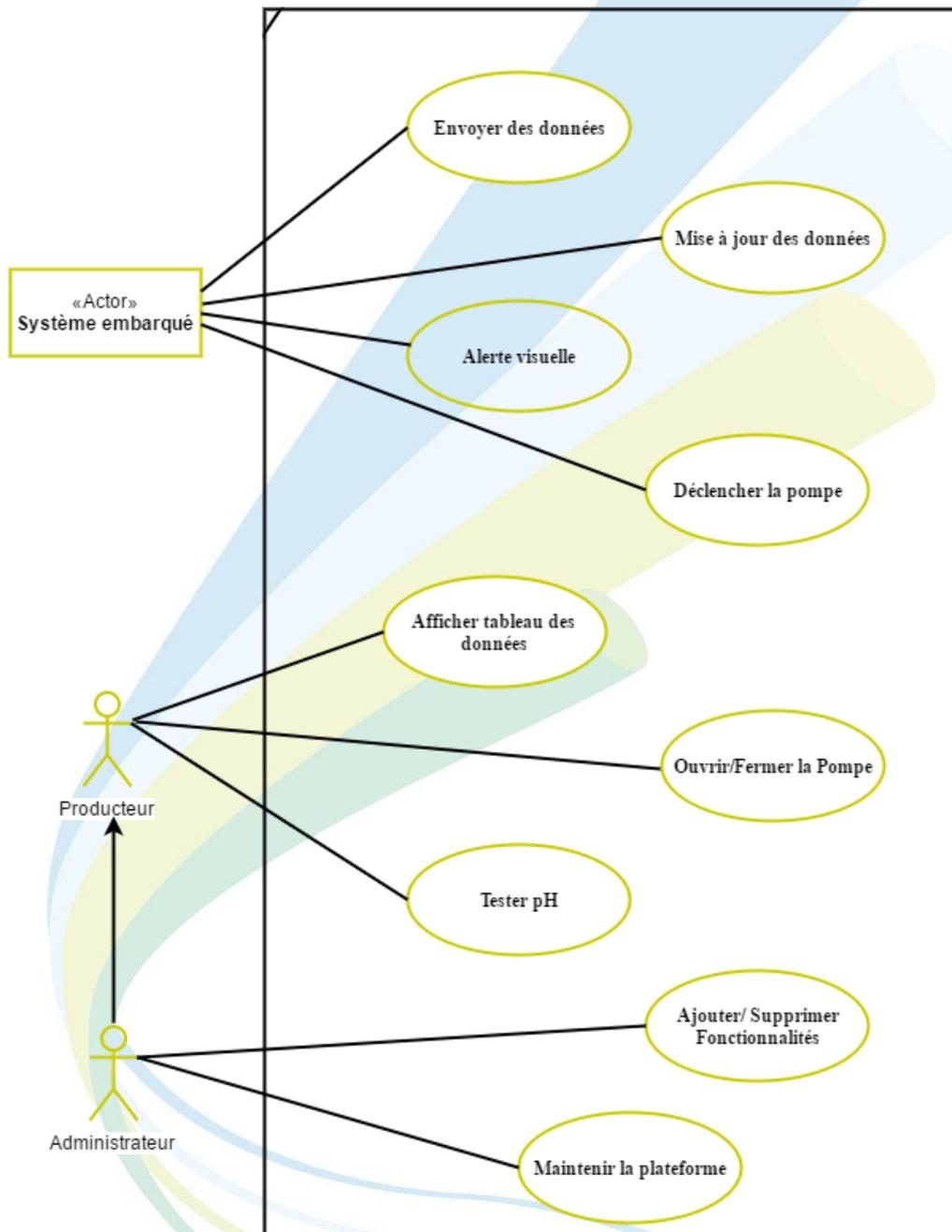


Figure 3.2 : Diagramme de cas d'utilisation

3.4.2. Diagramme de séquence

Un diagramme de séquences montre les interactions entre les acteurs et le système selon un point de vue temporel pour accomplir une fonctionnalité attendue du système (un cas d'utilisation). C'est un ensemble de messages échangés entre les acteurs et le système, ordonnés chronologiquement. La dimension verticale du diagramme permet la visualisation de l'ensemble des événements dans le temps. L'ordre d'envoi est déterminé par sa position dans l'axe vertical : le temps s'écoule de haut en bas. Les objets dialoguent via des messages. Les messages sont signalés par une flèche à trait plein et leurs périodes d'activités sont symbolisées par des rectangles. Nous nous sommes servi de ces diagrammes de séquences pour détailler les différents scénarios des cas d'utilisation tout en notifiant la chronologie des messages échangés.

3.4.2.1. Diagramme de séquence « déclencher la pompe automatiquement »

Le diagramme ci-dessous montre les séquences pour déclencher la pompe de façon automatique. Un seuil d'humidité du sol est fixé en dessous duquel le système va déclencher automatiquement la pompe sans intervention humaine, puis l'arrêter si l'humidité atteint un certain niveau. Ces niveaux qui sont en réalité des seuils dépendent du type des cultures.

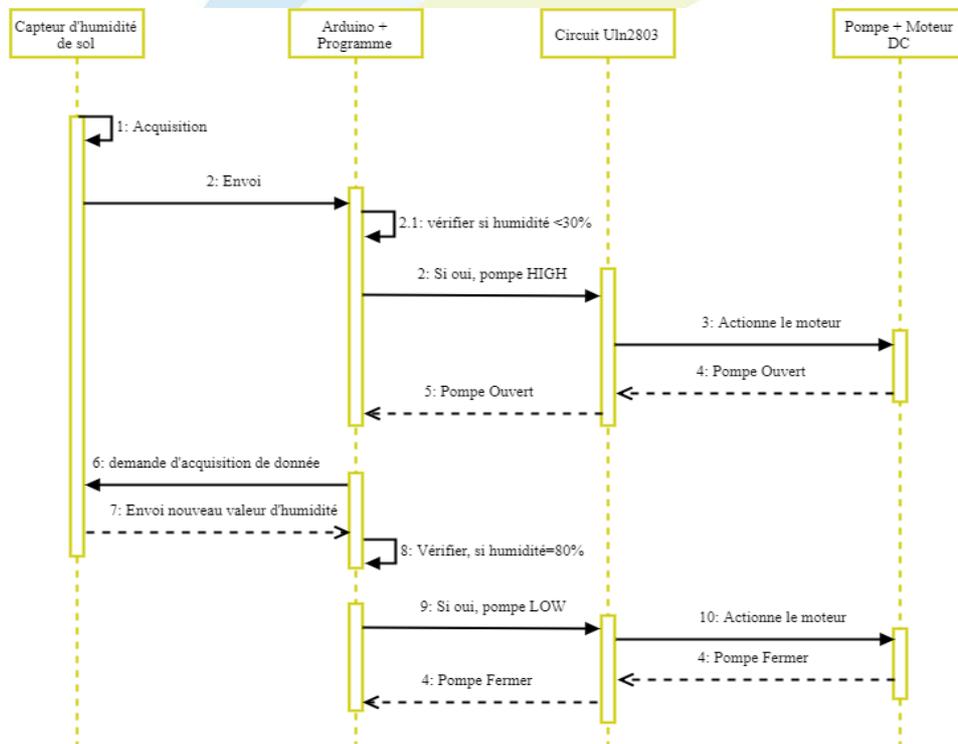


Figure 3.3 : Diagramme de séquence « déclencher la pompe de façon automatique »

3.4.2.2. Diagramme de séquence « ouvrir/fermer la pompe à distance »

La connaissance d'humidité du sol est très importante pour que les cultures ne soient pas inondées ou ne manquent pas d'eau. Le producteur pourrait interagir à distance pour ouvrir ou fermer la pompe tout en tenant compte de l'humidité du sol et en fonction du besoin de ces plantes.

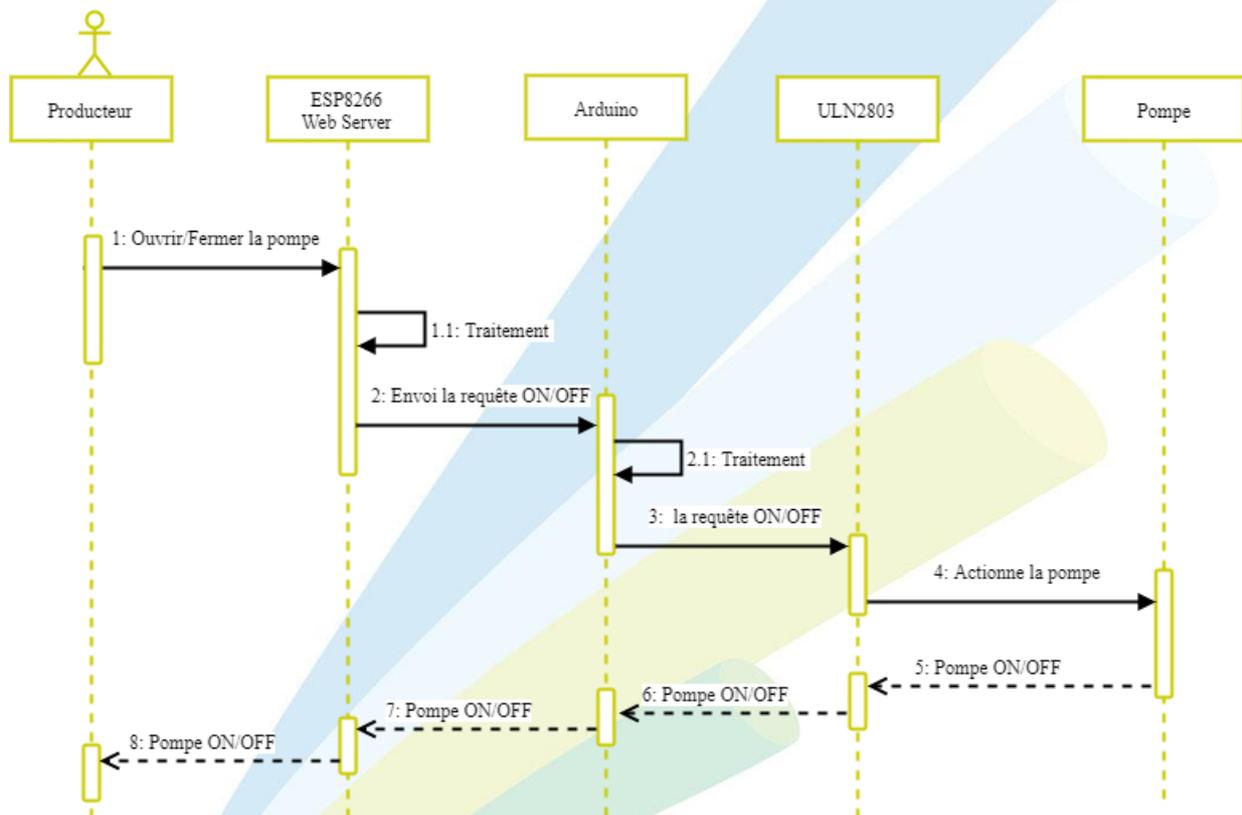


Figure 3.4 : Diagramme de séquence « ouvrir/fermer la pompe à distance »

3.4.2.3. Diagramme de séquence pour l'affichage de tableaux des données en temps réel

Le souhait du producteur est l'accès aux informations en temps réel, pour connaître les conditions de l'environnement de son champ.

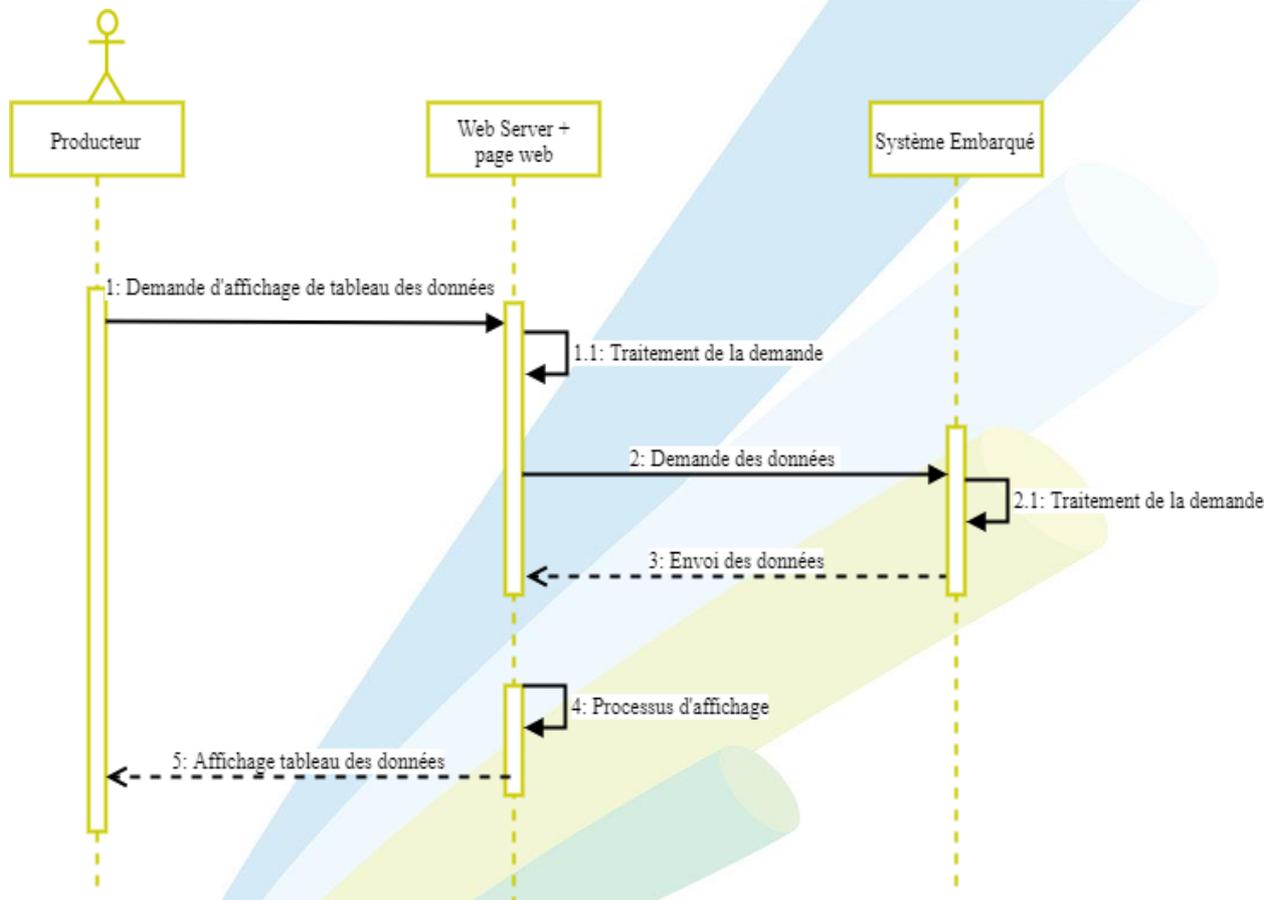


Figure 3.5 : Diagramme de séquence « affichage de tableau des données »

Le diagramme ci-dessus montre les différentes séquences d'affichage du tableau des données. Le producteur ou l'agriculteur envoie une demande pour l'acquisition des données sous forme tableau au serveur. Le serveur traite la demande et envoi la requête au système embarqué (SE). Le SE à son tour traite la requête puis envoie une réponse « envoi des données » au server. Le processus d'affichage de tableau est lancé au niveau du serveur et la réponse « affichage tableau » à la producteur.

CHAPITRE 4 : MISE EN ŒUVRE DU SYSTEME

Ce chapitre concerne la mise en œuvre de notre système ; nous l'avons divisé en deux parties que sont : la matérialisation des fonctionnalités du système et la réalisation du prototype.

4.1. Matérialisation des fonctionnalités du système

La matérialisation des fonctionnalités du système consiste à définir tout le matériel dont nous avons besoin et sa mise en œuvre afin de montrer toutes fonctionnalités essentielles d'un champ connecté.

4.1.1. Présentation des équipements

4.1.1.1. Arduino Uno

Arduino Uno est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega328. Le mot « Uno » signifie « un » en italien et a été marqué pour la première version de l'arduino software (IDE) 1.0. Cette dernière est la version de référence de l'arduino software. La carte Uno est la première d'une série de cartes Arduino USB et le modèle de référence de la plate-forme Arduino. Elle possède 14 broches d'entrée / sortie numériques dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM (Pulse Width Modulation), 6 entrées analogiques, une horloge cadencé à 16 MHz, une connexion USB, une prise d'alimentation, un connecteur ICSP et un bouton de réinitialisation. Elle contient tout le nécessaire pour supporter le microcontrôleur et peut être connectée simplement à un ordinateur avec un câble USB ou alimentée avec un adaptateur AC-DC ou une batterie pour commencer. Dans notre cas elle est branchée sur l'ordinateur d'abord pour charger le code puis sera alimentée par une pile de 9 V ou un power Bank de 5 V.



Capture 4.1 : Carte Arduino Uno

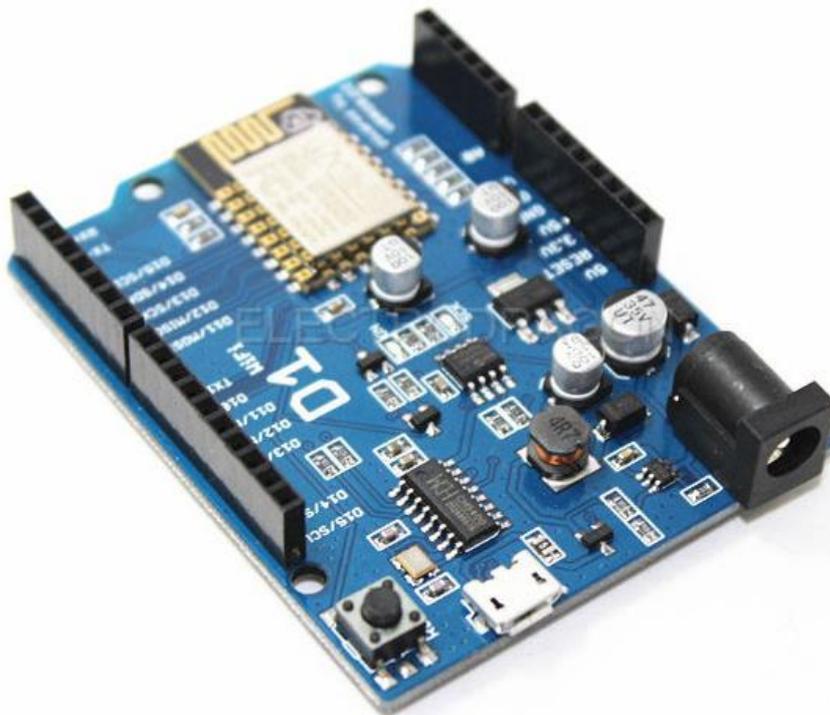
Les caractéristiques techniques de la carte sont détaillées au niveau du tableau suivant.

Tableau 4.1 : Caractéristiques technique de l'arduino Uno

Microcontrôleur	ATMega328P
Tension de fonctionnement	5 V
Tension d'entrée (recommandé)	7–12 V
Tension d'entrée (limite)	6-20V
E / S numériques	14, dont 6 fournissent une sortie PWM
Entrées analogiques	6
Courant CC par broche d'E/S	20 mA
Courant CC pour la broche de 3.3V	50 mA
Mémoire flash	32 Ko, dont 0.5 Ko utilisé par le boot loader
SRAM	2 Ko
EEPROM	1 Ko
Fréquence d'horloge	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longueur	68,6 mm
Largeur	53,4 mm
Poids	25 g

4.1.1.2. Wemos D1

Wemos D1 est une carte basée sur WiFi ESP8266 qui utilise la disposition d'Arduino Uno avec une tension de fonctionnement de 3.3V. La carte est contrôlée par la puce ESP8266 (un processeur 32 bits) et dispose d'une mémoire flash plus importante par rapport à un Arduino Uno. Il se compose de 11 broches d'E / S numériques et d'une broche d'entrée analogique. Elle peut être connectée à l'aide d'un câble USB de type Micro-B.



Capture 4.2 : Wemos D1

Tableau 4.2 : Caractéristiques de Wemos D1

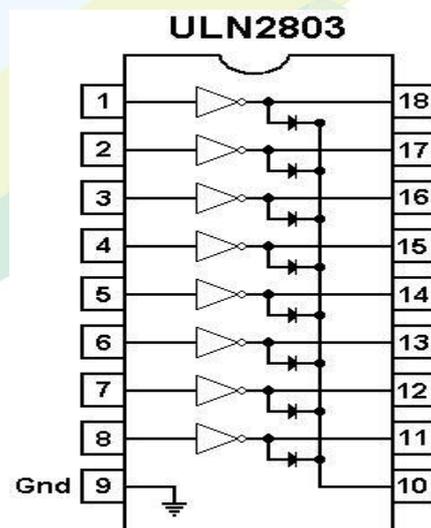
Microcontrôleur	ESP-8266EX
Tension de fonctionnement	3,3 V
E / S numériques	11
Entrées analogiques	1
Vitesse de l'horloge	80 MHz / 160 MHz
Flash	4M octets
Longueur	68.6mm
Largeur	53,4 mm
Poids	25g

4.1.1.3. ULN2803

ULN2803 est un circuit intégré comportant huit (8) transistors NPN Darlington² réunis dans un même boîtier à 18 broches et est produit par de nombreux fabricants. Ce circuit intégré est idéale pour interfacer un circuit digital (CMOS, TTL) qui a besoin de commander plusieurs composants nécessitant de plus forts courants ou intensités : lampes, relais, ampoules, têtes imprimantes, moteurs pas à pas, moteurs à courant continu ou autres charges similaires ; par exemple activer un système d'éclairage grâce à un capteur de luminosité. On se sert ici, d'uln2803 produit par TOSHIBA, et il est utilisé dans notre cas pour actionner un moteur à l'aide d'un microcontrôleur.

Caractéristiques techniques :

- Tension de sortie maximale 50 V
- Tension d'entrée maximale 30 V
- Intensité collecteur en continu 500 mA
- Compatibilité du CI ULN2803 : avec TTL, 5.0 V C MOS, sortie des cartes Arduino
- Type de paquet-APG : DIP-18pin
- Type d'emballage-AFWG : SOL-18pin



Capture 4.3 : Architecture interne d'ULN2803

² Un transistor Darlington est la combinaison de deux ou plusieurs transistors bipolaires de même type résultant en un composant hybride ayant les mêmes caractéristiques de transistor

La limite de puissance que le circuit peut dissiper en boîtier DIP se situe autour de 0,76W à une température ambiante de 85°C dans le cas de modèle produit par Toshiba. Ces caractéristiques peuvent varier légèrement d'un modèle à l'autre, et il est donc conseillé de vérifier les données de constructeurs lorsque vous vous approchez de ces limites.

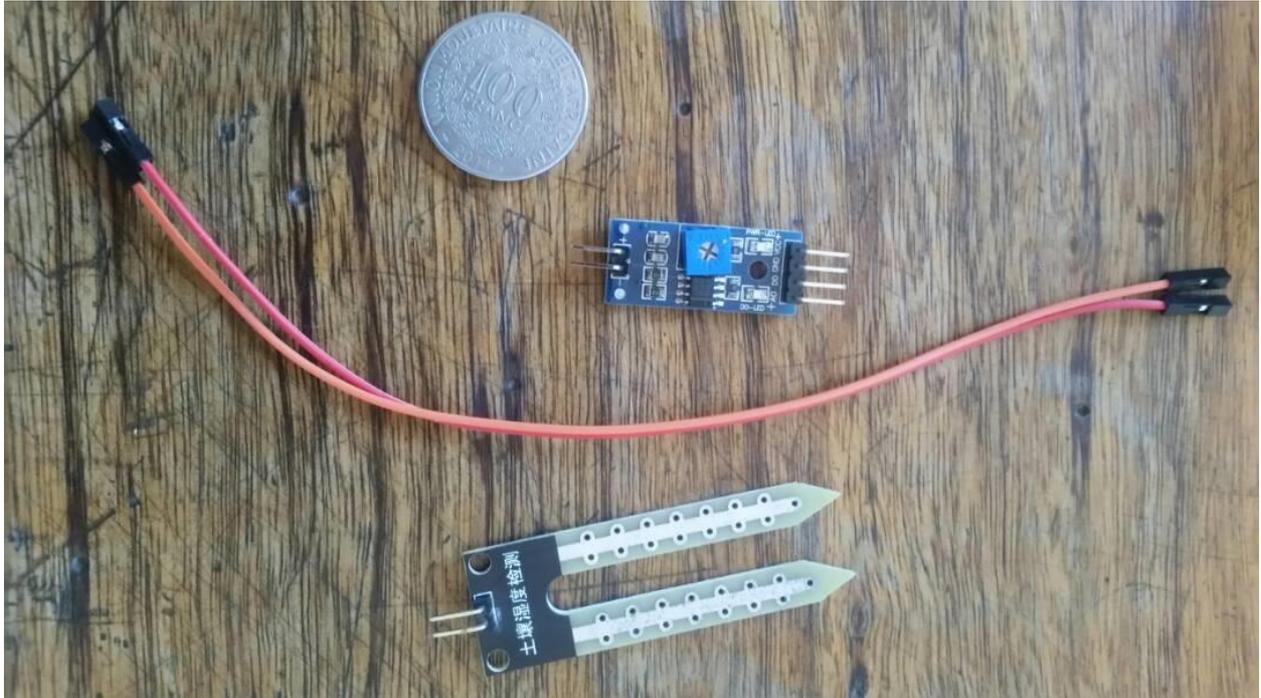
4.1.1.4. Les capteurs utilisés

4.1.1.4.1. Capteur d'humidité du sol

Ce capteur mesure l'humidité du sol à partir du changement de conductivité électrique de la terre, la résistance du sol augmente avec la sécheresse. Simple d'utilisation et peut être utilisé pour détecter si le sol est en déficit d'eau (niveau haut) ou vice versa (niveau bas). Ce module peut également être utilisé pour la réalisation de système d'arrosage automatique des plantes, arrosage de jardin, irrigation de cultures etc. Le capteur se branche simplement avec 2 fils sur la platine de mesure (GND et signal) qui est alimentée par arduino en 5V. La fourche du capteur se plante verticalement dans la terre et on mesure la résistance entre les deux électrodes.

Caractéristiques techniques :

- La sensibilité du module est ajustable via un potentiomètre numérique
- Tension de fonctionnement : 3,3V - 5V
- Module avec 2 sorties : une analogique et une numérique. La sortie numérique est plus précise
- Le module comprend des perçages pour faciliter la fixation
- Taille du PCB : 3cm x 1.6cm
- Indicateur de tension (LED rouge)
- Indicateur numérique (LED verte)
- Le comparateur est basé sur un LM393 (très stable)



Capture 4. 4 : Capteur d'humidité du sol

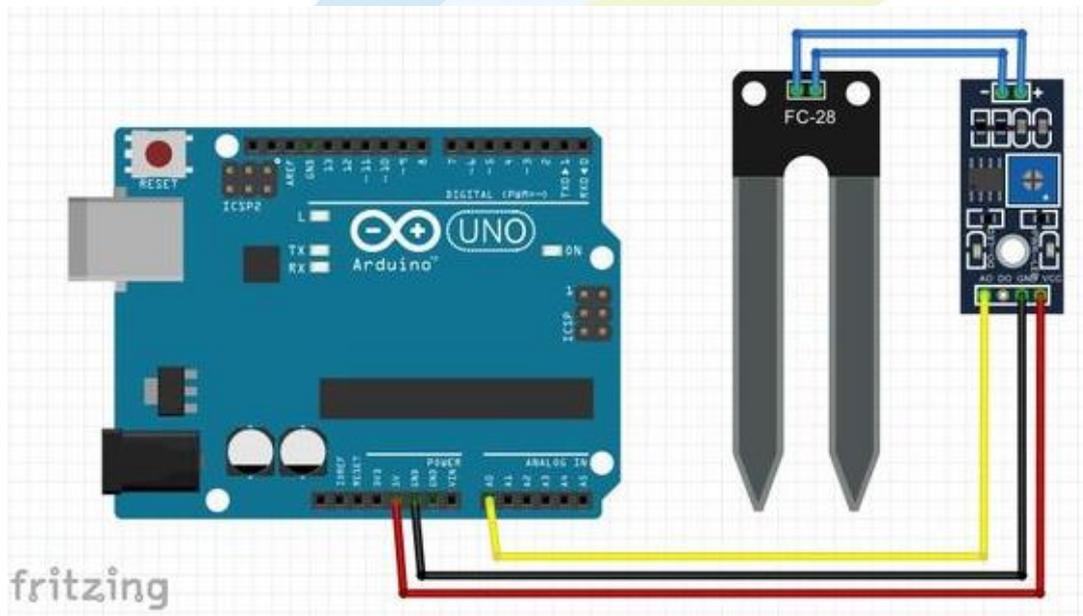


Figure 4. 1 : Montage de capteur d'humidité avec arduino

4.1.1.4.2. Capteur de pH

Le pH est une mesure de l'acidité ou l'alcalinité d'une solution, l'échelle varie entre 0 – 14. Le pH indique la concentration d'ions d'hydrogène $[H^+]$ présents dans certaines solutions. Elle peut être quantifiée avec précision par un capteur de pH qui mesure la différence de potentiel entre deux électrodes : une électrode de référence (Silver / Silver chloride) et une électrode de verre sensible à l'ion hydrogène, ce qui forme la sonde. Nous avons également utilisé un système électronique (circuit) pour conditionner le signal de manière appropriée et nous allons utiliser ce capteur avec un microcontrôleur, comme arduino.

Caractéristiques :

- Echelle de mesure : 0.00 - 14.00 pH
- Précision : 0,01 pH
- Type de connecteur BNC
- Longueur de la sonde : 14 cm, longueur du câble de la sonde 3 mètres
- Diamètre à l'extrémité (sans le bouchon) ; 12mm
- Compatible avec la plupart des appareils pH
- Température d'utilisation : 0° - 50°C
- Poids sonde : 74g
- Electrode / Sonde de Rechange pour Testeur pH BNC 1,4 2mm



Capture 4.5 : Capteur de pH avec Logo_PHsensor compatible arduino

Nous avons besoin de deux GND, une alimentation de 5 V et une entrée analogique A0 pour faire fonctionner le circuit (Logo_PHsensor v2.0) avec arduino. De plus, le circuit utilisé à deux potentiomètres dont l'un permet de calibrer le capteur et l'autre la limite de pH.

Tableau 4.3 : Quelques conseils pour bien entretenir le capteur de pH

Rinçage	Rincer l'électrode à l'eau du robinet après chaque mesure. Le rinçage à l'eau distillée est conseillé pour éviter la pollution des différentes solutions tampons entre elles. Cependant, l'eau distillée ne convient absolument pas à la conservation des électrodes. En effet, il se produirait une fragilisation du bulbe en verre de l'électrode.
Nettoyage	Plonger l'électrode dans une solution de nettoyage pendant approximativement 20 à 30 minutes. Cette solution dépend du type d'encrassement de l'électrode, puis étalonner (calibrer) l'électrode (indispensable après un nettoyage !).
Conservation	pour éviter le colmatage de l'électrode et pour garantir un temps de réponse rapide, le bulbe en verre ainsi que le diaphragme (jonction) doivent être maintenus « humides » et ne doivent pas dessécher. Pour cela, versez quelques gouttes d'une solution de conservation dans le capuchon de protection de l'électrode. Celle-ci doit être stockée à la verticale.
Etalonnage / Calibration	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Enlever le capuchon de protection. ❖ Eliminer les éventuels dépôts de sel en passant l'électrode sous l'eau du robinet. ❖ Rincer l'électrode dans de l'eau distillée. ❖ Etalonner avec une solution tampon pH 7.01 ❖ Rincer l'électrode à nouveau dans de l'eau distillée ❖ Etalonner avec une solution tampon pH 4,03 ou pH 10,01 (Le choix du deuxième tampon dépend de votre gamme de mesure).

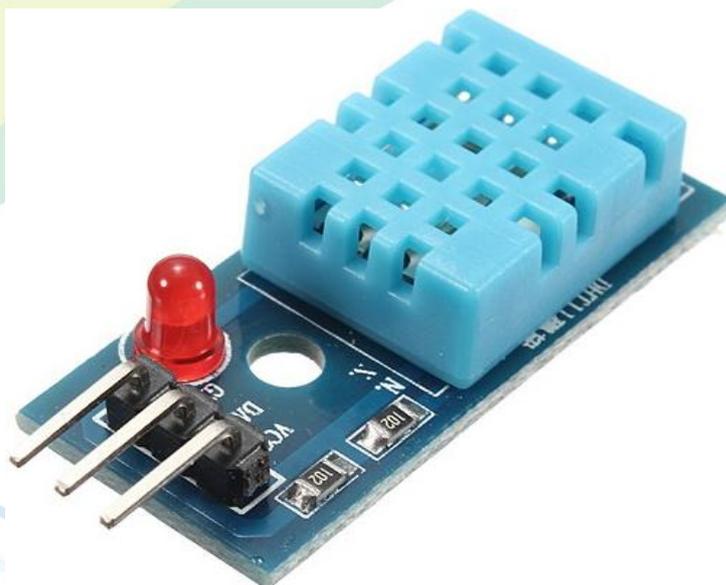
Il est conseillé pour une précision optimale de recalibrer régulièrement le testeur pH, une solution de calibration (d'étalonnage) est nécessaire pour le recalibrage de cet appareil.

4.1.1.4.3. Capteur de température et humidité relative (DHT11)

Les capteurs DHT sont constitués de deux parties, un capteur d'humidité capacitif et une thermistance. Il y a aussi une puce très basique à l'intérieur qui fait une conversion analogique-numérique et délivre un signal numérique avec la température et l'humidité. Le signal numérique est assez facile à lire en utilisant n'importe quel microcontrôleur. Le DHT11 est un capteur de température et humidité relative, très apprécié pour sa simplicité de mise en œuvre et son coût peu élevé. Il communique avec un microcontrôleur via un port série. Il est livré avec une résistance "pull-up" pour la sortie data.

Les caractéristiques principales de DHT11 sont les suivantes :

- Alimentation : 3 à 5 Vcc
- Consommation maximale : 2,5 mA
- Plage de mesure : température : 0 à +50 °C, humidité : 20 à 100 %
- Précision : température : ± 2 °C, humidité : ± 5 % HR
- Mode de sortie : sortie numérique
- Taille de la carte : 3.1 x 1.4cm



Capture 4. 6 : Capteur de température et humidité (DHT11)

La figure ci-dessous représente la vue schématique du montage de DHT11 avec l'arduino

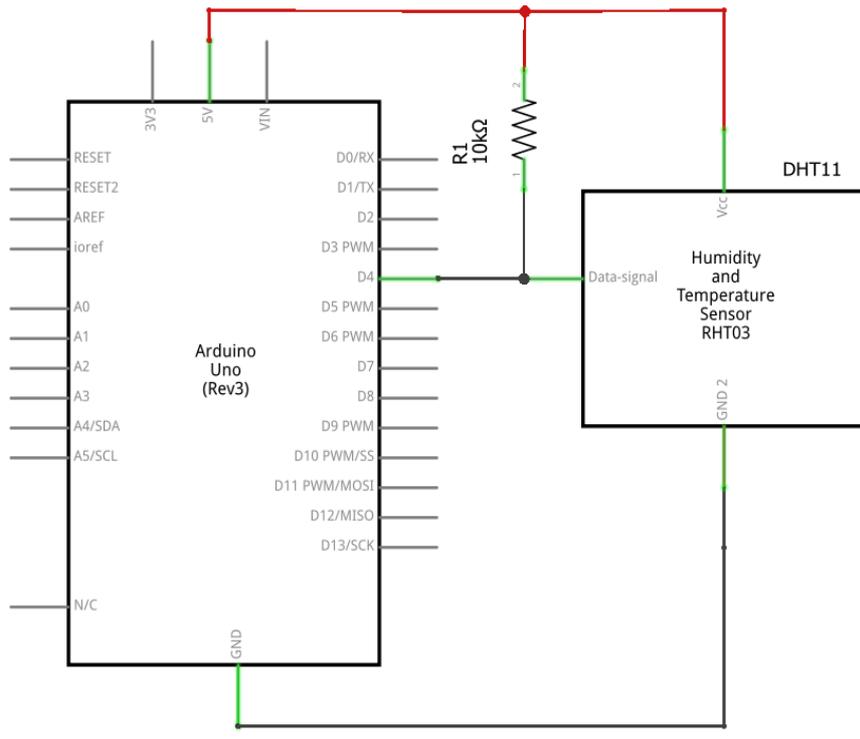


Figure 4. 2 : Vue schématique du montage de DHT avec arduino

4.1.1.4.5. Photorésistance

Les photorésistances (PhotoCells ou CdS en anglais) sont des senseurs qui permettent de détecter la lumière. Elles sont petites, économiques en énergies, faciles à utiliser et ne s'usent pas. Elles sont souvent identifiées sous la dénomination CdS (parce qu'elles sont faites de Cadmium-Sulfite)

Fondamentalement, les photorésistances sont des résistances dont la valeur résistive (en ohms Ω) change en fonction de la quantité de lumière qui atteint la partie en serpentin du capteur sur le dessus. On s'en est servi pour détecter la variation de la luminosité ambiante. La vue schématique du montage de la photorésistance avec la carte Arduino est illustrée au niveau de la figure ci-dessous.

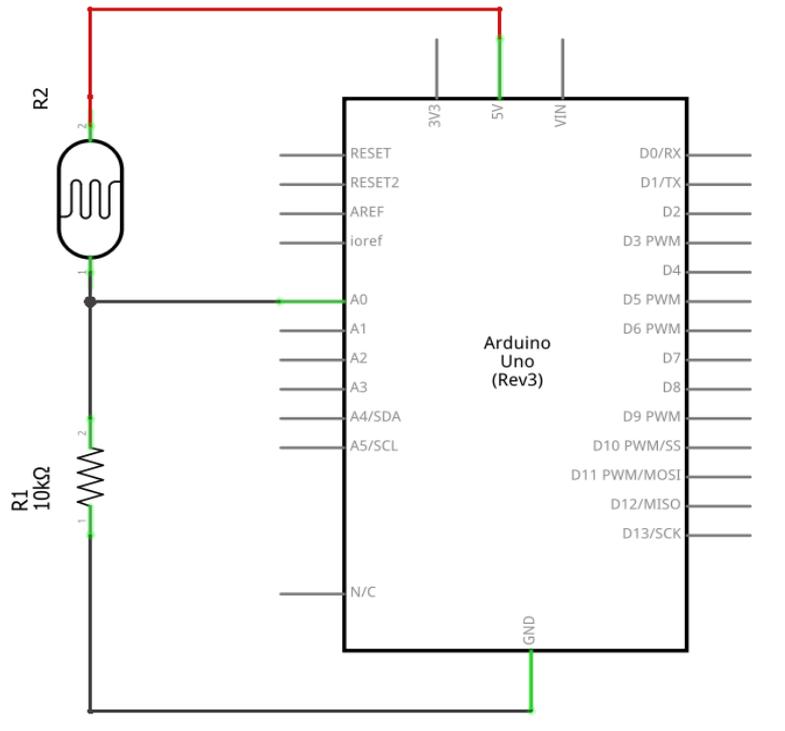


Figure 4. 3 : Vue schématique du montage (photorésistance avec arduino)

4.1.1.5. Pompe à eau :

La pompe presse un tube en silicone contenant le liquide pour le mettre en mouvement. Cette pompe n'aspire donc pas directement le liquide comme les pompes traditionnelles. L'avantage est que la pompe n'entre jamais en contact avec le liquide, ce qui en fait un excellent choix pour les projets de pompages de nourriture/boisson/éléments stériles. Cette pompe permet donc de réaliser des automates à boisson ou des robots d'arrosage pour jardiner. La pompe est actionnée par un moteur continu (moteur DC). Elle est équipée d'un mécanisme d'entraînement utilisant des galets organisés en trèfle. Lorsque le moteur tourne, le trèfle presse sur le tube pour pousser le liquide dans le tube. La pompe n'a pas besoin d'être amorcée et peu facilement s'amorcer avec de l'eau située à un demi-mètre en amont. On peut également contrôler la vitesse du moteur en PWM pour augmenter ou diminuer le débit du liquide. Le liquide se déplace du côté de la borne positif vers la borne négatif, mais si les connexions électriques sont inversées, la pompe déplace le liquide dans le sens inverse. Un circuit intégré Uln2803 interfacé entre la carte arduino et le moteur pour pouvoir le contrôler ou commander depuis une interface web.

Caractéristique techniques :

- Utilisez des tubes avec un diamètre externe de 3/16" (4.7mm) en silicone.
- Température de fonctionnement : 0°C - 40 °C

- Tension du moteur : 12V continu (DC)
-
- Courant du moteur : 300mA
- Débit : jusqu'à 100 ml/min
- Poids : 200 grammes
- Dimensions : 27mm pour le diamètre moteur, 62mm de longueur totale
- Trou de montage : 3mm de diamètres, 50mm distance de centre à centre.



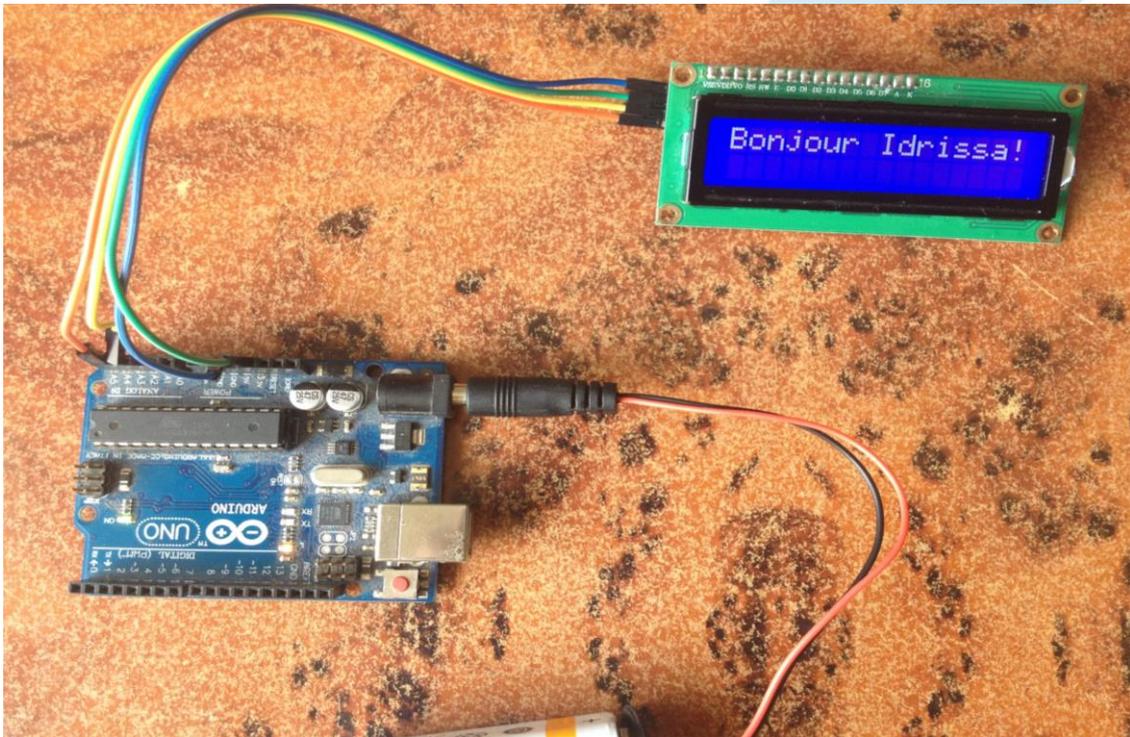
Capture 4. 6 : Pompe péristaltique

4.1.1.5. L'écran LCD I2C :

Un écran LCD ou l'écran à cristaux liquides permet à l'utilisateur de lire directement certains paramètres de sortie. Ces valeurs peuvent être un texte simple ou des valeurs numériques lues par les capteurs, telles que température, l'humidité ou la valeur de pH.

L'écran LCD I2C dispose d'une puce intégrée qui gère la communication I2C, puis toutes les informations d'entrée et de sortie sont limitées à deux SDA (Serial Data Line) et SCL (Serial Clock Line) à l'exclusion de l'alimentation. I2C est un type de bus série développé par Philips, qui utilise deux lignes bidirectionnelles, appelées SDA et SCL. Les deux doivent être connectés via des résistances « pull-up ». Les tensions d'utilisation sont standards comme 5V et 3.3V.

Le module LCD1602 se compose de deux parties. Un écran LCD standard classique HD44780 16 × 2 (16 caractères sur 2 lignes). Le rétroéclairage peut être vert ou bleu. Et une carte, le LCM1602 qui est monté dans le bas de l'écran et gère la communication I2C, réduisant toutes les sorties à SDA et SCL, GND et VCC.



Capture 4.7 : LCD I2C avec arduino Uno

4.1.3. Acquisitions, traitement et envoi de données au serveur

Dans notre système les capteurs sont connectés à un microcontrôleur, avec un module wifi ESP8266 et forment un réseau. Le module permet d'établir la connexion avec un modem wifi pour envoyer les données vers le serveur web à travers le port HTTP. La principale fonction du serveur Web est de stocker, traiter et livrer des pages Web aux clients. La communication entre le client et le serveur s'effectue à l'aide du protocole HTTP (HyperText Transfer Protocol). Les pages livrées sont le plus souvent des documents HTML, qui peuvent inclure des images, des feuilles de style et des scripts en plus du contenu textuel. La figure ci-dessous montre l'architecture générale du système.

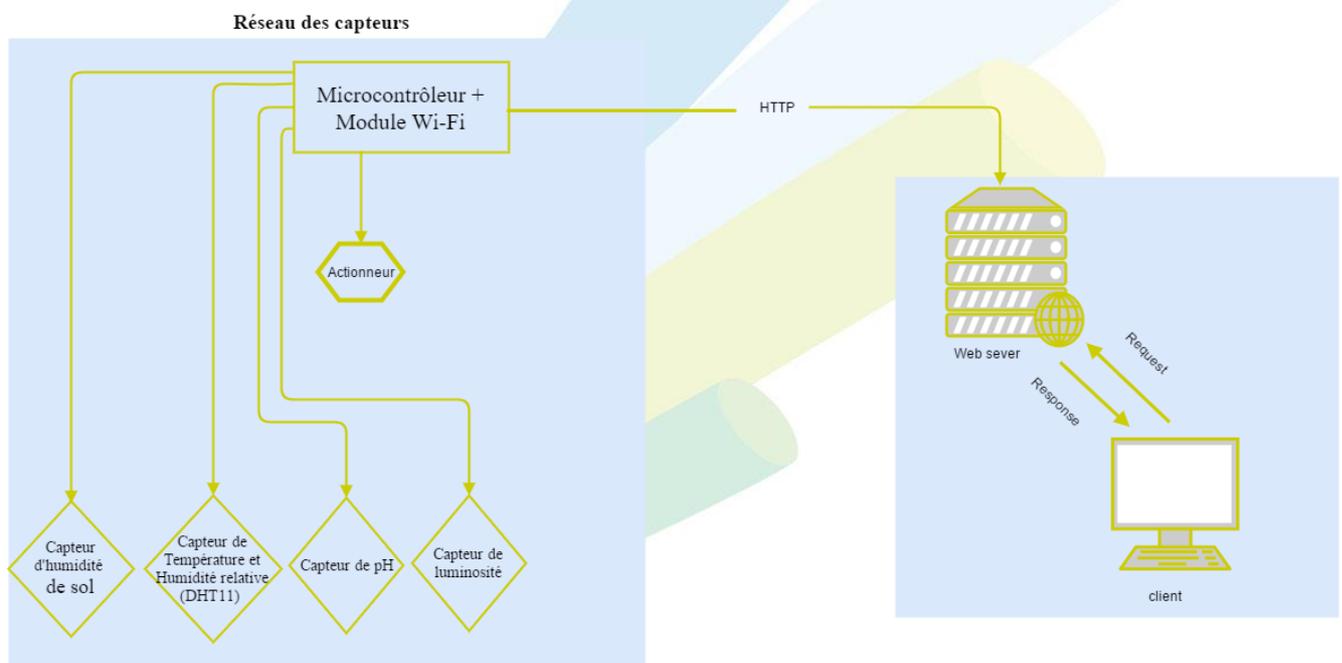


Figure 4. 4 : Architecture du système embarqué

Le principal rôle du système ici est de collecter toutes les informations issues des capteurs à temps réel et de façon continue. Les données sont prélevées par les capteurs puis envoyées à l'arduino. Un processus de traitement interne « arduino + programme » est lancé et les données collectées sont envoyées par l'arduino via l'ESP8266 au serveur web. Le serveur traite ces données

afin qu'ils soient disponibles sur la page web à temps réel. Le diagramme ci-dessous illustre de façon chronologique les différents scénarios.

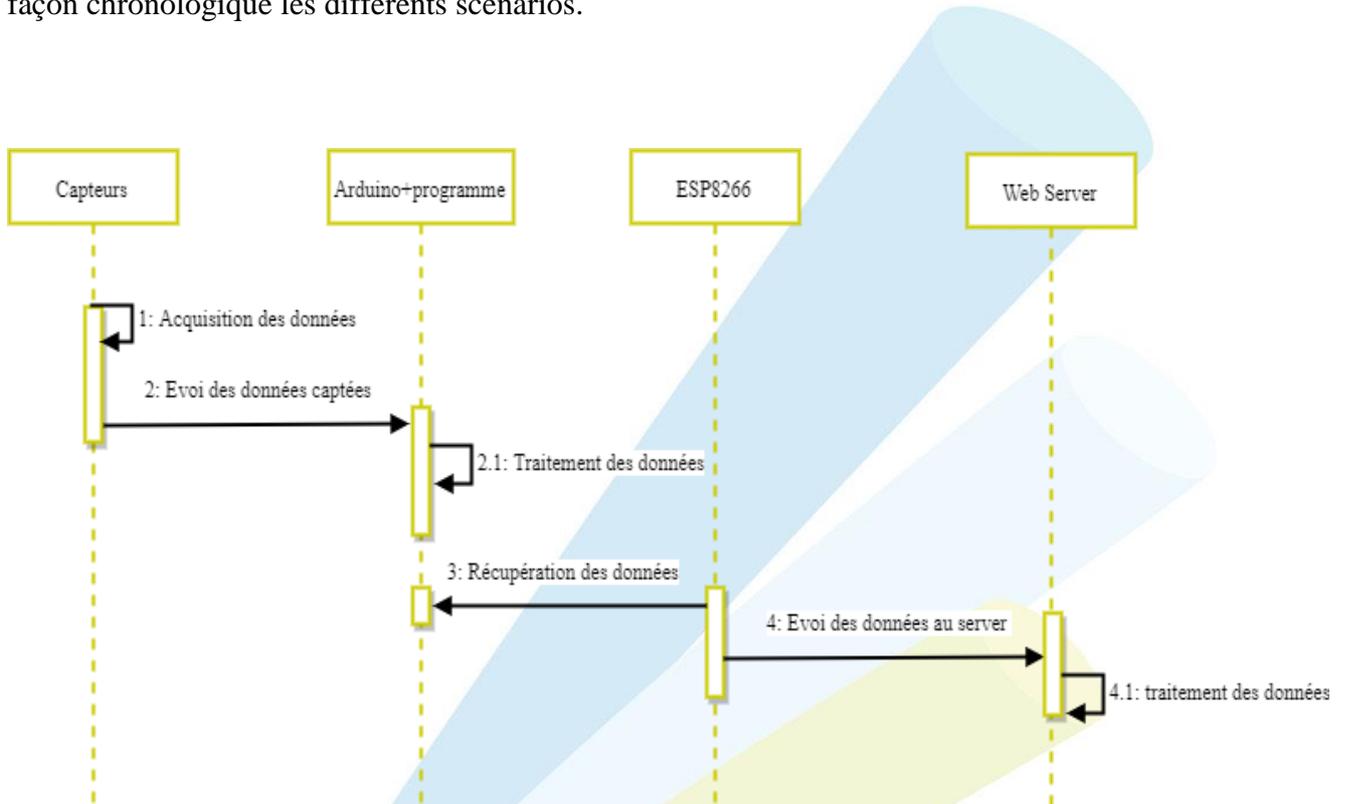


Figure 4. 5 : Diagramme de séquence du système embarqué

4.2. Réalisation de la maquette

Cette dernière partie du chapitre consiste à réaliser le prototype d'un champ connecté. A travers des illustrations et des commentaires à l'appui, nous vous présentons les différentes étapes de réalisation du prototype (système embarqué + bac d'expérimentation simulant les possibilités offertes par un champ connecté).

4.2.1. Présentation de différentes étapes de réalisation du prototype

4.2.1.1. Etapes de préparation du bac

Cette étape consiste simplement à illustrer le bac utilisé et sa préparation.



Capture 4. 8 : l'image du bac d'expérimentation en cours de préparation



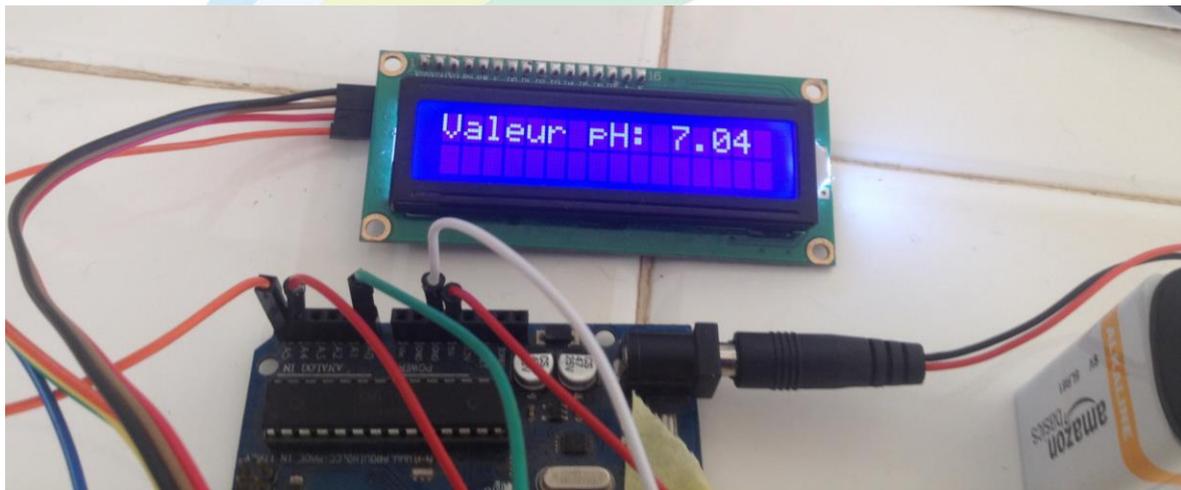
Capture 4. 9 : l'image du bac d'expérimentation montrant le trou de passage d'eau

4.2.1.2. Test du niveau de pH

Le pH d'un sol est le résultat de sa composition, il a une influence directe sur la fertilité et la croissance des plantes. Tout d'abord nous avons pris deux solutions pour calibrer le pH-mètre. Nous avons utilisé pH 7.0 et pH = 4.01. Le programme arduino prélève dix échantillons pour chaque teste et on peut ajuster sur le potentiomètre près du port BNC pour calibrer. Ce test de calibrage a été fait dans le laboratoire central Eau-Sol-Plante du CNRA de Bambey. La capture suivante montre une partie du dispositif.



Capture 4. 10 : Calibrage du capteur de pH, Laboratoire Eau-Sol-Plante du CNRA de Bambey



Capture 4. 11 : Valeur de pH lue sur l'écran LCD

On ajuste sur le potentiomètre jusqu'à trouver une valeur qui varie légèrement, pour ce test le niveau du pH varie entre 7.03 et 7.04 avec la solution tampon pH 7.0.

4.2.1.4. Système d'arrosage « emplacement de la pompe »

Comme la pompe est contrôlée par le système embarqué et qu'elle ne rentre jamais en contact direct avec l'eau, alors elle sera fixée au boîtier, la partie du moteur sera à l'intérieur du boîtier.



Capture 4.12 : L'emplacement de la pompe

4.2.1.3. L'emplacement du système embarqué sur le bac

Toute la partie électronique du système sera mise dans une boîte de dérivation. Le boîtier sera fixé à côté du bac et commandé par un programme écrit depuis l'IDE de l'arduino. Le système est alimenté par un power Bank solaire de 5 V. Mais aussi une alimentation de 12 V est nécessaire pour faire fonctionner la pompe et la contrôler grâce à l'ULN2803.



Capture 4. 13 : Schéma montrant l'emplacement du dispositif

4.2.1.5. Développement de l'interface web

Le développement de l'interface se fait à l'aide de principaux langages de programmation et le Framework bootstrap énumérés dans le chapitre 3. Tout le code est écrit dans l'IDE de l'arduino. Il offre la possibilité aux agriculteurs d'afficher les données comme la température, humidité relative, humidité du sol etc. Il permet aussi grâce à deux boutons (ON/OFF) d'activer ou désactiver la pompe à distance.

Voici quelques extraits du code :

Cette partie du code montre comment on établit la connexion Wi-Fi pour pouvoir envoyer les données vers le serveur. Pour cela nous avons besoin de SSID du Wi-Fi et son mot de passe.

```
WiFi.begin ( ssid, password );
// Attente de la connexion au réseau WiFi / Wait for connection
while ( WiFi.status() != WL_CONNECTED ) {
  delay ( 500 ); Serial.print ( "." );
}
// Connexion WiFi établie / WiFi connexion is OK
Serial.println ( "" );
Serial.print ( "Connected to " ); Serial.println ( ssid );
Serial.print ( "IP address: " ); Serial.println ( WiFi.localIP() );
```

On crée une instance, un objet qui contiendra le serveur web. On communiquera avec lui sur le port 80, le port classique des requêtes HTTP utilisées par les navigateurs internet.

```
ESP8266WebServer server (80) ; // objet créé
```

Nous avons utilisé une fonction getPage () dans laquelle tout le contenu HTML est gérée à l'intérieur. Voici une partie du code montrant comment on insère le Template (Bootstrap) utilisé, ainsi que les liens des différents fichiers (CSS, JS) utilisés.

```
String getPage () {
  String page = "<html lang='fr'><head><meta http-equiv='refresh'
content='60' name='viewport' content='width=device-width,
initial-scale=1'/>";
  page += "<link rel='stylesheet'
href='https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/css/bootstrap.min.
css'><script
src='https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.1.1/jquery.min.
js'></script><script
src='https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/js/bootstrap.min.
js'></script>";
```

L'extrait du code ci-dessous permet de faire les mises à jour des broches des commandes et afficher l'état de la pompe sur le serveur.

```
void updateGPIO(int gpio, String DxValue) {
  Serial.println("");
  Serial.println("Update GPIO "); Serial.print(GPIOPIN[gpio]); Serial.
  print(" -> "); Serial.println(DxValue);

  if ( DxValue == "1" ) {
    digitalWrite(GPIOPIN[gpio], HIGH);
    etatGpio[gpio] = "On";
    server.send ( 200, "text/html", getPage() );
  } else if ( DxValue == "0" ) {
    digitalWrite(GPIOPIN[gpio], LOW);
    etatGpio[gpio] = "Off";
    server.send ( 200, "text/html", getPage() );
  } else {
    Serial.println("Error");
  }
}
```

La capture suivante montre l'interface de la plateforme web.

The screenshot shows a web browser window with the URL `www.champConnecte.cc` and IP address `192.168.43.63/`. The main content area displays a banner with the text "Mémoire de fin de formation Conception et implémentation d'un champ connecté" over a background image of a green field. Below the banner is a table titled "Tableau des relevés" (Measurement Table) with the following data:

Mesure	Valeur	Valeur précédente
Température	25.00°C	25.00
Humidité de l'air	65.00%	64.00
Humidité du sol	65.00%	65.00

Below the table, there is a section titled "Ouvrir / Fermer la pompe" (Open / Close the pump). It includes a label "Pompe" with a small "OFF" indicator, a green "ON" button, and a red "OFF" button. At the bottom of the page, there is a copyright notice: "© 2017 Idrissa A. SALL".

Capture 4. 14 : L'interface de la plateforme web

4.2.2. Contraintes

Le principal problème auquel nous nous sommes confrontés est celui de l'acquisition des matériels. Il s'agit des capteurs, de la carte ainsi que divers composants indispensables dont nous étions obligés d'en commander depuis la chine et la France via le site d'AMAZON. Ce qui a allongé le temps de conception.

Malgré le soutien de mes amis de Ic_Future, qui n'ont ménagé aucun effort pour me fournir des équipements, le problème lié aux matériels persiste toujours pendant la phase de conception.

4.2.3. Perspectives

Nous avons pu utiliser au sein de ce projet, les matériels nécessaires pour montrer sa faisabilité. Compte tenu des différents paramètres gérés, nous envisageons apporter quelques améliorations pour un suivi efficace du champ connecté. Pour cela, le site officiel du champ connecté sera lancé dans le but de contrôler et de suivre des cultures. Des conseils seront également disponibles concernant les bonnes pratiques agricoles. Ces conseils seront bien organisés de telle sorte que les agriculteurs / producteurs peuvent comprendre et adopter des méthodes préventives.

Nous envisageons aussi d'utiliser un émetteur ultrasonique contre certains ravageurs. L'ultrason est une onde mécanique et élastique, qui se propage au travers de supports fluides, solides, gazeux ou liquides. La gamme de fréquences des ultrasons se situe entre 16 000 et 10 000 000 Hertz, trop élevée pour être perçue par l'oreille humaine. Donc, il sera possible d'émettre un signal à différentes fréquences pour chasser par exemple les criquets ravageurs. La solution apportée par ce projet pouvant être appliqué dans divers champs, nous comptons étendre ce projet sur de grandes parcelles.

CONCLUSION

Vu le problème auquel est confronté le secteur de l'agriculture, la gestion d'un champ devient complexe. Mais, grâce aux nouvelles technologies rendant possibles une agriculture intelligente, il est possible de saisir les informations le plus pertinentes pour améliorer la gestion d'un champ.

Le système présenté dans ce mémoire portant sur la conception et l'implémentation d'un champ connecté dont toute la phase conceptuelle ainsi que la phase architecturale ont été définies clairement, donne la possibilité aux agriculteurs, producteurs ou toute personne concernée par le domaine agricole, de collecter les informations liées à leurs champs. Ainsi, cette solution permettra l'amélioration des conditions de vie de la population, particulièrement ceux qui vivent dans les zones rurales du fait d'une meilleure gestion de leurs champs et de leurs plantations grâce aux données déterminant la fertilité d'un sol par rapport à une semence.

En fin, ce mémoire nous a permis d'élargir nos connaissances sur les systèmes embarqués, les objets connectés, ainsi que quelques notions sur l'agriculture grâce aux recherches que nous avons eu à effectuer et aux personnes passionnées par ce domaine que nous avons côtoyées.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] CISSE (N.), THIAW, S., NDIAYE, (M.) HALL (A. E.), 1996. Guide pratique de production du niébé, fiches techniques. ISRA, vol. 6, n° 2, 12 p.
- [2] DIOUF (P. S.), 2005. Contribution à l'estimation des superficies agricoles : Caractérisation des réponses radiométriques des principales cultures du bassin arachidier, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), Mémoire d'Ingénieur, 53 p.
- [3] Initiative pour l'Adaptation de l'Agriculture Africaine (AAA) aux changements climatiques, 15p. (http://www.aaainitiative.org/sites/aaainitiative.org/files/AAA_livre_blanc_FRA.pdf)
- [4] Catalogue officiel des espèces et variétés cultivées au Sénégal, 1^{ère} Edition, Août 2012, 192 p. (http://www.fao.org/pgrfa-gpa-archive/sen/docs/senegal_varietes/Catalogue_officiel_varietes_sm.pdf)
- [5] Jean-Noël Montagné, novembre 2006, Livret Arduino : Initiation à la mise en œuvre matérielle et logicielle de l'Arduino, 37p, Centre de Ressources Art Sensitif.
- [6] Astalaseven, Eskimon et Olyte, Arduino pour bien commencer en électronique et en programmation, 302 p. (<https://wiki.mdl29.net/lib/exe/fetch.php?media=elec:arduino-pour-bien-commencer-en-electronique-et-en-programmation.pdf>)
- [7] FAO 2016, la situation mondiale de l'alimentation et l'agriculture, 214 p. (<http://www.fao.org/3/a-i6030f.pdf>)
- [8] M. S. Swaminathan, Save and grow, FAO (Rome 2011), 116 p.
- [9] Xavier Blanc, Isabelle Mounier, Cédric Besse, Olivier Salvatori « UML2 pour les développeurs » Edition Français, Paris : Eyrolles, DL 2006, 202 p. (<https://elearn.univ-ouargla.dz/2013-2014/courses/DVRLVR/document/221212029XUML2pourlesdeveloppeurs.pdf?cidReq=DVRLVR>)

WEBOGRAPHIE

- [10] <http://www.un.org/apps/newsFr/storyF.asp?NewsID=20120> (consulté le 26 juillet 2017)
- [11] <http://www.banquemonde.org/fr/topic/agriculture/overview> (consulté le 26 juillet 2017)
- [12] https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2014/Cote_C__2014-05-15_.pdf (consulté le 27 juillet 2017)
- [13] <http://irriwest.com/fr> (consulté le 27 juillet 2017)
- [14] https://fr.wikipedia.org/wiki/Agriculture_au_S%C3%A9n%C3%A9gal#cite_note-1 (consulté le 27 Juillet 2017)
- [15] [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter\(SKU:_SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161)) (consulté le 27 juillet 2017)
- [16] <http://arduino103.blogspot.sn/2016/05/senseur-dhumidite-et-arrosage-du-jardin.html> (consulté le 05 Août 2017)
- [17] http://www.dakaractu.com/CONTRIBUTION-L-Agriculture-levier-performant-du-Plan-Senegal-Emergent-Dr-Omar-N-DIAYE-Economiste_a102599.html (consulté le 5 Août 2017)
- [18] https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_l%27agriculture (consulté le 6 Août 2017)
- [19] <http://www.climat.be/fr-be/changements-climatiques/les-effets/alimentation> (consulté le 7 Août 2017)
- [20] https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/42432/About%20CSA_Q%26A.pdf?sequence=1&isAllowed=y (consulté le 11 Août 2017)
- [21] https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Events/DakAgri2015/L%E2%80%99Agriculture_Intelligente_face_au_Climat_dans_le_Contexte_Africain.pdf (consulté le 12 Août 2017)
- [22] https://fr.wikipedia.org/wiki/Agriculture_au_S%C3%A9n%C3%A9gal#cite_note-1 (consulté le 12 Août 2017)
- [23] <http://www.emresanli.com/video/?id=Jt0yEta4L7o> (consulté le 12 Août 2017)
- [24] <http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2002/robotique/chapitres/MicrocontroleurWhat.htm> (consulté le 13 Août 2017)
- [25] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur> (consulté le 13 Août 2017)
- [26] <https://www.youtube.com/watch?v=Jt0yEta4L7o> (consulté le 14 Août 2017)
- [27] <http://www.softwebiot.com/iot-use-cases/iot-solutions-for-agriculture-industry/> (consulté le 14 Août 2017)

- [28] <https://shop.mchobby.be/moteur/206-pompe-peristaltique-tube-silicone-3232100002067.html> (consulté le 15 Août 2017)
- [29] <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction> (consulté le 17 Août 2017)
- [30] <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3> (Consulté le 22 Août 2017)
- [31] <http://www.instructables.com/id/Simple-Webserver-Using-Arduino-UNOMega-and-ESP8266/> (consulté le 28 Août 2017)
- [32] <http://randomnerdtutorials.com/esp8266-web-server-with-arduino-ide/> (consulté le 1 Septembre 2017)
- [33] <https://en.wikipedia.org/wiki/BootstrapCDN> (consulté le 5 Septembre 2017)
- [34] https://www.lexpress.fr/emploi/business-et-sens/en-inde-des-agriculteurs-irriguent-leurs-champs-avec-des-sms_1289843.html
- [35] <https://www.carefrance.org/care-actions/programmes-monde/inde-changement-climatique-adaptation-agriculture-axa-where-the-rain-falls.htm> (consulté le 26 décembre 2017)

TABLES DES MATIERES

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
SOMMAIRE	III
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES TABLEAUX	IV
LISTE DES CAPTURES	IV
SIGLES ET ABREVIATIONS	V
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE, PRESENTATION DU SUJET ET LA STRUCTURE D'ACCUEIL EN STAGE	3
1.1. Problématique	3
1.2. Présentation du sujet	4
1.2.1. Explication du sujet	4
1.2.2. Objectif et délimitation du mémoire	5
1.2.3. Démarche et méthodologie	6
2.3. Présentation de la structure d'accueil en stage	6
CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART DE L'AGRICULTURE INTELLIGENTE	10
2.1. Agriculture intelligente : Définition et concepts utilisés	10
2.1.1. Définition d'une agriculture intelligente.....	10
2.1.2. Quelques concepts utilisés.....	11
2.1.2.1. Les capteurs	11
2.1.2.2. Les actionneurs	11
2.1.2.3. Le microcontrôleur.....	12
2.2. Solutions existants	13
2.2.1. Système d'irrigation par SMS, Inde.....	13
2.2.2. Where the Rain Falls, Etat de Chhattisgarh, Inde [35]	14
2.2.3. Agriculture d'avant-garde avec la serre la plus intelligente d'Europe.....	14
2.2.4. Projet IRRIWEST, Afrique de l'Ouest.....	15
2.3. Avantages	15
2.4. Présentation de la maquette	15
CHAPITRE 3 : ANALYSE FONCTIONNELLE ET ETUDE CONCEPTUELLE	18
3.1. Le principe de fonctionnement	18
3.1.1. L'environnement de la parcelle :	18

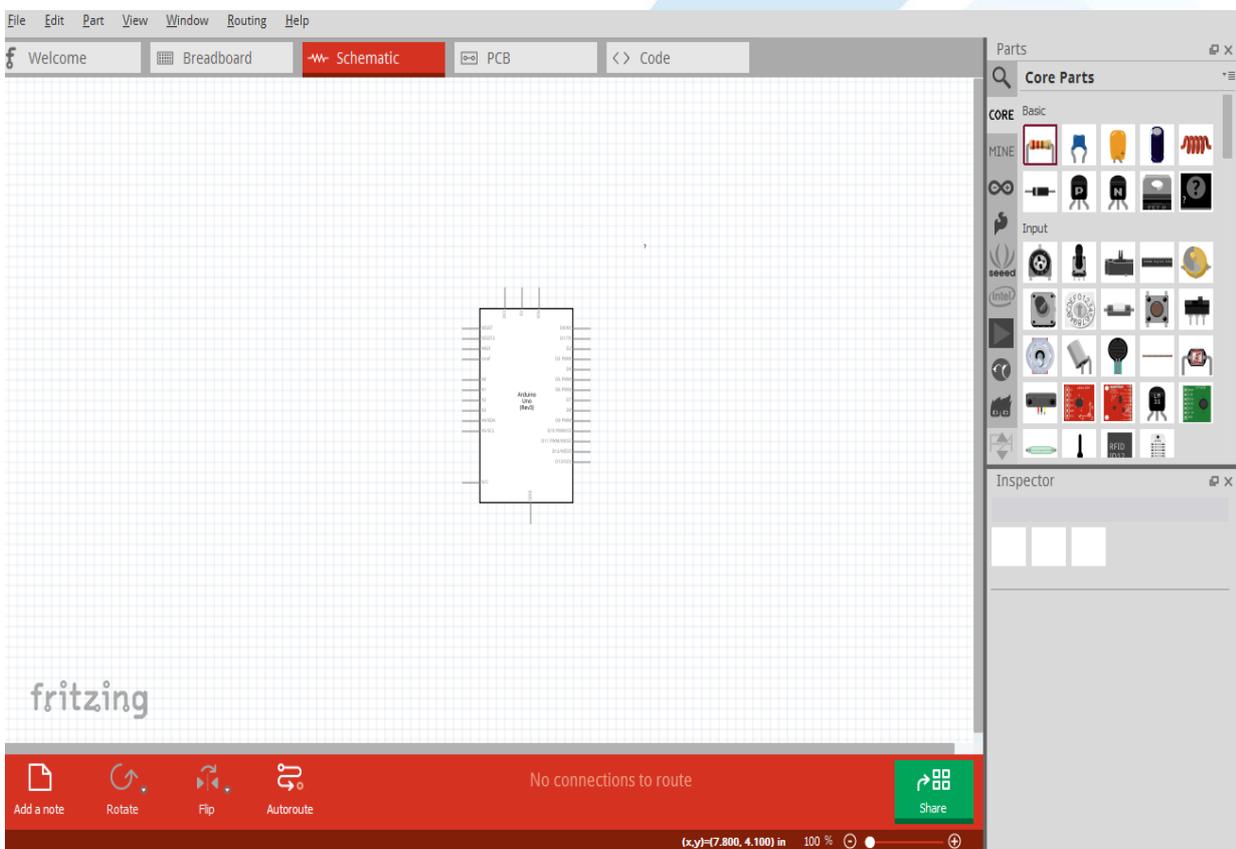
3.1.2. Le rôle de microcontrôleur	18
3.1.3. Options d'affichage	19
3.1.4. Les capteurs	19
3.2. Les acteurs	20
3.2.1. L'administrateur.....	20
3.2.2. Le producteur	21
3.2.3. Le système embarqué	21
3.3. Langages de programmation et outils libres utilisés :	22
3.3.1. Langages de programmation.....	22
3.3.1.1 Arduino	22
3.3.1.2. HTML	22
3.3.1.3. CSS	23
3.3.1.4. JavaScript	23
3.3.1.4. Bootstrap	23
3.3.2. Outils libres	24
3.3.2.1. Draw.io.....	24
3.3.2.1. SketchUp	25
3.4. Langage de modélisation « UML (Unified Modeling Language)»	26
3.4.1. Inventaire de cas d'utilisation	27
3.4.2. Diagramme des cas d'utilisation	28
3.4.2. Diagramme de séquence	29
3.4.2.1. Diagramme de séquence « déclencher la pompe automatiquement »	29
3.4.2.2. Diagramme de séquence « ouvrir/fermer la pompe à distance ».....	30
3.4.2.3. Diagramme de séquence pour l'affichage de tableaux des données en temps réel	31
CHAPITRE 4 : MISE EN ŒUVRE DU SYSTEME	32
4.1. Matérialisation des fonctionnalités du système	32
4.1.1. Présentation des équipements	32
4.1.1.1. Arduino Uno	32
4.1.1.2. Wemos D1	34
4.1.1.3. ULN2803	35
4.1.1.4. Les capteurs utilisés	36
4.1.1.4.1. Capteur d'humidité du sol.....	36
4.1.1.4.2. Capteur de pH	38
4.1.1.4.3. Capteur de température et humidité relative (DHT11).....	40
4.1.1.4.5. Photorésistance.....	41

4.1.1.5. Pompe à eau :	42
4.1.1.5. L'écran LCD I2C :	43
4.1.3. Acquisitions, traitement et envoi de données au serveur	45
4.2. Réalisation de la maquette	47
4.2.1. Présentation de différentes étapes de réalisation du prototype.....	47
4.2.1.1. Etapes de préparation du bac	47
4.2.1.2. Test du niveau de pH.....	48
4.2.1.4. Système d'arrosage « emplacement de la pompe ».....	50
4.2.1.3. L'emplacement du système embarqué sur le bac	50
4.2.1.5. Développement de l'interface web	52
4.2.2. Contraintes	54
4.2.3. Perspectives	54
CONCLUSION	55
BIBLIOGRAPHIE	i
WEBOGRAPHIE	ii
TABLES DES MATIERES	iv
ANNEXES	vii
Annexe 1. Logiciel Fritzing.....	vii
Annexe 2. Quelques lignes de code arduino	viii
Annexe 3. Fiche technique de la culture du Niébé	ix

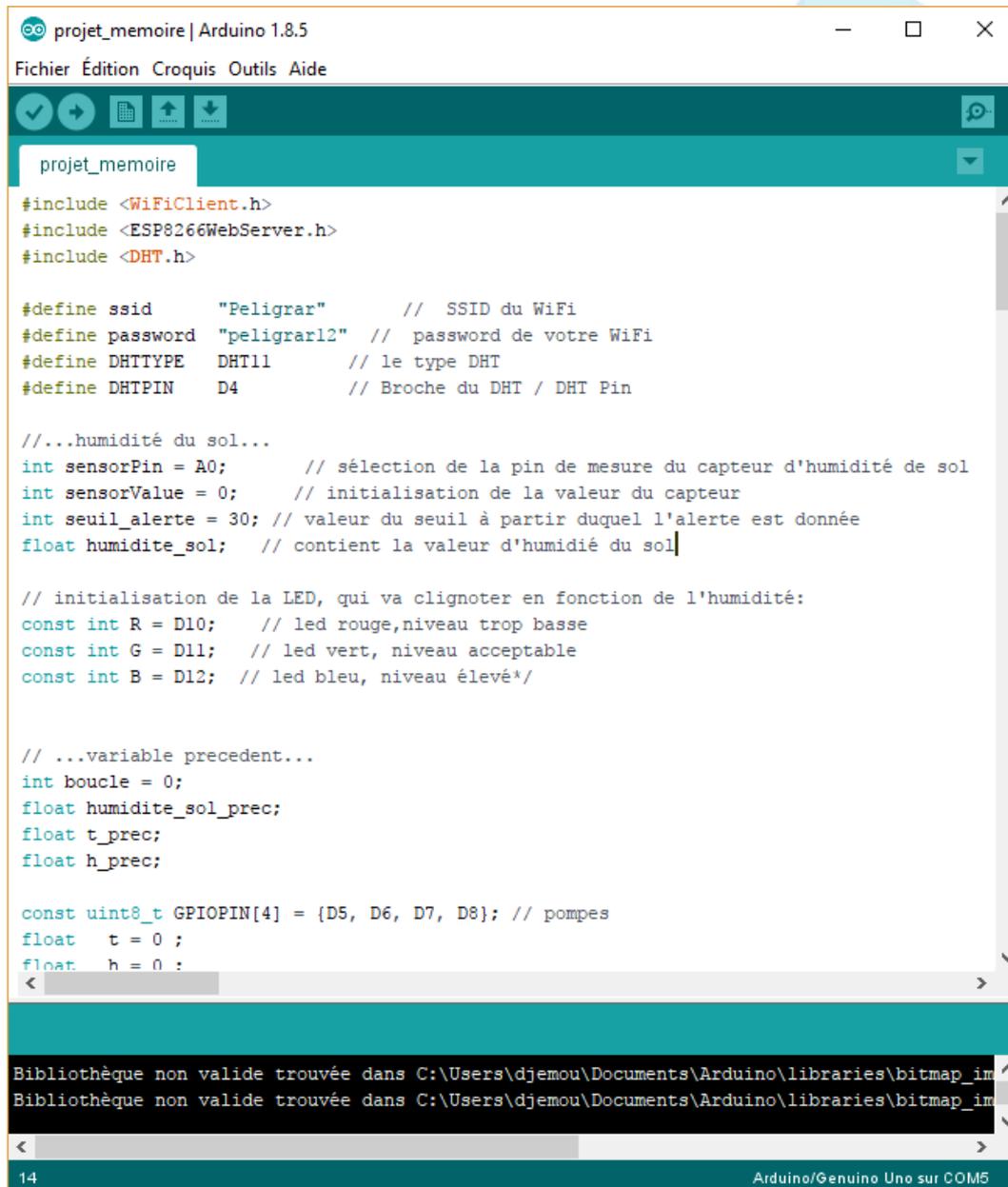
ANNEXES

Annexe 1. Logiciel Fritzing

Fritzing est un logiciel open source destiné aux designers, artistes, chercheurs ou un simple amateur. Il a notamment pour vocation de favoriser l'échange de circuits électroniques libres et d'accompagner l'apprentissage de la conception de circuits.



Annexe 2. Quelques lignes de code arduino



```
projet_memoire | Arduino 1.8.5
Fichier Édition Croquis Outils Aide

projet_memoire

#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <DHT.h>

#define ssid      "Peligrar"      // SSID du WiFi
#define password  "peligrarl2"    // password de votre WiFi
#define DHTTYPE   DHT11          // le type DHT
#define DHTPIN    D4              // Broche du DHT / DHT Pin

//...humidité du sol...
int sensorPin = A0;              // sélection de la pin de mesure du capteur d'humidité de sol
int sensorValue = 0;            // initialisation de la valeur du capteur
int seuil_alerte = 30;          // valeur du seuil à partir duquel l'alerte est donnée
float humidite_sol;             // contient la valeur d'humidié du sol

// initialisation de la LED, qui va clignoter en fonction de l'humidité:
const int R = D10;              // led rouge,niveau trop basse
const int G = D11;              // led vert, niveau acceptable
const int B = D12;              // led bleu, niveau élevé*/

// ...variable precedent...
int boucle = 0;
float humidite_sol_prec;
float t_prec;
float h_prec;

const uint8_t GPIOPIN[4] = {D5, D6, D7, D8}; // pompes
float t = 0 ;
float h = 0 ;

Bibliothèque non valide trouvée dans C:\Users\djemou\Documents\Arduino\libraries\bitmap_in
Bibliothèque non valide trouvée dans C:\Users\djemou\Documents\Arduino\libraries\bitmap_in

14 Arduino/Genuino Uno sur COM5
```

Annexe 3. Fiche technique de la culture du Niébé

La culture du niébé

Le niébé (*Vigna unguiculata* L.) qui est une culture très ancienne de la famille des Fabaceae. Il occupe des superficies estimées à 70800 ha (Cissé et al., 1996) réparties essentiellement dans le nord et le centre du Sénégal. Sa culture constitue pour l'agriculteur une source de denrée de choix dans l'alimentation humaine, ses fanes servent à l'alimentation du bétail et la vente des graines peut procurer d'importantes sources de revenus.

a. Les exigences physiques de la culture du niébé

Le niébé est cultivé sur une large gamme de sols. Cependant, sa préférence va aux sols légers sablonneux qui ont l'avantage d'accélérer la maturation des gousses (Bretaud et al., 2002,75op.cit.). Par ailleurs, le cycle du niébé est fonction de la variété. Il peut-être de l'ordre de 60-65 jours pour les variétés précoces et de 140 – 150 jours pour les variétés tardives (Cissé et al.,1996, op. cit.). Il est parfaitement adapté aux zones tropicales sèches à faible pluviométrie. Ses besoins vont de 300 à 900 mm de pluies selon la longueur du cycle.

b. Les aspects techniques de la culture du niébé

Le *niébé* est généralement cultivé en monoculture avec des variétés de cycle court à intermédiaire. Toutefois, il accepte l'association avec d'autres espèces et son travail demande préalablement un nettoyage de la parcelle pour la débarrasser des débris de végétaux de la saison écoulée (Diouf, 2005). Un labour profond de 15 à 20 cm en début d'hivernage suivi d'un passage croisé à la herse offrent des conditions optimales de développement et de croissance des plants (Cissé et al., 1996,op. cit.). Cependant la fragilité particulière du niébé fait que cette culture exige un traitement avant semis. Ce qui permet de protéger la plante durant la levée et d'avoir de bons rendements si les autres conditions sont satisfaites.

Le semis se fait après une pluie utile de plus de 15 mm, manuellement ou au moyen d'un semoir à disque de 6 trous. Les écartements conseillés doivent être de 50 cm x 50 cm, soit une densité de 40 000. La profondeur des semis doit être de 2 à 3 cm. Un semis des pieds manquants est lancé dès la levée des plants.

Un premier sarclons-binage est effectué sitôt après le semis. Deux semaines après, un deuxième sarclo-binage est effectué à la houe. Celui-ci est suivi d'un sarclage manuel à l'hilaire 3 à 4 semaines après la levée. Ces opérations suffisent généralement pour maîtriser les adventices. Ces opérations de fertilisation et de protection des cultures sont faites après une pluie. La fertilisation recommandée doit être un apport de phosphates tout en évitant l'excès d'azote (Diouf, 2005).

Fiche technique de la « variété Yacine »

VARIETE DE NIEBE

Yacine

DESCRIPTION GENERALE

Date d'obtention : **1991**
Date d'homologation : **18 février 2010**
Espèce : ***Vigna unguiculata* (L.) Walp.**
Synonyme : ***Vigna sinensis* (L.) Savi**
Pedigree : **Mame Penda x Mélékh**
Nature génétique : **Lignée pure**
Obtenteur : **ISRA**
Lieu de sélection : **Bambey, Sénégal**
N° de sélection : **ISRA 819**



CARACTERISTIQUES D'IDENTIFICATION

Caractéristiques de la plante

Pigmentation anthocyannique de la plante : **Absente**
Port : **Érigé**
Croissance : **Déterminé**
Hauteur de la tige principale (soutenue) :
Couleur des feuilles : **Vert foncé**
Cycle 50% floraison : **35 jas**
Couleur de la fleur : **Concolor blanche**
Gousse (*à maturité pour le marché du frais*):

- Longueur : **18 cm**
- Largeur : **2,5 cm**
- Torsion : **Absente**
- Pigmentation anthocyannique : **Absente**
- Nombre de gousse par pédoncule :
- Couleur : **Verte**
- Forme : **Longue**

Caractéristiques de la graine

Poids de 100 graines : **25 gr.**
Longueur :
Forme : **Réniforme**
Couleur principale : **Marron**
Présence de couleur secondaire : **Absente**
Distribution de la couleur secondaire : **Aucune**

CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES et TECHNOLOGIQUES

Vocation culturale : **Cultures irriguée ; pluviale (Fleuve Sénégal, Louga, Thiès, Diourbel)**
Cycle 95% maturité : **62 jas***
Cowpea (yellow) mosaic virus (CPMV) : **Présente**
Résistance au chancre bactérien : **Présente**
Résistance au striga : **Absente**
Résistance à *Amsacta* : **Absente**
Résistance aux pucerons : **Présente**
Résistance aux thrips : **Absente**
Résistance aux bruches : **Absente**
Rendement graines : **2,5 t/ha**
Rendement battage :
Rendement en fanes :

* jas= jours après semis

Résumé

Ecole Supérieure Multinationale des Télécommunications
Mémoire de fin de formation pour l'obtention de diplôme d'ingénieur de conception

M. Idrissa Aliou SALL

Conception et Implémentation d'un champ connecté pour une meilleure gestion des cultures

Directeur de mémoire : Pr Fabé Idrissa **BARRO**

Co-Directeur de mémoire : Dr Gualbert Séraphin **DOREGO**

Maître de stage : Dr Gualbert Séraphin **DOREGO**

L'agriculture représente l'une des activités principales de notre société. De nos jours, les terres cultivables subissent des menaces liées à l'activité humaine et au changement climatique. Suite à ce bouleversement l'analyse du sol devient de plus en plus complexe.

Grâce à l'utilisation des nouvelles technologies de l'information et de la communication, plus particulièrement le concept de l'agriculture intelligente (ou smart farming en anglais) dans lequel l'analyse du sol passe par l'utilisation des objets dits connectés, cette complexité tend à disparaître.

Ainsi, il existe plusieurs systèmes d'agriculture intelligente qui ont été développés. Nous avons présenté dans ce mémoire une solution d'agriculture intelligente permettant aux agriculteurs, producteurs ou toute autre personne du domaine agricole, de collecter et analyser les informations liées au sol et au climat. Ces informations sont visualisées à travers une plateforme web conçue à cet effet. Le dispositif du système dispose également d'un afficheur LCD pour la visualisation du niveau de pH du sol ainsi que des voyants LED donnant des informations sur le niveau d'humidité du sol afin de déclencher la pompe pour l'arrosage si nécessaire.

Après présentation de la problématique et du sujet de ce mémoire, nous avons subdivisé le travail en trois chapitres : Le premier est basé sur l'étude de l'art de l'agriculture intelligente ainsi que la présentation de quelques solutions existantes, le second concerne l'étude et l'analyse conceptuelle du système et en fin une mise en place du système est présentée.

Mots clés : Arduino, capteurs, champ, microcontrôleurs, moteur, pompe, intelligente, Wi-Fi, etc.