



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie



N° d'ordre : M...../GE/2020

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES DE MASTER ACADÉMIQUE

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des télécommunications

Thème

Étude et Conception d'un Système de Gestion de
données agricoles par Android, GSM et Internet

Présenté par :

SANOUE Alexandre

KANE Oumar dit Cheick Baba

Soutenu le 28/06/2020 devant le jury composé de :

Président : M. MERAH Mostefa

MCA Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Examinatrice : Mme. BENCHELLAL Amel

MCB Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Examineur : M. AZZEDDINE Mohamed

MAA Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Encadreur : M. ABED Mansour

MCA Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Année Universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

Nous remercions le Créateur de nous avoir donné le courage, la santé et la volonté pour aller au bout de ce projet.

La famille, nos amis, nos proches ont été un soutien immense pour la réalisation de notre personne. Nous tenons à remercier particulièrement tous ceux qui ont contribué à nous faire grandir humainement, intellectuellement et spirituellement.

Une mention spéciale à Mr Abed Mansour, notre encadreur, qui a crû en nous dès le départ pour la réalisation de ce mémoire.

Aux membres du jury, merci pour l'honneur que vous nous faites en acceptant d'examiner et d'évaluer notre travail.

Un grand merci aux camarades et collègues universitaires avec qui nous avons passé de bons moments dans la bonne entente.

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma famille qui a été pour moi une source intarissable de soutien et de réconfort.

À tous mes proches, amis et connaissances qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

SANOU Alexandre

Je dédie ce travail à :

À ma famille qui a été mon plus grand soutien,

Aux nombreuses personnes qui m'ont soutenu et conseillé envers qui je n'exprimerai jamais assez ma gratitude,

À l'Algérie, ce pays qui m'a bien accueilli et envers qui je serai toujours reconnaissant.

KANE Oumar dit Cheick Baba

Résumé

Ce mémoire de master traite de la conception d'un système de gestion des données appliqué à l'agriculture. Il s'agit de concevoir un système qui permet de collecter et d'envoyer des données à distance. Ces données seront analysées et exploitées par l'agriculteur. La réflexion sur ce projet nous a conduit sur la voie de l'agriculture connectée et de l'agriculture de précision. La solution qui est proposée dans ce mémoire est une plateforme numérique et électronique. Cette plateforme permet l'accès aux informations sur des cultures et des données agricoles. Concrètement, nous avons affaire à une application Android du nom de Axxas qui permet à l'utilisateur d'avoir accès à la météo, à un calculateur et aux informations sur des cultures. Une dernière fonctionnalité permet à Axxas d'avoir accès aux données d'un objet connecté. L'objet connecté qui a été réalisé est du nom de *data sender*. Son rôle est de mesurer la température et l'humidité du champ qui seront envoyées sur le *Cloud*. Le *data sender* permet également de recevoir les données mesurées sur son téléphone mobile via *SMS*. Les étapes de la réalisation de la plateforme Axxas sont expliquées au chapitre III tandis que les tests de fonctionnement sont décrits et commentés dans le chapitre IV.

Summary

This master dissertation deals with the design of a data management system applied to agriculture. It's about designing a system that allows you to remotely collect and send data. This data will be analyzed and used by the farmer. Pondering about this project led us to connected farming and precision farming. The solution provided in this dissertation is a digital and electronic platform. This platform provides access to information on crops and agricultural data. Specifically, we are dealing with an Android application called Axxas which allows the user to have access to the weather, a calculator and information on crops. A final feature allows Axxas to have access to the data of a connected object. The connected object that has been created is called data sender. Its role is to measure the temperature and humidity of the field that will be sent to the *Cloud*. The data sender also allows you to receive the measured data on your mobile phone via *SMS*. The steps to build the Axxas platform are explained in chapter III while the functional tests are described and commented in chapter IV.

Liste des abréviations

ADC :	Analog-to-Digital Converter or ADC
AM :	Ante Meridiem (avant midi)
API:	Application Programming Interface
AT :	ATtention
Big data :	Mégadonnées
CD :	Compact Disc (en français, disque compact »)
Cloud :	Stockage en ligne
CSS:	Cascading Style Sheets
Data center :	Centre de données
Data mining :	Forage de données
DVD :	Digital Versatile Disc (« disque numérique polyvalent »)
E/S:	Entrée/Sortie
FAT:	File Allocation Table,
FTP:	File Transfer Protocol
GND:	Ground
GPRS:	General Packet Radio Service
GPS:	Global Positioning System
GSM:	Global System for Mobile
HDD:	Hard Disk Drive
HTML:	HyperText Markup Language
HTTP:	HyperText Transfer Protocol
I ² C :	Inter-Integrated Circuit
IoT :	Internet of Things (en français objets connectés)
LTE:	Long Term Evolution
NAS:	Network Attached Storage
NOOA:	National Oceanic and Atmospheric Administration
NoSQL :	Not Only <i>SQL</i>
NPK :	(Azote Phosphore Potassium)
NTFS:	New Technology File System
OGM :	Organisme Génétiquement Modifié
PGM :	Plante Génétiquement Modifiée
PHP:	PHP Hypertext Preprocessor

PM :	Post Meridien (après-midi)
PWM :	Pulse Width Modulation (« Modulation de largeur d’impulsion ou MLI »)
RAM :	Random Access Memory
RTC:	Real Time Clock (« Horloge Temps Réel ou HTR)
SD :	Secure Digital
SGBD :	Système de Gestion de Base de Données
Smart farm :	Ferme intelligente
SMS:	Short Message Service
SQL :	Structured Query Language, (« en français langage de requête structurée »)
SSD:	Solid-State Drive
TCP/IP:	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TOR	Tout Ou Rien
UART :	Universal Asynchronous Receiver Transmitter,
UMTS:	Universal Mobile Telecommunications System
URL:	Uniform Resource Locator
USB:	Universal Serial Bus
VCC:	Common Collector Voltage
WiFi:	Wireless Fidelity
WiMAX:	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN:	Wireless Local Area Network
WMAN:	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN:	Wireless Personal Area Network
WWAN:	Wireless Wide Area Network

Table des Matières

Liste des abréviations.....	iv
Liste des figures.....	xi
Liste des tableaux.....	xiii
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur l’agriculture numérique.....	4
I.1 Introduction.....	5
I.2 L’évolution de l’agriculture.....	5
I.2.1 La révolution du XVIIe – XVIIIe siècle.....	5
I.2.1.1 La rotation des cultures ou assolement.....	5
I.2.1.2 La charrue pivotante sans roues Dutch et Rotherham.....	6
I.2.1.3 Les infrastructures de transport et le commerce.....	7
I.2.2 La révolution agricole du XXe siècle.....	7
I.2.3 La révolution agricole en cours.....	8
I.3 Les défis actuels de l’agriculture.....	9
I.3.1 L’insécurité alimentaire.....	9
I.3.2 Défi environnemental.....	10
I.3.3 Défi sanitaire.....	11
I.3.4 Croissance économique.....	12
I.4 Le numérique et l’agriculture.....	12
I.4.1 L’agriculture connectée.....	12
I.4.2 L’agriculture de précision.....	14
I.4.3 La robotisation de l’agriculture.....	16
I.5 Conclusion.....	17
Chapitre II : Acquisition de données et plateformes numériques.....	18
II.1 Introduction.....	19
II.2 Acquisition de données.....	19
II.2.1 Acquisition des données par les capteurs.....	20
II.2.1.1 Les types de capteurs.....	20
II.2.1.2 La chaîne d’acquisition.....	20
II.2.2 Acquisition de données par télédétection.....	21
II.3 Le <i>big data</i>	21
II.3.1 Le stockage des données.....	21
II.3.1.1 Les systèmes de fichiers.....	22
II.3.1.2 Les supports de stockage.....	22

II.3.1.3	Les <i>Data Center</i>	23
II.3.2	Le traitement des données <i>bigData</i>	24
II.3.2.1	Les bases de données	24
II.3.2.2	Les systèmes de gestion des bases de données (<i>SGBD</i>)	25
II.3.3	L'utilisation des données	25
II.4	Plateformes numériques	26
II.4.1	Appareils numériques et systèmes d'exploitation	27
II.4.2	Les plateformes numériques.....	27
II.5	Réseau	29
II.5.1	Réseaux informatiques	29
II.5.1.1	Réseaux sans fil	29
II.5.1.2	Réseaux filaires	30
II.5.2	Les réseaux cellulaires	30
II.5.3	Internet	30
II.6	Conclusion.....	31
Chapitre III : Analyse Algorithmique et Structurelle du projet réalisé		32
III.1	Introduction	33
III.2	Présentation du projet	33
III.2.1	L'application Android	34
III.2.1.1	La solution météo	35
III.2.1.2	La solution culture	35
III.2.1.3	La solution champ	36
III.2.1.4	La solution <i>smart farm</i>	36
III.2.2	Le <i>data sender</i>	37
III.2.2.1	Arduino	37
III.2.2.1.1	Interface matérielle	37
III.2.2.1.2	Interface logicielle.....	38
III.2.2.2	La solution <i>GSM</i>	38
III.2.2.3	La solution <i>GPRS</i> et <i>WiFi</i>	39
III.2.3	La base de données	39
III.3	Création de l'application Android	40
III.3.1	Ressources utilisées.....	40
III.3.2	Design.....	40
III.3.3	Les activités	43
III.3.3.1	L'activité inscription	44
III.3.3.2	L'activité connexion	44
III.3.3.3	L'activité accueil	44

III.3.3.4	L'activité météo	44
III.3.3.5	L'activité champ.....	46
III.3.3.6	L'activité Culture.....	47
III.3.3.7	L'activité ferme intelligente.....	47
III.3.4	Ergonomie	47
III.3.5	Connectivité.....	48
III.4	La réalisation du <i>data sender</i>	48
III.4.1	Description des composants utilisés.....	48
III.4.1.1	Le Wemos D1 R2	49
III.4.1.2	L'Arduino Mega 2560	49
III.4.1.3	Le SIM900 <i>Shield</i>	50
III.4.1.4	Le <i>SD SHIELD</i> (Stackable <i>SD Card Shield V3.0</i>).....	50
III.4.1.5	Le DHT22	51
III.4.1.6	Le <i>RTC DS1302</i>	51
III.4.1.7	Les Batteries	52
III.4.1.8	Jumpers.....	52
III.4.1.9	Interrupteurs	53
III.4.1.10	Bouton poussoir.....	53
III.4.2	Structure de base du <i>data sender</i>	53
III.4.2.1	Description de la structure de base.....	54
III.4.2.2	Le fonctionnement du <i>data sender</i>	54
III.4.3	Le montage	56
III.4.4	L'algorithme de fonctionnement.....	56
III.4.4.1	Le premier algorithme.....	56
III.4.4.2	Le deuxième algorithme.....	57
III.4.5	Le prototype	57
III.4.5.1	Collecte des données via le <i>Cloud</i>	58
III.4.5.2	Sauvegarde des données sur la <i>SD</i>	58
III.4.5.3	Réception des données sur le mobile.....	59
III.5	Mise en fonction de la base de données	60
III.5.1	Mise en place du serveur virtuel	60
III.5.1.1	Éditeur de texte	60
III.5.1.2	Navigateur Web.....	61
III.5.1.3	Apache	61
III.5.1.4	PHP	61
III.5.1.5	MySQL.....	61
III.5.1.6	WAMP Serveur	61

III.5.2	La base de données <i>MySQL</i>	62
III.5.2.1	phpMyAdmin.....	62
III.5.2.2	L'interface phpMyAdmin.....	62
III.5.2.3	Structure d'une table	63
III.5.2.4	Contenu d'une table	63
III.5.3	Les différentes tables de la base de données <i>Axxas</i>	64
III.5.4	Accès à la base de données via <i>PHP</i>	64
III.6	Conclusion.....	65
Chapitre IV : Tests et Résultats expérimentaux		66
IV.1	Introduction	67
IV.2	Évaluation de la plateforme.....	67
IV.2.1	Test de l'application	67
IV.2.1.1	La connexion réseau	67
IV.2.1.2	Les performances du <i>PHP</i>	67
IV.2.2	Test du <i>data sender</i>	68
IV.2.2.1	Les limites du <i>GSM</i>	68
IV.2.2.2	Les limites du <i>WiFi</i>	68
IV.2.2.3	Le problème de lecture des données du capteur	69
IV.2.2.4	L'autonomie du <i>data sender</i>	69
IV.2.3	Les limites de la base de données	69
IV.3	Cas pratique sur une culture maraîchère	70
IV.3.1	Les avantages de la solution culture.....	70
IV.3.2	Les avantages de la solution Champ.....	70
IV.3.3	Les solutions météo et <i>smart farm</i>	71
IV.3.3.1	La prise en compte de la météo	72
IV.3.3.1.1	Commentaire 1.....	73
IV.3.3.1.2	Commentaire 2.....	74
IV.3.3.1.3	Commentaire 3.....	75
IV.3.3.1.4	Commentaire 4.....	76
IV.3.3.1.5	Commentaire 5.....	77
IV.3.3.1.6	Commentaire 6.....	77
IV.3.3.1.7	Commentaire 7.....	78
IV.3.3.1.8	Commentaire 8.....	79
IV.3.3.1.9	Les avantages de la météo : <i>data mining</i> (information utile)	79
IV.3.3.2	Les consultations des données du <i>data sender</i>	80
IV.4	Applications et perspectives.....	80
IV.4.1	Les applications de la plateforme <i>Axxas</i>	80

IV.4.2	Perspectives d'évolution du projet.....	80
IV.4.2.1	Perspectives d'évolution de l'application.....	80
IV.4.2.2	Perspectives d'évolution du <i>data sender</i>	81
IV.5	Conclusion.....	81
	Conclusion générale.....	82
	Références Bibliographiques.....	85
	Annexes	89
	Annexe 1 : Les ressources utilisées pour développer l'application.....	i
	Android.....	i
	Android Studio.....	ii
	Java.....	ii
	Références Annexe 1 :	iii
	Annexe 2 : Caractéristiques des composants utilisés	iv
	Wemos D1 R2.....	iv
	L'Arduino Mega.....	iv
	Le <i>GSM Shield</i>	v
	Le <i>SD Shield</i>	v
	Le DHT22.....	vi
	Le <i>RTC DS1302</i>	vi
	Références Annexe 2.....	vii
	Annexe 3 : Le brochage des différents composants et le schéma électrique	viii
	Le brochage des différents composants	viii
	Le schéma électrique	ix
	Annexe 4 : Collecte et Analyse de données sur ThingSpeak	x
	L' <i>API</i>	x
	Les graphiques Matlab	xi
	Annexe 5 : Les différentes tables de la base de données Axxas	xii
	La Table des utilisateurs.....	xii
	La table des articles.....	xii
	La table Météo.....	xiii

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1. 1 : Illustration de l'assolement triennal.....	6
Figure 1. 2 : Tracteur Fordson Modèle F 1917 à 1928.....	8
Figure 1. 3 : un drone agricole.....	9
Figure 1. 4 : Illustration d'une ferme connectée.....	14
Figure 1. 5 : Image satellitaire Google Earth d'une exploitation aux États-Unis.....	16
Figure 1. 6 : Un robot désherbeur destiné aux cultures maraîchères.....	17

Chapitre II

Figure 2. 1 : Illustration d'une chaîne d'acquisition de données par un capteur.....	21
Figure 2. 2 : Server NAS Synology DiskStation DS118.....	23
Figure 2. 3 : L'intérieur d'un Data Center.....	24
Figure 2. 4 : Logo Oracle.....	26
Figure 2. 5 : Accès à une base de données passant par un serveur.....	29

Chapitre III

Figure 3. 1 : La plateforme Axxas.....	34
Figure 3. 2 : Pourcentage de participation à la plateforme.....	34
Figure 3. 3 : La carte Arduino UNO.....	38
Figure 3. 4 : Interface du logiciel Arduino.....	38
Figure 3. 5 : Inscription.....	41
Figure 3. 6 :Connexion.....	41
Figure 3. 7 :Bienvenue.....	41
Figure 3. 8 : Accueil.....	41
Figure 3. 9 :Météo.....	41
Figure 3. 10 :Localisation.....	41
Figure 3. 11 : Champ.....	42
Figure 3. 12 : Calculez.....	42
Figure 3. 13 : Culture.....	42
Figure 3. 14 : Article.....	42
Figure 3. 15 : Data sender.....	42
Figure 3. 16 : Accueil.....	42
Figure 3. 17 : Navigation.....	43
Figure 3. 18 : Les données.....	43
Figure 3. 19 :Courbes de suivi.....	43
Figure 3. 20 :L'humidité.....	43
Figure 3. 21 : La température.....	43
Figure 3. 22 : Les données de l'API de la ville de Mostaganem.....	45
Figure 3. 23 : La page entière de l'activité « Calculez le nombre de plantes ».....	47
Figure 3. 24 : Le menu de navigation.....	48
Figure 3. 25 : Description des entrées/sorties du Wemos D1 R2.....	49
Figure 3. 26 : Description des entrées/sorties de la carte Arduino Méga 2560.....	50
Figure 3. 27 : Description des entrées/sorties du SIM900 Shield.....	50

Figure 3. 28 : Vue de haut SD Shield	51
Figure 3. 29: Entrées/Sorties du SD Shield	51
Figure 3. 30: Les pins du DHT22	51
Figure 3. 31: Description des pins du DS1302	52
Figure 3. 32: Support de batterie 2x18650 avec connecteur DC (Batterie de 7,4V)	52
Figure 3. 33 : Jumpers	53
Figure 3. 34 : Structure de base du dada sender	53
Figure 3. 35: Illustration de la voie 1	55
Figure 3. 36: Illustration de la voie 2	55
Figure 3. 37: Illustration de la voie 3	55
Figure 3. 38: Le schéma du montage du data sender sur Fritzing	56
Figure 3. 39: Organigramme des algorithmes du data sender	57
Figure 3. 40: Réception des données sur le mobile par SMS	60
Figure 3. 41 : WAMP Serveur, Apache, MySQL, PHP	61
Figure 3. 42: L'interface phpMyAdmin	63
Figure 3. 43: Structure d'une table	64
Figure 3. 44: Interaction entre L'application et le serveur	65

Chapitre IV

Figure 4. 1: Calcul du nombre de plants de tomate	71
Figure 4. 2 : Prévisions journalières du 01 Mai 2020.....	73
Figure 4. 3: Prévisions journalières du 02 Mai 2020.....	74
Figure 4. 4: Prévisions journalières du 03 Mai 2020	75
Figure 4. 5: Prévisions journalières du 04 Mai 2020	76
Figure 4. 6: Prévisions journalières du 05 Mai 2020	76
Figure 4. 7: Prévisions journalières du 06 Mai 2020	77
Figure 4. 8: Prévisions journalières du 07 Mai 2020.....	78
Figure 4. 9: Prévisions journalières du 01 au 07 Mai 2020	79

Liste des tableaux

Chapitre III

Tableau 3. 1 : Extraction des données de la SD sur Excel	59
---	----

Chapitre IV

Tableau 4. 1 : Prévisions journalières du 01 Mai 2020.....	72
Tableau 4. 2 : Prévisions journalières du 02 Mai 2020.....	73
Tableau 4. 3 : Prévisions journalières du 03 Mai 2020.....	74
Tableau 4. 4 : Prévisions journalières du 04 Mai 2020.....	75
Tableau 4. 5 : Prévisions journalières du 05 Mai 2020.....	76
Tableau 4. 6 : Prévisions journalières du 06 Mai 2020.....	77
Tableau 4. 7 : Prévisions journalières du 07 Mai 2020.....	78

Introduction générale

« La terre ne ment pas » Voici une phrase très en vogue chez nos amis agriculteurs. Car, oui, lorsque toutes les conditions sont réunies, une bonne terre, une pluviométrie régulière, et une bonne semence, les récoltes sont toujours bonnes, pour le bonheur des agriculteurs et de la population.

Mais, hélas, les choses ont changé ! la population augmente de façon vertigineuse, le changement climatique fait rage, la famine sévit encore dans certaines régions du monde. Les agriculteurs ont en main une tâche lourde, celle de nourrir une population mondiale de plus en plus exigeante sur ses habitudes alimentaires, clamant à haute voix l'utilisation modérée des pesticides et des autres produits chimiques.

De nombreuses révolutions ont changé le visage de l'agriculture, parmi elles : la mécanisation, la motorisation, l'apparition des engrais, des produits phytosanitaires, et les semences améliorées. Toutes, sans exception, ont profité au développement fulgurant de l'agriculture car un agriculteur est capable de nourrir des milliers de personnes à lui seul. Cependant force est de constater que, malgré toutes ces avancées, l'agriculture fait face à de nombreux défis : la diminution des terres cultivables, les pénuries d'eau, les bouleversements saisonniers. Tous appellent aujourd'hui à la sauvegarde de l'environnement ; un message d'alerte qui recommande la pratique d'une agriculture plus efficiente, plus efficace.

Nous nous dirigeons sans doute vers une agriculture de précision, une utilisation efficiente des ressources en eau, une utilisation adéquate des engrais, une optimisation des parcelles exploitées. Ces avancées sont soutenues par la technologie, plus précisément numérique. Les prouesses de l'électronique et de l'informatique ont plus d'une fois fasciné le monde grâce à leurs innombrables logiciels, tous ces appareils et gadgets que nous utilisons chaque jour.

Le numérique a bouleversé le monde dans de nombreux aspects : la communication, la biotech, internet. Le digital, l'électronique et l'informatique offrent de nombreuses solutions profitables au développement de l'agriculture, d'où le nouveau concept d'agriculture numérique.

Le concept d'agriculture numérique fait référence à l'utilisation des technologies de communication afin d'améliorer la productivité et d'apporter des solutions concrètes aux questions environnementales et sociétales. Les solutions proposées par l'agriculture numérique sont nombreuses, peuvent être citées comme exemple, l'agriculture connectée, l'agriculture de précision et la robotique.

Le projet proposé dans ce mémoire s'inscrit dans le contexte général de l'agriculture de précision. La solution s'oriente vers la conception d'une plateforme digitale connectée qui permet de collecter et de traiter des données afin d'apporter des solutions sur le plan informatif et économique, en mettant en valeur l'efficacité et la précision. L'objectif est de permettre un accroissement de la productivité agricole tout en assurant l'utilisation la plus rationnelle des ressources.

Concrètement la réalisation d'un système de gestion de données agricoles à distance peut se faire de plusieurs manières. La solution proposée dans ce mémoire est une plateforme numérique et électronique nommée Axxas. La plateforme est orientée vers deux axes. Le premier axe est la création d'une application Android qui permet d'accéder à des informations et des données agricoles. Le second axe est la réalisation d'un prototype électronique qui permet l'envoi de données agricoles à distance sur le *Cloud* et sur le téléphone mobile. Les données du prototype qui est un objet connecté (*IoT* « *Internet of Things* ») sont également accessibles sur l'application Android. En fin de compte, la plateforme Axxas est une plateforme de gestion de données agricoles qui a pour objet d'apporter les solutions nécessaires à l'accroissement de la productivité agricole et la gestion efficiente des ressources.

L'évolution hiérarchique de ce mémoire propose des généralités sur l'agriculture pour comprendre les défis que rencontre l'agriculture et les réponses que le numérique leur apporte concrètement. Une deuxième grande partie propose une lecture sur le numérique traitant l'acquisition, le stockage, le traitement, et le transfert des données numériques. La troisième partie présente le projet développé, sa réalisation et les ressources mobilisées. La dernière partie expose les tests, les résultats expérimentaux, les difficultés rencontrées tout en proposant de nouvelles perspectives d'amélioration.

Chapitre I : Généralités sur l'agriculture numérique

I.1 Introduction

L'agriculture a subi de nombreuses révolutions qui ont contribué à l'avènement d'une agriculture fortement mécanisée et intensive. L'utilisation intensive des terres cultivables pose un réel problème avec le phénomène de pollution et d'appauvrissement des sols. Il en est de même pour l'exploitation extensive, avec le défrichement de superficies de plus en plus grandes conduisant et à l'érosion et à la désertification... Il va sans dire que l'agriculture doit apporter de nouvelles solutions. La révolution actuelle est celle du numérique. L'agriculture vit un nouveau départ grâce au numérique, l'on parle de plus en plus de l'agriculture numérique. L'utilisation des technologies de communication comme les capteurs, les logiciels, Internet, de plus en plus les objets connectés et le digital apportent de nombreuses solutions exploitables par les agriculteurs.

I.2 L'évolution de l'agriculture

L'agriculture a connu trois grandes révolutions. La première s'est étalée du XVIIe au XVIIIe siècle, elle concerne l'adoption de la pratique de l'assolement au dépend de la jachère. La seconde révolution au milieu du XXe siècle, appelée la révolution verte ou encore la révolution industrielle, a amené de profonds changements notamment avec la mécanisation, la motorisation et l'adoption des produits phytosanitaires. La dernière révolution a déjà commencé et est en progression rapide soutenue par l'avènement des nouvelles technologies.

Les révolutions agricoles ont fortement contribué à la croissance de la productivité du travail, au développement démographique et plus encore à l'industrialisation.

I.2.1 La révolution du XVIIe – XVIIIe siècle

Cette révolution se distingue par un changement dans les méthodes agricoles. La plus importante a été l'adoption de la rotation des cultures au dépend de la jachère. De nombreuses innovations viendront par la suite soutenir cette pratique.

I.2.1.1 La rotation des cultures ou assolement

L'assolement est une pratique agricole qui consiste à subdiviser un domaine agricole pour y cultiver différentes cultures selon les intermittences saisonnières. La conséquence directe de cette pratique est le temps de restauration des nutriments du sol tout en évitant une pollution du sol par des pathogènes lorsque la même culture est pratiquée de façon continue.

L'assolement vient remplacer la pratique de la jachère qui permettait l'exploitation intensive d'un sol et de le maintenir inutilisé pendant une certaine période pour lui permettre

de reconstituer ses réserves en nutriments et en eau. Un exemple de pratique de l'assolement est illustré par la **Figure 1.1** [1].

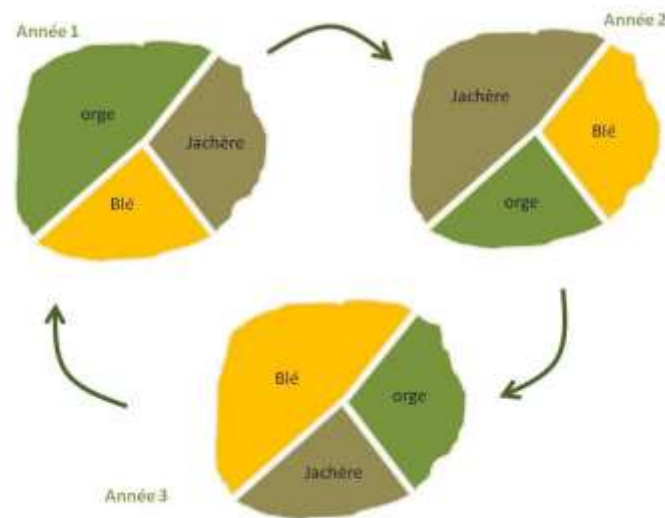


Figure 1.1 : Illustration de l'assolement triennal

La fertilité des sols est fortement accrue par la rotation des cultures ; c'est le cas du système Norfolk l'une des spécificités de la révolution agricole britannique. Ce système de rotation à quatre temps encourageait la culture de plantes différentes, ainsi les nutriments absorbés varient en fonction des besoins de chaque plante. Dans ce cas le sol a le temps de restaurer ses nutriments. [2]

Par la suite un nouveau système de rotation à quatre champs a été mis en place par la Belgique et la France. Ce système s'est avéré plus efficace que le système de Norfolk. Tout comme le système de Norfolk, le système de rotation à quatre champs permet aux agriculteurs de restaurer les nutriments du sol et certains nutriments qui ont été surexploités par les cultures.

1.2.1.2 La charrue pivotante sans roues Dutch et Rotherham

La révolution agricole de la fin du XVIIe siècle a été marquée par l'utilisation maîtrisée de la charrue. C'est au XVIIIe siècle que les néerlandais ont acquis la charrue à verseur incurvé à pointe de fer réglable des Chinois. Cette charrue a l'avantage d'être plus légère car pouvant être tirée par seulement deux bœufs contre 8 bœufs sollicités pour la charrue lourde qui était utilisée au Nord de l'Europe.

Cette charrue particulièrement efficace sur les sols humides a été utilisée également pour labourer les terres ordinaires. Très vite les Anglais apportèrent leurs touches personnelles par

des innovations. La charrue deviendra par la suite de plus en plus légère et contrôlable. La charrue était fabriquée par les forgerons avant d'être détournée vers les fonderies. Ce qui a rapidement vulgarisé la charrue qui s'est rapidement répandue en Europe. [3]

1.2.1.3 Les infrastructures de transport et le commerce

Le développement de la production agricole a provoqué le développement du commerce et la recherche de nouveaux marchés. En effet le développement du transport maritime qui coûtait moins cher que le train a permis aux agriculteurs d'exporter leurs produits dans d'autres pays. L'exportation des produits agricoles s'est intensifiée avec le développement des routes intérieures et des voies navigables par lesquelles les denrées étaient expédiées par les chevaux en Europe. [4]

Toutes ces innovations ont permis l'accroissement du nombre d'agriculteurs, le développement de l'élevage du bétail. La seconde révolution agricole qui suit est encore plus bouleversante.

1.2.2 La révolution agricole du XXe siècle

La révolution agricole du XXe siècle marque le passage de l'agriculture extensive vers l'agriculture intensive. Elle est fortement marquée par la mécanisation, l'utilisation accrue des intrants ce qui a largement favorisé le développement de l'agriculture avec notamment l'augmentation des rendements agricoles par unité de surface. L'industrialisation de nombreux pays comme les États Unis et certains pays d'Europe a créé une agriculture de plus en plus commerciale, la recherche de nouveaux débouchés était vitale pour l'écoulement de l'excès de la production agricole.

Plusieurs facteurs ont été favorables à l'intensification de l'agriculture. Cette forme de l'agriculture fait appel à l'utilisation accrue des engrais, des pesticides. Une agriculture mécanisée qui prend en compte les conditions de croissance à savoir l'étude du sol, la gestion de l'eau, la maîtrise des mauvaises herbes et la surveillance de la météorologie. L'agriculture industrielle est née grâce à la révolution industrielle. L'agriculture intensive est tout un système qui rassemble l'utilisation des machines agricoles, l'amélioration des techniques agricoles, la maîtrise de la génétique et de la logistique. La **Figure 1.2** [5] représente le tracteur Fordson modèle F produit de 1917 à 1928 aux États-Unis puis en Irlande.



Figure 1. 2: Tracteur Fordson Modèle F 1917 à 1928

I.2.3 La révolution agricole en cours

La nouvelle révolution que nous connaissons actuellement est marquée par l'utilisation des *OGM* (Organismes Génétiquement Modifiés) due à la forte innovation de l'agronomie à travers la biotechnologie. Cela a commencé dans les années 1970, certains scientifiques ont créé des variétés de maïs, de riz et de blé à haut rendement. Grâce à la génétique moléculaire, les variétés à haut rendement surpassent les cultures souches en présence des engrais, des produits phytosanitaires et d'une irrigation bien régulée. Les *PGM* (Plantes Génétiquement Modifiées) qui enregistrent un fort rendement, ont de fortes capacités de résistance au climat ainsi que des exigences de plus en plus précises en nutriments. C'est pourquoi les intrants sur le marché prennent mieux en compte les besoins en nutriments de chaque catégorie de plantes. [6]

La pratique de l'agriculture au XXI^e siècle a changé de visage avec la maîtrise de l'irrigation. L'abandon de l'irrigation par inondation, jugée gaspilleuse, à cause de la répartition inégale de l'eau sur le champ. Certaines plantes peuvent manquer d'eau tandis que d'autres risquent d'être inondées. L'irrigation la plus pratiquée est l'irrigation par le haut à l'aide de gicleurs à pivot central ou à déplacement latéral. Ainsi l'irrigation par le haut garantit une répartition contrôlée et mesurée de l'eau, elle est la plus répandue dans les grandes exploitations agricoles. L'irrigation goutte-à-goutte qui consiste à amener l'eau à la racine des plantes est de loin la plus coûteuse mais la plus rentable et garantit une utilisation rationnelle de l'eau, car aujourd'hui l'agriculture représente 70% de la consommation d'eau douce. [7]

La prochaine étape qui sera franchie sera la révolution dite numérique avec l'explosion de la bulle technologique, le monde entier change ses habitudes et l'agriculture ne sera pas

épargnée. L'agriculture d'aujourd'hui demande plus d'efficacité et de précision. Ce qui a favorisé l'intégration de la robotisation dans l'agriculture moderne avec l'apparition des machines robotisées qui ont une précision incroyable. Avec la digitalisation, les données agricoles sont plus exploitables à travers de multitudes plateformes numériques. « *The Internet of Things* » les objets connectés prennent de plus en plus de place dans le monde agricole avec les capteurs, les smartphones, le *Cloud*. Toutes ces innovations ont surtout la vocation de répondre aux défis actuels de l'agriculture. La **Figure 1.3** [8] est un drone agricole utilisé pour l'irrigation dans un champ.



Figure 1.3 : un drone agricole

I.3 Les défis actuels de l'agriculture

Sans doute l'un des plus grands défis de l'agriculture moderne sera sa capacité à répondre aux besoins et aux exigences alimentaires des 9,7 milliards d'individus prévus pour 2050.

À cela s'ajoute des défis environnementaux et aléas climatiques qui secouent le monde entier. Les consommateurs sont de plus en plus exigeants sur la qualité des aliments qui leurs sont proposés, nous assistons à une transition vers une agriculture bio utilisant moins de produits chimiques. L'économie et la production agricole ont toujours été étroitement liées, si l'agriculture se porte bien alors l'économie mondiale se porte bien aussi.

I.3.1 L'insécurité alimentaire

L'explosion démographique que connaît le monde actuellement pousse les agriculteurs à produire plus en un temps record. La croissance démographique est exponentielle avec un

indice de 2,7 % pour l'Afrique et de 1% pour la population mondiale. Les populations les plus nombreuses se trouvent en Chine, en Inde et en Afrique. Ces régions devront faire face à la pression démographique et répondre aux besoins alimentaires d'une population jeune et dynamique. La population mondiale devrait passer de 7,7 milliards à 9,7 milliards en 2050. [9]

Une population mondiale qu'il faudra nourrir avec l'amenuisement des ressources naturelles comme l'eau et les terres cultivables.

Si l'agriculture intensive se porte bien aujourd'hui elle pourrait faire face à une baisse considérable de sa productivité à savoir la diminution des terres arables et l'agrandissement des villes. Les villes se sont agrandies et les espaces verts disparaissent. Les agriculteurs ont de plus en plus besoin d'espaces cultivables pour faire face à l'insécurité alimentaire qui nous menace. L'Afrique est un cas particulier car jusqu'à présent elle n'a pas atteint une agriculture forte et industrialisée. Avec la croissance démographique qu'elle connaît actuellement, la population de l'Afrique est estimée à 2,5 milliards d'ici 2050. Un scénario qui risque de secouer le continent avec une agriculture qui peine à muter vers une agriculture mécanisée utilisant toujours les techniques et les outils rudimentaires.

I.3.2 Défi environnemental

Le changement climatique est plus que jamais une question d'actualité. Les agriculteurs doivent s'adapter rapidement face à ces aléas climatiques. Les perturbations saisonnières de la plupart des régions affectent intrinsèquement le rendement agricole. Ajouter à cela, les températures en hausse, les phénomènes tels que les sécheresses et les inondations qui sont aussi liés aux changements climatiques. Avec une pluviométrie qui n'est pas régulière, les cultures souffrent de manque d'eau ce qui provoque très souvent de maigres récoltes. Les exploitations qui pratiquent l'irrigation voient leur réserve d'eau s'épuiser progressivement. L'agriculture moderne dans l'absolu doit s'adapter si elle veut conserver sa productivité actuelle.

La pollution et l'appauvrissement des sols est un sujet qui touche de près l'agriculture moderne. L'agriculture intensive utilise de nombreux produits chimiques polluants. Ces sols contaminés ont du mal à être restaurés. L'appauvrissement des sols est en partie dû à l'utilisation continue des exploitations qui n'ont pas le temps de restaurer leurs nutriments. Les terres cultivables sont de moins en moins disponibles, nous nous dirigeons vers une agriculture plus conservatrice qui sollicite moins l'apport des engrais et des produits phytosanitaires.

La déforestation et l'épuisement des sources d'eau sont des phénomènes qui risquent de perturber tout l'écosystème. Les forêts jouent un rôle de régulateur du climat. Elles luttent contre le changement climatique par l'absorption du CO₂. Les forêts luttent contre l'érosion des sols et contribuent à garder l'eau près de la surface. L'agriculture moderne est gourmande en eau, plus de 70% de la consommation d'eau douce. Une consommation d'eau excessive qui doit être maîtrisée en limitant les pertes d'eau.

I.3.3 Défi sanitaire

Les organismes génétiquement modifiés (*OGM*) ont fait couler beaucoup d'encre depuis leur mise sur le marché. D'ailleurs, en agriculture on leur attribue le nom de Plante Génétiquement Modifiée (*PGM*). Les *PGM* contribuent beaucoup à la productivité agricole car elles enregistrent un haut rendement. Un rendement qui dépasse de loin deux (02) à trois (03) fois le rendement des plantes non *OGM*. Le but primaire des *PGM* est d'augmenter la résistance des plantes et une tolérance aux herbicides. Cependant les chercheurs peinent toujours à donner des réponses concrètes sur les effets à long terme d'une alimentation basée sur les *OGM*. Aussi de plus en plus de consommateurs sont friands des produits bio.

L'utilisation des pesticides s'est rapidement répandue au niveau des grandes exploitations dont les principaux sont les herbicides, les insecticides et les fongicides. Les herbicides encore appelés les désherbants exterminent les mauvaises herbes qui sont susceptibles d'arrêter ou de ralentir la croissance des plantes. Les insecticides tuent simplement les insectes et les larves qui se nourrissent des plantes. Les fongicides protègent les plantes contre certaines maladies en tuant les champignons parasites qui sont les auteurs de ces maladies. Ces pesticides, quel que soit leur rôle, provoquent des maladies chroniques et sont dangereux pour les agriculteurs qui sont les plus exposés. L'agriculture moderne pour protéger les consommateurs devra employer moins de pesticides.

Le réel défi pour l'agriculture moderne est de proposer des produits sains et de bonne qualité. Force est de constater que les aliments proposés sur le marché perdent leurs goûts naturels. Les *OGM* sont créés par l'apport d'un gène étranger. La plante voit ses fonctions naturelles modifiées. L'agriculture moderne mise plus sur la quantité que sur la qualité. Plus le produit est gros moins il a de la saveur, car ses nutriments ne sont pas repartis de façon proportionnelle.

I.3.4 Croissance économique

L'agriculture a fait des économies depuis la révolution industrielle. Les agriculteurs peuvent encore faire beaucoup d'économies en diminuant certaines dépenses inutiles. Le premier point est le gaspillage d'eau. Une bonne pratique de l'irrigation avec les bonnes prévisions des besoins en eau peut sans doute alléger le carnet de dépenses de l'agriculteur. Les engrais coûtent plus chers alors que le compostage ne demande pas de grands investissements et de surcroît procure de meilleurs résultats de fertilisation du sol. La réduction des dépenses sera un double bénéfice pour la croissance économique : les agriculteurs économiseront de l'argent et les consommateurs auront accès à des produits abordables.

L'accès au marché est capital pour l'agriculteur. La maîtrise de la logistique en est la clé. Néanmoins l'agriculteur devra étudier les besoins des consommateurs avant de s'adonner à une culture précise. L'agriculteur doit pouvoir écouler la grosse partie de sa production agricole pour ne pas se retrouver avec des dépenses inutiles qui ne profitent guère à la croissance économique. Si l'agriculture moderne n'est pas rentable elle aura une répercussion sur l'économie mondiale avec souvent le phénomène incontrôlable de l'inflation. La conservation des produits agricoles est une question très liée à la croissance économique. La capacité de stockage et de conservation de la production peut contrer certains imprévus comme les mauvaises récoltes, la détérioration des cultures par les insectes. Une agriculture forte est une agriculture productive et prévoyante capable de faire face à des difficultés et à des catastrophes naturelles, il en va de la bonne santé économique du monde.

I.4 Le numérique et l'agriculture

L'actuelle révolution que connaît l'agriculture est la révolution numérique. Les agriculteurs s'équipent progressivement d'outils technologiques qui les assistent quotidiennement. La prise de décision est sans doute la clé de la réussite de l'agriculteur. Savoir bien choisir la culture, le suivi de croissance et bien faire sa récolte. Le numérique a un grand potentiel exploitable dans le monde de l'agriculture. L'association de l'agriculture et du numérique a donné naissance à un nouveau concept « l'agriculture numérique » en abrégé D4Ag.

I.4.1 L'agriculture connectée

L'agriculture connectée a fait son apparition grâce aux technologies de l'information et de la communication. L'internet ou encore le *Web* a changé grandement le mode de vie des individus. Aujourd'hui à l'ère de l'information, y accéder est capital. Pour l'agriculteur cela se

situé à plusieurs niveaux : le confort du travail, accès et partage de l'information, l'aide à la décision, l'augmentation du rendement.

Avec le mobile et le *Web*, les agriculteurs gèrent mieux leur temps de travail et coordonnent mieux les activités de leurs équipes. Cette flexibilité donne l'opportunité à l'agriculteur de vaquer à d'autres occupations et de réduire considérablement son temps de travail sur le terrain. Le système d'arrosage automatique contrôlé à distance par le mobile ou le *Web* peut être cité comme exemple.

Les agriculteurs ont de plus en plus accès à l'information grâce aux multiples plateformes qui existent : le *Web*, les réseaux sociaux. Grâce aux forums, les agriculteurs peuvent échanger sur de nombreux sujets concernant les difficultés qu'ils rencontrent dans leur métier. La création de ces réseaux d'agriculteurs permet à l'agriculteur de trouver rapidement la solution à un problème déjà rencontré par un confrère. Parmi les sujets qui sont les plus discutés, l'utilisation d'un matériel, les techniques de travail, les besoins du marché actuel. Au-delà de ces réseaux spécialisés, certains sites spécialisés offrent des informations sur des sujets relatifs aux domaines de l'agriculture. Ces sujets concernent souvent les nouvelles réglementations en vigueur, les innovations dans le domaine agricole, le prix des produits agricoles sur le marché.

Avec l'explosion des smartphones qui ont envahi le marché, de nombreuses applications mobiles, permettent aux agriculteurs de prendre des décisions plus facilement. Et de travailler dans la simplicité. Ces applications mobiles sont nombreuses et variées et prennent en compte le besoin de l'agriculteur. La météo fait partie du quotidien de l'agriculteur : la pluviométrie, l'humidité et la température sont des paramètres qui influencent l'activité biologique des plantes. Certaines applications permettent de détecter certaines maladies ou parasites qui détruisent les plantes. En plus de pouvoir détecter l'élément nuisible, certaines applications renseignent sur la façon de s'en débarrasser et indiquent le matériel nécessaire à cette opération. Les applications fournissant des calculateurs et des images satellitaires permettant à l'agriculteur de mieux exploiter son champ. Le calcul du nombre de plantes, de la quantité d'engrais nécessaire, la segmentation du terrain grâce à la géolocalisation, toutes ces applications donnent une place importante au numérique au cœur de l'agriculture moderne.

Si l'objectif premier de l'agriculteur est de produire, il est aussi capital pour lui d'écouler sa production. L'agriculture connectée permet à l'agriculteur d'améliorer son rendement. Le développement du e-commerce fournit la possibilité à l'agriculteur de vendre ses produits à des particuliers mais aussi de rencontrer des grands consommateurs à l'image des

entreprises et des industries. Le marché se diversifie et n'est plus centralisé ce qui permet aux petits exploitants de survivre et d'être rémunérés correctement. Des systèmes de livraison et les paiements en lignes offrent de nouvelles opportunités sur lesquelles l'agriculteur peut capitaliser pour augmenter son rendement. Une ferme connectée est représentée sur la **Figure 1.4**. [10] Sur celle-ci nous avons la présence d'objets connectés, d'appareils connectés et d'application mobile qui sont tous au service de l'agriculteur.



Figure 1. 4 : Illustration d'une ferme connectée

I.4.2 L'agriculture de précision

L'agriculture de précision devient de plus en plus la norme au sein de la communauté des agriculteurs. Les ressources agricoles s'amenuisent et il faut trouver une parade pour conserver la productivité et diminuer l'empreinte de l'activité agricole sur l'environnement. L'agriculture de précision a pour but d'offrir des outils d'aide à la décision, d'augmenter le rendement et d'optimiser l'utilisation des ressources.

Les outils d'aide à la décision sont de plus en plus pertinents dans le domaine agricole. Les outils de mesure comme les capteurs qui donnent des informations sur l'état du sol, l'humidité, sa teneur en *NPK* (N pour azote, P pour phosphore, K pour potassium), sa résistivité et sa conductivité. Très rapidement l'agriculteur peut avoir une idée du type de sol auquel il a affaire et prendre les décisions qui s'imposent, enrichir le terrain ou choisir une culture qui sera compatible avec ce terrain. Les mesures prises en temps réel comme la température, l'humidité et la pluviométrie permettent à l'agriculteur de savoir quand semer, quand labourer, quand irriguer son champ. La teneur en *NPK*, qui peut soit être obtenue par des capteurs numériques soit par des tests de prélèvement d'échantillons du sol, est un paramètre très important car il concerne directement le développement de la plante. Ainsi connaissant la teneur en *NPK* du sol, l'agriculteur peut décider quels nutriments apporter pour mieux exploiter son champ.

Les outils d'assistance et de suivi s'intègrent rapidement dans le domaine agricole. Ils permettent généralement d'éviter les erreurs et de faciliter la tâche à l'agriculteur en l'assistant en temps réel. Le premier outil le plus pratique est le *Global Positioning System (GPS)*. Cet outil permet à l'agriculteur de sectionner son champ en parcelles virtuelles et d'avoir une idée sur la superficie de son champ. Cela évite à l'agriculteur de répéter la même tâche dans une zone, c'est le cas notamment de la pulvérisation et de la fertilisation du terrain. Certains outils virtuels comme Google Earth donnent des images historiques du sol. L'agriculteur peut ainsi savoir comment le sol a évolué pendant les années précédentes et prendre des décisions en conséquence. De plus cet outil permet de sectionner son champ et de mettre des marqueurs virtuels pour pouvoir se repérer plus facilement.

L'une des innovations les plus suivies de la planète est sans doute le drone. Les drones agricoles rendent un grand service à l'agriculture. Avec sa vitesse et son agilité le drone peut parcourir toute l'exploitation en un temps record, ses applications sont nombreuses. Le drone est souvent équipé d'une caméra pour prendre des images et filmer en temps réel. Certains drones permettent de sonder le terrain car équipés de capteurs. Son application la plus pertinente est la pulvérisation. Le drone pulvérisateur préserve la santé de l'agriculteur, car l'agriculteur n'est plus en contact avec les produits chimiques. La rapidité du drone pulvérisateur permet de pulvériser le champ avec plus de précision en moins de temps.

L'automatisation a considérablement participé à l'essor de l'agriculture notamment au niveau de la productivité et du gain de temps. La machine est plus endurante que l'homme. En programmant la machine à faire une tâche spécifique, on arrive à des résultats plus qu'appréciables. Ces tâches peuvent être classifiées en plusieurs catégories selon les besoins : le désherbage, le labourage, le semis, la pulvérisation, la récolte. Les machines agricoles accompagnent l'agriculteur dans son labeur en exécutant des tâches pour lesquelles elles ont été conçues. Grâce à l'automatisme, les actions des agriculteurs sont plus précises, sans compter les efforts et le temps économisés. L'automatisation a permis aux grandes exploitations de pouvoir exploiter l'intégralité de leurs terrains et d'augmenter leur productivité. La **Figure 1.5** [11] est une image aérienne d'une exploitation agricole aux États Unis pendant une saison de croissance.



Figure 1. 5 : Image satellitaire Google Earth d'une exploitation aux États-Unis

I.4.3 La robotisation de l'agriculture

L'agriculture tout comme l'industrie emploie beaucoup d'automates dans sa chaîne de travail. Une forte robotisation a permis à l'agriculture de passer le cap pour atteindre un niveau industriel. Tout comme la robotisation en industrie, la robotisation en agriculture a permis de réduire la pénibilité du travail, de gagner du temps et d'augmenter fortement la productivité.

L'automate, comme son nom l'indique, fait référence à l'automatisme. Son rôle est d'exécuter des tâches prédéfinies séquentiellement et en toute autonomie. L'automate répète sans cesse les mêmes actions. Ceci est un grand avantage au niveau humain car par définition, la machine et l'automate sont infatigables. Grâce à cette faculté, la robotisation a permis de réduire considérablement la pénibilité du travail dans les exploitations agricoles. Les robots agricoles sont nombreux et sont destinés à des tâches bien spécifiques comme : le désherbage, la pépinière, le semis, l'analyse et la surveillance des cultures, la fertilisation, l'irrigation, la récolte.

Toutes ces tâches automatisées réduisent considérablement le temps de travail de l'agriculteur. En effet un travail reparti sur plusieurs mois peut être achevé en quelques jours si l'agriculteur sait se servir de la machine. Ce gain de temps énorme permet à l'agriculteur d'avoir une charge de travail soutenable et surtout de pouvoir s'occuper dans d'autres domaines. L'impact immédiat de la robotisation est l'augmentation de la productivité. Grâce à la robotisation, un agriculteur est capable de nourrir des milliers de personnes à lui seul. Au mieux, la robotisation a permis de produire plus qu'il n'en faut. Conséquence, l'industrie s'est développée, en particulier l'industrie agroalimentaire. La capacité de stockage des denrées alimentaires a augmenté. Les agriculteurs peuvent faire face à des imprévus comme les

catastrophes naturelles, une mauvaise récolte et répondre aux besoins de la population. La **Figure 1.6** [12] est un robot désherbeur utilisé pour le maraîchage.



Figure 1. 6 : Un robot désherbeur destiné aux cultures maraîchères

I.5 Conclusion

L'agriculture a subi de nombreuses transformations depuis le milieu du XVIIe siècle et continue de montrer de belles innovations, celles en date sont les applications mobiles, les drones et les robots agricoles. Ces transformations concernent notamment l'évolution des techniques de culture par l'adoption de l'assolement au détriment de la jachère. La révolution industrielle a apporté une touche particulière à l'agriculture avec l'apparition des machines agricoles comme les tracteurs qui ont donné naissance à une agriculture plus forte et intensive. Grâce au développement de la biotechnologie, les *PGM* ont permis d'atteindre des rendements plus importants. Malgré cette belle évolution, les défis actuels de l'agriculture sont nombreux et s'étendent de la sécurité alimentaire à l'environnement, de l'économie au domaine sanitaire. Ce nouveau défi est de nourrir convenablement les 9,7 milliards d'individus attendus en 2050, en suivant les consignes sanitaires et en continuant de participer à la croissance économique. L'agriculture subit actuellement une nouvelle révolution, celle du numérique. L'agriculture connectée, l'agriculture de précision et la robotisation de l'agriculture sont les fruits de cette transformation de l'agriculture. Ces formes d'agriculture apportent plus de flexibilité dans le travail, un gain de temps et une productivité encore accrue.

Le numérique a bouleversé les habitudes humaines depuis son apparition, ses innovations ne cessent de nous fasciner. Une étude plus approfondie du domaine du numérique s'impose, comment le monde du numérique fonctionne-t-il ?

Chapitre II : Acquisition de données et plateformes numériques

II.1 Introduction

La découverte du transistor entraînant le développement fulgurant de l'électronique a conduit au développement des calculateurs. Les automates programmables ont fait leur apparition avec leur capacité à exécuter des instructions automatiquement. L'informatique qui tire son essence de l'automatisme et de l'information a profondément influencé le développement du numérique. Au sens large, le numérique englobe l'informatique, les télécommunications et internet.

L'acquisition de données numériques est de plus en plus importante. Grâce aux prouesses technologiques enregistrées au XXI^e siècle, plusieurs phénomènes physiques comme la température, l'humidité, la pression, la gravité sont calculables et mesurables avec une marge d'erreur très négligeable.

Une fois l'acquisition des données faite, les données transitent à travers internet. Aujourd'hui le concept de *big data* « méga données » fait allusion à la masse de données stockées sur internet, sur des bases de données et sur des serveurs connectés.

Si les données numériques transitent facilement à travers le monde, c'est grâce à de nombreuses plateformes qui ont été déployées à travers le monde entier. Le traitement des données numériques est crucial pour assurer l'accès à l'information notamment la compression et l'envoi de données.

II.2 Acquisition de données

L'acquisition des données est un processus qui permet la mesure et la conversion d'un phénomène physique en donnée numérique. Les données numériques telles que nous les connaissons proviennent de plusieurs sources. L'acquisition des données passe par une mesure et une conversion des données analogiques en données numériques.

II.2.1 Acquisition des données par les capteurs

Les capteurs ont la capacité de traduire un phénomène physique (température, humidité, pression, chaleur) en une donnée électrique qui sera convertie en donnée numérique exploitable par les appareils. Il existe plusieurs types de capteurs selon leurs caractéristiques.

II.2.1.1 Les types de capteurs

Il existe deux catégories de capteurs : les capteurs de contact et les capteurs de proximité. Chacune de ces deux catégories peut être composée de capteurs de type mécanique, électrique et pneumatique. Le capteur peut être caractérisé par la nature du signal délivré. On en distingue trois : le signal analogique, le signal numérique et le signal *TOR* (Tout Ou Rien). Le signal analogique est continu car il décrit l'évolution du phénomène physique mesuré. Le signal numérique ou discret provient de la segmentation du signal analogique en plusieurs valeurs discrètes. Le signal *TOR* est un signal binaire qui comprend les valeurs logiques 0 et 1.

Ainsi suivant ces caractéristiques, plusieurs capteurs sont disponibles sur le marché. Les plus connus sont :

- La famille des capteurs de température composée de thermistances, thermomètres à résistance métallique, et les thermocouples.
- La famille des capteurs de position et de déplacement : le potentiomètre, le capteur de déplacements linéaires à transformateur différentiel, le détecteur de position inductif, le détecteur de position capacitif.
- La famille des capteurs optiques : la photorésistance, la photodiode et le phototransistor.
- Les capteurs magnétiques.
- Les capteurs de courant.
- La famille des capteurs de pression : le capteur de pression à membrane et le capteur de pression électronique ou piézoélectrique.
- Les capteurs de vitesse angulaire.
- Les capteurs de force. [13]

II.2.1.2 La chaîne d'acquisition

L'acquisition des données par les capteurs se fait par une chaîne d'acquisition, qui capte et transforme la grandeur à mesurer sous forme exploitable. Au tout début de la chaîne d'acquisition se trouve la mesurande ou la grandeur physique qui sera soumise au mesurage. Le premier élément de la chaîne d'acquisition, qui est le capteur, transforme la mesure de la

grandeur physique en grandeur électrique (courant ou tension). Le conditionneur qui est le second élément de la chaîne d'acquisition, permet une mise en forme du signal mesuré par le capteur. Le conditionneur peut réaliser plusieurs fonctions selon la mesure recherchée : la conversion courant-tension, l'amplification, le filtrage, la conversion analogique/numérique. Selon l'application visée, plusieurs paramètres peuvent entrer en jeu : la résolution, la précision, la rapidité, l'immunité aux parasites. À la fin de la chaîne d'acquisition, le signal sera restitué au destinataire pour d'éventuels traitements. [14]

La **Figure 2.1** [15] illustre l'acquisition d'une mesure à travers une chaîne d'acquisition.

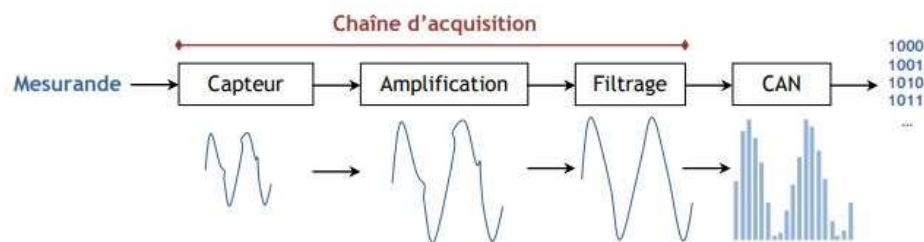


Figure 2. 1 : Illustration d'une chaîne d'acquisition de données par un capteur

II.2.2 Acquisition de données par télédétection

La télédétection est l'acquisition d'informations à distance. La télédétection suppose des mesures et photographies sans contact matériel avec l'objet observé. La télédétection numérique utilise une approche basée sur un ensemble de connaissances et de techniques, pour l'acquisition et l'analyse algorithmique et statistique des données à références spatiales recueillies à partir de capteurs satellitaires ou aéroportés, terrestres ou maritimes. [16]

II.3 Le *big data*

Le flux de données actuel dans le monde est impressionnant. Le *data* ou les données se rapporte aux faits, aux observations et aux données brutes. Le terme *big data* désigne la masse de données ayant atteint une taille telle que leur traitement, leur stockage et leur utilisation demande des ressources technologiques pointues et avancées. Ces données affluent de toute part à travers les serveurs, les sites *Web*, les réseaux sociaux, des objets connectés, etc. Le concept de *big data* fait intervenir trois (03) opérations principales : le stockage des données, le traitement des données et l'utilisation des données.

II.3.1 Le stockage des données

Le volume de données généré dans le monde ne cesse de croître exponentiellement. Le premier facteur à prendre en compte est la capacité de stockage des supports de stockages.

Chaque année la capacité et la rapidité des supports de stockage ne cessent d'augmenter pour faire face à ce besoin immense d'espace de stockage.

II.3.1.1 Les systèmes de fichiers

Le stockage consiste à écrire des données numériques sur un support à travers un système logiciel. Ces logiciels sont installés sur des systèmes d'exploitation, qui à leur tour, utilisent des systèmes de fichiers. Un système de fichiers désigne l'organisation des fichiers au sein d'un volume physique ou logique mais aussi l'organisation des fichiers dans un système d'exploitation.

Les Systèmes de fichiers les plus connus sont le *NTFS*, le *FAT*, le *FAT32*. Le langage de la machine est le binaire [0,1]. Il existe d'autres unités de mesure comme le byte (un octet (8bits)), le kilobit, le mégabit, le gigabit, le téraoctet etc.

II.3.1.2 Les supports de stockage

Les supports de stockage varient en fonction de leur capacité de stockage, de leur rapidité et de leur méthode de lecture et d'écriture, différents supports de stockage sont à ce titre disponibles sur le marché : Le disque dur, le serveur, la clé *USB*, le *CD* et *DVD*, et la carte mémoire.

Les serveurs font partie de la nouvelle génération de supports de stockage. Les serveurs sont encore appelés serveurs *NAS* (*Network Attached Storage*) ou disques durs réseaux, car ils utilisent des systèmes de stockage réseau leur permettant de collecter et de gérer de grands volumes de données. [17]

Un serveur est un ordinateur puissant partagé, connecté en permanence qui propose des services pouvant être simultanément exploités par des clients (sites *Web*, appareil etc.). La **Figure 2.2** [18] est un serveur *NAS* supportant un disque dur de 12To, équipé d'un processeur 1,4GHZ et de 1 Go de mémoire vive.



Figure 2. 2 : Server *NAS* Synology DiskStation DS118

II.3.1.3 Les *Data Center*

Les *Data Center* ou Centre de données sont un ensemble d'équipements et d'infrastructures dédié au stockage et au traitement des données. L'architecture basique d'un centre de données est un ensemble d'ordinateurs, d'espace de stockage et d'infrastructures réseau. Un centre de données est formé pratiquement de serveurs, de supports de stockage, d'infrastructures réseau (commutateurs de réseau, routeurs, firewalls, de câble de connexion) et de racks physiques permettant l'interconnexion entre tous ces éléments.

Un centre de données est établi dans un espace vaste pour abriter tout l'équipement informatique cité précédemment mais également des installations électriques, des systèmes de ventilation et de refroidissement et une infrastructure réseau proposant une puissante connexion internet. Un centre de données est un lieu hautement sécurisé pour protéger les données contre les cyberattaques mais aussi pour pallier à un risque d'incendie. Les *Data Center* sont d'énormes centres de calcul où les ordinateurs sont en activité sans interruption. Dans ces conditions, le matériel électronique et électrique s'échauffe. Les centres de données sont équipés de systèmes de sécurité comme les commutateurs de sauvegarde, les systèmes d'alarme incendie. [19]

La **Figure 2.3** [20] montre l'intérieur d'un *Data Center*, les serveurs sont disposés dans des armoires et interconnectés par des câbles de connexion.



Figure 2. 3 : L'intérieur d'un *Data Center*

II.3.2 Le traitement des données *bigData*

De jour en jour la masse de données numériques dans le monde ne cesse d'augmenter. Ces données proviennent des capteurs connectés, des appareils mobiles, des messageries électroniques, des transactions bancaires, des données utilisateur générées sur les réseaux sociaux et, de plus en plus des objets connectés.

II.3.2.1 Les bases de données

Les bases de données sont des gestionnaires de données. Elles sont utilisées pour stocker, organiser et analyser les données. Les bases de données sont stockées sous forme de fichiers ou d'ensemble de fichiers sur des supports de stockage comme le disque dur ou le serveur.

Les types de bases de données majoritairement connus sont : les bases de données hiérarchiques, réseau, orientées texte, distribuées, *Cloud*, *SQL Structured Query Language* (langage de requêtes structurées), *NoSQL Not Only SQL* (*SQL* non-relationnel), *NewSQL*, orientées graph, orientées objets. [21]

Les bases de données *SQL* sont dites relationnelles. Elles sont structurées sous forme de tableaux. Chaque tableau comporte au moins une colonne correspondant à une catégorie. Les données sont insérées et classées dans les tableaux par catégorie. Les bases de données *SQL* utilisent le langage *SQL* qui permet de communiquer et d'interagir avec une base de données.

Les bases de données *NoSQL* sont dites non relationnelles. Avec le développement du *bigData*, les bases de données *NoSQL* sont de plus en plus sollicitées car elles sont capables de

traiter une quantité importante de données non structurées. Le modèle *NoSQL* permet l'exploitation des données distribuées, par exemple des données stockées sur plusieurs serveurs sur le *Cloud*. [22]

Les bases de données *NewSQL* sont une combinaison des modèle *SQL* et *NoSQL*. Le *NewSQL* permet de conserver le modèle relationnel au sein de son architecture avec un accès limité aux outils de travail du standard *SQL*. *NewSQL* est né de la rencontre de 3 types d'architecture, relationnelle, non-relationnelle et la grille de données appelée également cache distribué. Cependant le *NewSQL* n'a pas encore fait ses preuves et est moins utilisé sur le marché. [23]

II.3.2.2 Les systèmes de gestion des bases de données (SGBD)

L'exécution des requêtes comme l'écriture ou la lecture de données dans une base de données est gérée par un gestionnaire de base de données encore appelé Système de Gestion des Bases de Données (*SGBD*). Un *SGBD* est un logiciel qui permet de stocker des informations dans une base de données. Grâce à ces multiples requêtes et fonctions, Le *SGBD* permet de lire, écrire, modifier, trier, transformer les données qui sont contenues dans la base de données. Les *SGBD* les plus connus sont *MySQL*, *PostgreSQL*, *SQLite*, Oracle Database, Microsoft *SQL Server*.

MySQL est le *SGBD* parmi les plus populaires au monde. *MySQL* est accessible en écriture par de nombreux langages de programmation, incluant notamment *PHP*, Java, C, C++, Python. La majorité des hébergeurs *Web* proposent *PHP* et *MySQL*.

Tout comme *MySQL*, *SQLite* est un *SGBD* relationnel. *SQLite* est également utilisé dans de nombreux logiciels et systèmes bien connus tels que, Android, l'iPhone, Firefox, Skype.

II.3.3 L'utilisation des données

Le *data mining* a pour objet de tirer une information utile provenant du traitement de données. Le *data mining* utilise une analyse algorithmique basée sur la statistique, l'intelligence artificielle ou l'informatique afin de trouver des structures intéressantes selon des critères ou perspectives définies au préalable. L'information est constituée par l'association et les relations entre les données porteuses de sens. La connaissance ou le savoir est extrait de l'analyse et de l'interprétation des informations.

Le *data mining* repose sur un système centralisé encore appelé warehouse (entrepôts de données) doté de capacités de traitement et de stockage élevées.

Les warehouses permettent de centraliser la gestion et la recherche de données qui sont stockées dans un répertoire maintenu en permanence.

Le *data mining* est une analyse algorithmique pilotée par des logiciels analytiques développés à cet effet. Les logiciels commerciaux comme Oracle et Statistica Data Miner développé par IBM sont plus adaptés aux *bigData* mais requièrent une licence d'utilisation.

Le *data mining* appliqué en agriculture produit des résultats assez intéressants. La masse de données collectées en temps réel par les capteurs et les satellites sur l'état du sol et de la météo constitue une mine d'or pour les agriculteurs. Le traitement de ces données permet :

- De prédire les évènements dans les parcelles agricoles,
- De suivre l'évolution de la culture et de son rendement,
- De prédire et prévoir la production agricole,
- D'anticiper le cours d'évolution des prix sur le marché.

Vue la masse de données traitée par le *data mining* pouvant aller jusqu'au pétaoctet (10^{15} octets) de données stockées, le *data mining* nécessite une forte puissance de calcul et une plateforme numérique fiable et performante. La **Figure 2.4 [24]** est le logo d'Oracle fournisseur de logiciels *data mining* et gestionnaire de base de données.



Figure 2. 4 : Logo Oracle

II.4 Plateformes numériques

Le monde du numérique se porte mieux grâce à l'apparition de nombreuses plateformes numériques. Une plateforme permet un accès aux données, aux informations, aux contenus grâce à une interface technique qui lui permet d'organiser et hiérarchiser les contenus en vue de leur présentation aux utilisateurs.

II.4.1 Appareils numériques et systèmes d'exploitation

Les appareils numériques et les systèmes d'exploitation sont la base des plateformes numériques. Ces appareils sont dotés de capacité de traitement, de stockage, et de restitution de l'information. Les appareils les plus répandus sont l'ordinateur, le téléphone numérique, le smartphone, la tablette, les serveurs, et de plus en plus les objets connectés comme la montre connectée (*samartwatch*).

Les plateformes numériques sont directement installées sur le système d'exploitation. La performance de la plateforme numérique est intrinsèquement liée à celle du système d'exploitation. Les systèmes d'exploitation les plus utilisés sur le marché sont :

- Microsoft Windows développé par Microsoft, fournit sous licence. Il est de loin le système le plus utilisé actuellement sur les ordinateurs (91% des ordinateurs personnels) et sur les serveurs,
- MacOS développé par Apple et préinstallé sur tous les ordinateurs vendus par Apple,
- GNU/Linux : un système d'exploitation libre
- Android est un système d'exploitation open source avec un noyau Linux destiné aux tablettes et aux smartphones,
- iOS appartenant à Apple et préinstallé sur tous les appareils mobiles vendus par Apple.

II.4.2 Les plateformes numériques

La plateforme numérique est un ensemble de programmes qui permet de répondre aux requêtes des utilisateurs. Les plateformes numériques sont développées avec des langages de programmations qui leur permettent de communiquer avec le système d'exploitation et d'interagir avec les utilisateurs.

Les applications mobiles ont explosé avec le développement rapide des smartphones. Plusieurs langages de programmation sont dédiés au développement d'applications mobiles :

- Java, kotlin permettent de développer des applications Android,
- Swift et Objective-C sont taillés pour développer des application iOS,
- React Native (Java script) permet de développer une application compatible avec Android et iOS.

- Etc.

Les logiciels informatiques sont plus puissants que les applications mobiles car ils exploitent toute la puissance de calcul de l'ordinateur. Les logiciels sont également développés par des langages de programmation :

- Python utilisé pour le développement de logiciels, le développement *Web* et la création de jeux vidéo.
- Java, cité plus haut, est également utilisé pour développer des logiciels informatiques, il est utilisé également sur les consoles.
- C est l'un des plus vieux langages de programmation, il est utilisé pour les systèmes d'exploitation et le développement logiciel.
- C++ est un langage de programmation orienté objet, qui est également utilisé pour développer des logiciels, des systèmes d'exploitation, des jeux vidéo, et des moteurs de recherche.
- Etc.

Le *Web* fait partie des plateformes les plus utilisées quotidiennement. Le *Web* ou le *World Wide Web* (en anglais), *www* en abréviation, est appelé la « Toile » en français. Les sites *Web* sont des plateformes accessibles par le grand public à travers le réseau internet. Ils sont créés à partir des langages de programmation comme :

- Le *HTML* (HyperText Markup Language) et le *CSS* (Cascading Style Sheets,) : Le *HTML* est un langage de balisage qui contient des balises, qui elles-mêmes, contiennent du contenu qui sera affiché sur la page *Web*. Le *CSS* vient en recours pour la mise en forme du contenu *HTML*
- Le *JavaScript* (*JS*) : est utilisé pour rendre les pages *Web* dynamiques. Il permet d'améliorer l'aspect visuel et de gérer les bases de données associées au site *Web*.
- *PHP* (*PHP* Hypertext Preprocessor) : est un langage de programmation *Web* qui permet à l'utilisateur d'avoir accès aux pages *Web* en émettant des requêtes aux serveurs. Le *PHP* est un langage dynamique qui permet de personnaliser chaque page *Web* en fonction de la requête du client.

Le *Cloud* ou *Cloud Computing* (informatique en nuage) est une plateforme qui permet un accès à des ressources sans les posséder. Le *Cloud* a l'avantage de fournir un accès à tout moment à un réseau partagé et à un ensemble de ressources informatiques (réseaux, serveurs, stockage, applications

et services). Le *Cloud* consiste à utiliser des serveurs informatiques distants par l'intermédiaire d'un réseau, généralement Internet, pour stocker des données ou les exploiter.[25]

L'exemple le plus simple est un ordinateur qui utilise la puissance de calcul du serveur pour avoir accès à la base de données. La **Figure 2.5** [26] est une illustration de l'exemple.



Figure 2. 5 : Accès à une base de données passant par un server

II.5 Réseau

Les plateformes numériques utilisent les réseaux informations et internet pour garantir un accès simultané à plusieurs utilisateurs parfois localisés aux quatre (04) coins du monde. Les réseaux informatiques ont permis de relier les utilisateurs distants de quelques kilomètres à quelques centaines de kilomètres. Les réseaux cellulaires relient les villes entre elles, les pays entre eux, voire même les continents. Internet, c'est le réseau mondial, il relie tous les habitants de la planète.

II.5.1 Réseaux informatiques

Un réseau informatique permet un échange d'informations entre des équipements interconnectés. L'extrémité d'une connexion est appelée nœud (ordinateur, imprimante, switches). Il existe plusieurs types de réseaux informatiques : les réseaux sans fils et les réseaux filaires :

II.5.1.1 Réseaux sans fil

Un réseau sans fil (en anglais, *Wireless network*) est un réseau sur lequel au moins deux équipements peuvent communiquer sans liaison filaire en utilisant des ondes radioélectriques.

On distingue plusieurs types de réseaux sans fil :

- Les réseaux personnels sans fil *WPAN* (*Wireless Personal Area Network*). La portée de ce réseau est de quelques dizaines de mètres.

- Les réseaux locaux *WLAN* (*Wireless Local Area Network*). La portée de ces réseaux est de quelques centaines de mètres.
- Le réseau métropolitain *WMAN* (*Wireless Metropolitan Area Network*) a une portée de quelques dizaines de kilomètres. Le réseau le plus populaire dans cette catégorie est le *WiMax* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)
- Le réseau étendu *WWAN* (*Wireless Wide Area Network*) : cette catégorie regroupe les réseaux ayant une couverture mondiale. Le *GSM*, le *GPRS*, *UMTS* font partie de cette catégorie.

II.5.1.2 Réseaux filaires

Dans un réseau filaire, les supports de connexion sont entre autres les câbles coaxiaux, les câbles Ethernet et la fibre optique. La fibre optique est utilisée dans les liaisons intercontinentaux et les liaisons entre les villes et souvent dans les réseaux locaux.

II.5.2 Les réseaux cellulaires

Les réseaux cellulaires de téléphonie mobile reposent sur la technique des cellules qui sont des zones élémentaires de couverture qui s'interpénètrent et permettent de couvrir une zone à desservir. Le *GSM*, le *GPRS* et l'*UMTS* sont actuellement les systèmes de communications cellulaires les plus utilisés dans les réseaux cellulaires.

La 4G appelée *LTE-Advanced*, la quatrième génération de systèmes cellulaires a atteint une utilisation grand public. Elle permet d'atteindre des débits plus élevés que celui du *GPRS* compris entre 300 Mbits/s et 3 Gbit/s. La 5G commence à faire son apparition dans les pays très développés.

II.5.3 Internet

Internet est sans conteste le réseau mondial par excellence. Il est formé par un ensemble de réseaux nationaux, régionaux et privés. Les équipements connectés sur internet utilisent le protocole *TCP/IP* (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*) pour communiquer entre eux. Les applications d'internet sont nombreuses mais peuvent être regroupées en trois catégories : le *Web*, le courrier électronique, et l'échange de fichiers par *FTP* (*File Transfer Protocol*).

II.6 Conclusion

Les données que nous manipulons chaque jour proviennent de nombreuses sources que ce soit les données captées par un capteur ou une mesure effectuée par un satellite, etc. Ces données transitent entre les plateformes numériques comme, les applications mobiles ou le *Web* où elles seront traitées et stockées sur des supports de stockage ou sur des serveurs. Grâce aux réseaux qui sont déployés partout dans le monde (internet, les réseaux mobiles, etc.) les plateformes numériques ont facilement accès aux données stockées dans des *Data Center* ou sur le *Cloud*. Les plateformes numériques par leur puissance de calcul et leurs algorithmes hautement sophistiqués parviennent à proposer à leurs utilisateurs des données utilisables et contenant des informations pertinentes.

Dans l'optique d'apporter des solutions à l'agriculture, le projet qui suit propose une plateforme numérique doublée d'une plateforme électronique. Ces plateformes ont pour ambition de faciliter l'accès à l'information, à des données liées à l'agriculture mais également des services liés à l'agriculture.

Chapitre III : Analyse Algorithmique et Structurelle du projet réalisé

III.1 Introduction

Ce chapitre présente les solutions concrètes qui sont proposées dans le cadre de ce projet. Ces solutions, qui sont inscrites dans la logique de ce mémoire sont orientées vers l'agriculture numérique. L'idée du projet étant toute simple : utiliser les outils numériques et électroniques et faire parvenir des données agricoles pertinentes à l'agriculteur. Les exigences sont telles que ces données agricoles doivent être pertinentes et facilement interprétables. La simplicité est de rigueur, que ce soit par rapport à l'utilisation de ces outils numériques et électroniques mais aussi en ce qui concerne la lecture des solutions qui seront proposées. La réalisation de ce projet a abouti à la mise en place d'une plateforme numérique et électronique développée par plusieurs technologies.

III.2 Présentation du projet

Axxas (« le nom choisi de façon arbitraire faisant référence au monde du numérique ») est la plateforme développée dans le cadre de ce projet. Axxas est une plateforme numérique et électronique qui propose un accès à des données agricoles grâce à une application Android, un *data sender* et une base de données. Axxas garantit un accès 24H sur 24H à des données agricoles grâce à internet et le système *GSM*. Les données fournies par Axxas proviennent des données de stations de base météorologiques, des données récupérées par des capteurs installés sur le champ agricole et des informations relatives au domaine agricole. La **Figure 3.1** illustre l'ensemble de la plateforme Axxas.



Figure 3. 1: La plateforme Axxas

La **Figure 3.2** ci-dessous représente le pourcentage de participation de chaque élément à la construction de la plateforme Axxas.



Figure 3. 2 : Pourcentage de participation à la plateforme

III.2.1 L'application Android

L'application Android offre une facilité d'utilisation et plusieurs fonctionnalités. La première interface qui est présentée à l'utilisateur est une page d'inscription. Pour avoir accès à l'application, il faut obligatoirement s'inscrire sur la plateforme. De là, l'utilisateur peut passer par la page de connexion et avoir accès aux solutions proposées par l'application. La

page d'accueil propose immédiatement quatre (04) solutions utilisables : météo, culture, champ, et le *smart farm*.

III.2.1.1 La solution météo

La page météo télécharge les données météorologiques actuelles des villes et régions et également les prévisions journalières. Une ville par défaut a été choisie, car l'application n'est pas encore dotée du système de géolocalisation, une option qui s'inscrit dans les perspectives de développement de l'application. Néanmoins, l'utilisateur a la possibilité de choisir une autre ville si celle-ci est inscrite dans la base de données Axxas. Les données météorologiques proposées à l'utilisateur sont des données provenant des API (Automate Programmable Industriel) proposés par la société Openweather.

Openweather est une petite entreprise informatique, créée en 2014 par un groupe d'ingénieurs et d'experts en *BigData*, en traitement de données et en traitement d'images satellite. Son siège social est au Royaume-Uni, un bureau existe aux États-Unis et l'équipe de développement est en Lettonie (UE). [27]

Dans le cadre de ce projet nous avons souscrit à une option gratuite qui permet un accès aux données météorologiques actuelles de n'importe quelle ville ou région dans le monde. En bonus, l'option souscrite nous permet d'avoir accès également aux données journalières étalées sur cinq (05) jours avec un rappel chaque trois (03) heures.

L'API proposé par Openweather fournit des données très diversifiées sur le climat et l'environnement, à savoir : les coordonnées géographiques, le temps, la température, l'humidité, la vitesse du vent, la pression. Les données disponibles sur l'application sont les données relatives à l'agriculture : la température, l'humidité, la vitesse du vent, le temps et les coordonnées géographiques.

III.2.1.2 La solution culture

L'avantage de l'agriculture connectée est l'accès permanent aux informations qui se rapportent au domaine agricole. Cet avantage a été exploité par Axxas en proposant des articles

en ligne. Ces articles exposent quelques cultures légumières triées sur le volet. L'objectif de ces articles est d'exposer les caractéristiques de la plante. Ainsi, grâce à la plateforme, l'agriculteur aura accès à l'écologie de la plante, sa culture, son utilisation et en complément à l'historique de la plante. Les informations de la solution culture, proviennent des livres agricoles [28] et des sites spécialisés dans le domaine agricole.

Les données agricoles sont accessibles à tout moment si on est doté d'une bonne connexion internet. Les données sont en réalité stockées sur un server. Les requêtes et les recherches de l'utilisateur sont traitées en temps réel par le serveur.

III.2.1.3 La solution champ

La solution champ vise à mettre à la disposition de l'agriculteur une solution algorithmique qui permet de faire des calculs et d'avoir des résultats immédiats. Les calculateurs sont assez utiles quand il s'agit de grandes surfaces d'exploitation. Ils peuvent permettre de calculer le nombre de plantes dans une exploitation, la quantité de fertilisants nécessaires, la dépense en eau, etc. Ces calculs pourraient aider l'agriculteur à prévoir ses dépenses mais également les bénéfices qu'il pourrait tirer en fin de récolte.

La solution proposée par Axxas est très simple. Elle permet de calculer le nombre de plantes totales qui pourrait être cultivé sur une surface donnée, le nombre de plantes par hectare, le nombre de plantes par rangée et le nombre de rangées dans un champ. Les données à saisir dans le calculateur sont disponibles dans le champ à savoir la surface du champ, la distance entre les rangées et la distance de culture entre les plantes. Les résultats qui seront donnés par le calculateur pourront aider l'agriculteur à faire ses prévisions de dépenses et de rendement.

III.2.1.4 La solution *smart farm*

La solution météo propose les données météorologiques d'une ville ou d'une région. La solution *smart farm* est encore plus précise car elle rapporte les données agricoles du champ grâce à un *data sender*. Le *data sender* est un *IOT (Internet of Things)* ou un objet connecté) qui envoie régulièrement des données sur la plateforme Axxas. Ces données sont accessibles sur l'application grâce à un identifiant et un mot de passe.

La température et l'humidité sont les données qui sont envoyées par le *data sender*. L'agriculteur peut vérifier en temps réel la température et l'humidité de son champ sur l'application Axxas et notamment un historique de l'évolution de ces données. Une telle précision permet à l'agriculteur de personnaliser ses activités en fonction des données du *data*

sender. Cette solution peut éventuellement permettre à l'agriculteur de tirer les conclusions suivantes :

- Le temps de conservation de l'eau par le champ
- Le moment optimal pour irriguer
- Le type de sol

III.2.2 Le *data sender*

Le *data sender* est la plateforme électronique de Axxas. Elle joue trois fonctions principales importantes. La première fonction consiste à envoyer les données sur le *Cloud*. La deuxième fonction est une interface qui permet à l'agriculteur d'avoir accès aux données en temps réel par un système de messagerie. La dernière fonction permet au *data sender* de sauvegarder les données sur une carte SD. Le *data sender* a été développé par les technologie Arduino, *GSM*, *GPRS* et *WiFi*.

III.2.2.1 Arduino

Arduino de la marque Arduino ou Genuino est une plateforme qui permet de développer des objets interactifs indépendants (prototypes) ou des objets connectés à un ordinateur. La plateforme Arduino est Open source. Arduino propose deux interfaces : une interface matérielle et une interface logicielle.

III.2.2.1.1 Interface matérielle

La partie matérielle d'Arduino propose des cartes électroniques sur lesquelles se trouve un microcontrôleur. Le microcontrôleur peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme le pilotage d'un robot. Le microcontrôleur Arduino est un microcontrôleur Atmel AVR qui a plusieurs versions comme le ATmega2560 et ATmega32u4. Le microcontrôleur est associé à d'autres composants pour faciliter la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Un module Arduino possède un régulateur 5V et une horloge qui est soit un oscillateur à quartz 16MHz soit un résonateur céramique. La carte électronique Arduino possède une interfaçage entrée/sortie simple qui permet de connecter des composants électroniques ou électriques et des appareils électroniques ou électriques. La **Figure 3.3** [29] est une carte Arduino Uno, plusieurs autres cartes ont été développées au fil du temps.



Figure 3. 3: La carte Arduino UNO

III.2.2.1.2 Interface logicielle

L'interface logicielle est un logiciel de programmation appelé Arduino IDE une application java libre et multiplateforme. C'est un éditeur et compilateur de programmes qui permet de téléverser le firmware (code après compilation) vers le module Arduino à travers le port *USB*, le Bluetooth ou le câble RS-232. Il est également possible de compiler et de téléverser le programme via l'interface ligne de commande. Le logiciel Arduino supporte les systèmes d'exploitation Windows, GNU/Linux et MacOs. Le langage de programmation utilisé par le logiciel Arduino est le C++ compilé avec *avr-g++*. Le logiciel utilise la bibliothèque Arduino qui lui permet d'utiliser la carte et ses entrées/sorties. La **Figure 3.4** présente l'interface du logiciel Arduino.



Figure 3. 4: Interface du logiciel Arduino

III.2.2.2 La solution GSM

Le *data sender* permet de capter la température et l'humidité du champ grâce à un capteur de température et d'humidité. Le Module SIM900 embarqué par le *data sender* lui permet d'envoyer la température et l'humidité par *SMS* grâce au système *GSM*. Le fonctionnement est assez basique. Le module SIM900 contient une carte SIM prépayée. L'utilisateur peut avoir

accès aux données du *data sender* en envoyant un *SMS* au *data sender*. Si le message est reconnu, le *data sender* renvoie à son tour un *SMS* contenant la température et l'humidité actuelles du champ. Le cerveau qui pilote le capteur de température et d'humidité et le module SIM900 est évidemment le module Arduino qui est alimenté sous batterie afin d'assurer son autonomie. Ainsi tant que l'Arduino est alimenté, l'utilisateur peut à tout moment avoir accès aux données du *data sender* si l'utilisateur et le *data sender* sont dans une bonne couverture réseau.

III.2.2.3 La solution GPRS et WiFi

La solution *GPRS* et *WiFi* est un peu plus complexe que la solution *GSM*. Dans ce cas précis, le *data sender* est connecté à internet grâce aux données mobiles du système *GPRS* supporté par le module SIM900. Le *data sender* est capable de se connecter sur internet également à travers le *WiFi*, qui est de loin la solution la plus facile et celle qui est utilisée dans ce projet. Ainsi les données captées régulièrement sont envoyées sur une base de données en ligne. C'est une base de données dynamique, donc les données sont enregistrées automatiquement. L'utilisateur qui a l'application Axxas pourra avoir accès aux données du *data sender* grâce à un identifiant unique et un mot de passe. L'avantage qu'offre la base de données est de pouvoir suivre l'historique de l'évolution de la température et de l'humidité du champ en temps réel. Les graphiques journaliers permettent de prévoir et de planifier les périodes d'irrigation et la consommation d'eau de l'exploitation.

III.2.3 La base de données

La base de données Axxas est relationnelle *SQL* gérée par le gestionnaire de base de données *MySQL*. Ces données peuvent être lues, modifiées, stockées ou supprimées. La base de données Axxas contient des tableaux qui sont des grilles de données. Une grille de données est composée de colonnes pour désigner les catégories comme par exemple le nom, le prénom. Alors que les lignes désignent le nombre d'entrées correspondant au nombre de données sauvegardées souvent numérotées. Pratiquement Axxas contient cinq grilles de données.

- La grille des données utilisateurs qui permet aux utilisateurs de s'inscrire et de se connecter à la plateforme. Cette grille est un pilier de la plateforme Axxas, sans elle la plateforme n'est pas fonctionnelle.
- La grille de données météo. L'*API* de Openweather permet d'avoir accès aux données météorologiques de plusieurs villes. La grille météo est une sélection de quelques villes

cibles. Les données de ces villes sont visibles sur l'application. Cette grille de données est liée à la solution météo.

- La grille de données culture. Cette grille contient les informations agricoles qui sont accessibles à travers l'application. Elle est liée à la solution culture.
- La dernière grille est la grille des données captées par le *data sender*. L'utilisateur qui veut consulter l'historique du *data sender* par l'application se connecte à cette grille de données liée à la solution *smart farm*.

La base de données Axxas est une base de données en ligne, l'appareil doit être connecté à internet.

III.3 Création de l'application Android

L'application Axxas est essentielle pour la plateforme Axxas. Elle permet à l'utilisateur d'interagir avec l'ensemble de la plateforme. Cette partie donne des détails sur les ressources qui ont été exploitées pour le développement de l'application mais également explique le design, les activités, l'ergonomie et la connectivité de l'application.

III.3.1 Ressources utilisées

L'application Axxas est une application Android. Elle a été développée entièrement sur le Framework Android Studio. Un Framework contient des programmes et des fonctions prédéfinis. Ainsi le développeur n'a pas besoin de réécrire les programmes existants. Android studio propose deux langages de programmation Java et Kotlin. Le langage qui a été utilisé pour développer l'application Axxas est Java. Les ressources utilisées pour développer l'application sont disponibles dans l'**Annexe 1**.

III.3.2 Design

Le design est la partie visuelle de l'application. Android studio permet d'y construire la partie graphique. L'application présente du texte, des images, des animations et une panoplie d'objets graphiques.

L'appli Axxas présente un design assez simple dont les couleurs dominantes sont le vert, le blanc, le noir et la couleur dorée. Sur Android, les éléments graphiques sont contenus dans des pages (en anglais *layout*). Les différentes pages de l'application Axxas sont représentées de la **Figure 3.5 – 3.21**.



Figure 3. 5 : Inscription

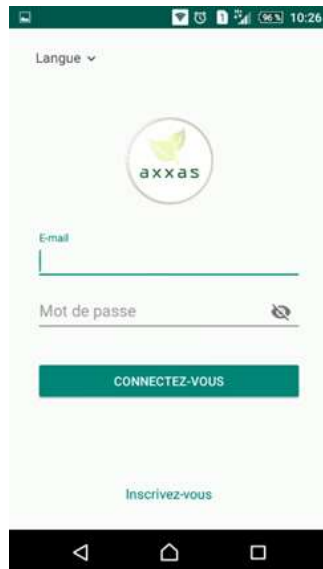


Figure 3. 6 :Connexion



Figure 3. 7 :Bienvenue



Figure 3. 8 : Accueil



Figure 3. 9 :Météo

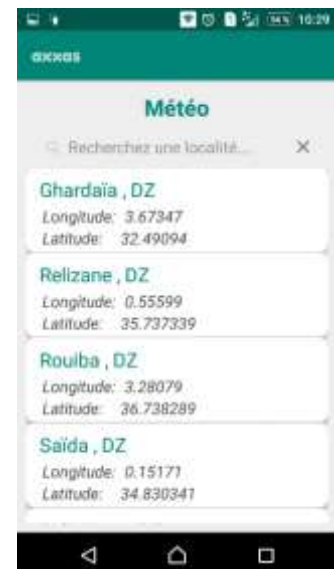


Figure 3. 10 :Localisation



Figure 3. 11 : Champ



Figure 3. 12 : Calculez



Figure 3. 13 : Culture



Figure 3. 14 : Article

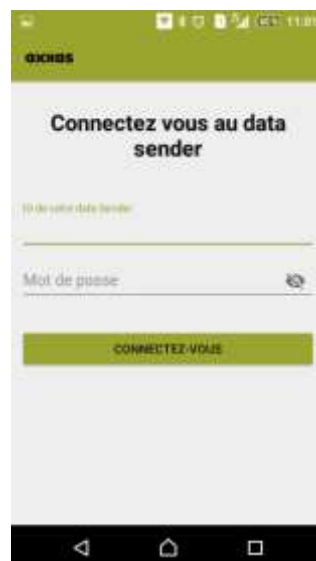


Figure 3. 15 : Data sender



Figure 3. 16 : Accueil



Figure 3. 17 : Navigation



Figure 3. 18 : Les données



Figure 3. 19 : Courbes de suivi

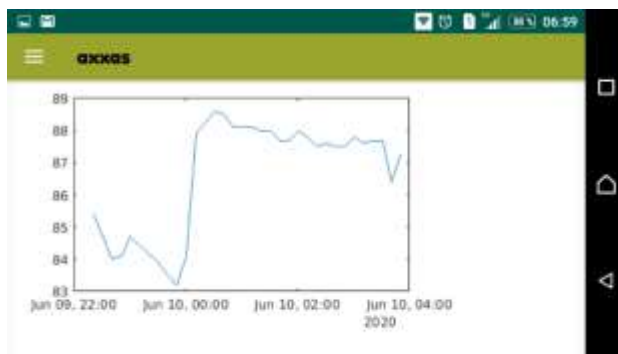


Figure 3. 20 : L'humidité

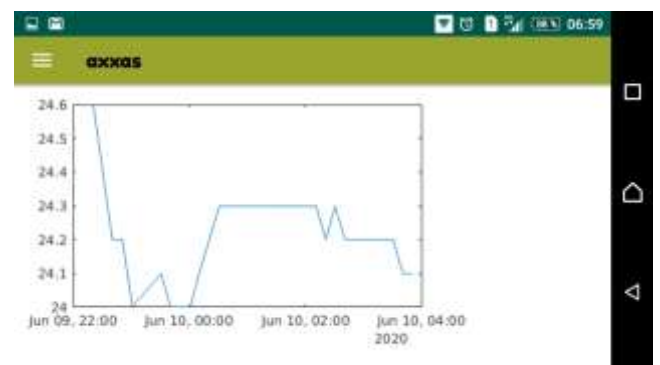


Figure 3. 21 : La température

La partie fonctionnelle de l'application est gérée par les activités.

III.3.3 Les activités

La partie fonctionnelle d'une application est gérée par les activités. Sous Android une seule activité est fonctionnelle à la fois. Pendant ce temps, les autres activités sont en pause ou sont arrêtées. Néanmoins, une activité peut être connectées à plusieurs pages. Les activités

peuvent être liées ou indépendantes selon le principe de la programmation orientée objet. Une brève description des algorithmes des principales activités est proposée à la suite.

III.3.3.1 L'activité inscription

L'activité inscription est liée à la page d'inscription. Le rôle de cette activité est de récupérer les données introduites par l'utilisateur et de les envoyer sur la base de données. Dès que l'utilisateur appuie sur le bouton « S'INSCRIRE », le programme vérifie au préalable qu'aucun champ n'est vide. Dans le cas contraire, l'utilisateur doit remplir les champs en question et appuyer de nouveau sur le bouton « S'INSCRIRE ».

Ensuite, le programme vérifie que les mots de passe saisis sont identiques. Dans le cas contraire, l'utilisateur doit ressaisir les données. Lorsque tout est correct, les données saisies sont envoyées sur la base de données utilisateurs. Désormais l'utilisateur peut se connecter à la plateforme.

III.3.3.2 L'activité connexion

L'activité connexion qui est liée à la page connexion permet de se connecter à l'application Axxas. Pour cela l'utilisateur doit inscrire son email ou son numéro de téléphone et son mot de passe.

Dès que l'utilisateur appuie sur le bouton « CONNECTEZ-VOUS », le programme vérifie que cet email ou ce numéro de téléphone est bien inscrit sur la base de données. Sinon l'utilisateur n'a pas accès à l'application.

Dans un second temps le programme vérifie le mot de passe si l'email ou le numéro de téléphone entré est correct. Si le mot de passe est incorrect, l'utilisateur doit le retaper.

Lorsque les données entrées sont correctes, l'application démarre.

III.3.3.3 L'activité accueil

L'activité accueil est liée à la page accueil. C'est un ensemble d'icônes qui réagissent au clic. Chaque icône déclenche le démarrage des activités correspondantes. Les icônes météo, champ, culture, ferme intelligente mènent respectivement aux activités météo, champ, culture et ferme intelligente.

III.3.3.4 L'activité météo

L'activité météo est liée à la page météo. Cette fois-ci l'application se connecte à une *API* qui est représentée sous forme de service *Web*. L'*API* fourni par la société Openweather est une

adresse *URL* qui mène à des données qui sont mises à jour automatiquement et en temps réel. L'adresse *URL* ci-dessous est l'adresse de l'*API* de la ville de Mostaganem.

<http://api.openweathermap.org/data/2.5/weather?id=2487134&appid=193241a2dc387382680b4259eca9e02a&units=metric>

En suivant le lien, l'*API* présente les données météorologiques actuelles de la ville de Mostaganem. Le résultat est visible sur la **Figure 3.22**.

```
{
  "coord": {
    "lon": 0.09,
    "lat": 35.93
  },
  "weather": [
    {
      "id": 800,
      "main": "Clear",
      "description": "clear sky",
      "icon": "01d"
    }
  ],
  "base": "stations",
  "main": {
    "temp": 17.92,
    "feels_like": 12.79,
    "temp_min": 17.92,
    "temp_max": 17.92,
    "pressure": 1013,
    "humidity": 64,
    "sea_level": 1013,
    "grnd_level": 999
  },
  "wind": {
    "speed": 7.8,
    "deg": 271
  },
  "clouds": {
    "all": 5
  },
  "dt": 1587908363,
  "sys": {
    "country": "DZ",
    "sunrise": 1587877941,
    "sunset": 1587926527
  },
  "timezone": 3600,
  "id": 2487134,
  "name": "Mostaganem",
  "cod": 200
}
```

Figure 3. 22: Les données de l'*API* de la ville de Mostaganem

La société Openweather octroie pour chaque ville un identifiant. Pour la ville de Mostaganem, l'identifiant est en gras dans l'adresse *URL* précédente. Pour obtenir l'*API* d'une autre ville, il suffit de remplacer l'id de la ville de Mostaganem par celui de la ville cible.

L'*API* précédent est L'*API* des données météorologiques actuelles. L'application Axxas donne également des données météorologiques journalières grâce à une autre *API* dont l'adresse *URL* est la suivante :

<http://api.openweathermap.org/data/2.5/forecast?id=2487134&appid=193241a2dc387382680b4259eca9e02a&units=metric>

La base de données météo contient les identifiants d'une cinquantaine de villes choisies au hasard. L'algorithme devient assez simple. Chaque ville ayant son identifiant, il suffit de l'ajouter au reste de l'URL qui ne change pas. Ainsi on obtient l'API de chaque ville par simple addition au reste de l'URL. Une fois connectée à l'API, les données cibles sont récupérées et affichées dans la page Météo.

Une astuce permet à l'utilisateur de renseigner sa zone de localisation grâce aux identifiants de chaque ville. Lorsque la localisation de l'utilisateur est établie, l'activité météo enregistre l'identifiant de la ville et fournit automatiquement les données météorologiques de cette ville à chaque connexion.

III.3.3.5 L'activité champ

L'activité champ est liée à la page champ. Le bouton « Calculez le nombre de plantes » mène à l'activité du même nom. L'activité « Calculez le nombre de plantes » est un calculateur. Lorsque l'utilisateur entre les données correctement et appuie sur le bouton « calculer » l'activité retourne les résultats visibles dans un tableau. La **Figure 3.23** présente la page entière de l'activité « Calculez le nombre de plantes »

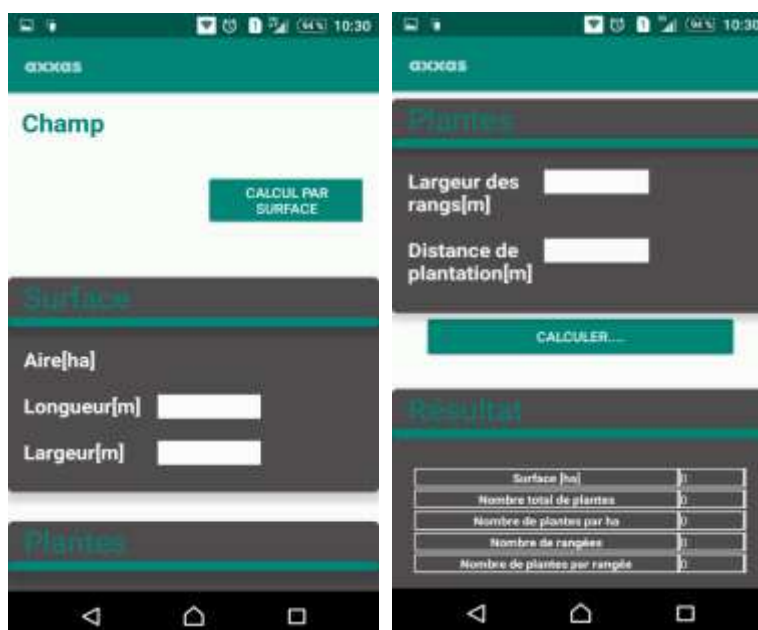


Figure 3. 23: La page entière de l'activité « Calculez le nombre de plantes »

III.3.3.6 L'activité Culture

L'activité culture est liée à la page culture. Le fonctionnement de cette activité est très simple. Une base de données contient déjà les informations à afficher. L'application se connecte à la base de données, lit les informations et les présente à l'utilisateur.

III.3.3.7 L'activité ferme intelligente

L'activité ferme intelligente qui est représentée par les **Figures 3.15 à 3.21** permet d'accéder aux données du *data sender*. Le *data sender* envoie les données sur le *Cloud*. Ensuite ces données sont récupérées par l'application via internet. Lorsque l'utilisateur entre l'identifiant du *data sender* ainsi que son mot de passe il aura automatiquement accès aux données du *data sender*. Les données proposées par Axxas sont des données brutes et des graphiques. Les données brutes sont les données de la température et de l'humidité collectées et stockées par le *data sender* sur le *Cloud* dans le temps. Les données graphiques proposent les graphiques d'évolution de l'humidité et de la température dans le temps. Ces graphiques sont fournis par ThingSpeak qui est un service *Cloud* permettant de collecter les données et de visualiser les graphiques par des codes Matlab.

L'application Axxas a accès aux données sur ThingSpeak grâce à un *API* et des liens *URL*. Il est à noter que L'*API* permet de lire et d'écrire des données sur ThingSpeak.

III.3.4 Ergonomie

L'ergonomie d'une application mobile prend en compte son organisation, son caractère intuitif, les failles de conception et toutes autres raisons qui mettent à mal l'efficacité d'une application. Les utilisateurs sont de plus en plus familiers avec les écrans tactiles. De ce fait des gestes ou actions sont prédéfinies.

L'application Axxas a une ergonomie assez vulgarisée :

- La barre de menu permet d'accéder aux options de l'application à tout moment
- Les icônes sont visibles et reconnaissables car ayant une signification admise par la majorité (« sondage sur les développeurs et les utilisateurs d'applications »).
- Les actions qui mènent à une autre activité sont représentées par des icônes, des boutons et les éléments du menu.

La Figure 3.24 est le menu de navigation de l'Application

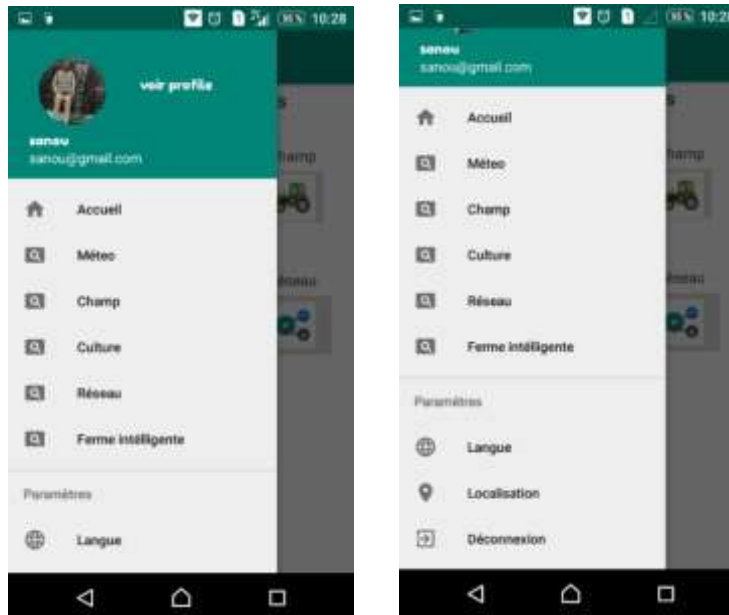


Figure 3. 24: Le menu de navigation

III.3.5 Connectivité

L'application Axxas est une application en ligne. Pour avoir accès à l'application il faut se connecter à internet. Certaines données de l'application comme les données utilisateurs sont sur un serveur en ligne. Dans un contexte normal, une connexion 2G est largement suffisante pour lire les données de l'application avec une couverture réseau moyenne. Dans l'ensemble toute connexion permettant de se connecter à internet est plus que satisfaisante pour profiter de l'application.

III.4 La réalisation du *data sender*

Le *data sender* est un dispositif électronique qui permet de capter les données, de les stocker et de les envoyer. Le *data sender* a été développé sur la plateforme Arduino qui permet la réalisation de montages électroniques mais également son implémentation grâce à un logiciel dédié. La réalisation du *data sender* comprend les composants électroniques et électriques utilisés, sa structure de base, le montage, le schéma électrique, l'algorithme et le prototype

III.4.1 Description des composants utilisés

Les composants utilisés dans le *data sender* sont compatibles avec la plateforme Arduino. Chaque composant à sa propre spécificité qui implique une certaine complexité selon sa

fonction dans le *data sender*. Les composants seront décrits du plus complexe au moins complexe.

III.4.1.1 Le Wemos D1 R2

Le Wemos est le composant principal de notre projet. Sa première fonction qui permet de se connecter à Internet via le *WiFi*, nous permet de concevoir un objet connecté. Son rôle est d'écouter les communications entrantes et d'envoyer les récompenses en conséquence. Il joue le rôle de tour de contrôle.

Le Wemos est une carte de développement qui permet de se connecter au *WiFi* et donc d'avoir accès à internet. Le Wemos a plusieurs fonctionnalités comme envoyer des requêtes aux sites *Web* et aux serveurs. Ces requêtes lui permettent d'écrire et de lire des données sur les sites internet et sur les serveurs. La **Figure 3.25** [30] décrit les entrées sorties du Wemos D1 R2.

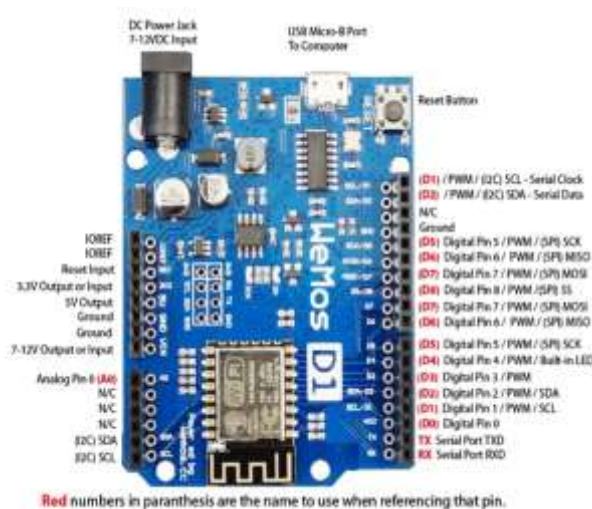


Figure 3. 25: Description des entrées/sorties du Wemos D1 R2

III.4.1.2 L'Arduino Mega 2560

Arduino est un composant essentiel du projet. Dans le cadre du *data sender* nous avons utilisé l'Arduino Méga 2560 comme compteur. L'Arduino Mega joue le rôle de compteur cyclique. Il envoie des instructions toutes les 30 minutes. La **Figure 3.26** [31] est la description des entrées/sorties de la carte Arduino Mega 2560

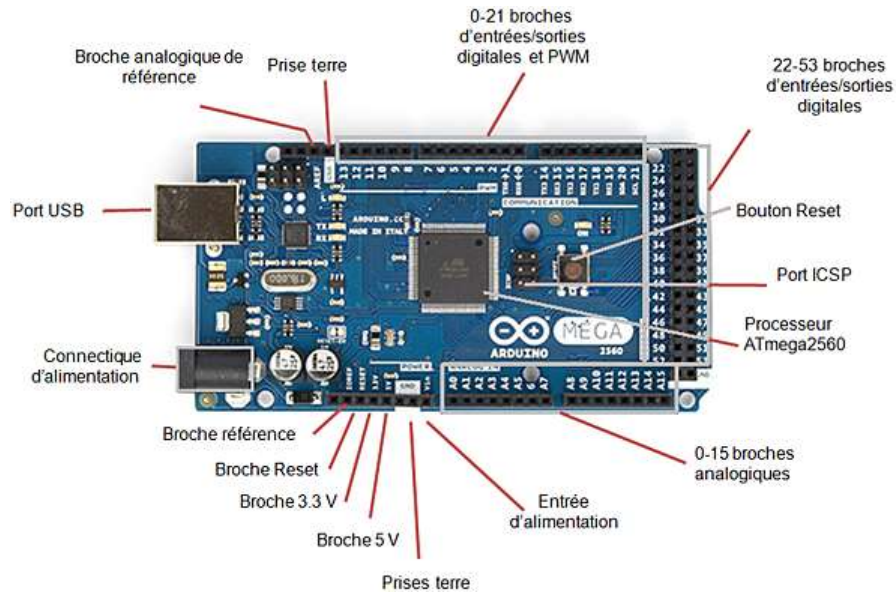


Figure 3. 26: Description des entrées/sorties de la carte Arduino Méga 2560

III.4.1.3 Le SIM900 Shield

Le deuxième composant majeur de notre projet est le SIM900. Ce module SIM900 permet d'exploiter la fonction *GSM* et *GPRS* des réseaux mobiles. Le SIM900 permet au *data sender* de recevoir des *SMS* et des appels vocaux mais également d'envoyer des *SMS* et des données via Internet. La **Figure 3.27** [32] décrit les entrées/sorties du module SIM900.

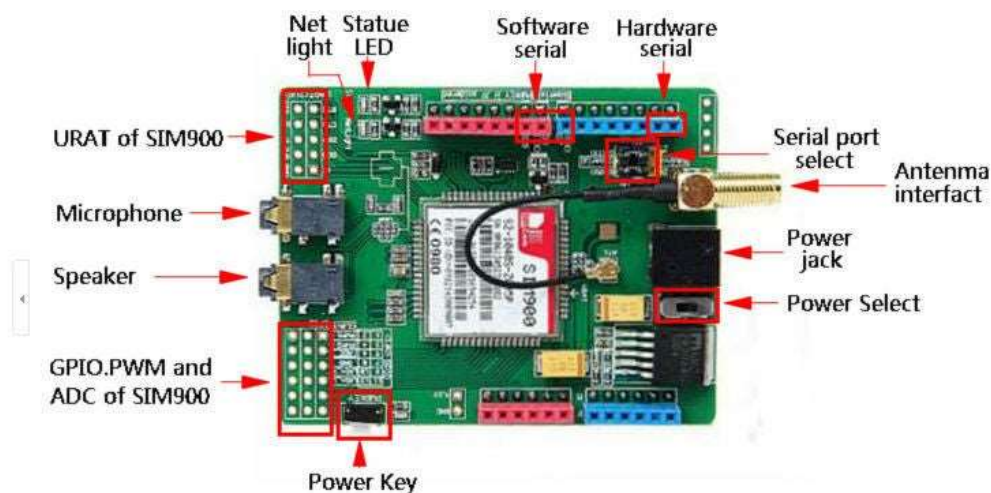


Figure 3. 27: Description des entrées/sorties du SIM900 Shield

III.4.1.4 Le SD SHIELD (Stackable SD Card Shield V3.0)

Le *SD Shield* est un module de stockage de données. Le *SD Shield* permet la sauvegarde de données, leur lecture et leur suppression. Le *SD Shield* permet au *data sender* de

sauvegarder des données sur une carte mémoire. La **Figure 3.28** [33] est une vue de haut du *SD Shield* tandis que la **Figure 3.29** [34] est une description des entrées/sorties du *SD Shield*.



Figure 3. 28 : Vue de haut SD Shield

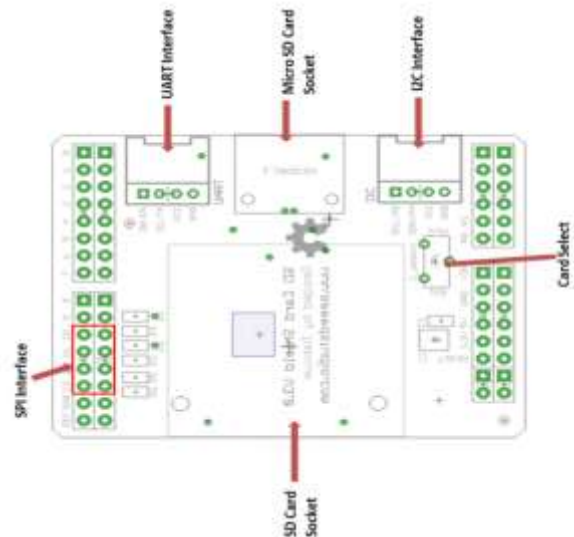


Figure 3. 29: Entrées/Sorties du SD Shield

III.4.1.5 Le DHT22

Le DHT22 est un capteur de température et d'humidité. Il est utilisé pour capter la température et l'humidité du terrain. La **Figure 3.30** [35] décrit les pins du DHT22.

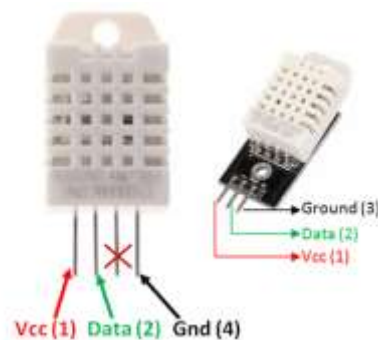


Figure 3. 30: Les pins du DHT22

III.4.1.6 Le RTC DS1302

Le module *RTC DS1302* est une horloge temps réel. Ce module renseigne sur la date et l'heure. Le module *RTC* est utilisé dans le *data sender* afin d'établir un historique des données traitées et d'implémenter un compteur. La **Figure 3.31** [36] décrit les pins du DS1302.

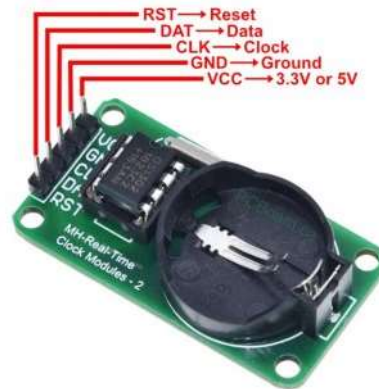


Figure 3. 31: Description des pins du DS1302

III.4.1.7 Les Batteries

Les batteries fournissent une alimentation allant de 7,4 V à 12V. Elles seront utilisées comme alimentation afin d'assurer l'autonomie du *data sender*. L'utilisation des batteries est justifiée par la contrainte du moindre câblage imposée par l'environnement du *data sender* (le champ agricole). Trois (03) batteries ont été utilisées dans ce projet. La **Figure 3.32** [37] est l'image d'une batterie rechargeable.



Figure 3. 32: Support de batterie 2x18650 avec connecteur DC (Batterie de 7,4V)

III.4.1.8 Jumpers

Les Jumpers (fils de connexion) permettent d'interconnecter les composants entre eux. La **Figure 3.33** [38] est l'image des jumpers



Figure 3. 33 : Jumpers

III.4.1.9 Interrupteurs

Les interrupteurs permettent l'allumage ou la mise hors tension.

III.4.1.10 Bouton poussoir

Le bouton poussoir permet d'envoyer une interruption (comme enclencher le redémarrage d'un module).

Les caractéristiques techniques de ces composants sont détaillées dans l'Annexe 2.

III.4.2 Structure de base du data sender

Pratiquement, le *data sender* permet de capter la température et l'humidité, combinées au temps (date, heure) constituent nos données (*data*). Ces données seront stockées sur une carte mémoire, envoyées sur le serveur ou envoyées sous forme de SMS. La Figure 3.34 synthétise la structure de base du *data sender* réalisé.

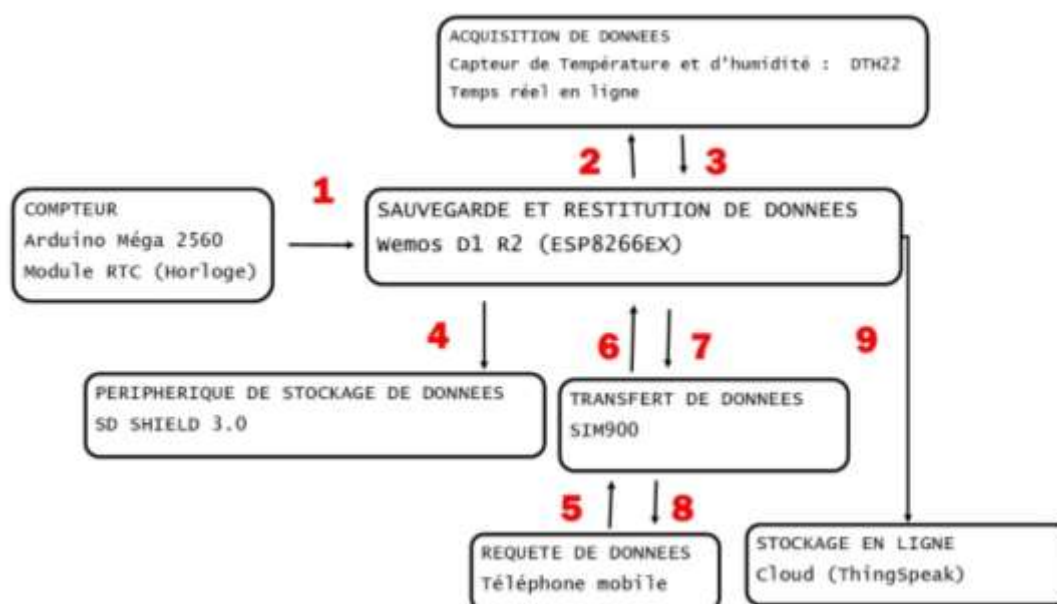


Figure 3. 34 : Structure de base du data sender

III.4.2.1 Description de la structure de base

Les annotations sur la Figure 3.38 permettent de mieux décrire la structure de base du *data sender* :

- 1 : Envoi des instructions de sauvegarde du *data* sur le server et sur la *SD*
- 2 : Lecture du *data*
- 3 : Restitution du *data*
- 4 : Sauvegarde du *data* sur la *SD*
- 5 : Requête du *data* via le téléphone mobile par *SMS* ou par appel vocal
- 6 : Réception de la requête
- 7: Envoi du *data* par *SMS*
- 8 : Réception du *data* par *SMS* sur le téléphone mobile
- 9 : Sauvegarde du *data* sur le *Cloud*

III.4.2.2 Le fonctionnement du *data sender*

Le fonctionnement du *data sender* peut être décrit par trois (03) voies :

- La voie 1 : Sauvegarde du *data* sur le *Cloud*, représentée par la **Figure 3.35**
- La voie 2 : Sauvegarde du *data* sur la *SD*, représentée par la **Figure 3.36**
- La voie 3 : Demande du *data* actuel via le téléphone mobile, représentée par la **Figure 3.37**.

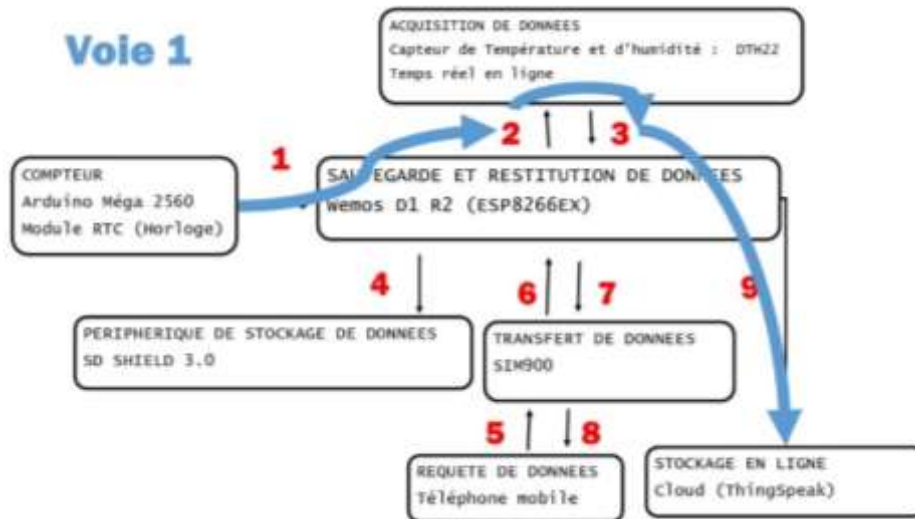


Figure 3. 35: Illustration de la voie 1

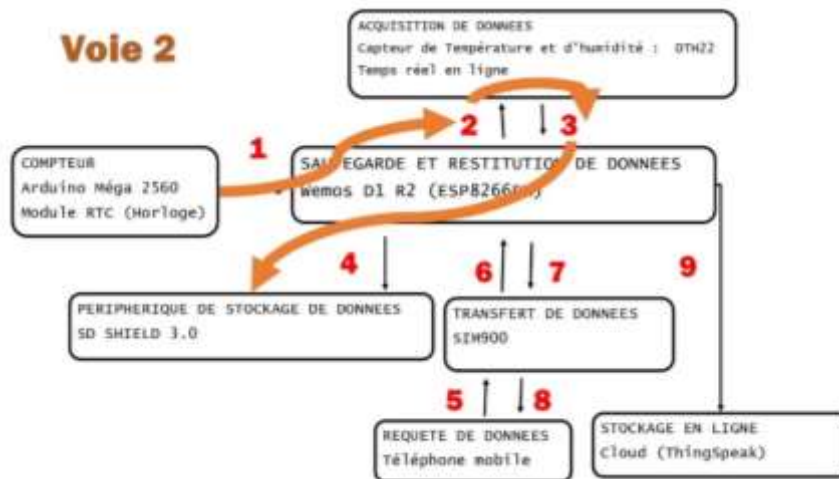


Figure 3. 36: Illustration de la voie 2

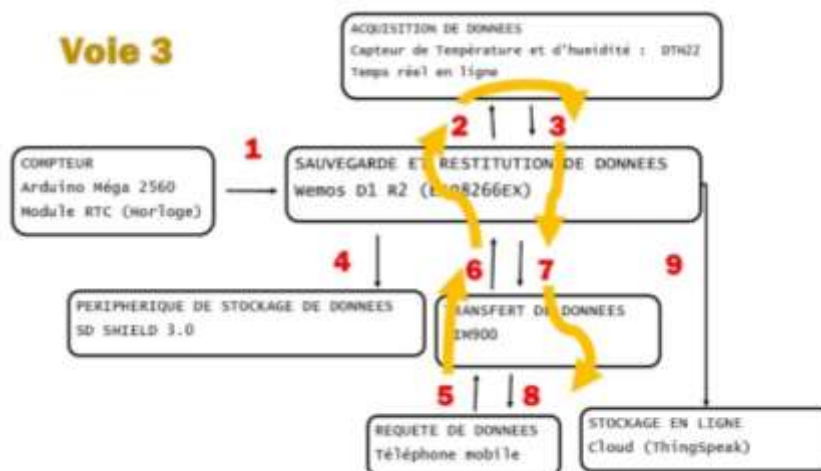


Figure 3. 37: Illustration de la voie 3

III.4.3 Le montage

Le montage du *data sender* est lié à sa structure de base. Fritzing est un logiciel assez pratique permettant de dessiner les montages des projets électroniques réalisés avec Arduino. Il suffit d'importer les composants directement dans la bibliothèque ou de télécharger les fichiers importables dans le logiciel Fritzing. Les lignes colorées représentent les fils de connexion. La **Figure 3.38** est la réalisation du montage du *data sender* sur Fritzing.

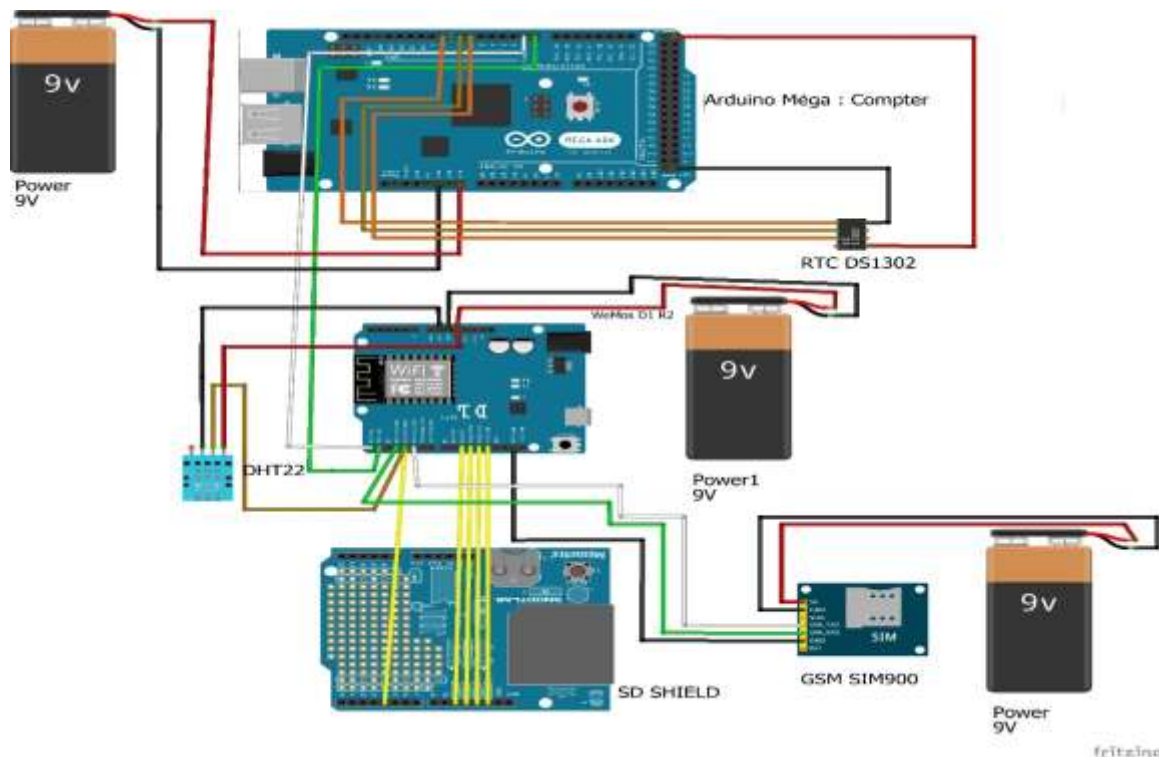


Figure 3. 38: Le schéma du montage du *data sender* sur Fritzing

Le brochage et le schéma électrique du montage sont disponibles dans l'**Annexe 3**.

III.4.4 L'algorithme de fonctionnement

Il décrit la fonction réalisée par chaque composant et les fonctions informatiques qui décrivent le fonctionnement du *data sender*.

Le *data sender* est piloté par deux algorithmes qui fonctionnent en parallèle. Le deuxième étant dépendant du premier.

III.4.4.1 Le premier algorithme

Le premier algorithme décrit le fonctionnement de l'Arduino Mega. Cet algorithme implémente une fonction de compteur. L'intervalle de temps qui a été choisi est de 30 minutes. Toutes les 30 minutes, le *data* est envoyé sur le serveur et enregistré sur la *SD*.

III.4.4.2 Le deuxième algorithme

Il décrit le fonctionnement du Wemos D1 R2. Cet algorithme fonctionne avec le concept de feedback. Il permet l'écoute des communications entrantes et renvoie les réponses spécifiques à chaque communication :

- Lorsque le Wemos reçoit le signal S1 qui est une requête de sauvegarde. Le Wemos enclenche la sauvegarde de données sur le *Cloud* et sur la carte *SD*.
- Lorsque le signal reçu est le signal S2. Le signal S2 est une requête d'envoi de données par *SMS*.

L'organigramme qui décrit les algorithmes du *data sender* est illustré par la **Figure 3.39**

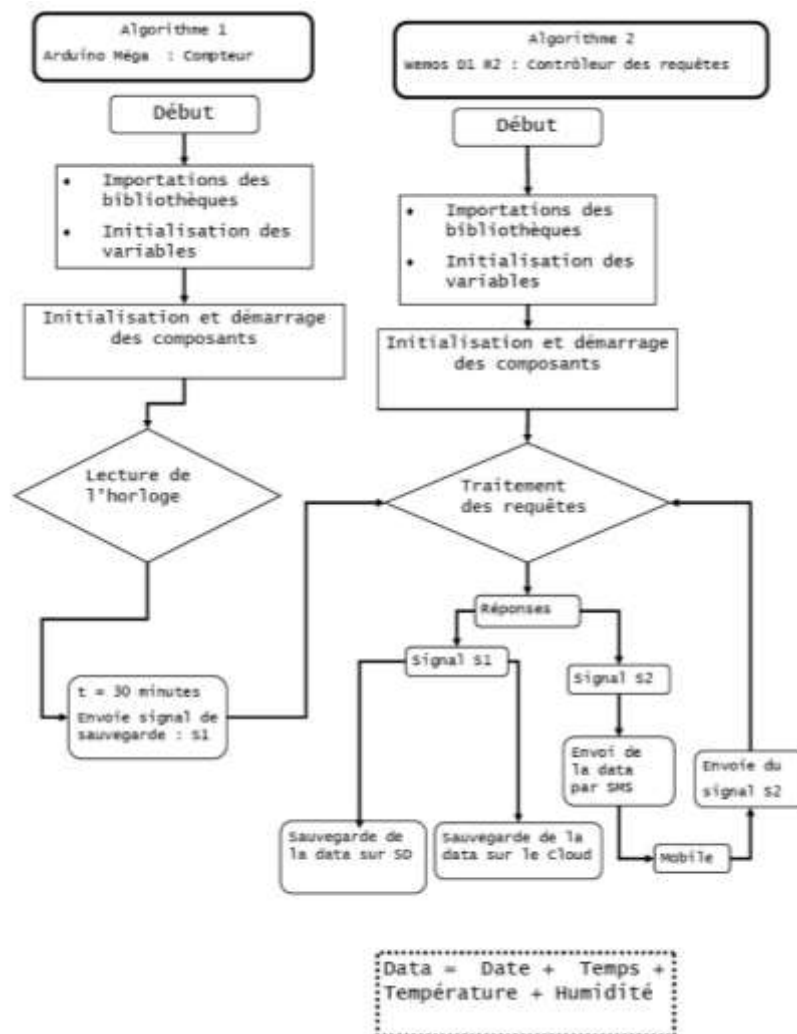


Figure 3. 39: Organigramme des algorithmes du *data sender*

III.4.5 Le prototype

Le prototype est la réalisation matérielle et logicielle du *data sender*. Dans un premier temps, le montage électronique est réalisé ainsi que le chargement des programmes. Dans un

second temps, le montage électronique est alimenté et monté dans une maquette pour assurer l'autonomie et la mobilité du *data sender*.

III.4.5.1 Collecte des données via le *Cloud*

Les données du *data sender* sont sauvegardées sur la plateforme ThingSpeak. ThingSpeak™ est un service de plateforme d'analyse *IoT* qui permet d'agréger, de visualiser et d'analyser des flux de données en direct dans le *Cloud*. Les fonctionnalités proposées par ThingSpeak sont très diversifiées et sont axées sur trois fonctions : La collecte, l'analyse et l'acte. [56]

La collecte des données par ThingSpeak permet de recevoir les données du capteur en temps réel, ce qui est un avantage pour le *data sender*. Les données collectées sont sauvegardées sur le *Cloud* et sont réutilisables grâce à la fonction *API*.

L'analyse proposée par ThingSpeak permet d'exploiter la puissance de Matlab (le traçage des graphes, les déductions de fonctions, ainsi que de nombreux calculs etc.) et tout ceci en ligne et en temps réel.

Les fonctionnalités de ThingSpeak exploitées dans ce projet sont l'*API* et les graphiques Matlab.

Les données collectées par le *data sender* sont disponibles dans l'**Annexe 4**.

III.4.5.2 Sauvegarde des données sur la *SD*

Le *data sender* ne peut envoyer les données que s'il est connecté à internet à travers le *WiFi* ou les données mobiles *GPRS*. Afin d'éviter les pertes de données et de garder une trace de l'historique d'activités du *data sender*, les données sont également stockées sur une carte *SD*. Les données sur la *SD* sont exploitables par des logiciels comme Excel et Matlab. Le **Tableau 3.1** est un extrait des données sauvegardées sur la *SD*.

Tableau 3. 1 : Extraction des données de la *SD* sur Excel

Date/Time	Temperature	Humidity
Mercredi 10/6/2020 1:0:59	24.10	87.80
Mercredi 10/6/2020 1:11:1	24.20	88.50
Mercredi 10/6/2020 1:21:1	24.30	88.60
Mercredi 10/6/2020 1:31:1	24.30	88.50
Mercredi 10/6/2020 1:41:0	24.30	88.10
Mercredi 10/6/2020 1:51:0	24.30	88.10
Mercredi 10/6/2020 2:0:59	24.30	88.10
Mercredi 10/6/2020 2:11:0	24.30	87.90
Mercredi 10/6/2020 2:21:0	24.30	88.00
Mercredi 10/6/2020 2:31:0	24.30	87.60
Mercredi 10/6/2020 2:41:0	24.30	87.70
Mercredi 10/6/2020 2:51:0	24.30	87.90
Mercredi 10/6/2020 3:1:1	24.30	87.80
Mercredi 10/6/2020 3:11:0	24.30	87.60
Mercredi 10/6/2020 3:21:0	24.30	87.60

III.4.5.3 Réception des données sur le mobile

Le *data sender* permet d'envoyer des données par *SMS*. Il suffit que l'utilisateur envoie un code par *SMS*. À la réception de ce code, le *data sender* répond en envoyant la température et l'humidité actuelles sous forme de *SMS*. Une autre solution est possible : l'utilisateur bipe le *data sender*. Celui-ci répondra en envoyant un *SMS* incluant la température et l'humidité.

Il est à noter que le numéro du récepteur est défini à l'avance par le *data sender*.

La **Figure 3.40** illustre l'envoi et la réception des données du *data sender* par *SMS*.

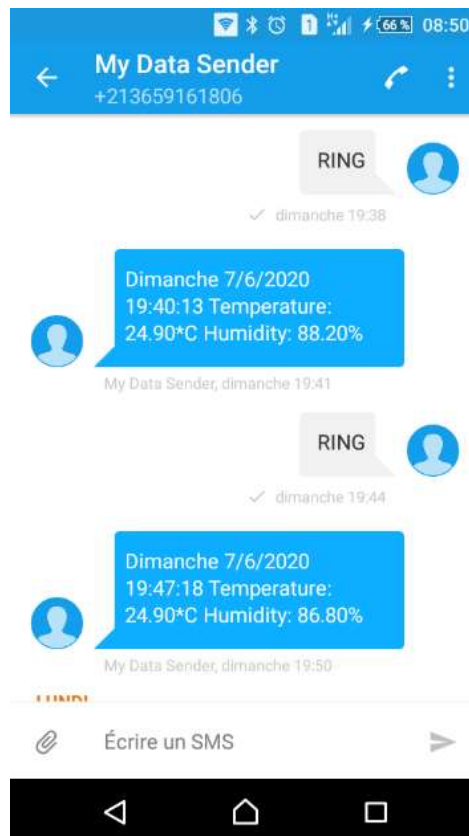


Figure 3. 40: Réception des données sur le mobile par SMS

III.5 Mise en fonction de la base de données

La base de données Axxas est la troisième partie de la plateforme Axxas permettant la lecture, l'écriture, la modification et la suppression des données. Pour que cet environnement fonctionne correctement la base de données est sauvegardée sur un serveur virtuel. En occurrence la base de données est une base de données *MySQL* qui est une base de données relationnelle. Le langage de programmation *PHP* a été choisi pour maintenir le dynamisme entre la base de données Axxas et l'application Axxas.

III.5.1 Mise en place du serveur virtuel

Dans le cadre de ce projet, un serveur virtuel est la solution la plus accessible et gratuit. En réalité, seuls les serveurs sont capables de lire du *PHP*. Une solution alternative permet de transformer un ordinateur en serveur. Dans ce cas on parle de serveur virtuel. Pour faire fonctionner l'ordinateur en serveur virtuel, des programmes et logiciels sont nécessaires.

III.5.1.1 Éditeur de texte

Un éditer de texte permet d'éditer des programmes. Il en existe plusieurs dont un fourni avec Windows (Bloc-notes). Certains éditeurs de texte sont plus spécialisés comme Notepad++, sublimeText, Visual Studio Code qui a été utilisé dans le cadre de ce projet.

III.5.1.2 Navigateur Web

Le navigateur Web permet de tester le serveur et d'avoir accès aux fichiers et à la base de données sauvegardée sur le serveur. Il existe une panoplie de navigateurs web : Firefox, Internet Explorer, Chrome, Opera, Safari, etc.

Trois logiciels sont nécessaires au bon fonctionnement du serveur virtuel : Apache, PHP et MySQL. Ces logiciels peuvent être installés un à un mais cela prend du temps. Certains packs proposent une installation de ces logiciels en même temps. Parmi ces packs nous pouvons citer Wamp et Xamp.

III.5.1.3 Apache

Apache est un serveur Web. Il permet de délivrer les pages web aux visiteurs. Cependant il n'est utilisé que pour les sites statiques. C'est pour cette raison que PHP vient en renfort.

III.5.1.4 PHP

PHP est un plug-in (extension) pour Apache. Il permet de lire les sites dynamiques. Avec Apache et PHP l'ordinateur sera capable de lire les sites dynamiques.

III.5.1.5 MySQL

MySQL qui a été abordé dans le Chapitre 2 est un logiciel de gestion de bases de données qui permet d'enregistrer des données de manière organisée.

III.5.1.6 WAMP Serveur

WampServer est le pack qui a été utilisé pour mettre en marche la base de données Axxas. Il a l'avantage d'être gratuit et en français. Il faudrait télécharger une version récente de WampServer, sinon vérifiez que le pack supporte au moins PHP 5.4. Le logo de WampServer est représenté par la **Figure 3.41**.



Figure 3. 41 :WAMP Serveur, Apache, MySQL, PHP

III.5.2 La base de données *MySQL*

Lorsque le serveur virtuel est en place, vous pouvez avoir accès à la base de données *MySQL* qui vous permettra de stocker vos données. Le serveur Wamp fournit l'outil phpMyAdmin qui permet de créer une base de données.

III.5.2.1 phpMyAdmin

phpMyAdmin est l'un des outils les plus connus permettant de manipuler une base de données *MySQL*. phpMyAdmin est un ensemble de pages PHP toutes prêtes dont on se sert pour gagner du temps. phpMyAdmin a plusieurs fonctionnalités qui lui permettent entre autres de :

- Se connecter à *MySQL*
- Créer, supprimer, accéder à une base de données
- Créer, modifier, vider une table dans une base de données
- Insérer, modifier, supprimer, rechercher des données dans une table manuellement ou en passant par le langage SQL
- Parcourir les informations d'une table
- Importer, exporter une table
- Définir les restrictions d'accès à la base de données, etc.

III.5.2.2 L'interface phpMyAdmin

L'interface phpMyAdmin présente un ensemble d'onglets qui permettent d'interagir avec le serveur *MySQL* et les bases de données. Elle est représentée par la **Figure 3.42**.

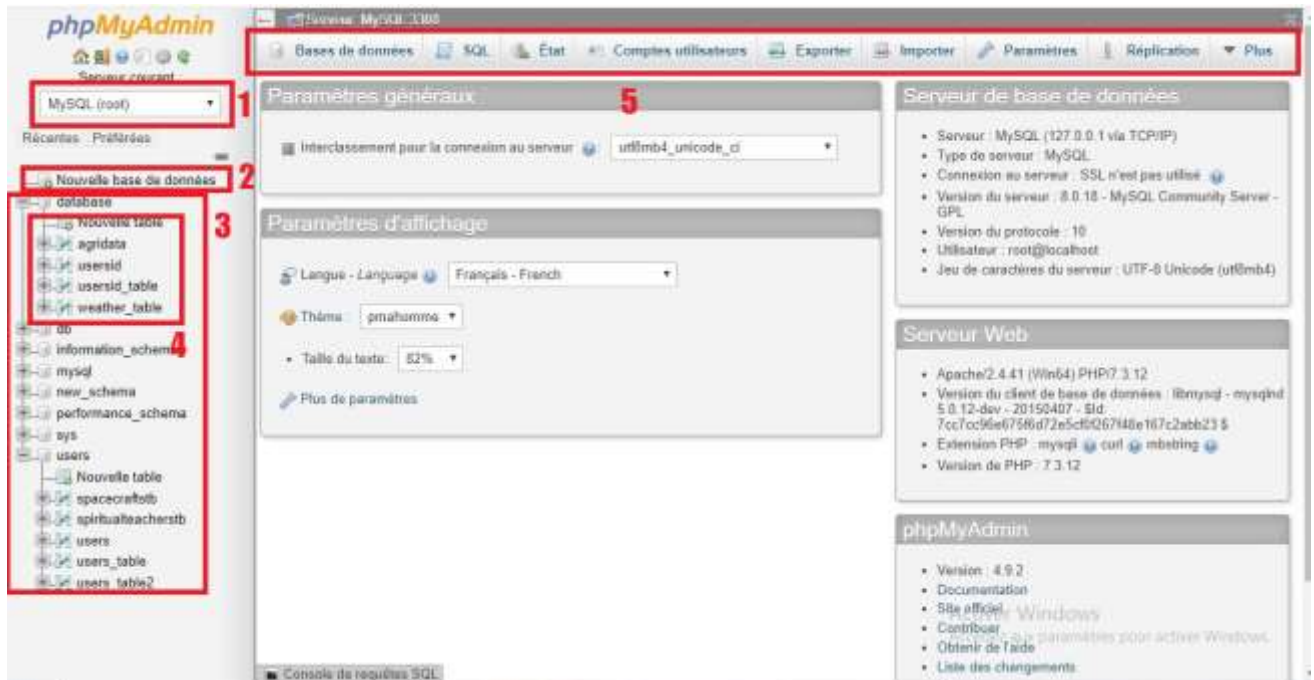


Figure 3. 42: L'interface phpMyAdmin

1. Le SGBD auquel phpMyAdmin est connecté
2. Création d'une nouvelle base de données
3. La liste des bases de données
4. Les tables contenues dans la base de données
5. Les onglets permettant d'effectuer les opérations sur la base de données et les tables

III.5.2.3 Structure d'une table

Une table est un ensemble de colonnes et de lignes. Chaque colonne ou champ a un nom et un ensemble de caractéristiques. En général une table contient le champ id qui est un numéro d'identifiant. Grâce à lui toutes les entrées seront numérotées.

III.5.2.4 Contenu d'une table

Les entrées d'une table sont rangées ou classées selon leur numérotation. La **Figure 3.43** décrit la structure d'une table

#	Nom	Type	Interclassement	Attributs	Null	Valeur par défaut	Commentaires	Extra	Action
1	id	int(11)			Non	Aucun(e)		AUTO_INCREMENT	Modifier Supprimer Plus
2	name	varchar(255)	utf8_general_ci		Non	Aucun(e)			Modifier Supprimer Plus
3	scientificName	text	utf8_general_ci		Non				Modifier Supprimer Plus
4	publicationDate	date			Non	Aucun(e)			Modifier Supprimer Plus
5	modificationDate	date			Non	Aucun(e)			Modifier Supprimer Plus
6	description	longtext	utf8_general_ci		Non				Modifier Supprimer Plus
7	cultivation	longtext	utf8_general_ci		Non				Modifier Supprimer Plus
8	image_url	varchar(255)	utf8_general_ci		Non	Aucun(e)			Modifier Supprimer Plus
9	article	tinyint(4)			Non	Aucun(e)			Modifier Supprimer Plus

Figure 3. 43: Structure d'une table

1. Le nom des champs
2. Le type du champ qui peut être un caractère, un nombre etc.
3. Les autres champs proposent des préférences

III.5.3 Les différentes tables de la base de données Axxas

La base de données Axxas est composée de plusieurs tables : la table des utilisateurs, la table des articles et la table météo. L'Annexe 5 permet de visualiser les différentes tables de la base de données Axxas.

III.5.4 Accès à la base de données via PHP

La plateforme Axxas est un environnement dynamique qui exploite et traite les données en temps réel. PHP permet de communiquer avec MySQL. Vu que notre base de données est sur MySQL, il faut obligatoirement passer par PHP. L'application Axxas à priori ne peut pas interagir avec notre base de données car utilisant uniquement Java. PHP va servir d'intermédiaire entre l'application Axxas et notre base de données Axxas. La Figure 3.44 résume l'interaction entre l'application Axxas, PHP et la base de données Axxas.

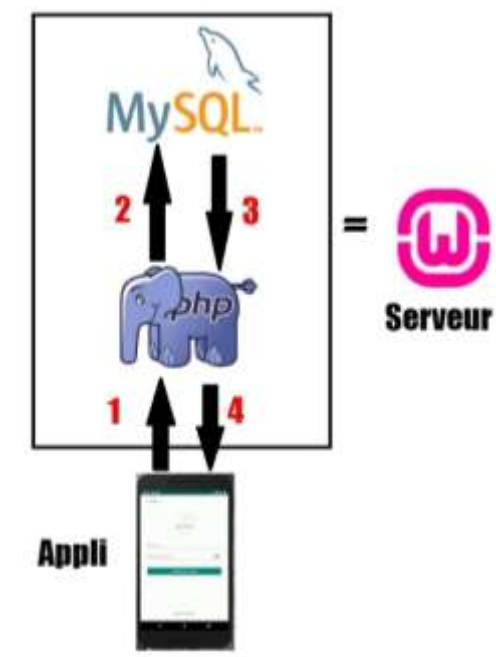


Figure 3. 44: Interaction entre L'application et le serveur

1. L'application cherche à lire, écrire ou modifier des données dans la base de données Axxas. Pour cela il a besoin de *PHP*. Des fichiers écrits en langage *PHP* dont les algorithmes servent à se connecter à la base de données, à écrire, à modifier ou lire des données sont déjà stockés dans le serveur. L'application lance ces fichiers en suivant leurs adresses *URL*. Le fichier ou les fichiers *PHP* exécutent les instructions demandées par l'application.
2. *MySQL* fait le travail que *PHP* lui avait soumis et envoie une réponse.
3. *MySQL* doit envoyer une réponse à l'application. *PHP* est encore sollicité, dans ce cas *PHP* charge les données.
4. L'application reçoit les données de *PHP*

III.6 Conclusion

La plateforme Axxas est un agencement de ressources informatiques et électroniques. La plateforme offre des solutions liées au domaine agricole en utilisant la technologie Android, la technologie *GSM* et le service *Cloud*. L'objectif de ce projet est bien évidemment de proposer des solutions agricoles en toute simplicité appartenant au domaine large de l'agriculture de précision.

Le chapitre 4 propose une évaluation de la plateforme Axxas sur l'aspect technique, fonctionnel et l'intérêt d'utiliser une telle plateforme.

Chapitre IV : Tests et Résultats expérimentaux

IV.1 Introduction

La force d'une plateforme numérique est son efficacité, son ergonomie et la valeur que la plateforme apporte aux utilisateurs. Une évaluation de la plateforme s'impose tant sur l'aspect technique que fonctionnel. La plateforme Axxas étant destinée au domaine agricole une seconde évaluation permettra de lister les avantages que les utilisateurs pourront tirer de la plateforme.

IV.2 Évaluation de la plateforme

Chaque entité de la plateforme Axxas sera évaluée séparément afin d'établir une performance globale de la plateforme. Les tests proviennent d'une utilisation régulière de la plateforme et montrent les problèmes de fonctionnement.

IV.2.1 Test de l'application

L'application est légère et très fluide. La rapidité d'accès aux activités est plus que satisfaisante. Ce qui entache la performance de l'application, c'est sa relation avec la base de données. L'application qui est obligée de passer par *PHP* pour accéder à la base de données peut souvent rencontrer des problèmes. Ces problèmes sont dus à la connexion réseau et à la performance du *PHP*.

IV.2.1.1 La connexion réseau

Le serveur et l'application sont connectés à Internet. Une faible connexion internet provoquera une lenteur dans le chargement des données sur le serveur. Ceci est de l'ordre de quelques secondes pour le moment, car les données ne sont pas énormes. Si le nombre d'utilisateurs évolue considérablement, l'application pourrait prendre du temps pour charger les données de la base de données.

Dans le cas où le serveur ou l'application est déconnecté, l'application ne fonctionnera pas correctement. Cela va de soi car les données sont sauvegardées sur la base de données afin d'assurer une bonne performance de l'application.

IV.2.1.2 Les performances du *PHP*

La performance prend en compte le temps d'exécution de l'application :

- Afficher les informations à l'utilisateur
- Vérifier si l'utilisateur est inscrit sur la plateforme
- Sauvegarder et charger des ressources (texte, image, etc.) dans la base de données.

Sur le serveur, le temps d'exécution dépend du temps d'exécution du code *PHP* qui peut inclure la connexion à la base de données, les appels, le temps de sauvegarde et le chargement des données dans la base de données. Tout le défi est d'optimiser le code *PHP*. Dans le cas présent, le code *PHP* n'est pas mis à mal car l'application ne demande pas beaucoup d'instructions. Si l'application évolue il faudra optimiser le code *PHP* ou chercher un autre langage qui supporte les grosses applications.

IV.2.2 Test du *data sender*

Le *data sender* est facile d'utilisation et assez pratique à cause de sa mobilité et de son autonomie. Sa performance est très bonne avec une rapidité d'envoi et de sauvegarde de données inférieures à 15 secondes. Les données sont stockées régulièrement sur le *Cloud* et sur la *SD*. Le temps de réponse du *data sender* par *SMS* est inférieur à 5 minutes dans de bonnes conditions de connexion au réseau.

Le *data sender* est soumis néanmoins à quelques soucis techniques

IV.2.2.1 Les limites du *GSM*

Les données du *data sender* ne peuvent pas être obtenues par *SMS* si la couverture réseau est insuffisante. Le message code qui sera envoyé peut souvent prendre du temps pour être reçu par le *data sender* ce qui risque de fausser les données dans le temps. Le *data sender* utilise une carte *SIM* prépayée. Elle doit être rechargée pour pouvoir envoyer des données via *SMS* et via Internet.

L'utilisateur consomme également du crédit pour envoyer des *SMS* code au *data sender* ce qui peut augmenter les frais d'utilisation du *data sender*. Bien évidemment, avec les promotions actuelles des fournisseurs du service de téléphonie mobile, ceci ne constitue pas un problème. La seconde solution qui est certainement plus raisonnable, est de passer par le bip, dans ce cas l'utilisateur n'utilise pas de crédit mais le *data sender* continue d'utiliser du crédit. Il est à souligner que la solution *GSM* sera plus utilisée si l'utilisateur a besoin des données en temps réel ou s'il est déconnecté d'internet et n'a pas les moyens d'accéder aux données sauvegardées sur la *SD*.

IV.2.2.2 Les limites du *WiFi*

Le *WiFi* est la solution qui a été choisie pour envoyer les données sur le *Cloud*, car il est plus simple et la configuration est notamment plus facile que la configuration *GPRS* qui peut

s'avérer infructueuse. Le *data sender* qui est connecté au *WiFi* peut souvent perdre sa connexion suite à une baisse de signal ou à des interférences. Le stockage des données sur le *Cloud* sera plus fréquent si le signal *WiFi* et la connexion à internet sont irréprochables. Dans la phase des tests, il arrive souvent que le *data sender* n'arrive pas à envoyer les données pendant 30 minutes ce qui, dans notre cas correspond à une donnée perdue. Ceci ne diminue en rien la capacité de stockage sur le *Cloud* qui est sans limite. Le *data sender* envoie les données automatiquement sans intention humaine, ce qui fait du *data sender* un *IoT* autonome. Un autre point positif à signaler : internet est de plus en plus accessible par le grand public et son coût ne cesse de diminuer.

IV.2.2.3 Le problème de lecture des données du capteur

Les tests ont révélé quelques défaillances lors de la lecture des données du capteur. Il arrive souvent que le temps de réponse du capteur soit assez lent. Dans ce cas le *data sender* n'obtiendra pas de données à envoyer sur le *Cloud*. Le capteur a une précision très satisfaisante vue l'application visée :

- Température: $\pm 0,5$ °C
- Humidité: ± 2 % RH

IV.2.2.4 L'autonomie du *data sender*

L'autonomie du *data sender* est un réel problème à prendre en compte. En effet les fonctions, *GSM*, *GPRS*, et *WiFi* sont très énergivores. Dans le cadre de ce projet, nous utilisons des batteries rechargeables. Mais à la longue il n'est pas très pratique de continuellement recharger le *data sender*.

Les meilleures options sont les batteries à longue autonomie ou carrément l'énergie solaire.

IV.2.3 Les limites de la base de données

Les avantages du *SGBD* ont été développés dans les chapitre 2 et 3. Cependant quelques limites sont à signaler, des limites qui concernent les bases de données *MySQL* :

- La taille et la conception de la base de données sont liées à la taille du disque dur et le système de fichiers de celui-ci.
- Le nombre d'utilisateurs est limité par le système d'exploitation (qui a ses limites en terme de nombre de processus actifs et des connexions réseaux).

IV.3 Cas pratique sur une culture maraîchère

IV.3.1 Les avantages de la solution culture

La solution culture de la plateforme Axxas propose des informations sur certaines cultures. L'utilisateur peut s'informer sur les plantes, leurs cultures et leurs utilisations.

La tomate a été choisie dans le cadre de cette étude considérant une culture en plein champ. La température et l'humidité disponibles sur la plateforme Axxas sont les paramètres retenus pour cette étude.

IV.3.2 Les avantages de la solution Champ

La solution Champ propose un calculateur. Les informations à rentrer sont :

- La surface : supposons 1 hectare la surface du champ
- La distance entre les plants : pour la culture de la tomate au moins une distance de 50 cm entre les plants est exigée. Considérons la distance de plantation égale à 60 cm
- Largeur des rangs (distance entre les lignes) : pour la culture de la tomate il faut maintenir une distance de 70 à 80 cm entre les lignes. Considérons la largeur des rangs égale à 80 cm.

Nous pouvons voir les résultats retournés par l'application dans la **Figure 4.1**.

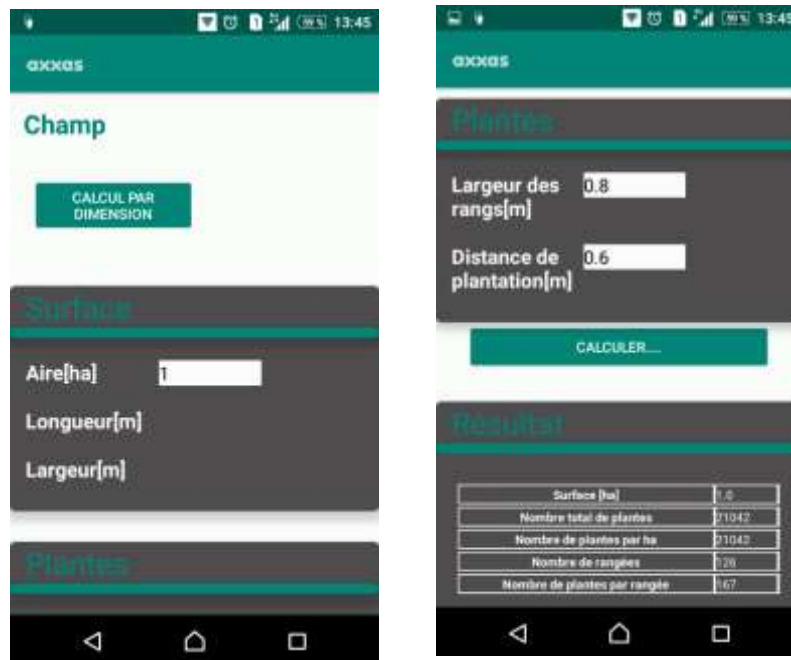


Figure 4. 1: Calcul du nombre de plants de tomate

Pour une surface de 1 hectare, une distance de plantation égale à 60 cm et une distance entre les lignes égale à 80 cm nous avons environ :

- 21041 plants de tomate
- 126 rangées
- 167 plants de tomate par rangée

Ces chiffres, à priori, permettent de planifier la pépinière, d'estimer les dépenses et de prévoir les bénéfices.

IV.3.3 Les solutions météo et *smart farm*

Avant de continuer, il convient de mentionner l'écologie de la tomate. La tomate appartient à la famille des solanacées. Elle est sensible au froid, craint beaucoup le gel et les vents chauds. La température est un facteur important à prendre en compte :

- En dessous de 10° C la croissance et le développement de la tomate sont ralentis. En dessous de 17° C le pollen germe mal.
- À l'inverse, les températures élevées sont favorables à la croissance de la tomate. Les températures idéales sont : 18°C la nuit et 22°C le jour.

- Au-dessus de 30°C, le lycopène, pigment responsable de la couleur rouge du fruit ne se forme plus. Ce qui cause la coloration jaune-orange du fruit.

Si la température joue un rôle important dans la croissance de la tomate, l'humidité autant :

- L'humidité optimale pour la tomate est de 75%,
- Une humidité trop élevée couplée à une température élevée favorise le développement des maladies. [39]

IV.3.3.1 La prise en compte de la météo

La météo renseigne sur les données météorologiques d'une région. Au regard de cette étude les paramètres météo exploités sont la température et l'humidité de la ville de Mostaganem.

Les données proviennent de l'application Axxas, ces données sont journalières à intervalle de 3H. L'étude s'étale sur une semaine.

Les données journalières du 01 Mai 2020 sont enregistrées dans le **Tableau 4.1**, la **Figure 4.2** représente le graphique d'évolution de ces données.

Tableau 4. 1: Prévisions journalières du 01 Mai 2020

Prévisions Journalières du 01 Mai 2020								
Heure	0	3	6	9	12	15	18	21
Température (°C)	17	17	17	20	21	17	19	18
Humidité (%)	63	61	66	55	50	60	66	71

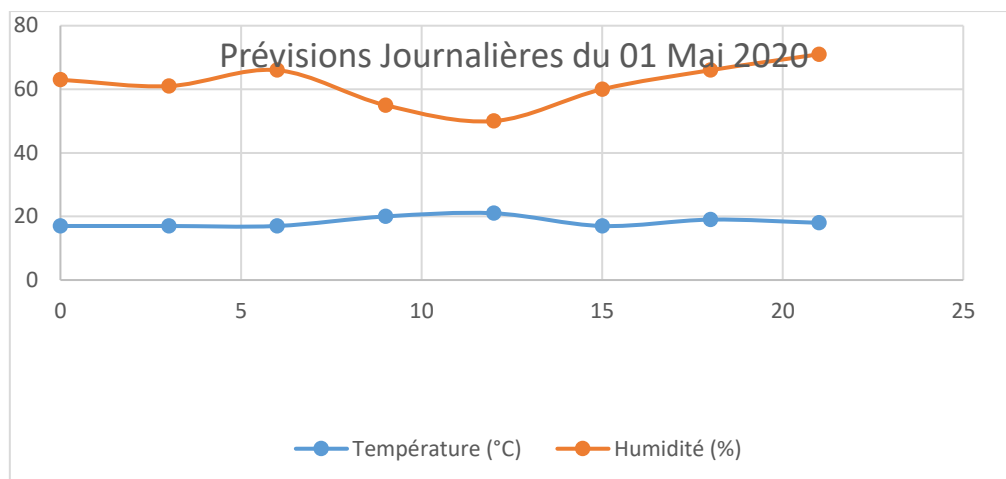


Figure 4. 2 :Prévisions journalières du 01 Mai 2020

IV.3.3.1.1 Commentaire 1

La température : de 0H00 à 6H la température est acceptable (17° C). Durant la nuit l'activité organique de la plante diminue.

Durant la journée la température est acceptable dans l'ensemble sauf à 15H ou la température tombe à 17° C, température qui n'est pas propice à la croissance de la tomate. Mais avant la fin de la journée la température revient à la normale.

L'humidité n'est pas optimale : Les valeurs sont inférieures à 75 %. Le problème de l'humidité peut être résolu en pratiquant l'irrigation.

Les données journalières du 02 Mai 2020 sont enregistrées dans le **Tableau 4.2**, la **Figure 4.3** représente le graphique d'évolution de ces données.

Tableau 4. 2: Prévisions journalières du 02 Mai 2020

Prévisions Journalières du 02 Mai 2020								
Heure	0	3	6	9	12	15	18	21
Température (°C)	17	16	17	21	23	23	22	20
Humidité (%)	63	74	72	54	44	46	49	57

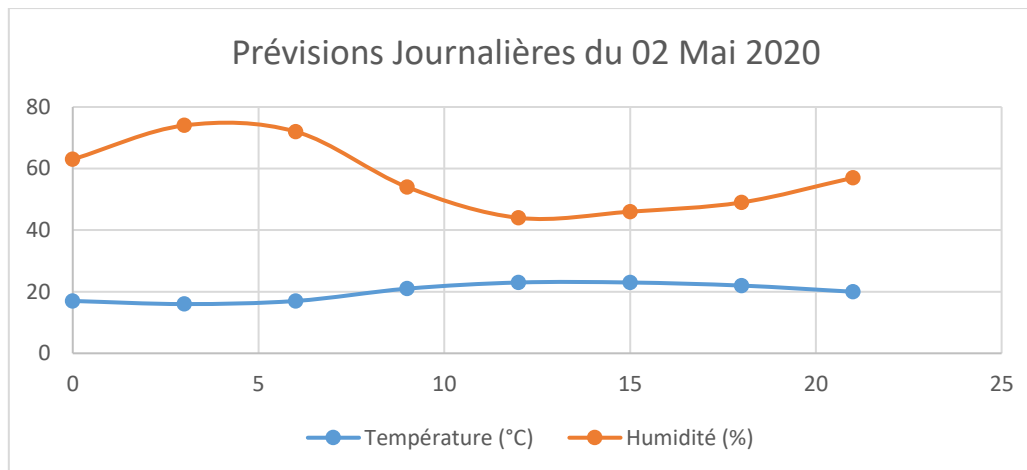


Figure 4. 3: Prévisions journalières du 02 Mai 2020

IV.3.3.1.2 Commentaire 2

La température de 0H00 à 6H est toujours acceptable. Durant la journée, la température est irréprochable. Les conditions sont réunies pour une bonne croissance de la tomate.

Durant la nuit, l'humidité enregistre des valeurs optimales. Pendant la journée, la situation est catastrophique à cause d'une humidité en forte baisse très éloignée de l'humidité optimale.

Les données journalières du 03 Mai 2020 sont enregistrées dans le **Tableau 4.3**, la **Figure 4.4** représente le graphique d'évolution de ces données.

Tableau 4. 3: Prévisions journalières du 03 Mai 2020

Prévisions Journalières du 03 Mai 2020								
Heure	0	3	6	9	12	15	18	21
Température (°C)	19	19	19	24	26	26	25	23
Humidité (%)	61	59	61	48	37	39	45	48

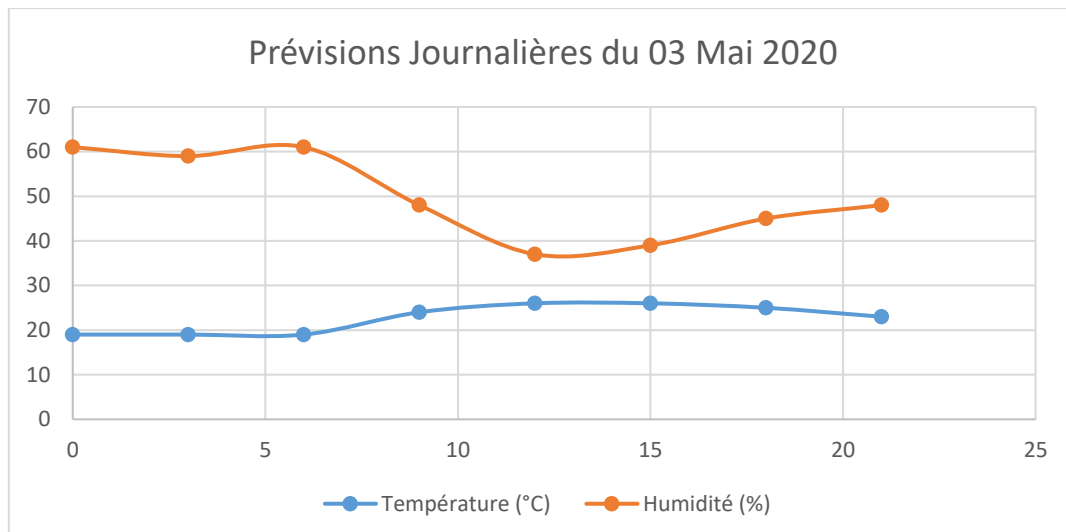


Figure 4. 4: Prévisions journalières du 03 Mai 2020

IV.3.3.1.3 Commentaire 3

La température est satisfaisante durant toute la journée.

L’humidité baisse fortement durant la journée dû à hausse de la température.

Les données journalières du 04 Mai 2020 sont enregistrées dans le **Tableau 4.4**, la **Figure 4.5** représente le graphique d’évolution de ces données.

Tableau 4. 4: Prévisions journalières du 04 Mai 2020

Prévisions Journalières du 04 Mai 2020								
Heure	0	3	6	9	12	15	18	21
Température (°C)	21	21	21	26	28	27	27	25
Humidité (%)	54	53	52	38	38	36	40	39

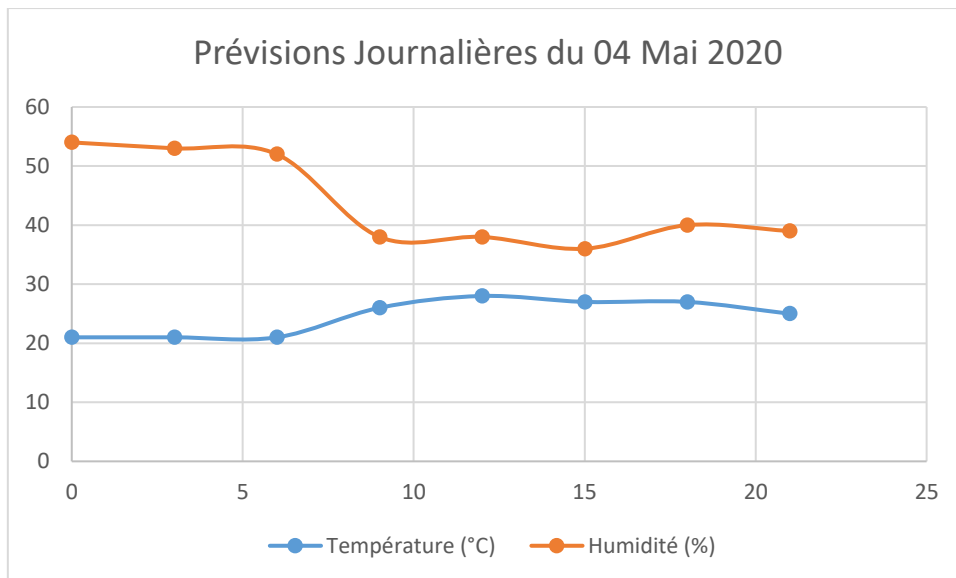


Figure 4. 5: Prévisions journalières du 04 Mai 2020

IV.3.3.1.4 Commentaire 4

Les fortes températures prévues pour la journée provoquent une forte baisse de l’humidité. L’hygrométrie n’est pas propice à la plante.

Les données journalières du 04 Mai 2020 sont enregistrées dans le **Tableau 4.5**, la **Figure 4.6** représente le graphique d’évolution de ces données.

Tableau 4. 5: Prévisions journalières du 05 Mai 2020

Prévisions Journalières du 05 Mai 2020								
Heure	0	3	6	9	12	15	18	21
Température (°C)	25	20	19	22	24	23	24	22
Humidité (%)	38	66	75	61	52	55	54	56

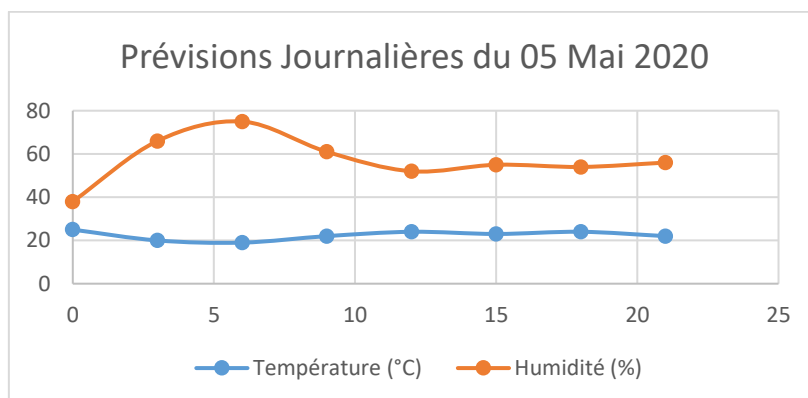


Figure 4. 6: Prévisions journalières du 05 Mai 2020

IV.3.3.1.5 Commentaire 5

Les températures baissent et reviennent vers les valeurs optimales. L'humidité augmente logiquement sans atteindre sa valeur optimale.

Les données journalières du 04 Mai 2020 sont enregistrées dans le **Tableau 4.6**, la **Figure 4.7** représente le graphique d'évolution de ces données.

Tableau 4. 6: Prévisions journalières du 06 Mai 2020

Prévisions Journalières du 06 Mai 2020								
Heure	0	3	6	9	12	15	18	21
Température (°C)	20	18	18	20	22	21	20	19
Humidité (%)	66	76	77	66	61	61	68	73

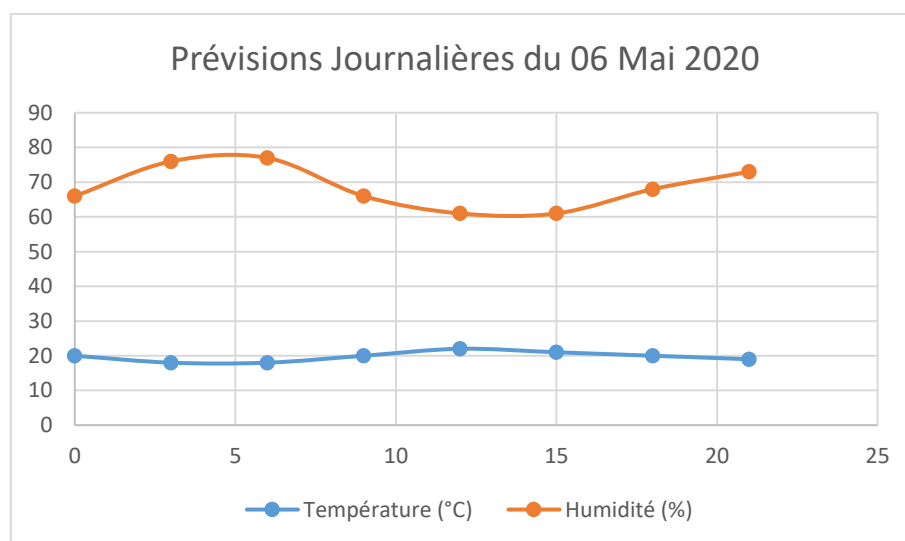


Figure 4. 7: Prévisions journalières du 06 Mai 2020

IV.3.3.1.6 Commentaire 6

Les températures continuent de baisser et l'humidité de grimper pour atteindre des valeurs de plus en plus favorables à la croissance de la plante.

Les données journalières du 04 Mai 2020 sont enregistrées dans le **Tableau 4.7**, la **Figure 4.8** représente le graphique d'évolution de ces données.

Tableau 4. 7: Prévisions journalières du 07 Mai 2020

Prévisions Journalières du 07 Mai 2020								
Heure	0	3	6	9	12	15	18	21
Température (°C)	18	18	18	20	21	22	21	19
Humidité (%)	77	79	78	69	67	65	67	76

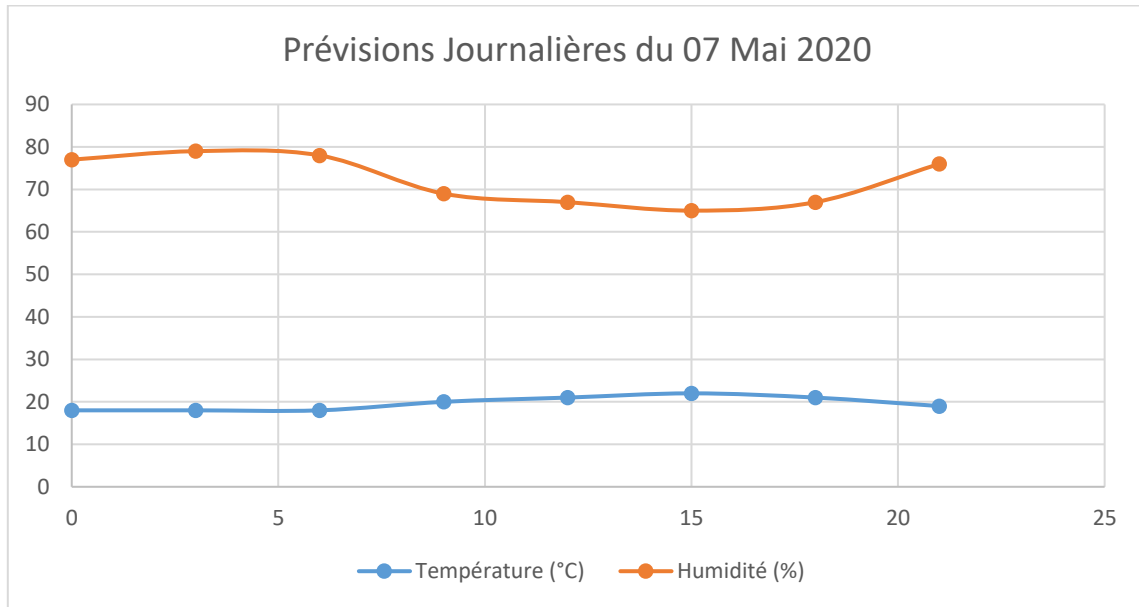


Figure 4. 8: Prévisions journalières du 07 Mai 2020

IV.3.3.1.7 Commentaire 7

Les températures ont considérablement baissé pour atteindre des valeurs optimales. L’humidité présente des valeurs assez favorables.

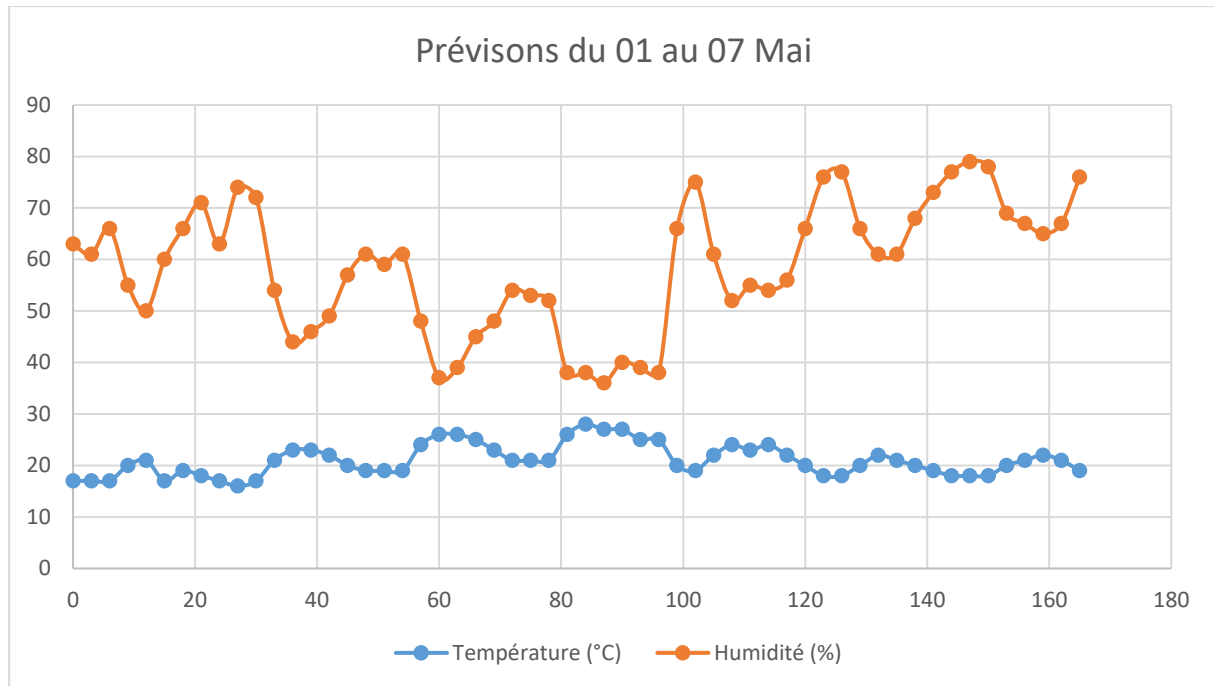


Figure 4. 9: Prévisions journalières du 01 au 07 Mai 2020

IV.3.3.1.8 Commentaire 8

La semaine a commencé avec des températures limites proches des 18°C. En milieu de semaine, la température croît pour atteindre des valeurs moyennes qui sont favorables à la croissance de la plante. En fin de semaine, les températures baissent pour se stabiliser à des valeurs limites.

L'évolution de l'humidité est fortement liée à celle de la température. En début de semaine l'humidité évolue autour des valeurs moyennes pour la plante. En milieu de semaine les conditions deviennent plus difficiles avec une humidité inférieure à 50%. L'évolution en fin de semaine fait remonter le taux d'humidité vers des valeurs moyennes.

IV.3.3.1.9 Les avantages de la météo : *data mining* (information utile)

Les prévisions journalières renferment des informations très intéressantes pour l'agriculture :

- L'influence de la température sur la croissance de la plante.
- Le taux d'humidité renseigne sur les besoins en eau.

IV.3.3.2 Les consultations des données du *data sender*

Les données du *data sender* proviennent directement de l'endroit où il est placé. Le *data sender* apporte des informations plus précises sur la température et l'humidité du champ.

Les valeurs obtenues dans le champ sont plus précises et utiles pour l'agriculteur. Le suivi de l'évolution de la température et de l'humidité permet à l'agriculteur de prendre des décisions pertinentes et beaucoup plus précises comme, planifier et contrôler l'irrigation.

Le *data sender* peut être utilisé en plein champ ou sous serre. Cependant, il aura plus d'utilité sous une serre à cause de sa précision et de sa capacité de réponse.

IV.4 Applications et perspectives

Le projet qui a été développé peut-être exploité de diverses manières par l'agriculteur. Les perspectives d'évolution de la plateforme sont également nombreuses notamment en rapport avec les besoins de l'agriculteur.

IV.4.1 Les applications de la plateforme Axxas

L'application Axxas peut être utilisée à plusieurs fins :

- S'informer sur les cultures, leurs caractéristiques, les paramètres à prendre en compte pour optimiser la culture.
- S'informer sur la météo afin de prendre des décisions favorables pour la culture.
- Planifier sa culture à travers un calculateur et les informations sur la culture.
- Avoir accès aux données du *data sender* en temps réel.

IV.4.2 Perspectives d'évolution du projet

Le projet réalisé peut être amélioré afin d'apporter des innovations sur plusieurs plans.

IV.4.2.1 Perspectives d'évolution de l'application

L'application Axxas peut évoluer pour apporter plus de valeur ajoutée à l'agriculteur. La fonctionnalité la plus importante est la partie communication. Ajouter une partie communication pourrait profiter à l'agriculteur de plusieurs manières :

- Un forum permettra aux agriculteurs de poster les difficultés mais également d'apporter des solutions à leurs collègues agriculteurs
- Un chat permettra de créer un réseau d'agriculteurs qui pourront tisser des liens pour développer mutuellement leurs activités.
- La dernière proposition est la communication avec les services entreprise et organisation. Cette fonctionnalité permettra aux agriculteurs d'exposer leurs soucis avec qui de droit en ligne sans avoir à se déplacer. Cela pourra aller d'une demande d'information à un achat d'équipement ou la résolution d'un problème comme une attaque du champ par une maladie.
- Une solution encore plus pratique sera un atout majeur, le système de commande à distance. L'application sera à même de commander les objets et appareils connectés sur un réseau.

IV.4.2.2 Perspectives d'évolution du *data sender*

Le *data sender* est un *IoT* qui peut évoluer également.

- Le *data sender* peut être embarqué par les drones et les machines agricoles
- Le *data sender* peut être utilisé comme relais pour les commandes à distance
- Le *data sender* peut être utilisé comme une station météo fixe avec des capteurs plus sophistiqués. L'autonomie sera accrue avec une plaque solaire.

IV.5 Conclusion

Un bilan de l'évaluation fait de Axxas une plateforme solide structurellement à savoir une bonne stabilité et une bonne performance. L'ergonomie de la plateforme est assez agréable, l'application est fluide et très réactive, le prototype est très facile à manipuler et à utiliser. Le défi à relever se trouve au niveau de la connectivité de la plateforme (la connexion à la base de données, la connexion au *Cloud*, les intermittences du *GSM* et du *WiFi*).

Les données collectées par la plateforme sont utiles pour l'agriculteur sur plusieurs points. Le premier point concerne l'information précise sur les cultures permettant d'optimiser celles-là et d'avoir un bon retour sur investissement. Le second point est relatif à l'utilisation de données brutes comme celles de la météo et du *data sender* qui peuvent être exploitées pour gérer les ressources du champ. L'agriculture de précision permet de sauvegarder les ressources et de faire de l'économie d'échelle.

Conclusion générale

L'agriculture a subi de profonds changements à travers le temps. Les différentes révolutions, celle du XVII^e, XVIII^e et du XX^e siècle ont apporté respectivement la technique de culture, la mécanisation et ont donné naissance à une agriculture intensive. La révolution agricole en cours est celle de la biotechnologie et du numérique. La biotechnologie a pour but, l'amélioration des semences et l'augmentation de la résistance des plantes faces aux maladies et aux aléas climatiques. La biotechnologie est aussi l'amélioration de la capacité de production des plantes. L'agriculture numérique apporte sa contribution à travers les plateformes numériques et électroniques. Aujourd'hui on parle d'agriculture connectée, d'agriculture de précision, et de robotisation. Toutes ces nouvelles formes d'agriculture proposent de simplifier le métier de l'agriculture et de sauvegarder les ressources naturelles qui s'amenuisent de plus en plus.

Les plateformes numériques sont nombreuses à cause de l'explosion technologique. Les ordinateurs, les smartphones, les tablettes, les pages *Web* sont de plus en plus performants et dotés d'une capacité de traitement tout à fait incroyable. Les paramètres qui reviennent le plus souvent sur une plateforme numérique sont le système d'exploitation utilisé, la capacité de stockage, le langage de programmation utilisé et les voies de communication exploitées.

S'inspirant des ressources électroniques et numériques disponibles, la plateforme Axxas a été développée dans le cadre de ce mémoire de master. Il s'agit d'une plateforme numérique et électronique qui permet aux agriculteurs d'avoir accès à des informations relatives à l'agriculture comme la météo et les informations sur les cultures. Les données du champ (température, humidité) sont accessibles directement sur la plateforme à travers un objet connecté appelé *data sender*. Pratiquement, la plateforme Axxas est basée sur la technologie Android. Elle exploite les ressources d'un smartphone et a été développée par le logiciel Android Studio propriété de Google. Le *data sender* qui est une plateforme électronique, a été développé sous la technologie Arduino. Le *data sender* est muni d'un capteur qui mesure la température et l'humidité. Ces données sont transmises sur le *Cloud* et disponibles automatiquement sur la plateforme Axxas. Le *data sender* est également équipé de la technologie *GSM* qui lui permet d'envoyer les données sous forme de *SMS*.

L'exploitation des données disponibles sur la plateforme permet l'optimisation des cultures. L'agriculteur ayant accès aux informations sur les cultures prend en compte les paramètres recommandés pour sa culture. Les paramètres qui influencent la croissance de la culture comme la température et l'humidité qui sont immédiatement disponibles sur la

plateforme. En fonction de l'évolution de ces paramètres, l'agriculteur est amené à prendre des décisions comme démarrer ou arrêter l'arrosage du champ.

Les plateformes numériques sont évolutives, c'est le principe même de toute innovation. En ce qui concerne la plateforme Axxas, l'ajout de la fonctionnalité communication apportera certainement de la valeur ajoutée. Les agriculteurs pourront discuter sur les questions relatives à l'agriculture sur la plateforme, contacter des organismes directement via la plateforme mais aussi consulter les experts agricoles en particulier en ce qui concerne les maladies menaçant les récoltes en qualité et en quantité. Quant au *data sender*, l'autonomie, la mobilité et la commande à distance sont des paramètres à prendre en compte pour une évolution future.

Références Bibliographiques

[1] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-assolement-triennal-11272/>

[2] [3] Tobias LANSLOR, *La révolution agricole*, Éditeur Cambridge Stanford Books, Traducteur : C.S.B Équipement, section2

[4] De Jean Koge, *Les mutations de l'économie mondiale du début du XXe siècle aux années 1970*, www.editions-breal.fr, 2008

[5] <http://lelignard.canalblog.com/archives/2020/01/12/37934969.html>

[6] Henri REGNAULT, Xavier Arnauld De SARTRE, Catherine REGNAULT-ROGER. *Les révolutions agricoles en perspective – Introduction. Les révolutions agricoles en perspective*, Editions France agricole, pp.204, 2012. ffhalshs-00768291f

[7] <https://www.iaea.org/fr/themes/gestion-de-leau-en-agriculture>

[8] <https://www.hisour.com/fr/agricultural-drone-40802/>

[9] NU, La population, <https://www.un.org/fr/sections/issues-depth/population/index.html> , 15/04/2020

[10] <https://www.ouvrard.com/agriculture-connectee-fr-fr.htm>

[11] <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/tags/agriculture?hl=fr>

[12] <https://www.bfmtv.com/economie/ce-petit-robot-desherbeur-qui-seduit-les-agriculteurs-et-autres-maraichers-1635317.html>

[13] Albert TERRAS sous la direction de JEAN-LUC AZAN, *Précis de physique et électricité appliquées -- Cours- exercices corrigés 1^{er} et 2^{ème} année*, Éditions Bréal, 2003, pages 83- 87

[14] <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/6151/6151-capteur-et-chaine-dacquisition-ens.pdf>

[15]

<https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/6151/6151-capteur-et-chaine-dacquisition-ens.pdf>

[16] Léo PROVENCHER et Jean-Marie M. DUBOIS, *Précis de télédétection volume 4 --- Méthodes de photo-interprétation et d'interprétation d'image*, Québec Presses de l'Université du Québec ; Birmingham, AL, USA EBSCO Industries, Inc. 2007, pages 1 – 8

[17] <https://www.companeo.com/sauvegarde-informatique/guide/disque-dur-reseau>

[18] <https://www.ldlc.com/fr-lu/fiche/PB00238223.html#undefined>

[19] Bastien L, *Définition Data Center : qu'est-ce qu'un centre de données ?*, 12 Avril 2017, <https://www.lebigdata.fr/definition-data-center-centre-donnees> 12 Avril 2020

[20] <https://datacenter.legrand.com/index.php/fr>

[21] Bastien L, *Base de données : qu'est-ce que c'est ? Définition et présentation*, 24 Janvier 2019, <https://www.lebigdata.fr/base-de-donnees> , 14 Avril 2020

[22] [23] Hadi HASHEM, *Modélisation intégratrice du traitement BigData. Modélisation et simulation*. Université Paris-Saclay, 2016. Français. ffNNT : 2016 SACLL005ff. fftel-01378609f

[24] <https://carriere360.com/formations/oracle-12c-sauvegarde-et-restauration/>

[25] [26] <https://www.culture-informatique.net/cest-quoi-le-cloud/>

[27] site officiel de la société Openweather, <https://openweathermap.org/>

[28] Ministère des Affaires étrangères, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) et Groupe de Recherche et d'Échanges Technologiques (GRET), *Mémento de l'agronome*, Pages 1023 – 1049

[29]

<https://www.arduino.cc/search?q=arduino+Uno&tab=&domains=https%3A%2F%2Fwww.arduino.cc&sitesearch=https%3A%2F%2Fwww.arduino.cc>

[30] <https://protosupplies.com/product/esp8266-di-WiFi-with-uno-footprint/>

[31] <https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-mega-2560-12421.htm>

[32] https://www.geeetech.com/wiki/index.php/Arduino_GPRS_Shield

[33] <https://www.ezgiz.com/product/itead-stackable-sd-card-shield-v3-0-tf-card-shield-expansion-board-for-arduino/>

[34] https://wiki.seeedstudio.com/SD_Card_Shield_V3.0/

[35] <https://components101.com/sensors/dht22-pinout-specs-datasheet>

[36] [https://www.pcboard.ca/ds1302-rtc-module?search=DS 1302% 20Real% 20Time% 20Clock% 20Module](https://www.pcboard.ca/ds1302-rtc-module?search=DS%201302%20Real%20Time%20Clock%20Module)

[37] https://www.dzduino.com/index.php?route=product/product&product_id=3081

[38] <https://ram-e-shop.com/product/bb-j65/>

[39] <https://caldor.fr/cultures/tomates/>

Annexes

Annexe 1 : Les ressources utilisées pour développer l'application

Android

Android est un système d'exploitation disponible pour les smartphones, tablettes, objets connectés, téléviseurs... et même les voitures. Android appartient à Google depuis 2005 et a beaucoup évolué. La première version d'Android étant le 1.0 en septembre 2008, aujourd'hui (date d'écriture de ce mémoire) Android est à la version 10 appelée Q. Toutes ces versions ne sont pas compatibles avec tous les smartphones. Pour aider les développeurs à faire leur choix, Google publie tous les quinze jours des statistiques sur la répartition du taux d'installation de chaque version. À ce jour la version Android 5.1 (Lollipop) est compatible avec 92,3% des appareils tandis que la version Android 10 (Q) est compatible avec 8,2 % des appareils. L'application Axxas utilise la version Android 5.1.

Le système d'exploitation Android est fondé sur le noyau Linux, régulièrement mis à jour selon les versions du système. Si les premières versions d'Android utilisaient la version 2.6.x du noyau Linux, les versions actuelles (Android 8 et supérieures) sont basées sur la version 4.4 de Linux. L'architecture est constituée de 4 couches :

- La première couche est le noyau Linux. Cette première couche prend en charge la gestion des couches basses (les processus, la mémoire, la couche matérielle). En plus des couches basses elle gère les droits utilisateurs.
- La seconde couche d'Android est l'ensemble des bibliothèques principales du système : le moteur de base de données (SQLite), la gestion de l'audio et de la vidéo, la gestion de l'affichage (2D et 3D).
- La troisième couche représente les bibliothèques Java utilisées par les développeurs d'applications Android.
- Enfin la dernière couche est la couche des applications qu'elles soient installées par défaut ou téléchargées sur un magasin d'applications. [A1.1]

La **Figure A1.1** [A1.2] représente le logo d'Android qui est un robot.



Figure A.1 : Le Logo d'Android

Android Studio

Android Studio est un environnement de développement mis en place par Google. Android studio est destiné au développement d'applications mobiles. Il est basé sur IntelliJ IDEA qui est un environnement de développement intégré utilisant la technologie Java. IntelliJ IDEA permet de développer des logiciels informatiques. Android Studio utilise également Gradle qui est un moteur de production fonctionnant sur la plateforme Java. Il permet de construire des projets en Java, Scala, Groovy.

Android Studio est disponible sous Windows, Mac OS X et Linux et nécessite la présence du Java Development Kit (JDK) en version 7. La **Figure A1.2** est une image du lancement d'Android Studio.



Figure A1.2 : Image de lancement d'Android Studio

Java

Java est un langage de programmation orienté objet. Java appartient actuellement à Oracle. Le SDK (Software Development Kit) Android qui est un kit de développement informatique intègre de nombreuses bibliothèques du Java Standard :

- Des bibliothèques de structure de données
- Des bibliothèques graphiques
- Des bibliothèques mathématiques

- Des bibliothèques de mise en réseau
- Et des bibliothèques spéciales.

La **Figure A1.3** [A1.3] est une image du logo de Java qui appartient à Oracle.



Figure A1.3 : Logo de Java

Références Annexe 1 :

[A1.1] Sylvain HEBUTERNE, 2017, *Développez une application Android Programmation en Java sous Android Studio*, ISBN : 97862-409-01043-9, France, Éditions ENI, 506 pages (pages 9 à13).

[A1.2] <https://www.1min30.com/logo/logo-android-3692>

[A1.3] <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203555-java-definition/>

Annexe 2 : Caractéristiques des composants utilisés

Wemos D1 R2

Le D1 R2 est une carte de développement basée sur le ESP8266EX compatible *WiFi* sous la forme du format de carte Arduino UNO. Cette carte est compatible avec l'Arduino IDE et avec NodeMCU qui sont toutes des plateformes open source. Le Wemos est très utile pour la réalisation de projets *IOT* (Internet of things). Le **Tableau A2.1** nous renseigne sur les caractéristiques techniques du Wemos D1 R2.

Tableau A2.1 : Caractéristiques du Wemos D1 R2

CARACTÉRISTIQUES DU WEMOS D1 R2	
<ul style="list-style-type: none"> • Microcontrôleur : ESP8266EX • Tension de fonctionnement : 3,3 V • Broches d'E / S numériques : 11 (toutes les broches d'E / S ont une capacité d'interruption / <i>PWM</i> / <i>I2C</i> / un fil, sauf pour D0) • Broches d'entrée analogique : 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Mémoire flash : 4 Mo • Alimentation à découpage intégrée : <ul style="list-style-type: none"> ○ Plage de tension d'entrée : 9V à 12V ○ Sortie : 5V à 1A Max • Dimensions de la carte: 68,6 mm x 53,4 mm (2,701 "x 2,102") / longue x large • Poids : 21,8 g (0,769 oz)

[A2.1]

L'Arduino Mega

La carte Arduino Mega 2560 est basée sur un microcontrôleur ATmega2560 cadencé à 16 MHz. Elle dispose de 54 *E/S* dont 14 *PWM*, 16 analogiques et 4 *UARTs* (ports de communication). Elle est idéale pour des applications exigeant des caractéristiques plus complètes que la Uno.

Elle peut se programmer avec le logiciel Arduino. Le contrôleur ATmega2560 contient un bootloader qui permet de modifier le programme sans passer par un programmeur. Une fois le programme téléchargé, le microcontrôleur exécute indéfiniment le programme tant qu'il est sous-alimentation. [A2.2]

Le **Tableau A2.2** nous donne les caractéristiques techniques de l'Arduino Mega 2560

Tableau A2.2 : Les caractéristiques de l'Arduino Mega 2560

Les Caractéristiques de l'Arduino Mega 2560	
<ul style="list-style-type: none"> • Version: Rev. 3 • Alimentation: <ul style="list-style-type: none"> - via port <i>USB</i> ou - 7 à 12 V sur connecteur alim • Microprocesseur: ATMega2560 • Mémoire flash: 256 kB • Mémoire SRAM: 8 kB • Mémoire EEPROM: 4 kB • 54 broches d'E/S dont 14 <i>PWM</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • 16 entrées analogiques 10 bits • Intensité par E/S: 40 mA • Cadencement: 16 MHz • 3 ports série • Bus <i>I2C</i> et <i>SPI</i> • Gestion des interruptions • Fiche <i>USB B</i> • Dimensions: 107 x 53 x 15 mm

Le *GSM Shield*

Le module *GPRS Shield V3.0* est une carte d'interface compatible Arduino et permet d'envoyer et de recevoir des *SMS*, des données ou des communications vocales depuis le réseau mobile. Le module est basé sur le circuit SIM900 de la société SIMCOM. Il est contrôlé via les commandes *AT* depuis une carte Arduino ou terminaux compatibles. Le module SIM900 communique avec les terminaux à travers les ports *URAT*, les ports *Software Serial* et les ports *Hardware Serial*. Il nécessite une carte SIM (non incluse). Cette carte d'interface dispose en outre de 12 E/S, 2 sorties *PWM* et 1 *ADC*. L'antenne est intégrée. [A2.3] Le **Tableau A2.3** décrit quelques applications et les caractéristiques du *SIM900 Shield*.

Tableau A2.3 : Applications et caractéristiques du SIM900.

Applications du <i>SIM900 Shield</i>	Caractéristiques du <i>SIM900 Shield</i>
-applications M2M (machine à machine), pour transférer des données entre 2 machines - commande à distance via <i>SMS</i> - réseau sans fil ou station météo à distance - répondeur interactif en couplant le <i>GPRS</i> à un module MP3 et un décodeur DTMF - géolocalisation de véhicules en couplant le <i>GPRS</i> à un module <i>GPS</i> - alarme voiture -etc.	Alimentation: 5 <i>VCC</i> (via carte Arduino ou source externe) Quadri-bande: 850/900/1800/1900 MHz Faible consommation: 1,5 mA (en veille) Puissance: - classe 4: 2 W @850/ 900 MHz - classe 1: 1 W @ 1800/1900MHz Protocoles supportés: TCP/UDP T° de service: -40 à +85 °C Dimensions: 70 x 54 x 20 mm Référence fabricant: 113030009 (remplace 812016001)

Le *SD Shield*

Le *Shield* carte SD est une carte d'interface compatible Arduino permettant d'ajouter un espace de stockage. Il supporte les cartes *SD* et les cartes *micro-SD* (via adaptateur inclus).

Il communique avec le microcontrôleur via le bus SPI. Deux connecteurs Grove (*I2C* et *UART*) sont disponibles directement sur le *Shield*. Le **Tableau A2.4** donne les caractéristiques techniques du *SD Shield* 3.0. [A2.4]

Tableau A2.4 : Les caractéristiques techniques du *SD Shield* 3.0

Caractéristiques techniques du <i>SD Shield</i> 3.0	
<ul style="list-style-type: none"> Alimentation: 5 VCC (3,5 à 5,5 VCC) Consommation: 100 mA (200 mA maxi) 	<ul style="list-style-type: none"> Adaptateur pour micro-SD Dimensions: 69 x 54 mm

Le DHT22

Le capteur de température et d'humidité DHT22 (ou AM2302) communique avec un microcontrôleur via un port série. Le capteur est calibré et ne nécessite pas de composants supplémentaires pour pouvoir être utilisé. [A2.5]. Le **Tableau A2.5** présente les caractéristiques techniques du DHT22.

Tableau A2.5 : les caractéristiques techniques du DHT22

Caractéristiques techniques du DHT22	
Alimentation: 3,3 à 6 VCC Consommation maxi: 1,5 mA Consommation au repos: 50 μ A Plage de mesure: - température: -40 à +80 °C - humidité: 0 à 100 % RH	Précision: - température: $\pm 0,5$ °C - humidité: ± 2 % RH Dimensions: 25 x 15 x 9 mm

Le RTC DS1302

Le DS1302 est un module d'horloge précis qui contient une horloge / calendrier en temps réel et 31 octets de *RAM* statique. La communication avec le microcontrôleur hôte se fait via l'interface série-*I2C*. L'unité fournit des informations sur les secondes, les minutes, les heures, les jours, les semaines, les mois et l'année. Le fonctionnement de l'horloge est configurable entre 24 ou 12 heures avec indication *AM / PM*. Le module utilise trois fils: *RST* (réinitialisation), *DAT* (données d'E / S) et *CLK* (horloge série). Une mise à la terre (*GND*) et une alimentation (*VCC*) distinctes sont également utilisées. La consommation d'énergie du module est très faible, offrant des années d'utilisation à partir d'une seule pile CR2032. La carte

globale mesure 44 mm x 23 mm (1,8 pouce x 0,9 pouce) et nécessite une pile CR2032 (non incluse). Le module est compatible avec Arduino et Raspberry Pi. [A2.6]

Le **Tableau A2.6** décrit les caractéristiques techniques du DS1302.

Tableau A2.6 : Caractéristiques techniques du DS1302

Caractéristiques techniques du DS1302
Tension d'alimentation (généralement): 3,3 V et 5V
Plage de tension sur n'importe quelle broche (par rapport à la terre): -0,5 V à 7,0 ° C
Température de fonctionnement (commerciale): 0 ° C à + 70 ° C
Température de fonctionnement (industrielle): -40 ° C à + 85 ° C
Plage de températures de stockage: -55 ° C à + 125 ° C
Température de soudage: 260 ° C

Références Annexe 2

[A2.1] <https://www.addicore.com/D1-DevBoard-p/ad286.htm>

[A2.2] <https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-mega-2560-12421.htm>

[A2.3] <https://www.gotronic.fr/art-shield-gprs-v3-0-113030009-23076.htm>

[A2.4] https://wiki.seeedstudio.com/SD_Card_Shield_V3.0/

[A2.5] <https://www.gotronic.fr/art-capteur-de-t-et-d-humidite-dht22-20719.htm>

[A2.6] <https://www.pcboard.ca/ds1302-rtc-module?search=DS1302%20Real%20Time%20Clock%20Module>

Annexe 3 : Le brochage des différents composants et le schéma électrique

Le brochage des différents composants

Le brochage est une liaison entre deux broches qui sont reliées par un fil de connexion. Les tableaux A3.1 – A3.5 représentent les brochages des différents composants.

Tableau A3.1 : Brochage Arduino Mega et Wemos D1 R2

Arduino Méga Pin	Wemos D1 R1 2 Pin
VCC	Vin
GND	GND
Pin 1 TX	Pin RX
Pin 0 RX	Pin TX

Tableau A3.2 : Brochage DTH22 et Wemos D1 R2

Wemos D1 R1 2 Pin	DHT22 Pin
VCC	VCC
GND	GND
Pin D2	Data

Tableau A3.3 : Brochage SIM900 et Wemos D1 R2

Wemos D1 R1 2 Pin	SIM900 Pin
GND	GND
Pin D1	RXD
Pin D3	TXD

Tableau A3.4: Brochage SD SHIELD 3.0 et Wemos D1 R2

Wemos D1 R1 2 Pin	SD SHIELD 3.0 Pin
VCC	VCC
GND	GND
D5	Pin D13
D6	Pin D12
D7	Pin D11
D8	Pin D10
D2	Pin D4

Tableau A3.5 : Brochage Module *RTC* et Arduino Mega

Pin Arduino Mega	Pin <i>RTC</i>
<i>VCC</i>	<i>VCC</i>
<i>GND</i>	<i>GND</i>
Pin 6	<i>CLK</i>
Pin 7	<i>DATA</i>
Pin 8	<i>RST</i>

Le schéma électrique

Le logiciel Fritzing présente une vue schématique du montage sur plaque d'essai. La vue schématique décrit le montage électrique du *data sender*.

Certaines informations pertinentes peuvent être tirées du circuit électrique :

- Le schéma électrique de chaque composant
- Les liaisons électriques entre les composants
- Le sens de circulation du courant
- L'alimentation du circuit

Le schéma électrique permet d'appréhender la réalisation du circuit imprimé. Si le schéma électrique représente les liaisons électriques sans faire attention aux entrelacements entre les lignes électriques, le circuit imprimé à l'inverse évite que les lignes électriques se croisent si cela perturbe le fonctionnement du circuit. La **Figure A3.1** est le schéma électrique du *data sender* réalisé sur Fritzing.

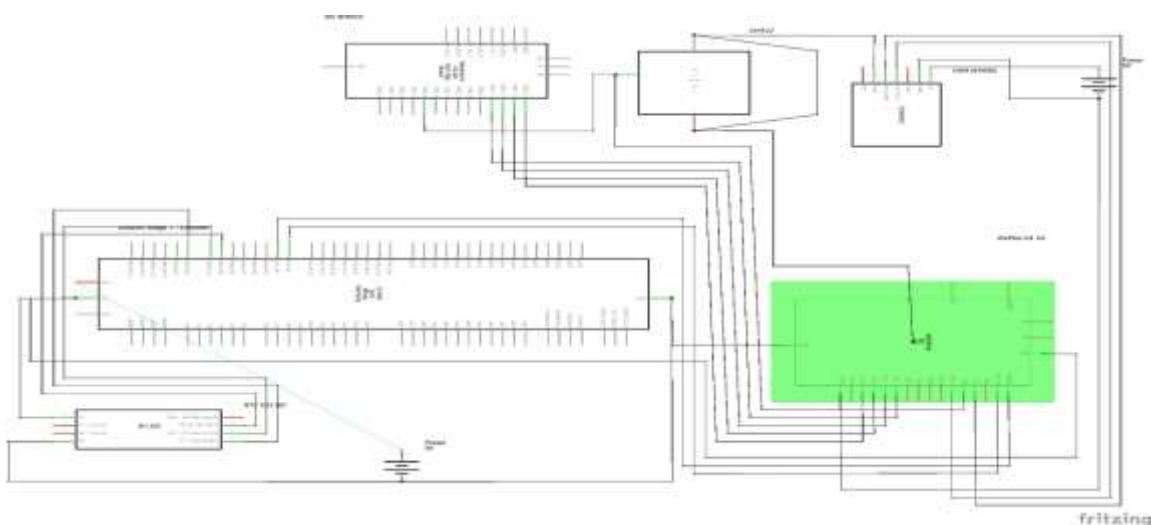


Figure A3.1 : Schéma électrique du *data sender*

Annexe 4 : Collecte et Analyse de données sur ThingSpeak

L'API

La collecte de données sur ThingSpeak se fait sous forme d'API par des canaux. Chaque canal contient 8 champs d'entrée. Les données sont accessibles et exploitables automatiquement à tout moment. La **Figure A4.1** est le canal utilisé sur ThingSpeak pour stocker les données du *data sender*.

The screenshot shows the 'Channel Settings' page for a channel named 'data_sender'. The channel ID is 1065888. The description is 'Collecter la température et l'humidité de la data sender'. There are two fields: 'Field 1' with the value 'temperature' and 'Field 2' with the value 'humidity'. Both fields have a checked checkbox next to them. The 'Percentage complete' is shown as 50%.

Figure A4.1 : le canal utilisé par le *data sender* sur ThingSpeak

La **Figure A4.2** présente les données sauvegardées par l'API.

```

"channel": {
  "id": 1065888,
  "name": "data_sender",
  "description": "Collecte temperature and humidity",
  "latitude": "0.0",
  "longitude": "0.0",
  "field1": "temperature",
  "field2": "humidity",
  "created_at": "2020-05-22T10:13:03Z",
  "updated_at": "2020-05-29T15:14:21Z",
  "last_entry_id": 908
},
"feeds": [
  {
    "created_at": "2020-05-29T12:09:06Z",
    "entry_id": 1,
    "field1": "25.10",
    "field2": "78.10"
  },
  {
    "created_at": "2020-05-29T12:10:07Z",
    "entry_id": 2,
    "field1": "25.10",
    "field2": "77.90"
  }
]

```

Figure A4.2 : Les données sauvegardées sous forme d'API sur ThingSpeak

Les graphiques Matlab

ThingSpeak utilise le programme Matlab. Ainsi en utilisant les fonctions Matlab, ThingSpeak permet de visualiser l'évolution des données en temps réel en fonction du temps.

La **Figure A4.3** présente l'évolution de la température et de l'humidité en fonction du temps.

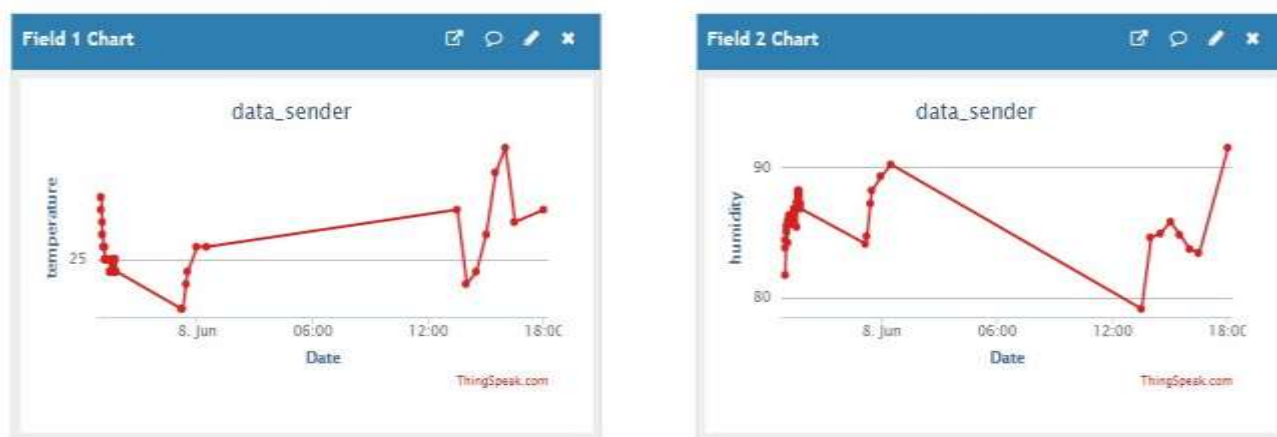
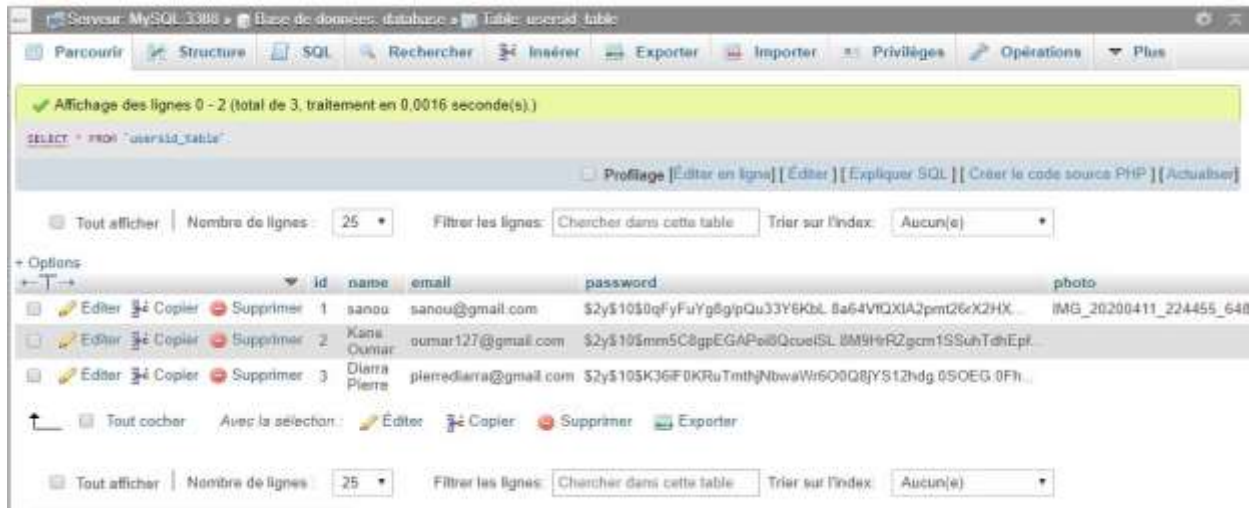


Figure A4.3: Courbes de la température et de l'humidité du *data sender* sur ThingSpeak

Annexe 5 : Les différentes tables de la base de données Axxas

La Table des utilisateurs

La table des utilisateurs contient les informations fournies par les utilisateurs à savoir le nom, l'email ou le téléphone, le mot de passe, la photo, la localisation choisie (ville), et l'identifiant *API* de la ville. Elle est représentée par la Figure A5.1.

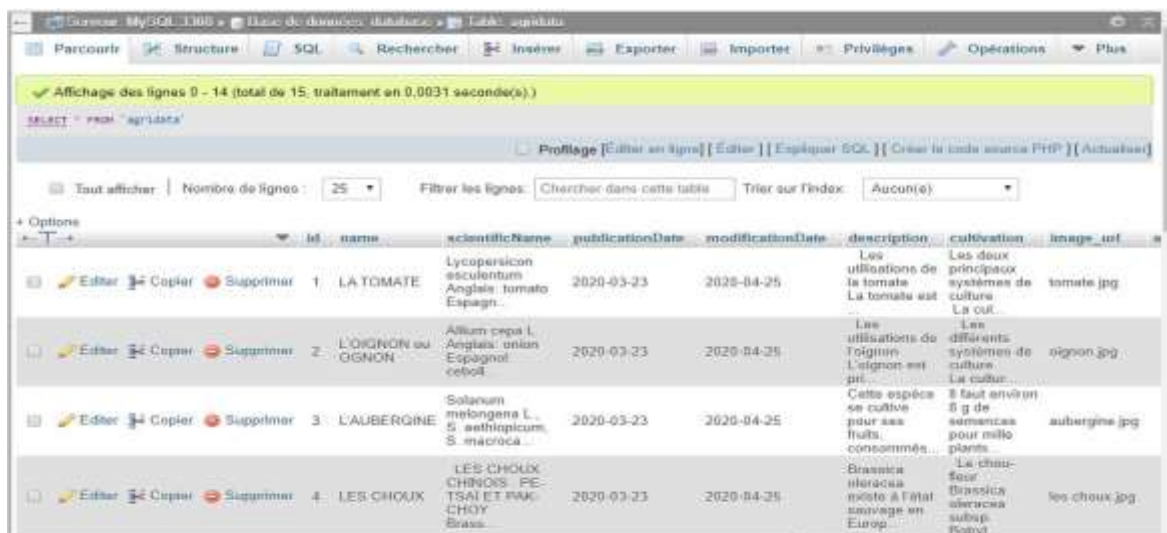


id	name	email	password	photo
1	sanou	sanou@gmail.com	\$2y\$10\$0qfYFuYg8gipQu33Y6Kbl_8a64VIXIA2pmt26xK2HX...	IMG_20200411_224455_648
2	Kana Oumar	oumar127@gmail.com	\$2y\$10\$mm5C@ppEGAPoI8QcuelSL_8M9HhRZgcm1SSuhTdhEpf...	
3	Diarra Pierre	piemediarra@gmail.com	\$2y\$10\$K36F0KRuTmihNbwaiW600Q8Ys12hdg_0SOEG_0Fh...	

Figure A5.1 : table des utilisateurs

La table des articles

Cette table fournit des informations sur le nom, le nom scientifique, la description, la culture des plantes, l'image, la date de publication, la date de modification, et l'indication article. La Figure A5.2 représente la table des articles.



id	name	scientificName	publicationDate	modificationDate	description	cultivation	image_url
1	LA TOMATE	Lycopersicon esculentum Anglais: tomato Espagnol: tomate	2020-03-23	2020-04-25	Les utilisations de la tomate La tomate est...	Les deux principaux systèmes de culture La cul...	tomate.jpg
2	L'ONION ou OIGNON	Allium cepa L. Anglais: onion Espagnol: cebolla	2020-03-23	2020-04-25	Les utilisations de l'oignon L'oignon est...	Les différents systèmes de culture La cultur...	oignon.jpg
3	L'AUBERGINE	Solanum melongena L. S. aethiopicum S. macroca...	2020-03-23	2020-04-25	Cette espèce se cultive pour ses fruits, consommés...	Il faut environ 8 g de semences pour mille plants	aubergine.jpg
4	LES CHOUX	LES CHOUX CHINOIS PE-TSAI ET FAK-CHOY Brass...	2020-03-23	2020-04-25	Brassica oleracea var capitata existe à l'état sauvage en Europ...	Le chou-fleur Brassica oleracea subsp. botrytis	les choux.jpg

Figure A5.2 : la table des articles

La table Météo

La table Météo fournit les informations sur l'identifiant *API* de la ville, le nom de la ville, le pays, la longitude, et la latitude. Elle est représentée par la **Figure A5.3**.

The screenshot shows a MySQL database interface with the 'Météo' table displayed. The table has 13 rows of data. The columns are 'id', 'city', 'country', 'code', 'lon', and 'lat'. The data is as follows:

id	city	country	code	lon	lat
1	Mostaganem	DZ	2487138	0.00018	35.931149
2	Tlemcen	DZ	2475607	-1.215	34.87033
3	Ouargla	DZ	2485801	5.32502	31.94932
4	Tizi Ouzou	DZ	2475744	-4.94991	36.711019
5	Algiers	DZ	2507460	3.04197	36.752499
6	Constantine	DZ	2501152	8.51472	35.365002
7	Tamarrasset	DZ	2478216	5.52278	22.786
8	Saïd	DZ	2481700	5.41373	36.19112
9	Tiaret	DZ	2476897	1.31099	35.371028
10	Oran	DZ	2485520	0.5	35.666672
11	Bobo Dioulasso	BF	2362344	-4.2979	11.17715
12	Ouagadougou	BF	2357040	-1.57034	12.36423
13	Dou	BF	2361082	-0.0348	14.0364

Figure A5.3 : la table Météo