

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION
AND SCIENTIFIC RESEARCH

HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
École Supérieure en
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur

Filière : Automatique
Spécialité : Automatique

Présenté par: M. SOUIER Bidjad et M. REHAIL Aymen

Thème

**Systeme Embarqué pour l'Arrosage
Automatique : Optimisation et Gestion
Intelligente**

Soutenu publiquement, le 02 / 07 /2024 , devant le jury composé de :

Dr. BRAHAMI Mustapha	MCA	ESSA. Tlemcen	Président
Dr. MEGNAFI Hicham	MCA	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
Dr. CHELLAL Arezki-Abderrahim	Docteur	CeDRI/IPB - Bragança – Portugal	Co- Directeur de mémoire
Dr. MOKHTARI Reda	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
Dr. ARICHI Faycel	MCA	ESSA. Tlemcen	Examineur 2
Dr. MIMOUNI Fayza	MCA	ESSA. Tlemcen	CATI

Année universitaire : 2023 /2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Système Embarqué pour l'Arrosage Automatique : Optimisation et Gestion Intelligente

SOUIER Bidjad

REHAIL Aymen

**École Supérieure en Sciences Appliquées de Tlemcen
Ingénieur en Automatique, Spécialité : Automatique**

2023 - 2024

Dédicace

À nos chers parents,

Votre soutien inconditionnel, vos conseils avisés et votre amour sans faille ont été nos piliers tout au long de ce parcours académique. Votre confiance en nous nous a donné la force d'aller de l'avant et de surmonter les défis. Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait et pour avoir rendu possible la réalisation de cette thèse.

À nos frères bien-aimés,

À travers les rires partagés, les encouragements constants et les moments précieux que nous avons vécus ensemble, vous avez été une source inépuisable de soutien. Votre présence et vos encouragements ont été des inspirations constantes. Merci pour votre soutien indéfectible et pour avoir été à nos côtés dans ce chemin vers l'accomplissement de nos objectifs académiques.

À nos amis,

Votre amitié sincère, vos mots d'encouragement et votre soutien inébranlable ont illuminé chaque étape de ce voyage académique. À travers les discussions enrichissantes et les moments de détente partagés, vous avez été une source de motivation et de réconfort. Merci pour votre présence constante et pour avoir enrichi cette expérience avec vos idées et votre enthousiasme.

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Allah, le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

La première personne que nous tenons à remercier infiniment est notre encadreur, **M. MEGNAFI Hicham**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcen, pour tous ses efforts, son aide constante, et la confiance qu'il nous accorde au quotidien. Sans lui, ce travail n'aurait pas pu être mené à bien. Il a toujours été présent pour nous prodiguer de bons conseils. Votre bonne humeur est une source de motivation indéniable, et travailler avec vous a été un réel plaisir.

Nos vifs remerciements vont également à **M. BRAHAMI Mustapha**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcen, pour avoir bien voulu accepter de présider le jury. Nous remercions également les membres du jury, **M. ARRICHI Fayssal**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcen, **M. Mokhatari Reda**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcenet et **Mme.MIMOUNI.F**, Maître de conférences classe A à l'ESSA Tlemcenet pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre étude, pour avoir accepté d'examiner notre travail, et pour l'avoir enrichi de leurs propositions.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à notre co-encadrant **M. CHELLAL Arezki Abderrahim**, Chercheur au CeDRI (Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics) et doctorant à l'UTAD, pour les efforts considérables qu'il a fournis et pour sa disponibilité constante à nous prodiguer des conseils avisés. Son soutien et son expertise ont été inestimables tout au long de ce projet.

Nous tenons également à remercier **M. ADJIM Ramzeeddine**, ingénieur en génie mécanique pour tous les conseils prodigués et pour toutes les propositions mécaniques apportées. Sans son expertise, nous aurions été confrontés à de nombreux problèmes. Son soutien technique a été essentiel pour la réussite de notre projet.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Mme **OUHOUD Amina**, Maître de conférences classe B à l'ESSA Tlemcenet pour son sou-

tien inébranlable, ses conseils avisés et son encouragement constant tout au long de ce projet. Ses efforts dévoués et son expertise ont été d'une valeur inestimable, nous guidant avec précision à chaque étape. Nous sommes reconnaissants pour sa patience et sa disponibilité, qui ont grandement enrichi notre expérience et ont contribué significativement à la réussite de ce travail.

Enfin, nous adressons nos remerciements à tous nos amis et camarades de la promotion Automatique : 2021-2024, qui nous ont apporté leur soutien tout au long de notre cursus.

Résumé

Assurer une nutrition adéquate pour la population nécessite le développement du secteur agricole. La croissance démographique et la mauvaise gestion des ressources ont augmenté la demande en eau, une ressource stratégique menacée par le changement climatique. Une utilisation excessive de sels minéraux peut aussi nuire aux récoltes, soulignant la nécessité de leur gestion prudente. Le projet présenté vise à automatiser l'arrosage des plantes, en analysant la teneur en eau du sol et la température ambiante, tout en gérant l'utilisation des sels pour optimiser les ressources agricoles. L'étude est structurée en trois chapitres. Le premier chapitre traite des systèmes d'irrigation existants, exposant leurs avantages et inconvénients. Le deuxième chapitre se concentre sur la conception du système d'irrigation automatisé, incluant la collecte des données, la gestion des nutriments et la conception mécanique et logicielle. Le troisième chapitre décrit la mise en œuvre pratique, les technologies utilisées, les composants du prototype et son intégration dans une zone agricole réelle. Ce système embarqué utilise Arduino MEGA comme un microcontrôleur et emploie un ensemble des capteurs et actionneurs pour préparer l'eau avec les sels.

Mots clés : système d'arrosage, système embarqué, sels, captures.

Abstract

Ensuring adequate nutrition for the population requires the development of the agricultural sector. Population growth and poor resource management have increased demand for water, a strategic resource threatened by climate change. Excessive use of mineral salts can also harm harvests, underlining the need for their careful management. The project presented aims to automate plant watering by analyzing soil water content and ambient temperature, while managing the use of salts to optimize agricultural resources. The study is divided into three chapters. The first chapter deals with existing irrigation systems, outlining their advantages and disadvantages. The second chapter focuses on the design of the automated irrigation system, including data collection, nutrient management and mechanical and software design. The third chapter describes the practical implementation, the technologies used, the components of the prototype and its integration in a real agricultural area. This embedded system uses Arduino mega as a micro controller and uses a set of sensors and actuators to prepare water with its.

Keywords: watering system, on-board system, salts, captures.

الملخص

يتطلب ضمان التغذية الكافية للسكان تطوير القطاع الزراعي. وقد أدى النمو السكاني وسوء إدارة الموارد إلى زيادة الطلب على المياه، وهو مورد استراتيجي مهدد بتغير المناخ. كما يمكن أن يؤدي الاستخدام المفرط للأملح المعدنية إلى الإضرار بالمحاصيل، مما يؤكد الحاجة إلى إدارتها بعناية. يهدف المشروع المقدم إلى أتمتة سقي النباتات عن طريق تحليل محتوى المياه في التربة ودرجة الحرارة المحيطة. مع إدارة استخدام الأملاح لتحسين الموارد الزراعية. تنقسم الدراسة إلى ثلاثة فصول. يتناول الفصل الأول أنظمة الري الحالية، ويوضح مزاياها وعيوبها. ويركز الفصل الثاني على تصميم نظام الري الآلي، بما في ذلك جمع البيانات، وإدارة المغذيات، والتصميم الميكانيكي، والبرمجة. ويصف الفصل الثالث التنفيذ العملي، والتقنيات المستخدمة، ومكونات النموذج الأولي ودمجه في منطقة زراعية حقيقية.

الكلمات المفتاحية: نظام الري، نظام المدمج، الأملاح، الحساسات.

Table des matières

Introduction générale	1
1 État De L'art	3
1.1 Introduction	3
1.2 L'irrigation	3
1.3 Méthodes d'irrigation	4
1.3.1 L'irrigation de surface	4
1.3.2 L'irrigation par goutte à goutte	7
1.3.3 L'irrigation par aspersion	9
1.4 Les sels minéraux et L'agriculture	10
1.5 Automatisation de l'arrosage	11
1.5.1 Analyse des systèmes d'irrigation préexistants	11
1.6 Conclusion	15
2 Conception du système	17
2.1 Introduction	17
2.2 Collecte des données	17
2.2.1 Définition des engrais	19
2.2.2 L'utilisation des engrais	20
2.3 Conception de la partie mécanique	20
2.3.1 Description du système	20
2.3.2 Réservoirs	22
2.3.3 Support des réservoirs	22
2.3.4 Régulateur de débit	23
2.3.5 Entonnoir	25
2.3.6 Régulateur de poids	26
2.3.7 Électrovanne proposé	27
2.3.8 Support du deuxième étage	28
2.4 Logiciels	29
2.4.1 SolidWorks	29
2.4.2 Qt designer et Pycharm	31

2.5	Modes de fonctionnement	32
2.6	Conclusion	41
3	Réalisation du système	43
3.1	Introduction	43
3.2	Imprimante 3D	43
3.3	Machine de découpe laser	45
3.4	Les composants utilisés dans le prototype	48
3.4.1	Servomoteur MG996R	48
3.4.2	Électrovanne	50
3.4.3	Débitmètre	51
3.4.4	Pompe bruchless	52
3.4.5	Moteur 5840-31zy	53
3.4.6	Capteur de niveau E18-D80NK	55
3.4.7	Alimentation AS1225	55
3.4.8	Shield Pilote i2c PCA9685	56
3.4.9	Capteur de poids	57
3.4.10	Arduino Mega	58
3.5	Prototype	59
3.5.1	Intégration du produit dans une zone agricole	60
3.6	Conclusion	61
	Conclusion générale	63
A	Vues Techniques des différentes pièces	65

Table des figures

1.1	Irrigation de surface [1]	4
1.2	Irrigation par bassin	5
1.3	Planche d'irrigation [3]	5
1.4	Irrigation a la rai	6
1.5	Irrigation goutte à goutte [3]	8
1.6	Irrigation par aspersion [6]	9
1.7	Système proposé par Amir, S. [1]	12
1.8	Système d'arrosage automatique basé sur des capteurs d'humidité et de température proposé par Megnafi et al. [5]	13
1.9	Système d'arrosage intelligent propose par A.salhi et al[3]	14
2.1	Conception du système vue de droite	21
2.2	Conception du système vue de gauche	22
2.3	Réservoirs créés	23
2.4	Réservoirs utilisés	23
2.5	Support des réservoirs	24
2.6	Troisième pièce	25
2.7	Grand entonnoir	26
2.8	Régulateur de poids	27
2.9	Servovanne proposé	28
2.10	Support de deuxième étage	29
2.11	Support de fixation du servomoteur avec le robinet	30
2.12	Étage qui fixe les réservoirs	30
2.13	Logiciel Qt Designer	32
2.14	Logiciel Pycharm	32
2.15	Organigramme de l'interface	33
2.16	Mode test. (a) Interface graphique du mode test (b) Organigramme du mode	34
2.17	Mode visualisation	35
2.18	Organigramme du mode manuel Partie des engrais	36
2.19	Organigramme du mode manuel Partie des sels liquides	37

2.20	Organigramme du mode manuel Partie du mélangeur	38
2.21	Organigramme du mode manuel Partie du réservoir	39
2.22	L'interface du mode manuel	39
2.23	Mode Iot. (a) Interface du mode IoT (b) Organigramme du mode IoT	40
3.1	Impression. (a) Grand entonnoir (b) Piece cylindrique	44
3.2	Impression des support des servomoteurs	45
3.3	Machine de découpe laser	46
3.4	Interface de Logiciel RDworksV8	47
3.5	Découpe d'un piece de plexi glace	48
3.6	Servomoteur MG996R	50
3.7	Électrovanne	51
3.8	Débitmètre	52
3.9	Brushless DC pump	53
3.10	Moteur 5840-31zy	54
3.11	Capteur de de proximité E18-D80NK	55
3.12	Shield PCA9684	57
3.13	Capteur de poids	58
3.14	Arduino Mega [22]	59
3.15	Prototype final du système	60
3.16	Intégration des d'efférentes parties du produits	61

Listes des abréviations

IoT	Internet des objets
LCD	Affichage à Cristaux Liquides
NO_3^-	Le Nitrate
NH_4^+	L'ion Ammonium
CO_2	Dioxyde de Carbone
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
pH	potentiel Hydrogène
I2C	Circuit Inter-Intégré
PWM	Modulation de largeur d'impulsion
UART	Émetteur-Récepteur Asynchrone Universe
IDE	Environnement de Développement Intégré
DC	Courent Direct
GUI	Interface Utilisateur Graphique
CNC	Commande Numérique par ordinateur
NPK	Nitrogen, Phosphorus et Potassium
SSID	Identifiant de Jeu de Services
Wi-Fi	Fidélité sans Fil (Wireless Fidelity)
3D	Trois Dimension
DXF	Format d'Échange de Dessins
AI	Intelligence Artificiel
SVG	Graphiques vectoriels escalables
SRAM	Mémoire Vive à Accès Aléatoire Statique
EEPROM	Mémoire Mrte Programmable

Introduction général

L'un des défis majeurs pour tout pays est d'assurer la nutrition adéquate de sa population, ce qui implique inévitablement la nécessité de développer son secteur agricole.

La croissance de la population, l'intensification des activités humaines et une mauvaise gestion dans divers secteurs, notamment l'industrie et l'agriculture, ont considérablement accru la demande en eau pure, soulignant à nouveau l'importance cruciale de cette ressource stratégique. Cependant, cette surexploitation a des répercussions coûteuses, car l'eau et le changement climatique sont régulièrement cités parmi les crises les plus sérieuses que l'humanité devra affronter dans les prochaines décennies. La question de l'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure pour tous les pays du bassin méditerranéen, y compris l'Algérie, ce qui souligne l'urgence de sa préservation.

D'un autre côté, une utilisation excessive de sels minéraux destinés aux plantes peut conduire à des pertes de récoltes ou à une utilisation inefficace des ressources agricoles disponibles, étant donné leur rareté et leur coût élevé. Il est donc essentiel de les utiliser de manière prudente pour assurer la qualité et la quantité optimales des cultures. Notre projet vise à répondre à ces deux principaux problèmes.

Le produit que nous avons développé vise à automatiser l'arrosage des plantes, et il est conçu pour s'adapter à une utilisation dans divers environnements, il sera capable d'analyser à la fois la teneur en eau du sol et la température ambiante afin de fournir à chaque plante la quantité d'eau appropriée, de plus, elle gère l'utilisation des sels en se basant sur une programmation établie à partir d'études menées sur différentes cultures, afin d'optimiser l'utilisation des ressources.

Notre étude est organisée en trois chapitres distinctes. Le premier chapitre c'est L'état de l'art, il aborde de manière générale les systèmes d'irrigation, exposant les diverses techniques disponibles ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Le deuxième chapitre, "Conception du système", se concentre sur le dé-

veloppement et la planification technique de notre solution d'irrigation automatisée. Il débute par une introduction à la collecte des données nécessaires pour concevoir un système efficace. Cette section comprend la définition des engrais et leur utilisation optimale, car une gestion précise des nutriments est cruciale pour éviter le gaspillage et assurer une croissance saine des plantes.

Ensuite, nous détaillons la conception mécanique du système, décrivant chaque composant essentiel, comme les réservoirs, les supports, les régulateurs de débit, les entonnoirs, les régulateurs de poids et les électrovannes. Chaque sous-section explique les choix de conception et leur importance pour le bon fonctionnement du système global. La section sur les logiciels aborde les programmes et algorithmes utilisés pour automatiser et contrôler le système, assurant une irrigation et une fertilisation précises en fonction des besoins spécifiques des cultures.

Enfin, le chapitre discute des différents modes de fonctionnement du système, illustrant comment il peut être ajusté pour diverses conditions environnementales et types de cultures. La conclusion résume les points clés abordés et prépare le lecteur pour la réalisation pratique du projet.

Le troisième chapitre, "Réalisation du système", décrit la mise en œuvre pratique de notre conception. Après une introduction sur les méthodes et techniques utilisées, nous présentons les outils et technologies impliqués, comme l'impression 3D et la découpe laser, qui ont permis de fabriquer les pièces spécifiques du système.

Nous passons ensuite en revue les composants utilisés dans le prototype, incluant des détails techniques sur chaque élément, comme le servomoteur MG996R, l'électrovanne, le débitmètre, la pompe brushless, le moteur 5840-31zy, le capteur de niveau E18-D80NK, l'alimentation AS1225, le shield pilote I2C PCA9685, le capteur de poids et l'Arduino Mega. Chaque composant est choisi pour sa capacité à améliorer la précision et l'efficacité du système.

Le prototype final est ensuite présenté, avec des explications sur son intégration dans une zone agricole réelle. Cette section explore les défis pratiques rencontrés lors de la mise en œuvre et les solutions apportées pour assurer une performance optimale sur le terrain.

En conclusion, ce chapitre synthétise les étapes de réalisation et évalue l'efficacité du système, offrant des perspectives pour de futures améliorations et adaptations.

Chapitre 1

État De L'art

1.1 Introduction

L'eau est essentielle à la survie de toute forme de vie, y compris les organismes. Ainsi, garantir un approvisionnement suffisant en eau est crucial pour favoriser la croissance des plantes et soutenir le développement durable agricole. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation devient nécessaire pour répondre aux besoins des cultures. Ce processus implique le transfert d'eau depuis des sources telles que les puits ou les rivières vers les plantes cultivées. Dans les zones agricoles, diverses méthodes d'irrigation sont employées, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. De plus, ces méthodes sont adaptées aux conditions spécifiques de chaque site. Ce chapitre mettra en évidence l'importance critique de l'irrigation en agriculture et présentera brièvement les différentes méthodes d'irrigation, en examinant leurs avantages et leurs inconvénients.

1.2 L'irrigation

L'irrigation, dont les débuts remontent aux civilisations égyptiennes [1], continue d'évoluer en tant que pratique agricole. Elle est souvent utilisée en complément des pluies naturelles pour accroître les rendements et prolonger la saison de croissance. Malgré sa popularité, de nombreux systèmes d'irrigation restent traditionnels, comme l'irrigation gravitaire ou par submersion, ce qui limite leur efficacité. Par conséquent, il est essentiel de développer des méthodes d'irrigation plus efficaces pour minimiser les pertes d'eau et optimiser l'utilisation des ressources hydriques en agriculture.

1.3 Méthodes d'irrigation

On générale il existe deux type d'irrigation, une irrigation naturelle qui consiste à fournir de l'eau au sol agricole sans nécessiter une intervention directe de l'homme. Cette approche s'appuie sur des sources naturelles telles que la pluie, les inondations ou la présence de terres cultivables à proximité des cours d'eau. Irrigation artificielle et ce mode d'irrigation implique l'intervention humaine, puisque c'est l'homme qui assure le processus d'approvisionnement en eau du sol et d'irrigation.

Les techniques d'irrigation englobent une gamme de méthodes utilisées pour fournir de l'eau aux cultures. Elles peuvent être classées en différentes catégories en fonction de la manière dont l'eau est distribuée aux plantes. Voici quelques-unes des méthodes d'irrigation les plus couramment utilisées, chaque méthode présente ses avantages et ses inconvénients, et le choix de la méthode appropriée dépendra des caractéristiques spécifiques de chaque exploitation agricole, telles que le type de culture, le climat, la disponibilité de l'eau et le type de sol.

1.3.1 L'irrigation de surface

Ce terme désigne toutes les méthodes d'irrigation où l'eau est distribuée à la parcelle uniquement par écoulement à la surface du sol, sans confinement. La distribution de l'eau dépend de la configuration du terrain et des caractéristiques hydriques du sol, notamment le ruissellement, l'infiltration et la capillarité comme la figure 1.1 montre un exemple d'irrigation de surface.



FIGURE 1.1 – Irrigation de surface [1]

Parmi ces méthodes, ci-dessous, nous citerons les plus utilisées :

- Irrigation par bassin : Les bassins sont formés par des cuvettes en terre , entourées des diguettes de faible hauteur ou de levées. Ces levées

sont conçues pour empêcher l'eau de s'écouler vers les champs voisins. Cette méthode est principalement utilisée pour irriguer les rizières sur terrain plat ou les terrasses en pente. Elle est également employée pour irriguer les arbres fruitiers, où une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre. Généralement, cette technique d'irrigation est adaptée à toutes les cultures capables de supporter une immersion prolongée dans l'eau [2]. La Figure 1.2 présente un exemple d'irrigation par bassin



FIGURE 1.2 – Irrigation par bassin

- Irrigation par planches : Les planches sont des parcelles de terrain aménagées avec une légère pente et séparées par des diguettes. La figure 1.3 montre un exemple de l'irrigation par planche.



FIGURE 1.3 – Planche d'irrigation [3]

- Irrigation par sillons ou a la raie : Les sillons sont de petites rigoles creusées dans le sol, disposées dans le sens de la pente du terrain afin de faciliter le transport de l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltré dans le sol principalement par les côtés du sillon tout au long de son cheminement dans la direction de la pente du terrain. En règle générale, les plantes sont cultivées sur les billons qui séparent les sillons. Cette méthode est adaptée à l'irrigation de toutes les cultures en lignes, ainsi qu'à celles qui ne supportent pas d'être immergées sous l'eau pendant une longue période (par exemple, de 12 à 24 heures), notamment en raison des risques pour leur feuillage ou leur collet. Les sillons sont alimentés en eau par des prises aménagées le long des berges du canal d'approvisionnement. Ces prises peuvent être des ouvertures simples sur les berges, des siphons ou encore des tuyaux d'alimentation traversant la berge du canal [4]. La figure 1.4 offre un exemple sur l'irrigation a la raie.



FIGURE 1.4 – Irrigation a la raie

Avantages de l'irrigation de surface

- Installation et fonctionnement économiques ;
- Irrigation simplifiée, reposant sur la submersion des plantes dans l'eau ;

- Nécessite peu d'équipements ou de dispositifs pour le processus d'irrigation.

Inconvénients de l'irrigation de surface

- Pendant l'irrigation, des volumes considérables d'eau sont gaspillés.
- Il favorise l'érosion des sols ;
- Il entraîne la sinisation des sols ;
- L'efficacité de l'irrigation est limitée, ne se situant généralement qu'entre 30

1.3.2 L'irrigation par goutte à goutte

Cette technique implique l'application d'eau sous forme de gouttes à la surface du sol, à un débit faible (2 à 20 litres par heure). L'eau est acheminée à travers des tuyaux en plastique équipés de petits orifices appelés goutteurs (ou émetteurs). Elle est délivrée directement à proximité des racines des plantes, limitant ainsi l'humidification à la zone racinaire du sol [5]. Cette méthode permet une utilisation plus efficace de l'eau par rapport à l'irrigation de surface ou par aspersion, où l'eau humidifie l'ensemble du sous-sol des cultures. Avec l'irrigation par goutte à goutte, la fréquence des arrosages est généralement plus élevée qu'avec d'autres méthodes (généralement toutes les 1 à 3 jours), ce qui maintient un niveau d'humidité élevé dans le sol, favorable à la croissance des cultures, la figure 1.5 montre un exemple de cette méthode. Comme l'irrigation de surface il existe plusieurs méthodes utilisées dans l'irrigation goutte à goutte, parmi ses méthodes on trouve

- Système souterrains : c'est l'un des systèmes où les conduites, sur lesquelles sont installés les émetteurs d'eau ou les tubes de distribution, sont enfouis sous la surface du sol. Ces émetteurs peuvent être utilisés pour l'irrigation des cultures sous serre ainsi que pour certains arbres fruitiers. Les systèmes d'irrigation goutte à goutte souterrains se distinguent par leur capacité à réduire les pertes dues à l'évaporation et à maintenir une température plus basse des conduites et des émetteurs, car ils ne sont pas exposés directement au soleil. Cela favorise une humidification efficace du sol tout en réduisant les risques liés aux nuisibles tels que les rongeurs et les interventions humaines. De plus, la facilité d'installation des lignes en début de saison et leur déplacement à la fin de la saison agricole constituent un avantage supplémentaire des systèmes souterrains. Le principal inconvénient de ce type de système réside dans les risques de blocage dus aux particules



FIGURE 1.5 – Irrigation goutte à goutte [3]

de sol ou aux racines des plantes, mais ce problème peut être partiellement surmonté.

- Système de surface : Il s'agit d'un des systèmes où des lignes de goutteurs sont disposées à la surface du sol et sont employées dans des plantes éloignées comme les arbres fruitiers. Ces systèmes présentent une particularité. L'installation, l'inspection, l'entretien et la désinfection des goutteurs sont simples. En outre, grâce à ce système, nous pouvons observer la création d'humidité sur la surface du sol et évaluer les niveaux d'accès des goutteurs.

Avantages de l'irrigation par goutte à goutte :

- Adapté aux zones désertiques sablonneuses et ne nécessite pas de nivellement.
- Assurer la disponibilité de l'eau d'irrigation et éviter de perdre de grandes quantités ;
- Utilisation d'une faible quantité d'eau (comparativement à l'irrigation en surface) ;
- Le taux de production le plus élevé s'élève à 86% ;
- On observe une augmentation de l'efficacité de l'utilisation des engrais ;
- Assurez-vous de préserver l'environnement en évitant de laver les engrais et de ne pas les évacuer vers les cours d'eau ;

- Adapté à la plupart des légumes, fruits et grandes cultures, isolées les unes des autres, à distance.

Inconvénients de l'irrigation par goutte à goutte

- Les frais élevés liés au réseau d'irrigation ;
- Le problème fréquent de blocage des goutteurs ;
- Il faut des techniciens compétents.

1.3.3 L'irrigation par aspersion

Cette technique implique de verser de l'eau en gouttelettes fines au-dessus des cultures en utilisant des tuyaux et des buses. On lance l'eau dans l'air et elle tombe sur les plantes, créant ainsi une illusion de pluie. L'irrigation par aspersion facilite la répartition. Une distribution homogène de l'eau sur une vaste surface et adaptée à différentes cultures. La figure 1.6 montre un exemple sur l'irrigation par aspersion fixe. Parmi les types d'irrigation par



FIGURE 1.6 – Irrigation par aspersion [6]

aspersion

- Irrigation par aspersion fixe : En utilisant des asperseurs fixes, on réalise l'irrigation par aspersion fixe en installant des réseaux de distribution et d'irrigation ; Le système est conçu en fonction des dimensions nécessaires ;

Une fois que le système est installé, il est impossible de le déplacer. Les asperseurs sont placés en fonction du besoin en eau et de la nature des cultures.

- Irrigation par aspersion mobile : Dans cette méthode, les canalisations sur lesquelles les asperseurs sont fixés sont flexible. Les cultures reçoivent alors une légère pluie artificielle. Grâce à un système mobile, il est possible de fournir de l'eau à une surface agricole plus étendue avec une installation plutôt modeste

Avantages de l'irrigation par aspersion

- Adapté aux sols sablonneux du désert très-perméable qui perdent rapidement de l'eau ;
- Il entraîne une abondance dans le sol où il n'a pas besoin de canaux ;
- Le terrain n'a pas besoin d'être nivelé ;
- La déformation du sol n'a pas lieu pendant son utilisation ;
- Cela n'exige pas un grand nombre de travailleurs ;
- Il est possible d'ajouter de l'eau et des engrais par irrigation ;
- Idéal pour l'utilisation de puits artésiens pour l'irrigation ;
- Il apporte de nombreuses quantités d'eau.

Inconvénients de l'irrigation par aspersion :

- Coûts considérables du système d'irrigation ;
- Cela requiert des employés ayant une grande expérience dans l'exploitation et la maintenance des systèmes ;
- Quantité de sels présents à la surface de la Terre.

1.4 Les sels minéraux et L'agriculture

Les sels minéraux revêtent une importance capitale dans le domaine agricole, étant donné leur rôle indispensable en tant que nutriments essentiels favorisant la croissance des plantes. Ces éléments, parmi lesquels figurent le calcium, le potassium et le phosphore, interviennent dans divers processus biologiques tels que le développement des racines, la floraison et la fructification, ainsi que la résistance aux maladies. Les agriculteurs recourent souvent à l'utilisation d'engrais minéraux afin de fournir ces nutriments aux cultures, en adaptant les quantités en fonction des besoins spécifiques de chaque plante et des caractéristiques du sol. Néanmoins, une utilisation excessive d'engrais peut conduire à une contamination des sols et des nappes phréatiques, mettant en lumière l'importance d'une gestion équilibrée des sels minéraux dans

l'agriculture pour garantir la durabilité environnementale à long terme, et pour atteindre cet objectif, comme il est mentionné dans la section 1.3 dans le type de sol est un facteur crucial à considérer.

1.5 Automatisation de l'arrosage

Outre le gaspillage d'eau et de sels minéraux observé dans la plupart des méthodes d'irrigation, en raison de l'imprécision de la fertilisation et du non-respect des besoins spécifiques des plantes et des sols en terme d'eau et d'engrais. Les deux tâches les plus importantes en agriculture sont l'observation des phénomènes et la surveillance continue. Les agriculteurs doivent être présents la plupart du temps pour examiner les plantes, évaluer leur développement, et vérifier la teneur en eau et en sels minéraux du sol et des plantes afin d'agir de manière appropriée par la suite. Cependant, cette estimation est souvent inexacte car l'observation n'est pas une science exacte, nécessitant des efforts supplémentaires et le recrutement de main-d'œuvre supplémentaire. Cela entraîne des pertes financières, de temps et un travail physique pénible pour obtenir des résultats satisfaisants.

Dans tous les domaines, la technologie est conçue pour simplifier nos tâches quotidiennes, nous permettant ainsi de gagner du temps, d'économiser de l'argent et des efforts. En agriculture, l'utilisation de l'irrigation automatique illustre parfaitement cette notion. Cette technologie permet d'optimiser l'utilisation des ressources en investissant dans le temps, l'eau et des engrais, ce qui se traduit par des économies financières d'une part et une amélioration des résultats en terme de qualité, grâce à sa grande précision.

1.5.1 Analyse des systèmes d'irrigation préexistants

Différentes équipes ont déjà envisagé l'automatisation des systèmes d'arrosage, dans cette partie du chapitre nous ferons référence à quelques projets préexistants dans ce domaine.

On peut citer [1], où il a été proposé un système d'arrosage basé sur la collecte d'informations à partir de capteurs installés sur le terrain. Ces capteurs mesurent des paramètres tels que la température, le pH et l'humidité du sol, qui sont ensuite transmis à une unité centrale de contrôle via des modules sans fil Zigbee. L'unité centrale de contrôle traite ces informations et peut déclencher des alarmes, telles que l'utilisation d'un buzzer, en cas de détection de conditions anormales. De plus, un écran à Affichage à Cristaux Liquides (LCD) est utilisé pour afficher les valeurs des paramètres du système. Le système est alimenté par un boîtier d'alimentation qui fournit

de l'énergie à tous les dispositifs électroniques impliqués. Un prototype du système proposé est offert dans la figure 1.7.



FIGURE 1.7 – Système proposé par Amir, S. [1]

On peut aussi cité [5], où il a été proposé un système d'arrosage pour les pépinières avec trois modes de fonctionnement, le premier est le mode d'initialisation, le deuxième est le mode automatique où le système surveille constamment et simultanément la température et l'humidité du sol pour chaque capteur. Lorsque l'une des valeurs de l'un des trois capteurs d'humidité atteint le seuil critique, le microcontrôleur active l'électrovanne correspondante. Après un certain temps, le programme vérifie à nouveau la valeur d'humidité du sol. Si elle atteint un niveau satisfaisant, le microcontrôleur désactive l'électrovanne ; sinon, il la maintient activée et entre dans une boucle. le troisième mode est le mode manuel, ce mode offre à l'utilisateur la possibilité d'arroser manuellement et aisément un groupe de plantes, même si ce mode a été désactivé auparavant dans le mode d'initialisation. Le bouton associé à ce mode est connecté au microcontrôleur 18f452 via une entrée permettant une interruption (RB0/INT0). Cela permet d'interrompre le programme à tout moment et de passer au mode manuel. Pour revenir au mode

précédent, il suffit simplement d'appuyer à nouveau sur le même bouton. La figure 1.8 résume le processus de suivi des différentes actions entreprises par le microcontrôleur pour un nombre des plants



FIGURE 1.8 – Système d'arrosage automatique basé sur des capteurs d'humidité et de température proposé par Megnafi et al. [5]

Une nouvelle génération a été proposée, comme dans [3] où il a intégré l'IoT dans le système, il a proposé un système basé sur une carte Arduino connectée à certains capteurs et actionneurs qui sont contrôlés à distance par un système intelligent basé sur une carte esp et un téléphone intelligent utilisant un site html ou une application Android. la figure 1.9 represent le système proposé.

Une approche un peut différente est décrite dans [7] où le système conçu par S. Harishankar, R. Satish Kumar, Sudharsan KP, U.Vignesh et T.Viveknath utilise l'énergie solaire pour pomper l'eau du forage dans un réservoir de stockage, offrant ainsi une alternative durable aux techniques conventionnelles. Par ailleurs, le réseau de détection sans fil basé sur la technologie ZigBee surveille l'humidité de l'air, l'humidité du sol et la température, et contrôle l'irrigation en conséquence. Ce système intègre des capteurs spécialisés ainsi que des composants tels que des pompes à eau et des ventilateurs pour optimiser les conditions environnementales des cultures. Enfin, un système élaboré pour les cultures d'orge brassicole exploite un réseau de capteurs sans

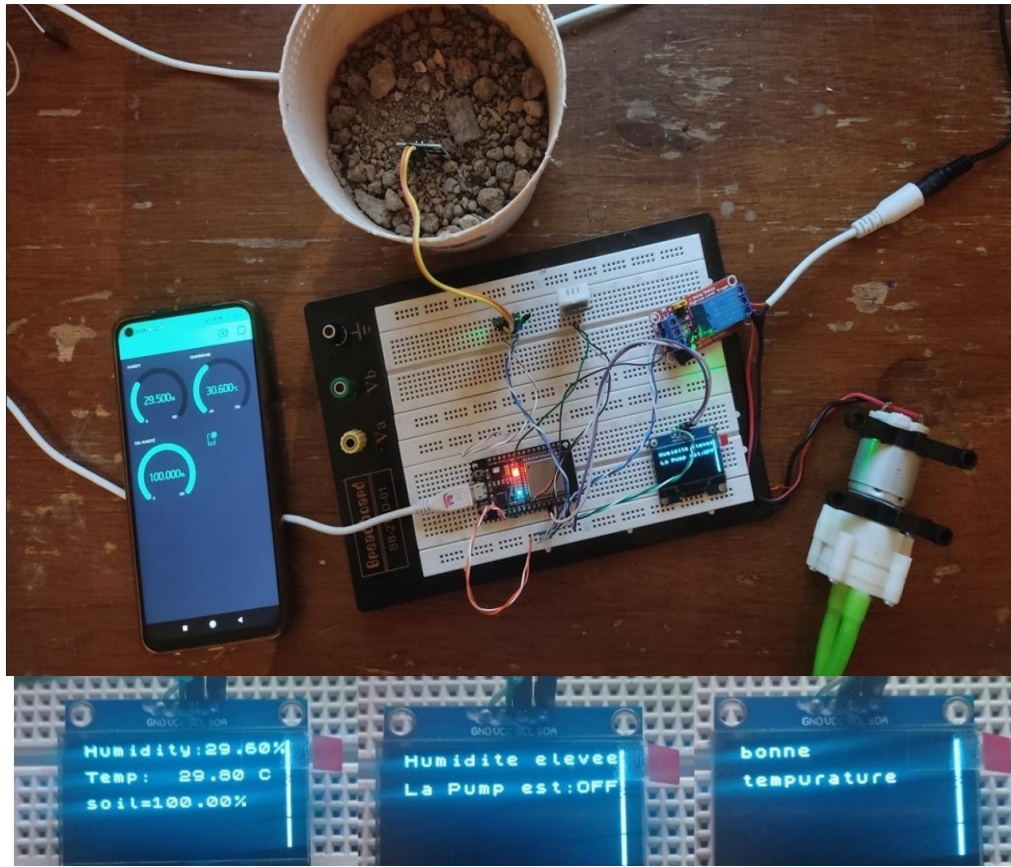


FIGURE 1.9 – Système d’arrosage intelligent propose par A.salhi et al[3]

fil pour piloter une machine d’irrigation modifiée, permettant ainsi une distribution précise de l’eau en fonction des besoins spécifiques des cultures. Ce système utilise des données provenant de stations de détection et de machines d’irrigation pour ajuster efficacement l’irrigation, offrant ainsi une approche innovante et durable pour la gestion de l’eau en agriculture.

Dans [8] une stratégie plus autonome consistant de 2 sous-stratégies distinctes a été développée : un système de pompage solaire et un système d’arrosage intelligent. Ces 2 systèmes sont alimentés par l’énergie solaire, collectée à l’aide du puits. Sur cette stratégie, une solution innovante aux problèmes d’énergie des agriculteurs indiens est fournie. Le contrôle électrique de l’électrovanne du réservoir de stockage se produit par un microcontrôleur basé sur l’humidité du sol. Le capteur convertit l’indicateur de sol humide en signal électrique et les compare à une référence ajustée par l’agriculteur via un circuit de réglage spécial. Selon cette comparaison, la quantité d’eau nécessaire pour le sol est déterminée. Le moteur pas à pas a ensuite reçu un signal pour

ajusté son angle de rotation en fonction de la différence de tension, ce qui garantit une irrigation précise et adaptée aux besoins du sol.

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons principalement offert une vue d'ensemble du domaine de l'irrigation. Nous avons défini l'irrigation en général et exploré les principaux types et méthodes utilisés dans l'agriculture, aussi nous avons présenté l'état de l'art pour fournir un aperçu des progrès réalisés dans ce domaine.

Bien que de nombreux systèmes d'irrigation aient été proposés et mise en œuvre, notre observation révèle que la plupart se concentrent principalement sur la préservation des ressources en eau, en négligeant d'autres aspects comme la gestion des sels minéraux et l'optimisation du temps et des efforts. De plus, la conception de nombreux systèmes est souvent limitée à des environnements restreints et à un nombre restreint d'espèces végétales. Pour remédier à cette lacune, nous avons proposé un système visant à automatiser le contrôle de l'utilisation des sels minéraux, et traite l'aspect de l'autonomie. L'objectif de cette étude est de développer un prototype qui repousse les limites actuelles de l'irrigation, en offrant une solution flexible et abordable tout en apportant des améliorations et des innovations dans les techniques d'irrigation.

CHAPITRE 1. ÉTAT DE L'ART

Chapitre 2

Conception du système

2.1 Introduction

Dans cette section, nous aborderons les différentes étapes suivies lors de la création de ce projet, en débutant par la phase de collecte d'informations des données agronomiques concernant le sol, les cultures et les engrais les plus couramment utilisés jusqu'aux préoccupations et défis typiquement rencontrés par les agriculteurs, puis en évoluant vers le développement d'une conception pour la forme technique du projet on explorons le rôle central des logiciels et des outils de conception dans la réalisation des projets innovants et complexes.

On va commencer cette exploration en parlant sur les logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) qui ont révolutionné les processus de développement de produits. Notre attention se porte sur des solutions telles que SolidWorks, soulignant leurs rôles crucial dans la modélisation 3D, la simulation et la création de dessins techniques, et quelle est la raison qui nous a poussé à L'utiliser. Par la suite, nous exposerons un modèle 3D du système global envisagé, suivi d'une analyse approfondie de chaque composant individuel. En fin de compte, nous procéderons à une présentation de l'interface utilisateur créer pour gérer le fonctionnement du système.

2.2 Collecte des données

Dans un premier temps, nous avons repéré les paramètres essentiels associés au projet. Par conséquent, nous avons entrepris une étude visant à identifier les différentes typologies de sols en Algérie, et nous avons constaté qu'il existe trois types des sols ou plus précisément trois zones défirents [9], qui sont :

- Les sols du Sahara, caractérisés par une formation dominée par l'action du vent, présentent généralement des conditions extrêmement arides et des variations de température extrêmes. Leur composition est souvent pauvre en matière organique et en éléments nutritifs essentiels, ce qui rend difficile la croissance des cultures sans irrigation ;
- Les sols de steppe, influencés par le manque d'eau de percolation, sont souvent peu profonds et peuvent être sujet à l'érosion éolienne. Leur fertilité est limitée et leur capacité à soutenir une végétation abondante est souvent compromise par les conditions semi-arides ;
- Les sols des régions humides bénéficient de précipitations plus abondantes, ce qui favorise une plus grande diversité biologique et une fertilité accrue. Cependant, certains de ces sols peuvent être soumis à des problèmes d'acidification ou de lessivage des éléments nutritifs en raison de fortes pluies et de pratiques agricoles inappropriées.

Suite à l'analyse, nous avons rassemblé des informations qui nous ont permis de comprendre comment le système devrait fonctionner afin de combler les lacunes et de résoudre les problèmes actuels dont :

- La composition du sol est un facteur crucial pour déterminer la quantité des sels minéraux nécessaire et la durée d'irrigation requise ;
- L'application des sels minéraux pendant la phase de croissance des cultures est effectuée de manière uniforme, permettant ainsi la programmation du système pour utiliser chaque type de sel minéral pendant sa période désignée ;
- Selon notre analyse, la température est un facteur critique. Nous avons découvert qu'il est fortement déconseillé d'arroser pendant des périodes de chaleur extrême ou de froid intense ;
- La majorité des défis rencontrés par les agriculteurs se concentrent sur trois aspects principaux :
 1. Le défi de la rareté de l'eau dans certaines régions, ainsi que les obstacles à son acheminement vers les zones agricoles dans d'autres régions ;
 2. L'incapacité à utiliser de manière efficace les sels minéraux en raison de la précision insuffisante des méthodes de fertilisation constitue un défi majeur. Étant donné le coût élevé des sels minéraux, toute erreur dans leur utilisation, qu'elle soit excessive ou insuffisante, pose un problème ;
 3. L'engagement physique et le temps consacré aux déplacements quotidiens pour surveiller la croissance des cultures et évaluer leurs besoins en eau représentent des défis majeurs pour de nombreux agriculteurs.

2.2.1 Définition des engrais

En général, les cultures entraînent la perte d'une grande quantité d'éléments minéraux du sol et l'appauvrissent. Afin de maintenir la production agricole, il est nécessaire d'ajouter régulièrement des engrais pour stimuler la croissance des végétaux. L'azote est absorbé par les plantes en nitrate (NO_3^-) et en ammonium (NH_4^+). Chacune de ces formes est relativement importante en fonction de l'espèce végétale et des conditions de milieu [7]. Pour accomplir le processus de leur vie végétative, les plantes ont besoins d'eau, de vingt éléments nutritifs, de dioxyde de carbone (CO_2) et d'énergie solaire. Les engrais sont des substances ou des mélanges d'éléments minéraux destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs de façon à améliorer leur croissance et augmenter le rendement et la qualité des cultures [2].

Les différents types d'engrais

Il existe deux grandes familles des engrais :

- les engrais chimiques ou minéraux : Les engrais azotés peuvent être fabriqués en utilisant l'azote de l'air et du gaz naturel, tandis que les engrais phosphatés ou potassiques peuvent être obtenus en éliminant des minéraux (roches sédimentaires ou salines). Le principal avantage de ce type d'engrais est sa capacité à se dissoudre facilement et rapidement dans l'eau, ce qui facilite son assimilation par la plante dès leur épandage. Il existe deux types d'engrais minéraux : naturels et chimiques. Ils sont fabriqués de manière industrielle et renferment une grande quantité d'éléments nutritifs. Les engrais minéraux désignent des produits minéraux, qu'ils soient fabriqués par l'industrie chimique ou à partir de gisements naturels tels que le phosphate et la potasse[10]. Exemple : NPK
- les engrais organiques : Les engrais organiques sont fabriqués à partir de déchets végétaux et principalement animaux. La plupart des oligo-éléments sont apportés sous forme organique, avec les éléments essentiels (azote, phosphate, potassium) et les éléments secondaires. Cependant, ces éléments devront subir l'étape de la minéralisation, c'est-à-dire la transformation en minéraux pour faciliter leur absorption par la plante. Cette minéralisation est soumise à des conditions écologiques et climatiques. Les engrais organiques comprennent le fumier, la fiente, le purin, le lisier, les résidus végétaux et les engrais verts[11].

2.2.2 L'utilisation des engrais

L'efficacité de l'application des engrais en agriculture repose sur plusieurs variables interdépendantes, incluant le type de culture, les propriétés du sol, le climat et les pratiques agricoles. Les agriculteurs adoptent généralement une approche diversifiée, combinant différentes méthodes d'application pour répondre aux besoins spécifiques de leurs cultures. Parmi ces méthodes figurent l'application directe avant la plantation, l'incorporation lors de la préparation du sol et l'utilisation d'engrais solubles dans l'eau pour une répartition homogène via l'irrigation. Selon les études pour les cultures en croissance la dilution des engrais dans l'eau est plus efficace [8]. Les engrais solubles dans l'eau sont utilisés pour fournir rapidement des nutriments essentiels aux plantes, car ils peuvent être facilement absorbés par les racines lorsqu'ils sont mélangés à l'eau d'irrigation. Cette méthode permet une distribution uniforme des nutriments dans le sol, ce qui est particulièrement bénéfique dans les cultures nécessitant un apport rapide en nutriments ou dans les sols pauvres où les nutriments sont rapidement lessivés. De plus, les engrais solubles dans l'eau offrent une flexibilité en termes de dosage, ce qui permet aux agriculteurs de contrôler plus précisément la quantité de nutriments appliquée, favorisant ainsi une croissance saine des plantes.

Pour tirer parti de ses avantages, nous avons développé un système automatisé conçu pour faciliter le mélange précis de la bonne quantité de sels avec de l'eau, puis un autre système pour l'utilisation de ce mélange.

2.3 Conception de la partie mécanique

2.3.1 Description du système

Le système développé se divise en deux parties distinctes. La première partie est dédiée à la gestion des sels minéraux et se compose de trois niveaux. Le niveau supérieur est équipé de six réservoirs contenant une variété de sels minéraux nécessaires à la croissance des cultures, ils sont placés verticalement pour faciliter la descente des produits, les ouvertures de ces réservoirs sont connectés au niveau intermédiaire, où deux sous-systèmes distincts sont installés : Le premier système gère les sels minéraux liquides à l'aide d'un ensemble de robinets contrôlés par des servomoteur pour réguler le débit (principe de l'électrovanne). Un débitmètre est intégré pour mesurer précisément le volume de liquide distribué.

Le deuxième système est conçu pour les sels minéraux solides (sous forme de poudre), Il a été réalisé à l'aide de logiciel SolidWorks et fabriqué à l'aide de l'imprimante 3D. Ce système se compose de trois pièces cylindriques 2.6,

CHAPITRE 2. CONCEPTION DU SYSTÈME

avec des cônes à l'intérieur et des pièces circulaires en forex, actionnés par des servomoteurs pour contrôler l'ouverture et la fermeture des cônes. Sous ces trois pièces, un grand entonnoir est positionné^{2.7}, également équipé d'un servomoteur et une cercle en forex pour l'ouverture et la fermeture. Une fois le poids requis atteint, un capteur de poids envoie l'ordre à l'arduino pour que ce dernier déclenche la fermeture des parties supérieures et l'ouverture du fond de l'entonnoir, permettant aux solutions de tomber directement au troisième niveau les figures 2.1 et 2.2 montre les deux premiers niveaux du projet.

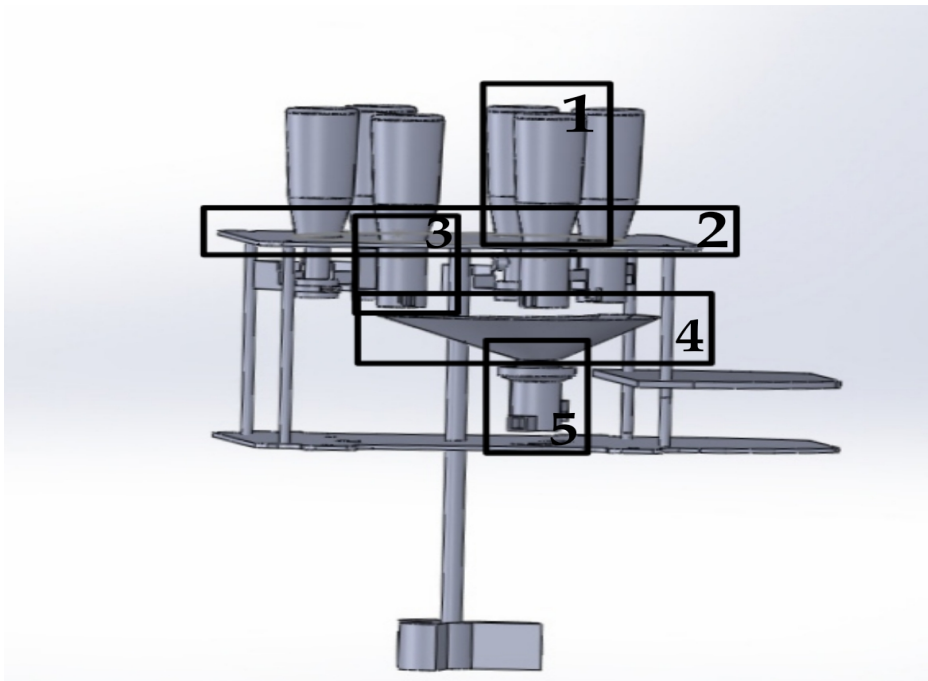


FIGURE 2.1 – Conception du système vue de droite

Ce dernier niveau comprend un réservoir équipé d'un mélangeur constitué d'une hélice fixée à un arbre entraîné par un moteur DC 3.10 pour combiner les sels minéraux avec de l'eau, ainsi que deux pompes : l'une pour alimenter le réservoir en eau et l'autre pour extraire le mélange pour l'irrigation des cultures.

la deuxième partie du système est dédiée à l'arrosage automatique des cultures dans la composition, on retrouve des capteurs de température et d'humidité, des pompes supplémentaires, et un réservoir d'eau principal. Les capteurs transmettent les données du sol aux dispositifs de contrôle à travers un serveur web, qui ensuite déclenche les pompes pour transporter le mélange depuis le réservoir vers la zone de culture. Dans ce qui suit, nous

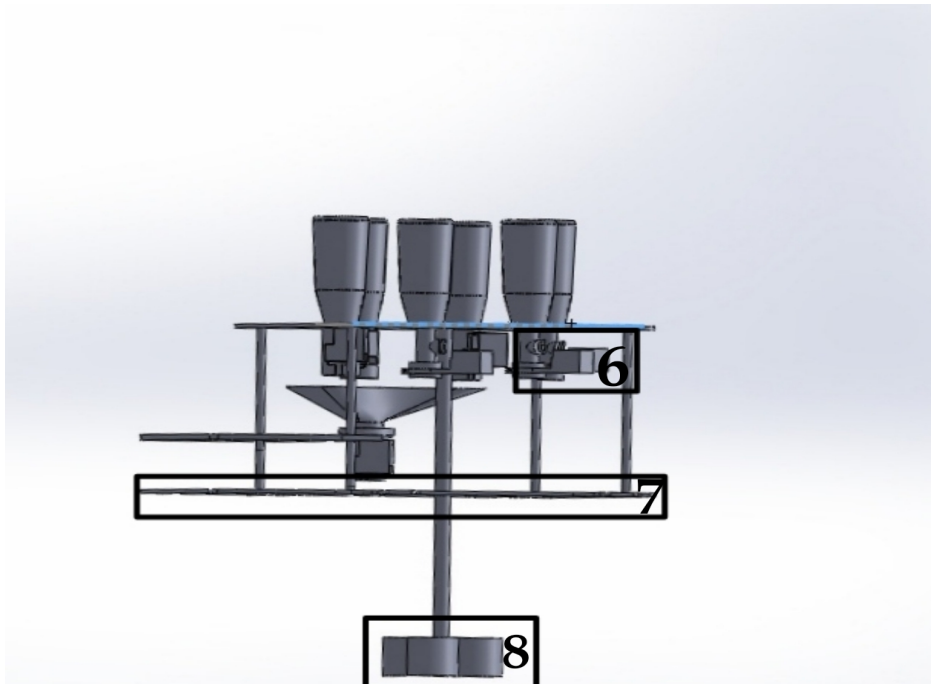


FIGURE 2.2 – Conception du système vue de gauche

présenterons méthodiquement chacune des pièces que nous avons conçues, en fournissant des descriptions détaillées et des explications rigoureuse.

2.3.2 Réservoirs

La première composante est constituée de bouteilles d'un litre qui ont été sélectionnées comme réservoirs pour les sels minéraux. Au début, il a été envisagé de concevoir des réservoirs spécifiques à l'aide de SolidWorks, cependant, il a été constaté que les liquides pouvaient fuir en raison du matériau utilisé dans l'impression 3D, Par conséquent, il a été choisi d'utiliser des bouteilles ordinaires disponibles sur le marché, la figure 2.3 montre les bouteilles choisies.

2.3.3 Support des réservoirs

Nous avons utilisé une planche de forex mesurant 42 cm × 38 cm qui ont été taillée pour qu'elle serve de base et de support pour les réservoirs. En utilisant SolidWorks, nous avons conçu la forme ainsi que les ouvertures adaptées aux dimensions du réservoir, puis ils ont été découpés avec une machine de découpe laser pour assurer une précision optimale.

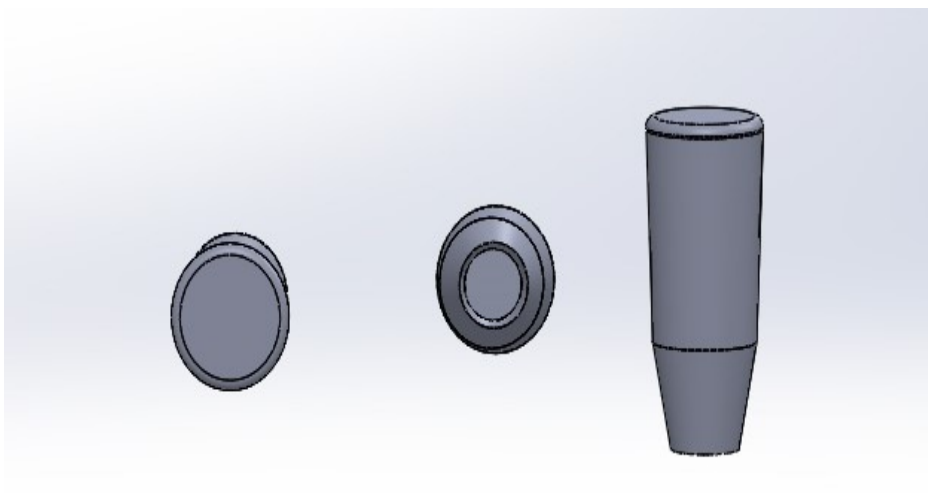


FIGURE 2.3 – Réservoirs créés



FIGURE 2.4 – Réservoirs utilisés

Pour prévenir toute déformation de la forme du bloc et pour maintenir l'aspect esthétique, nous avons délibérément évité l'utilisation de planches de bois, en raison du poids significatif du réservoir.

2.3.4 Régulateur de débit

La troisième pièce est un cylindre de même diamètre que le trou créé à l'étage supérieur, avec une longueur de 6 cm. À l'intérieur se trouve un

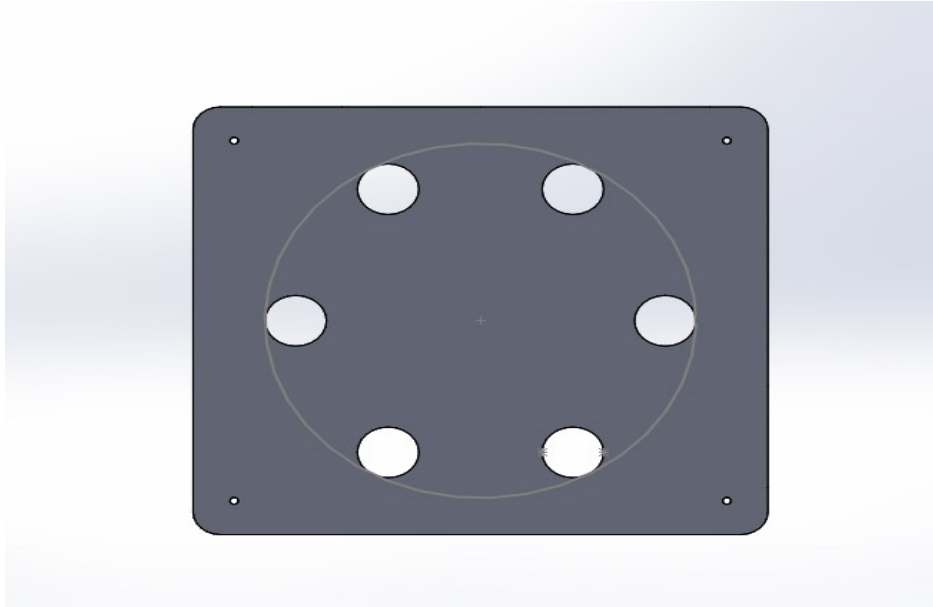


FIGURE 2.5 – Support des réservoirs

entonnoir doté d'un petit trou de 1 cm de diamètre, pour limité le débit d'écoulement des engrais liquide, ce qui peut compliquer la fermeture de l'entonnoir. un support a été fixé sur la paroi extérieure du cylindre pour maintenir le servomoteur, il a été conçu une ouverture permettant au servomoteur de tourner à l'intérieur du cylindre à l'angle souhaité, sans être gêné par la paroi. la figures 2.6 présente la pièce cylindrique.

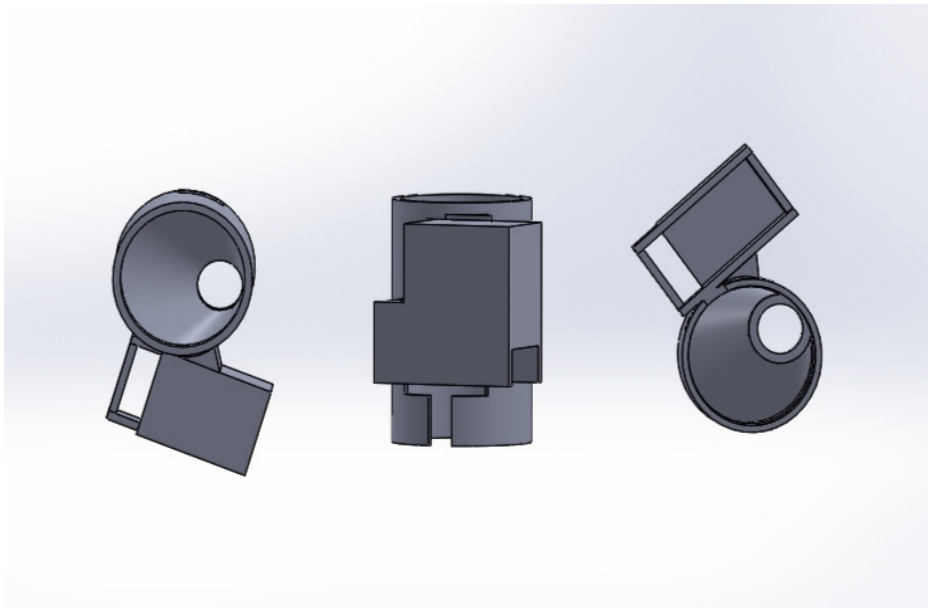


FIGURE 2.6 – Troisième pièce

2.3.5 Entonnoir

SolidWorks a été utilisé pour concevoir un grand entonnoir de forme circulaire afin d'optimiser l'espace à l'étage intermédiaire. Nous l'avons positionné précisément sous les pièces cylindriques pour permettre au engrais de s'écouler directement dans l'entonnoir. La taille importante de l'entonnoir ainsi qu'au temps considérable nécessaire à sa réalisation, soit 14 heures. Cette durée a nécessité l'arrêt de l'impression pendant la nuit, suivi de sa reprise le matin, entraînant malheureusement un défaut dans la forme de la base de l'entonnoir. la figure 2.7 montre l'entonnoir

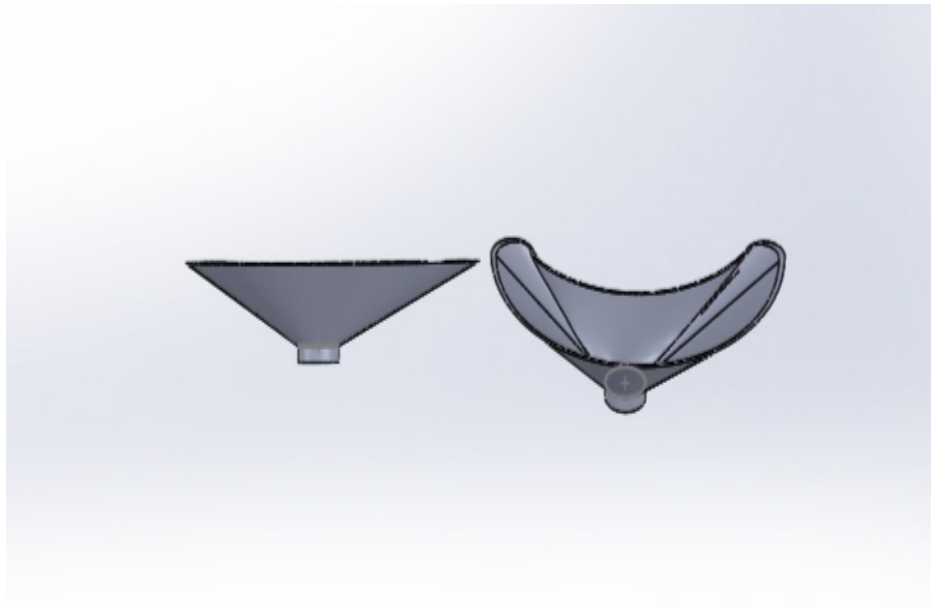


FIGURE 2.7 – Grand entonnoir

2.3.6 Régulateur de poids

Cette pièce était initialement prévue pour avoir la même forme que la troisième pièce, mais une déformation est survenue à la base du grand entonnoir. Pour les raisons expliquées dans le paragraphe précédent, des ajustements ont été apportés à la buse du cylindre pour l'adapter à la taille de la base de l'entonnoir. En outre, cette pièce comprend un support destiné à accueillir le moteur et un morceau de fourchette, tout comme la pièce précédente. De plus, un emplacement est prévu pour installer un capteur de poids, nécessaire pour mesurer le poids du produit descendant, comme mentionné précédemment dans la sous section 2.3.1. L'objectif principal de l'utilisation du grand entonnoir et de la cinquième pièce est de diminuer les dépenses. Plutôt que d'installer trois pièces cylindriques distinctes, trois mécanismes d'ouverture et de fermeture, et trois capteurs de poids, l'idée est de regrouper tous les produits sortants dans un seul entonnoir, et d'utiliser un unique servomoteur et un unique capteur de poids.

La figure 2.8 met en scène la conception du régulateur de poids

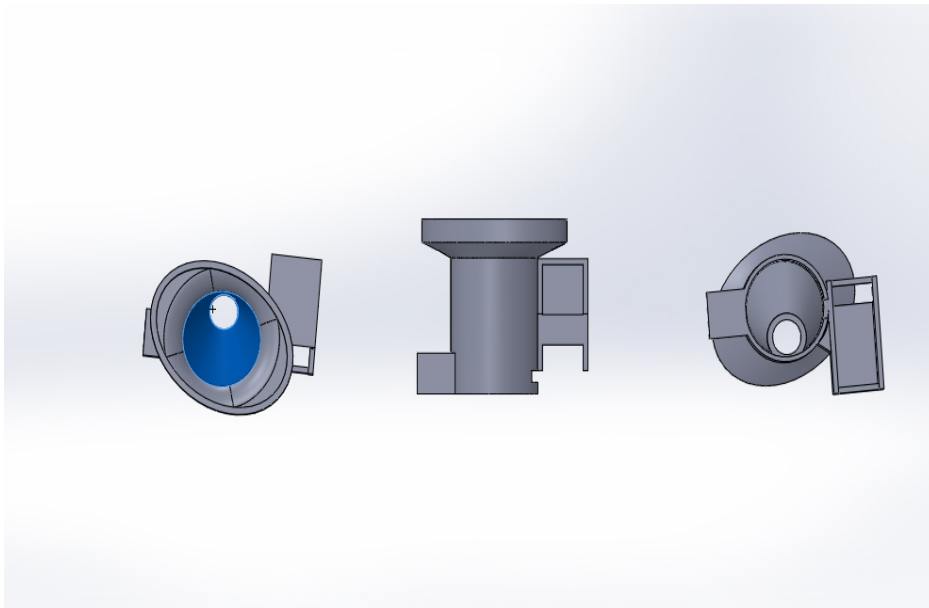


FIGURE 2.8 – Régulateur de poids

2.3.7 Électrovanne proposé

Au départ, l'intention était d'utiliser une électrovanne pour gérer les sels minéraux liquides du système. Cependant, lors des expérimentations, nous avons observé que l'électrovanne nécessitait une force de pression supplémentaire pour faciliter l'écoulement du liquide. Cette contrainte est devenue un obstacle majeur, car les sels minéraux liquides étaient stockés dans le réservoir sans source disponible pour fournir cette force de pression supplémentaire. Pour résoudre le problème de la pression, nous avons opté pour l'utilisation d'un robinet d'arrosage spécifique, que nous avons connecté à un moteur monté sur un support. En contrôlant le moteur pour faire tourner le robinet, nous avons réussi à contourner le problème de la pression. Nous avons sélectionné ce type de robinet d'irrigation en raison de sa rotation fluide et rapide, permettant au moteur de le faire tourner efficacement pendant son fonctionnement, la figure 2.9 représentent le système proposé comme une solution.

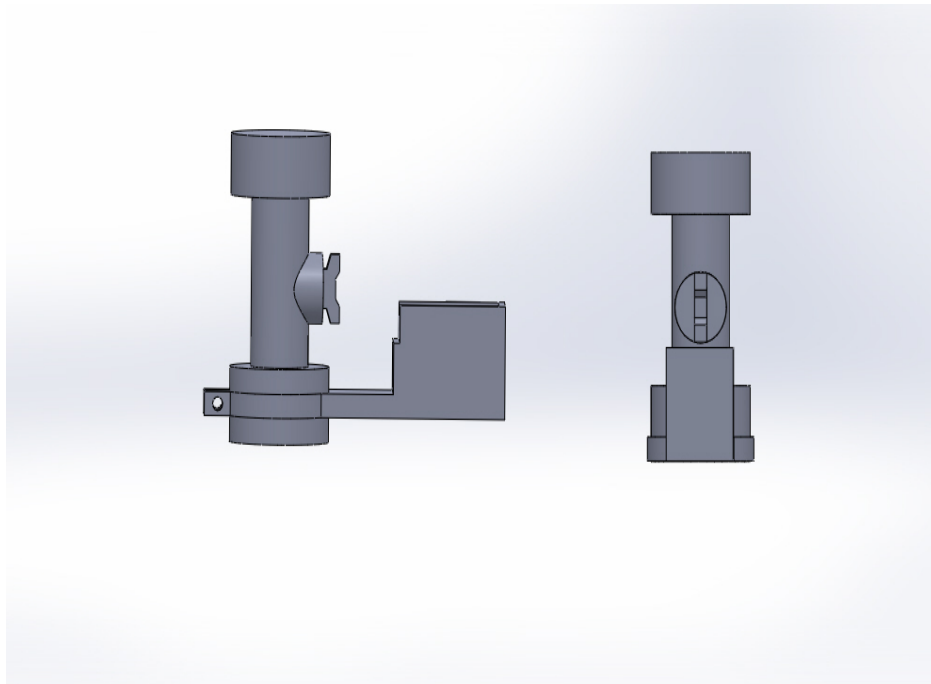


FIGURE 2.9 – Servovanne proposé

2.3.8 Support du deuxième étage

La septième pièce, le plancher porteur, assure le soutien du deuxième étage. Nous l'avons conçu comme une pièce en forex en utilisant SolidWorks, puis découpé à l'aide d'une machine à commande numérique par ordinateur (CNC). Cette conception intègre tous les trous et fentes nécessaires pour guider le produit du réservoir jusqu'au mélangeur du dernier étage. Pour cela, nous avons inclus des trous de fixation pour attacher cette pièce aux étages supérieur et inférieur (1) et (2). Nous avons également prévu un passage pour les sels minéraux liquides (3), un trou dédié (4) pour le passage des sels provenant du grand entonnoir, un trou central (5) pour le passage de la tige du moteur connecté à la huitième pièce, ainsi qu'un trou (7) pour l'évacuation de l'eau vers la zone d'arrosage. la figure 2.10 montre le support et la distribution des trous.

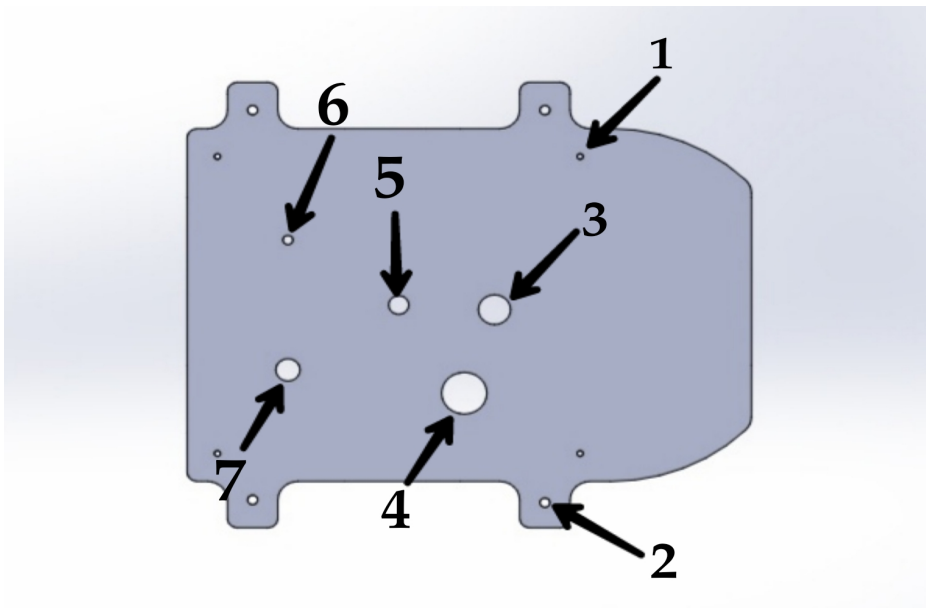


FIGURE 2.10 – Support de deuxième étage

2.4 Logiciels

2.4.1 SolidWorks

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur utilisé principalement pour la modélisation 3D, la simulation, et la création de dessins techniques. C'est un outil très populaire dans l'ingénierie et la conception mécanique. Parmi ses caractéristiques, ce qui nous a poussés à l'utiliser sont :

- Une interface conviviale ;
- Des fonctionnalités avancées de modélisation ;
- Des outils de simulation robustes ;
- Une intégration étroite avec d'autres logiciels d'ingénierie ;
- Un large éventail de fonctionnalités pour accélérer le processus de conception.

Dans le cadre de notre projet, nous avons besoin de composants spécifiques introuvables sur le marché. Nous avons donc opté pour ce logiciel afin de concevoir ces pièces sur mesure, que nous avons ensuite fabriquées à l'aide d'une imprimante 3D. Nous allons vous présenter ci-dessous quelques images des pièces lors de la conception avec SolidWorks

Nous allons vous présenter ci-dessous quelques images des pièces lors de la conception avec solidworks.

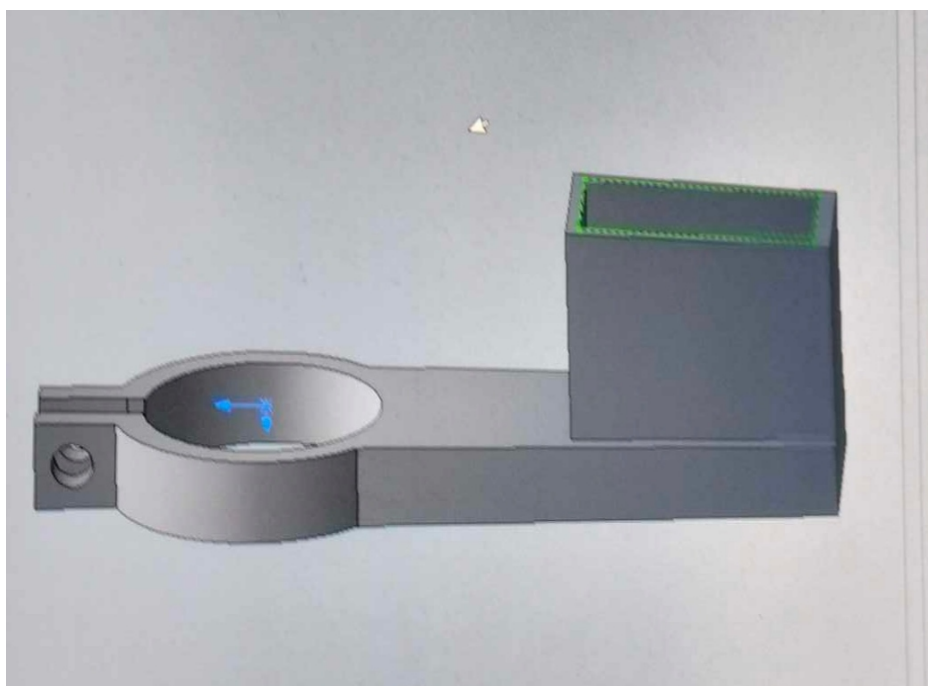


FIGURE 2.11 – Support de fixation du servomoteur avec le robinet

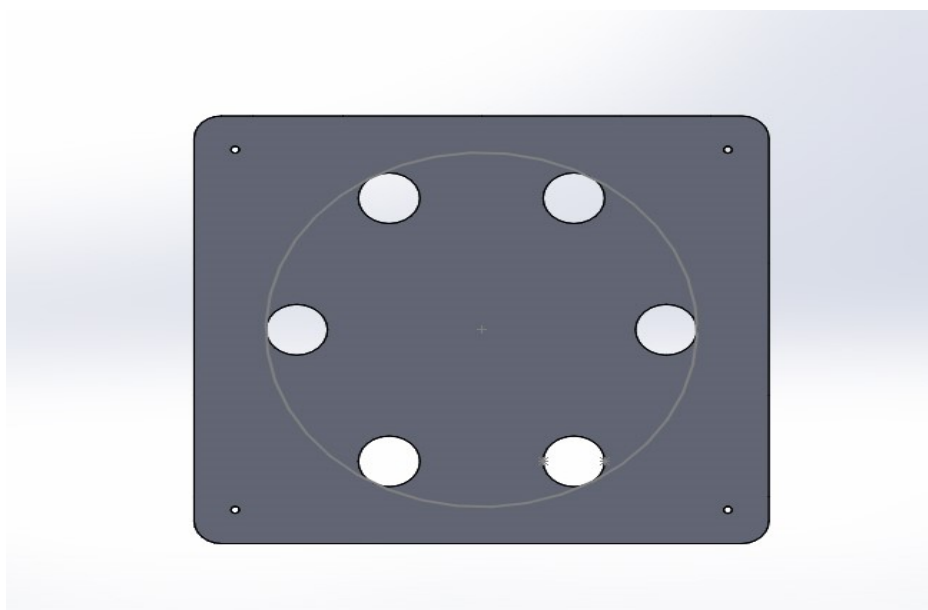


FIGURE 2.12 – Étage qui fixe les réservoirs

En complément de SolidWorks pour la conception mécanique, nous avons utilisé Qt Designer et PyCharm pour le développement d'applications Python

dotées d'interfaces graphiques GUI. Le tandem formé par Qt Designer et PyCharm offre une synergie remarquable, créant ainsi une expérience de développement complète et harmonieuse.

2.4.2 Qt designer et Pycharm

Qt Designer se distingue par sa convivialité, permettant aux développeurs de concevoir des interfaces utilisateur de manière intuitive, en utilisant une approche de glisser-déposer pour disposer et configurer les widgets. Cette approche visuelle réduit considérablement la complexité de la création d'interfaces utilisateur, offrant ainsi un moyen efficace et rapide de concrétiser les concepts de conception. Les fichiers `.ui` générés par Qt Designer servent de fondement à la création de l'interface utilisateur, fournissant une représentation graphique claire et concise de la disposition et de la structure de l'interface.

D'autre part, PyCharm se positionne comme un environnement de IDE robuste et polyvalent, offrant un large éventail de fonctionnalités pour le développement Python. Parmi ses caractéristiques phares, on trouve notamment l'autocomplétion intelligente, le débogage avancé, la gestion de projets et l'intégration avec des outils de contrôle de version. PyCharm simplifie le processus de développement en offrant un environnement de travail unifié, permettant aux développeurs de gérer l'ensemble du cycle de vie de leur projet, de la conception à la mise en production.

L'intégration fluide entre Qt Designer et PyCharm renforce encore davantage l'efficacité du processus de développement. PyCharm permet d'importer facilement les fichiers `.ui` générés par Qt Designer, offrant ainsi une transition transparente entre la conception visuelle de l'interface utilisateur et l'implémentation logique de l'application. Les développeurs peuvent ainsi se concentrer sur leurs tâches respectives, en séparant clairement les aspects de conception et de développement, tout en profitant des fonctionnalités avancées de PyCharm pour assurer la qualité et la robustesse de leur code.

En conclusion, l'association de Qt Designer et PyCharm nous offre la possibilité de créer des interfaces graphiques répondant précisément à nos besoins, ce qui facilite l'utilisation des systèmes et offre aux utilisateurs un maximum d'informations et de flexibilité. les figures 2.13 et 2.14 représentant les interfaces des deux logiciels.

CHAPITRE 2. CONCEPTION DU SYSTÈME

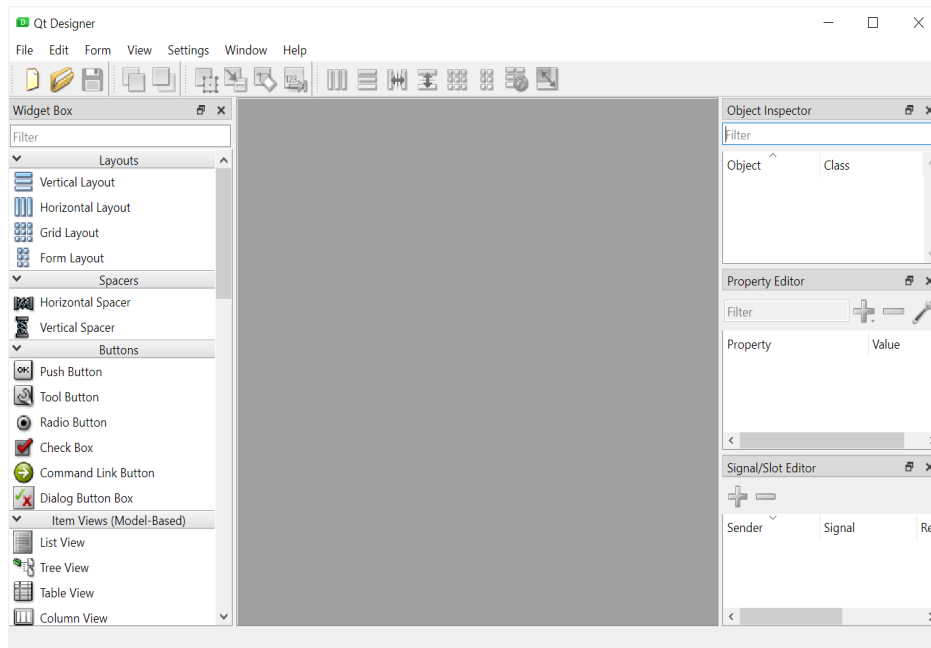


FIGURE 2.13 – Logiciel Qt Designer

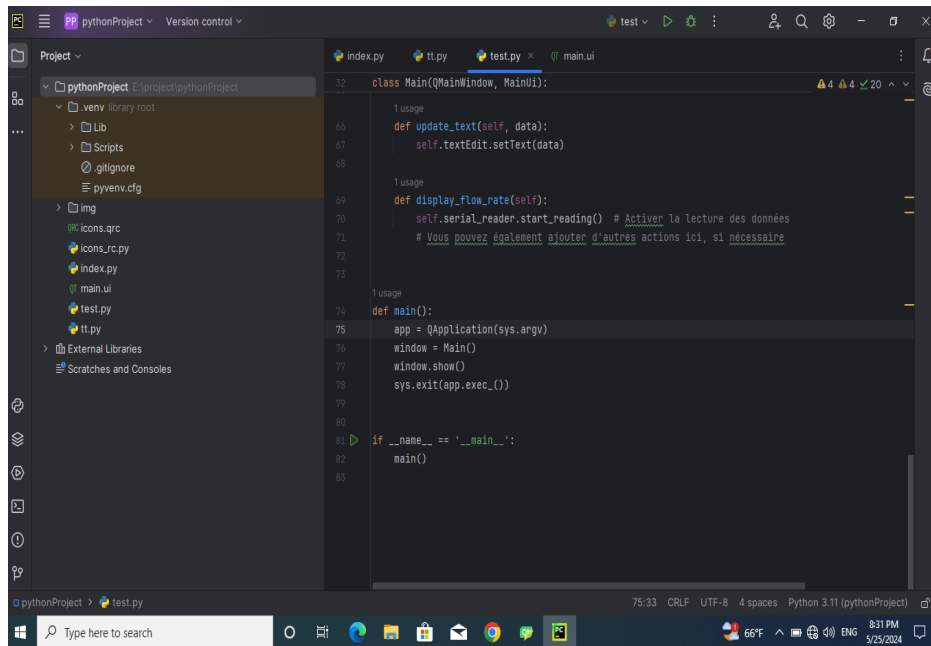


FIGURE 2.14 – Logiciel Pycharm

2.5 Modes de fonctionnement

Après avoir présenté le logiciel utilisé pour concevoir l'interface, nous

aborderons à présent l'interface utilisateur ainsi que les différents modes que nous avons implémentés afin de faciliter le contrôle du système par l'utilisateur.

Dans le cadre du développement de notre système, plusieurs modes de fonctionnement ont été définis pour répondre aux divers besoins des utilisateurs et optimiser l'utilisation des ressources disponibles. Ces modes de fonctionnement sont essentiels pour assurer la flexibilité et l'efficacité du système, permettant des opérations spécifiques adaptées à différents contextes d'utilisation.

Lorsque vous lancez l'interface pour la première fois, quatre modes sont disponibles, vous permettant de sélectionner directement celui qui vous convient, sans avoir à naviguer à travers d'autres modes, pour simplifier l'utilisation, comme illustré dans la figure 2.15.

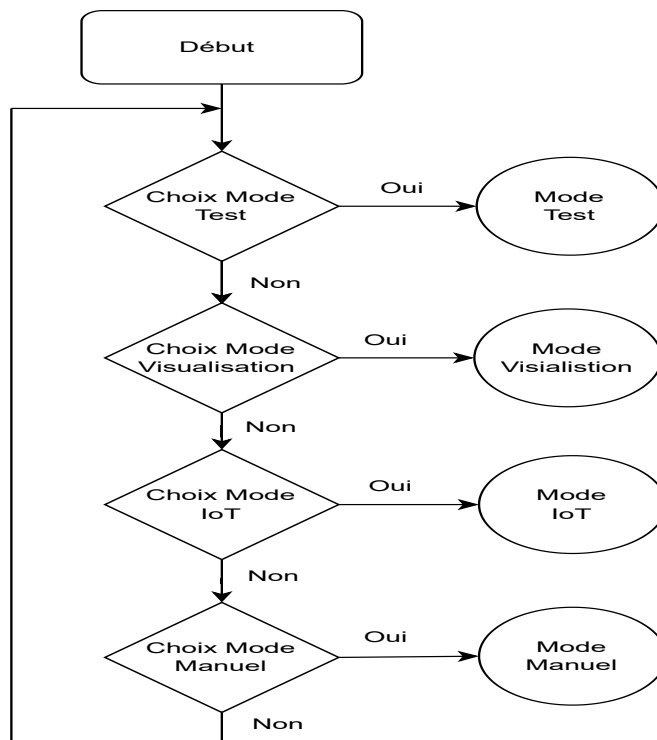


FIGURE 2.15 – Organigramme de l'interface

Les modes de fonctionnement du système incluent :

- **Mode Test** : Ce mode permet de tester individuellement chaque composant du système. Des boutons ont été créés pour chaque servomoteur et chaque capteur. En appuyant sur un bouton associé à un servomoteur, celui-ci est activé pour vérifier son bon fonctionnement. De même, en appuyant sur un bouton associé à un capteur, la valeur lue par ce capteur est affichée dans un espace d'affichage nommé LcdNumber. Cette fonctionnalité est cruciale pour diagnostiquer et résoudre les pannes potentielles, assurant ainsi la fiabilité du système. les figures suivantes présente l'interface et l'organigramme du mode Test

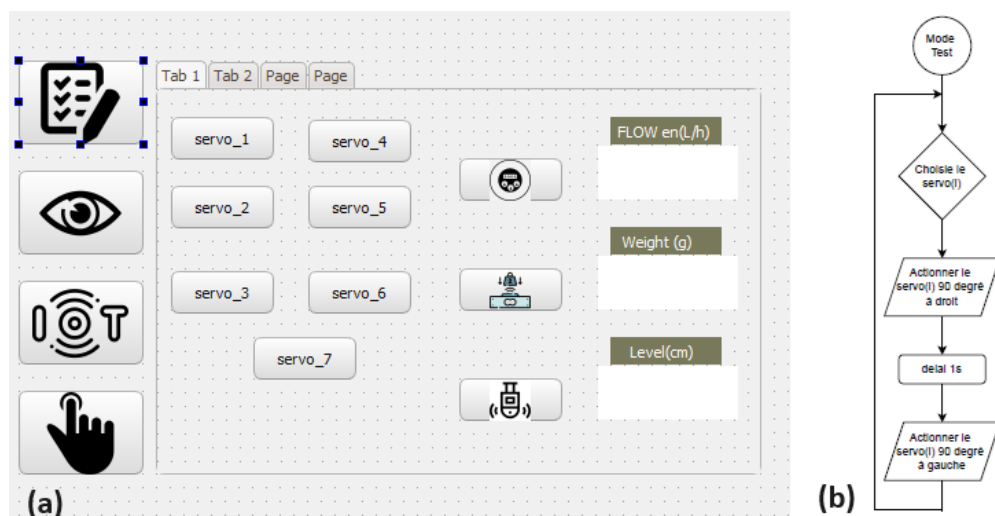


FIGURE 2.16 – Mode test. (a) Interface graphique du mode test (b) Organigramme du mode

- **Mode Visualisation** : Ce mode affiche les sorties des capteurs et l'état des servomoteurs (en marche ou arrêt) lorsque le système est en fonctionnement. Les valeurs des capteurs sont présentées dans des modules LcdNumber, qui font partie de l'interface graphique et affichent les données en temps réel. Cela permet aux utilisateurs de surveiller efficacement les paramètres du système et de réagir rapidement à tout changement. la figure 2.17 représente l'interface du mode visualisation.
- **Mode Manuel** : Ce mode inclut une liste modifiable par l'utilisateur des différentes cultures, ainsi que des options pour contrôler individuellement la quantité de chaque type de sel minéral à utiliser. Il offre une certaine flexibilité dans la fertilisation, permettant par exemple de spécifier la zone à fertiliser en utilisant une liste de types de plantes.

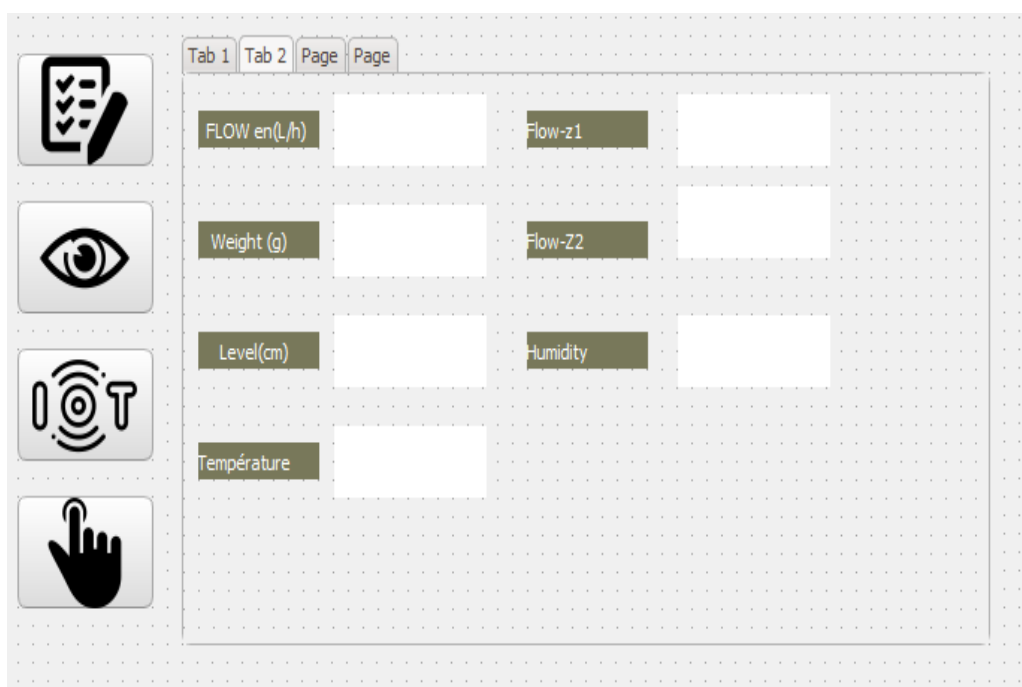


FIGURE 2.17 – Mode visualisation

L'utilisateur peut ensuite choisir n'importe quel type de sels minéraux existants, les mélanger en quantités égales ou différentes, puis fertiliser la zone spécifiée, on ajoute aussi des lineEdits pour que l'utilisateur puisse insère des heures spécifiées pour l'arrosage. Ce mode a été conçu pour permettre à l'utilisateur de s'adapter au développement des cultures et de réagir lorsque la fertilisation standard ne produit pas les résultats escomptés. Les figures 2.18 et 2.19 montres des organigrammes expliquant le fonctionnement du mode manuel.

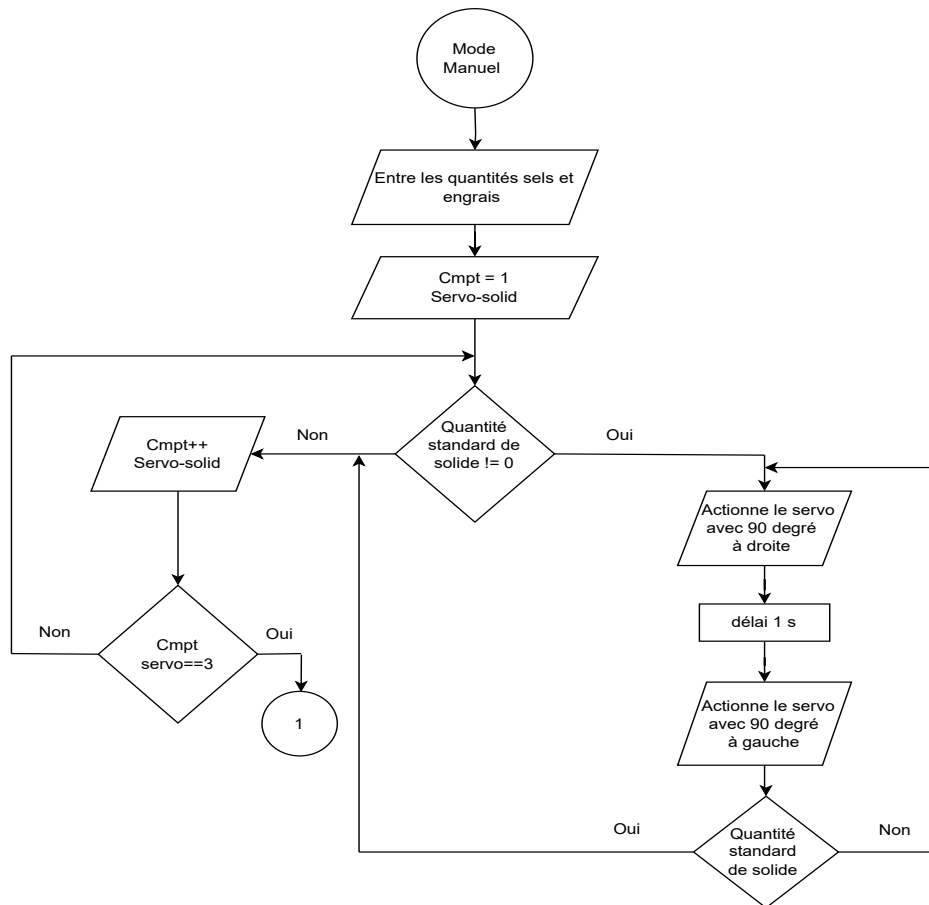


FIGURE 2.18 – Organigramme du mode manuel Partie des engrais

À travers une analyse de la figure 2.18, pour la partie des engrais, l'utilisateur saisit la quantité souhaitée pour la fertilisation. Un test est prévu : si l'engrais est disponible dans le réservoir spécifié, la trappe s'ouvre pendant 1 seconde, puis se referme. Si la quantité délivrée est égale à la quantité souhaitée, on passe au deuxième servo. Sinon, la trappe se rouvre pendant 1 seconde jusqu'à ce que le capteur de poids indique que la quantité délivrée est égale à la quantité souhaitée. À ce moment-là, le capteur de poids est réinitialisé à zéro pour mesurer le deuxième type d'engrais.

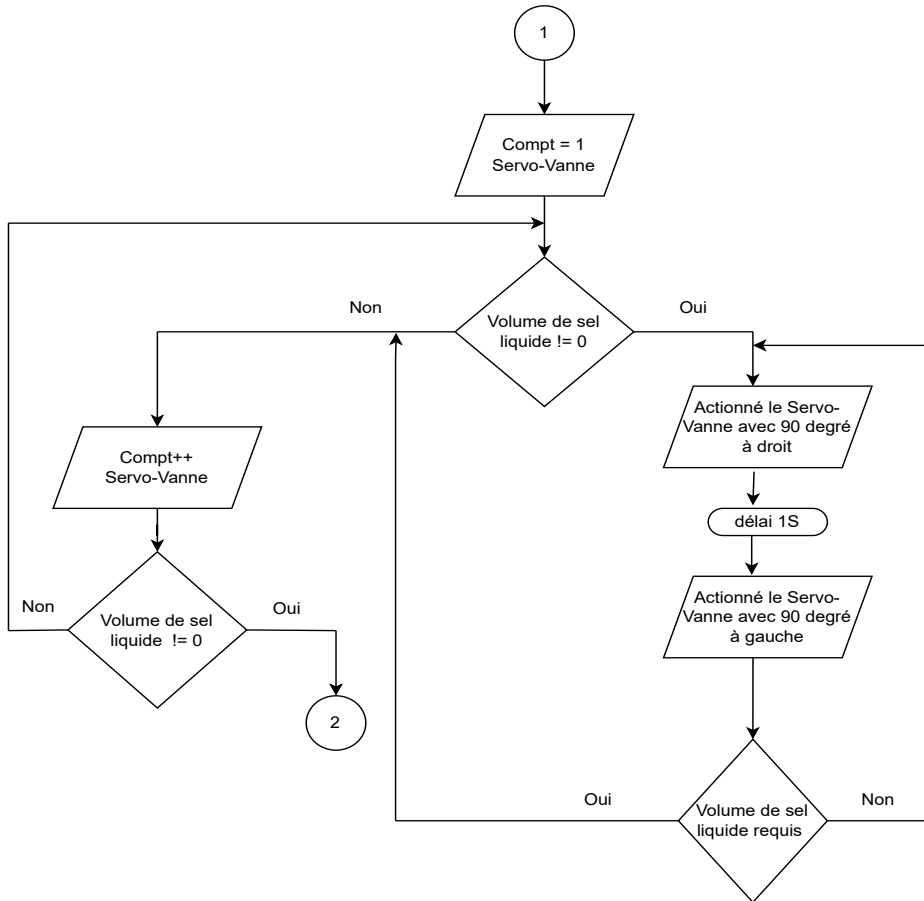


FIGURE 2.19 – Organigramme du mode manuel Partie des sels liquides

Pour la partie des sels liquides, le processus débute lorsque l'utilisateur saisit la quantité de sel désirée. Un test est alors effectué pour vérifier la disponibilité des sels dans le réservoir. Si les sels sont disponibles, le servovanne s'ouvre pendant une seconde, puis se referme. Un autre test est ensuite réalisé à l'aide d'un débitmètre. Par un simple calcul, nous pouvons déterminer la quantité de sel liquide écoulée. Si cette quantité correspond à celle demandée par l'utilisateur ou si le réservoir est vide, le processus passe au deuxième servovanne.

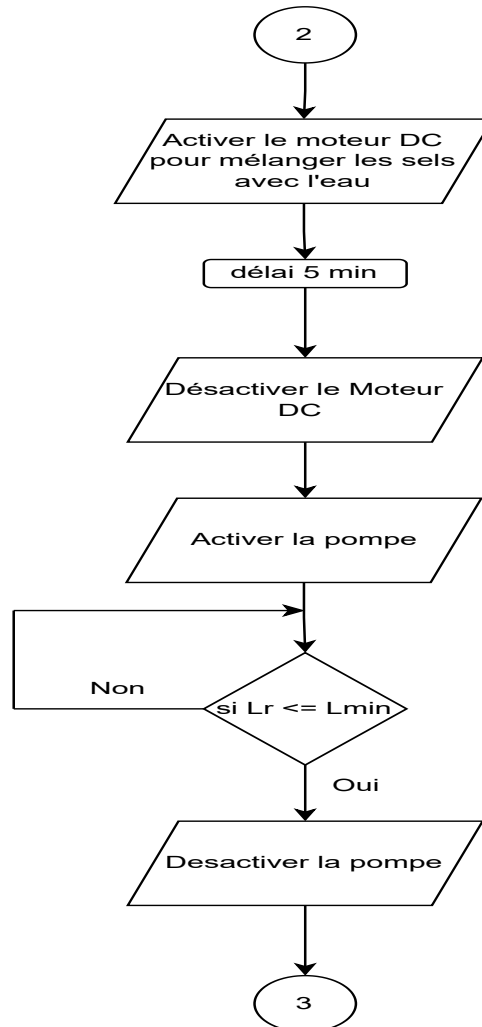


FIGURE 2.20 – Organigramme du mode manuel Partie du mélangeur

Lorsque le processus se termine, la partie mélangeur commence par l'activation d'un relais pour faire tourner le moteur DC. Le moteur tourne pendant 5 minutes afin de diluer l'engrais et d'obtenir un mélange homogène avec les sels liquides. Ensuite, le moteur s'arrête et la pompe se déclenche pour aspirer le mélange et l'envoyer vers le système d'arrosage, pendant une durée suffisante pour vider le réservoir, Une fois le réservoir vidé, le capteur de niveau envoie un signal à l'Arduino pour déclencher l'électrovanne et remplir le réservoir. Lorsque le niveau d'eau atteint le maximum, l'électrovanne se referme.

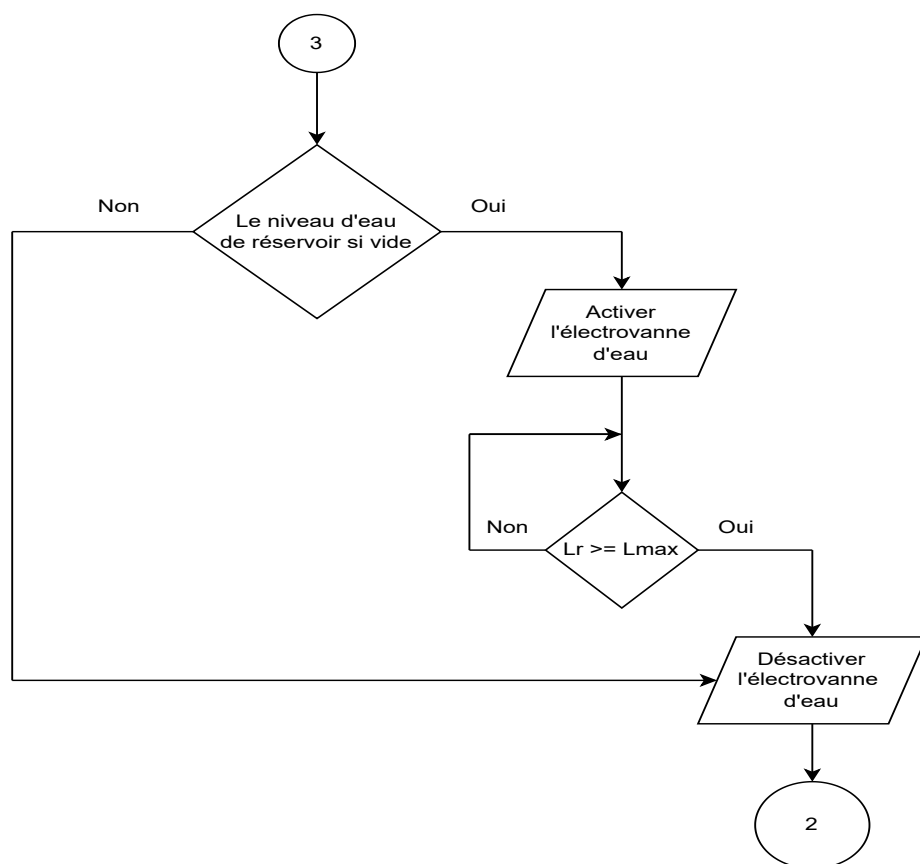


FIGURE 2.21 – Organigramme du mode manuel Partie du réservoir

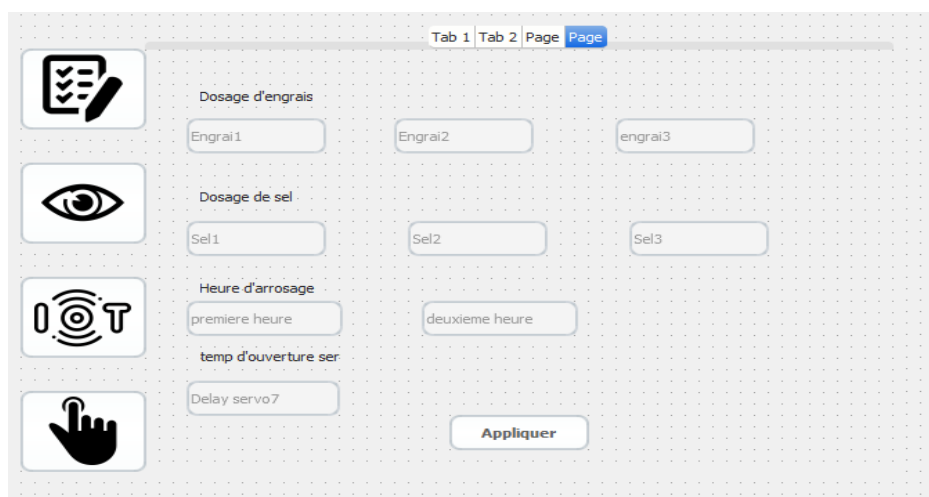


FIGURE 2.22 – L'interface du mode manuel

- **Mode Internet of Things** : Le mode IoT comprend une section dédiée à la connexion Wi-Fi. Cette section est composée de deux champs de saisie et d'un bouton d'action. Le premier champ de saisie est destiné à l'adresse SSID du réseau Wi-Fi, permettant à l'utilisateur d'entrer le nom du réseau auquel il souhaite se connecter. Le second champ est prévu pour le mot de passe associé à ce réseau, garantissant une connexion sécurisée. Enfin, un bouton "Connecter" est placé en dessous de ces champs. Lorsque l'utilisateur clique sur ce bouton, l'application tente de se connecter au réseau Wi-Fi en utilisant les informations fournies. À l'avenir, ce mode sera modifié pour permettre à l'application de se connecter également à un serveur spécifique afin de transférer des données. Cette fonctionnalité avancée permettra de synchroniser et de partager des informations de manière efficace et sécurisée avec le serveur désigné. La FIGURE

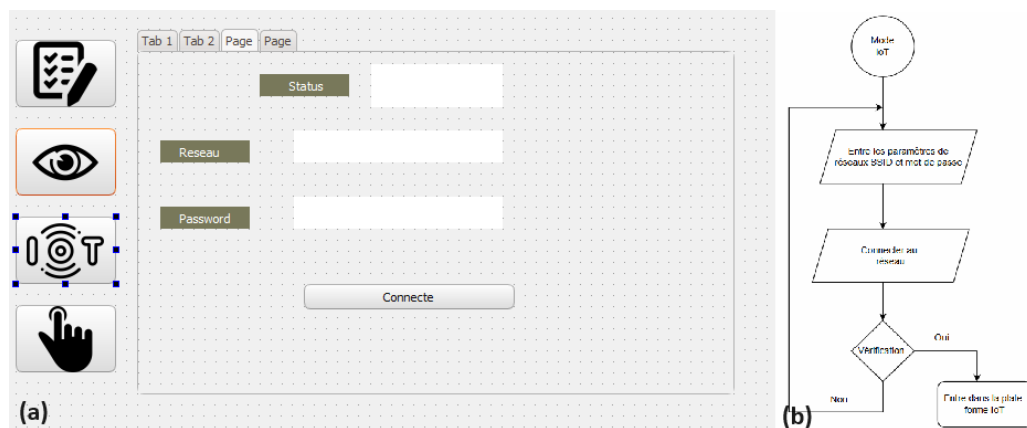


FIGURE 2.23 – Mode Iot. (a) Interface du mode IoT (b) Organigramme du mode IoT

Chaque mode de fonctionnement a été soigneusement conçu pour répondre à des exigences spécifiques, en tenant compte des différents scénarios d'utilisation et des contraintes techniques. Dans ce chapitre, nous détaillerons la conception de ces modes, en expliquant leurs objectifs, leurs fonctionnalités et leur intégration au sein du système global.

2.6 Conclusion

Ce chapitre a offert une présentation exhaustive de la conception d'un système avancé de gestion et d'utilisation des engrais. Nous avons initié notre étude par une introduction sur la collecte des données, définissant les engrais et explorant leurs diverses applications. La conception mécanique du système a été minutieusement détaillée, couvrant des composants essentiels tels que les réservoirs, les supports, les dispositifs d'adaptation de débit, le grand entonnoir, l'adaptateur de poids, l'électrovanne et le support du deuxième étage.

L'utilisation des outils de modélisation et de développement logiciel, tels que SolidWorks pour la conception mécanique et Qt Designer et PyCharm pour le développement logiciel, a été abordée pour démontrer l'intégration harmonieuse des aspects mécaniques et logiciels du système. Les modes de fonctionnement ont été explorés pour illustrer l'efficacité et le contrôle dans l'utilisation des engrais.

En résumé, ce chapitre a établi les fondations théoriques et pratiques indispensables pour la mise en œuvre du système. Les informations et les conceptions présentées ici sont cruciales pour la phase suivante de notre projet. Le chapitre suivant se concentrera sur la réalisation concrète du système, mettant en pratique les concepts développés et validant les performances et la fiabilité du système conçu.

Chapitre 3

Réalisation du système

3.1 Introduction

Après avoir établi la conception du système dans le chapitre précédent, nous abordons maintenant sa mise en œuvre pratique. Ce chapitre offre une description détaillée des étapes de développement du système, des outils et technologies employés, ainsi que des défis rencontrés et des solutions apportées.

Nous commencerons par décrire les outils utilisés pour réaliser les pièces développées dans SolidWorks, et les technologies sélectionnées pour ce projet. Ensuite, nous examinerons les différentes phases de développement, incluant la programmation des modules, l'intégration, et les tests du système. Enfin, nous discuterons des résultats obtenus, des ajustements effectués au cours de la réalisation, et des performances du système final par rapport aux objectifs initiaux.

L'objectif de ce chapitre est de donner une vue d'ensemble complète de la transformation de la conception théorique en une application fonctionnelle, en mettant en lumière les aspects pratiques et techniques du processus de réalisation.

3.2 Imprimante 3D

L'imprimante 3D s'est imposée comme une technologie novatrice dans le domaine de la fabrication additive, permettant la création d'objets tridimensionnels à partir de divers matériaux tels que le plastique, le métal et la résine. Ce dispositif, dirigé par des modèles numériques, offre une souplesse sans précédent pour la réalisation d'objets personnalisés, de prototypes fonctionnels et même de pièces de rechange. Sa capacité à produire des structures

CHAPITRE 3. RÉALISATION DU SYSTÈME

complexes avec une grande précision et rapidité a révolutionné de nombreux secteurs, de la fabrication industrielle à la médecine et à l'architecture. En proposant une alternative rentable à la fabrication traditionnelle et en réduisant les délais de production, l'imprimante 3D ouvre de nouvelles perspectives pour l'innovation et la créativité. dans notre projet, nous avons observé que la plupart des systèmes et des pièces nécessaires n'étaient pas disponibles sur le marché. Par conséquent, nous avons opté pour l'utilisation d'une imprimante 3D afin de les concevoir et de les produire nous-mêmes. Ci-dessous, les figures 3.1 et 3.2 mettant en évidence un ensemble de pièces fabriquées à l'aide de l'imprimante 3D.

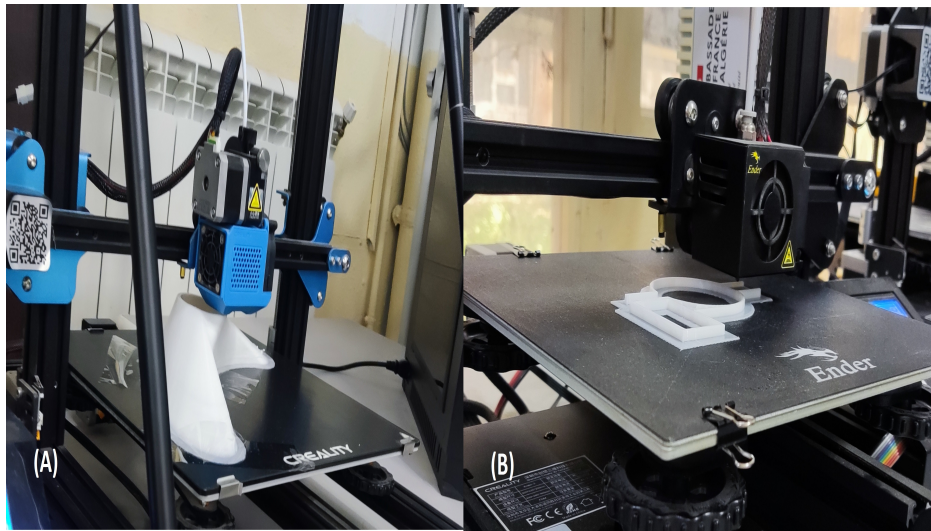


FIGURE 3.1 – Impression. (a) Grand entonnoir (b) Pièce cylindrique

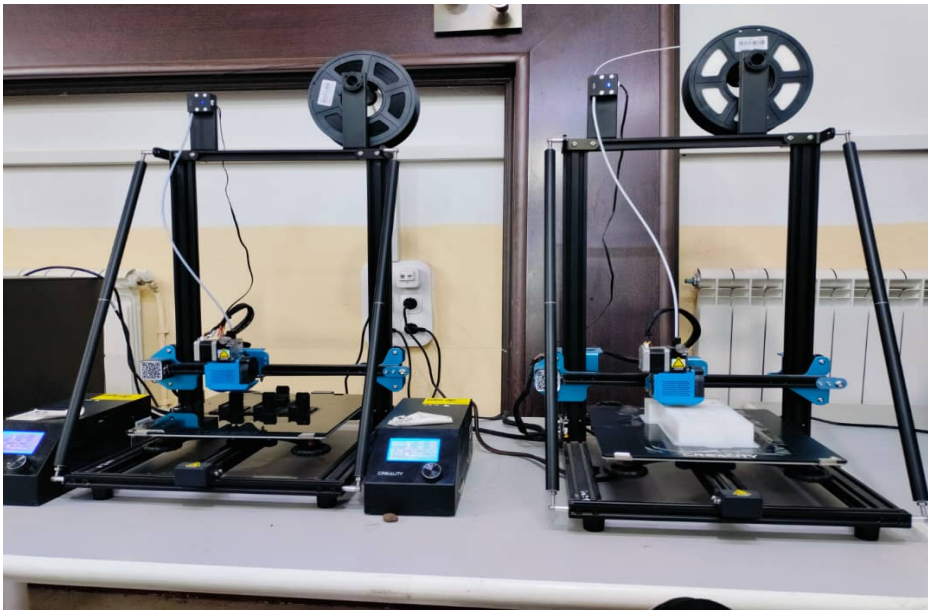


FIGURE 3.2 – Impression des support des servomoteurs

3.3 Machine de découpe laser

La machine de découpe laser CNC couplée au logiciel RDWorksV8 représente une innovation majeure dans le domaine de la fabrication assistée par ordinateur. Ces machines utilisent un faisceau laser ou une broche de fraisage pour découper ou graver des matériaux divers tels que le bois, l'acrylique, le métal, et le plastique, avec une précision extrême.

Le logiciel RDWorksV8, dédié aux machines de découpe laser, joue un rôle crucial en fournissant une interface utilisateur conviviale pour importer, modifier, et préparer les fichiers de conception. Il supporte divers formats de fichiers vectoriels comme DXF, AI, et SVG, permettant ainsi une grande flexibilité dans les projets de découpe. RDWorksV8 permet de définir avec précision les paramètres de coupe, y compris la vitesse, la puissance du laser, et le nombre de passes, ce qui est essentiel pour s'adapter aux caractéristiques spécifiques de chaque matériau.

La machine laser elle-même est dotée de moteurs contrôlés par ordinateur qui dirigent le mouvement de l'outil de coupe selon les instructions précises fournies par le code G généré par RDWorksV8. Cela assure une répétabilité et une précision inégalées, cruciales pour des applications industrielles, artisanales et de prototypage. Les capacités de la machine incluent le découpage de formes complexes, la gravure de motifs détaillés, et la fabrication de composants sur mesure avec une grande exactitude.

CHAPITRE 3. RÉALISATION DU SYSTÈME

L'intégration de RDWorksV8 avec la machine de découpe laser permet non seulement une automatisation efficace des processus de fabrication, mais aussi une optimisation des opérations grâce à un aperçu du parcours d'outil, permettant de valider et ajuster les trajectoires de coupe avant leur exécution réelle. Cette synergie entre le logiciel et la machine assure une production de haute qualité, réduit le gaspillage de matériaux, et améliore la productivité globale[12].

En somme, la combinaison de RDWorksV8 et de la machine de découpe laser offre une solution robuste et versatile pour une multitude de projets de découpe, allant des simples gravures aux opérations de découpe les plus complexes, tout en garantissant une précision et une efficacité exceptionnelles [12], les figures 3.3 et 3.4 présente la machine et le logiciel utiliser lors de la réalisation.



FIGURE 3.3 – Machine de découpe laser

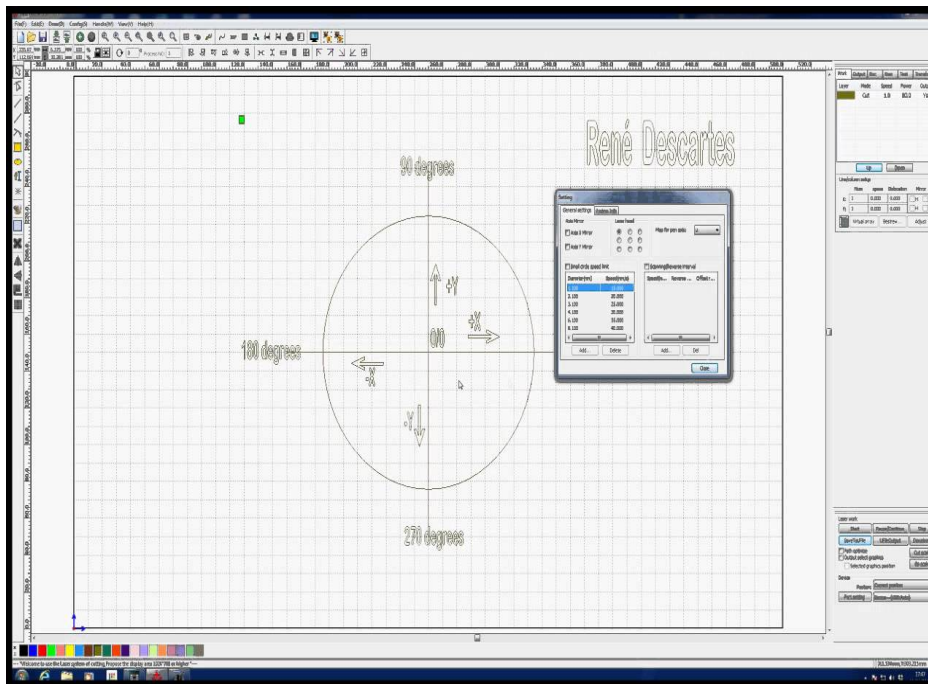


FIGURE 3.4 – Interface de Logiciel RDworksV8

Les machines de découpe laser offrent plusieurs avantages :

- Précision : Elles permettent des coupes très précises, avec des tolérances de l'ordre du millimètre.
- Polyvalence : Elles peuvent découper une grande variété de matériaux, y compris des métaux, des plastiques, des bois, des tissus et des composites.
- Rapidité : Elles sont capables de réaliser des coupes rapidement, ce qui permet d'augmenter la productivité.
- Flexibilité : Elles peuvent être utilisées pour couper des formes complexes et des contours personnalisés sans nécessiter de changements d'outils.
- Moins de déchets : Grâce à leur précision, elles minimisent les pertes de matériaux lors du processus de découpe.
- Automatisation : Contrôlées par ordinateur, elles peuvent être programmées pour fonctionner de manière autonome, ce qui réduit la nécessité d'une intervention humaine constante.
- Sécurité : Les systèmes de sécurité intégrés, tels que les capteurs de collision, contribuent à garantir un environnement de travail sûr.
- Faibles coûts d'exploitation : Bien que les coûts initiaux puissent être élevés, les machines de découpe laser ont généralement des coûts d'ex-

exploitation relativement bas en raison de leur efficacité énergétique et de leur faible besoin de maintenance.

Pendant la réalisation du projet, il était nécessaire d'acquérir une machine permettant de découper des morceaux de forex avec précision afin de les transformer en surfaces appropriées pour l'installation du système, c'est ainsi que nous avons choisi d'employer la machine de découpe laser. La figure 3.5 représente l'opération de découpe.

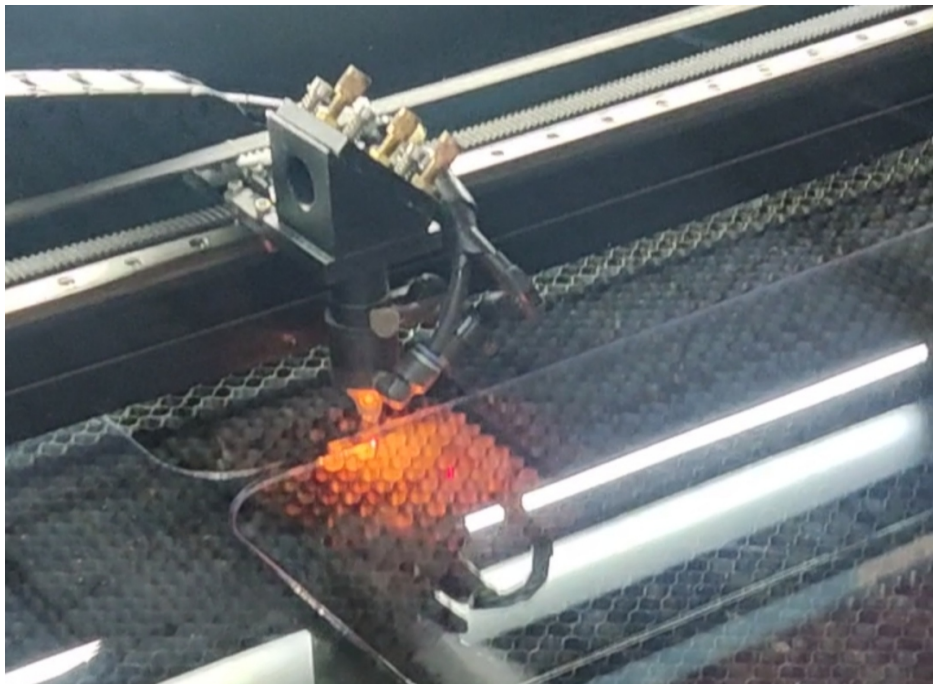


FIGURE 3.5 – Découpe d'un piece de plexi glace

3.4 Les composants utilisés dans le prototype

3.4.1 Servomoteur MG996R

Le servomoteur MG996R est un type spécifique de moteur électrique généralement utilisé pour le contrôle de la position et de la vitesse dans les systèmes mécaniques. Il se compose d'un moteur électrique, d'un ensemble de réduction, d'un potentiomètre de retour de position et d'un circuit de commande intégré. Ce qui le distingue des autres moteurs est sa capacité à être commandé avec précision à une position spécifique dans une plage de rotation définie. Le potentiomètre de retour de position fournit des informa-

tions en temps réel sur la position actuelle du servo, permettant un contrôle précis. Le circuit de commande intégré interprète les signaux de commande entrants, généralement sous forme de signaux de modulation de largeur d'impulsion (PWM), pour déterminer la position à atteindre [13]. Grâce à cette architecture, le servomoteur MG996R est largement utilisé dans les domaines de la robotique, de l'automatisation, des drones, des avions radiocommandés et d'autres applications nécessitant un contrôle précis de la position et de la vitesse, parmi les avantages qui nous a poussé à l'utiliser :

- sa construction robuste garantit une durabilité accrue, ce qui le rend adapté à une utilisation dans des environnements exigeants.
- Il offre un couple élevé, permettant une manipulation efficace de charges importantes.
- Sa capacité de rotation à 180 degrés offre une grande flexibilité dans le contrôle de la position, ce qui le rend idéal pour une variété d'applications, allant des robots aux bras mécaniques en passant par les caméras motorisées.
- Sa compatibilité avec de nombreux microcontrôleurs et cartes de développement en fait un choix polyvalent pour les projets électroniques.
- Son rapport qualité-prix attractif en fait un choix économique pour les amateurs et les professionnels cherchant une solution fiable et abordable.

Le rôle de cet élément s'articule autour de deux systèmes distincts : d'une part, il assure l'ouverture et la fermeture du robinet (principe de l'électrovanne) comme la montre la figure 2.9, et d'autre part, il gère l'ouverture et la fermeture de l'entonnoir comme en a vu dans la figure 2.1.



FIGURE 3.6 – Servomoteur MG996R

3.4.2 Électrovanne

Une électrovanne est un composant électromécanique utilisé pour contrôler le flux d'un fluide, comme l'eau, l'air, ou un gaz, dans un système. Elle se compose généralement d'une vanne et d'un électroaimant. L'électroaimant est activé par un signal électrique, ce qui entraîne l'ouverture ou la fermeture de la vanne, permettant ainsi de réguler le débit du fluide. Les électrovannes peuvent être utilisées dans une large gamme d'applications, allant de l'irrigation automatique aux systèmes de contrôle industriels en passant par les applications domestiques et médicales. Elles offrent un contrôle précis et rapide du flux de fluide, ce qui les rend indispensables dans de nombreux systèmes automatisés. L'électrovanne fonctionne avec une tension nominale de 12 volts et a une consommation d'énergie d'environ 5 watts lorsqu'elle est en fonctionnement.

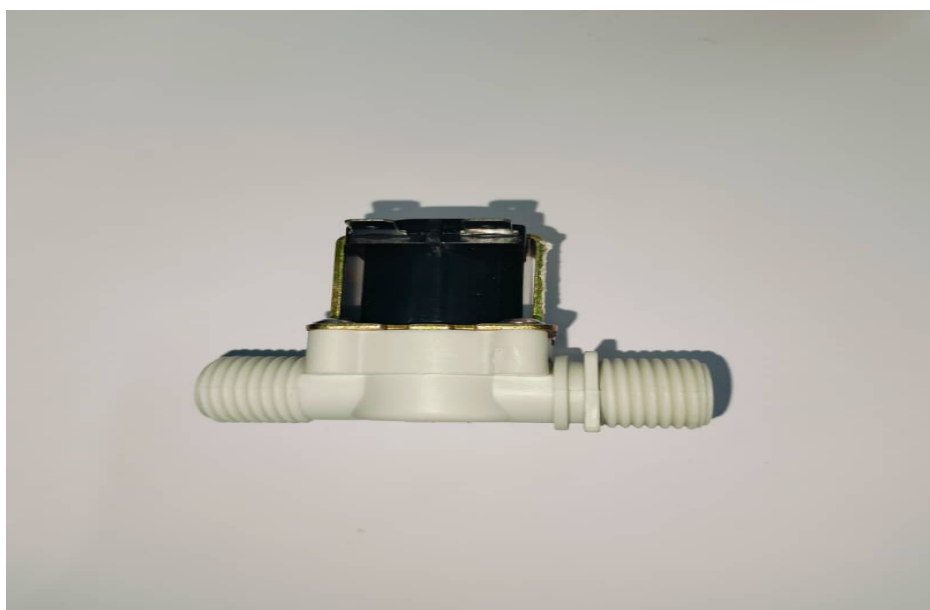


FIGURE 3.7 – Électrovanne

3.4.3 Débitmètre

En termes généraux, le débit se définit comme la quantité de fluide, tel que l'eau ou l'air, qui traverse un système ou un dispositif pendant une période définie. Il est couramment exprimé en unités telles que litres par minute, mètres cubes par seconde ou gallons par heure, en fonction du contexte. Le débit revêt une importance cruciale dans divers domaines, notamment l'ingénierie, l'hydrologie, la météorologie et la gestion des ressources en eau. Il sert à évaluer l'efficacité des systèmes, à prédire les conditions météorologiques, à mesurer la consommation d'eau, entre autres applications. plus précisément le débitmètre que nous avons utilisé est un débitmètre à effet Hall. Son principe de fonctionnement repose sur l'effet Hall, qui est une interaction entre un courant électrique et un champ magnétique générant une tension perpendiculaire à ces deux éléments. Voici comment il fonctionne en général :

1. Roue à aubes : Le débitmètre comprend souvent une roue à aubes (ou un rotor) qui tourne lorsque le fluide passe à travers le débitmètre.
2. Aimant : Des aimants sont fixés sur les pales de la roue. Lorsque la roue tourne, les aimants se déplacent avec elle.
3. Capteur à effet Hall : Un capteur à effet Hall est placé à proximité de la roue. Ce capteur détecte le champ magnétique généré par les aimants qui passent devant lui.

4. Génération d'impulsions : Chaque fois qu'un aimant passe devant le capteur à effet Hall, celui-ci génère une impulsion électrique. Le nombre d'impulsions générées est directement proportionnel au débit du fluide.
5. Traitement du signal : Les impulsions électriques sont ensuite envoyées à un circuit électronique qui les compte et les convertit en un signal de sortie proportionnel au débit du fluide. Ce signal peut être affiché sur un écran ou utilisé pour des contrôles automatisés.

Ce type de débitmètre est largement utilisé pour ses caractéristiques de précision et de robustesse dans divers environnements industriels et commerciaux [14].



FIGURE 3.8 – Débitmètre

3.4.4 Pompe brushless

La pompe à courant continu sans balais, ou brushless DC pump en anglais, est un type de pompe qui utilise un moteur électrique à courant continu sans balais pour générer un mouvement rotatif, permettant ainsi le déplacement du fluide. Contrairement aux pompes traditionnelles à balais, les pompes à



FIGURE 3.9 – Brushless DC pump

courant continu sans balais sont plus efficaces, plus durables et produisent moins de bruit. Elles sont largement utilisées dans une variété d'applications, telles que les systèmes de refroidissement, les systèmes de circulation d'eau, les systèmes de filtration et les applications médicales et industrielles. Dans notre projet, sa fonction est d'extraire le mélange du mélangeur et de le transférer vers la zone de culture.

3.4.5 Moteur 5840-31zy

Le moteur DC 5840-31ZY est un moteur électrique à courant continu qui appartient à la série 5840 avec une référence spécifique de 31ZY. Voici une description plus détaillée de ses caractéristiques :

- Le moteur DC 5840-31ZY est un moteur électrique à courant continu qui appartient à la série 5840 avec une référence spécifique de 31ZY, les caractéristiques de ce moteur sont :
- Type : Moteur à courant continu (DC)
- Taille : La référence "5840" indique probablement la taille du moteur, bien que les dimensions exactes puissent varier en fonction du fabricant.
- Configuration : Il s'agit probablement d'un moteur à balais, où les

CHAPITRE 3. RÉALISATION DU SYSTÈME

balais sont utilisés pour établir le contact électrique avec le rotor et assurer la rotation du moteur.

- Tension nominale : La tension nominale à laquelle le moteur est conçu pour fonctionner en toute sécurité. Par exemple, il peut être conçu pour fonctionner sous une tension de 12 volts, 24 volts, etc.
- Puissance : La puissance nominale du moteur, mesurée en watts (W) ou en chevaux (HP), indique la quantité de travail qu'il peut effectuer par unité de temps.
- Vitesse de rotation : La vitesse à laquelle le moteur peut faire tourner son arbre de sortie, généralement mesurée en tours par minute (RPM).
- Couple : Le couple de sortie du moteur, qui représente la force de rotation qu'il peut produire à un certain régime et à une certaine tension.
- Courant nominal : Le courant électrique que le moteur est conçu pour consommer lorsqu'il fonctionne à sa puissance nominale.
- Efficacité : L'efficacité énergétique du moteur, exprimée en pourcentage, qui indique quelle proportion de l'énergie électrique consommée est convertie en travail mécanique utile.
- Applications typiques : Les applications pour lesquelles ce moteur est généralement utilisé, telles que les appareils médicaux, les robots, les équipements industriels, etc [15].

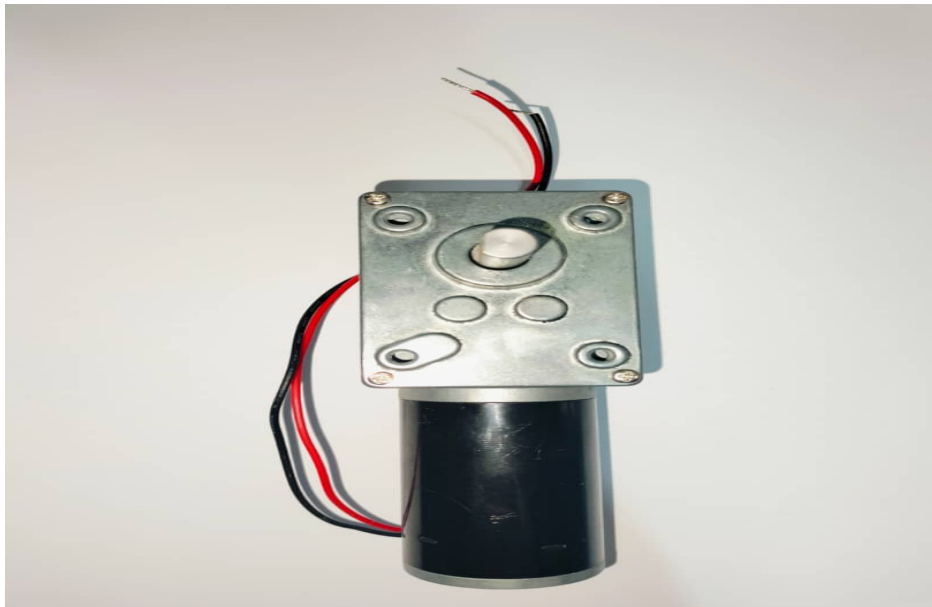


FIGURE 3.10 – Moteur 5840-31zy

3.4.6 Capteur de niveau E18-D80NK

Le capteur E18-D80NK est un capteur de proximité infrarouge utilisé pour détecter la présence ou l'absence d'objets dans un environnement donné. Il fonctionne en émettant un faisceau infrarouge et en mesurant la quantité de lumière infrarouge réfléchi. Lorsqu'un objet est présent dans la zone de détection, la lumière infrarouge est réfléchi vers le capteur, déclenchant ainsi la détection [16].

En ce qui concerne notre projet nous l'on utiliser pour détecter le niveau d'eau, le capteur peut être installé au-dessus du niveau de l'eau dans un réservoir ou un conteneur. Lorsque le niveau de l'eau atteint le capteur, il réfléchit la lumière infrarouge émise par le capteur, ce qui déclenche la détection de la présence d'eau. Cependant, la précision de cette méthode peut varier en fonction de facteurs tels que la transparence de l'eau et la réflectance infrarouge.



FIGURE 3.11 – Capteur de de proximité E18-D80NK

3.4.7 Alimentation AS1225

Dans notre projet, chaque composant est soigneusement sélectionné pour sa contribution spécifique, et l'alimentation AS1225 est un élément fondamental assurant le bon fonctionnement de l'ensemble. L'Arduino agit en tant que centre de contrôle, orchestrant les opérations des différents dispositifs. Les

servomoteurs assurent des mouvements précis, le moteur à courant continu fournit une puissance mécanique pour faire tourner l'hélice de mélangeur, la pompe à eau alimente les processus hydrauliques, tandis que le capteur de niveau surveille les variations de liquide dans le mélangeur.

Cependant, la performance de ces composants est intrinsèquement liée à une alimentation électrique stable et sécurisée. L'intégration de l'alimentation AS1225 garantit une tension de sortie régulée et une protection contre les surcharges et les courts-circuits, des caractéristiques indispensables dans un environnement où la fiabilité est primordiale. En veillant à ce que chaque composant soit alimenté de manière cohérente et sûre, l'AS1225 contribue à l'efficacité opérationnelle et à la longévité du système dans son ensemble [17].

3.4.8 Shield Pilote i2c PCA9685

Le module PCA9685 est un pilote de PWM développé par NXP Semiconductors, largement utilisé pour le contrôle précis de plusieurs servomoteurs. Ce composant est particulièrement apprécié dans les projets de robotique et d'automatisation grâce à sa capacité à piloter jusqu'à 16 canaux PWM indépendants avec une résolution de 12 bits pour chaque canal, ce qui permet un contrôle très fin des servomoteurs. Le PCA9685 communique via un bus I²C, ce qui simplifie son intégration avec divers microcontrôleurs et cartes de développement comme l'Arduino et le Raspberry Pi. De plus, le module dispose d'une fréquence de modulation ajustable jusqu'à environ 1,6 kHz, offrant une grande flexibilité pour répondre aux exigences spécifiques des différentes applications. Son alimentation flexible, pouvant aller de 2,3V à 5,5V, le rend compatible avec une large gamme de servomoteurs et d'autres dispositifs à courant continu. Enfin, le PCA9685 intègre une horloge interne, ce qui réduit la charge de traitement du microcontrôleur principal et permet de réaliser des applications nécessitant un contrôle simultané et précis de nombreux servomoteurs, c'est ce qui en fait une solution idéale et nécessaire dans notre système[18], la figure 3.12 montre le module Shield Pilote i2c PCA9685.



FIGURE 3.12 – Shield PCA9684

3.4.9 Capteur de poids

Le capteur de poids pour Arduino, souvent basé sur un capteur à jauge de contrainte (strain gauge) combiné avec un module amplificateur HX711, est une solution couramment utilisée pour mesurer des poids avec précision dans divers projets électroniques. Le capteur à jauge de contrainte, également appelé cellule de charge, fonctionne en déformant légèrement sous l'effet d'une force appliquée, ce qui entraîne une variation de résistance proportionnelle à la force exercée. Cette variation est ensuite convertie en un signal électrique[19].

Le module HX711 est un amplificateur de signal et convertisseur analogique-numérique spécialement conçu pour les applications de pesage. Il amplifie le faible signal électrique produit par la cellule de charge et le convertit en un signal numérique que l'Arduino peut facilement traiter. Le HX711 se connecte à l'Arduino via une interface à deux fils (SCK et DT), facilitant son intégration dans divers projets.

Grâce à sa haute précision et sa faible dérive, le capteur de poids avec le module HX711 est idéal pour les applications nécessitant une mesure précise, telles que les balances électroniques, les systèmes de contrôle de processus industriels, et les projets de recherche nécessitant des mesures de force. Son utilisation est également simplifiée par la disponibilité de bibliothèques Arduino dédiées, qui fournissent des fonctions pour calibrer le capteur et lire

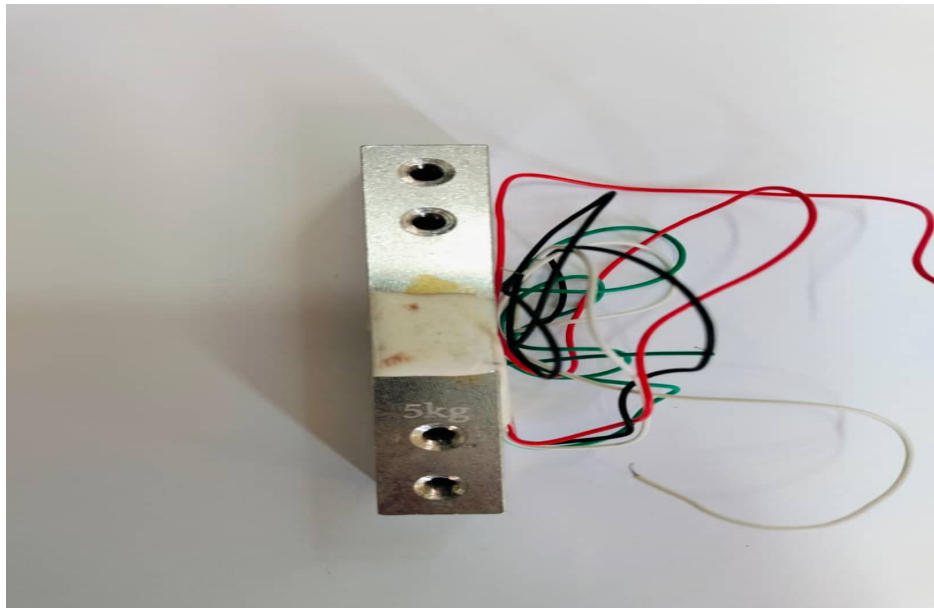


FIGURE 3.13 – Capteur de poids

les données de poids de manière précise et fiable [20].

3.4.10 Arduino Mega

L'Arduino Mega est une carte de développement puissante et polyvalente, largement utilisée dans les projets électroniques et robotiques en raison de ses nombreuses fonctionnalités et de sa grande capacité de mémoire. Dotée du microcontrôleur ATmega2560, cette carte offre 54 broches d'entrées/sorties numériques, dont 15 peuvent être utilisées comme sorties PWM, ainsi que 16 entrées analogiques et 4 ports de communication série (UART). Sa mémoire flash de 256 Ko, sa SRAM de 8 Ko et sa EEPROM de 4 Ko permettent de gérer des programmes plus complexes et de stocker des données de manière plus efficace. Grâce à sa compatibilité avec une vaste gamme de capteurs, de modules et de bibliothèques logicielles, l'Arduino Mega est particulièrement prisée dans les projets nécessitant un grand nombre de connexions et une gestion avancée des ressources. Son IDE convivial facilite la programmation en langage C/C++, rendant l'Arduino Mega accessible aussi bien aux débutants [21].

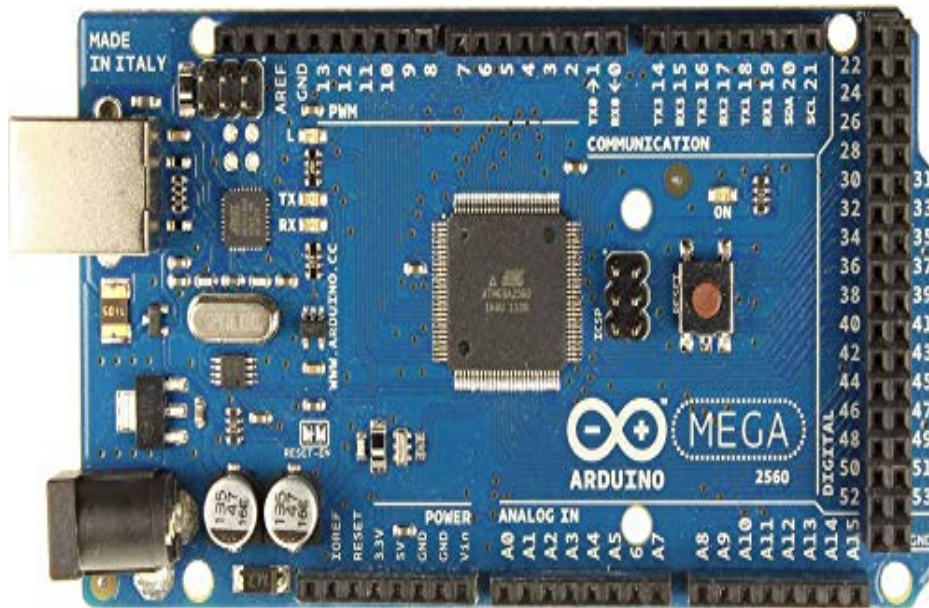


FIGURE 3.14 – Arduino Mega [22]

3.5 Prototype

La forme finale du système développé dans ce projet est présentée dans la figure 3.15. Cette configuration illustre l'intégration de tous les composants essentiels : les pompes, les débitmètres, les servomoteurs, la carte Arduino Mega, l'alimentation, et le moteur à courant continu du mélangeur. Les pompes assurent la circulation des fluides à travers le système, tandis que les débitmètres surveillent et contrôlent le flux pour garantir une précision optimale. Les servomoteurs sont utilisés pour ajuster les vannes et autres mécanismes de contrôle, permettant ainsi une régulation fine des différents paramètres du système.

La carte Arduino Mega joue un rôle central en coordonnant les opérations de tous les composants, grâce à sa capacité de traitement et à ses nombreuses connexions d'entrées/sorties. L'alimentation, quant à elle, fournit l'énergie nécessaire à l'ensemble du système, assurant un fonctionnement stable et continu. Le moteur à courant continu du mélangeur est chargé d'homogénéiser les substances, garantissant une consistance uniforme du mélange final.

Chaque composant a été soigneusement positionné pour optimiser l'efficacité et la fiabilité du système tout en minimisant les interférences électromagnétiques et mécaniques. L'architecture modulaire permet également une maintenance facile et une extensibilité future. Cette forme finale repré-

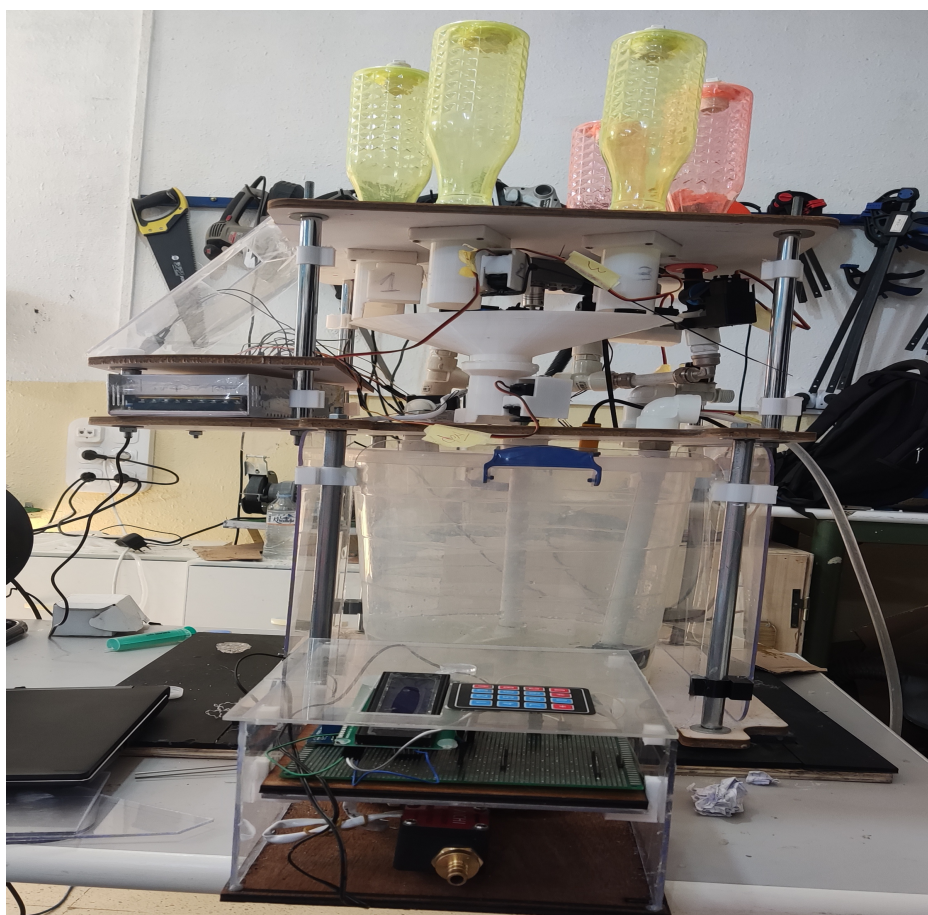


FIGURE 3.15 – Prototype final du système

sente l'aboutissement de plusieurs itérations de conception, d'assemblage et de tests, garantissant ainsi une performance optimale pour les applications prévues.

3.5.1 Intégration du produit dans une zone agricole

Le système a été conçu pour être adaptable à différents environnements agricoles. Quelle que soit la diversité des conditions locales, une exigence essentielle est la présence d'une source d'internet fiable. Cette connectivité est cruciale car elle permet au système de transmettre les données collectées par les capteurs en temps réel aux utilisateurs. Grâce à cette fonctionnalité, les agriculteurs peuvent surveiller et gérer leurs cultures de manière plus efficace, en prenant des décisions éclairées basées sur des informations précises et actualisées. Le système est compatible avec tous les types d'arrosage, qu'il

s'agisse d'irrigation goutte à goutte, de micro-irrigation ou d'arrosage par aspersion. La technique de notre système implique la dilution des sels dans l'eau, et il est préférable d'utiliser cette eau salée le plus rapidement possible pour une efficacité optimale. L'arrosage par aspersion permet non seulement une application rapide et uniforme de l'eau, mais aussi une meilleure dilution des sels, ce qui améliore la qualité de l'irrigation et prévient l'accumulation de sels dans le sol. En utilisant cette méthode, les agriculteurs peuvent mieux répondre aux besoins hydriques des cultures, garantissant ainsi une croissance saine et productive. La figure 3.16 présente un dessin illustrative de l'intégration du dans une zone agricole.

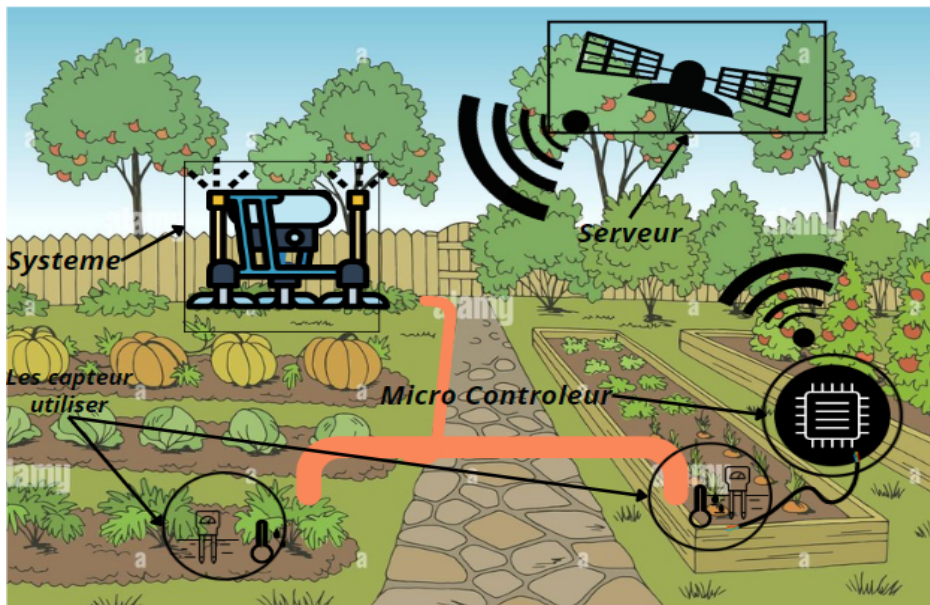


FIGURE 3.16 – Intégration des d'efférentes parties du produits

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé le processus de réalisation du système, en commençant par une introduction générale avant de nous pencher sur les composants clés et les technologies utilisées. L'imprimante 3D et la machine de découpe laser ont été essentielles pour la fabrication des pièces sur mesure du prototype, permettant une précision et une adaptabilité maximales.

Les composants principaux utilisés dans le prototype ont été minutieusement sélectionnés pour leurs performances et leur compatibilité. Parmi eux,

CHAPITRE 3. RÉALISATION DU SYSTÈME

le servomoteur MG996R, l'électrovanne, le débitmètre, la pompe brushless, le moteur 5840-31zy, le capteur de niveau E18-D80NK, l'alimentation AS1225, le Shield pilote i2c PCA9685, le capteur de poids, et enfin, l'Arduino Mega, ont chacun joué un rôle crucial dans le fonctionnement global du système.

La forme finale du système a été élaborée en tenant compte de son positionnement dans une zone agricole, ce qui a impliqué des considérations pratiques pour assurer son efficacité et sa durabilité dans un environnement extérieur.

En conclusion, ce chapitre a permis de mettre en lumière les différentes étapes et choix techniques ayant conduit à la réalisation du prototype, soulignant l'importance de chaque composant dans la constitution d'un système fonctionnel et efficace. Cette réalisation est un pas significatif vers l'intégration de technologies avancées dans le secteur agricole, ouvrant la voie à de nouvelles possibilités pour l'automatisation et l'amélioration des pratiques agricoles.

Conclusion général

Face à l'augmentation constante des besoins en eau et à l'importance cruciale des engrais dans les divers secteurs agricoles, les ressources disponibles deviennent de plus en plus limitées. Cette situation appelle à l'adoption de stratégies de gestion innovantes et rationnelles, fondées sur les technologies modernes. Pour élaborer des solutions répondant aux besoins actuels et futurs, une analyse approfondie des pratiques existantes a été indispensable, mettant en avant l'automatisation comme clé de voûte de ces nouvelles approches.

Cette thèse a fourni une analyse exhaustive des systèmes d'irrigation automatisés, essentiels pour accroître l'efficacité et la durabilité des pratiques agricoles contemporaines. En examinant en détail les différentes méthodes d'irrigation – de surface, par goutte à goutte et par aspersion – nous avons évalué leurs avantages et inconvénients, offrant ainsi une base solide pour sélectionner les techniques les plus adaptées selon les conditions spécifiques.

La conception de notre système d'irrigation automatisé s'est appuyée sur une collecte rigoureuse de données et une analyse minutieuse des besoins. L'utilisation de logiciels avancés tels que SolidWorks pour la modélisation 3D et Qt Designer et PyCharm pour le développement de l'interface utilisateur et de la logique de contrôle a permis de développer un système cohérent, intuitif et performant.

La réalisation pratique du système a intégré des technologies de pointe, notamment l'impression 3D et la découpe laser, pour fabriquer des composants sur mesure avec une grande précision. La sélection rigoureuse de composants tels que le servomoteur MG996R, l'électrovanne, le débitmètre et le capteur de niveau a été essentielle pour garantir la robustesse et l'efficacité du prototype. L'intégration de ces composants dans une architecture globale a permis de créer un système capable de gérer l'irrigation de manière autonome, optimisant ainsi l'utilisation des ressources en eau et en énergie.

Les tests du prototype dans un environnement agricole réel ont démontré la pertinence de notre approche. Les résultats ont confirmé que le système répond aux exigences de performance et de fiabilité, offrant une solution viable

CONCLUSION GÉNÉRAL

pour l'automatisation de l'irrigation dans diverses applications agricoles.

Nous sommes satisfaits des résultats obtenus, mais nous aspirons à aller encore plus loin. Par exemple, l'intégration de systèmes d'énergie solaire pour alimenter le système d'irrigation permettrait d'accroître encore l'efficacité et la durabilité, et aussi La création des logiciels avancés pour la gestion intelligente de l'eau, basés sur des algorithmes d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle, peut optimiser l'utilisation de l'eau en fonction des prévisions météorologiques, des besoins spécifiques des cultures et des données recueillies par les capteurs. Cette amélioration offrirait une solution autonome et écologique, répondant aux défis croissants liés à la gestion durable des ressources naturelles.

Annexe A

Vues Techniques des différentes pièces

ANNEXE A. VUES TECHNIQUES DES DIFFÉRENTES PIÈCES

Bibliographie

- [1] S. AMIR, *Conception et réalisation d'un système d'irrigation intelligent*, 2019.
- [2] A. M. SABER et O. D. BOUMAKEL, *Etude et réalisation d'un système d'irrigation automatisé avec monitoring*, 2020.
- [3] S. AMMAR et B. HATEM, *Etude et réalisation d'un système d'irrigation intelligente*, 2021.
- [4] M. LAIMÉ, "Une politique de l'irrigation à vau-l'eau," *DARD/DARD*, n° 1, p. 28-39, 2022.
- [5] H. MEGNAFI, A. A. CHELLAL et A. BENHANIFIA, "Flexible and automated watering system using solar energy," in *Artificial Intelligence and Renewables Towards an Energy Transition 4*, Springer, 2021, p. 747-755.
- [6] A. A. CHELLAL et A. BENHANIFIA, *Conception et Réalisation d'un Système d'Arrosage Automatique et Autonome*, 2020.
- [7] S. HARISHANKAR, R. S. KUMAR, K. SUDHARSAN, U. VIGNESH et T. VIVEKNATH, "Solar powered smart irrigation system," *Advance in electronic and electric engineering*, t. 4, n° 4, p. 341-346, 2014.
- [8] P. PATIL, "Automatic Herb Watering and Irrigation System Using Global System for Mobile with Photovoltaic Cell," 2019.
- [9] C.-R. ROBERT, *Les sols d'Algérie*, https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1955_num_64_341_15247, Avril 25 2024.
- [10] M. M. MOUNIROU, "Effet comparé de la fertilisation à base de biochar, engrais organique et engrais chimique sur les éléments minéraux et la production de l'oignon (*Allium cepa* L.)," *European Scientific Journal, ESJ*, t. 18, n° 24, p. 47-67, 2022.

BIBLIOGRAPHIE

- [11] M. BLANCHARD, K. COULIBALY, S. BOGNINI, P. DUGUÉ et É. VALL, “Diversité de la qualité des engrais organiques produits par les paysans d’Afrique de l’Ouest : quelles conséquences sur les recommandations de fumure ?,” 2014.
- [12] A. BOUJLIDA, I. DAYEH, B. ELMABROUK, M. F. ELWASLI et M. Y. BOUTAR, “Machine de découpe laser,”
- [13] M. ABDENNOUR, “Intitulé : Modélisation et Commande par Micro-contrôleur d’une Plateforme Stewart à 3 Degrés de Liberté.,” thèse de doct., UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2019.
- [14] K. TEBERIK, “Sigara İçmenin Maküla, Koroid ve Retina Sinir Lifi Tabakası Kalınlığı Üzerine Etkisi,” *Turk J Ophthalmol*, t. 49, n° 1, p. 20-24, 2019.
- [15] C. ESPANET, “Modélisation et conception optimale de moteurs sans balais à structure inversée-Application au moteur-roue,” thèse de doct., Université de Franche-Comté, 1999.
- [16] A. OUMAYA, A. HADJAJ FAROUK et D. ABDESSEMED, “Etude et Réalisation d’un Robot Mobile Multi Taches Destiné au Domaine Agricole,” thèse de doct., UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA.
- [17] Y. RAHMAT-SAMII, “Effets de déformations déterministes des surfaces sur les caractéristiques d’antennes a réflecteur,” in *Annales Des Télécommunications*, Springer, t. 40, 1985, p. 350-360.
- [18] V. D. MANOLESCU et E. L. SECCO, “Design of an assistive low-cost 6 dof robotic arm with gripper,” in *Proceedings of Seventh International Congress on Information and Communication Technology : ICICT 2022, London, Volume 1*, Springer, 2022, p. 39-55.
- [19] I. ZIAN, “Conception d’un système d’arrosage intelligent,” thèse de doct., 2023.
- [20] N. QUINIOU, J. NOBLET, J. LE DIVIDICH, S. DUBOIS et F. LABROUE, “Influence de l’abaissement de la température ambiante et du poids vif sur le comportement alimentaire des porcs en croissance élevés en groupe,” *Journées de la recherche porcine en France*, t. 29, p. 135-140, 1997.
- [21] H. MEGNAFI, “Électronique Embarquée–Arduino,” 2024.
- [22] M. KUSRIYANTO et B. D. PUTRA, “Smart home using local area network (LAN) based arduino mega 2560,” in *2016 2nd international conference on wireless and telematics (ICWT)*, IEEE, 2016, p. 127-131.