

Département d'Agronomie

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté et Soutenu par :

Moghtet Leila

Pour l'Obtention du Diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : Technologie Avancées pour l'Agriculture de précision

THEME

Surveillance de l'Écosystème d'Élevage des Mouches Soldat

Noires par un Raspberry Pi 4

Soutenu le : 25-09-2023

Devant le jury composé de :

Président	MAHIOUT Djamel	Université de Mostaganem	Grade MCA
Examineur	BENDANI Djezia	Université de Mostaganem	Grade MAA
En cadreur	MOUSSA Mohammed	Université de Mostaganem	Grade MCB

Travail préparé au sein du Laboratoire d'Électromagnétique et Optique Guidée (EOG) et, Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée de l'université de MOSTAGANEM, ALGÉRIE

المخلص

تربية الحشرات، مثل يرقات ذبابة الجندي الأسود (*Hermetia Illucens*)، يقدم حلاً فعالاً للوقاية من الأمراض، تقليل استخدام المضادات الحيوية وتحسين جودة المنتجات الحيوانية. هذه اليرقات، والمعروفة أيضاً باسم يرقات ذبابة الجندي الأسود (BSFL) Black Soldier Fly Larva، تستخدم في الزراعة للسماد وإدارة النفايات العضوية، مما يسمح بإنتاج البروتينات والدهون الحشرية المعدة لتغذية الحيوانات. في هذا السياق، من الضروري وضع تدابير رقابية كافية للحفاظ على الظروف الأساسية للتكاثر، بما في ذلك الرطوبة ودرجة الحرارة والنظام الغذائي.

الجزء الأساسي من الدراسة التي أجريت في مختبر فسيولوجيا الحيوان التطبيقية، استخدمنا جهاز استشعار الرطوبة ودرجة الحرارة، بالإضافة إلى جهاز، راسبيري باي 4 كمركز تحكم ومراقب لتكاثر يرقات ذبابة الجندي الأسود (LMSN). لقد تم وضع المستشعر في بيئة التكاثر لتوفير قياسات في الوقت الحقيقي لمستويات الرطوبة ودرجة الحرارة مما يسمح لنا بمراقبة الظروف البيئية التي تعرضت لها اليرقات عن كثب. للتحكم في المعلمات، قمنا بتنفيذ نظام التحكم الآلي. يمكن لنظام النموذج الأولي، المبني على، راسبيري باي 4، التحكم في الظروف البيئية التي تتعرض لها اليرقات أثناء تربيتها، وبالتالي تعزيز نهج التربية الدقيق.

الكلمات المفتاحية: ذباب الجندي الأسود، راسبيري باي 4، التربية الدقيقة، النظام الآلي.

Résumé

L'élevage d'insectes, tel que les larves de la mouche soldat noire (*Hermetia Illucens*), offre une solution efficace pour prévenir les maladies, réduire l'usage d'antibiotiques et améliorer la qualité des produits animaux. Ces larves, également connues sous le nom de Black Soldier Fly Larvae (BSFL), sont employées en agriculture pour le compostage et la gestion des déchets organiques, permettant ainsi la production de protéines et de graisses d'insectes destinées à l'alimentation animale.

Dans ce contexte, il est impératif de mettre en place des mesures de contrôle adéquates. Pour maintenir les conditions essentielles à l'élevage, notamment l'humidité, la température et l'alimentation.

Dans le cadre de l'étude menée au laboratoire de physiologie animale appliquée, nous avons utilisé un capteur d'humidité et de température, ainsi qu'un Raspberry Pi 4 comme centre de contrôle, un humidificateur et une résistance pour surveiller l'élevage des larves de mouche soldat noire (LMSN). Le capteur a été placé dans l'environnement d'élevage afin de fournir des mesures en temps réel des niveaux d'humidité et de température, nous permettant ainsi de suivre de près les conditions environnementales auxquelles les larves étaient exposées. Pour le contrôle des paramètres, nous avons mis en place un système de contrôle automatisé.

Le système sous forme de prototype, basé sur le Raspberry Pi 4, peut contrôler les conditions environnementales auxquelles les larves sont exposées pendant leur élevage favorisant ainsi une approche d'élevage de précision.

Mots-clés : Mouches Soldat Noires, Raspberry Pi 4, élevage de précision, système automatisé.

Abstract

Rearing insects such as the larvae of the Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) offers an effective solution for preventing disease, reducing the use of antibiotics and improving the quality of animal products. These larvae, also known as Black Soldier Fly Larvae (BSFL), are used in agriculture for composting and organic waste management, enabling the production of insect proteins and fats for animal feed.

In this context, it is imperative to put in place adequate control measures to maintain the conditions essential for breeding, including humidity, temperature and feeding.

As part of the study carried out in the Applied Animal Physiology Laboratory, we used a humidity and temperature sensor, together with a Raspberry Pi 4 as a control center, a humidifier and a resistor to monitor the rearing of black soldier fly larvae (LMSN). The sensor was placed in the rearing environment to provide real-time measurements of humidity and temperature levels, enabling us to closely monitor the environmental conditions to which the larvae were exposed. For parameter control, we set up an automated control system.

The prototype system, based on the Raspberry Pi 4, can control the environmental conditions to which the larvae are exposed during rearing.

Keywords: Black soldier flies, Raspberry Pi 4, precision farming, automated system

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES TABLEAUX	X
ACRONYMES	XI
INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	3
CHAPITRE 1 MOUCHE SOLDAT NOIR	4
1.1 LA MOUCHE SOLDAT NOIR (HERMETIA ILLUCENS).....	5
1.2 CYCLE DE VIE DES MOUCHES SOLDATS NOIRES (MSN).....	5
1.3 LES FACTEURS CONDITIONNELS IMPACTANT LE CYCLE DES MOUCHES SOLDAT NOIR	7
1.3.1 TEMPERATURE	7
1.3.2 HUMIDITE	8
1.4 TRAITEMENT DES DECHETS PAR LA MSN.....	8
1.5 ÉLEVAGE DE LARVES POUR L'ALIMENTATION ANIMALE.....	9
1.6 LA TRANSFORMATION A L'ECHELLE INDUSTRIELLE	9
1.7 EXEMPLES D'ELEVAGE INDUSTRIEL DES INSECTES	9
1.7.1 AGRIPROTEIN	10
1.7.2 ENVIROFLIGHT	11
CHAPITRE 2 L'AGRICULTURE ALGERIENNE	12
2.1 L'AGRICULTURE EN ALGERIE	13
2.2 CHANGEMENT CLIMATIQUE EN ALGERIE	13
2.3 EFFETS DES SERRES EN ALGERIE.....	13
2.4 LE SYSTEME D'INFORMATION AGRICOLE APPLIQUE EN ALGERIE.....	14
CHAPITRE 3 L'ÉVOLUTION DE L'AGRICULTURE DE L'APPROCHE CONVENTIONNELLE A L'AGRICULTURE AVANCEE	16
3.1 INTRODUCTION	17
3.2 L'AGRICULTURE ET LES TECHNOLOGIES	17
3.3 L'AGRICULTURE 4.0.....	18
3.4 L'AGRICULTURE DE PRECISION, NUMERIQUE ET INTELLIGENTE.....	18
3.5 L'INTERNET DES OBJETS	19
3.5.1 LES DOMAINES D'APPLICATION D'IDO	20
3.5.2 L'INTERNET DES OBJETS DANS LE DOMAINE D'AGRICULTURE	20
3.5.3 L'INTERNET DES OBJETS DANS LE DOMAINE D'ELEVAGE DE PRECISION	21

3.5.4 OBJETS INTELLIGENTS	21
3.5.5 LES SYSTEMES EMBARQUES CONNECTES DANS L'AGRICULTURE	22
CHAPITRE 4 SERRE AGRICOLE	23
4.1 HISTORIQUE	24
4.2 DEFINITION	25
4.3 CLASSIFICATION	25
4.3.1 CLASSIFICATION BASEE SUR LA MATIERE UTILISEE ET LA STRUCTURE DE CONSTRUCTION	26
4.3.2 CLASSIFICATION BASEE SUR L'UTILITE	27
4.4 MICROCLIMAT A L'AIDE D'UNE SERRE	28
4.5 FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX D'UNE SERRE	28
4.5.1 ENSOLEILLEMENT	28
4.5.2 LUMIERE	29
4.5.3 TEMPERATURE	30
4.6 SERRE INTELLIGENTE	30
4.6.1 CARACTERISTIQUES CLES D'UNE SERRE INTELLIGENTE	30
4.6.2 LES CAPTEURS DANS LES SERRES	32
4.7 FERME INTELLIGENTE	32
PARTIE EXPERIMENTALE	34
CHAPITRE 5 MATERIEL ET METHODES	35
5.1 DEMARCHES D'INTEGRATION D'UN SYSTEME D'ELEVAGE DES MSN	36
5.2 L'OBJECTIF DU TRAVAIL	36
5.3 DESCRIPTION DU SITE D'ETUDE ET INSTALLATION DE LA COLONIE DE LMSN	37
5.4 LES ETAPES GENERALES SUR LA CREATION D'UN PROTOTYPE D'ELEVAGE	37
5.5 CONCEPTION D'UN SYSTEME D'ELEVAGE LMSN	38
5.6 MATERIEL UTILISE	40
5.7 PRESENTATION DU SYSTEME EMBARQUE D'ELECTROLARVE	45
5.7.1 LE CHOIX ENTRE L'ARDUINO UNO ET LE RASPBERRY PI 4	45
5.7.2 CARTE RASPBERRY PI 4 MODEL B	47
5.7.3 CONFIGURATIONS DE RASPBERRY PI 4 MODEL B	50
5.7.4 CAPTEUR DHT22	51
5.7.5 RELAI DECLENCHEUR 1CH	52
5.7.6 HUMIDIFICATEUR ET VENTILATEUR	53
5.7.7 WEBCAM	54
5.7.8 MPC3008 (CONVERTISSEUR ANALOGIQUE-NUMERIQUE)	55
5.7.9 ÉCRANS LCD	55
5.7.10 JOYSTICK	55

5.7.11 RESISTANCE CHAUFFANTE	56
5.7.12 PASSIVE BUZZER	56
5.8 DIAGRAMME GLOBALE DE PROGRAMME.....	57
5.9 LOGICIELS ASSOCIES A L'IMPLEMENTATION ALGORITHMIQUE	58
5.10 GESTION DE WEBCAM.....	59
5.11 GESTION DES DONNEES DE CAPTEUR.....	59
5.12 LOGIQUE DE CONTROLE.....	60
5.13 GESTION DE JOYSTICK.....	61
5.14 SERVEUR WEBSOCKET.....	62
5.15 UTILISATION DE HTML, CSS ET JAVASCRIPT DANS L'INTERFACE TILISATEUR	62
5.16 INTERACTION UTILISATEUR	64
5.17 MONTAGE DU PROTOTYPE	64
5.18 CREATION DE CIRCUIT IMPRIME (PCB).....	65
5.19 PARAMETRES CLES DE L'ELEVAGE	67
CHAPITRE 6 RESULTATS ET DISCUSSION	70
6.1 PROTOTYPE ÉLECTROLARVE.....	71
6.2 RESULTAT.....	72
CONCLUSION GENERALE	75
BIBLIOGRAPHIE.....	76

Liste des figures

Figure 1 Utilisation des insectes dans les chaînes alimentaires (Veldkamp, et al., 2012).....	2
Figure 2 <i>Hermetia Illucens</i> (GUILLIET, 2022)	5
Figure 3 Résumé du cycle de vie d' <i>Hermetia Illucens</i> (GUILLIET, 2022)	5
Figure 4 Œufs d' <i>Hermetia Illucens</i> (GUILLIET, 2022).....	6
Figure 5 Description des différentes parties d'une larve d' <i>Hermetia Illucens</i> (GUILLIET, 2022).....	7
Figure 6 Le problème de la gestion des déchets organiques et la demande future de protéines (en raison des limites environnementales et de l'augmentation de la population) (Unido, 2019)	10
Figure 7 Les produits d'EnviroProducts (Enviroflight, 2023)	11
Figure 8 Les effets du changement climatique, des impacts visibles (MTECT & MTE, 2018).	14
Figure 9 Les développements récents et les tendances potentielles dans le domaine de l'IoT	19
Figure 10 L'IoT appliqué dans l'Agriculture	20
Figure 11 Schéma d'un système embarqué en Agriculture.....	22
Figure 12 Plaque de sélénite (Luma, 2023).....	24
Figure 13 Un intérieur d'orangerie, vers 1700 (Bolton, 2015).	24
Figure 14 Champs Elysées Jardin d'hiver, entre 1847 et 1851 (Allain & Marie, 2017).....	25
Figure 15 Serre de jardin (infomaison, 2023)	25
Figure 16 Absorption et réflexion du rayonnement solaire (maxicours, 2023)	29
Figure 17 Serre intelligente (Yanmar, 2022).....	31
Figure 18 Le pilotage numérique au service d'une agriculture performante (Michelin, 2018)	33
Figure 19 Carte de localisation de la Wilaya de Mostaganem	37
Figure 20 Architecture globale de deux parties de projet ÉlectroLarve.....	39
Figure 21 Schéma synoptique générale du système électronique.	40
Figure 22 Raspberry Pi 4 Model B.....	48
Figure 23 Schéma des broches physiques Raspberry Pi 4 Model B	50
Figure 24 Capteur DHT22.....	52
Figure 25 Relai déclencheur 1CH	52

Figure 26 Humidificateur	53
Figure 27 Ventilateur monté sur la fermeture d'une boîte en plastique.....	54
Figure 28 Webcam	54
Figure 29 MPC3008	55
Figure 30 Écrans LCD.....	55
Figure 31 joystick.....	56
Figure 32 Résistance chauffante, artisanale.	56
Figure 33 Passive Buzzer	57
Figure 34 Diagramme globale de Programme.....	58
Figure 35 Code de caméra de surveillance.....	59
Figure 36 Code de capteur DHT22	60
Figure 37 Code responsable sur activation / désactivation les GIPO.....	61
Figure 38 Bibliothèque de code joystick	61
Figure 39 Code de MCP3008.....	61
Figure 40 Partie deux de code source de serveur	62
Figure 41 Code connexion WebSocket, et utilisation de CSS	63
Figure 42 Code de validation des seuils	63
Figure 43 Interface de Surveillance LMSN	64
Figure 44 Montage réel global des capteurs de matériels	65
Figure 45 Création Typon avec composant de la carte de circuit imprimé ÉlectroLarve.....	65
Figure 46 Carte imprimé	66
Figure 47 carte électronique après la soudure des pins	66
Figure 48 Technique d'élevage des LMSN sans système embarqué	68
Figure 49 Prototypage d'élevage ÉlectroLarve.....	68
Figure 50 Alimentation des LMSN	69
Figure 51 Montage réel de capteur avec circuit imprimé ÉlectroLarve	71
Figure 52 Montage Finale de système ÉlectroLarve.....	72
Figure 53 Résultat de simulation durant le teste de programme de surveillance	72
Figure 54 Surveillance de température et humidité à l'aide d'Interface web.....	73
Figure 55 Surveillance de température et humidité à l'aide LCD.....	74

Liste des tableaux

Tableau 1	Rapprochement entre agriculture de précision, numérique et intelligente.....	18
Tableau 2	Quelques scénarios pour L'IdO dans le domaine d'élevage de précision.....	21
Tableau 3	Classification de type de serres en fonction de structure et matière.	26
Tableau 4	Classification de type de serres en fonction d'utilité	27
Tableau 5	Les clés d'une serre intelligente.....	30
Tableau 6	Les capteurs Actifs et Passifs	31
Tableau 7	Estimation du prix de revient de projet	41
Tableau 8	Comparaison entre le Raspberry Pi 4 Model B et l'Arduino Uno	45
Tableau 9	Les spécifications techniques de Raspberry Pi 4 Model B	48
Tableau 10	Les accessoires courants du Raspberry Pi 4 Model B.....	49
Tableau 11	Étapes d'installation et de configuration.....	50
Tableau 12	Plages de variation requises et, la précision de capteur DHT22	52
Tableau 13	Paramètres clés de l'élevage de LMSN.....	67

Acronymes

BSF	Black Soldier Fly
BSFL	Black Soldier Fly Larvae
CDN	Contribution Déterminée au niveau National
CNC	Comité National Climat
DSASI	Statistique Agricole et des Systèmes d'Information
EOG	Électromagnétique et Optique Guidée
EOG	Laboratoire d'Électromagnétique et Optique Guidée
GES	Gaz à effet de serre
GPIO	General Purpose Input Output, Entrée-sortie à usage général
IdO	Internet des objets
LMSN	Larves des Mouches Soldats Noires
LPAA	Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée
MSN	Mouches Soldat Noirs
PCB	Printed Circuit Board, Carte de circuit imprimé
PNC	Plan National Climat
RAM	Random Access Memory
ROM	Read-only memory
SAT	Superficie Agricole Totale
SAU	Superficie Agricole Utile
USB	Universal Serial Bus
Wh/m²	Watts-Heure par mètre carré
Zigbee	Protocole de communication sans fil utilisé

Introduction Générale

Selon les prévisions de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, On observe une tendance à l'horizon 2050 avec une augmentation continue de la population mondiale jusqu'à atteindre 9 milliards de personnes. Cette croissance démographique exercera une pression croissante sur la production alimentaire, tant pour les besoins humains que pour les besoins animaux, ce qui entraînera une nécessité d'augmenter la production alimentaire (FOA, 2020).

Face aux multiples défis imposés à l'agriculture, les insectes apparaissent comme l'une des solutions d'avenir dans les mutations qui accompagneront les transitions agricoles et alimentaires. Que ce soit en tant qu'aliments pour la consommation humaine et animale, qu'auxiliaire de production ou valorisateurs de coproduits, ils sont destinés à trouver une place prépondérante dans les assiettes et dans les champs (Mathieu, 2023).

Le nombre d'espèces d'insectes connues à ce jour serait d'un peu plus de 1 million, mais estimé jusqu'à 7,8 millions. Ainsi, les insectes représenteraient 66% des espèces vivantes sur terre, en sachant que seulement 7 à 10% des espèces d'insectes seraient scientifiquement décrites (Mathieu, 2023).

Les recherches ont démontré de manière convaincante l'importance des insectes dans la vie humaine, en particulier dans les domaines de l'agriculture et de l'alimentation. Plusieurs chercheurs ont analysé la valeur nutritionnelle des insectes et ont observé une variation des résultats pour une même espèce, principalement en raison de la plante utilisée comme source de nourriture pour ces insectes (Lokela, 2015).

Un avantage des insectes comme source alternative de protéines animales est le fait qu'ils puissent être élevés durablement sur des sous-produits organiques. L'utilisation des sous-produits organiques par les insectes commence par leur élevage sur déchets biologiques. Les insectes sont préparés et donnés à manger à un animal d'élevage (Huis, et al., 2013).

La chaîne des insectes est un élément important pour boucler le cycle de l'alimentation animale et peuvent constituer une matière première alternative durable et riche en protéines, en particulier lorsqu'ils sont cultivés sur des substrats provenant de déchets organiques et de flux de sous-produits (Veldkamp, et al., 2012). Selon l'hypothèse de Veldkamp, la création d'une chaîne de production d'insectes peut impliquer plusieurs éléments interconnectés, comme le montre le schéma de processus illustré dans la Figure 1.

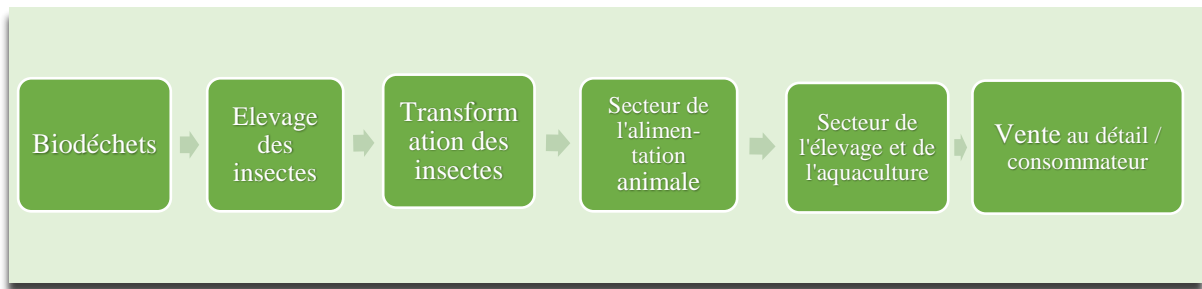


Figure 1 Utilisation des insectes dans les chaînes alimentaires (Veldkamp, et al., 2012)

L'élevage des insectes est une pratique qui aide à prévenir et à détecter rapidement les maladies, à réduire l'utilisation d'antibiotiques et à améliorer la qualité des produits animaux. Cette pratique est appliquée à de nombreux animaux, y compris les larves de la mouche soldat noire (*Hermetia Illucens*). Les larves de mouche soldat noire (LMSN) ; ou Black Soldier Fly Larve (BSFL) sont utilisées en agriculture pour le compostage et la gestion des déchets organiques. Elles permettent de produire des protéines et des graisses d'insectes, qui peuvent ensuite être utilisées dans la production d'aliments pour animaux (Kaczor, 2022). Les larves des mouches soldats noires contiennent 42,1 à 50 % de protéines (Tanga, 2017).

Partie

Bibliographique

Chapitre 1

Mouche soldat noir

1.1 La Mouche Soldat Noir (Hermetia Illucens)

La mouche soldat noir (MSN), *Hermetia Illucens* est un diptère de la famille des Stratiomyidae (Linnaeus, 1758), Leurs régions indigènes sont l'Amérique du Nord et du Sud, mais de nos jours cette mouche a également été observée sur d'autres continents dans les zones tropicales, subtropicales et tempérées (Kaya, 2021), a été proposée comme alternative à la farine de soja dans l'alimentation animale (Stamer, 2015).



Figure 2 *Hermetia Illucens* (GUILLIET, 2022)

1.2 Cycle de vie des mouches soldats noires (MSN)

Hermetia Illucens fait partie des insectes holométaboles et son cycle de développement comporte plusieurs stades : œufs, larves, prénymphe, pupes et adultes (Purkayastha, 2021)

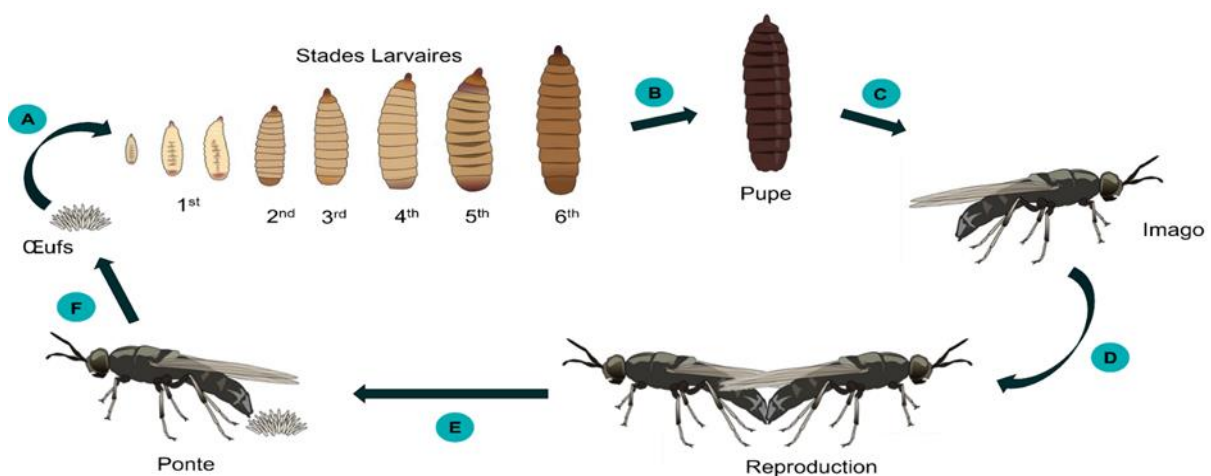


Figure 3 Résumé du cycle de vie d'*Hermetia Illucens* (GUILLIET, 2022)

Le cycle de vie des MSN débute par la reproduction, qui implique l'accouplement entre les individus mâles et femelles adultes. Les mouches adultes ne se nourrissent pas et comptent plutôt sur les réserves de graisse accumulées pendant la phase larvaire précédente (Mullen, 2009). La longévité du stade adulte (5-8 jours) est fonction de l'épuisement des réserves de graisse (Kone, 2020).

La femelle ne tarde pas après l'accouplement à pondre dans un environnement sec, comme sur les fissures et crevasses près des matières organiques putrescibles (Tomberlin, 2009). Une fois cette réserve épuisée, l'adulte meurt (Myers, 2014) Une femelle peut pondre entre 500 à 1200 œufs. Chaque œuf a une longueur d'environ 1 mm et une couleur blanc crèmeux (Diclaro, 2009). Les œufs prennent environ 4 jours pour éclore (Kone, 2020).



Figure 4 Œufs d'*Hermetia Illucens* (GUILLIET, 2022)

Une fois écloses, les larves se dirigent vers les matières organiques situées à proximité et commencent immédiatement à se nourrir (Kone, 2020). D'après les recherches effectuées par Hall et Gerhardt en 2002, les LMSN peuvent atteindre des dimensions impressionnantes à leur stade final, avec une longueur pouvant atteindre 27 mm, une largeur atteignant 6mm et un poids pouvant atteindre 220mg (Diclaro, 2009). Les larves se caractérisent par leur couleur blanche et possèdent une petite tête proéminente contenant la partie buccale (Kone, 2020). Dans des conditions optimales, ces larves requièrent environ 14 jours pour accomplir leur développement complet, passant par six stades distincts, également appelés instars (Hall, 2002).

Après le sixième stade larvaire, le stade de pupaison commence (phase finale de mue d'*Hermetia Illucens*). Au stade pré-pupe, les larves contiennent des taux élevés de protéines (32–58%) et de lipides bruts (15–39%) (Cheng, 2017; Fonseca, 2018; Gold, 2018).

Après avoir quitté leur site d'alimentation, les larves se mettent en quête d'un environnement sec et abrité. Une fois qu'elles trouvent un tel endroit, la phase de pupaison débute (Kone, 2020).

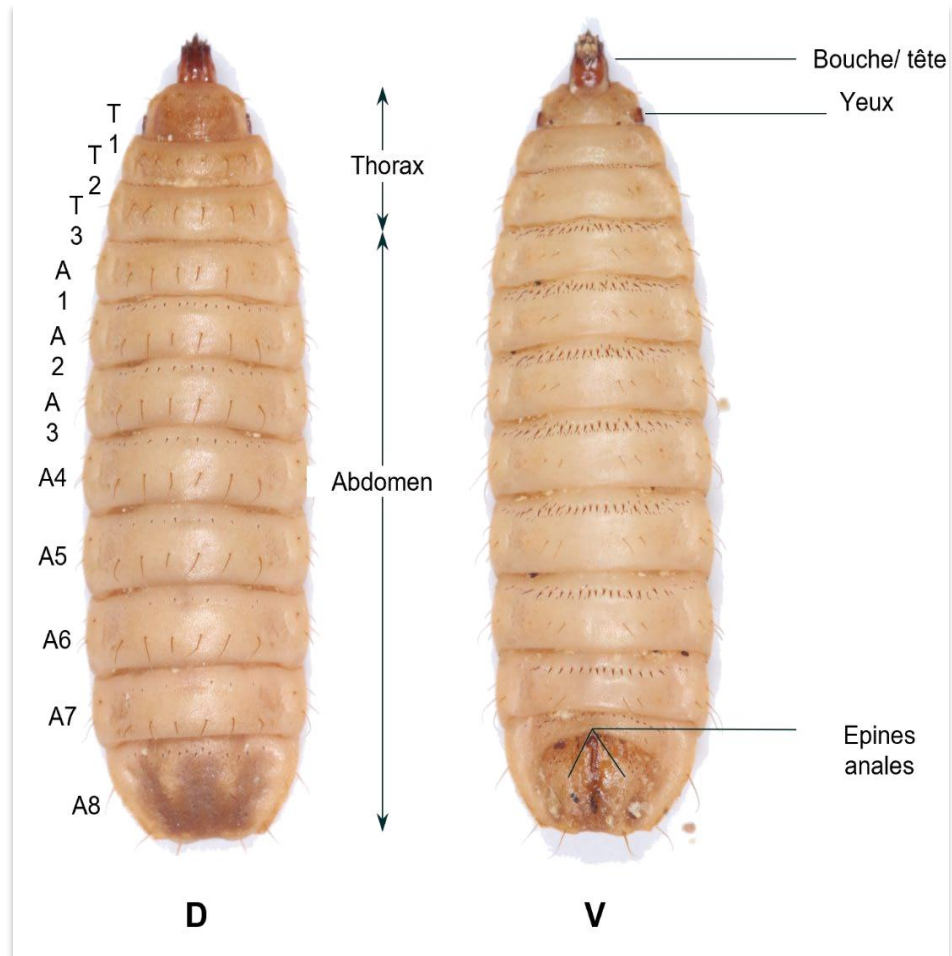


Figure 5 Description des différentes parties d'une larve d'*Hermetia Illucens*(GUILLIET, 2022)

Il faut encore deux semaines pour que la pupaison se termine et qu'un adulte émerge. Une fois émergés, les adultes se reproduisent à nouveau, amorçant ainsi un nouveau cycle (Park, 2016).

1.3 Les facteurs conditionnels impactant le cycle des mouches soldat noir

1.3.1 Température

Les larves des mouches soldat noir ont la faculté de prolonger leur cycle de vie, même dans des conditions difficiles. En présence de conditions défavorables, les larves peuvent nécessiter jusqu'à quatre mois pour atteindre leur maturité. En cas de manque de nourriture ou de conditions adverses telles qu'une faible teneur en oxygène, une baisse de température

inférieure à 20°C ou une augmentation de la température supérieure à 36°C, les larves réduisent leur consommation alimentaire voire arrêtent de se nourrir (Tomberlin, 2009).

Tomberlin et son équipe de recherche (2009) ont montré que les mouches adultes élevées à une température de 27°C sont en moyenne 5% plus lourdes et ont une durée de vie 10% plus longue que celles élevées à 30°C. De plus, les larves élevées sous 27°C prennent quatre jours de plus pour compléter leur développement larvaire par rapport à celles sous 30°C (Kone, 2020).

1.3.2 Humidité

L'alimentation humide puisse être pratique et permettre de gagner du temps, elle peut poser des difficultés lorsqu'il s'agit de séparer les larves des résidus une fois leur croissance terminée. En effet, les résidus trop humides (avec une teneur en humidité de 82 à 86 %) peuvent altérer la distribution *granulométrique*, la *bioconversion*, les performances de croissance et la survie des larves, en plus d'être trop visqueux pour être tamisés facilement (Diener, 2008).

Dans leur étude, Banks et ses collègues en 2014 ont mené des recherches sur les conséquences de la teneur en humidité des *boues de fosse septique* (65 %, 75 % et 85 % d'humidité) sur la croissance et la survie des larves alimentées avec des régimes présentant une humidité de 85 %. Les résultats obtenus ont mis en évidence un effet significatif de la teneur en humidité sur la croissance et la survie des larves.

1.4 Traitement des déchets par la MSN

L'entomoculture, qui consiste à élever des insectes à des fins alimentaires, est confrontée à deux problématiques mondiales : la gestion des déchets et la sécurité alimentaire.

La gestion des déchets solides, en particulier des déchets organiques, est l'un des problèmes environnementaux les plus urgents et les plus graves auxquels sont confrontées les villes des pays à revenu faible et intermédiaire (Bensig, 2014; Ciel, 2016).

Une approche de traitement des biodéchets qui a acquis une reconnaissance croissante ces dernières années en raison de sa simplicité technique et de son efficacité est l'utilisation de la MSN. Les larves peuvent prospérer dans un large éventail de matières organiques en décomposition en raison de leurs grandes et puissantes pièces buccales à mâcher, de leur riche microbiote intestinal, de leur système immunitaire puissant et de leur activité enzymatique élevée, ce qui leur permet de métaboliser des molécules telles que les amidons, les protéines et

les lipides (Almeida, 2020). Les larves transforment les déchets organiques plus rapidement que les vers utilisés dans le lombricompostage (Rindhe, 2019).

1.5 Élevage de larves pour l'alimentation animale

Les larves des mouches soldat noir étudiées en tant qu'ingrédient potentiel dans l'alimentation animale. Ces études ont démontré que les LMSN étaient particulièrement bénéfiques pour la croissance des animaux. Les recherches se sont principalement concentrées sur les stades larvaires et pré-pupes des MSN, qui se sont révélés être des composants alimentaires prometteurs.

Par exemple, les études ont montré que les larves et les pré-pupes de MSN constituent une source de nutriments de haute qualité pour les volailles, et les poissons. Des travaux menés par Sanchez-Muros, en 2014 ont démontré l'intérêt des larves de MSN dans l'alimentation des volailles. Enfin, des recherches menées par Cummins en 2017, ont mis en évidence les avantages de l'utilisation des larves et pré-pupes de MSN dans l'alimentation des poissons.

1.6 La transformation à l'échelle industrielle

Dans les pays tropicaux, les connaissances traditionnelles et culturelles sur l'utilisation des insectes comestibles sont abondantes, mais leur production est principalement concentrée dans les ménages et les petites exploitations. En revanche, dans les pays tempérés, la technologie de transformation des insectes comestibles est pratiquement inexistante, car ils ne sont pas encore considérés comme des sources alimentaires reconnues pour l'homme et les animaux.

Afin de valoriser les insectes en tant que matière première rentable dans les industries de l'alimentation humaine et animale, il est nécessaire de produire de grandes quantités d'insectes de qualité de manière continue. Cependant, *l'automatisation* des méthodes d'élevage et de transformation demeure un défi majeur pour le développement de ce secteur (Arnold.FOA, 2023).

1.7 Exemples d'élevage industriel des insectes

AgriProtein (Afrique du Sud) et Enviroflight (États-Unis) sont des exemples d'entreprises qui développent l'élevage d'insectes à l'échelle industrielle.

1.7.1 AgriProtein

AgriProtein est une entreprise pionnière dans le domaine de la transformation des insectes en aliments pour animaux, répondant ainsi à la demande croissante de sources durables de nutrition. La production d'AgriProtein a commencé avec de petites quantités en *laboratoire*, mais elle est passée à des centaines de kilogrammes par jour et devrait bientôt atteindre une tonne par jour. L'objectif ultime est de produire 100 tonnes de larves par jour. La construction d'une première grande usine nécessiterait un investissement de 8 millions de dollars (Agriprotein, 2023).



Figure 6 Le problème de la gestion des déchets organiques et la demande future de protéines (en raison des limites environnementales et de l'augmentation de la population) (Unido, 2019)

1.7.2 Enviroflight

Enviroflight est une entreprise axée sur la production d'insectes destinés à l'alimentation animale, en mettant l'accent sur l'alimentation de l'aquaculture. Son objectif central est de répondre à la demande croissante en protéines animales et végétales pour l'industrie aquacole. Enviroflight exploite les drêches de distillerie séchées (sont des résidus solides : partir de céréales telles que le maïs, l'orge ou le blé) avec solubles provenant des usines d'éthanol ainsi que les drêches de brasserie comme matière première. Le résultat est un aliment riche en protéines et faible en matières grasses. De plus, ces protéines peuvent également être utilisées comme source nutritionnelle pour l'alimentation animale (Enviroflight, 2023)



Figure 7 Les produits d'EnviroProducts (Enviroflight, 2023)

Chapitre 2

L'agriculture Algérienne

2.1 L'agriculture en Algérie

L'agriculture Algérienne est confrontée à des défis importants en raison de la nature du relief et des conditions bioclimatiques qui limitent son développement. La majeure partie des terres agricoles en Algérie se trouve dans des zones arides et semi-arides, qui connaissent des sécheresses fréquentes. Les précipitations moyennes sont d'environ 89 mm par an, tandis que l'évapotranspiration varie de 800 mm dans le nord-est du pays à plus de 2 200 mm dans le sud-est (worldbank, 2023). La superficie agricole utile (SAU) en Algérie est de 8,59 millions d'hectares, ce qui représente 19,7% de la superficie agricole totale (SAT), Cela équivaut à une moyenne de 0,19 hectare par habitant en 2021 (MADR, 2021). L'agriculture en Algérie est caractérisée par une prédominance des petites exploitations agricoles (Bessaoud, 2022).

2.2 Changement climatique en Algérie

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-Africain. Son climat est très différent entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest). Il est de type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'Atlas Tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas Saharien (ONS, 2023).

Le rapport diagnostic du Plan National Climat (**PNC**) de 2018 note que le climat de l'Algérie se modifie fortement : Du nord au sud, il passe d'une tonalité méditerranéenne humide à un milieu désertique et sec en transitant par un climat semi-aride (PNC, 2018).

Le changement climatique marqué en Algérie par la hausse des températures moyennes et une plus faible pluviosité exercent un impact non seulement sur la qualité et la résilience des écosystèmes, mais également sur la disponibilité et la qualité des ressources naturelles nécessaires à l'économie et aux conditions de vie de la société (BESSAOU, 2019).

2.3 Effets des serres en Algérie

L'effet de serre dans l'atmosphère est renforcé et modifie le climat de notre planète, entraînant des changements dans les tendances (chutes de neige et précipitations), une augmentation des températures moyennes et des événements climatiques extrêmes tels que des vagues de chaleur et des inondations (Parlement.européen, 2023).

Les gaz à effet de serre (GES) ne cessent de croître dans l'atmosphère et génèrent un réchauffement global non uniforme à la surface de la terre. La température augmente différemment dans diverses régions du monde. Ainsi les pays du Sud sont beaucoup plus touchés que les pays du Nord (MEER, 2022).

Le Ministère de l'Environnement et des Energies Renouvelables Algérienne en mois de juillet 2015, a créé un Comité National Climat (CNC) par décision du Premier Ministère et sa présidence a été confiée à la Ministre chargée de l'environnement. Le CNC est responsable de la rédaction de la Contribution Déterminée au niveau National (CDN), qui est l'outil principal de ratification de l'Accord de Paris. Notre pays s'est engagé à réduire ses émissions de GES de 7% à l'aide de ses propres ressources, avec la possibilité d'augmenter cette ambition de 7% à 22% en bénéficiant d'un soutien technique, financier et de transferts technologiques (MEER, 2022).

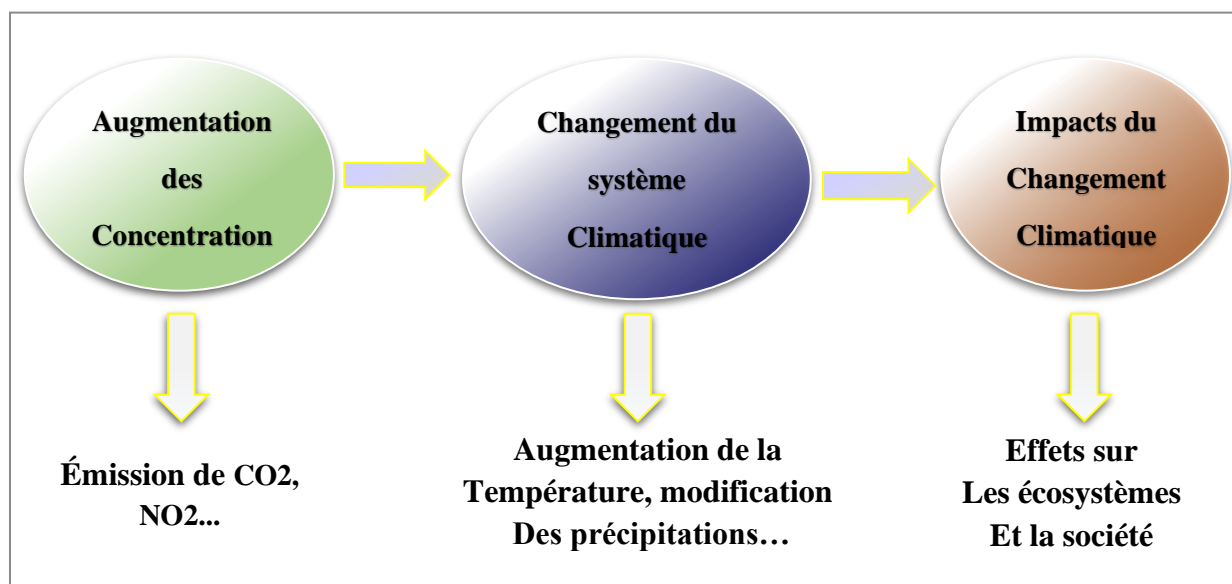


Figure 8 Les effets du changement climatique, des impacts visibles (MTECT & MTE, 2018).

2.4 Le système d'information agricole appliqué en Algérie

En Algérie, il existe une problématique liée à l'absence d'un système d'information et de statistiques agricoles fiable depuis plusieurs décennies (Bessaoud, 2022). Le dernier recensement général de l'agriculture a été réalisé en 2019 sous le titre Statistique Agricole : Superficies et Production « SERIE 'B'2019 », qu'été rédigé par la Direction des Statistique Agricole et des Systèmes d'Information (DSASI), ce qui signifie qu'il n'y a pas de données récentes (Année 2023) et, précises sur le secteur agricole du pays. Cette absence de mise à jour régulière des informations agricoles limite la capacité à évaluer précisément la situation actuelle

de l'agriculture en Algérie, à identifier les tendances et à prendre des décisions éclairées en matière de politiques agricoles.

Un système d'information agricole robuste et à jour est essentiel pour comprendre les dynamiques du secteur agricole, suivre les performances, évaluer les besoins, identifier les Problèmes et élaborer des stratégies de développement agricole efficaces.

Chapitre 3
L'Évolution de
L'Agriculture de
L'Approche
Conventionnelle à
L'Agriculture Avancée

3.1 Les technologies conventionnelles

Les technologies conventionnelles atteignent leurs limites en termes de productivité agricole, marquant ainsi un tournant dans le secteur. Bien que ces technologies aient permis des avancées significatives, telles que la mécanisation et l'utilisation d'engrais chimiques, elles présentent des problèmes de durabilité environnementale et de dépendance aux intrants chimiques. Face à ces défis, de nouvelles approches technologiques émergent, telles que l'agriculture de précision, l'utilisation de capteurs et l'Intelligence Artificielle. De plus, des méthodes alternatives durables, comme l'agriculture biologique et l'agro-écologie, gagnent en popularité. Le secteur agricole recherche ainsi de nouvelles technologies et approches pour relever les défis actuels et futurs, tels que le changement climatique et la sécurité alimentaire.

3.2 L'agriculture et les technologies

L'avènement des technologies numériques a apporté une transformation significative dans de nombreux secteurs, y compris l'agriculture. Dans le contexte de l'agriculture innovante, ces technologies jouent un rôle essentiel en offrant des possibilités sans précédent pour améliorer l'efficacité, la productivité et la durabilité des systèmes agricoles. Grâce à l'investissement dans les technologies numériques, il est désormais possible de créer des agroécosystèmes numériques, qui intègrent diverses composantes telles que des capteurs, des dispositifs de l'Internet des objets (IoT), des drones, des logiciels de gestion agricole et d'analyse des données, ainsi que des plateformes de connectivité.

La technologie a un impact significatif sur l'évolution des activités humaines, y compris dans le domaine de l'agriculture. Depuis l'époque moderne, une des inventions majeures dans le secteur agricole a été l'extracteur de fibres de coton des graines en 1793. Cependant, la véritable révolution n'a débuté qu'à partir des années 1910, lorsque les technologies développées pour la guerre ont été rendues accessibles au grand public après avoir été déclassifiées et transférées aux secteurs civils (Spielmaker, 2018).

3.3 L'agriculture 4.0

Depuis longtemps, des innovations techniques telles que la charrue, l'irrigation, les moulins, la rotation des cultures, les engrais et bien d'autres ont joué un rôle essentiel dans la production agricole et ont marqué l'histoire de l'humanité. Ces avancées technologiques ont permis d'améliorer les méthodes de travail, d'augmenter les rendements et de répondre aux besoins croissants de la population en matière de nourriture. Les êtres humains ont cultivé des terres et élevé des animaux pour obtenir de la nourriture pour leur survie depuis les temps anciens. Cette pratique, connue sous le nom d'agriculture, a évolué selon un processus à long terme et progressif (Tekinerdogan, 2018).

3.4 L'agriculture de précision, numérique et intelligente

De plus, l'agriculture 4.0 est souvent caractérisée par trois termes génériques : l'agriculture de précision, l'agriculture intelligente, l'agriculture numérique. Cependant, ces termes diffèrent légèrement dans leurs objectifs, comme le montre le tableau ci-dessous.

Tableau 1 Rapprochement entre agriculture de précision, numérique et intelligente

	Agriculture de Précision	Agriculture Intelligente	Agriculture Numérique
Concept	Selon l'International Society for Precision Agriculture est une stratégie de gestion qui rassemble, traite et analyse des données temporelles, spatiales et individuelles et les combine avec d'autres informations pour appuyer les décisions de gestion en fonction de la variabilité estimée.	- Également connue sous le nom d'agriculture intelligente face au climat, - Fait référence à l'utilisation de technologies numériques et d'approches innovantes pour améliorer la productivité agricole.	- Met l'accent sur l'utilisation des technologies numériques pour collecter, analyser et appliquer des données aux modèles de simulation pour améliorer la compréhension des processus agronomiques.

<p>Outils Et, méthodes appliqué</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Image satellite et, image aérienne, - Drone, - SIG, GPS, RTK, - Application mobile, - Logiciels d'analyse de données, - Scanner de phénotypage de plantes, 	<ul style="list-style-type: none"> - Internet des objets (IOT), - Systèmes de gestion agricole et, intelligence artificielle, - Applications mobiles et interfaces utilisateur conviviales, 	<ul style="list-style-type: none"> - Les modèles de simulation pour améliorer la compréhension des processus agronomiques. - Collecte de données et l'analyse.
---	---	--	--

3.5 L'Internet des objets

L'Internet des Objets ou en anglais the Internet of Things (IoT) est désormais incontournable dans notre vie moderne, reliant des milliards de dispositifs à Internet pour offrir une connectivité transparente, une automatisation et une surveillance en temps réel (Hammi, 2018). L'internet des objets couvre un large éventail d'applications qui s'appuient sur une ou plusieurs technologies réseau pour échanger des données entre les différents dispositifs IdO et les applications utilisateur. Ces technologies sont très hétérogènes et sont caractérisées par un ensemble de paramètres de configuration spécifiques à chacune (Si-Mohammed, 2023).

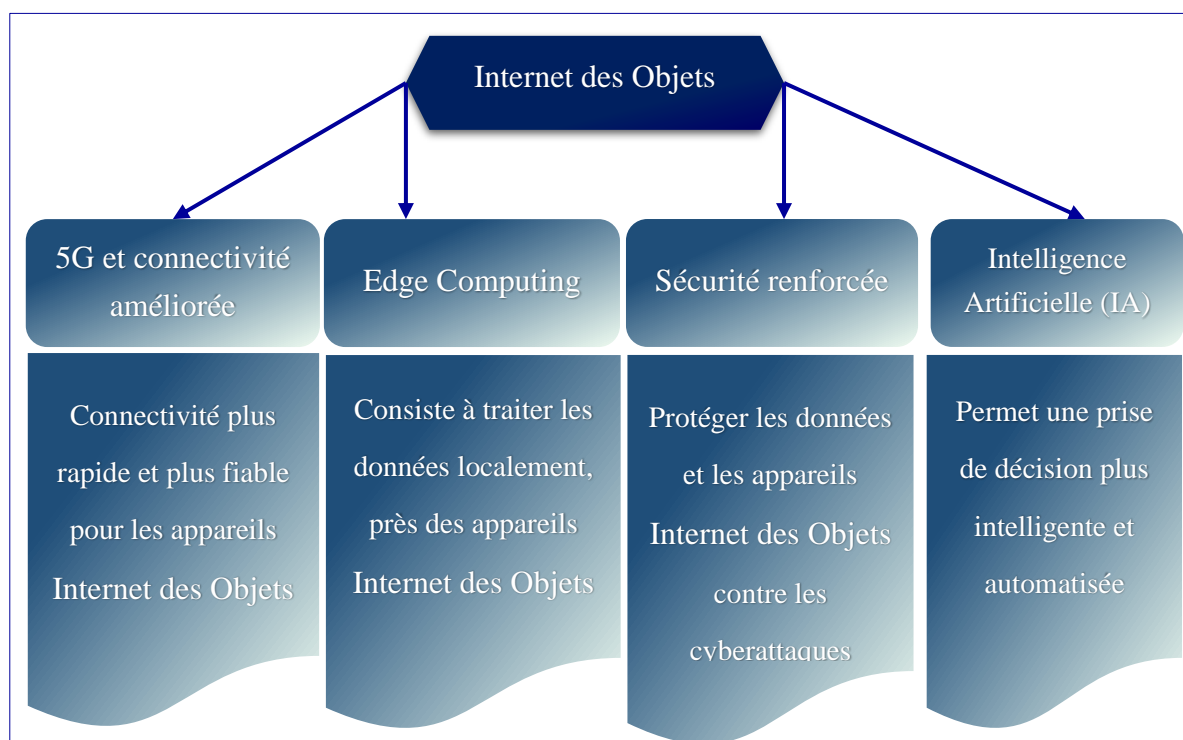


Figure 9 Les développements récents et les tendances potentielles dans le domaine de l'IoT

3.5.1 Les domaines d'application d'IdO

L'Internet des objets représente l'intégration naturelle de la technologie dans nos objets quotidiens. C'est une avancée technologique très prometteuse qui concrétise le concept d'informatique ubiquitaire. En effet, l'IdO ouvre la voie à de nombreux scénarios où le monde physique et le monde virtuel sont interconnectés, tels que la domotique, l'e-santé, la ville intelligente, la logistique, la sécurité, et bien d'autres.

Cependant, comme tout concept prometteur, l'IdO fait face à des défis techniques et non techniques qui nécessitent une étude approfondie afin de permettre à cette technologie d'atteindre son plein potentiel (Benjamin, 2015).

L'Internet des objets est largement utilisé dans divers domaines pour améliorer l'efficacité et la qualité de vie. Dans santé, l'IdO favorise la surveillance médicale, la télémédecine. Le domaine industriel, l'IdO offre des usines intelligentes, avec des processus automatisés et une analyse des données pour augmenter la productivité. L'agriculture intelligente utilise l'IdO pour la surveillance environnementale et la gestion des cultures.

3.5.2 L'Internet des objets dans le domaine d'agriculture

L'Internet des objets est utilisé pour surveiller et contrôler les conditions environnementales, les systèmes d'irrigation, la gestion du bétail et l'optimisation des cultures afin d'améliorer l'efficacité agricole et la durabilité.



Figure 10 L'IoT appliqué dans l'Agriculture

3.5.3 L'Internet des objets dans le domaine d'élevage de précision

L'Internet des objets révolutionne l'industrie agricole en offrant aux agriculteurs des solutions aux défis auxquels ils sont confrontés. L'agriculture intelligente, ou Smart Farming, tire parti des nouvelles applications innovantes de l'IdO pour améliorer la qualité, la quantité, la durabilité et la rentabilité de la production agricole. L'un des avantages majeurs de l'IdO réside dans sa capacité à innover dans les méthodes agricoles existantes.

Les capteurs IdO fournissent aux agriculteurs des informations précieuses sur les rendements des cultures, les précipitations, les infestations de ravageurs et la nutrition des sols. Ces données précises sont essentielles pour améliorer les techniques agricoles au fil du temps, offrant ainsi de nouvelles opportunités pour optimiser les rendements et maximiser les ressources agricoles. Le tableau ci-dessous montre deux cas d'exemple d'application.

Tableau 2 Quelques scénarios pour L'IdO dans le domaine d'élevage de précision

Surveillance des élevages des animaux	Utiliser des capteurs : Les élevages bovins ont naturellement adopté des systèmes automatisés de détection des chaleurs, des ovulations et des mises bas. Ces systèmes comprennent des dispositifs tels que des Activ mètres, des colliers mesurant l'activité et la rumination, des mesures en ligne de la progestérone, et des capteurs d'activité basés sur la queue (Mottram, 2016).
Environnement intelligent	Les éleveurs peuvent prendre des décisions éclairées en temps réel pour améliorer la santé, le bien-être et la productivité de leurs animaux. Par exemple, ils peuvent identifier les animaux qui nécessitent des soins particuliers, ajuster les régimes alimentaires pour répondre aux besoins individuels des animaux, et prévenir les maladies en détectant les signes précoces.

3.5.4 Objets intelligents

Les objets intelligents, également appelés objets connectés ou objets communicants, sont des objets physiques de notre environnement réel qui sont dotés de capacités de communication. Ces objets sont généralement équipés de capteurs, d'actuateurs et de systèmes embarqués qui leur permettent de collecter des données, de les traiter et de les échanger avec d'autres dispositifs via des réseaux de communication, tels que l'Internet. Ils ont la capacité de recueillir des

informations sur leur environnement grâce à leurs capteurs intégrés. Ils peuvent détecter des paramètres tels que la température, l'humidité, la luminosité, la pression, la position géographique, etc.

Les objets intelligents présentent habituellement des contraintes en termes de puissance (mémoire vive, microprocesseur). En général, sur une surface de 1 cm², on retrouvera un microprocesseur, une petite capacité de mémoire flash. La consommation d'énergie est un point critique pour ces objets, notamment lorsqu'ils sont alimentés par des piles. Ils sont conçus pour fonctionner de manière autonome, sans remplacement de pile, pendant une période allant de 5 à 10 ans.

3.5.5 Les systèmes embarqués connectés dans l'agriculture

Tout dispositif caractérisé par des capacités de calcul limitées et/ou une alimentation restreinte, doté d'une interface de communication sans fil ou filaire ainsi que de divers capteurs ou actionneurs, peut être considéré comme un système embarqué connecté. Ces systèmes embarqués connectés permettent aux agriculteurs de prendre des décisions éclairées concernant l'irrigation, la fertilisation et d'autres pratiques agricoles. En optimisant l'utilisation des ressources et en adaptant les soins aux besoins spécifiques de chaque zone du champ, l'agriculture de précision peut améliorer les rendements tout en réduisant la consommation d'eau, d'engrais et de pesticides.

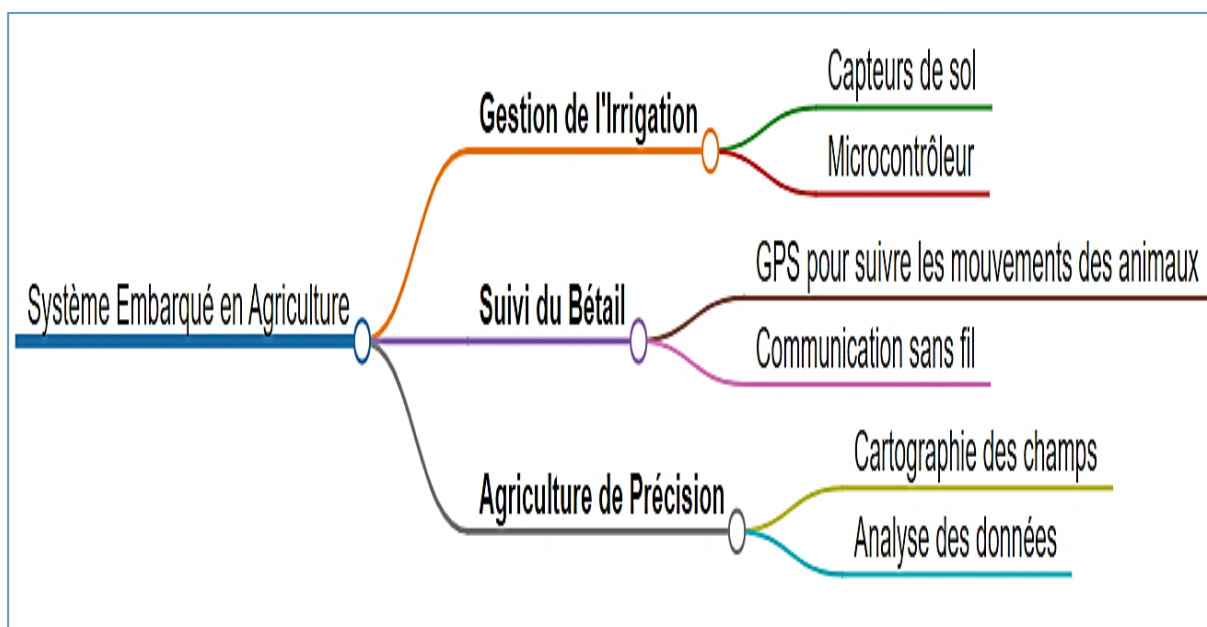


Figure 11 Schéma d'un système embarqué en Agriculture

Chapitre 4

Serre Agricole

4.1 Historique

L'agriculture sous couvert a débuté à l'époque romaine pour répondre au désir de l'empereur Tibère d'avoir des concombres toute l'année malgré les hivers froids de Rome. Les plants de concombres étaient placés sur des chariots pour les protéger du froid, mais le manque de lumière causait leur mort (Hodgson, 2012). C'est ainsi qu'est née l'idée d'utiliser des structures couvertes de plaques de sélénite, une roche transparente, pour permettre le passage du soleil (Hodgson, 2012).



Figure 12 Plaque de sélénite (Luma, 2023)

À cette époque, une grande période d'exploration était en cours, ramenant des plantes exotiques d'Afrique, d'Asie et plus tard du nouveau monde. Pour abriter ces végétaux, des serres plus avancées appelées orangeries ont été créées, permettant d'accueillir des arbres tels que les orangers, les citronniers et les dattiers pendant l'hiver (Hodgson, 2012).



Figure 13 Un intérieur d'orangerie, vers 1700 (Bolton, 2015).

Au 19^e siècle, des grandes serres publiques sont apparues, telles que le Jardin d'hiver sur les Champs-Élysées à Paris (1847) et le Crystal Palace à Londres (1851).

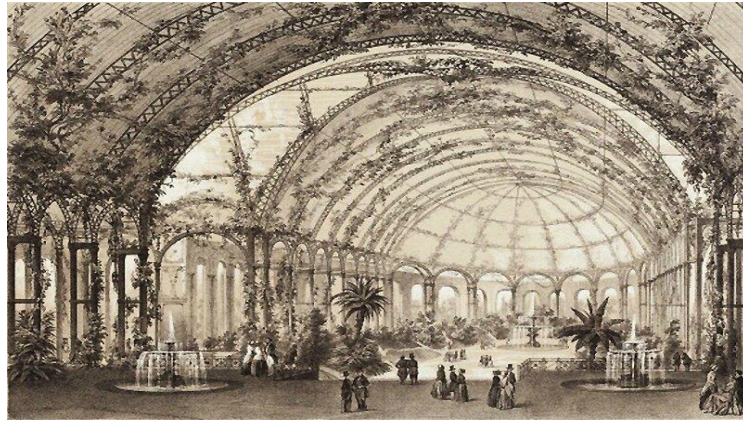


Figure 14 Champs Elysées Jardin d'hiver, entre 1847 et 1851 (Allain & Marie, 2017)

4.2 Définition

Le mot *serre* trouve son origine dans le verbe *serrer* qui signifie *mettre à l'abri* (Hodgson, 2012). Une serre est conçue à l'origine comme un simple abri, ou une enceinte destinée à la culture et à la protection des plantes en exploitant le rayonnement solaire (Wifaya, 2020). L'agriculture sous serre consiste principalement à faire pousser des plantes ou des cultures dans une structure avec des murs et un toit principalement en matériau transparent (hortitec, 2023).



Figure 15 Serre de jardin (infomaison, 2023)


4.3 Classification

La classification des serres peut être complexe en raison des différentes formes des cadres porteurs. La classification ci-dessous est les principaux types de serres en fonction de la matière, de la structure et de l'utilité.

4.3.1 Classification basée sur la matière utilisée et la structure de construction





Les serres peuvent être classées en fonction de différents critères, notamment *la matière utilisée (des parois / panneaux)*, et *la structure de construction*. Voici une classification courante des types de serres en fonction de ces critères :

Tableau 3 Classification de type de serres en fonction de structure et matière.

Forme	Photo	Matériaux de construction	Avantage
Tunnel		Serre en plastique : Structures en acier ou en aluminium et des parois en plastique.	✓ Moins coûteuses, ✓ Faciles à installer que les serres en verre ou en polycarbonate
	(Sodiser, 2023) 	Serre à filet d'ombrage : Construites avec des filets d'ombrage.	✓ Ombragent les plantes pour les protéger des insectes.
Chapelle		Serre en Verre : Construites avec des panneaux en verre, et avec des structures en acier ou en bois.	✓ Excellente pour La transmission de la lumière.
	(Latelier des serres, 2023) 	Serre Polycarbonate : Construites avec des panneaux en polycarbonate transparent, et avec des structures en acier, PVC, en métal.	✓ Tenace, ✓ Bonne isolation thermique.

4.3.2 Classification basée sur l'utilité

Tableau 4 Classification de type de serres en fonction d'utilité

	Photo	Utilité
Serre de Culture	 <p>(Chassouant, 2020)</p>	Elles sont employées pour cultiver des légumes, des fleurs coupées, des herbes aromatiques et d'autres cultures commerciales.
Serre de Recherche	 <p>(Unsplash, 2022)</p>	Elles sont exploitées dans le cadre de travaux scientifiques, d'expérimentations ou de recherches portant sur divers aspects tels que les plantes, les insectes, l'environnement, et bien d'autres domaines.
Serres de jardin	 <p>(Shutterstock, 2023)</p>	Ce modèle de petite taille sont spécialement conçues pour cultiver et protéger les plantes pendant l'hiver dans les jardins domestiques.
Serres d'élevage	 <p>(idagro, 2023)</p>	Elles sont spécialement aménagées pour l'élevage d'animaux tels que les ovines, les poissons ou les insectes, offrant ainsi un environnement adapté à leurs besoins spécifiques.

Il existe de nombreuses autres variations et sous-catégories de serres en fonction de leurs caractéristiques spécifiques, de leurs dimensions, de leurs systèmes de contrôle climatique, etc.

4.4 Microclimat à l'aide d'une serre

Les éléments climatiques exerçant leur influence sur le microclimat à l'intérieur de la serre englobent la température, l'humidité de l'air, le rayonnement solaire, et même les courants d'air extérieurs, entre autres. Cependant, il est essentiel de noter que chacun de ces facteurs déclenche un éventail d'effets qui peuvent soit favoriser, soit entraver le bon déroulement des activités de la serre, dépendamment des conditions spécifiques de l'environnement local.

4.5 Facteurs environnementaux d'une serre

D'autre part, elles servent à créer un climat favorable au développement des plantes en permettant d'optimiser et/ou de contrôler plusieurs paramètres climatiques tels que l'ensoleillement, la lumière, la température, l'humidité, **le taux de dioxyde de carbone (CO₂)** dans l'air. Plusieurs facteurs climatiques ont un impact sur les conditions intérieures d'une serre, notamment la température, l'humidité de l'air, le rayonnement solaire et le vent extérieur, entre autres. En pratique, chacun de ces facteurs crée une combinaison d'effets qui peuvent être bénéfiques ou non pour le bon fonctionnement de la serre, en fonction des conditions locales prédominantes.

4.5.1 Ensoleillement

L'ensoleillement fait référence à la quantité d'énergie solaire totale qui atteint une zone donnée pendant une période donnée, généralement exprimée en termes de puissance radiative solaire reçue par la terre par unité de surface (Wh/m²). Il dépend de facteurs tels que l'heure de la journée, la saison, la latitude géographique et les conditions météorologiques.

La puissance radiative solaire émise par unité de surface, exprimée en (W/m²) a été calculée selon la formule suivante :

Avec :

$$P_{RSU} = \frac{P_{RS}}{4 \times \pi \times R^2}$$

- P_{RS}: La puissance radiative solaire émise, se répartit sur toute la sphère de rayon.
- R: La distance Terre-Soleil, en mètre (m).

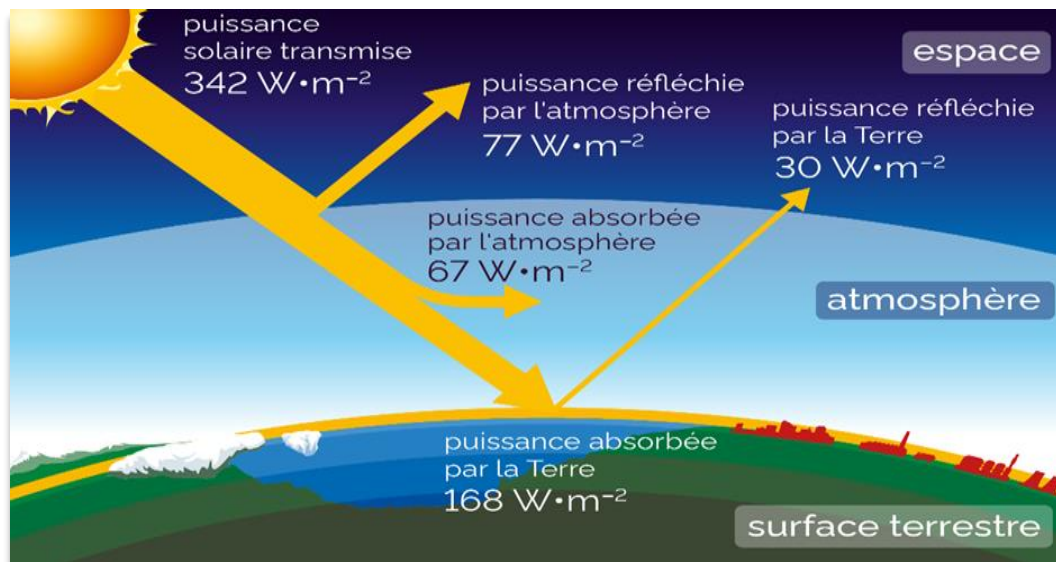


Figure 16 Absorption et réflexion du rayonnement solaire (maxicours, 2023)

Il est réduit physiquement par la présence de serres, car leur structure permet de transmettre entre 80 % et 95 % du rayonnement solaire direct et entre 61 % et 85 % du rayonnement solaire diffus, en fonction du matériau utilisé (C.Zabeltitz, 2011). Selon la région et le moment de l'année, il est alors possible d'avoir un déficit d'ensoleillement (notamment en hiver) qui peut être comblé grâce à de l'éclairage artificiel (P.Piché, 2021).

4.5.2 Lumière

D'après de nombreux scientifiques, la lumière est considérée comme le facteur le plus crucial pour réguler la croissance et le développement des plantes ou des insectes dans une serre. Un manque de lumière aura un impact négatif sur l'induction florale. Pour remédier à cela, la serre doit permettre une transmission maximale de la lumière naturelle, favorisant ainsi le processus de photosynthèse de la plante ou le développement de l'insecte. Cependant, le déficit de lumière peut être compensé par les températures élevées sous serres (caldor, 2023)

4.5.3 Température

La température est un élément environnemental essentiel pour la croissance en serre, car elle joue un rôle déterminant dans la qualité et la quantité des récoltes, ainsi que dans la santé globale des plantes ou insecte. Il est très important de pouvoir contrôler la température au sein d'une serre. En effet, c'est le paramètre le plus important car il a un rôle majeur dans le développement et la croissance des plantes. La valeur la plus adaptée dépend du produit cultivé.

4.6 Serre intelligente

Une serre intelligente est un type spécifique d'installation agricole moderne qui utilise des technologies avancées pour créer un environnement de croissance optimal à l'intérieur d'une serre. Elle combine l'agriculture traditionnelle avec des éléments de l'Internet des objets, de l'automatisation et de l'analyse des données pour créer un environnement contrôlé et favorable à la croissance des cultures. Voici quelques caractéristiques clés des serres intelligentes :

4.6.1 Caractéristiques clés d'une serre intelligente

Une serre intelligente utilise des technologies avancées pour optimiser la croissance des plantes ou des insectes à l'intérieur, en créant un environnement contrôlé et automatisé. Voici quelques caractéristiques clés d'une serre intelligente présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 Les clés d'une serre intelligente

Clés	Utilités
Systèmes de contrôle automatisés	Les données des capteurs sont utilisées pour automatiser les systèmes de ventilation, d'arrosage, de chauffage et d'éclairage de la serre. Cela permet de maintenir des conditions optimales pour la croissance des plantes sans intervention humaine constante.
Analyse des données et prise de décision basée sur les données	Les données collectées sont analysées pour identifier des tendances, des modèles de croissance et des besoins spécifiques des plantes. Cette information est utilisée pour ajuster les paramètres.
Contrôle à distance	Les propriétaires peuvent surveiller et contrôler les conditions de la serre à distance à l'aide d'applications mobiles ou d'interfaces web.
Économie de ressources	Les serres intelligentes sont conçues pour utiliser l'eau, les nutriments et l'énergie de manière plus efficace, ce qui contribue à réduire les coûts de production et l'impact environnemental.

Cultures hors-sols Certaines serres intelligentes adoptent des méthodes de culture en hors-sol, telles que l'hydroponie, qui permettent de cultiver des plantes sans terre, en utilisant des solutions nutritives.

Capteurs environnementaux Des capteurs mesurent en temps réel des paramètres tels que la température, l'humidité de l'air et du sol, la luminosité, le niveau de CO₂ et la conductivité électrique du sol.

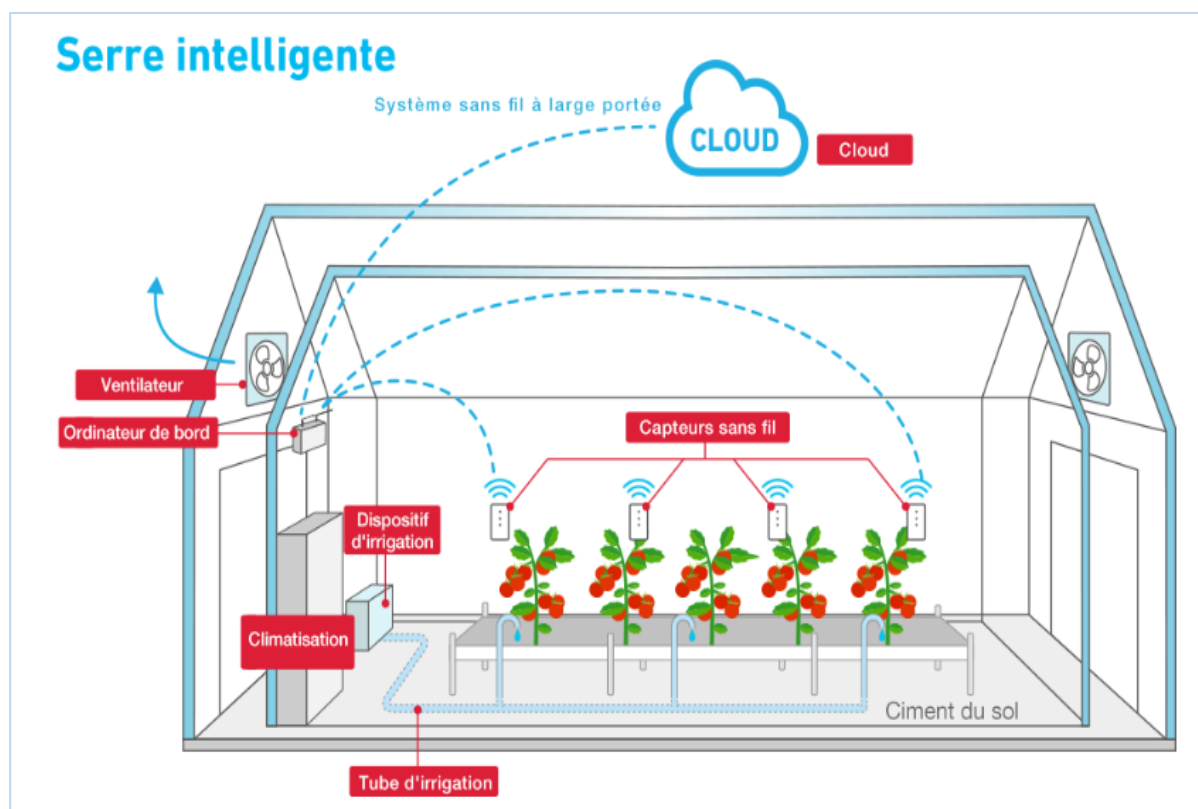


Figure 17 Serre intelligente (Yanmar, 2022)

4.6.2 Les capteurs dans les serres

Un capteur est un dispositif qui mesure une grandeur physique, telle que la température, la pression, la lumière, etc., et la convertit en un signal électrique ou numérique compréhensible par un système de traitement. Les capteurs jouent un rôle très important dans la collecte de données du monde réel pour une variété d'applications. Voici le principe de fonctionnement d'un capteur, suivi d'une classification et des caractéristiques importantes.

Tableau 6 Les capteurs Actifs et Passifs

Capteurs Actifs	Capteurs Passifs
<ul style="list-style-type: none">• Nécessitent une source d'énergie pour fonctionner.• Ils émettent un signal, souvent sous forme de lumière, ou d'autres types de signaux, et mesurent la réponse de l'environnement.	<ul style="list-style-type: none">• Ne nécessitent pas de source d'énergie externe pour fonctionner.• Ils réagissent aux changements de l'environnement sans émettre de signal actif.

4.7 Ferme intelligente

Une ferme intelligente est une exploitation agricole complète qui intègre des technologies de pointe pour optimiser l'ensemble du processus agricole, de la production à la gestion de la chaîne d'approvisionnement. Une ferme intelligente peut inclure différentes parcelles de terres cultivées, des champs ouverts, des serres, des élevages, etc. L'objectif global d'une ferme intelligente est d'améliorer l'efficacité, la durabilité et la rentabilité de l'ensemble de l'exploitation agricole.



Figure 18 Le pilotage numérique au service d'une agriculture performante (Michelin, 2018)

Partie

Expérimentale

Chapitre 5

Matériel et méthodes

5.1 Démarches d'intégration d'un système d'élevage des MSN

Dans ce chapitre, nous décrirons la conception de notre prototype en mettant l'accent sur les techniques de développement actuelles, en particulier sur les architectures logicielles et matérielles qui permettent de gérer le système d'élevage des mouches soldat noir.

5.2 L'objectif du travail

Dans le cadre de ce projet, notre objectif central est de créer un prototype fonctionnel pour un système d'élevage des LMSN. Ce prototype sera la première étape vers la mise en place d'une structure et d'un système complets dédiés à l'hébergement et à la culture de ces mouches bénéfiques. Les principaux points de cet objectif incluent :

1. Prototype Fonctionnel : Le prototype doit être fonctionnel, ce qui signifie qu'il doit être capable de soutenir la vie et la croissance des mouches soldats noires. Il doit fournir les conditions environnementales nécessaires, telles que la température, et l'humidité pour favoriser la croissance des larves.

2. Validation des Concepts : En créant ce prototype, nous voulons valider les concepts et les théories sur lesquels repose notre approche d'élevage de mouches soldats noirs. Nous voulons démontrer que notre système est capable de répondre aux besoins de ces insectes et de favoriser leur développement.

3. Identification des Améliorations : Le prototype servira également à identifier les aspects qui nécessitent des améliorations. Cela peut inclure des ajustements de conception, des modifications dans la gestion des conditions environnementales, ou des mises à jour du système de surveillance et de contrôle.

4. Première Étape : Il est important de noter que ce prototype n'est que la première étape de notre projet global. Une fois que nous aurons confirmé sa faisabilité, nous pourrions passer à la conception et à la construction d'une structure et d'un système à plus grande échelle pour l'élevage de mouches soldats noirs.

5. Contribution à la Recherche : En développant ce prototype, nous espérons contribuer à la recherche sur l'élevage des mouches soldats noirs. Nos résultats pourraient être utiles pour d'autres chercheurs et professionnels de l'agriculture qui s'intéressent à cette technique d'élevage.

5.3 Description du site d'étude et installation de la colonie de LMSN

L'élevage des mouches soldat noir sera réalisé au sein du Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée (LPAA) de l'Université d'INÉS MOSTAGANEM, située dans la ville de Mostaganem. La région de Mostaganem, localisée dans le Nord-Ouest de l'Algérie, couvre une étendue de 2 269 km². Ses limites s'étendent de 0°8' à l'Ouest à 0°46' à l'Est, et de 36°29' au Nord à 35°37' au Nord. Cette région est bordée par la mer Méditerranée au Nord et au Nord-Ouest, offrant une façade maritime d'environ 120 km. Elle partage ses frontières avec la wilaya de Chlef à l'Est, les wilayas de Mascara et de Relizane au Sud, ainsi que la wilaya d'Oran à l'Ouest.



Figure 19 Carte de localisation de la Wilaya de Mostaganem

5.4 Les étapes générales sur la création d'un prototype d'élevage

Cette étude se divise en deux étapes : La première consiste au montage des matériels et à la configuration des équipements tels que le capteur, la caméra, l'humidificateur, etc., dans le

laboratoire d'Électromagnétique et Optique Guidée (EOG) de l'Université de INÈS MOSTAGANEM. Cette étape vise à préparer l'environnement de laboratoire nécessaire à l'élevage des mouches soldats noires. Notre système est constitué d'une partie réglages et une autre de mesures. On passe par les étapes suivantes :

- ✓ Conception de système d'élevage ;
- ✓ Choix du matériel
- ✓ Réalisation d'un bloc de commande ;
- ✓ Réalisation de notre montage sous Prototype ;
- ✓ Réalisation d'un circuit imprimé.

Dans la deuxième étape, l'élevage des mouches soldats noires sera effectué dans laboratoire de physiologie animale appliquée (LPAA) de l'université de l'INÈS MOSTAGANEM. Cette étape implique la mise en place des conditions idéales pour la reproduction, la ponte des œufs et l'alimentation des mouches soldats noires, afin de favoriser leur croissance et leur développement.

5.5 Conception d'un système d'élevage LMSN

La conception d'un système d'élevage LMSN consiste à planifier et à concevoir un ensemble de composants et de processus qui permettent de gérer et d'optimiser les activités développements. Cela implique la création d'un système intégré qui prend en compte divers éléments tels que la température et l'humidité, les techniques d'élevage, les pratiques de gestion, les technologies d'élevage des insectes et larves, les infrastructures et les considérations environnementales.

La conception d'un système embarqué implique souvent des considérations telles que la consommation d'énergie, les contraintes de mémoire, la latence, la sécurité et la robustesse.

La figure ci-dessous illustre l'Architecture globale de deux parties de projet ÉlectroLarve.

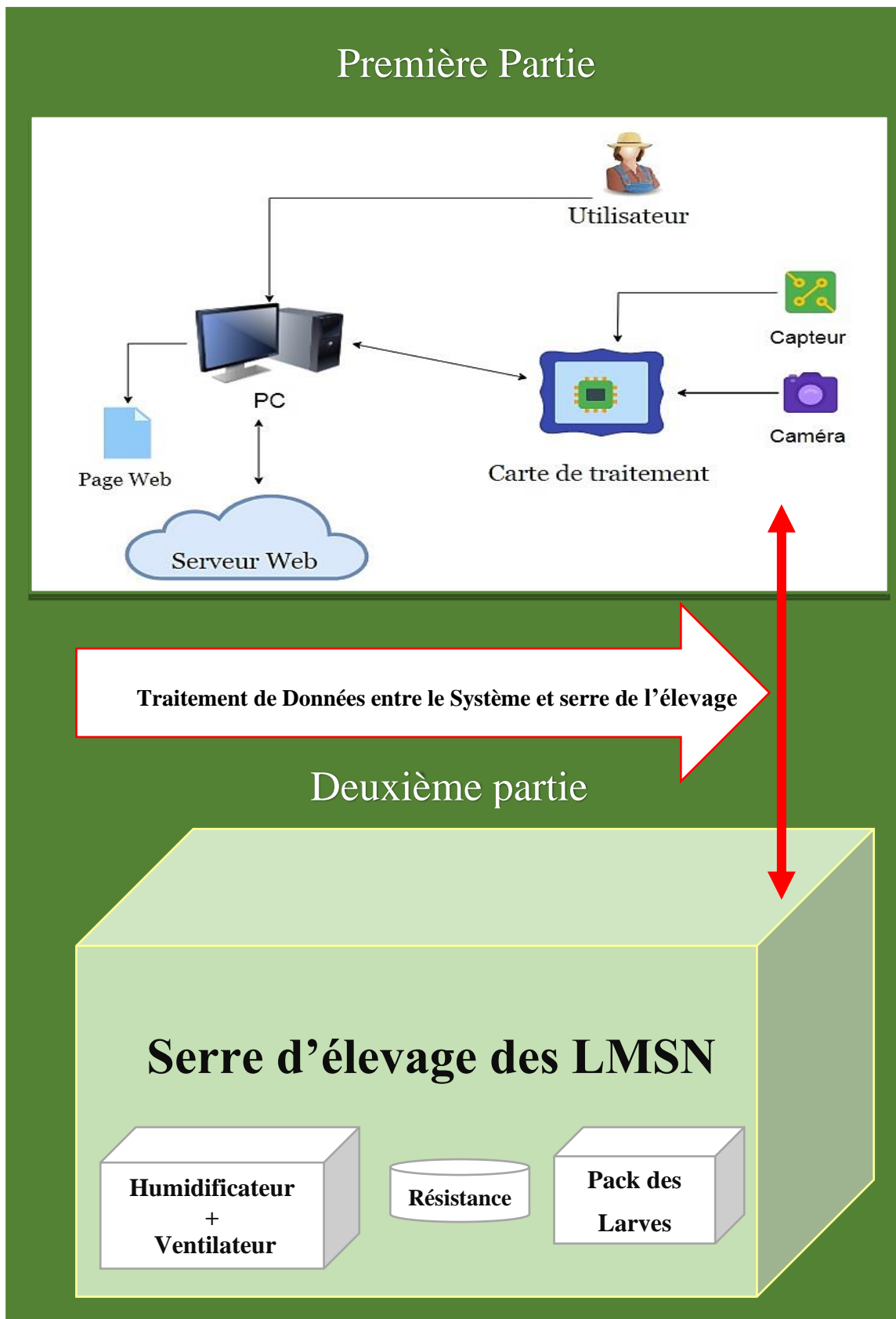


Figure 20 Architecture globale de deux parties de projet ÉlectroLarve

5.6 Matériel utilisé

La recherche bibliographique sur les laboratoires agronomique et l'élevage des mouches soldat noir a été essentielle pour définir le cahier des charges de notre propre prototype et déterminer son architecture. Afin de concevoir un système de gestion de l'élevage utilisant un système embarqué piloté par un Raspberry Pi 4 Model B, il était important de prendre en compte les bons paramètres et les faiblesses des projets existants. Le schéma synoptique de notre système présenté dans la figure suivante :

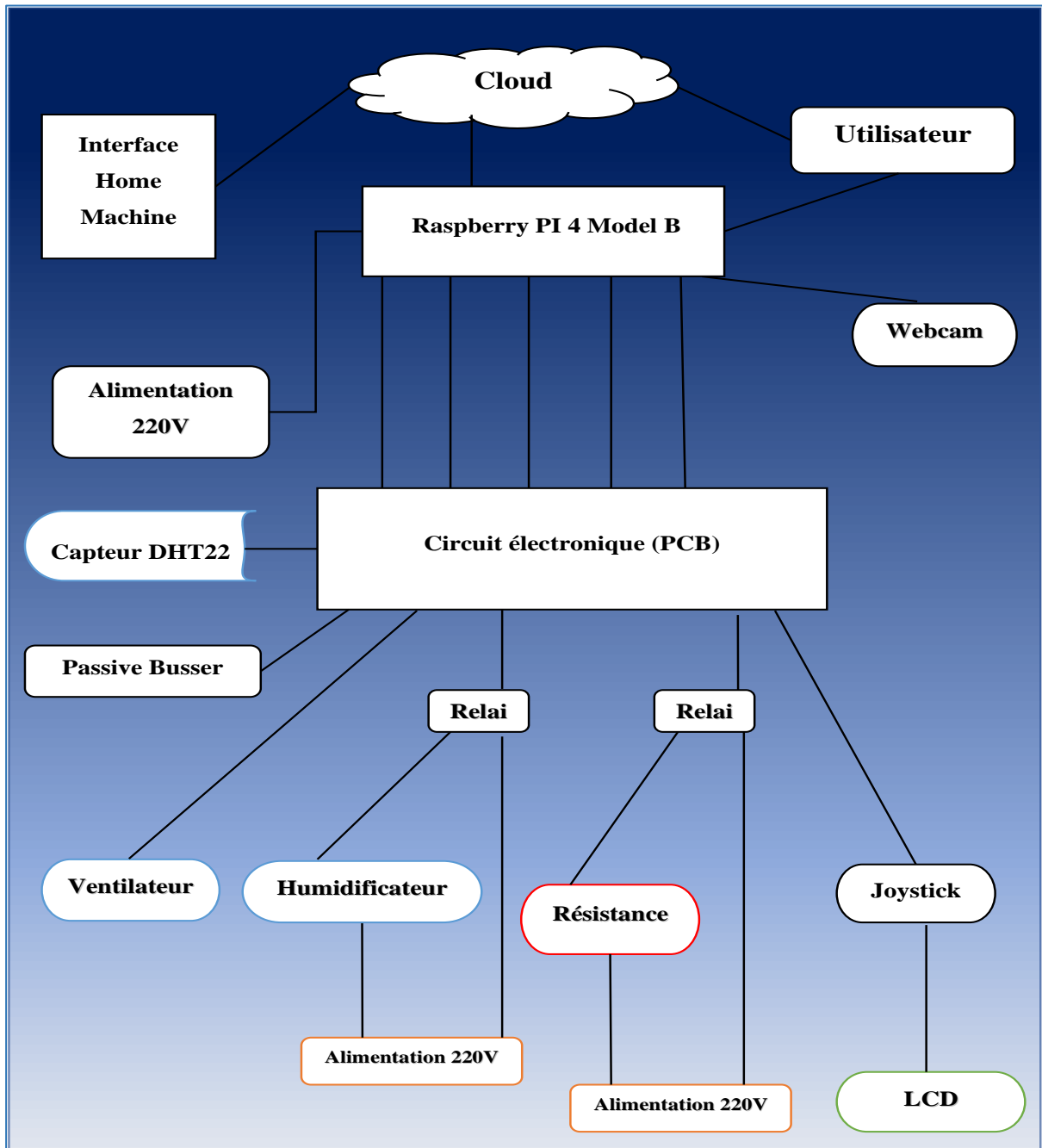









Figure 21 Schéma synoptique générale du système électronique.

Il est essentiel de sélectionner le matériel adéquat lors de la construction d'un prototype ÉlectroLarve. Nous proposons dans ce travail un système qui consiste en un capteur contrôlé par un Raspberry PI 4 Model B, un système qui assurera un capteur d'humidité et température tout en balayant l'ensemble de l'environnement.



Le tableau ci-dessous présente en détail chaque composant utilisé, avec les prix après l'achat, afin de déterminer le coût total du cahier des charges nécessaire pour la construction d'un prototype de serre agricole en bois :

Tableau 7 Estimation du prix de revient de projet

Composant	Désignation	Utilité	Qté	Prix	Total
	DHT22	Capteur de température et d'humidité Numérique	1	1200	1200
	Relais déclencheur 1CH	Interrupteur à commande électrique, 5V.	2	350	700
	Joystick (Taille 4 x 3,6cm)	Tension à 2.5 à 5 V, Signale analogique	1	500	500
	MCP 8000	Convertisseur analogique numérique	1	6500	6500
	VGEBY 10W 24V	Humidificateur d'air 24V	1	1800	1800

	Dual-male Breadboard Jumper-Wire	Double-mâle Planche à pain : Connectent un Appareil électrique	1 (65 pièces)	400	400
	A Pin Dual Female Split table Jumper Wire -200mm	Broche double Femme : Connectent un appareil électrique	1 (40 pièces)	400	400
	Prise Électrique Apparente	Connecteur permettant de relier des appareils électriques	3	400	1200
	Câble Électrique	Permettent d'acheminer le courant	2 mètres	200	400
	Raspberry Pi 4	Carte de traitement	1	47000	47000
	LCD numérique	Affichage Température, Humidité	1	5000	5000
	Câble en nappe Raspberry Pi GPIO 40-Pin Ribbon	Permet de connecter le Raspberry sur circuit imprimé	1	900	900

	Circuit imprimé (PCB)	Organise les composants électroniques	1	-	-
	Boîte d'arrangement en plastique	Stockage d'humidité	1	100	100
	Coude PVC (Polychlorure de vinyle)	Distributeur d'humidité (Boîte ver Serre)	1	100	100
	Ventilateur	Ventilateur de circulation d'air	1	1100	1100
	Cage En bois (Serre)	Planche en bois (50 cm) x 4, Carrée en bois (67 x 55cm)	1	2000	2000
	Boîte dérivation étanche	Rangé les pièces électronique (15 x 15 cm)	1	700	700
	Filet d'ombrage	Filet d'ombrage Vert	4 mètres	300	1200
	Passive Busser	Produire un son, quand il reçoit un courant	1	300	300
	Résistance chauffante (Élément bobinée)	Délivrer une température	1 (15 cm)	500	500

	Boîte de Résistance	Boîte en métallique : contient de ciment blanc comme support de résistance	1	-	-
	Webcam (640X480 Pixel)	Capturer des images	1	-	-
			Totale	72 000	Dinars

En laboratoire EOG, une multitude de matériaux et d'équipements peuvent encore servir à d'autres fins après avoir rempli leur première mission, contribuant ainsi au recyclage et à la réduction des déchets. Cette pratique permet non seulement de minimiser les coûts, mais aussi de promouvoir une utilisation responsable des ressources disponibles.

Il est intéressant de noter que certains composants du projet, dont les coûts ne sont pas précisément définis dans le tableau ci-dessus, sont obtenus à partir de matériaux recyclés provenant du laboratoire EOG. Cette approche écologique et économique favorise la durabilité du projet.

Le coût total estimé pour la réalisation du cahier des charges s'élève à **72 000** dinars Algériens. Ce chiffre reste constant quelle que soit l'envergure du projet d'élevage de larves. Cette stabilité financière offre l'avantage de prévoir avec précision les dépenses liées au projet, simplifiant ainsi la gestion budgétaire. Le coût total du cahier des charges représente un investissement judicieux pour l'élevage de différentes larves. Il garantit la qualité, la cohérence et la stabilité financière du projet, tout en offrant des avantages à long terme pour une exploitation réussie de cette activité.

5.7 Présentation du système embarqué d'ÉlectroLarve

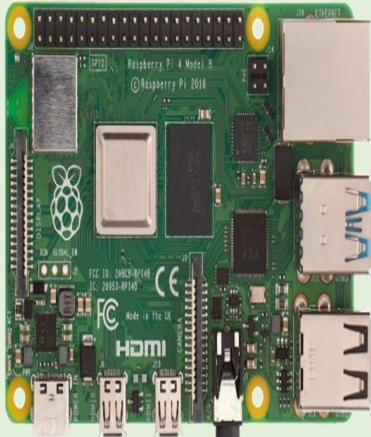

Un système embarqué, également connu sous le nom de système embarqué ou de système Informatique embarqué, est un système électronique conçu pour effectuer des tâches spécifiques, souvent avec des contraintes de taille, de puissance, de performance et de fiabilité.

Nous développons un bloc de commande spécifique pour notre système embarqué, qui sera responsable de la gestion des différentes fonctions et des composants. Voici comment notre système pourrait fonctionner avec ces composants :

5.7.1 Le choix entre l'Arduino Uno et le Raspberry Pi 4

Lorsqu'il s'agit de choisir entre l'Arduino Uno et le Raspberry Pi 4 Model B pour un projet électronique ou informatique, il est essentiel de comprendre les caractéristiques, les avantages et les inconvénients de chacun de ces deux dispositifs. L'Arduino Uno et le Raspberry Pi 4 Model B sont tous deux des plates-formes populaires dans le domaine de l'électronique et de la robotique, mais ils sont conçus pour des utilisations différentes et ont des fonctionnalités distinctes.

Tableau 8 Comparaison entre le Raspberry Pi 4 Model B et l'Arduino Uno

	Raspberry Pi 4 Model B	Arduino Uno
Image		
Matériel	- Équipé d'un Processeur ARM Cortex-A72 quad-Core (microprocesseur) : il a une grande puissance de traitement.	- Équipé d'un microcontrôleur ATmega328P : il a une puissance de calcul limitée et ne dispose pas de système d'exploitation.

<p>Objectif principal</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mini-ordinateur monocarte. - Il est conçu pour : La programmation, La navigation sur le web, La création de serveurs. - Il fonctionne avec un système d'exploitation complet 	<ul style="list-style-type: none"> - Principalement une plate-forme de microcontrôleur, - Idéale pour les projets électroniques simples à moyens, tels que : Les capteurs, Les projets embarqués.
<p>Flexibilité</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisé pour une gamme beaucoup plus large d'applications en raison de sa capacité à exécuter des systèmes d'exploitation complets. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il est moins adapté aux tâches informatiques générales en raison de sa puissance limitée.
<p>Complexité de la programmation</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Il utilise des langages de haut niveau tels que Python, C, C++ - Pouvoir exécuter des systèmes d'exploitation. 	<ul style="list-style-type: none"> - La programmation est généralement plus orientée vers le matériel, et utilisant le langage de Arduino basé sur C/C++
<p>Coût</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Plus coûteux en raison de sa puissance de traitement supérieure et de ses fonctionnalités étendues. 	<ul style="list-style-type: none"> - Moins cher que le Raspberry Pi 4, ce qui en fait un choix économique pour de nombreux projets électroniques.
<p>Points communs</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sont flexibles et peuvent être adaptés à divers projets. - Les deux plates-formes ont des environnements de développement conviviaux qui facilitent la programmation et le prototypage rapide. 		

Dans le cadre de ce projet, notre choix délibéré s'est porté sur le Raspberry Pi 4 Model B en tant que plate-forme de développement principale.

Cette décision découle d'une évaluation minutieuse de plusieurs facteurs déterminants, mettant en évidence pourquoi le Raspberry Pi 4 s'avère être le choix optimal pour répondre à nos besoins spécifiques. Ces critères comprennent sa puissance de traitement robuste, ses fonctionnalités de connectivité avancées, ainsi que sa capacité à assurer un fonctionnement efficace et évolutif.

Un élément clé de cette plate-forme est son serveur intégré, qui offre la flexibilité nécessaire pour l'intégration de fonctionnalités avancées, contribuant ainsi à l'atteinte de l'excellence dans l'ensemble de notre solution. Le Raspberry Pi 4 Model B constitue un socle solide pour la conception et la mise en œuvre de notre solution de contrôle de serre pour l'élevage des mouches soldat noir, garantissant son efficacité opérationnelle et sa capacité d'adaptation aux besoins futurs.

5.7.2 Carte Raspberry Pi 4 Model B

Le Raspberry Pi 4 Model B, un nano-ordinateur, fonctionne avec processeur quadricœur 64 bits haute performance, la prise en charge d'un double affichage à des résolutions allant jusqu'à 4K via une paire de ports micro-HDMI, un décodage vidéo matériel allant jusqu'à 4Kp60, jusqu'à 8 Go de RAM, un réseau local sans fil bi-bande 2,4/5,0 GHz, Bluetooth, Gigabit Ethernet, et USB.

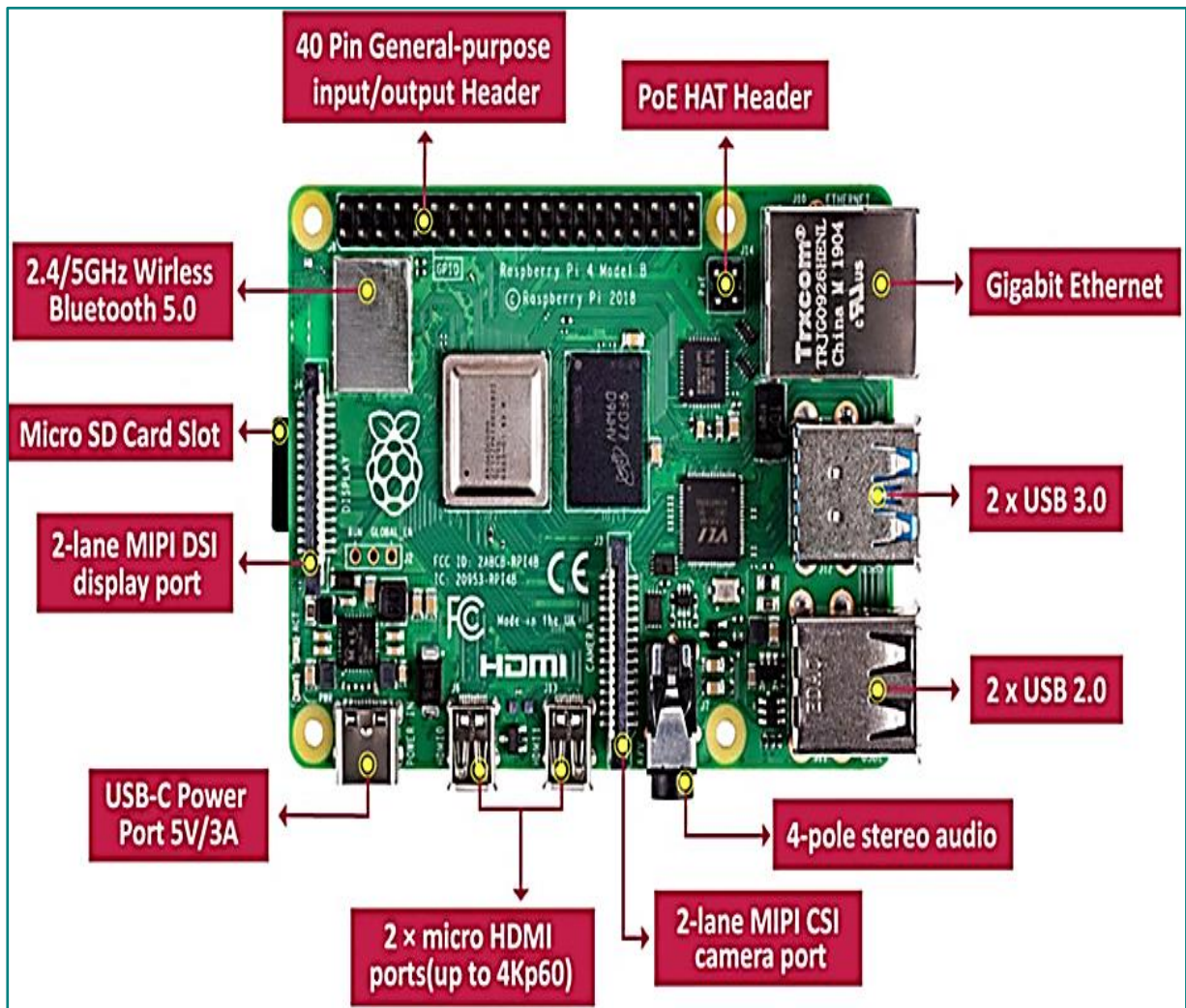


Figure 22 Raspberry Pi 4 Model B

Le tableau ci-dessous résume les spécifications techniques de Raspberry Pi 4 Model B :



Tableau 9 Les spécifications techniques de Raspberry Pi 4 Model B

Composants	Caractéristiques
Processeur	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.5GHz
Mémoire	1GB, 2GB, 4GB ou 8GB LPDDR4 (selon le modèle)

Connectivité	<p>Sans fil 2,4 GHz et 5,0 GHz IEEE 802.11b/g/n</p> <p>Réseau local, Bluetooth 5.0, BLE</p> <p>Gigabit Ethernet</p> <p>2 × ports USB 3.0</p> <p>2 × ports USB 2.0.</p>
GPIO : Entrée-sortie à usage général	<p>Connecteur GPIO standard à 40 broches (Pins)</p> <p>(Entièrement compatible avec les cartes précédentes)</p>
Vidéo et Son	<p>2 × ports micro HDMI (jusqu'à 4Kp60 pris en charge)</p> <p>Port d'affichage MIPI DSI à 2 voies</p> <p>Port caméra MIPI CSI à 2 voies</p> <p>Port audio stéréo à 4 pôles et port vidéo composite</p>
Multimédia	<p>H.265 (décodage 4Kp60) ;</p> <p>H.264 (décodage 1080p60, encodage 1080p30) ; graphiques</p> <p>OpenGL ES, 3.0</p>
Support de la carte SD	<p>Emplacement micro SD pour le chargement du système d'exploitation et le stockage des données</p>

Nous pouvons ajouter différents accessoires conformément à nos besoins spécifiques. Voici deux accessoires essentiels au fonctionnement de la Raspberry Pi 4 Model B :

Tableau 10 Les accessoires courants du Raspberry Pi 4 Model B

Accessoires	Photo	Utilités
Clavier et Souris		<p>Seront nécessaires pour l'installation du système d'exploitation et la configuration initiale.</p>
Moniteur d'ordinateur		<p>Le Raspberry Pi 4 n'a pas d'écran intégré, il a besoin d'un moniteur externe pour afficher l'interface.</p>

Le Raspberry Pi 4 Model B est équipé de broches GPIO (General-Purpose Input/Output). Cependant, la numérotation des broches peut varier en fonction du système de numérotation utilisé (BCM, WiringPi, etc.).

Voici la figure ci-dessous qui présente les broches GPIO de 1 à 40 sur le Raspberry Pi 4 :

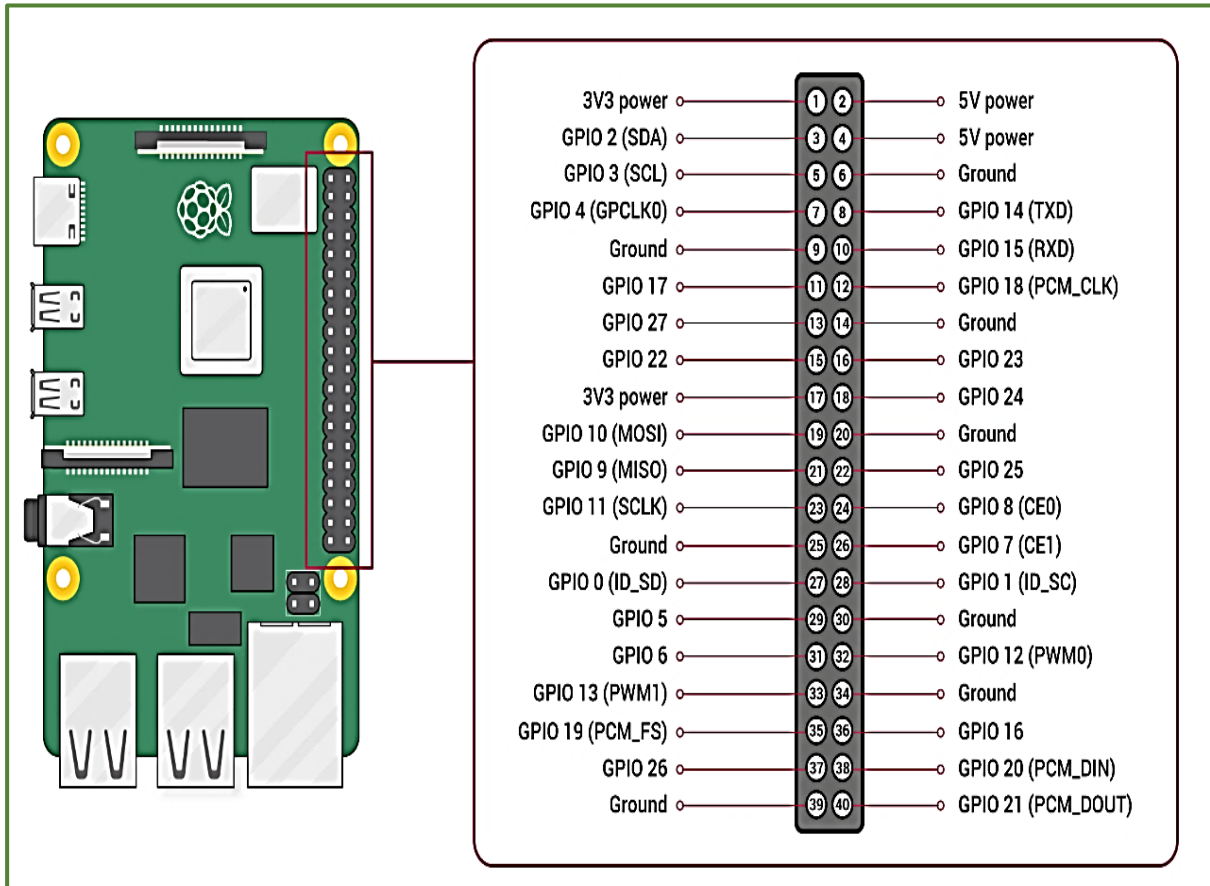


Figure 23 Schéma des broches physiques Raspberry Pi 4 Model B

5.7.3 Configurations de Raspberry PI 4 model B

L'installation et la configuration de Raspberry Pi peuvent être réalisées en suivant ces étapes :

Tableau 11 Étapes d'installation et de configuration

Étapes	Installation ou configuration
Préparation de la carte Micro-SD	Téléchargez Raspberry Pi OS (ou le système d'exploitation de votre choix) depuis le site officiel. Insérez la carte Micro-SD dans le Raspberry Pi.
Connexions matérielles	Connecter l'écran, le clavier, la souris, le câble Ethernet (ou configurez le Wi-Fi), et l'adaptateur secteur USB-C

	au Raspberry Pi. Allumer le Raspberry Pi en connectant l'adaptateur secteur.
Configuration initiale	Pour configurer la langue, le mot de passe, la région, le fuseau horaire il faut suivre les instructions à l'écran, on assure de donner un nom unique au Raspberry Pi
Mises à jour du système	Ouverture de terminal et exécution les commandes suivantes pour mettre à jour le système : <ul style="list-style-type: none">❖ <code>sudo apt update</code>❖ <code>sudo apt upgrade</code>
Configuration réseau	Pour attribuer une adresse IP statique, modifiez le fichier de configuration réseau (<code>/etc/dhcpd.conf</code>) ou configurez l'adresse IP statique dans le routeur.
Sécurité	Changement de mot de passe par défaut pour renforcer la sécurité. Activez SSH si vous souhaitez accéder au Raspberry Pi à distance. Configuration de pare-feu pour contrôler les connexions entrantes et sortantes.
Extensions et logiciels	Installation des logiciels ou les extensions nécessaires pour notre projet ÉlectroLarve. Par exemple, un serveur web, un serveur de fichiers, un serveur de médias, etc.

5.7.4 Capteur DHT22

Pour réguler la croissance des LMSN dans la serre, nous avons employé une variété de capteur. Dans ce but, nous avons utilisé un capteur DHT22, reliés à la carte.

Le capteur DHT22 est un choix populaire pour la surveillance de l'humidité et de la température en raison de sa facilité d'utilisation, de sa précision décente et de son coût abordable. Cependant, il est important de noter que, comme tout capteur, il peut nécessiter un étalonnage périodique pour maintenir une précision optimale dans le temps.

Ces données sont essentielles pour maintenir un environnement optimal pour l'élevage des mouches soldat noir.

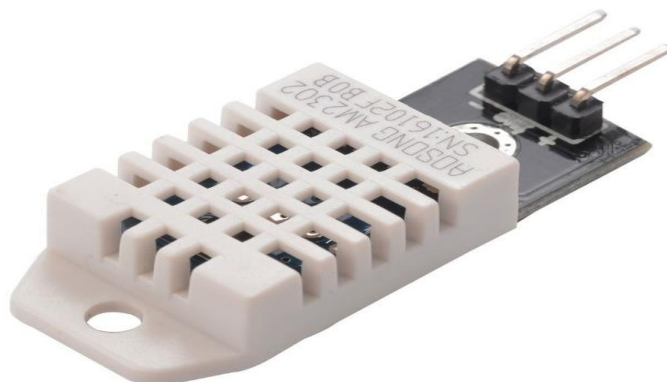


Figure 24 Capteur DHT22.

Les plages de variation requises pour les capteurs sont spécifiées comme suit :

Tableau 12 Plages de variation requises et, la précision de capteur DHT22

Grandeurs climatiques	Plages de variations	Précisions requises
Température de l'air	-40° à +125°	±0.5 °C
Taux d'humidité d'air	0 à 100% RH	±2 % RH

5.7.5 Relai déclencheur 1CH

Un relais électromécanique, également connu sous le nom de "relais déclencheur 1CH," est un composant électrique qui permet de contrôler un circuit électrique à l'aide d'un autre circuit électrique. Il est largement utilisé pour l'automatisation et le contrôle de divers appareils électriques. Nous utilisons des relais pour activer ou désactiver des dispositifs électriques, tels que des résistances ou humidificateur, en réponse aux besoins de la serre. Le Raspberry Pi contrôle ces relais en fonction des lectures du capteur DHT22 et d'autres paramètres (température et humidité).

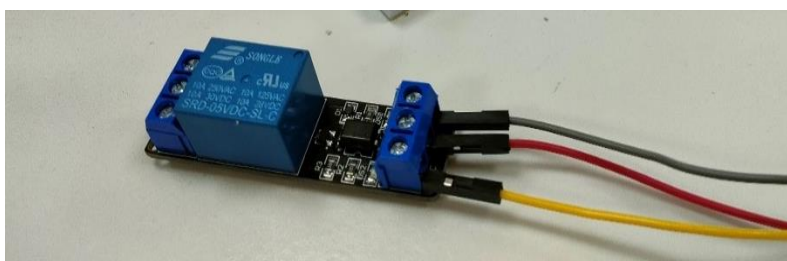


Figure 25 Relai déclencheur 1CH

5.7.6 Humidificateur et Ventilateur

L'humidificateur est un composant clé pour maintenir le niveau d'humidité spécifique nécessaire à l'élevage des mouches soldat noir. En réponse aux lectures du capteur DHT22, le Raspberry Pi active l'humidificateur par l'intermédiaire des relais. De plus, le ventilateur est activé simultanément pour assurer une distribution uniforme de l'humidité dans toute la serre.



Figure 26 Humidificateur



Figure 27 Ventilateur monté sur la fermeture d'une boîte en plastique

5.7.7 Webcam

Une webcam est intégrée au système pour capturer des images des mouches soldat noir à des fins de surveillance. Ces images peuvent être utilisées pour suivre la croissance et le comportement des LMSN.



Figure 28 Webcam

5.7.8 MPC3008 (Convertisseur analogique-numérique)

Le MPC3008 est un convertisseur analogique-numérique qui est utilisé pour convertir les signaux analogiques provenant, d'un joystick. Ces signaux sont convertis en données numériques que le Raspberry Pi 4 Model B peut lire et interpréter.

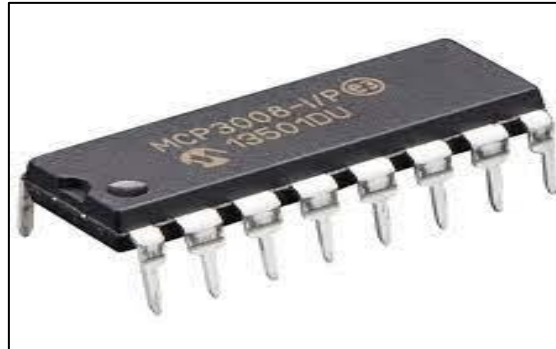


Figure 29 MPC3008

5.7.9 Écrans LCD

Nous avons configuré les écrans LCD pour afficher en temps réel Les données cruciales collectées par le capteur DHT22, notamment la température et l'humidité. De plus, nous avons mis en place un système de navigation à l'aide de Joystick permettant aux utilisateurs de basculer entre différents paramètres d'affichage tels que la température, l'humidité, l'heure et la date. Les écrans LCD affichent également les valeurs maximales et minimales de température et d'humidité, offrant ainsi un aperçu complet des conditions environnementales.

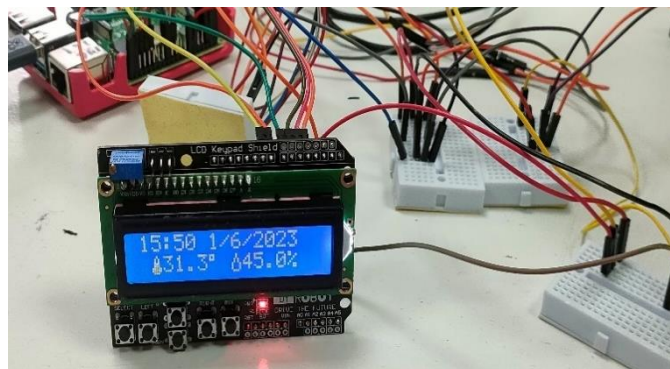


Figure 30 Écrans LCD

5.7.10 Joystick

Il sert de dispositif d'entrée pour permettre aux utilisateurs de naviguer dans l'interface utilisateur, de sélectionner des options et de régler des paramètres essentiels. L'utilisation intuitive du joystick simplifie l'ajustement des seuils de température et d'humidité, ainsi que

d'autres paramètres de contrôle, ce qui permet aux utilisateurs de personnaliser rapidement l'environnement de la serre en fonction des besoins des mouches soldat noir.

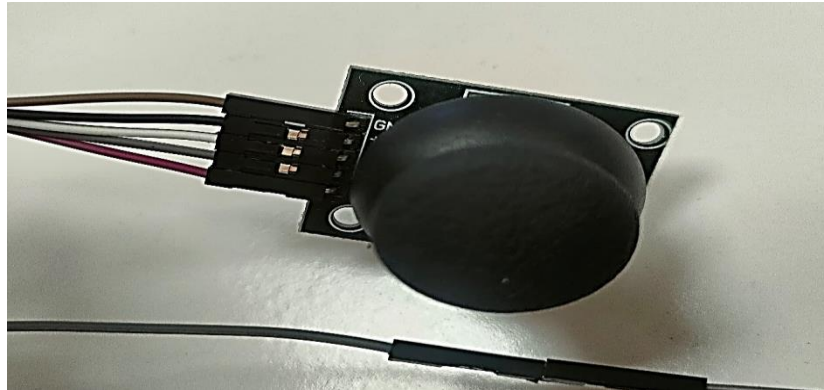


Figure 31 joystick

5.7.11 Résistance chauffante

Nous avons mis en œuvre une résistance artisanale pour des besoins spécifiques de chauffage et de contrôle de la température. Cette résistance est constituée d'une boîte métallique, d'un ciment blanc et d'une résistance provenant d'un sèche-cheveux. Cette configuration artisanale a été utilisée pour répondre à des exigences particulières de notre serre d'élevage.



Figure 32 Résistance chauffante, artisanale.

5.7.12 Passive Buzzer

C'est un élément central de notre système de contrôle de la serre d'élevage des mouches soldat noir. Son rôle consiste à surveiller en temps réel les conditions environnementales, à émettre des alertes sonores en cas de dépassement des seuils et à faciliter une réaction rapide pour maintenir un environnement optimal. Cette fonctionnalité améliore la fiabilité de notre système et contribue à la réussite de l'élevage.

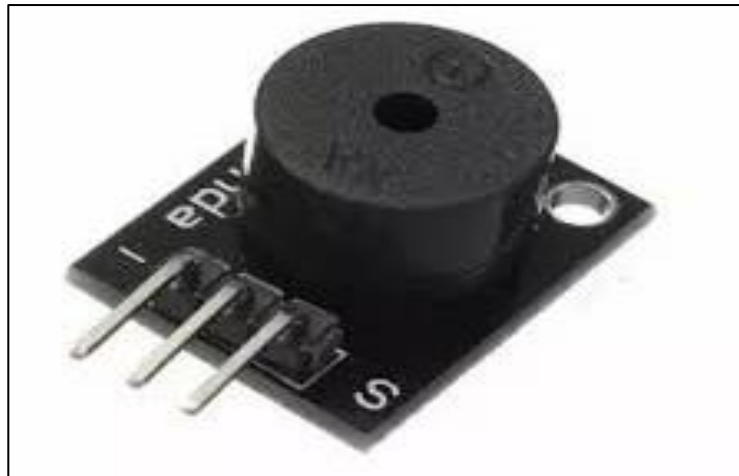


Figure 33 Passive Buzzer

5.8 Diagramme globale de Programme

Le diagramme global de programme constitue un élément central de notre système de contrôle de serre d'élevage des LMSN. Il offre une vue d'ensemble claire de la structure de notre programme logiciel, de ses composants majeurs et de la manière dont ils interagissent pour garantir le fonctionnement harmonieux de la serre. Cette représentation visuelle est un outil essentiel pour la compréhension et la maintenance du système

La figure ci-dessous illustre diagramme globale de programme

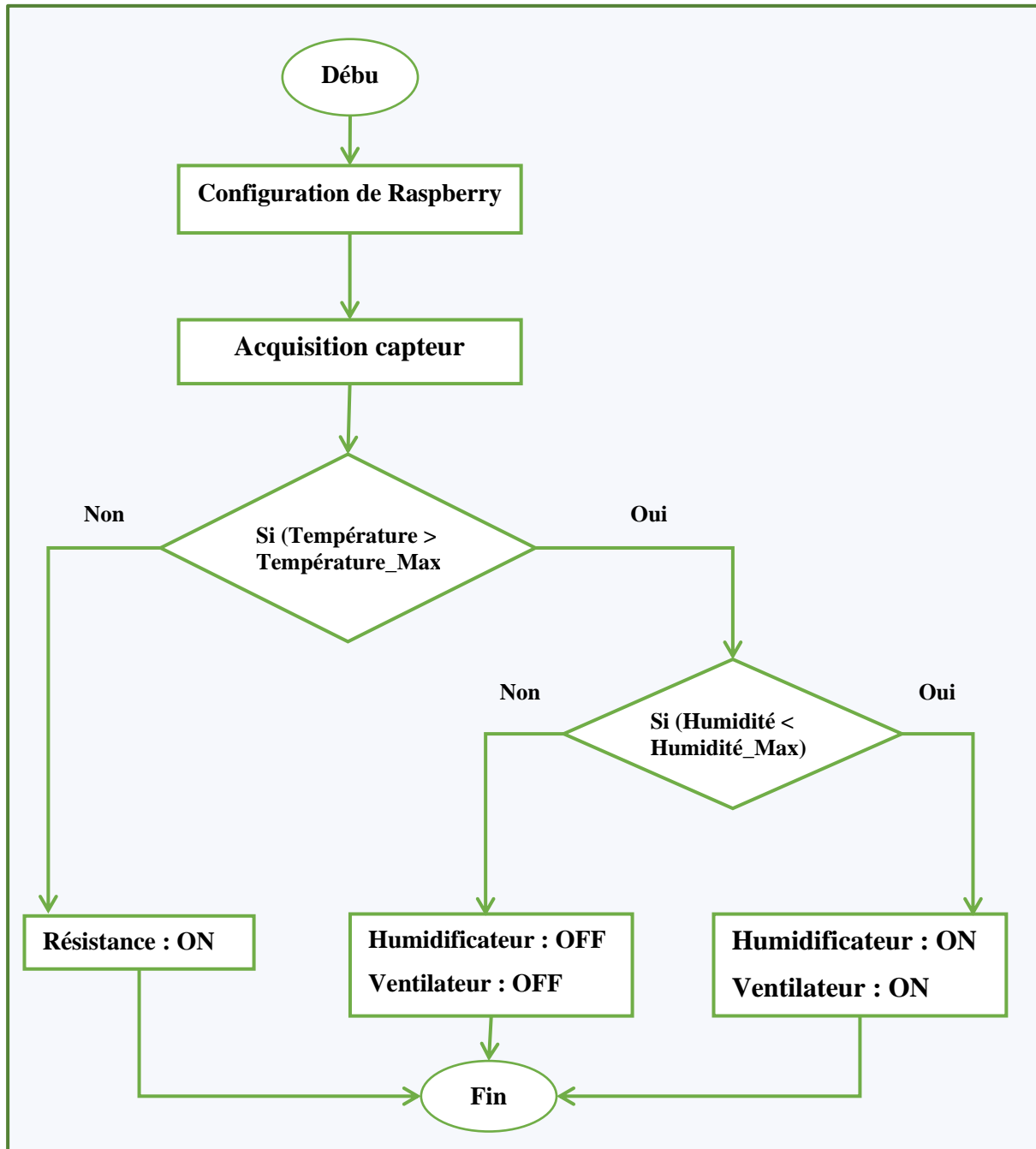


Figure 34 Diagramme globale de Programme

5.9 Logiciels associés à l'implémentation algorithmique

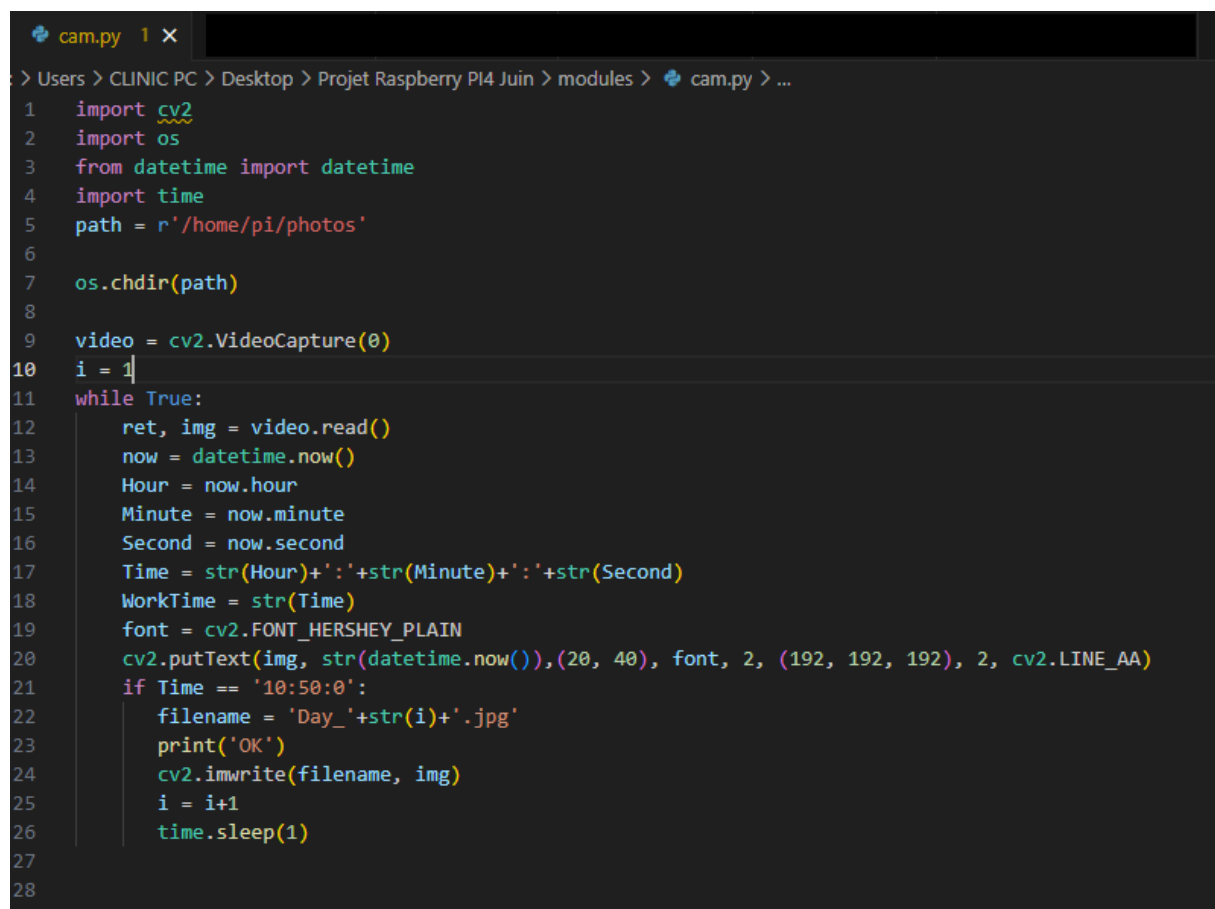
Le système ÉlectroLarve est conçu avec l'utilisation de HTML, tandis que pour le Raspberry PI 4, le code est écrit en langage Python. Dans le codage de la solution, nous allons examiner une partie du code qui sera présentée.

5.10 Gestion de Webcam

Le code de Webcam, capable de capturer des images de la webcam à des moments spécifiques (comme 10 :50 :00) et les enregistrer sur le système de Raspberry. Le code que nous fournit enregistre les images capturées dans le système de fichiers du Raspberry Pi, plus précisément dans le répertoire spécifié par la variable : `Path = r'/home/pi/Photos'`. Les images sont enregistrées localement sur la carte SD du Raspberry Pi 4.

Le code ajoute la date actuelle sous forme de texte à l'image à l'aide de la fonction `cv2.putText()`. Cela permet de marquer chaque image avec un horodatage.

Voici comment Python est intégré dans notre architecture logicielle :



```
cam.py 1 x
> Users > CLINIC PC > Desktop > Projet Raspberry PI4 Juin > modules > cam.py > ...
1 import cv2
2 import os
3 from datetime import datetime
4 import time
5 path = r'/home/pi/photos'
6
7 os.chdir(path)
8
9 video = cv2.VideoCapture(0)
10 i = 1
11 while True:
12     ret, img = video.read()
13     now = datetime.now()
14     Hour = now.hour
15     Minute = now.minute
16     Second = now.second
17     Time = str(Hour)+':' +str(Minute)+':' +str(Second)
18     WorkTime = str(Time)
19     font = cv2.FONT_HERSHEY_PLAIN
20     cv2.putText(img, str(datetime.now()),(20, 40), font, 2, (192, 192, 192), 2, cv2.LINE_AA)
21     if Time == '10:50:0':
22         filename = 'Day_'+str(i)+'.jpg'
23         print('OK')
24         cv2.imwrite(filename, img)
25         i = i+1
26         time.sleep(1)
27
28
```

Figure 35 Code de caméra de surveillance

5.11 Gestion des Données de Capteur

Python est utilisé pour collecter, traiter et analyser les données en provenance des capteurs DHT22 installés dans la serre. Ces données comprennent les mesures de température, d'humidité et d'autres paramètres environnementaux. Python assure la gestion de ces données et les prépare pour une utilisation ultérieure.

```
DHT22.py 2 | joystick.py 2 | Server.py 8 | index.html | Switch_Statme
C: > Users > CLINIC PC > Desktop > Projet Raspberry PI4 Juin > modules > DHT22.py > dhtDevice
1 import time
2 import board
3 import adafruit_dht
4 dhtDevice = adafruit_dht.DHT22(board.D13, use_pulseio=False)
5 dataTemp = ({'temperature_c': 0,
6             'temperature_f': 0,
7             'humidity': 0
8             })
9 def readTemp():
10     try:
11         temperature_c = dhtDevice.temperature
12         temperature_f = temperature_c * (9 / 5) + 32
13         humidity = dhtDevice.humidity
14         print(
15             "Temp: {:.1f} F / {:.1f} C   Humidity: {}% ".format(
16                 temperature_f, temperature_c, humidity
17             )
18         )
19         dataTemp = ({'temperature_c': format(temperature_c),
20                     'temperature_f': format(temperature_f),
21                     'humidity': format(humidity)
22                     })
23         return dataTemp
24         # print(dataTemp)
25     except RuntimeError as error:
26         time.sleep(2.0)
27     except Exception as error:
28         dhtDevice.exit()
29         raise error
30 #readTemp()
```

Figure 36 Code de capteur DHT22

5.12 Logique de Contrôle

Python est également responsable de la logique de contrôle de la serre. Il prend en compte les données de capteur pour décider des actions à prendre, telles que l'activation ou la désactivation des dispositifs de chauffage, de ventilation, d'humidification et de ventilation. La logique de contrôle en Python vise à maintenir les conditions environnementales optimales pour les mouches soldat noir.

```

C: > Users > CLINIC PC > Desktop > Projet Raspberry PI4 Juin > modules >
1  import RPi.GPIO as GPIO
2  #GPIO.cleanup()
3  GPIO.setmode(GPIO.BCM)
4  GPIO.setup(19, GPIO.OUT)
5  GPIO.setup(26, GPIO.OUT)
6  def switch_config(state,sw):
7      if(state == 'OFF' and sw == 'Tempe'):
8          GPIO.output(19, GPIO.LOW)
9
10     elif(state == 'ON' and sw == 'Tempe'):
11         GPIO.output(19, GPIO.HIGH)
12
13     elif( state == 'OFF' and sw == 'humidity'):
14         GPIO.output(26, GPIO.LOW)
15
16     elif(state == 'ON' and sw == "humidity"):
17         GPIO.output(26, GPIO.HIGH)

```

Figure 37 Code responsable sur activation / désactivation les GIPO

5.13 Gestion de joystick

Le code que nous avons fourni est destiné à lire les données d'un joystick et d'un Relai connectés au Raspberry Pi en utilisant une interface SPI (Serial Peripheral Interface).

```

1  import spidev
2  import time
3  import os
4  import RPi.GPIO as GPIO

```

Figure 38 Bibliothèque de code joystick

Ce code interagit avec un MCP3008, un convertisseur analogique-numérique (CAN), via l'interface SPI du Raspberry Pi pour lire les valeurs analogiques provenant du joystick et de l'interrupteur. En fonction des valeurs lues, il détermine la direction du joystick (gauche, droite, haut, bas, etc.).

```

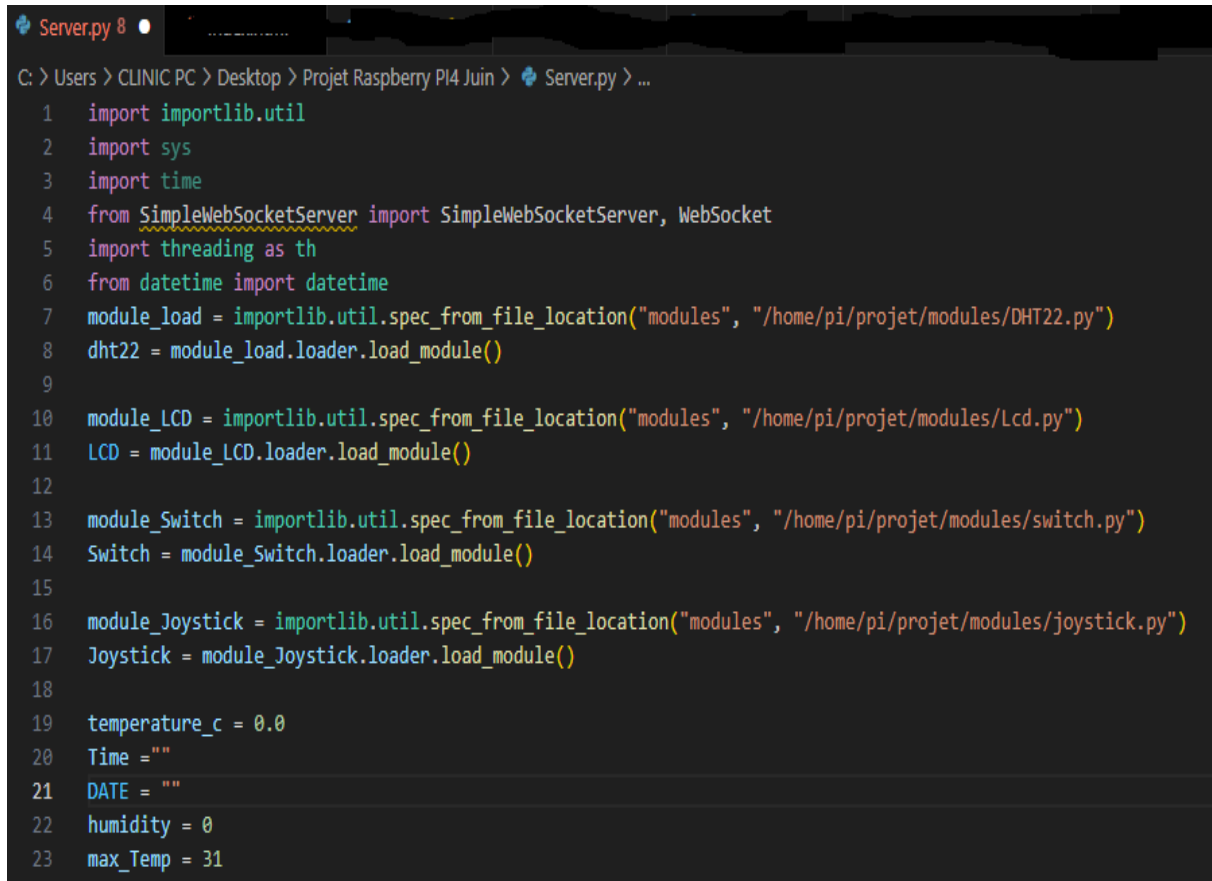
14
15  # Function to read SPI data from MCP3008 chip
16  # Channel must be an integer 0-7
17  def ReadChannel(channel):
18      GPIO.output(5, GPIO.LOW)
19      adc = spi.xfer2([1,(8+channel)<<4,0])
20      data = ((adc[1]&3) << 8) + adc[2]
21      GPIO.output(5, GPIO.HIGH)
22      return data

```

Figure 39 Code de MCP3008

5.14 Serveur WebSocket

Pour la communication en temps réel avec l'interface utilisateur web, nous avons mis en place un serveur WebSocket en Python. Ce serveur gère les connexions WebSocket entrantes et sortantes, permettant ainsi une communication bidirectionnelle entre la page web et le Raspberry Pi. Il envoie également des mises à jour et des alertes aux utilisateurs via WebSocket.



```
Server.py 8
C: > Users > CLINIC PC > Desktop > Projet Raspberry PI4 Juin > Server.py > ...
1 import importlib.util
2 import sys
3 import time
4 from SimpleWebSocketServer import SimpleWebSocketServer, WebSocket
5 import threading as th
6 from datetime import datetime
7 module_load = importlib.util.spec_from_file_location("modules", "/home/pi/projet/modules/DHT22.py")
8 dht22 = module_load.loader.load_module()
9
10 module_LCD = importlib.util.spec_from_file_location("modules", "/home/pi/projet/modules/Lcd.py")
11 LCD = module_LCD.loader.load_module()
12
13 module_Switch = importlib.util.spec_from_file_location("modules", "/home/pi/projet/modules/switch.py")
14 Switch = module_Switch.loader.load_module()
15
16 module_Joystick = importlib.util.spec_from_file_location("modules", "/home/pi/projet/modules/joystick.py")
17 Joystick = module_Joystick.loader.load_module()
18
19 temperature_c = 0.0
20 Time = ""
21 DATE = ""
22 humidity = 0
23 max_Temp = 31
```

Figure 40 Partie deux de code source de serveur

5.15 Utilisation de HTML, CSS et JavaScript dans l'Interface

Utilisateur

Dans la section de l'interface utilisateur de notre système de contrôle de serre d'élevage des mouches soldat noir, nous utilisons un mélange de technologies web pour créer une interface interactive et conviviale. Les principales technologies que nous utilisons sont HTML, CSS et JavaScript.

HTML est la base de notre interface utilisateur. Il définit la structure de la page web, y compris les éléments tels que les boutons, les champs de texte et les paragraphes.

Dans notre code HTML, nous organisons ces éléments de manière à créer une interface claire et organisée.

CSS est utilisé pour la mise en page et la mise en forme de notre interface. Il permet de contrôler les couleurs, les polices, les marges et les espacements entre les éléments. Dans notre code CSS, nous utilisons des classes et des sélecteurs pour appliquer des styles spécifiques à différents éléments de l'interface.

Par exemple, nous utilisons des règles CSS pour définir la couleur du texte, la taille de la police et l'espacement des éléments.

JavaScript est un élément essentiel de notre interface utilisateur interactive. Il permet d'ajouter des fonctionnalités dynamiques à la page, notamment la mise à jour en temps réel des données, la gestion des seuils de contrôle et la communication avec le serveur via WebSocket.

Notre fichier JavaScript ("scriptws.js") crée une connexion WebSocket avec le serveur Raspberry Pi pour permettre la communication en temps réel.

```
<> index.html X
Users > CLINIC PC > Desl
<html>
<head>
<link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css">
<script type = "text/javascript" src = "../scriptws.js"></script>
```

Figure 41 Code connexion WebSocket, et utilisation de CSS

Il gère également les événements utilisateur, tels que les clics de bouton pour la validation des seuils (Température et Humidité).

```
</div>
<div class="zoneSetting">
  <div class="labelSetting" style="top: 50; left: 50px; color: black;">Temperature Max °C </div>
  <input type="number" max="40" min = "10" class="settingValue" style="top: 48; left: 178px; color: red;" id="T-max" step="0.5"/>
  <div class="labelSetting" style="top: 80; left: 50px; color: black;">Temperature Min °C </div>
  <input type="number" max="40" min = "10" class="settingValue" style="top: 78; left: 178px; color: red;" id="T-min" step="0.5"/>

  <div class="labelSetting" style="top: 50; left: 300px; color: black;">Humidity Max % </div>
  <input type="number" max="90" min = "10" class="settingValue" style="top: 48; left: 408px; color: blue;" id="H-max" step="0.5"/>
  <div class="labelSetting" style="top: 80; left: 300px; color: black;">Humidity Min % </div>
  <input type="number" max="40" min = "10" class="settingValue" style="top: 78; left: 408px; color: blue;" id="H-min" step="0.5"/>

  <button class = "btnValid" onclick="valid();">Valid</button>
</div>
```

Figure 42 Code de validation des seuils

5.16 Interaction Utilisateur

L'ensemble de ces technologies combinées offre une expérience utilisateur fluide. Les utilisateurs peuvent voir en temps réel les données de température et d'humidité, ajuster les seuils de contrôle et valider leurs choix à l'aide de boutons interactifs. Le principe de fonctionnement de notre système ÉlectroLarve est très simple, il est constitué d'une partie réglages et une autre de mesures.

Le système fonctionne suivant deux modes. Nous pouvons passer d'un mode à l'autre, le premier à l'aide d'un Joystick, Menu (affichage de message de l'état de système) ou réglage de température Max/Min et Humidité Max/Min, le second pour choisir entre le seuil de température Max/Min et Humidité Max/Min à l'aide d'une IHM.

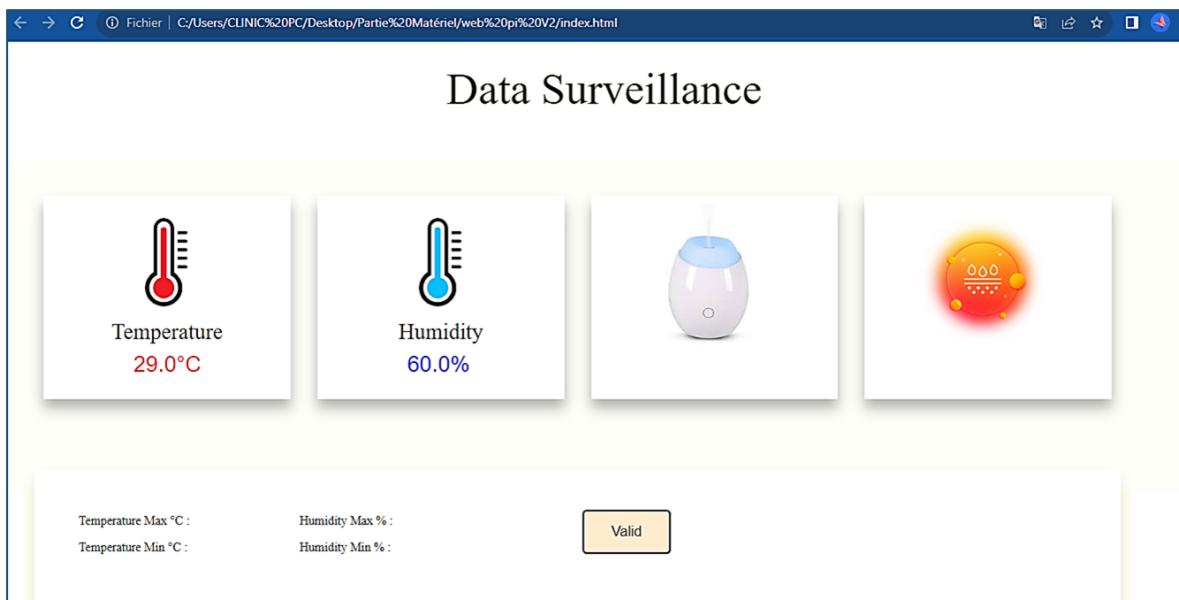


Figure 43 Interface de Surveillance LMSN

5.17 Montage du prototype

Une fois les blocs d'alimentation et de commande prêts, nous procédons au montage de notre système sous forme de prototype. Cette étape nous permet de tester et de valider le fonctionnement global de notre système dans des conditions réelles.

Dans un contexte de montage de test, un seul relais est utilisé, tandis que dans le cadre d'un montage de prototype ÉlectroLarve, deux relais sont employés.

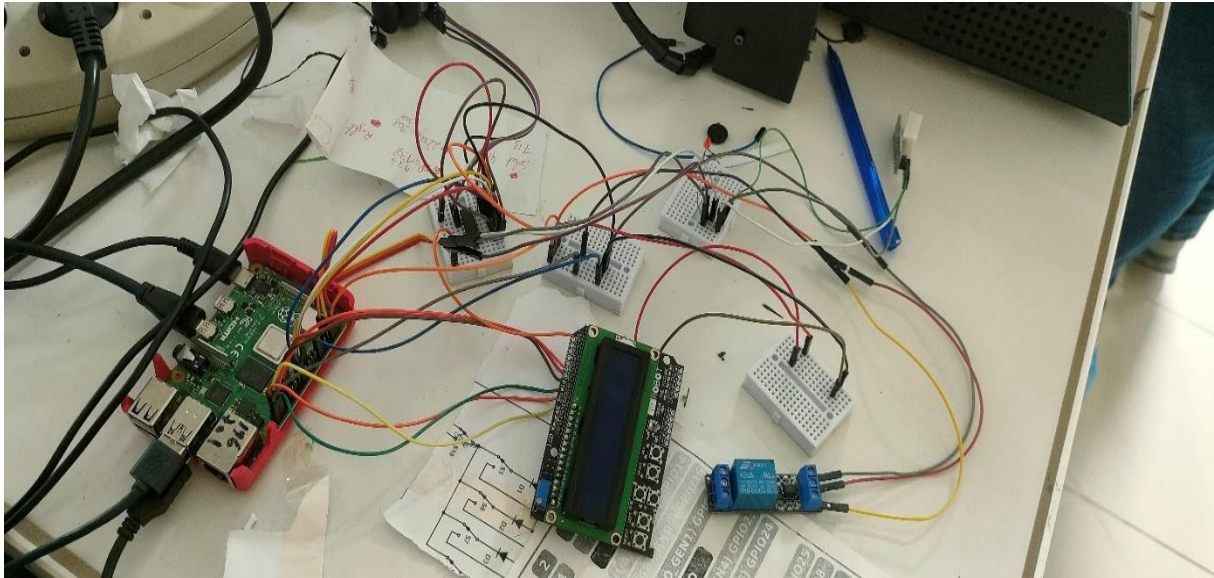


Figure 44 Montage réel global des capteurs de matériels

5.18 Création de circuit imprimé (PCB)

Création d'un circuit imprimé (ou PCB de l'anglais printed circuit board), après avoir confirmé que le prototype fonctionne comme prévu, nous passons à la conception et à la création d'un circuit imprimé finalisé. Ce circuit imprimé intègre tous les composants de manière optimale, ce qui facilite la production en série de notre système.

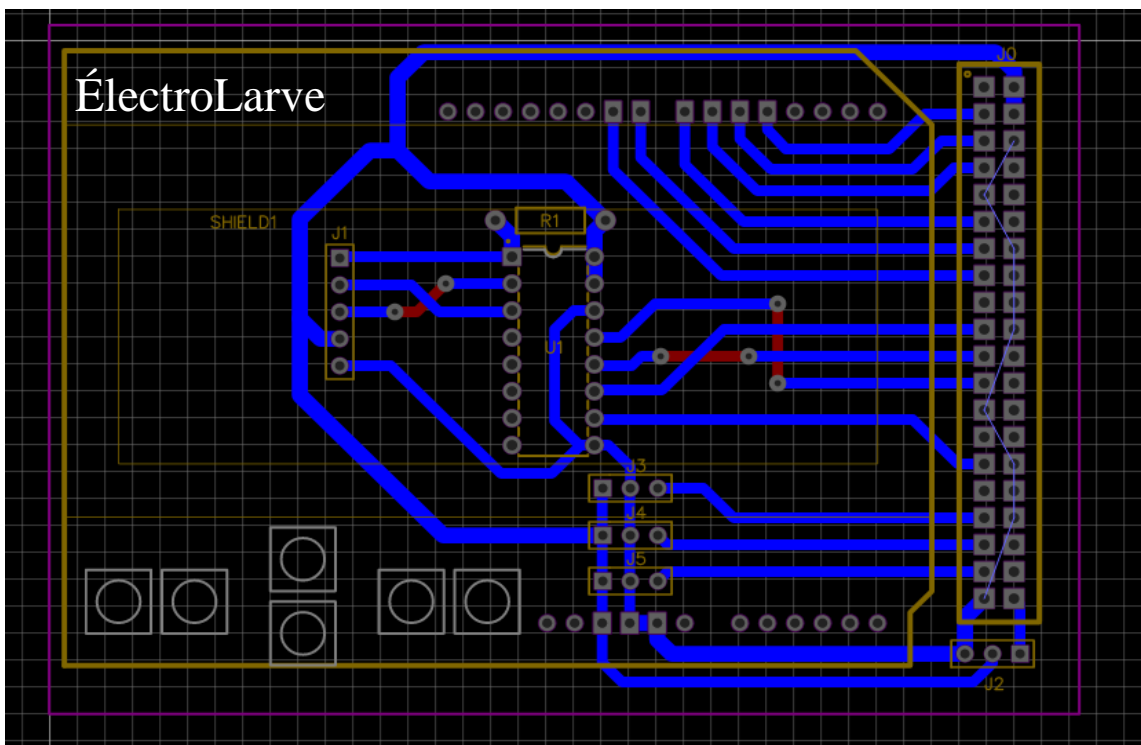


Figure 45 Création Typon avec composant de la carte de circuit imprimé ÉlectroLarve

Au cours de la réalisation de ce projet, une étape importante a été l'assemblage et la soudure des composants sur la carte électronique. Cette phase, souvent désignée comme "l'assemblage de la carte PCB", est essentielle pour transformer un schéma électronique abstrait en une réalité fonctionnelle.

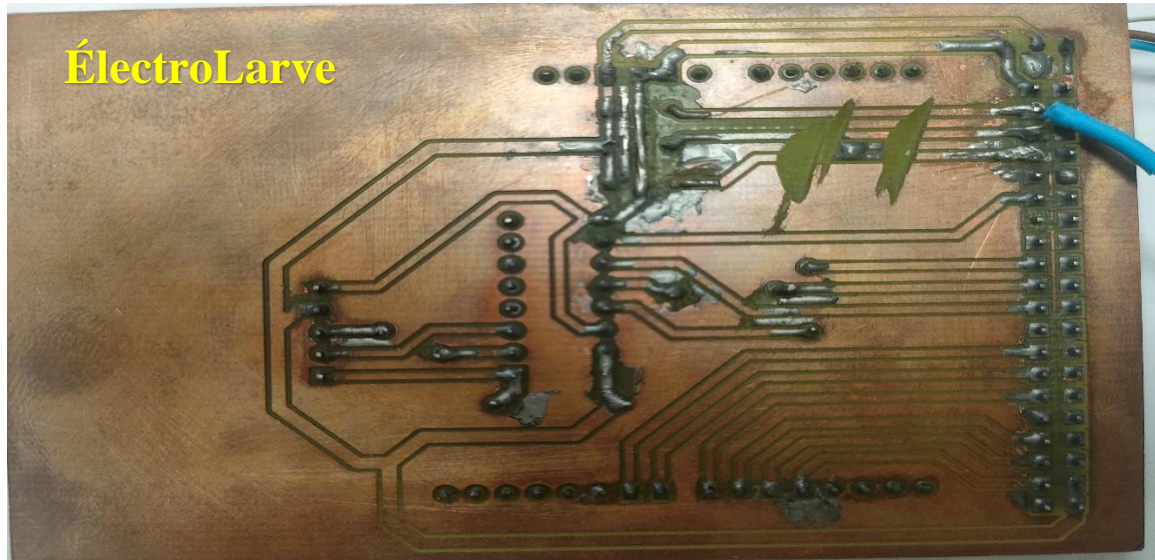


Figure 46 Carte imprimé

Après avoir soigneusement sélectionné et positionné les composants, nous avons procédé à la soudure des pins pour établir les connexions électriques nécessaires. Elle constitue le lien physique entre les composants individuels et est le pilier sur lequel repose le bon fonctionnement de notre projet ÉlectroLarve.

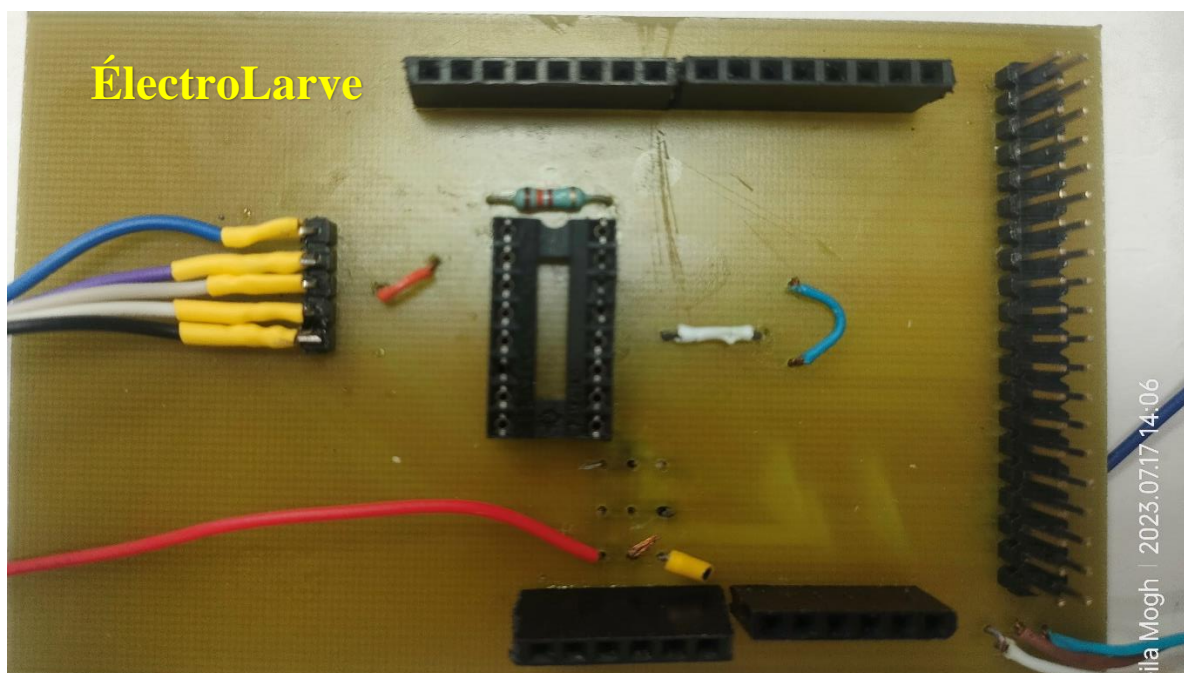


Figure 47 carte électronique après la soudure des pins

5.19 Paramètres clés de l'élevage

Les étapes essentielles de l'élevage des mouches soldat noir dans le cadre de notre projet ÉlectroLarve, y compris le matériel animal utilisé, les procédures d'élevage et les pratiques d'alimentation.

Le tableau ci-dessous résume les paramètres clés de l'élevage de LMSN :

Tableau 13 Paramètres clés de l'élevage de LMSN

Paramètres clés de l'élevage	Description
Matériel animal	Composants du matériel : Le matériel biologique d'origine animale était constitué des MSN provenant de LPAA, et maintenues en élevage au laboratoire depuis 2018.
Technique d'élevage des LMSN	Procédures d'élevage : On a utilisé 100 g des œufs de MSN a été introduit dans des boîtes rectangulaires en plastique (10 x 15 x 5 cm), puis placées à l'intérieur de Prototype (Serre sous forme d'une cage volières) de 67 x 55 x 50 cm au LPAA. Le prototype a été placé au LPAA dans un endroit aéré recevant la lumière du soleil.
Alimentation des LMSN	Pratiques d'alimentation : On a utilisé 25 g d'alimentation à base de déchets alimentaires

La technique d'élevage des mouches soldat noir (LMSN) au sein LPAA ne soit pas équipée d'un système embarqué ni d'une surveillance automatisée, comme illustré dans la figure ci-dessous. Cela signifie que l'élevage est actuellement géré sans l'utilisation de dispositifs de surveillance ou de contrôle automatisés. L'élevage est actuellement géré sans l'utilisation de dispositifs de surveillance ou de contrôle automatisés.



Figure 48 Technique d'élevage des LMSN sans système embarqué

La fusion de l'expertise traditionnelle du LPAA avec les innovations technologiques modernes vise à créer un environnement d'élevage de pointe. Le Prototype de Serre-Cage Volière un espace adéquat pour l'élevage des mouches soldat noir avec l'intégration de système embarqué

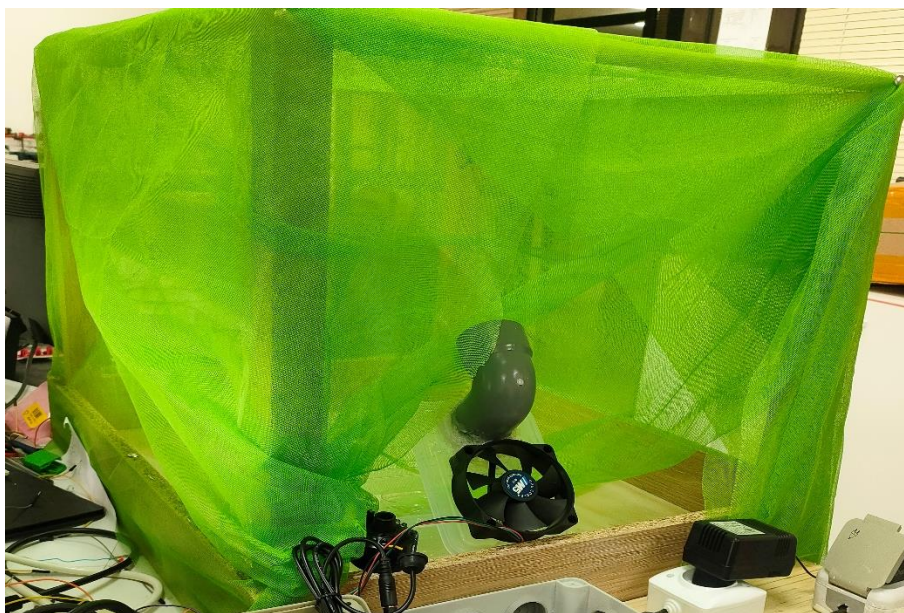


Figure 49 Prototype d'élevage ÉlectroLarve

Nous avons choisi de conserver les pratiques traditionnelles d'alimentation des mouches soldat noir (LMSN). Cela implique l'utilisation continue d'une alimentation à base de déchets alimentaires, comme nous le faisons auparavant.



Figure 50 Alimentation des LMSN

La fusion de l'expertise traditionnelle du LPAA avec les innovations technologiques modernes vise à créer un environnement d'élevage de pointe. Cette approche harmonieuse maintient les pratiques éprouvées inspirées du modèle initial tout en intégrant des solutions technologiques avancées. L'objectif ultime est d'assurer le bien-être et la prospérité des mouches soldat noir (MSN) tout en optimisant l'efficacité de notre processus d'élevage.

Chapitre 6

Résultats et Discussion

6.1 Prototype ÉlectroLarve

La phase finale de notre projet consiste à intégrer le circuit imprimé en remplacement des breadboards, ce qui permet de minimiser les câbles et de rendre le système plus compact.

De plus, nous avons conçu une boîte d'arrangement fermée qui offre une meilleure organisation, une plus grande praticité et une protection accrue pour l'ensemble du système. Cette configuration améliorée garantit non seulement un fonctionnement optimal, mais aussi une durabilité et une esthétique soignée pour notre projet de fin d'études.



Figure 51 Montage réel de capteur avec circuit imprimé ÉlectroLarve



Figure 52 Montage Final de système ÉlectroLarve

6.2 Résultat

Une fois que le programme a été implanté avec succès dans la carte Raspberry Pi 4 et soumis à des tests, les résultats obtenus sur une période de 10 secondes se présentent comme suit :

```
menu: home
home
home
Temp: 84.9 F / 29.4 C      Humidity: 67.8%
Temperature: 29.4
Hundity: 67.8
16:20
menu: home
home
home
Temp: 84.9 F / 29.4 C      Humidity: 68.0%
Temperature: 29.4
Hundity: 68.0
16:20
menu: home
home
home
Temp: 84.9 F / 29.4 C      Humidity: 68.0%
Temperature: 29.4
Hundity: 68.0
16:20
```

Figure 53 Résultat de simulation durant le teste de programme de surveillance

Nous avons réussi à afficher les mesures de l'humidité et de la température de l'environnement de vie de LMSN.

De plus, nous avons également intégré la fonctionnalité d'activation de l'humidificateur et de la résistance en cas de froid. Cela est essentiel pour maintenir des conditions optimales pour l'élevage des larves de mouche soldat noir.

Notre système ÉlectroLarve présente deux méthodes de contrôle distinctes. La première offre à l'utilisateur un contrôle manuel de la serre via un ordinateur, en lui permettant d'accéder aux services de contrôle automatique tels que l'humidité, la température et la ventilation. Cette approche garantit une gestion précise et personnalisée de l'environnement de l'élevage des larves.

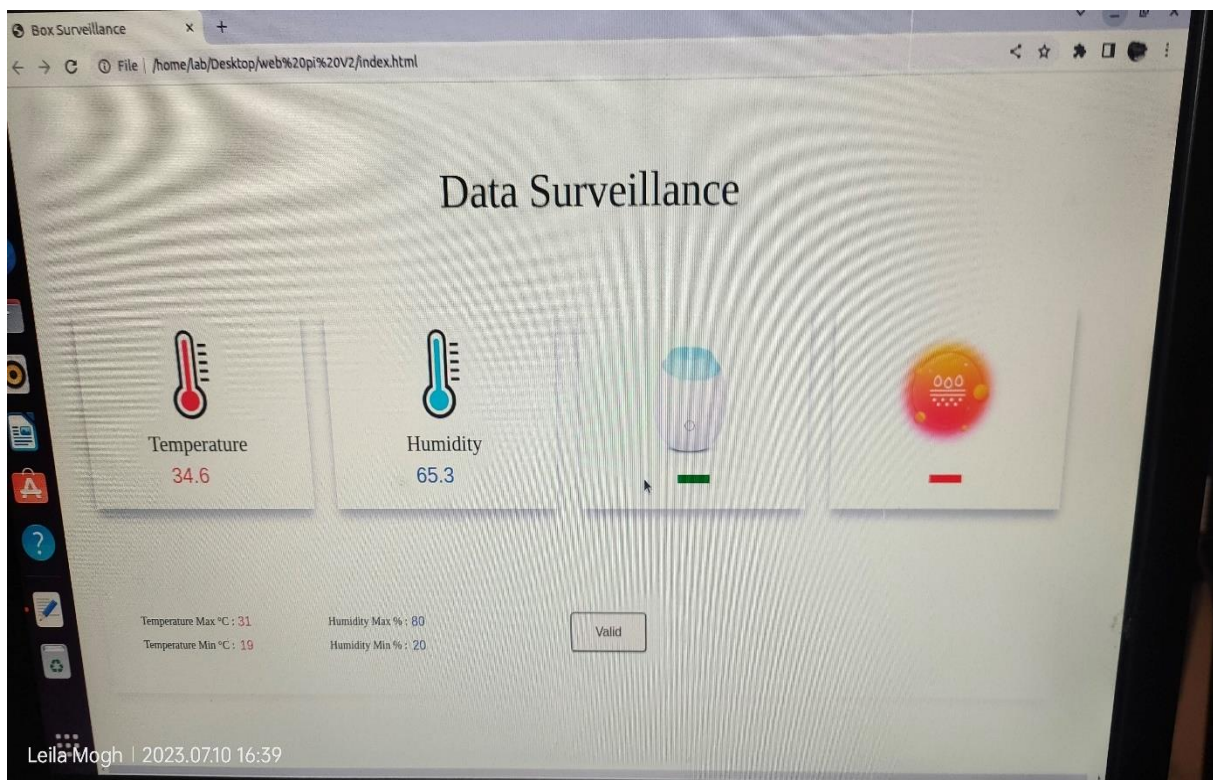


Figure 54 Surveillance de température et humidité à l'aide d'Interface web

La deuxième option de contrôle, utilisant un joystick, offre une alternative conviviale pour interagir avec le système. Les utilisateurs peuvent manipuler l'affichage sur l'écran LCD et accéder facilement aux différentes fonctionnalités du système. Cette option permet une utilisation simplifiée et une expérience utilisateur améliorée.



Figure 55 Surveillance de température et humidité à l'aide LCD

En combinant ces deux méthodes de contrôle, notre système offre une polyvalence et une adaptabilité accrues pour répondre aux besoins diversifiés des éleveurs de larves. Que ce soit pour un contrôle minutieux ou une utilisation conviviale, ÉlectroLarve offre des solutions complètes pour l'élevage réussi de larves.

Conclusion générale

Dans le cadre de notre projet, nous avons conçu un prototype automatisé à la pointe de la technologie, destinée à l'élevage des Mouches Soldat Noires.

Cette avancée technologique permet à l'agriculteur de surveiller et de réguler des paramètres cruciaux, tels que la température et l'humidité, en utilisant simplement un capteur de température et d'humidité.

Pendant la phase de préparation de notre projet de fin d'études, nous nous sommes efforcés d'appliquer les compétences que nous avons acquises au cours de nos deux années d'études universitaires. Notre objectif était de développer un modèle d'élevage intelligent visant à simplifier la surveillance et le suivi des larves.

Nous avons pris un grand plaisir à nous investir dans ce domaine de recherche, car il incarne l'avenir du secteur économique en Algérie. En outre, il représente un moyen d'économiser du temps dans la recherche menée au sein de Laboratoire de Physiologie Animale Appliquée, ainsi que dans le domaine de l'élevage.

Notre projet était étroitement lié à divers autres domaines tels que l'automatique, l'électronique appliquée et l'informatique, ce qui nous a offert l'opportunité d'acquérir une riche base de connaissances tout au long de sa réalisation.

Bibliographie

- Agriexpo.(2023).** agriexpo. Consulté le 06 06, 2023, sur agriexpo:
<https://www.agriexpo.online/fr/prod/retificio-padano-srl/product-175674-124947.html>
- Agriprotein. (2023, 06 01).** Récupéré sur agriprotein: <https://agriprotein.de/en/about-us/>
- AISP. (2021).** Définition de l'agriculture de précision. Société internationale pour l'agriculture de précision.
- Allain, & Marie, Y. (2017, 07 09).** Le Jardin d'hiver des Champs Elysées. Récupéré sur paristeampunk:
<http://paristeampunk.canalblog.com/archives/2017/07/09/35462537.html>
- Almeida, C. R. (2020).** Bioactive Compounds from *Hermetia Illucens* Larvae as Natural Ingredients for Cosmetic Application. *Biomolecules*.
- Arnold.FOA. (2023).** Edible insects, Future prospects for food and feed security. Rome.
- Benjamin, B. (2015).** Système de gestion de flux pour l'Internet des objets intelligents. Dans B.Benjamin. Université de Versailles-Saint Quentin en Yvelines.
- Bensig, E. F. (2014).** Évaluation de la qualité de l'eau des rivières Buhisan, Bulacao et Lahug, Cebu, Philippines en utilisant les coliformes fécaux et totaux comme indicateurs. *Environnement mondial actuel*, 570-576.
- BESSAOUD, O. (2019).** Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie. Algerie: PROJET D'APPUI A L'INITIATIVE ENPARD MEDITERRANEE.
- Bessaoud, O. (2022, 3 26).** La sécurité à la souveraineté alimentaire. Récupéré sur capc:
www.capc.com
- Bolton, R. (2015, 11 25).** Halswell's Lost Orangery. Récupéré sur HALSWELL PARK:
<https://halswellpark.wordpress.com/2015/11/25/halswells-lost-orangery/>
- C.Zabeltitz. (2011).** Integrated greenhouse systems for mild climates : climate conditions, design, construction, maintenance, climate control. New York.
- caldor. (2023).** HORTICULTURE. Consulté le 6 28, 2023, sur caldor:
<https://caldor.fr/cultures/horticulture/>
- Chassouant, C. (2020, 01 28).** Culture de la tomate sous serres modernes. Consulté le 06 06, 2023, sur horti-generation: <https://horti-generation.com/fr/culture-de-la-tomate-sous-serres-modernes/>

- Cheng, C. Y. (2017).** Effects of moisture content of food waste on residue, separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *Waste Management*, 67, 315-323.
- Ciel, F. G. (2016).** Évaluation des charges de nutriments et de sédiments dans les rivières Buhisan, Bulacao et Lahug, Cebu, Philippines. *Journal international de l'énergie durable et de la recherche environnementale*, 8-13.
- Diclaro, K. W. (2009).** Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae). 461, 1-4.
- Diener, S. G. (2008).** Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 357–363.
- Enviroflight. (2023, 06 01).** Récupéré sur enviroflight, A draling ingrediente brand: <https://www.enviroflight.net/about>
- Enviroflight. (2023).** Enviroflight. Consulté le 06 29, 2023, sur Enviroflight : a Darling Ingredients Barand: <https://www.enviroflight.net/>
- FOA. (2020, décembre 12).** Les insectes pour l'alimentation humaine et animale. Consulté le 04 02, 2023, sur FOA.org: <https://www.fao.org/edible-insects/fr/>
- Fonseca, B. D. (2018).** Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*.
- Gold, T. D. (2018).** Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment. *Waste Management*, 82, 302–318.
- GUILLET, J. (2022).** Génétique, génomique et histoire évolutive d'*Hermetia illucens*. Paris.
- Hall, G. D. (2002).** Flies (Diptera). In *Medical and veterinary entomology*. Academic Press, 127-145.
- Hammi, M. T. (2018).** Thèse de doctorat en Réseaux et sécurité informatique. Paris: Université Paris-Saclay (ComUE), École doctorale Sciences et technologies de l'information et de la communication .
- Hodgson, L. (2012, 1 7).** L'histoire des serres: des Romains à aujourd'hui. Le Soleil. Consulté le 7 02, 2023, sur <https://www.lesoleil.com/2012/01/07/lhistoire-des-serres-des-romains-a-aujourd'hui-81ffb6ae10e8f8ffbd6a5325b807e6d9/#:~:text=Les%20v%C3%A9ritables%20serres%20naissent,de%20type%20moderne%2C%20enti%C3%A8rement%20vitr%C3%A9es>

- Hortitec. (2023, 6 02).** La culture sous serre : définition et avantages. Récupéré sur hortitecnews: <http://www.hortitecnews.com/la-culture-sous-serre-definition-et-avantages/>
- Huis, A., J.Itterbeeck, H.Klunder, E.Mertens, A.Halloran, G.Muir, & P.Vantomme. (2013).** Edible insects : future prospects for food and feed security. Italie: FAO Forestry Paper 171.
- Idagro. (2023).** Bâtiment Multi-Dôme pour l'élevage de bovins. Consulté le 06 06, 2023, sur <https://www.idagro.fr/produits/b%C3%A2timent-multi-d%C3%B4me/l%C3%A9levage-bovins>
- Infomaison. (2023, 06 23).** Do-it-yourself :construire une serre. Consulté le 06 28, 2023, sur hausinfo:<https://hausinfo.ch/fr/jardin-balcon/verdir-balcon-jardin/legumes-fruits/construire-serre.html>
- Kaczor, M. B.-P.-B. (2022).** The Variety of Applications of *Hermetia illucens* in Industrial and Agricultural Areas. suisse: Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Doświadczalna. Retrieved 04 29, 2023
- Kaya, C. T. (2021).** Structure génétique de la population mondiale et trajectoires démographiques de la mouche soldat noire, *Hermetia Illucens*. BMC Biol.
- Kone, M. (2020).** Étude de la composition des matières organiques végétales résiduelles sur les performances de croissance, les bilans de bioconversion et la qualité nutritionnelle des larves de mouches soldats noires. Québec, Canada: université de LAVAL, CANADA. Récupéré sur chrome-extension://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/<https://corpus.ulaval.ca/server/api/core/bitstreams/da9ef536-1a4d-4697-a3ae-7fcfd87783c9/content>
- Latelier des serres. (2023).** Serre de culture classique grande surface - Structure aluminium. Consulté le 06 06, 2023, sur latelier-des-serres: <https://www.latelier-des-serres.com/nos-produits/serres-classiques-serres-de-culture/euro-super-alu-3/>
- Linnaeus. (1758).** Systema Naturae: la nomenclature binominale utilisée pour nommer les espèces animales et végétales (Vol. 10ème). suisse.
- Lokela, M. J. (2015).** Ecologie appliquée de *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius(Dryophthoridae : Coleoptera) : phénologie et optimisation des conditions d'élevage à Kisangani, R.D.Congo. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain.
- Luma. (2023).** Luma création. Consulté le 06 06, 2023, sur Plaque de sélénite: <https://www.luma-creation.be/plaque-de-selenite-15x35-cm.html>

- MADR. (2021).** Statistique Agricole, superficie et productions, Serie "B" 2019. (D. d. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Éd.) Consulté le 05 25, 2023, sur [madr.gov: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://madr.gov.dz/wp-content/uploads/2022/04/SERIE-B-2019.pdf](https://madr.gov.chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://madr.gov.dz/wp-content/uploads/2022/04/SERIE-B-2019.pdf)
- Mathieu, Q. (2023).** Des insectes pour sauver l'agriculture et l'alimentation mondiales (éd. Sébastien Abis éd, Vol. Agriculture et alimentation : la durabilité à l'épreuve des faits). la durabilité à l'épreuve des faits. IRIS éditions.
- Maxicours. (2023, 06 28).** Le bilan radiatif terrestre. France. Récupéré sur <https://www.maxicours.com/se/cours/le-bilan-radiatif-terrestre/>
- MEER. (2022).** Changements Climatiques. (M. d. Renouvelables, Éd.) Consulté le 05 25, 2023, sur <https://www.me.gov.dz/fr/changements-climatiques/>
- Michelin, C. (2018, 02 24).** La Ferme Digitale toujours connectée aux agriculteurs.
- Mottram, T. (2016).** precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. Animal board invited review, 1575-1584. Récupéré sur <https://productions-animales.org/article/view/4585>
- MTECT, & MTE. (2018, 09 14).** Changement climatique : causes, effets et enjeux. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires et, Ministère de la Transition énergétique, France. Consulté le 05 27, 2023, sur <https://www.ecologie.gouv.fr/changement-climatique-causes-effets-et-enjeux>
- Mullen, D. (2009).** Medical and veterinary entomology. Academic press, 625.
- Myers, T. L. (2014).** Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. Environmental entomology, 37.
- ONS. (2023, 06 02).** Démographie. Récupéré sur Office National des Statistiques: <https://www.ons.dz/>
- P.Piché. (2021).** Amélioration du comportement thermique d'une serre nordique communautaire. Moréal: inversité de pau et des pays de l'adour.
- Park, H. (2016).** Black Soldier Fly Larvae Manual. Récupéré sur Student Showcase 14: http://scholarworks.umass.edu/sustainableumass_studentshowcase/14/?utm_source=scholarworks.umass.edu%2Fsustainableumass_studentshowcase%2F14&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Parlement.européen. (2023, 03 23).** Changement climatique: Les gaz à effet de serre à l'origine du réchauffement climatique. Consulté le 05 26, 2023, sur <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20230316STO77629/les-gaz-a-effet-de-serre-a-l-origine-du-rechauffement-climatique>

- PNC. (2018).** Récupéré sur <https://www.me.gov.dz/telechargement/plan-national-climat/>
- Purkayastha, D. S. (2021).** Sustainable waste management using black soldier fly larva. International Journal of Environmental Science and Technology.
- Rindhe, S. M. (2019).** Black Soldier Fly: A New Vista for Waste Management and Animal Feed. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 1329-1342.
- Serres scael. (2023).** serre-prix-economique. Consulté le 06 06, 2023, sur serres.scael: <https://serres.scael.fr/serre-prix-economique/289-serre-en-verre-trempe-3mm-lams-aloe-vert-largeur-255m.html>
- Shutterstock. (2023).** Serres de jardin : modèles, utilisation, installation, réglementation. Consulté le 06 06, 2023, sur <https://www.neozone.org/ecologie-planete/serres-de-jardin-modeles-utilisation-installation-reglementation-dossier/>
- Si-Mohammed, S. G. (2023).** COSIMIA : Combiner Simulation et Apprentissage Automatique pour Optimiser la Configuration des Réseaux IoT. <https://hal.science/hal-04086106/>.
- sodiser. (2023).** PROFESSIONNELS / SERRES / TUNNEL / SERRE TUNNEL 6.40 ML PIED DROIT. Récupéré sur sodiser: <https://www.sodiser.com/professionnels/serres/tunnel/80-serre-tunnel-6-40-ml-pied-droit/>
- Sodiser. (2023).** sodiser/professionnels/serres/tunnel. Consulté le 06 06, 2023, sur sodiser: <https://www.sodiser.com/professionnels/serres/tunnel/80-serre-tunnel-6-40-ml-pied-droit/>
- Spielmaker, D. D. (2018).** Growing a Nation Historical Timeline. Consulté le 06 11, 2023, sur growinganation: https://growinganation.org/content/show-content/information_age/
- Stamer, A. (2015).** Insect proteins: a new source for animal feed. suisse.
- Tanga, C. F. (2017).** A field guide to commercially produce low-cost, high-quality novel protein source to supplement feeds for poultry, pig and fish industries and the valorization of organic by-products. Kenya: ICIPE.
- Tekinerdogan, . (2018).** Stratégies d'innovation technologique dans l'agriculture 4.0. Pays-Bas: Université de Wageningen.
- Tomberlin, J. A. (2009).** Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. Environmental entomology, 38(3), 930–934.
- Unido. (2019).** Agriprotein. Consulté le 06 29, 2023, sur unido: <https://www.unido.it/award2019/agri-protein-2/>
- Unsplash. (2022, 29 09).** unsplash. Consulté le 06 06, 2023, sur unsplash: <https://unsplash.com/fr/photos/To1jY3KNtYo>

Veldkamp, T., Duinkerken, G. v., Huis, A. v., Lakemond, C., Ottevanger, E., Bosch, G., & Boekel, T. v. (2012). Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets. A feasibility study. Wageningen UR Livestock Research.

Wifaya, A. M. (2020). Problématique de gestion du climat en serres horticoles au Maroc. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaire, 8(01).

worldbank. (2023, 06 05). Récupéré sur

<https://www.worldbank.org/en/search?q=Alg%C3%A9rie>

Yanmar. (2022). yanmar. Consulté le 07 13, 2023, sur Solution03/ Technique de culture:

https://www.yanmar.com/fr/about/technology/vision3/smart_greenhouse/



Contact : leilamoghtet@gmail.com

(+213) 779 026 078

(+213) 697392 867