

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique



Université de Blida-1
Faculté de Technologie



Département Des Énergies Renouvelables

MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Energies Renouvelables

Option : Conversion Photovoltaïque

Thème

**Réalisation & conception d'un système
photovoltaïque destiné à une serre hydroponique
Cas d'étude Ghardaïa**

Présenté par :

- AOUISSI Mohammed Abdelkabir

- Chabbi Ali

Soutenu le 30 / 06 / 2024 devant le jury composé de :

Dr. GUEBLI Wassila	MCB	USDB1	Présidente
Mr. DOUMAZ Toufik	MAA	USDB1	Examineur
Dr. BEZARI Salah	MRA	URAER - CDER	Encadreur

Année Universitaire : 2023/2024

الملخص :

في هذه الرسالة، قمنا بتطوير دفيئة زراعية تعتمد على نظام الزراعة المائية (الهيدروبونيك) والتي تعمل بواسطة نظام طاقة شمسية معزول ومزود ببطاريات. ولإثبات جدوى وكفاءة هذا النهج، قمنا أيضًا بتصميم نموذج مصغر لدفيئة تعمل بالطاقة الشمسية. تم التحكم في هذا النموذج الأولي باستخدام متحكم دقيق من نوع أردوينو نانو ، مما أتاح لنا إنشاء دفيئة ذكية قادرة على مراقبة وتنظيم ظروف نمو النباتات بشكل تلقائي. سمح دمج أردوينو نانو بإدارة مختلف المعلمات البيئية مثل درجة الحرارة، والرطوبة، والإضاءة، مما أدى إلى تحسين ظروف الزراعة وضمان الاستخدام الفعال للطاقة التي توفرها الألواح الشمسية. يوضح هذا المشروع كيف يمكن دمج تكنولوجيا الطاقة الشمسية والأنظمة الأوتوماتيكية لتطوير حلول زراعية مستدامة ومبتكرة.

الكلمات المفتاحية :

دفيئة زراعية (الهيدروبونيك) ، نظام طاقة شمسية ، متحكم دقيق من نوع أردوينو نانو ، نموذج مصغر

Abstract:

In this thesis, we carried out the development of a hydroponic agricultural greenhouse powered by an isolated photovoltaic system with batteries. To demonstrate the feasibility and efficiency of this approach, we also designed a prototype greenhouse, which is also powered by photovoltaic energy. This prototype was controlled using an Arduino Nano microcontroller, enabling us to create an intelligent greenhouse capable of automatically monitoring and regulating plant growth conditions. The integration of the Arduino Nano allowed for the management of various environmental parameters such as temperature, humidity, and lighting, thereby optimizing cultivation conditions while ensuring the efficient use of energy supplied by the solar panels. This project demonstrates how photovoltaic technology and automation can be combined to develop sustainable and innovative agricultural solutions.

Keywords: Photovoltaic system, Hydroponic agricultural greenhouse, Arduino Nano microcontroller, Prototype greenhouse

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons réalisé une serre agricole hydroponique alimentée par un système photovoltaïque isolé avec batteries. Pour démontrer la faisabilité et l'efficacité de cette approche, nous avons également conçu un prototype de serre, également alimenté par l'énergie photovoltaïque. Ce prototype a été contrôlé à l'aide d'un microcontrôleur Arduino Nano, ce qui nous a permis de créer une serre intelligente capable de surveiller et de réguler automatiquement les conditions de croissance des plantes. L'intégration de l'Arduino Nano a permis de gérer divers paramètres environnementaux tels que la température, l'humidité et l'éclairage, optimisant ainsi les conditions de culture tout en assurant une utilisation efficace de l'énergie fournie par les panneaux solaires. Ce projet démontre comment la technologie photovoltaïque et l'automatisation peuvent être combinées pour développer des solutions agricoles durables et innovantes.

Mots clé : Système photovoltaïque, Serre agricole hydroponique, Arduino nano, Prototype serre, Serre intelligente.

Dédicace

À nos très chères mères, la lumière des nuits et notre chemin vers le paradis.

À nos très chers pères, symbole de sagesse, et la cause de notre existence dans cette vie,

Que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières, que dieu vous préserve santé et longue vie.

Nous tenons aussi à dédier ce Modeste travail à

*Nos chers frères et sœurs Toutes nos familles, petites et grandes,
Tous nos amis et à la page technique d'Innovation World School,
nous exprimons notre profonde gratitude pour le suivi et
l'orientation directe. Nos remerciements vont également à son
superviseur, notre frère et ami Oualid Amour, connu sous le nom
de Zarrouk Oualid.*

En fin à vous qui prenez la peine de lire ce mémoire.

Remerciement

Je souhaite adresser mes vifs et sincères remerciements à mon encadreur, le Dr. BEZARI Salah, Maître de recherche à l'URAER. Vous nous avez guidés avec diligence dans cette recherche, en consacrant généreusement votre temps et en partageant avec enthousiasme vos connaissances.

À l'ensemble des membres du jury

Dr. T DOUMAZ & Dr. W GUEBLI

je vous remercie sincèrement d'avoir accepté d'évaluer ce modeste travail

Je vous témoigne ma profonde et respectueuse gratitude Le mérite revient aussi à l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables pour leur accueil et pour nous avoir permis de réaliser notre stage au niveau de l'URAER.

Table des matières

Sommaire.....	1
Liste des figures.....	3
Liste des tableaux.....	5
Introduction Générale.....	11
CHAPITRE 1. Aperçu sur le système PV & le conditionnement des serres	
1.1. Introduction.....	14
1.2. Aperçu sur les énergies renouvelables	14
1.3 Classifications des technologies de l'énergie solaire.....	17
1.4 Énergie solaire photovoltaïque.....	18
1.5 Système photovoltaïque.....	19
1.5.1 Système autonome.....	19
1.5.2 Systèmes connectés au réseau.....	20
1.5.3 Systèmes hybrides.....	20
1.6 Applications des énergies renouvelables dans l'agriculture.....	21
1.7 Technologie de système serre.....	23
1.7.1 Intérêt de la serre agricole.....	23
1.7.2 Conception et forme des serres.....	23
1.7.3 Caractéristiques d'une serre.....	25
1.8 Système serres intelligentes.....	27
1.8.1 Besoin d'automatisation dans les serres.....	27
1.8.2 Automatisation avancée des serres.....	28
1.9 État de l'Art.....	30
1.10 Conclusion.....	33
CHAPITRE 2. Système PV : Installation pratique et réalisation technique	
2.1 Introduction.....	35
2.2 Dimensionnement de système solaire photovoltaïque.....	35
2.2.1 Description du local.....	36
2.2.2 Relevé des données météorologiques.....	36
2.2.3 Bilan énergétique.....	36
2.2.4 Application Logiciel Pvsys.....	39

2.3	Description de la région d'étude.....	42
2.4	Mesures radiométriques et météorologiques.....	43
2.5	Description du Dispositif expérimental.....	46
2.5.1	Système solaire Serre/PV à l'échelle réel.....	46
2.5.1.1	Concept et montage de système PV.....	48
2.5.2	Système serre intelligente à l'échelle prototype.....	51
2.5.2.1	Conception et montage de system serre.....	51
2.6	Conclusion.....	53

CHAPITRE 3. Gestion d'une serre à base d'arduino

3.1	Introduction.....	55
3.2	Présentation l'Arduino.....	55
3.2.1	Définition de l'Arduino.....	55
3.2.2	Les type de carte Arduino.....	56
3.2.3	Types du module Arduino.....	58
3.3	Application de carte arduino en contrôle microclimatique dans la serre.....	60
3.3.1	Matériels utilisé pour la réalisation de la carte Arduino.....	60
3.4	Logiciel utilise.....	69
3.4.1	Applicationsur logiciel.....	70
3.4.2	Schéma Synoptique.....	74
3.5	Travaux en perspectifs.....	75
3.6	Conclusion.....	77
	Conclusion Générale	77
	Référence.....	79
	Annexe.....	83

Table des figures

Figure 1.1 :	Source d'énergies renouvelables	15
Figure 1.2 :	Analyse de l'utilisation des ER dans la consommation d'énergie finale	15
Figure 1.3 :	Cartes mondiales de l'énergie solaire	16
Figure 1.4 :	Classification des technologies actuelles de l'énergie solaire	17
Figure 1.5 :	Schéma d'un système PV avec stockage	19
Figure 1.6 :	Système PV raccordée au réseau	20
Figure 1.7 :	Système PV hybride	21
Figure 1.8 :	Applications des énergies renouvelables dans l'agriculture	22
Figure 1.9 :	Les différents types des serres selon la forme et la structure	25
Figure 1.10 :	Éléments Principaux d'un Système de Serre Intelligente	28
Figure 1.11 :	Fréquence d'utilisation des capteurs IoT dans la culture en serre	29
Figure 1.12 :	Tendance de recherche sur les technologies des serres intelligentes	31
Figure 2.1 :	Serre expérimentale au site de Ghardaïa	38
Figure 2.2 :	Consommation journalière de la charge	42
Figure 2.3 :	Désignation du projet	42
Figure 2.4 :	Carte annuelle moyenne d'irradiation solaire global de l'Algérie	45
Figure 2.5 :	Stations de mesure à l'URAER-Ghardaïa	46
Figure 2.6 :	Variation de l'irradiation solaire pendant l'année	46
Figure 2.7 :	Variation de la température pendant l'année	47
Figure 2.8 :	Variation de l'humidité relative pendant l'année	47
Figure 2.9 :	Variation de température et la précipitation durant l'année	47
Figure 2.10 :	Distance requise pour éviter tout type d'obstacle	49
Figure 2.11 :	Montage de la structure porteuse	51
Figure 2.12 :	Installation des Panneaux Solaires	52
Figure 2.13 :	Onduleur utilisé	53
Figure 2.14 :	Batterie utilisé	53
Figure 2.15 :	Etape de conception et réalisation de Prototype de la serre intelligent	54
Figure 3.1 :	Carte d'Arduino	60
Figure 3.2 :	Module Bluetooth pour Arduino	61
Figure 3.3 :	Module wifi pour Arduino	61
Figure 3.4 :	Module XBee Arduino	62
Figure 3.5 :	Module Arduino Wifi ESP8266	62
Figure 3.6 :	Capteur LDR	64
Figure 3.7 :	Circuit équivalent du capteur LDR utilisé	65

Figure 3.8 :	Capteur de température et d'humidité DHT11	66
Figure 3.9 :	Capteur de pluie	67
Figure 3.10 :	mini câble USB	68
Figure 3.11 :	Afficheur LCD	68
Figure 3.12 :	Batterie	69
Figure 3.13 :	Relai	69
Figure 3.14 :	Pompe à eau.	70
Figure 3.15	LED	71
Figure 3.16	Lecteur carte SD	71
Figure 3.17	Montage porte carte SD avec Nano	72
Figure 3.18	Logiciel Arduino	72
Figure 3.19	Nouvelle fenêtre Arduino	73
Figure 3.20	Fenêtre de code de programmation	75
Figure 3.21	Validation et transformation de programme	76
Figure 3.22	Schéma Synoptique	77
Figure 3.23	Module RTC DS 1302	79
Figure 3.24	Module RTC DS 1302 avec l'Arduino nano	80

Liste des tableaux

Tableau 1.1 :	Les propriétés des principales familles de cellules solaires	18
Tableau 2.1 :	Les caractéristiques du système	39
Tableau 2.2 :	Le bilan énergétique de la serre (Besoin de système serre)	39
Tableau 2.3 :	Potentiel solaire en Algérie	41
Tableau 2.4 :	Irradiations solaires mesurées (réelles) et calculées	48
Tableau 2.5 :	Angle d'inclinaison optimale mensuelle	50
Tableau 2.6 :	Angle d'inclinaison optimale saisonnier	50
Tableau 2.7 :	Caractéristiques et performances techniques de l'onduleur solaire	52

Introduction Générale

Les systèmes photovoltaïques jouent un rôle crucial dans la transition vers des sources d'énergie renouvelables et durables. Leur capacité à convertir directement l'énergie solaire en électricité en fait une solution idéale pour diverses applications, y compris l'agriculture avancée. Dans le secteur agricole, les systèmes PV offrent une multitude d'avantages : ils permettent une alimentation électrique fiable et autonome, réduisent les coûts énergétiques et minimisent l'empreinte carbone. En intégrant les technologies photovoltaïques, les exploitations agricoles peuvent alimenter des systèmes d'irrigation, des serres hydroponiques, des dispositifs de surveillance environnementale et d'autres équipements essentiels, tout en contribuant à la durabilité et à la résilience des pratiques agricoles. Cette synergie entre l'énergie solaire et l'agriculture avancée ouvre la voie à une agriculture plus efficace, écologique et innovante, répondant aux défis actuels de sécurité alimentaire et de gestion des ressources naturelles.

La gestion du microclimat des serres est une pratique essentielle pour assurer des conditions de culture optimales, maximiser les rendements et garantir la santé des plantes. Les facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité, la luminosité et la ventilation doivent être rigoureusement contrôlés et ajustés en temps réel pour créer un environnement idéal. L'avènement des technologies accessibles et faciles à utiliser, comme les cartes Arduino, a révolutionné cette gestion. Les systèmes de contrôle basés sur Arduino permettent l'automatisation de la surveillance et de la régulation du microclimat des serres, offrant une précision et une efficacité accrues.

L'objectif des travaux présentés est de démontrer comment l'intégration des énergies renouvelables et des technologies intelligentes peut améliorer la durabilité et l'efficacité des pratiques agricoles. Ces innovations visent non seulement à réduire les coûts énergétiques et l'empreinte carbone, mais aussi à optimiser les rendements agricoles grâce à une gestion précise et automatisée des serres.

Cette thèse se compose de trois chapitres et d'une annexe, dont la conception reflète l'approche utilisée et les étapes de développement.

Dans le premier chapitre, nous présenterons un aperçu des systèmes solaires photovoltaïques et de leur application dans l'agriculture, ainsi que la gestion intelligente du microclimat des serres agricoles. Nous enrichirons et approfondirons les connaissances actuelles par une recherche bibliographique.

Le second chapitre sera consacré au dimensionnement et à la mise en place technique des systèmes solaires photovoltaïques, ainsi qu'à la réalisation pratique d'un prototype de serre. L'objectif est d'assurer une adaptation adéquate et un dimensionnement approprié.

Le dernier chapitre décrit de manière détaillée la méthodologie adoptée et mise en œuvre d'une carte Arduino et de créer un système de contrôle microclimatique automatisé pour notre

Introduction Générale

serre. Ce système permet de surveiller et de réguler les conditions environnementales, optimisant ainsi la croissance des plantes et les rendements agricoles.

Nous concluons ce modeste travail par une conclusion générale résumant notre étude. De plus, une annexe présentera en détail le dimensionnement des systèmes photovoltaïques réalisé à l'aide du logiciel PVsyst.

CHAPITRE 1.

Aperçu sur le système PV & le conditionnement des serres

1.1. Introduction

L'importance des ressources énergétiques renouvelables dans les activités agricoles ne peut être surestimée. L'utilisation de combustibles fossiles comme source d'énergie entraîne des émissions de gaz à effet de serre, ce qui accélère le changement climatique [1]. Ces dommages environnementaux peuvent être atténués en promouvant les ressources énergétiques renouvelables telles que la petite hydraulique, l'éolien, le solaire, la biomasse et la géothermie. Les sources d'énergie renouvelables offrent un potentiel immense pour le secteur agricole [2]. L'intégration des systèmes intelligents et l'utilisation de l'énergie photovoltaïque dans l'agriculture durable visent à produire des aliments de manière écologiquement responsable, en préservant les ressources naturelles et en assurant la viabilité économique des exploitations agricoles pour les générations futures.

Dans ce premier chapitre, une vue d'ensemble des énergies renouvelables a été présentée, en mettant particulièrement l'accent sur l'énergie solaire photovoltaïque et la classification des technologies associées. Nous examinerons également divers types de serres agricoles, ainsi que les équipements et outils permettant de contrôler et de gérer les paramètres climatiques, en maintenant ces paramètres proches des consignes tout en se détachant des conditions climatiques externes. Enfin, nous explorerons l'état de l'art des travaux basés sur les différentes technologies des systèmes de serres intelligentes

1.2. Aperçu sur les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables jouent un rôle crucial à l'échelle internationale dans la lutte contre le changement climatique et la promotion d'un développement durable. Elles englobent une variété de sources d'énergie, telles que l'énergie solaire, éolienne, hydroélectrique, géothermique et biomasse, qui sont inépuisables et respectueuses de l'environnement (figure 1.1). De nombreux pays investissent massivement dans ces technologies pour réduire leur dépendance aux combustibles fossiles, diminuer les émissions de gaz à effet de serre et créer des opportunités économiques locales. Les initiatives internationales, comme l'Accord de Paris, visent à coordonner les efforts mondiaux pour augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique global. Cette transition énergétique mondiale est soutenue par des avancées technologiques, des politiques incitatives et une prise de conscience croissante de l'importance de préserver notre planète pour les générations futures.



Figure 1.1 : Source d'énergies renouvelables

La figure 1.2 propose une analyse complète de la manière dont les énergies renouvelables devraient être utilisées dans la consommation d'énergie finale d'ici 2050, selon la perspective REM (Renewable Energy Map) [3]. Ces prévisions dressent le portrait d'un avenir dans lequel le mix énergétique sera principalement alimenté par des énergies renouvelables, dans le but d'atténuer le changement climatique et de s'orienter vers des pratiques énergétiques durables.

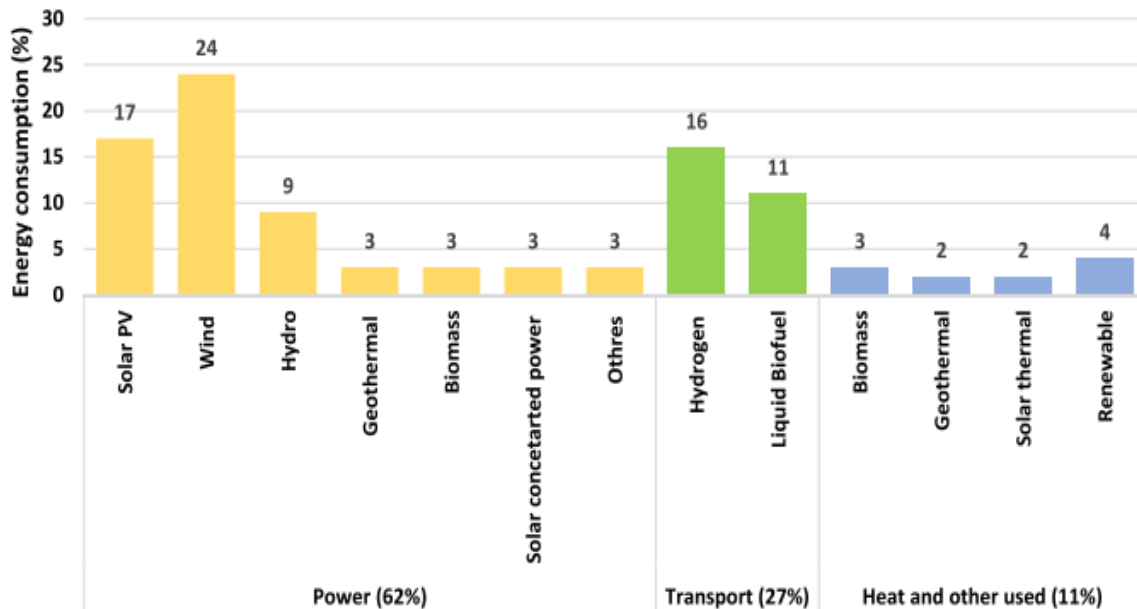


Figure 1.2 : Analyse de l'utilisation des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale [3]

L'énergie solaire varie en raison du mouvement relatif du soleil. Ces variations dépendent de l'heure de la journée et de la saison. En général, le rayonnement solaire est

plus présent à midi qu'en début de matinée ou en fin d'après-midi. À midi, le soleil est haut dans le ciel et la trajectoire de ses rayons à travers l'atmosphère terrestre est raccourcie. Par conséquent, moins de rayonnement solaire est diffusé ou absorbé et davantage de rayonnement solaire atteint la surface de la Terre.

Les quantités d'énergie solaire arrivant à la surface de la Terre varient au cours de l'année, d'une moyenne de moins de 0,8 kWh/m² par jour en hiver dans le nord de l'Europe à plus de 4 kWh/m² par jour en été dans cette région. . La différence diminue pour les régions plus proches de l'équateur.

La disponibilité de l'énergie solaire varie selon la situation géographique du site et est la plus élevée dans les régions les plus proches de l'équateur. Ainsi, le rayonnement global annuel moyen frappant une surface horizontale s'élève à env. 1 000 kWh/m² en Europe centrale, en Asie centrale et au Canada atteignent env. 1700 kWh/m² en Méditerranée et à env. 2 200 kWh/m² dans la plupart des régions équatoriales des zones désertiques africaines, orientales et australiennes (figure 1.3). De manière générale, les différences saisonnières et géographiques d'irradiation sont considérables et doivent être prises en compte pour toutes les applications de l'énergie solaire.

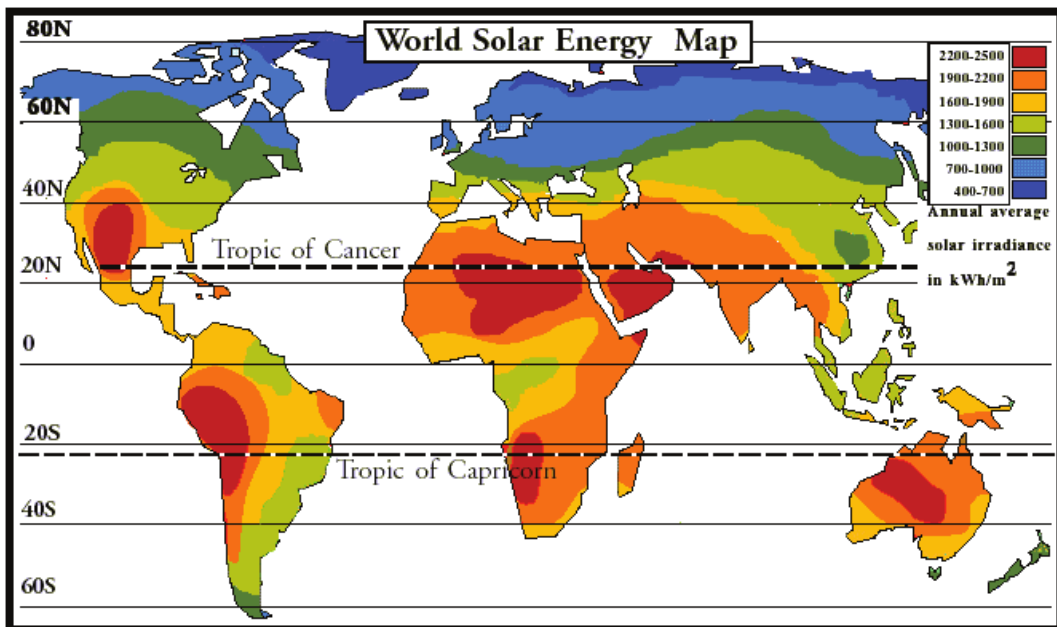


Figure 1.3 : Cartes mondiales de l'énergie solaire [4]

1.3 Classifications des technologies de l'énergie solaire

Les technologies de l'énergie solaire sont clairement classées en deux catégories dans la figure 4 : la technologie solaire passive et la technologie solaire active.

Pour la *technologie solaire passive*, l'énergie solaire est accumulée sans transformer l'énergie thermique ou lumineuse sous aucune autre forme, par exemple la collecte, le stockage et la distribution d'énergie solaire sous forme de chaleur pour le chauffage des maisons, en particulier pendant la saison hivernale.

Pour la **technologie solaire active**, le rayonnement solaire est collecté et appliqué à des dispositifs mécaniques et électriques pour la conversion de l'énergie solaire en chaleur et en production d'électricité. Généralement, la technologie de l'énergie solaire active peut être divisée en trois catégories : (i) les technologies photovoltaïques, (ii) les technologies solaires thermiques et (iii) l'énergie solaire concentrée (CSP). Pour les technologies photovoltaïques, les photons de la lumière solaire sont directement convertis en électricité par des matériaux semi-conducteurs comme le silicium et le sélénium. Pour les technologies solaires thermiques, elles sont généralement classées en deux aspects : Les technologies solaires thermiques concentrées (CST) sont appliquées aux industries qui répondent aux besoins de chauffage. Tandis que les technologies CSP sont utilisées pour produire de l'électricité en se combinant avec des miroirs à fort grossissement pour concentrer au préalable l'énergie solaire afin de la convertir en énergie thermique pour alimenter une turbine à vapeur [5].

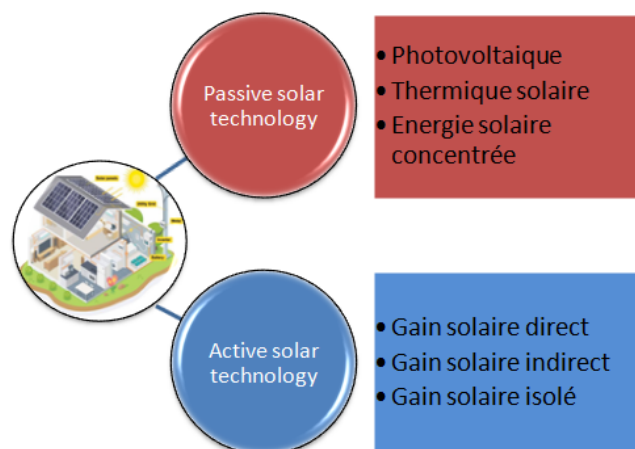


Figure 1.4 : Classification des technologies actuelles de l'énergie solaire

1.4 Énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable qui exploite la lumière du soleil pour produire de l'électricité. Cette technologie repose sur l'utilisation de cellules photovoltaïques, souvent fabriquées à partir de silicium, qui convertissent directement les photons de la lumière solaire en courant électrique grâce à l'effet photovoltaïque. Ce procédé permet de générer de l'énergie propre et durable, sans émissions de gaz à effet de serre. Les principales familles de cellules solaires ainsi que leurs propriétés sont présentées dans le tableau 1.1.

Cellule solaire monocristalline	Cellule solaire poly-cristalline	Cellule solaire amorphe
<ul style="list-style-type: none"> - Fabriquée par le monocristal de silicium par le procédé de Czochralski 	<ul style="list-style-type: none"> - Tout comme les cellules monocristallines, elles sont fabriquées à partir de silicium 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabriquée par un procédé de vaporisation sous vide, disponible sur des substrats tels que le verre, les films plastiques flexibles ou l'acier inoxydable
		
<ul style="list-style-type: none"> - Elaborée à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal (constituée de lingots de silicium) - Coût de fabrication élevé - Rendement : de 14 à 20%. Il est faible sous un faible éclairage - Durée de vie : importante ; 30 ans - Puissance : 100 à 150 Wc/m², 7 m²/kWc - Rendement faible sous un faible éclairage - Couleur : bleu foncé sobre et élégante, voir noire unie 	<ul style="list-style-type: none"> - La différence réside toutefois dans le processus de fabrication. Elle n'est pas constituée d'une structure cristalline unique et continue, mais elle est réalisée en fusionnant des cristaux minéraux coupés au cours de la production - Coût de fabrication : meilleur marché que les panneaux monocristallins - Rendement : 11 à 15 % - Durée de vie : importante ; 30 ans - Puissance : 100 Wc/m², 8 m²/kWc - Rendement faible sous un faible éclairage - Couleur : bleu, mais non-uniforme avec des motifs créés par les différents cristaux (mosaïque de cristaux de silicium) 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies - Rendement faible : 5 à 9 % - Durée de vie : moins importante ; 20 ans - Puissance: 50 Wc/m², 16 m²/kWc - Fonctionnement correct avec un éclairage faible. Elle a un coefficient d'absorption beaucoup plus élevé dans le spectre visible (380nm-740nm) que les cellules en silicium cristallin - Peu sensible aux températures élevées - Utilisable en panneaux souples - Rendement faible en plein soleil - Performances diminuant avec le temps

Tableau 1.1 Les propriétés des principales familles de cellules solaires [6]

1.5 Système photovoltaïque

Le système de production photovoltaïque est adopté dans le micro-réseau ou le réseau public. En raison de certaines exigences techniques, le système de production photovoltaïque devrait pouvoir fonctionner en modes autonome et connecté au réseau, où la transition entre les deux modes devrait être fluide pour minimiser tout changement soudain de tension ou de courant entre les charges locales et le réseau [7].

1.5.1 Système autonome

Pour le système autonome, il n'est pas connecté au réseau électrique et l'énergie produite correspond généralement aux besoins énergétiques de la charge. Il est économiquement supérieur là où d'autres sources d'énergie sont impossibles ou difficiles à utiliser. Ce système est généralement soutenu par des systèmes de stockage d'énergie, par exemple des batteries rechargeables, qui stockent le surplus d'énergie et fournissent de l'électricité lorsqu'il n'y a pas de soleil. Parfois, les systèmes éoliens ou hydroélectriques se soutiennent mutuellement, appelés « systèmes hybrides photovoltaïques ». Par conséquent, des systèmes de gestion de l'énergie ont été développés pour optimiser la durée de vie du système de stockage et réduire les coûts de fonctionnement [8].

Les systèmes autonomes semblent nécessaires là où il n'y a pas d'accès au réseau public ou là où le coût du câblage et du transfert d'électricité vers les zones rurales est énorme. Le fonctionnement des systèmes autonomes dépend de la puissance extraite des panneaux photovoltaïques [9].

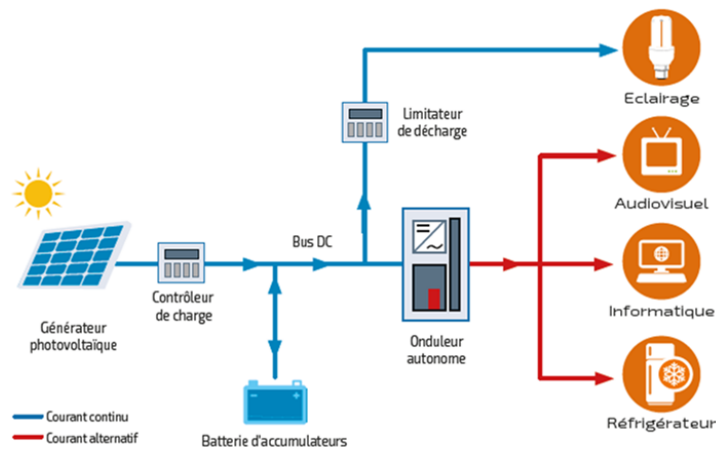


Figure 1.5 : Schéma d'un système PV avec stockage [10]

1.5.2 Systèmes connectés au réseau

Les systèmes connectés au réseau se développent dans les pays développés, tandis que les systèmes autonomes ont la priorité dans les pays en développement et non développés. Les petits systèmes de production photovoltaïque sont largement utilisés dans les industries du bâtiment où ils peuvent produire de l'électricité pour l'éclairage, les pompes à eau, les téléviseurs, les réfrigérateurs et les chauffe-eau. Certains villages sont appelés « villages solaires » car toutes les maisons sont exploitées par des systèmes d'énergie solaire. D'autres applications pour les systèmes autonomes sont : les systèmes autonomes sur les voitures, camionnettes et bateaux solaires. Plus précisément, (1) chalets et maisons éloignés ; (2) Distributeurs de tickets de stationnement; (3) Feux de circulation ; (4) Applications en jardinage et en aménagement paysager ; (5) Systèmes de pompes solaires et dessalement.

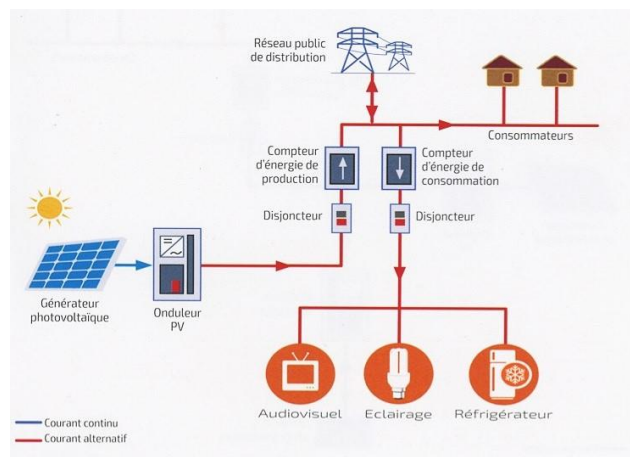


Figure 1.6 : Système PV raccordée au réseau [10]

1.5.3 Systèmes hybrides

Les systèmes hybrides tirent une partie de leur énergie de sources supplémentaires qui fonctionnent également de manière indépendante des réseaux de distribution électrique. En pratique, cela signifie que les générateurs photovoltaïques sont souvent associés à des éoliennes ou à des groupes électrogènes à combustible, voire aux deux simultanément, avec des batteries pour stocker l'énergie. Ce type de système est particulièrement adapté aux applications nécessitant une alimentation continue d'une puissance relativement élevée.

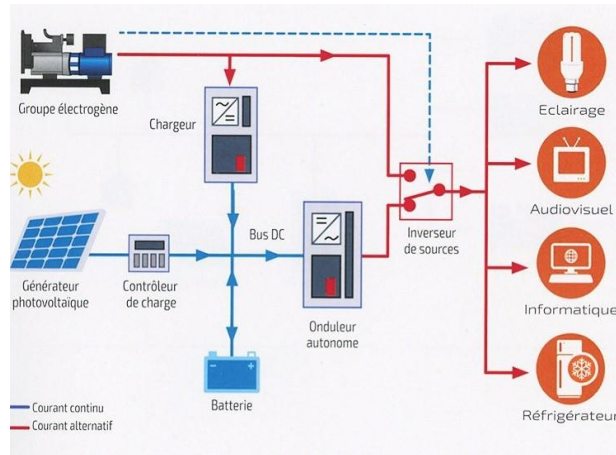


Figure 1.7 : Système PV hybride [10]

1.6 Applications des énergies renouvelables dans l'agriculture

L'application des énergies renouvelables dans l'agriculture génère d'énormes profits. Les sources d'énergie renouvelables peuvent être exploitées à vie, offrant ainsi une source de revenus à long terme aux agriculteurs.

L'énergie solaire est utile en agriculture de diverses manières, notamment en maximisant l'autonomie, en économisant des fonds et en réduisant la pollution. L'énergie solaire réduit la consommation d'électricité, réduisant ainsi les coûts. L'énergie solaire est avantageuse dans les applications agricoles en garantissant [11] :

- Faible coût des opérations agricoles grâce à l'élimination de l'utilisation de carburant/diesel.
- Faible taux et niveau d'entretien grâce à l'absence de pièces mobiles dans les panneaux solaires.
- Fiabilité du système assurant ainsi l'efficacité des opérations agricoles.
- Forme d'énergie propre évitant ainsi les émissions de gaz et assurant la conservation de l'environnement. Grâce aux systèmes photovoltaïques (PV), il existe un approvisionnement en électricité bon marché pour les opérations agricoles dans les ranchs, les fermes et les vergers.

L'utilisation de systèmes photovoltaïques est moins coûteuse que l'utilisation de transformateurs et de lignes électriques pour des applications dans les opérations agricoles

telles que l'éclairage des terres agricoles, le pompage de l'eau pour l'irrigation des cultures ou l'abreuvement du bétail et les clôtures électriques [12].

Le système photovoltaïque a des capacités de stockage d'eau en l'absence de soleil, ce qui élimine le besoin d'utiliser une batterie, augmentant ainsi la simplicité du système et réduisant le coût global d'exploitation du système. Les systèmes photovoltaïques peuvent également être appliqués dans les vergers et les fermes [13] :

- Réfrigération de produits agricoles.
- Fourniture d'énergie bon marché pour broyer les produits agricoles.
- Systèmes photovoltaïques pour la collecte et la manipulation des œufs.
- Pompes et compresseurs photovoltaïques pour utilisation dans la pêche.
- Équipement d'alimentation du bétail alimenté par photovoltaïque.
- Clôture photovoltaïque pour protéger le bétail

De plus, l'utilisation de l'énergie solaire pour la production de chaleur a une grande variété d'applications dans les exploitations agricoles [14]. Ces applications incluent (figure 1.8) :

- Chauffe-eau solaires (utilisés pour nettoyer les animaux domestiques) dans l'élevage.
- Séchage des céréales et des récoltes par exposition au soleil.
- L'utilisation de séchoirs à énergie solaire pour un séchage efficace et hygiénique des cultures.

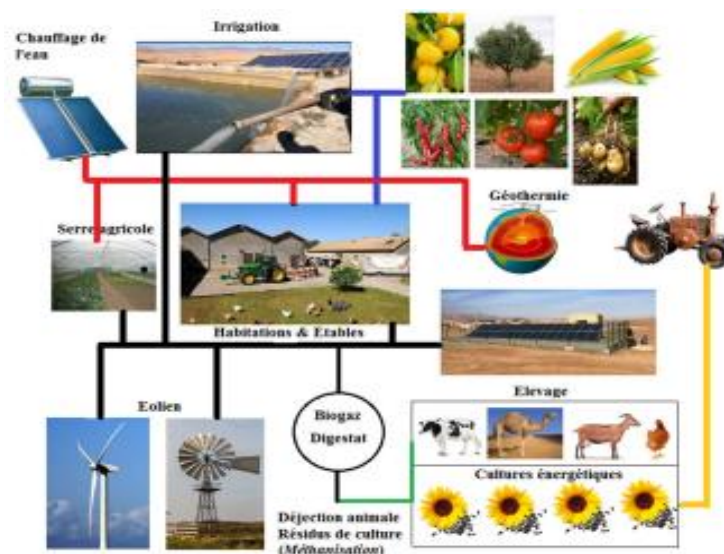


Figure 1.8 : Applications des énergies renouvelables dans l'agriculture [15]

1.7 Technologie de système serre

Une serre agricole est une structure fermée, généralement constituée de verre ou de plastique transparent, utilisée pour cultiver des plantes dans des conditions contrôlées. Elle permet de réguler des facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité, la lumière et la ventilation, créant ainsi un microclimat optimal pour la croissance des cultures.

1.7.1 Intérêt de la serre agricole

- *Allongement des saisons de culture* : Les serres permettent de cultiver des plantes hors saison, augmentant ainsi la période de production annuelle.
- *Protection contre les intempéries* : Elles protègent les cultures contre les aléas climatiques tels que la pluie, la grêle, le vent et les températures extrêmes.
- *Contrôle des conditions de croissance* : En régulant la température, l'humidité et la lumière, les serres optimisent les conditions de croissance, augmentant ainsi les rendements et la qualité des cultures.
- *Réduction de l'utilisation de pesticides* : Les serres permettent un meilleur contrôle des ravageurs et des maladies, réduisant ainsi le besoin de pesticides chimiques.
- *Utilisation efficace des ressources* : Elles permettent une gestion plus précise de l'eau et des nutriments, contribuant ainsi à une agriculture plus durable et efficiente.
- *Production de cultures spécialisées* : Les serres sont idéales pour la production de cultures sensibles ou à haute valeur ajoutée, comme les légumes, les fleurs, et les plantes exotiques.

1.7.2 Conception et forme des serres

Il existe plusieurs types de serres agricoles, chacune adaptée à des besoins spécifiques et à des conditions environnementales particulières. Voici les principaux types de serres agricoles [16] :

- *Serre tunnel (ou serre plastique)* :
 - Structure : Formée d'arceaux métalliques recouverts d'un film plastique.
 - Avantages : Économique, facile à installer, idéale pour les cultures saisonnières.
 - Inconvénients : Moins durable que les serres en verre, isolation thermique variable.

- *Serre en verre* :
 - Structure : Constituée de panneaux de verre sur une ossature en métal ou en bois.
 - Avantages : Excellente transmission de la lumière, grande durabilité, esthétique.
 - Inconvénients : Coût élevé, installation complexe.
- *Serre chapelle* :
 - Structure : Toiture en forme de V inversé (comme une chapelle), généralement en verre ou en plastique rigide.
 - Avantages : Bonne ventilation naturelle, adaptée aux régions avec fortes précipitations.
 - Inconvénients : Coût relativement élevé, nécessite une installation professionnelle.
- *Serre gothique* :
 - Structure : Toiture avec des arceaux en forme de pointe, imitant l'architecture gothique.
 - Avantages : Favorise le ruissellement de l'eau, bonne résistance au vent et à la neige.
 - Inconvénients : Plus coûteuse que les serres tunnels, complexité de la construction.
- *Serre à toit ouvrant* :
 - Structure : Dotée d'un système de toit ouvrant pour une ventilation optimale.
 - Avantages : Excellente gestion du climat intérieur, prévention des surchauffes.
 - Inconvénients : Coût plus élevé, nécessitant un entretien régulier.
- *Serre solaire passive* :
 - Structure : Conçue pour maximiser l'absorption et le stockage de la chaleur solaire.
 - Avantages : Économies d'énergie, réduction des coûts de chauffage.
 - Inconvénients : Dépendance à la disponibilité du soleil, coût initial de conception.
- *Serre hydroponique* :
 - Structure : Adaptée pour la culture hydroponique (sans sol), utilisant des systèmes de supports pour les plantes et des solutions nutritives.
 - Avantages : Production intensive, utilisation efficace de l'eau et des nutriments.
 - Inconvénients : Coût d'installation élevé, nécessite une gestion technique avancée.
- *Serre tunnel double (ou double paroi)* :
 - Structure : Deux couches de plastique séparées par une couche d'air isolante.

- Avantages : Meilleure isolation thermique, réduction des pertes de chaleur.
- Inconvénients : Coût supérieur à une serre tunnel simple, besoin d'un entretien régulier des couches de plastique.

Chaque type de serre agricole offre des avantages et des inconvénients spécifiques, et le choix dépend des objectifs de production, du budget, et des conditions climatiques locales.

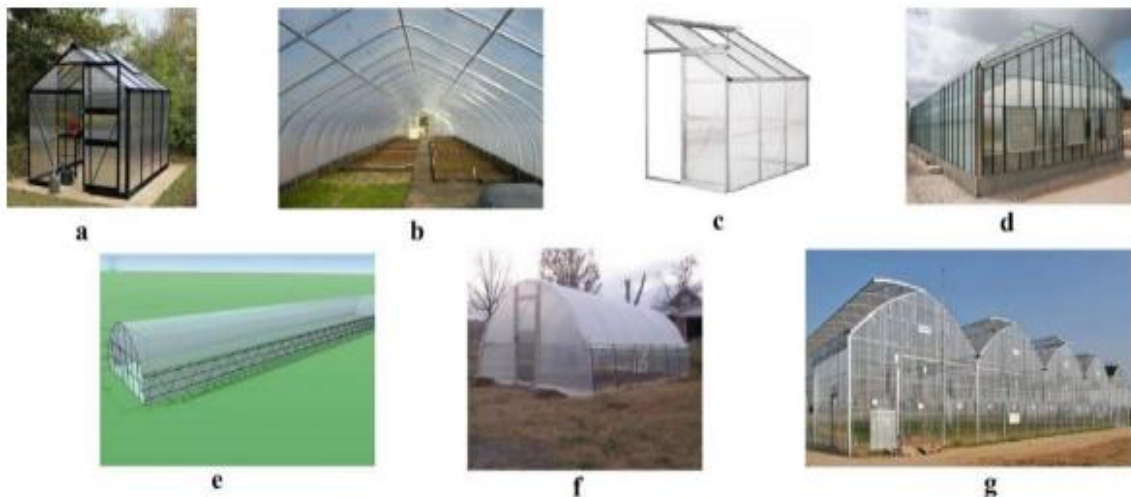


Figure 1.9 : Les différents types des serres selon la forme et la structure : a) Gable, b) Arc gothique, c) Appentis, d) Envergure uniforme, e) Portée unique, f) Quonset, g) Double-span ou multi-span

1.7.3 Caractéristiques d'une serre

▪ Orientation de la serre :

Ajuster l'orientation de la serre en fonction du soleil et du vent permet d'améliorer les conditions climatiques internes. Dans la région méditerranéenne, orienter la serre nord-sud assure un éclairage solaire optimal et uniforme. Cette orientation réduit également les effets néfastes des vents dominants sur la structure de la serre et minimise les pertes d'énergie [17]

▪ Le climat sous serre :

Le climat joue un rôle crucial dans l'activité physiologique des plantes, car l'énergie solaire captée par les plantes chlorophylliennes est la principale source d'énergie en biologie, à quelques exceptions près. L'environnement de la serre est défini par un

ensemble de valeurs spatiales moyennes des facteurs climatiques tels que le rayonnement solaire, la température, l'humidité et la lumière, qui influent sur la croissance et le développement des plantes [18].

- *La lumière :*

Les conditions d'éclairage dans la serre sont étroitement liées à l'éclairage naturel. L'aspect le plus important est la réduction de la quantité d'énergie solaire reçue, avec des modifications mineures plus ou moins qualitatives selon les matériaux utilisés et les conditions de leur mise en œuvre (forme, volume, orientation, structure, etc. de l'abri). Il existe également des caractéristiques du climat extérieur et de l'air, en particulier la nature du matériau de toiture [19].

- *Température :*

La température sous serre est le paramètre le plus important pour la production des cultures sous serre. Il se décompose en trois types :

- Température issue du sol.
- Température de la plante.
- Température ambiante à la culture.

Elle a une grande influence sur la croissance végétative. En effet, elle intervient dans beaucoup de phénomènes biologiques tels que la photosynthèse et la respiration. La vitesse de réaction augmente facilement avec la température ambiante [18].

- *L'humidité :*

La présence d'humidité, c'est-à-dire d'eau et de vapeur d'eau dans l'air, influence considérablement la croissance des plantes et la propagation des maladies. Lorsqu'il s'agit de mesurer cette humidité, nous parlons généralement de l'humidité relative, exprimée en pourcentage (%). Il existe une relation étroite entre l'humidité et la température. Pour assurer une croissance optimale dans une serre, il est crucial de maintenir des niveaux adéquats d'humidité et de température. La gestion de ces paramètres repose sur une variété d'équipements, allant des dispositifs simples aux systèmes plus sophistiqués, tels que des hottes, des radiateurs et des générateurs de vapeur [20].

- *Teneur en gaz carbonique :*

Dans le cas des serres très hermétiques avec une ventilation restreinte, l'enrichissement de l'air en CO₂ peut s'avérer bénéfique, augmentant à la fois le rendement et la précocité des cultures lorsqu'il est utilisé correctement. Cependant, dans les régions méridionales où la ventilation est indispensable dès le début de la saison de croissance et où les serres sont fréquemment ouvertes durant la journée, l'enrichissement en CO₂ devient plus difficile à appliquer [21].

1.8 Système serres intelligentes

Les serres intelligentes sont équipées de systèmes automatisés et contrôlés par des technologies avancées. Ces systèmes permettent de surveiller et de réguler l'environnement et le microclimat des serres de manière efficace.

1.8.1 Besoin d'automatisation dans les serres

L'objectif principal d'une serre est d'optimiser les conditions climatiques pour la culture des plantes. En conséquence, le contrôle du climat et des systèmes d'irrigation dans les serres a suscité un grand intérêt ces dernières années. Grâce à des équipements appropriés, les serres peuvent encore améliorer les conditions environnementales en régulant le climat et l'irrigation. Ces avancées sont devenues, au cours des dernières années, essentielles pour obtenir une production contrôlée, offrant des produits de meilleure qualité et des avantages économiques accrus.

Il existe plusieurs méthodes pour améliorer et surveiller le climat des serres ainsi que les conditions d'irrigation, telles que [18]. :

- Ventilation naturelle : utilisation de rideaux latéraux et de toitures à ouverture et fermeture, ainsi que de structures de serres hautes.
- Ventilation forcée : recours à des ventilateurs d'extraction et à des systèmes de circulation d'air.
- Systèmes de chauffage : mise en place de tubes à convection et de pompes à chaleur.
- Ombrage : installation de grillages et application de blanchiment du plafond.
- Évaporation de l'eau : utilisation de systèmes de brouillard et de parois humides.
- Irrigation : mise en œuvre de l'irrigation gt/gt et de la culture hydroponique.

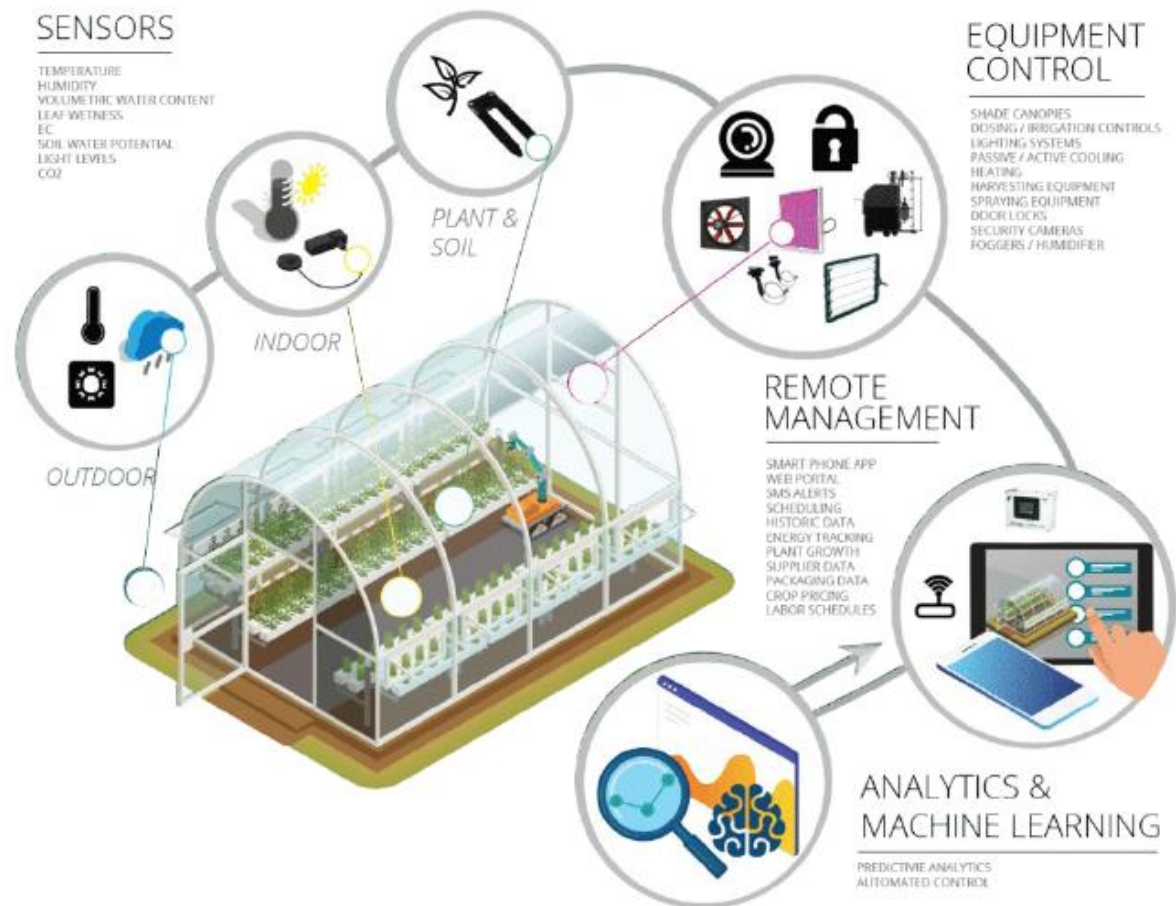


Figure 1.10 : Éléments Principaux d'un Système de Serre Intelligente [22]

1.8.2 Automatisation avancée des serres

Le contrôle des serres a permis aux agriculteurs de vérifier et d'adapter automatiquement les variables les plus pertinentes en manipulant les différents facteurs climatiques (ventilation, chauffage, écrans thermiques ou ombrage, humidification, recirculation). Dans les systèmes avancés d'automatisation des serres, la gestion de l'environnement intérieur se concentre sur le microclimat pour l'intensification de la croissance des plantes et la réduction du coût final [23].

Le développement des cultures est influencé par des facteurs environnementaux à ses différents stades de croissance ; les facteurs ou variables les plus pertinents pris en compte et régulés dans une serre intégrée sont la température, l'humidité relative, l'intensité lumineuse, le dioxyde de carbone (CO₂) et la conductivité électrique/pH de la solution nutritive dans le système d'irrigation (figure 1.11). Pour que l'installation remplisse sa fonction, il est important que la combinaison de ces facteurs se situe dans les limites minimales et maximales, en dehors dont la plante arrête son métabolisme et meurt.

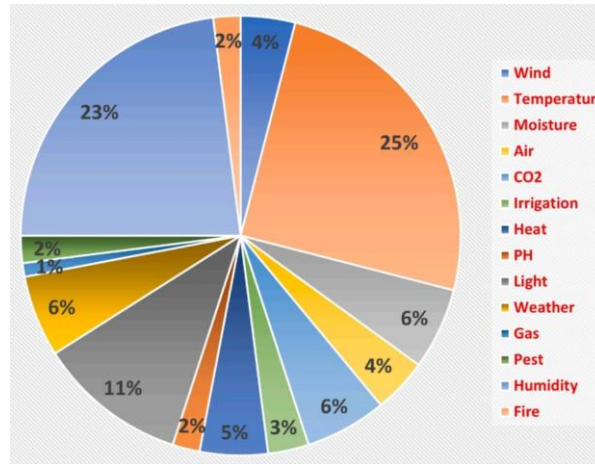


Figure 1.11 : Fréquence d'utilisation des capteurs IoT dans la culture en serre [24]

Aujourd'hui, les contrôleurs automatiques ne sont pas seulement utilisés comme équipement pour optimiser la gestion des cultures climatiques, mais ils sont également utilisés pour obtenir des mesures qui aident la nouvelle génération d'agriculteurs à prendre des décisions précises sur une gestion efficace des plantes. Cela a conduit à développer différents systèmes de production progressivement indépendants des paramètres climatiques externes et des erreurs humaines.

L'agriculture protégée prospère, utilisant différents niveaux de technologie et se concentrant principalement sur la production de légumes. Le niveau technologique des systèmes de production alimentaire travaillant dans des environnements protégés est divisé en trois groupes [25] :

Faible technologie – Ils sont entièrement basés sur l'environnement et utilisent des technologies de base similaires à celles utilisées dans l'agriculture en plein champ. La culture bénéficie d'une ventilation passive (ventilation naturelle aérienne et latérale), sans chauffage et est cultivée sur un substrat. Dans ce cas, il est crucial de connaître les différences entre les températures diurnes et nocturnes dues au manque de chauffage et de refroidissement.

Technologie moyenne – Désigne les structures modulaires avec contrôle semi-climatique, irrigation programmée et travail du sol. Généralement, la qualité et la productivité sont meilleures que la technologie de bas niveau ci-dessus. Le producteur combine à la fois haute et basse technologie à ce niveau, et le contrôle de la température est généralement très simple. La technologie moyenne contenait à la fois des systèmes de refroidissement

passifs et actifs, il existe donc des types de structures dotées d'un système de chauffage et d'autres non.

Haute technologie – Ce niveau comprend des structures avec contrôle climatique automatisé (plus indépendant des intempéries), irrigation informatisée, injection de CO₂ et travail du sol. C'est pour cette raison qu'ils disposent de capteurs et d'actionneurs pour le fonctionnement des systèmes de chauffage et de ventilation, d'irrigation, de grilles d'ombrage pour le contrôle de l'éclairage et des substrats de culture. Généralement basé sur la réponse de la plante à l'environnement. Grâce à ces systèmes, le producteur peut optimiser la croissance des plantes et maximiser la production et la qualité des fruits.

Les technologies de serre avec des conditions climatiques contrôlables peuvent permettre les réalisations suivantes :

- Assurer la qualité de la production – objectifs commerciaux en fixant des normes de qualité.
- Atteindre une productivité maximale.

Contrôler les calendriers de production – gérer le début et la fin de la production.

- Économie d'énergie – faible coût de fonctionnement.

La principale difficulté à prendre en compte pour le contrôle climatique des serres est l'interaction complexe entre les paramètres internes et externes. Parce qu'un modèle de serre montre un comportement non linéaire, les systèmes de contrôle conventionnels ne sont pas appropriés pour ce type d'application [26]. Par conséquent, il n'est pas possible d'obtenir un modèle mathématique précis pour la serre, c'est la raison pour laquelle ce travail se concentrera sur la combinaison de méthodes de contrôle avancées, de contrôle prédictif et de techniques d'intelligence artificielle telles que la logique floue.

1.9 État de l'Art

Cette partie examine les technologies et techniques actuelles des serres intelligentes pour aborder les défis complexes du nexus eau-énergie-alimentation. Par la suite, nous nous pencherons spécifiquement sur les stratégies employées pour gérer l'eau et l'énergie au sein des serres. La figure 1.12 présente le progrès important de l'application des systèmes intelligents dans les serres

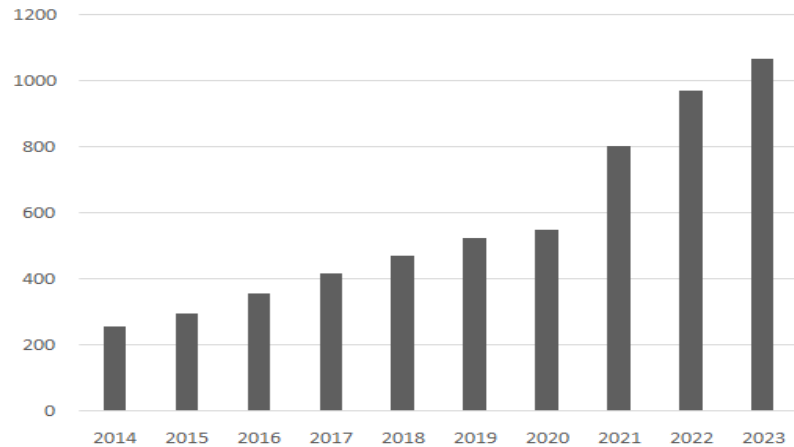


Figure 1.12 : Tendence de recherche scientifique sur les technologies des serres intelligentes

Réda Hassanien EmamHassanien et al [27] examinent les technologies d'application de l'énergie solaire pour le contrôle environnemental des serres, incluant le refroidissement, le chauffage et l'éclairage. L'étude se concentre sur l'utilisation de l'énergie fournie par les panneaux photovoltaïques et les capteurs solaires, ainsi que sur le pompage photovoltaïque pour l'irrigation. De plus, cet article aborde brièvement les analyses économiques et les défis associés à l'adoption de ces technologies.

Marco Cossu et al. [28] ont identifié que la pérennité agronomique des serres photovoltaïques dépend étroitement du rayonnement solaire global incident et de sa répartition sur la surface de la serre. L'algorithme présenté dans cet article permet de calculer le rayonnement direct et diffus cumulé sur la zone de la serre photovoltaïque à l'intervalle de temps désiré et à différentes hauteurs de la canopée.

Jooste et al. [29] ont proposé un système à faible coût énergétique pour surveiller les conditions dans une serre. Ce système est équipé de capteurs sans fil qui mesurent la lumière, le CO₂, la température ambiante, ainsi que l'humidité de l'air et du sol. En se basant sur ces mesures, le système détermine quand arroser, soit en suivant des règles prédéfinies, soit selon les décisions du producteur. Le système comprend également une interface graphique, qui affiche des informations actuelles et historiques, offrant ainsi aux producteurs un accès facile et rapide aux données nécessaires pour une gestion optimale de la serre.

Reca et al. [30] ont proposé une stratégie d'irrigation pour les serres basée sur l'évapotranspiration. Le système vise à maximiser le profit en déterminant la quantité d'eau nécessaire au bon développement des cultures en fonction de l'évapotranspiration. Étant donné que l'irrigation utilise de l'eau dessalée, l'effet de la salinité sur les cultures est également pris en compte. Ainsi, les concentrations de ce mélange sont ajustées en fonction de l'impact de la salinité sur les cultures et de la manière dont elle contribue à maximiser le profit. Le problème d'optimisation est résolu à l'aide d'un modèle à gradient réduit généralisé. Les coûts considérés par le système incluent le coût de l'énergie de pompage, le coût de l'eau dessalée, le coût de la main-d'œuvre et le coût du capital.

Dans leur article de 2018, *Trifun Savić et Milutin Radonjić* [31] ont présenté une architecture de réseau de capteurs sans fil ZigBee, conçue pour une application dans un système d'irrigation intelligent. Ils ont mis en avant les fonctionnalités essentielles de la norme ZigBee en ce qui concerne le fonctionnement des réseaux de capteurs sans fil (WSN). De plus, ils ont décrit un nœud de capteur basé sur Arduino, capable de mesurer l'humidité du sol et la température de l'air. Ce nœud était équipé d'un module de communication XBee S2, facilitant son intégration dans le WSN établi.

Hajar et al. [32] ont exploré la rapidité et la diversité des innovations scientifiques modernes qui ont révolutionné la vie quotidienne, la rendant plus pratique. Parmi ces innovations, les systèmes d'irrigation jouent un rôle essentiel dans l'adoption de pratiques d'irrigation efficaces. Dans leurs recherches, ils ont conçu un système de surveillance et d'exploitation de l'irrigation utilisant des technologies de pointe. Le système repose sur l'Arduino Mega 2560, intégré à la technologie Global System for Mobile communication (GSM), permettant à la plate-forme Arduino d'envoyer et de recevoir des messages SMS à partir des appareils mobiles des agriculteurs ou des propriétaires.

Ouammi et al. [33] ont développé un système pour gérer un réseau de serres produisant leur propre eau par dessalement. Le micro-réseau auquel les serres sont connectées intègre des énergies renouvelables, le stockage d'énergie, des pompes à eau, des sources d'eau saumâtre et des infrastructures de comptage. Chaque serre du réseau dispose d'un système de dessalement de l'eau et de contrôle du microclimat. Le système proposé utilise un contrôle prédictif avec surveillance de référence, visant à maintenir le climat des serres dans des conditions optimales pour les cultures tout en minimisant l'utilisation d'eau et d'énergie. La fonction objective du système comprend trois termes :

minimiser l'erreur de suivi du climat de la serre, maximiser l'état énergétique des systèmes de stockage et minimiser les échanges avec le réseau.

Dans leur étude de 2020, *Achour et al.* [34] ont réalisé un système de contrôle pour une serre visant à maintenir des conditions idéales pour les cultures. La conception inclut la production d'énergie photovoltaïque et éolienne, la connexion au réseau, une unité de stockage d'énergie, une réserve d'eau, et divers actionneurs pour gérer l'humidité, la température, la lumière et le CO₂ de la serre (système de brumisation, déshumidificateurs, injecteur de CO₂, lumières, pompes, et systèmes de chauffage et de refroidissement).

Chaudhary et al [35] ont exploré l'agriculture comme une combinaison de science et d'art de la culture des plantes dans leur étude. Ils ont souligné l'importance d'adapter l'agriculture aux exigences modernes et d'intégrer les nouvelles technologies. Dans le domaine de l'agriculture intelligente, l'utilisation de capteurs connectés à l'Internet des objets (IoT) joue un rôle crucial en facilitant la collecte de données pour mieux comprendre les terres agricoles.

BOUGHEDAUI Nour el Houda [36] a conçu une serre chapelle intelligente, contrôlée par une carte Arduino et alimentée par des panneaux photovoltaïques. Ce système garantit une performance optimale, réduit les efforts des agriculteurs et améliore la productivité ainsi que la quantité et la qualité des récoltes.

1.10 Conclusion

Dans ce chapitre, une vue d'ensemble des énergies renouvelables a été présentée, avec un accent particulier sur l'énergie solaire photovoltaïque. L'importance des ressources énergétiques renouvelables dans l'agriculture a été soulignée, montrant comment l'adoption de sources telles que le solaire peut être bénéfique. Les types de serres agricoles et la gestion des paramètres climatiques ont été examinés, en détaillant les équipements et outils permettant de contrôler et de gérer les conditions à l'intérieur des serres. L'intégration de systèmes intelligents et d'énergie photovoltaïque dans l'agriculture durable a été explorée, mettant en lumière leur capacité à produire des aliments de manière écologiquement responsable. Enfin, l'état de l'art des systèmes de serres intelligentes a été abordé, soulignant les avancées technologiques et les innovations qui transforment durablement l'agriculture, offrant des solutions efficaces et durables pour la production agricole.

CHAPITRE 2.

Systeme PV : Installation pratique et réalisation technique

2.1 Introduction

Les systèmes photovoltaïques autonomes représentent souvent une solution alternative pour l'alimentation en électricité. Ils incluent typiquement des panneaux solaires pour la charge, des batteries de stockage, ainsi que des contrôleurs ou régulateurs. Pour ceux installés au sol ou sur les toits, une structure de montage est requise, et pour ceux nécessitant une alimentation en courant alternatif, un onduleur est également indispensable.

Dans ce contexte, La région d'étude constitue un cadre essentiel pour évaluer les caractéristiques climatiques, les mesures radiométriques et météorologiques, ainsi que la conception et la réalisation d'un prototype expérimental. Ce chapitre fournira un aperçu de la région spécifique examinée, en mettant l'accent sur son climat distinctif et les détails du dispositif expérimental développé pour répondre aux besoins spécifiques de l'étude.

2.2 Dimensionnement de système solaire photovoltaïque

La conception et le dimensionnement d'une installation photovoltaïque précis est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération, une certaine dose d'impondérable (la météorologie), et surtout de multiples interactions entre les choix. Par exemple, la consommation du régulateur de charge, de l'onduleur, de la batterie, doivent être ajoutés à celle des récepteurs pour définir la consommation totale du système. Or, le choix de ces paramètres dépend de la taille du champ photovoltaïque, lui-même déterminé par la consommation. Donc la conception d'un système photovoltaïque présente les méthodes de dimensionnement optimales pour la production d'énergie électrique

Les installations solaires autonomes offrent une source d'énergie indépendante du réseau électrique. Elles se composent généralement de panneaux solaires, de batteries pour stocker l'énergie produite et de contrôleurs pour réguler le système. Les systèmes installés au sol ou sur le toit nécessitent une structure de support et, pour une alimentation en courant alternatif, un onduleur est également nécessaire.

D'une manière générale, les paramètres à prendre en compte pour concevoir et dimensionner un système photovoltaïque sont assez nombreux et concernent [36] :

- Le lieu où sera placé le générateur PV.
- Le système PV (modules, régulateur, convertisseur et batteries).
- La charge.

2.2.1 Description du local

Le local qu'on a choisi est une serre hydroponique situé à l'URAER de Ghardaïa (figure 2.1).



Figure 2.1 : Serre expérimentale au site de Ghardaïa

2.2.2 Relevé des données météorologiques

Pour le dimensionnement de notre projet de système photovoltaïque autonome, nous avons choisi le site de Ghardaïa où se situe l'URAER, Les données géographiques et météorologiques spécifiques à ce site ont été préalablement importées dans le logiciel PVsyst.7.

Le dimensionnement du générateur PV est dicté par les conditions relatives au site. Pour adopter les capacités générateur PV / batterie, aux conditions de charge, il est indispensable de connaître les caractéristiques de l'irradiation solaire par jour ou par mois, soit l'énergie moyenne reçue sur un plan donné, à l'endroit même où sera situé le générateur PV. Les données doivent être connues pour chaque mois de l'année. Elles peuvent être obtenues par L'URAER de Ghardaïa.

2.2.3 Bilan énergétique

La réalisation d'une serre agricole hydroponique aux dimensions suivantes : Longueur : 6 m, Largeur : 2,4 m et Hauteur : 2,5 m. Cette serre hydroponique sera alimentée par un système photovoltaïque. Les caractéristiques du système PV sont présentées dans le tableau 2.1. La

puissance et la durée d'utilisation des appareils électriques de la serre sont indiquées dans le tableau 2.2.

Tableau 2.1 : Les caractéristiques du système PV

Coefficient d'irradiations solaire	4.8 kWh / m ²
Puissance crête du panneau	262.5 Wc
Tension du panneau PV	24V & VOC = 37.92 V
Tension d'une seule batterie	12V
Autonomie de fonctionnement des batteries	3 jours
Taux de décharge des batteries	0.7
Energies à consommer	1.693 kWh
Taux de pertes	0.3
L'énergie à produire	2.201 kWh

Tableau 2.2: Le bilan énergétique de la serre (Besoin de système serre)

Eléments	Nombre	Puissance de l'élément	Durée [Heures]	Energie journalière [Wh]
Lampe	03	20	12	720
Pompe	02	150	05	1500
Ventilateur	02	100	06	1200
Total			560	3420

Dans cette étude, le dimensionnement du système tout entier s'articule sur la détermination de la puissance, l'énergie consommée, l'énergie produite par les panneaux en ajoutant 30% de l'énergie à consommer, la tension du travail, le nombre de batteries dont on va avoir besoin avec leurs capacités et les références du régulateur et de l'onduleur. Ce qui suit est calculé à l'aide des formules basées sur les références [36] et [37] :

La première chose à déterminer est le type de batteries à utiliser pour stocker, restituer et exploiter l'énergie. Le système de stockage électrique nécessite une attention particulière à la capacité du parc de batteries (en Ah), calculée selon l'équation ci-dessous :

$$C_{\text{Stokage}} = \frac{\text{Énergie produite} \times \text{Nombre de jours d'autonomie}}{\text{Profondeur de décharge} \times U_{\text{système}}}$$

L'autonomie des batteries dépend de la région et de l'ensoleillement disponible. Elle est influencée par deux facteurs principaux : la capacité de la batterie et la consommation électrique de la serre. Une plus grande capacité de batterie permet de stocker davantage d'énergie solaire, augmentant ainsi l'autonomie. Pour notre cas, nous avons retenu une autonomie de 3 jours. Les systèmes de batteries solaires destinés aux particuliers ont généralement une durée de vie de 5 à 15 ans.

La profondeur de décharge se réfère à la fraction ou au pourcentage de la capacité retirée d'une batterie complètement chargée. Pour notre étude, nous avons retenu une valeur de 0,7.

$$\text{Nombre de batteries} = \frac{C_{\text{Stokage}}(\text{Ah})}{C_{\text{Stokage_batterie}}(\text{Ah})}$$

La formule pour déterminer le nombre de batteries en série dans une rangée est la suivante:

$$\text{Nombre de batteries en série} = \frac{U_{\text{système}}(\text{V})}{U_{b_{nm}}(\text{V})}$$

L'étape suivante consiste à déterminer la puissance crête équivalente de l'installation photovoltaïque toute entière.

$$P_{\text{Crête}} = \frac{E_{\text{Produite}}}{I_r}$$

L'énergie produite (Wh) par le système photovoltaïque est calculée comme la somme de l'énergie consommée (charge électrique) et 30% de cette valeur. Une charge électrique

représente tout composant d'un circuit qui consomme de la puissance ou de l'énergie. Dans un environnement agriculture comme serre, les exemples typiques de charges électriques comprennent les ampoules électriques, appareils d'irrigation et système de ventilation.

$$\text{Nombre de modules photovoltaïques} = \frac{P_{\text{Système Photovoltaïque}} (Wc)}{P_{\text{Crête}} \text{ du module photovoltaïque} (Wc)}$$

Le régulateur de charge est essentiel au fonctionnement du système photovoltaïque, assurant la surveillance et la protection des batteries. Il remplit deux fonctions principales : prévenir les surcharges et les décharges profondes des batteries, tout en optimisant le transfert d'énergie du générateur photovoltaïque vers la charge. Pour déterminer sa capacité, on utilise l'équation suivante en fonction de la taille du champ photovoltaïque et de la tension de fonctionnement du parc de batteries.

$$\text{Nombre de rangées photovoltaïques} = \frac{P_{\text{Système Photovoltaïque}} (Wc)}{U_{\text{Système}} (V)}$$

2.2.4 Application Logiciel PVsys

PV système est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires qui fournit diverses informations essentielles telles que la production d'énergie, l'irradiation, le coût de l'installation, la surface nécessaire, et la production annuelle d'énergie. Le logiciel offre principalement deux modes de fonctionnement.

Le premier mode est une application de pré-dimensionnement simple, facile à utiliser et accessible aux néophytes. Le deuxième mode permet une étude beaucoup plus approfondie, tenant compte de nombreux paramètres pour une analyse très complète. Ce mode avancé utilise des équipements concrets pour ses calculs, contrairement au premier mode qui se base sur des scénarios plus généraux. En utilisant ces deux modes, PV Système permet d'obtenir une évaluation précise et détaillée des systèmes photovoltaïques.

- Répartition de la charge dans la journée

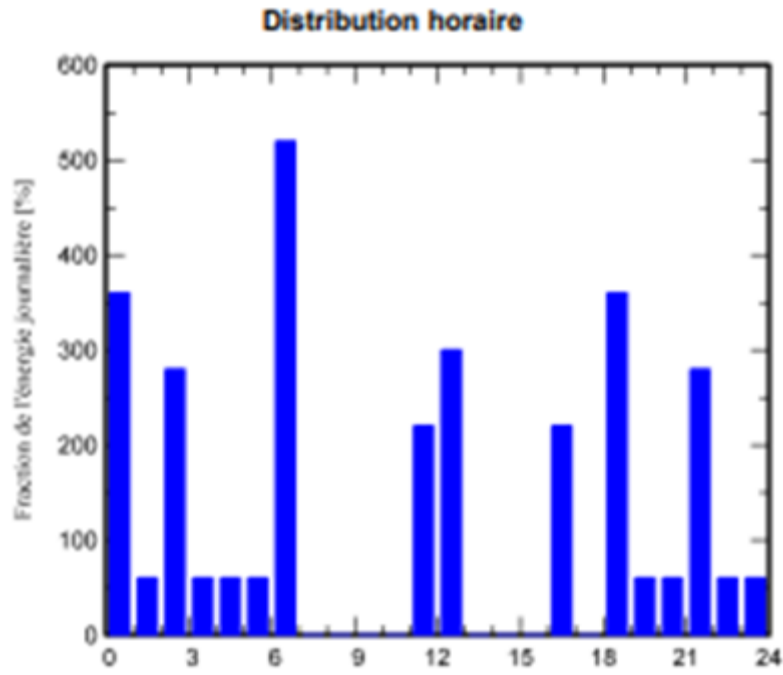


Figure 2.2 : Consommation journalière de la charge

- Désignation du projet

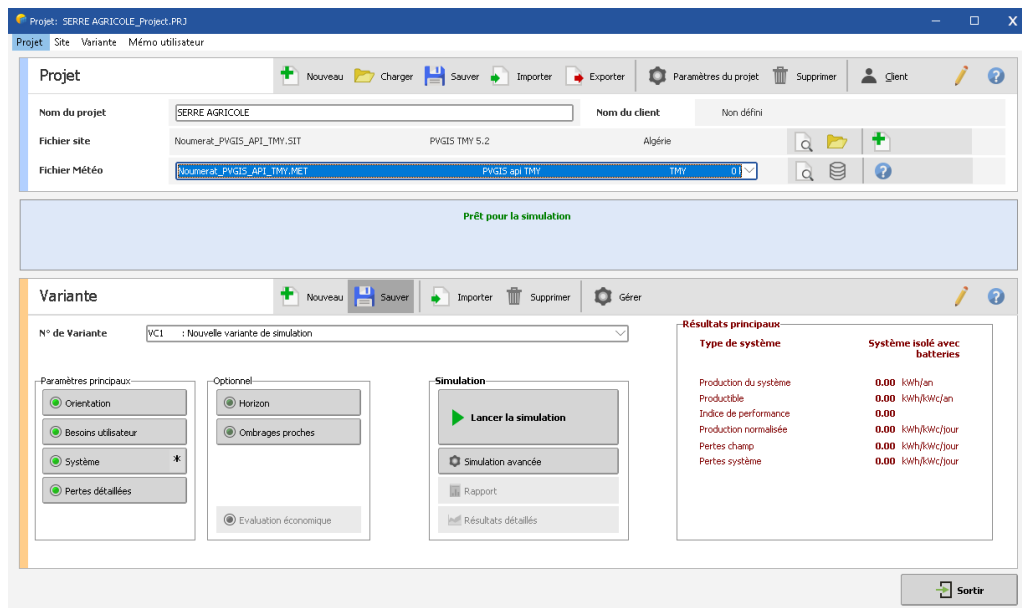


Figure 2.3 : Désignation du projet

▪ Résultats Principaux

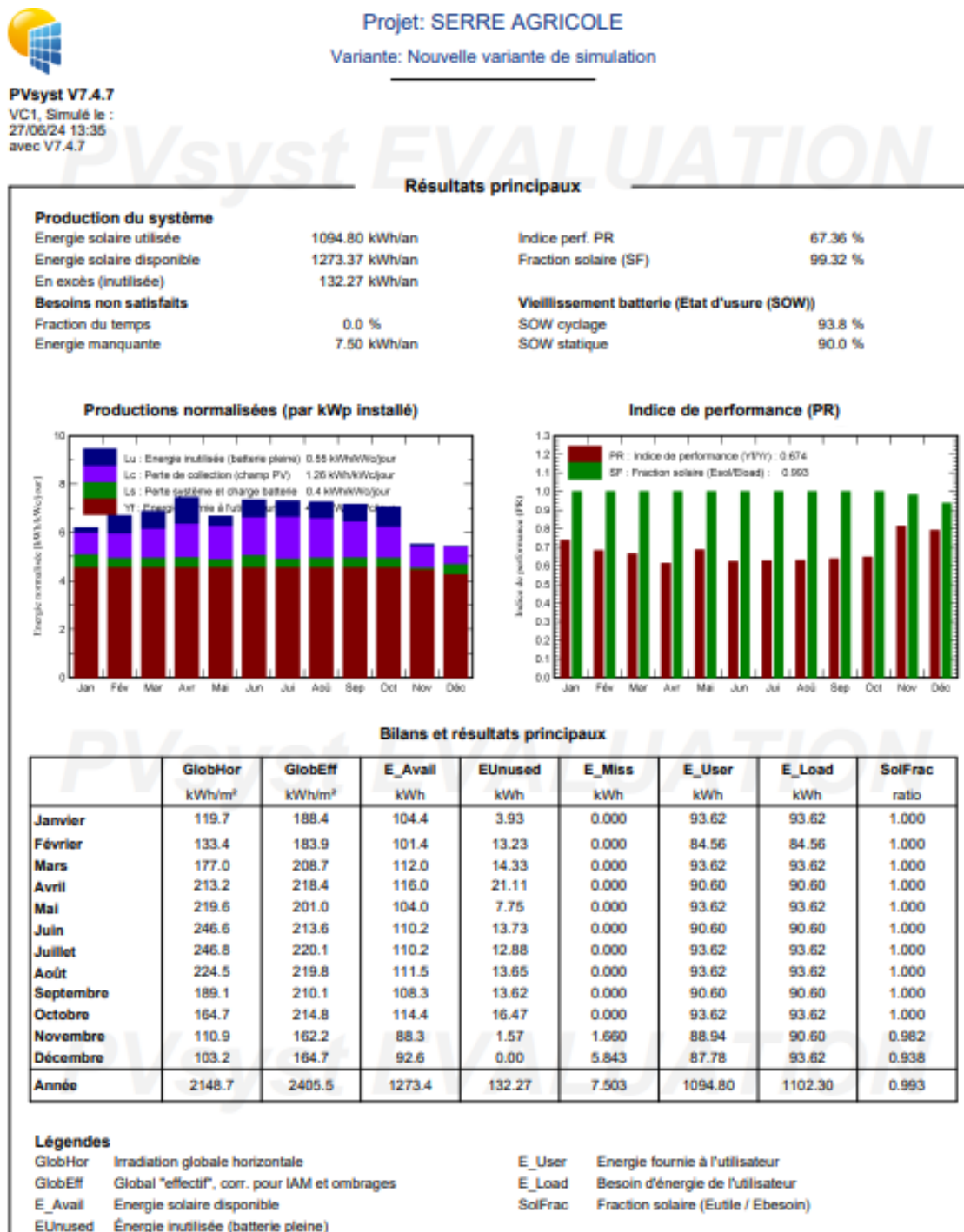


Figure 2.4 : Résultats Principaux

2.3 Description de la région d'étude

La ville de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara. Le caractère fondamental du climat saharien est la sécheresse de l'air, mais les microclimats jouent un rôle considérable dans le désert.

Le climat de Ghardaïa est un climat désertique avec hiver froid et été chaud, les caractéristiques climatiques de Ghardaïa jouent un rôle indispensable dans le domaine agriculture. Ceux qui sont prises en considération sont le rayonnement solaire, la température, la vitesse du vent et l'humidité.

Les caractéristiques de la région de Ghardaïa sont :

- Situation 595Km au sud de la mer Méditerranée.
- Latitude et 32°36 N. Longitude 3°80E.
- Altitude de 469 m au-dessus du niveau de la mer.
- Taux de jours ensoleillés par an : 77 %

- *Caractéristique climatique*

Vue de sa situation idéale, l'Algérie dispose d'un important gisement d'énergie solaire dans tout le bassin méditerranéen. Elle possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde, Son potentiel énergétique solaire est estimé à 13,9 TWh par an [39]. De plus, la durée du rayonnement solaire sur tout le territoire national dépasse 2500 heures par an et peut atteindre 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). Le tableau 2.3 donne un état récapitulatif de ce potentiel dans les principales zones (côtière, des hauts plateaux et au Sahara) [40].

La figure 2.4 montre que l'irradiation solaire sur un plan horizontal dépasse 4,5 kWh/m²/jour sur l'ensemble du territoire national. Les données indiquent que l'irradiation solaire moyenne sur une surface horizontale est supérieure à 4,7 kWh/m²/jour au nord et atteint 7,1 kWh/m²/jour au sud du pays. Ces valeurs estiment que l'Algérie se classe parmi les pays ayant le plus grand potentiel d'irradiation solaire au monde, avec 1700 kWh/m²/an au nord et 2650 kWh/m²/an au sud.

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Durée moyenne quotidienne d'ensoleillement (h)	7.26	8.22	9.59
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650
Densité journalière d'énergie solaire (kWh / m ²)	4.66	5.21	7.26

Tableau 2.3: Potentiel solaire en Algérie [41]

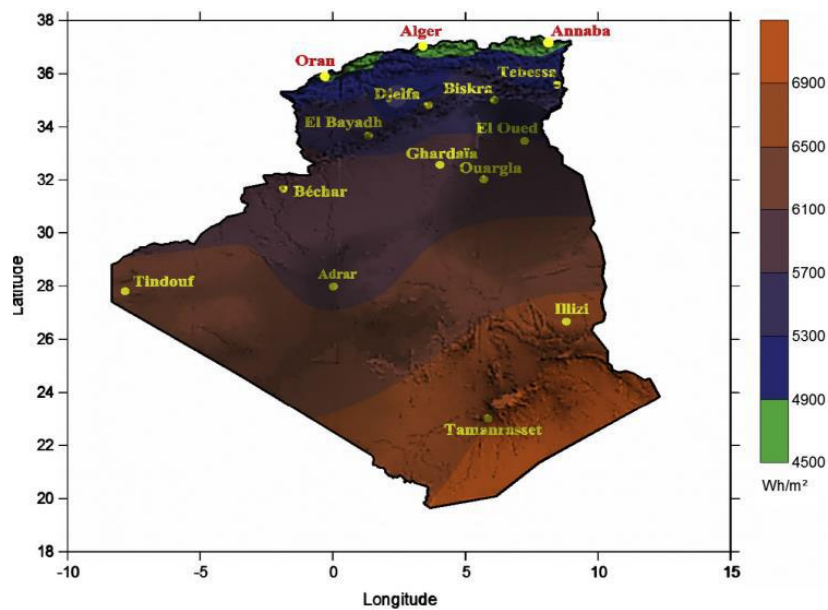


Figure 2.4. Carte annuelle moyenne d'irradiation solaire globale de l'Algérie [42]

2.4 Mesures radiométriques et météorologiques

Les conditions climatiques extérieures (température, humidité, vitesse du vent et rayonnement solaire global) sont mesurées à l'approximées de système, par la station composé de station radiométrique "Solys2" et station météorologique installée à l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER). Cette station est équipée d'un système d'acquisition de données qui enregistre les valeurs expérimentales toutes les 10 min (Figure 2.5). Cette mesure est utilisée comme donnée d'entrée pour les simulations numériques.



Figure 2.5. Stations de mesure à l'URAER-Ghardaïa

Station radiométrique (à gauche); Station météorologique (à droite)

Pour évaluer avec précision les conditions climatiques et optimiser l'utilisation des ressources énergétiques, il est essentiel de présenter divers paramètres environnementaux, notamment le rayonnement solaire (figure 2.6), la température (figure 2.7) et l'humidité (figure 2.8). Ces mesures permettent de mieux comprendre les interactions entre les différents éléments du climat et de concevoir des solutions adaptées pour les systèmes énergétiques et agricoles. Les instruments utilisés pour ces mesures, tels que les pyranomètres, les pyrhéliomètres, les thermomètres et les hygromètres, fournissent des données précises et fiables qui sont indispensables pour les études climatiques, la gestion des cultures sous serre et la production d'énergie solaire. Le tableau 2.4 présente les données de l'énergie solaire reçue (en kWh/m²) sur un capteur horizontal et un panneau incliné de manière optimale chaque mois de l'année 2023, orienté vers le sud. Il inclut également les valeurs calculées d'après la littérature [38].

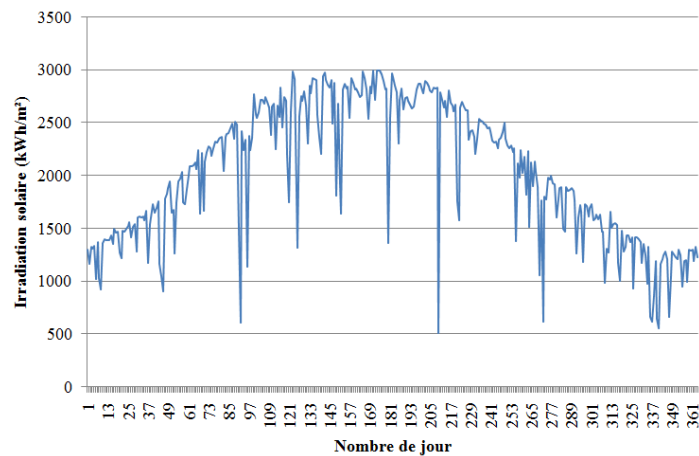


Figure 2.6. Variation de l'irradiation solaire pendant l'année

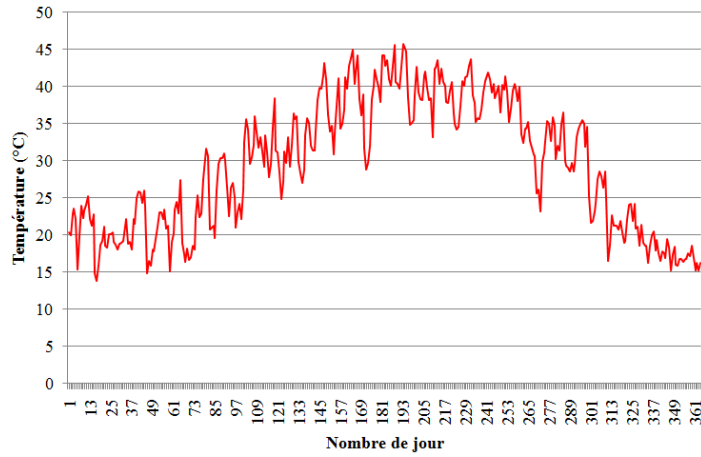


Figure 2.7. Variation de la température pendant l'année

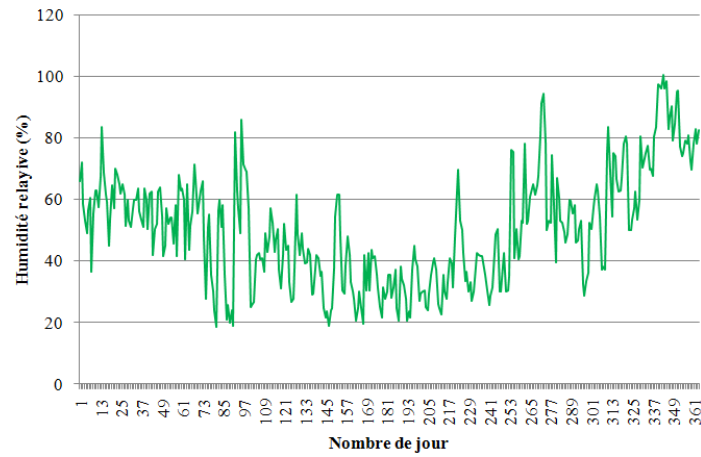


Figure 2.8. Variation de l'humidité relative pendant l'année

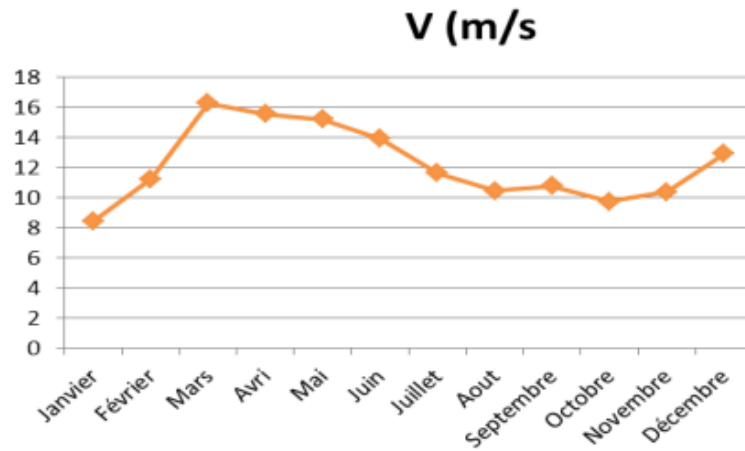


Figure 2.9. Variation des vitesses moyennes de vent durant l'année [43]

Tableau 2.4 : Irradiations solaires mesurées (réelles) et calculées (par kWh/m²) incidentes sur un capteur horizontal et un plan d'inclinaison optimale mensuelle, orienté au sud

Mois	Jour type	Inclinaison optimale mensuelle	Cas d'un ciel clair & Modèle de Capderou		Valeurs réelles & Cas réels	
			Irs horizontales	Irs inclinées	Irs horizontales	Irs inclinées
Janvier	5	52.43	3.9764	7.0872	3.3401	6.6124
Février	8	44.83	4.9865	7.5144	4.3881	6.6126
Mars	15	34.22	6.5394	7.8236	5.4277	6.4935
Avril	19	23.02	7.7482	8.0277	6.7409	6.9840
Mai	20	14.24	8.2817	8.2200	7.2878	7.2980
Juin	07	10.01	8.3715	8.2932	7.7854	7.7126
Juillet	21	11.89	8.0526	8.0255	7.6499	7.6242
Août	25	19.10	7.2790	7.6055	6.9878	7.3012
Septembre	16	29.49	6.5558	7.3655	5.7035	6.4079
Octobre	30	40.70	4.8620	6.9967	4.5216	6.5069
Novembre	26	50.04	4.0750	6.9193	3.5045	5.9505
Décembre	28	54.60	3.8866	7.0612	3.0704	5.5783

2.5 Description du Dispositif expérimental

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet international "bilatérale Algero-Tunisienne" que nous allons intégrer. Le but de ce projet est la réalisation d'un système d'un prototype de serre hydroponique intelligente et autonome utilisant un système d'énergies renouvelables multi sources.

2.5.1 Système solaire Serre/PV à l'échelle réel

L'installation des modules photovoltaïques doit prendre en compte plusieurs concepts essentiels pour optimiser l'utilisation du rayonnement solaire : l'inclinaison, l'orientation, la latitude du lieu, les conditions climatiques locales, ainsi que l'impact des ombres entre les panneaux PV.

▪ *Distance minimale*

Des éléments tels que des arbres ou des bâtiments peuvent nuire à l'ensoleillement des panneaux photovoltaïques. Pour assurer une installation optimale, il est crucial de faire appel à un professionnel. La distance minimale nécessaire entre les rangées peut être déterminée directement à partir du schéma géométrique présenté dans la figure 2.10, comme défini dans la littérature [44].

Idéalement, les modules photovoltaïques ne doivent pas être ombragés entre 9 heures et 15 heures le 21 décembre, le jour le plus court de l'année, afin de maximiser la production [38].

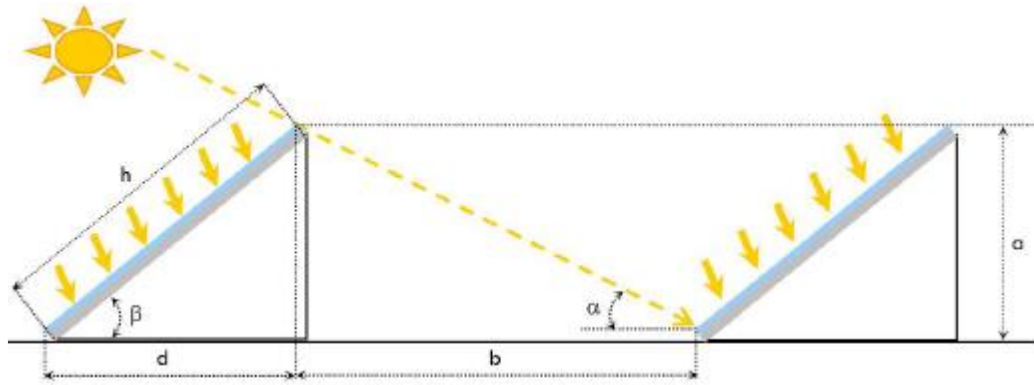


Figure 2.10 : Distance requise pour éviter tout type d'obstacle [45]

▪ *L'inclinaison optimale*

Pour tirer pleinement parti de l'énergie solaire, l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes, il est crucial d'optimiser différents paramètres. Une étude s'est concentrée sur l'optimisation de l'angle des panneaux photovoltaïques en fonction des valeurs du rayonnement solaire incident sur un plan horizontal orienté vers le sud [46].

L'objectif de cette section est de maximiser la production d'énergie solaire en déterminant les angles optimaux des panneaux photovoltaïques sur une base mensuelle, saisonnière et annuelle pour des plans inclinés. Dans ce contexte, l'équation de l'angle d'inclinaison optimale est fournie par la littérature spécialisée [47].

Le tableau 2.5 indique qu'en hiver, lorsque le soleil est bas par rapport à l'horizon (le 21 décembre étant le jour où le soleil est le plus bas), le module photovoltaïque produira davantage si son inclinaison est proche de 56° . En revanche, en été, lorsque le soleil est haut dans le ciel (le 21 juin étant le jour où le soleil est le plus haut), le module produira davantage si son inclinaison est proche de 9° . Une inclinaison autour de 32° est recommandée pour les modules au printemps et à l'automne (équinoxe).

- Si l'angle d'inclinaison change chaque mois, le rayonnement maximal est atteint pour les angles suivants :

Tableau 2.5: Angle d'inclinaison optimale mensuelle [48]

Mois	Janvier	Février	mars	avril	mai	juin
Inc (°)	55,37	49,53	40	27,78	17,26	10,32
Mois	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Inc (°)	9,34	14,49	24,18	35,73	47,04	54,28

- En changeant l'angle d'inclinaison quatre fois par an, le rayonnement maximal est atteint aux angles suivants :

Tableau 2.6: Angle d'inclinaison optimale saisonnier [48]

Saison	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Inc (°)	55,821	32,177	8,950	31,758

▪ *L'orientation idéale*

L'orientation idéale peut varier légèrement selon la région et l'installation. L'orientation idéale pour un système photovoltaïque est inclinée et orientée vers le sud [38]. Cependant, cela signifie que les vents dominants du nord frappent les panneaux sur cette grande surface, ce qui peut entraîner leur renversement, envol ou déplacement.

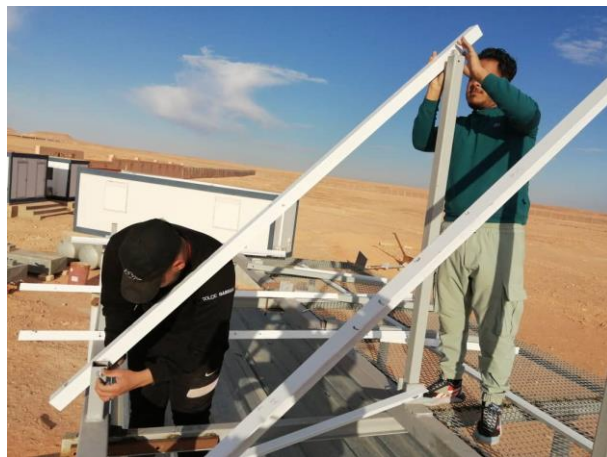
2.5.1.1 Concept et montage de système PV

• *Soudage et montage des structures*

Dans cette étape le montage de structure porteuse du système photovoltaïque a été réalisé comme il est indiqué sur figure 2.11.



(a)



(b)

Figure 2.11. Montage de la structure porteuse: (a) horizontale, (b) inclinée

- *Installation des Panneaux Solaires*

Afin d'alimenter la serre en électricité indépendante du réseau public, des panneaux solaires ont été installés sur le toit de la serre. Ces panneaux captent l'énergie solaire et la convertissent en électricité. Ils ont été orientés et inclinés à 32° de manière optimale pour maximiser la capture de l'énergie solaire tout au long de la journée (figure 2.12).



Figure 2.12 Installation des Panneaux Solaires

- *Conversion de l'énergie solaire à l'aide d'un onduleur*

L'onduleur intégré dans le système (figure 2.13) joue un rôle crucial en convertissant le courant continu (DC) stocké dans les batteries en courant alternatif (AC), qui est utilisé par la plupart des équipements de la serre. Cette conversion est essentielle pour assurer le bon fonctionnement des dispositifs électriques et optimiser l'efficacité énergétique de la serre.

Tableau 2.7 : Caractéristiques et performances techniques de l'onduleur solaire

Mode Onduleur	Mode Chargeur
Entrée (courant continue)	Entrée (courant continue)
Tension (nominale) = 48V Courant maximum = 110 A	Tension = 230 V_50 Hz Courant = 30 A
Sortie (courant alternative)	Sortie (courant alternative)
Tension (nominale) = 230 V_50 Hz Puissance (en continue) = 3.8 kWh Puissance (30 minutes) = 4.4 kWh Courant (en continue) = 30 A Température de fonctionnement = -20 _60°C	Tension (nominale) = 48V Courant maximum = 45V



Figure 2.13: Onduleur utilisé

- *Stockage de l'énergie dans des batteries*

L'énergie collectée par les panneaux solaires est ensuite stockée dans des solaires à GEL de marque "Batterie VICTRON étanche Gel 1.98kWh" (figure 2.14), choisies pour leur haute capacité de décharge et leur long cycle de vie. Ces batteries assurent une alimentation continue, même lorsque le soleil ne brille pas.



Figure 2.14: Batterie utilisé

2.5.2 Système serre intelligente à l'échelle prototype

2.5.2.1 Conception et montage de system serre

Nous avons déterminé les dimensions et l'aménagement de notre serre en fonction de nos besoins spécifiques, en adaptant une réduction d'échelle de 1/10 pour simuler la réalité. Cette planification a pris en compte divers facteurs, notamment le type de cultures que nous prévoyons de cultiver, afin d'optimiser l'espace et les conditions de croissance.

- *Etapes de la construction prototype serre :*

Nous avons commencé par découper et souder notre prototype de serre, qui mesure 50 cm de longueur, 35 cm de largeur et 30 cm de hauteur, dans l'atelier de soudage de l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables (URAER). Ensuite, nous l'avons peint en blanc et découpé des plaques de polycarbonate pour servir de couverture de la serre. Nous avons fixé ces plaques de polycarbonate de 8mm d'épaisseur avec de la silicone autour de la structure pour assurer l'étanchéité et la solidité de l'ensemble (voir figure 15).



Assemblage de la structure



Structure en fer



Polycarbonate



Fixation de la couverture



Prototype de serre alimenté par des PV

Figure 2.15 : Etape de conception et réalisation de Prototype de la serre intelligent

2.6 Conclusion

Pour la réalisation d'une installation photovoltaïque, le dimensionnement reste une étape indispensable. Dimensionner un système PV c'est déterminer en fonction de sollicitations telles que l'ensoleillement et le profil de charge, l'ensemble des éléments de la chaîne PV, à savoir, la taille du générateur, la capacité de stockage, le cas échéant la puissance d'un convertisseur, voire l'inclinaison des modules et la tension d'utilisation. Une installation surdimensionnée veut dire des surcoûts, tandis qu'une installation sous dimensionnée veut dire manque de fiabilité.

La région d'étude sélectionnée pour ce projet présente des caractéristiques climatiques uniques qui influencent directement la conception et la mise en œuvre du prototype expérimental. Cette région est caractérisée par les conditions climatiques spécifiques, comme le type de climat, les saisons dominantes, etc. Ces aspects climatiques sont cruciaux pour comprendre comment le dispositif expérimental sera testé et utilisé dans des conditions réalistes.

La conception et la réalisation du prototype ont été réalisées en tenant compte des conditions climatiques locales et des exigences fonctionnelles spécifiques. Des étapes clés incluent la conception, l'assemblage et etc. Le prototype de la serre intelligente est destiné à servir de plateforme expérimentale pour évaluer et améliorer les pratiques agricoles durables et l'utilisation efficace des ressources énergétiques renouvelables dans la région d'étude.

CHAPITRE 3.

Gestion d'une serre à base d'arduino

3.1 Introduction

Le contrôle du microclimat d'une serre est essentiel pour optimiser la croissance des plantes, améliorer les rendements et garantir des conditions de culture idéales. L'Arduino, grâce à sa flexibilité et à sa compatibilité avec une large gamme de capteurs et d'actionneurs, est une solution idéale pour créer un système de contrôle automatisé et efficace.

Ce chapitre est dédié à une présentation théorique de la méthode Arduino utilisée pour réaliser ce projet, ainsi qu'à la description des différents matériels nécessaires et logiciels associés.

3.2 Présentation l'Arduino

En 2005, Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino et David Mellis développent le premier prototype de la plateforme Arduino à l'Institut de Design Interaction d'Ivrea, en Italie. Le but était de créer une plateforme open-source facile à utiliser pour les étudiants en design et en informatique.

Le premier modèle d'Arduino, l'Arduino Uno, a été lancé en 2005 et a rapidement gagné en popularité auprès des amateurs, des artistes, des designers et des ingénieurs en raison de sa simplicité d'utilisation et de sa flexibilité. Depuis lors, de nombreux autres modèles d'Arduino ont été développés pour répondre aux besoins de différents projets et applications. L'Arduino est devenu un outil incontournable dans le domaine de l'électronique et de la programmation, permettant à des personnes de tous niveaux de compétence de créer des projets innovants et créatifs. Arduino continue d'évoluer et de s'adapter aux besoins changeants des développeurs, des amateurs et des professionnels du monde entier.

3.2.1 Définition de l'Arduino

L'Arduino est une plate-forme open source d'électronique programmée qui est basée sur une carte à microcontrôleur et un logiciel. Plus simplement, on peut dire que l'Arduino est un module électronique, doté d'un microcontrôleur programmable, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle, la domotique, le contrôle des serres automatique (la température, l'arrosage &), le pilotage d'un robot, etc.

3.2.2 Les type de carte Arduino

Les cartes ARDUINO sont classées en trois grands types :

- **Officielles** : qui sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel : Smart Projects
- **Compatibles** : qui ne sont pas fabriqués par Smart Projects, mais qui sont totalement compatibles avec les ARDUINO officielles.
- **Autres** : fabriquées par diverses entreprises et commercialisées sous un nom différent (Freeduino, Seeduino, Femtoduino) [49].

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino on peut citant quelque module :

- Le NG d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.
- L'extrémité d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Microcontrôleur ATmega8.
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- L'Arduino Diecimila, avec une interface d'USB et utilise un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).
- L'Arduino Esplora : ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération. [50].

Parmi ces types de cartes, nous avons opté pour une carte Arduino UNO (carte de base). Son principal avantage réside dans la simplicité de mise en œuvre de la commande. Elle est composée comme suit :

- **Microcontrôleur** : Le microcontrôleur est l'unité centrale d'Arduino Uno.
- **Broches numériques** : Il y a 14 broches numériques sur Arduino Uno qui peuvent être connectées à des composants tels que LED, LCD, etc.
- **Broches analogiques** : Il y a 6 broches analogiques sur l'Uno. Ces broches sont généralement utilisées pour connecter des capteurs car tous les capteurs ont généralement des valeurs analogiques. La plupart des composants d'entrée sont connectés ici.
- **Alimentation** : les broches d'alimentation sont IOREF, GND, 3.3V, 5V, Vin sont utilisées pour connecter des capteurs car tous les capteurs ont généralement des valeurs analogiques. La plupart des composants d'entrée sont connectés ici.
- **Prise d'alimentation** : la carte Uno peut être alimentée à la fois par une alimentation externe et via un câble USB.
- **Port USB** : Cette fonction sert à programmer la carte, à télécharger le programme. Le programme peut être téléchargé sur la carte à l'aide de l'IDE Arduino et du câble USB.
- **Bouton de réinitialisation** : il est utilisé pour redémarrer le programme téléchargé.

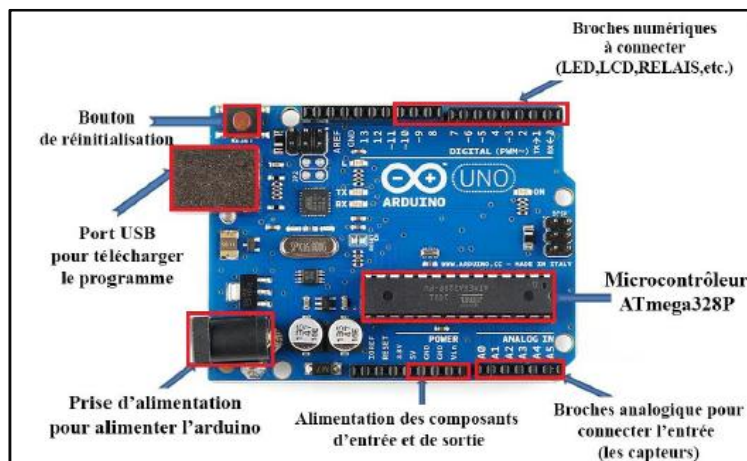


Figure 3.1 : Carte d'Arduino

3.2.3 Types du module Arduino

Actuellement, on peut citer quelques types existant sur le marché :

- **Le module Arduino Bluetooth**

Le module microcontrôleur Arduino Bluetooth est une version de la plateforme populaire Arduino qui utilise une connexion série Bluetooth au lieu d'une connexion USB. Il se caractérise par une très faible consommation d'énergie et une portée limitée à environ dix mètres. Bien que le débit soit faible, ce module est très bon marché et peu encombrant, ce qui le rend idéal pour les projets nécessitant une communication sans fil à courte distance.

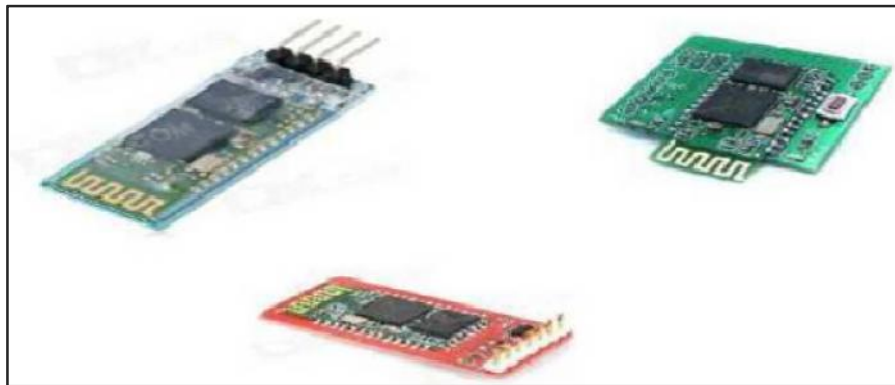


Figure 3.2 : Module Bluetooth pour Arduino

- **Le module Shield ArduinoWifi**

Le module Shield Arduino Wifi permet de connecter une carte Arduino à un réseau internet sans fil (Wifi). Ce module s'interface facilement avec une carte Arduino, ajoutant des capacités de connectivité sans fil. Il offre une solution pratique pour les projets nécessitant une communication réseau sans fil, permettant à l'Arduino de se connecter à des réseaux locaux, d'accéder à des services en ligne et d'envoyer ou de recevoir des données via Internet.



Figure 3.3 : Module wifi pour Arduino

- **Le module XBee Arduino**

Le module XBee Arduino est conçu pour intégrer des capacités de communication sans fil à une carte Arduino. Utilisant la technologie Zigbee, ce module permet une communication fiable et à faible consommation d'énergie sur des distances modérées, typiquement allant jusqu'à 100 mètres en intérieur et plus en extérieur. Les modules XBee sont idéaux pour créer des réseaux maillés, ce qui les rend parfaits pour les projets de domotique, les capteurs distribués, et les applications nécessitant une communication sans fil robuste entre plusieurs dispositifs.

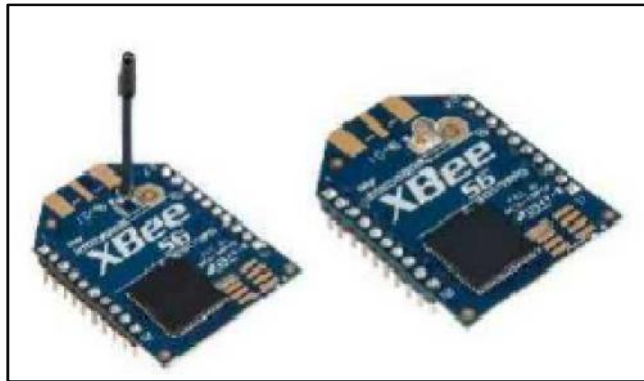


Figure 3.4 : Module XBee Arduino

- **Le module Arduino Wifi ESP8266**

Le module ESP8266 est un microcontrôleur Wifi très populaire qui peut être utilisé avec les cartes Arduino pour ajouter des capacités de connectivité sans fil à vos projets. Ce module est connu pour sa faible consommation d'énergie, son faible coût et ses capacités de traitement suffisantes pour une variété de projets IoT (Internet des objets) [51].

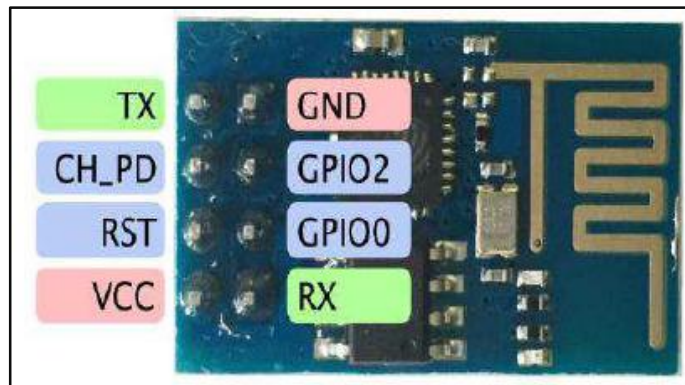


Figure 3.5 : Module Arduino Wifi ESP8266

3.3 Application de carte arduino en contrôle microclimatique dans la serre

Les cartes Arduino, grâce à leur flexibilité et à leur compatibilité avec une vaste gamme de capteurs et d'actuateurs, offrent une solution pratique et économique pour la gestion des conditions climatiques dans les serres. Dans cette partie on a utilisé la carte Arduino afin de contrôler la température et l'humidité à l'intérieur de notre serre réalisée.

3.3.1 Matériels utilisé pour la réalisation de la carte Arduino

Afin de réaliser unecarte Arduino, plusieurs matériels auxiliaires peuvent être nécessaires liés entre eux pour étendre les fonctionnalités de la carte principale et permettre de gérer et contrôler la serre.

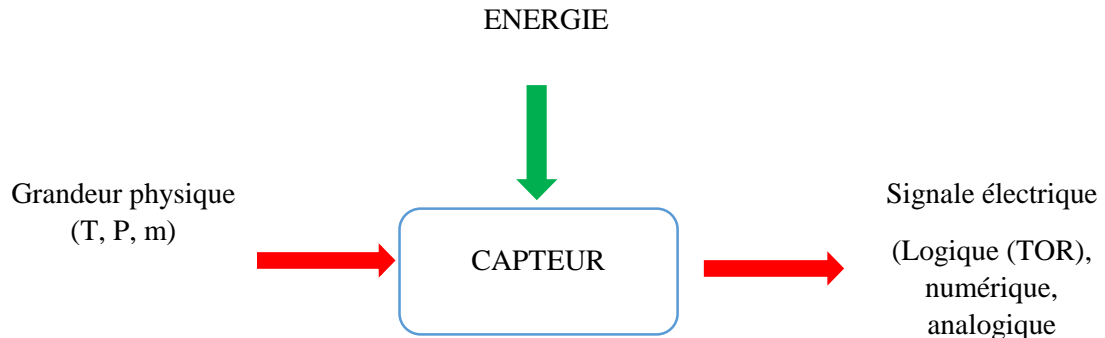
▪ Les Capteurs

Un capteur est un dispositif qui collecte des informations à partir d'une grandeur physique donnée et les transforme en une autre grandeur physique souvent de nature électrique. Cette grandeur transformée est représentative de la grandeur initialement prélevée et peut être utilisée à des fins de mesure ou de commande [52].

Les capteurs se classent selon leur principe de fonctionnement, on distingue deux types :

- *Capteurs passifs* : Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée.
- *Capteurs actifs* : Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement.

Dans notre cas on a choisi un capteur actif LDR ((Light-Dependent Resistor) ou cellules photoconductrices (voir figure de fonctionnement du capteur).



► Capteur LDR

Une photorésistance, également connue sous le nom de LDR (Light-Dependent Resistor) ou cellule photoconductrice, est un composant électronique dont la résistance varie en fonction du flux lumineux auquel elle est exposée. Elle permet de détecter la lumière en mesurant son intensité. La résistance de la LDR diminue lorsque l'intensité lumineuse augmente, et inversement.

Ces capteurs réagissent à des lumières ayant des longueurs d'onde comprises entre 400 nm (violet) et 600 nm (orange), avec un pic de sensibilité autour de 520 nm (vert). Ils sont donc adaptés pour détecter la lumière visible, dont la longueur d'onde se situe entre 400 et 600 nm.

Ils sont également de petite taille (quelques centimètres carrés), économiques, et faciles à intégrer dans un montage. Les photorésistances sont notamment utilisées pour le déclenchement automatique de l'éclairage, étant souvent intégrées dans des relais optiques.[53]

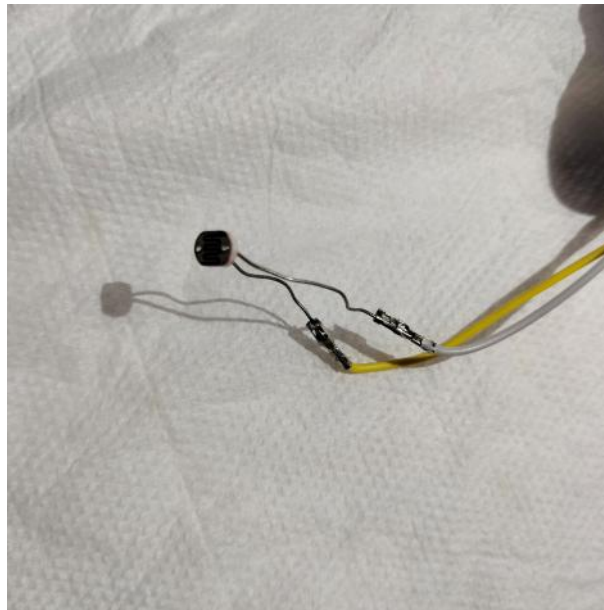


Figure 3.6 : Capteur LDR.

Principe de fonctionnement

Un cristal semi-conducteur à basse température contient peu d'électrons libres, ce qui rend sa conductivité très faible, proche de celle d'un isolant. Lorsque la température du cristal

augmente, de plus en plus d'électrons deviennent libres. En effet, les électrons de valence reçoivent suffisamment d'énergie thermique pour briser les liaisons covalentes et se libérer des atomes, ce qui leur permet de participer à la conduction électrique.

À température constante, lorsqu'un cristal semi-conducteur est exposé à une radiation lumineuse, les photons absorbés peuvent exciter certains électrons, rompant ainsi les liaisons covalentes entre les atomes du cristal. Cette excitation augmente la disponibilité d'électrons libres pour la conduction. Par conséquent, la résistance d'un dispositif comme une LDR (résistance dépendante de la lumière) est inversement proportionnelle à l'intensité lumineuse reçue : plus la lumière est intense, plus la résistance de la LDR diminue. La sensibilité de la LDR varie en fonction de la fréquence de la radiation lumineuse [54].

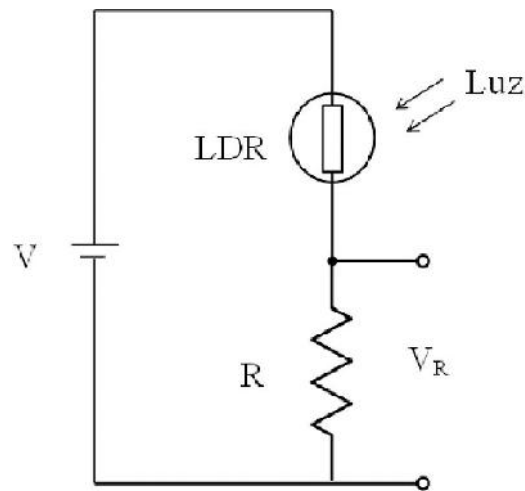


Figure 3.7 : Circuit équivalent du capteur LDR utilisé

► Capteur de température et d'humidité DHT11

Grâce à la technologie employée pour sa fabrication, ce capteur offre une grande fiabilité, une stabilité à long terme exceptionnelle, et un temps de réponse très rapide. Les capteurs DHT11 sont étalonnés avec précision en laboratoire. De plus, leur interface série à fil unique permet une intégration rapide et facile dans les systèmes numériques. La carte DHT11 génère une sortie numérique correspondant aux valeurs de température et d'humidité mesurées.

L'interface physique du capteur est réalisée via un connecteur à 3 broches essentielles : VCC, DATA et GND. Avec ses dimensions compactes de 1.05" x 0.7" et son poids très léger, cette carte est idéale pour intégrer des petits systèmes [55].

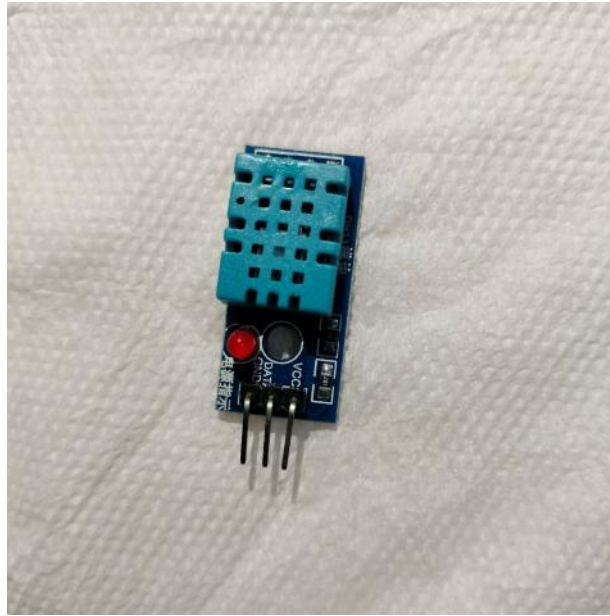


Figure 3.8 : Capteur de température et d'humidité DHT11

➤ **Caractéristiques techniques du DHT11 [56] :**

- Alimentation : 5V.
- Consommation : 0.5 mA en nominal / 2.5 mA maximum.
- Etendue de la mesure de température : 0°C à 50°C ± 2°C.
- Etendue de la mesure de l'humidité : 20-90%RH ±5%RH.
- Période de mesure: 2s.
- Dimensions : 12x15.5x5.5mm

▶ **Capteur de niveau d'eau**

Le capteur de pluie est une carte sur substrat céramique spécialement conçue pour créer des détecteurs de pluie utilisant la détection capacitive. À l'arrière, il est équipé d'une mini résistance chauffante qui permet d'éliminer la condensation et la rosée, assurant ainsi des mesures plus précises et fiables dans des conditions humides.

Initialement utilisés principalement en agriculture, ces détecteurs trouvent désormais de nombreuses autres applications. Ils peuvent être intégrés dans des systèmes météorologiques et des systèmes d'automatisation pour bâtiments, tels que la gestion automatisée de volets roulants ou d'éclairage. Conçu sur une plaque en substrat céramique

(alumine), le capteur de niveau d'eau possède d'excellentes caractéristiques thermoélectriques et une bonne résistance aux agressions mécaniques. Une mini résistance chauffante, associée à un capteur de température situé au dos du module, permet d'éviter les détections intempestives causées par la rosée du matin.

Son principe de fonctionnement repose sur une détection de type capacitive. Ainsi l'accumulation de niveau d'eau sur la surface de la plaque aura pour conséquence de modifier la valeur de sa capacité. Le capteur devra être associé à une électronique externe (non livrée) de conversion "fréquence / tension" dont le niveau de sortie sera lié à la valeur de la capacité de la platine de capteur de niveau d'eau.

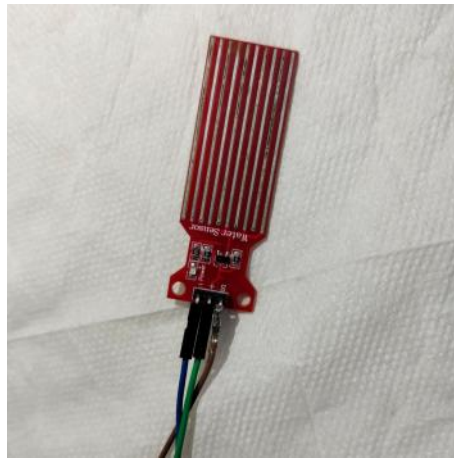


Figure 3.9 : Capteur de niveau d'eau.

➤ **Caractéristiques**

- Mode de détection: capacitif
- Technologie: Substrat céramique (AL₂O₃)
- Capacité nominale: 105 pF (10 %)
- Résistance chauffante: 42 ohms (10 %)
- NTC: 1 Kohm / 25 °C

▶ **Mini Câble USB**

Le mini câble USB est utilisé pour connecter la carte Arduino Nano à l'ordinateur.



Figure 3.10 : mini câble USB .

► **Afficheur LCD (Liquid Crystal Display)**

Un écran LCD (Liquid Crystal Display) est un dispositif alphanumérique qui utilise la technologie d'affichage à cristaux liquides (LCD) pour présenter des caractères et des symboles. Il est couramment employé dans les projets Arduino pour afficher des informations en temps réel de manière claire et lisible [57].

L'afficheur LCD avec module I2C que nous avons utilisé simplifie le câblage en limitant le nombre de fils nécessaires à seulement 4 lors de la connexion à l'Arduino.

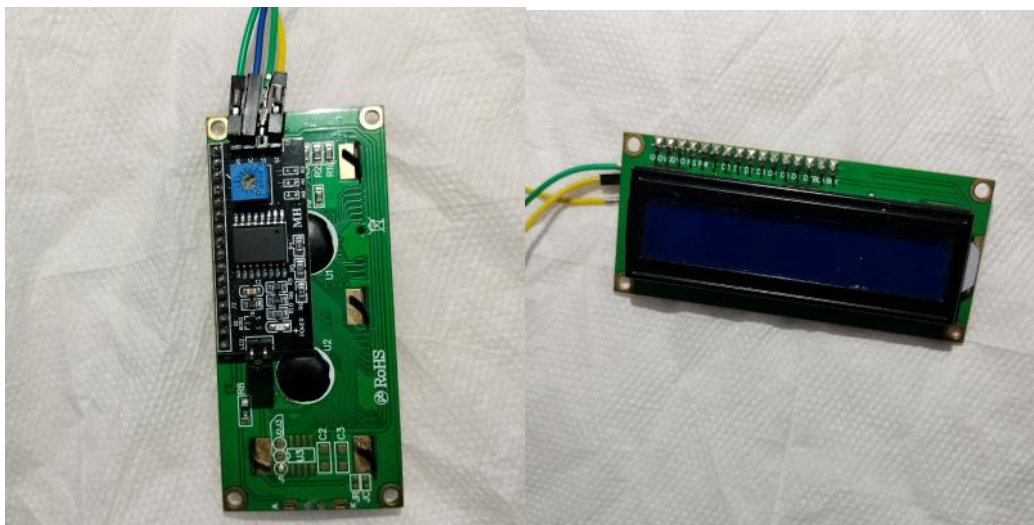


Figure 3.11 : Afficheur LCD

► Batterie de 9 volts

Une batterie de 9 volts est une source d'alimentation qui délivre une tension de sortie de 9 volts. Elle est largement utilisée dans les appareils électroniques portables tels que les émetteurs radio, les jouets électroniques et les outils électroniques. De plus, elle est fréquemment employée dans des applications de loisirs et de bricolage comme les circuits électroniques et les projets de robotique.

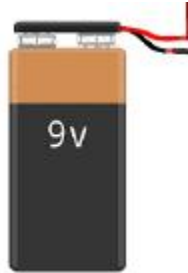


Figure 3.12 : Batterie

► Les relais

Les relais sont des dispositifs électromécaniques essentiels dans les systèmes électroniques et électriques, permettant de gérer des charges lourdes à travers de faibles signaux de commande. Agissant comme des interrupteurs, ils ouvrent ou ferment un circuit en réponse à un signal électrique. Les relais offrent une solution fiable pour isoler les circuits de faible puissance des circuits de haute puissance, ce qui protège efficacement les microcontrôleurs et autres composants sensibles contre les surtensions et les interférences électriques.

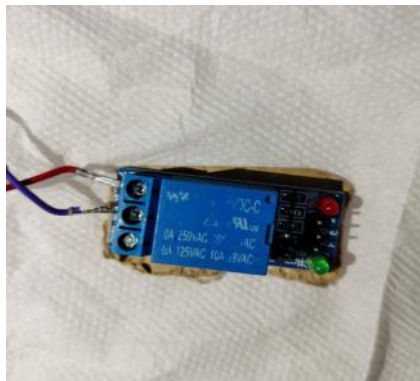


Figure 3.13 : Relai

Un relais est un composant intermédiaire entre la carte Arduino et la pompe à eau. Cela permettra à la carte Arduino de contrôler la pompe à eau. Le rôle du relais est de démarrer ou d'arrêter la pompe qui irriguée la serre.

► La Pompe à eau

Une pompe à eau est un dispositif mécanique utilisé pour déplacer l'eau d'un endroit à un autre. Elle fonctionne en créant une pression qui force l'eau à traverser un système de conduites ou de canalisations. Les pompes à eau sont utilisées dans de nombreux contextes, tels que l'approvisionnement en eau domestique, l'irrigation agricole, le drainage des eaux pluviales, les systèmes de refroidissement industriels, et bien d'autres applications où le déplacement efficace de l'eau est nécessaire. Il existe différents types de pompes à eau, chacun adapté à des besoins spécifiques en termes de débit, de pression et d'environnement d'utilisation. A cet effet, une pompe a été utilisée pour l'irrigation de notre culture dans la serre[58].



Figure 3.14 : Pompe à eau

► Les LEDs

La LED est un composant optoélectronique qui génère de la lumière lorsqu'un courant électrique le traverse. Elle fonctionne sur le principe de l'électroluminescence d'un semi-conducteur. On a utilisé une LED verte pour indiquer le fonctionnement de la pompe.

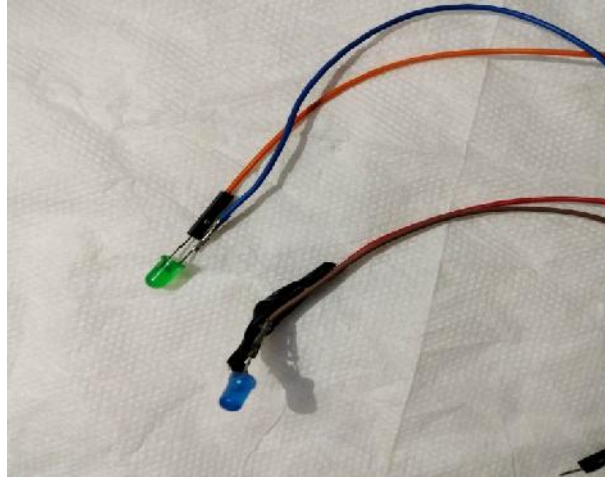


Figure 3.15 : LED

► Lecteur carte SD

Le module de carte Arduino Micro SD est un dispositif basé sur la communication SPI. Il peut être utilisé pour fournir un stockage externe aux projets utilisant un microcontrôleur ou un microprocesseur, permettant de stocker divers types de données, y compris des images et des vidéos. Les cartes SD fonctionnent généralement à un niveau logique de 3,3V, mais le module de carte Micro SD convertit ces signaux en 5V grâce à un convertisseur de niveau logique intégré. [59].



Figure 3.16 : Lecteur carte SD

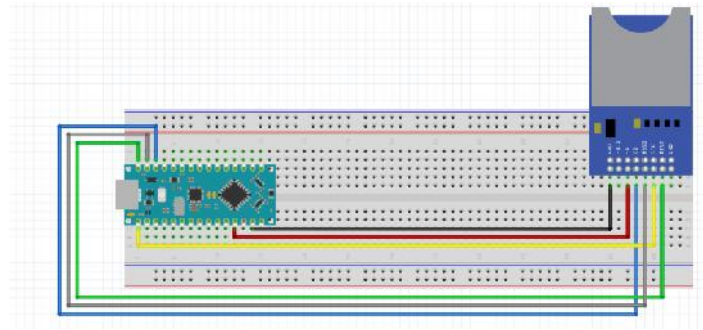


Figure 3.17 : Montage porte carte SD avec Nano

3.4 Logiciel utilise

Le logiciel Arduino, connu sous le nom de l'IDE Arduino (Integrated Development Environment), est très simple à utiliser et est compatible avec tous les principaux systèmes d'exploitation, y compris Windows, macOS et Linux. Il est basé sur le langage de programmation C/C++ avec des extensions spécifiques à Arduino, ce qui facilite la programmation des microcontrôleurs.

La programmation de la carte Arduino et la création d'une application sont essentielles pour contrôler les composants de la serre intelligente, permettant ainsi une automatisation et une surveillance optimales de l'environnement de culture des plantes. Pour cela, logiciels spécifiques est nécessaire.

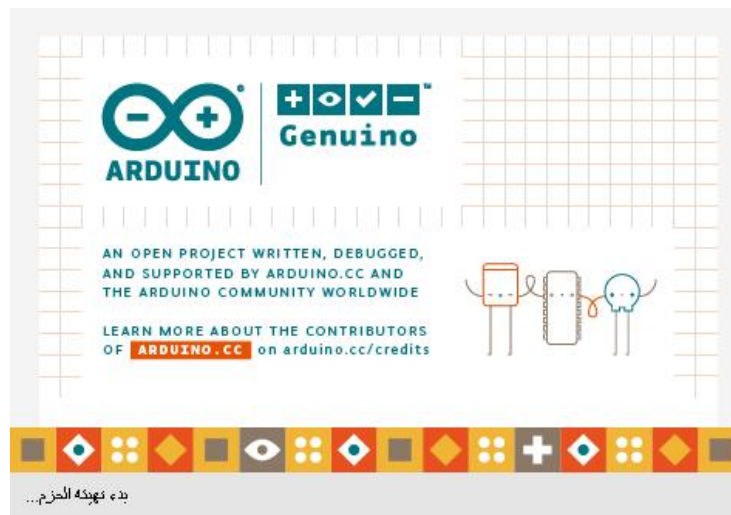


Figure 3.18 : Logiciel Arduino

3.4.1 Applicationsur logiciel

- *Ouvrir une nouvelle fenêtre*

Ouvrir une nouvelle fenêtre dans l'IDE Arduino est simple et rapide, nous permettant de commencer à travailler sur le nouveau projet immédiatement.

Afin d'ouvrir une nouvelle fenêtre de l'Arduino on lance l'IDE Arduino avec un double-clic sur l'icône de l'IDE Arduino.

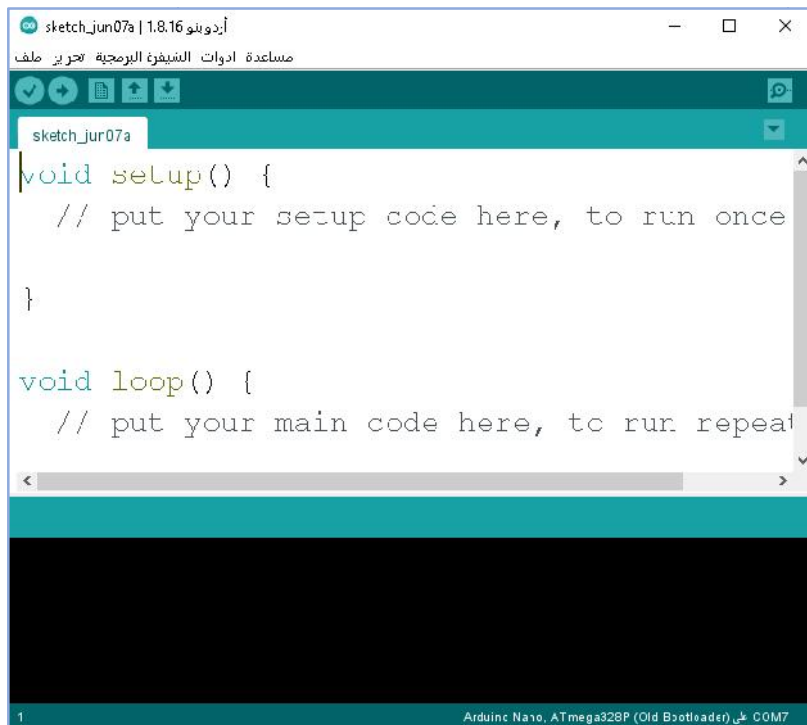


Figure 3.19 : Nouvelle fenêtre Arduino

- *Ecrire le Programme*

Écrire un programme sur l'IDE Arduino est simple et intuitif. En utilisant les fonctions 'setup()' et 'loop()', nous pouvons facilement créer des programmes pour contrôler les broches de notre carte Arduino et interagir avec divers capteurs et actionneurs.

```

sketch_jr_007: 1.0.16
sketch_jr_007:
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

int hum;
int temp;
int ldr-A3;
int lum;
    
```

```

sketch_jr_007: 1.0.16
sketch_jr_007:
int led=5;
int buzzer 10;
int pompo=6;
int clima=7;
int cf=9;
int flame;
int ws-A0;
int water;

int sol;

void setup() {
    
```

```

sketch_jun07a.g
-----
int.begin();
led.begin();
led.backlight();

Serial.begin (9600);

pinMode (pompe,OUTPUT);
pinMode (led,OUTPUT);
pinMode (ledr,INPUT);
pinMode (wa,INPUT);
pinMode (c1fms,OUTPUT);
    
```

```

sketch_jun07a.g
-----
int.begin();
led.begin();
led.backlight();

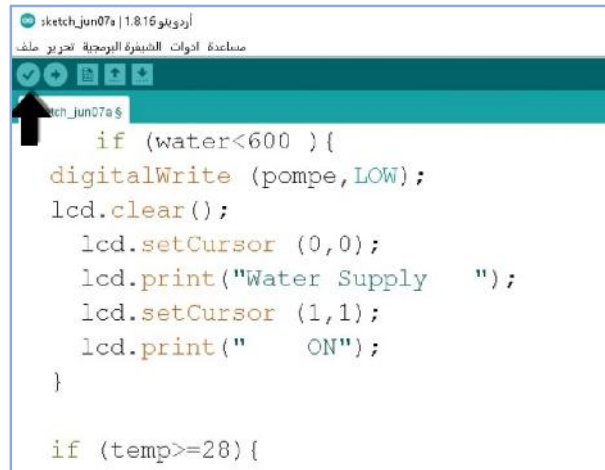
Serial.begin (9600);

pinMode (pompe,OUTPUT);
pinMode (led,OUTPUT);
pinMode (ledr,INPUT);
pinMode (wa,INPUT);
pinMode (c1fms,OUTPUT);
    
```

Figure 3.20 : Fenêtre de code de programmation

- Validation et transformation de programme

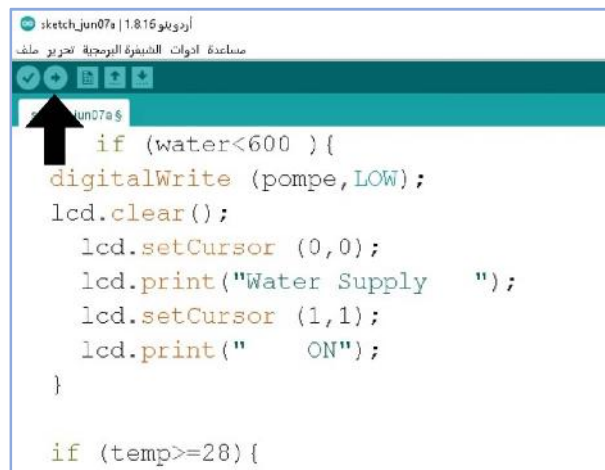
Valider et transformer un programme Arduino implique de s'assurer que le code fonctionne correctement par le biais de la compilation, des tests matériels et du débogage. Les transformations permettent d'ajouter de nouvelles fonctionnalités et d'améliorer le programme en fonction des besoins spécifiques du projet.



```
sketch_jun07a | 1.8.16 | أريونو
مساعدة أدوات الشيفرة البرمجية تحرير ملف
sketch_jun07a $
    if (water < 600 ) {
digitalWrite (pompe, LOW);
lcd.clear();
  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print("Water Supply ");
  lcd.setCursor (1,1);
  lcd.print(" ON");
}

if (temp >= 28) {
```

a) Validation du programme



```
sketch_jun07a | 1.8.16 | أريونو
مساعدة أدوات الشيفرة البرمجية تحرير ملف
sketch_jun07a $
    if (water < 600 ) {
digitalWrite (pompe, LOW);
lcd.clear();
  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print("Water Supply ");
  lcd.setCursor (1,1);
  lcd.print(" ON");
}

if (temp >= 28) {
```

b) Transformation de programme

Figure 3.21 : Validation et transformation de programme

Notre système Arduino, programmable et flexible, permet une automatisation précise et une surveillance en temps réel des conditions environnementales à l'intérieur de la serre. Il régule des paramètres essentiels tels que la température, l'humidité, la ventilation et l'irrigation, assurant un environnement optimal pour la croissance des plantes. Grâce à des capteurs connectés, les données sont continuellement collectées et analysées, permettant des ajustements automatiques ou manuels via une interface utilisateur. Cette combinaison de technologie photovoltaïque et d'automatisation par Arduino maximise l'efficacité énergétique et améliore la productivité agricole tout en étant respectueuse de l'environnement.

3.4.2 Schéma Synoptique

Un schéma synoptique est la représentation graphique simplifiée du système ou de processus montrant les principales parties ou étapes et leurs relations. Pour un projet Arduino, un schéma synoptique peut illustrer les composants principaux et leurs connexions. La figure 22 présente le schéma synoptique pour le projet de contrôle microclimatique dans la serre avec Arduino.

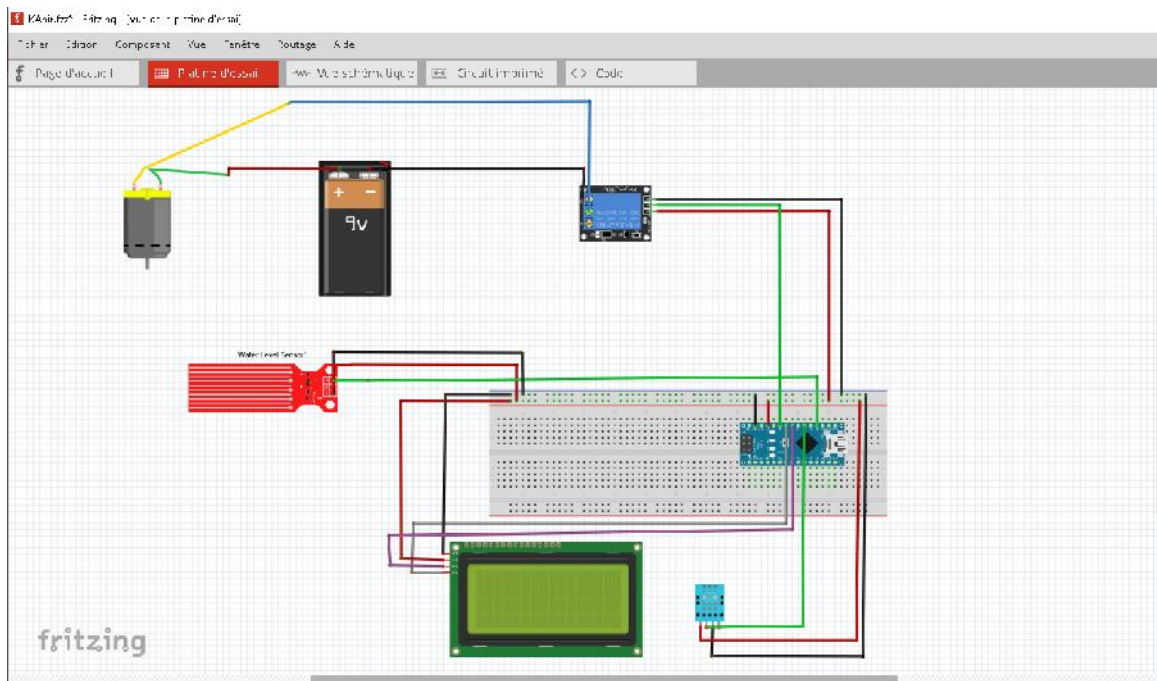


Figure 3.22 : Schéma Synoptique

- **Tests et Optimisation**

Après l'installation, nous avons effectué une série de tests pour vérifier le bon fonctionnement de chaque composant et l'intégration globale du système. Des ajustements ont été faits pour optimiser la performance et assurer une efficacité maximale.

Grâce à ce montage, notre serre agricole alimentée par le système photovoltaïque est maintenant capable de fonctionner de manière autonome et durable, utilisant l'énergie solaire pour alimenter ses systèmes et assurer des conditions de croissance optimales pour les plantes.

3.5 Travaux en perspectives

- **Création d'une Horloge**

Une horloge ou minuterie exerce un contrôle temporel en agissant comme un relais qui "mémorise" sa position (contact fermé) pendant une durée réglable. Il existe deux types de dispositifs de contrôle temporel de ce genre [60].

- L'horloge mécanique : Permet d'autoriser l'allumage des luminaires uniquement à des horaires prédéterminés. Cependant, ce système présente un inconvénient majeur : il ne prend pas en compte les variations de luminosité au cours de l'année [60].
- L'horloge astronomique : Est très précise et détermine automatiquement, grâce à des calculs mathématiques, les heures d'allumage et d'extinction de l'éclairage. Contrairement aux horloges mécaniques, les horaires d'allumage varient quotidiennement pour s'adapter aux variations de luminosité tout au long de l'année [60].

- **Le module RTC DS 1302**

Le module d'horloge temps réel DS1302 fournit une horloge temps réel DS1302 avec un cristal 32kHz Batterie de secours, le tout dans un petit module SIP qui peut être facilement branché sur une maquette. Ce module RTC est capable de gérer l'heure (heures, minutes, secondes) et la date (jours, mois, année) tout en s'occupant des mois de 30 ou 31 jours, des années bissextiles, etc. Le calendrier intégré dans le module DS1302 est valable de l'an 2000 à l'an 2100. [61]

Caractéristiques :

- Support de batterie CR1220 intégré
- L'interface SPI prend en charge la synchronisation 3 fils ou 4 fils connexion série
- La tension de fonctionnement large supporte 3.3V et 5V microcontrôleurs
- Header Un en-tête SIP pratique facilite la navigation

Spécifications :

- Exigences de puissance : 3.3-5 VDC
- Exigences actuelles : 3.2mA @ 5 VDC
- Interface de communication : SPI @ Vdd (3 ou 4 fils)
- Température de fonctionnement : +32 à +158 ° F (0 à +70 ° C)
- Dimensions : (1,22 x 0,6) 31,2 x 15,5 mm

Autre application:

- Horloge électronique
- Enregistreur de données avec date / heure
- Minuterie de contrôle des gicleurs



Figure 3.23 : Le module RTC DS 1302

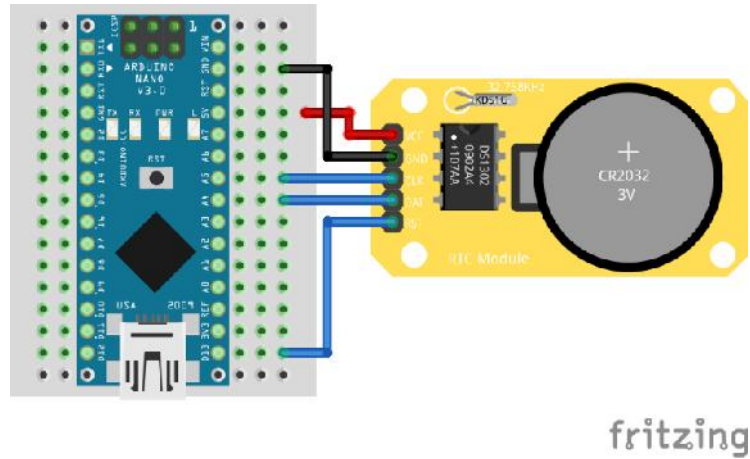


Figure 3.24 : Le module RTC DS 1302 avec l'Arduino nano

3.6 Conclusion

L'intégration des cartes Arduino dans les systèmes de contrôle microclimatique des serres représente une avancée significative vers des pratiques agricoles plus intelligentes et efficaces. Cela permet non seulement de maximiser les rendements et la qualité des cultures, mais aussi de réduire les coûts énergétiques et d'optimiser l'utilisation des ressources. Grâce à l'Arduino, même les petites exploitations agricoles et les amateurs peuvent bénéficier de technologies avancées pour une agriculture plus efficace et durable.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet international bilatéral Algéro-Tunisien visant à promouvoir la coopération dans le domaine de la recherche et de l'innovation pour trouver des solutions énergétiques durables pour les serres, en utilisant des sources naturelles et renouvelables.

L'étude et la réalisation d'un système photovoltaïque pour une serre hydroponique contrôlée par Arduino démontrent de manière convaincante comment l'innovation technologique peut relever les défis actuels de l'agriculture. Ce projet associe durabilité, efficacité et modernité en intégrant des panneaux solaires pour fournir une énergie propre et renouvelable, tout en automatisant la gestion des conditions environnementales de la serre grâce à un microcontrôleur Arduino.

Dans la première partie de notre étude, nous avons analysé en profondeur les paramètres influençant le système solaire PV et l'environnement sous serre. Nous avons également examiné les avancées technologiques dans le domaine du contrôle des serres et du management, en effectuant un état de l'art approfondi.

Dans la seconde partie, nous avons exploré l'application du logiciel PVsyst pour dimensionner le système destiné à alimenter notre serre expérimentale. Nous avons discuté des équipements et des outils utilisés pour la construction et la réalisation du dispositif à échelle réelle, ainsi que du prototype développé.

Enfin, dans la dernière section, nous avons procédé à l'assemblage des différents composants et capteurs intégrés, en utilisant Arduino pour le contrôle environnemental de la serre. Nous avons mis en œuvre le système et effectué des tests initiaux, obtenant ainsi des résultats fiables pour évaluer son fonctionnement.

En conclusion, ce projet démontre la capacité à combiner des technologies avancées pour créer des solutions agricoles durables et efficaces. L'intégration de l'énergie solaire et l'automatisation via Arduino permet non seulement de répondre aux défis contemporains de la gestion du microclimat de la serre agricole, mais aussi de contribuer à la construction d'un avenir plus vert et plus durable. Ces résultats pourraient inspirer de futures initiatives visant à promouvoir des pratiques agricoles responsables et résilientes à l'échelle mondiale, renforçant ainsi la durabilité et l'efficacité des systèmes agricoles modernes.

Perspectives

Bien que nous ayons consacré nos efforts à la réalisation de ce modeste travail et acquis des concepts précieux, nous reconnaissons que notre contribution ne représente qu'un premier pas sur un chemin encore long. Ce travail peut être amélioré, complété et approfondi de diverses manières à l'avenir, notamment :

- En utilisant des capteurs et des algorithmes de contrôle précis,
- Surveillance et ajustement en temps réel,
- En intégrant Arduino avec des applications horologiques dans la gestion du microclimat des serres,

Références

- [1] Johnsson, F., Kjärstad, J., & Rootzén, J. (2019). The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels. *Climate Policy*, 19(2), 258-274.
- [2] Mekhilef, S., Faramarzi, S. Z., Saidur, R., & Salam, Z. (2013). The application of solar technologies for sustainable development of agricultural sector. *Renewable and sustainable energy reviews*, 18, 583-594.
- [3] Qusay Hassan, Patrik Viktor, Tariq J. Al-Musawi, Bashar Mahmood Ali, Sameer Algburi, Haitham M. Alzoubi, Ali Khudhair Al-Jiboory, Aws Zuhair Sameen, Hayder M. Salman, Marek Jaszczur, The renewable energy role in the global energy Transformations, *Renewable Energy Focus*, Volume 48, 2024, 100545, <https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100545>.
- [4] Mahboob, M. A., Atif, I., & Iqbal, J. (2014, November). Modelling topographic variation of solar radiation using GIS. In 2014 International Conference on Energy Systems and Policies (ICESP) (pp. 1-6). IEEE.
- [5] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, and K.-H. Kim, "Solar energy: Potential and future prospects," *Renewable and Sust Ener Rev*, vol. 82, pp. 894–900, 2018.
- [6] Azzaoui Aya, Mehaya Roua. *AliaAdaptation et rentabilité d'une installation photovoltaïque autonome. Mémoire de Master. Université de Ghardaia. 2024*
- [7] B. N. Alajmi, K. H. Ahmed, S. J. Finney, and B. W. Williams, "Fuzzy-logic-control approach of a modified hill-climbing method for maximum power point in microgrid standalone photovoltaic system," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 4, pp. 1022–1030, 2011.
- [8] H. Ben cheikh el hocine, *Simulation numérique de modèle collecteur hybride photovoltaïque/photothermique, Mémoire de magistère, Université de Constantine, 2009.*
- [9] S. Mekhilef, R. Saidur, and A. Safari, "A review on solar energy use in industries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 4, pp. 1777–1790, 2011.
- [10] *Encyclopedie-Energie*, <https://www.encyclopedie-energie.org/lenergie-solaire-photovoltaique-pv-une-filiere-competitive-en-site-isole/>. Consulter le 15/06/2024.
- [11] Chel, A., Kaushik, G. (2011), *Renewable energy for sustainable agriculture. Agronomy for Sustainable Development*, 31(1), 91-118.
- [12] Carbone, R., De Capua, C., Morello, R. (2011), *Photovoltaic systems for powering greenhouses. In: 3rd International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact. Otranto: ICCEP. p474-479*
- [13] Xue, J. (2017), *Photovoltaic agriculture new opportunity for photovoltaic applications in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1-9.
- [14] Chikaire, J., Nnadi, F.N., Nwakwasi, R.N., Anyoha, N., Aja, O.O., Onoh, P.A., Nwachukwu, C.A. (2010), *Solar energy applications for agriculture. Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, 2,58-62.
- [15] Bouzidi Belkacem. *Les Energies Renouvelables dans le secteur agricole. Bulletin des Energies Renouvelables N°49 - 2020*
- [16] Bezari, S. *Expérimentation, Modélisation et Amélioration du Microclimat d'une Serre Tunnel Agricole Sous Climat de la Région de Ghardaïa. Doctoral dissertation, Université de Laghouat-Amar Telidji. 2021*

- [17] Aissa, M., Boutelhig, A. (2021). CFD comparative study between different forms of solar greenhouses and orientation effect. *International Journal of Heat and Technology*, Vol. 39, No. 2, pp. 433-440.
- [18] J. Bailey, B., "Principles of environmental control ». "Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouse Heating" (1988), 35-174.
- [19] Bouaicha, Y. and D. Boubekour, *Design and Simulation of Ventilation System For Agricultural Greenhouse*, 2017.
- [20] Körner, O., & Challa, H. (2003). Process-based humidity control regime for greenhouse crops. *Computers and electronics in agriculture*, 39(3), 173-192.
- [21] Hassanien, R. H. E., Li, M., & Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 989-1001.
- [22] Postscapes. Smart Greenhouse Remote Monitoring Systems. <https://www.postscapes.com/smart-greenhouses/>. Access le 25/06/2024
- [23] D. Kolokotsa et al. "Development of an intelligent indoor environment and energy management system for greenhouses". In: *Energy Conversion and Management* 51.1 (2010), pp. 155–168.
- [24] Prakash, C., Singh, L. P., Gupta, A., & Lohan, S. K. (2023). Advancements in smart farming: A comprehensive review of IoT, wireless communication, sensors, and hardware for agricultural automation. *Sensors and Actuators A: Physical*, 114605.
- [25] E. Cedillo and M. Calzada. "La horticultura protegida en México situación actual y perspectivas". In: México, DF: UNAM (2012).
- [26] F. Fourati and M. Chtourou. "A greenhouse control with feed-forward and recurrent neural networks". In: *Simulation Modelling Practice and Theory* 15.8 (2007), pp. 1016–1028.
- [27] Hassanien, R. H. E., Li, M., & Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 989-1001.
- [28] Cossu, M., Ledda, L., Urracci, G., Sirigu, A., Cossu, A., Murgia, L., ... & Yano, A. (2017). An algorithm for the calculation of the light distribution in photovoltaic greenhouses. *Solar Energy*, 141, 38-48.
- [29] Jooste, F. P., Kumar, A., & Hancke, G. P. (2017, March). Energy efficient irrigation scheduling system based on the iso/iec/ieec 21451 standards. In *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (pp. 1441-1446). IEEE.
- [30] Reza, J., Trillo, C., Sánchez, J. A., Martínez, J., & Valera, D. (2018). Optimization model for on-farm irrigation management of Mediterranean greenhouse crops using desalinated and saline water from different sources. *Agricultural Systems*, 166, 173-183.
- [31] Savić, T., & Radonjić, M. (2018, February). WSN architecture for smart irrigation system. In *2018 23rd International Scientific-Professional Conference on Information Technology (IT)* (pp. 1-4). IEEE.
- [32] Yasin, H. M., Zeebaree, S. R., & Zebari, I. M. (2019, April). Arduino based automatic irrigation system: Monitoring and SMS controlling. In *2019 4th Scientific International Conference Najaf (SICN)* (pp. 109-114). IEEE.
- [33] Ouammi, A., Choukai, O., Zejli, D., & Sayadi, S. (2020). A decision support tool for the optimal monitoring of the microclimate environments of connected smart greenhouses. *IEEE Access*, 8, 212094-212105.
- [34] Achour, Y., Ouammi, A., Zejli, D., & Sayadi, S. (2020). Supervisory model predictive control for optimal operation of a greenhouse indoor environment coping with food-energy-water nexus. *IEEE Access*, 8, 211562-211575.

- [35] Chaudhary, R., Mishra, G. S., Mishra, P. K., & Walia, R. (2023). IoT Based Smart Irrigation System Using Arduino. *Journal of Data Acquisition and Processing*, 38(2), 2034.
- [36] Smaïl Semaoui, «Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque», Mémoire Pour l'obtention du titre de MAGISTER, Spécialité : Science physique Option : Physique énergétique, 2004
- [37] A. Chel, G.N. Tiwari, A. Chandra, Simplified method of sizing and life cycle cost assessment of building integrated photovoltaic system, *Energy and Buildings*, 41 (2009) 1172-1180.
- [38] Azzaoui Aya, Mehaya Roua. Alia. Adaptation et rentabilité d'une installation photovoltaïque autonome. Mémoire de Master. Université de Ghardaïa. 2024
- [39] Y. Kherbiche, N. Ihaddadene, R. Ihaddadene, F. Hadji, J. Mohamed, A.H. Beghidja, Solar energy potential evaluation, case of study: M'Sila, an Algerian Province, *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 2021, 16 (8), 1501 - 1508.
- [40] Bezari, S. Expérimentation, Modélisation et Amélioration du Microclimat d'une Serre Tunnel Agricole Sous Climat de la Région de Ghardaïa. Doctoral dissertation, Université de Laghouat-Amar Telidji. 2021
- [41] Bouraiou, A., Necaibia, A., Boutasseta, N., Mekhilef, S., Dabou, R., Ziane, A., ... & Touaba, O. (2020). Status of renewable energy potential and utilization in Algeria. *Journal of Cleaner Production*, 246, 119011.
- [42] M.R. Yaiche, A. Bouhanik, S.M.A. Bekkouche, A. Malek, T. Benouaz, Revised solar maps of Algeria based on sunshine duration, *Elsevier Energy Conversion and Management*, 82 (2014) 114 - 123.
- [43] Medjelled Ouïam et Zerbani Sara, Contribution à l'étude de la qualité des eaux albiennes destinées à l'irrigation dans la commune de Daya Bendahoua et Guerrara Ghardaïa, Mémoire de Master, Université de Ghardaïa, 2023, Algérie.
- [44] M.A.C. Haddam, Application de quelques notions de la conception bioclimatique pour l'amélioration de la température interne d'un habitat, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 2015, Algérie.
- [45] [R. Kaoulal, Contribution à l'étude des systèmes solaires intègres aux bâtiments, Thèse de Doctorat en Physique Énergétique, Université Tahri Mohammed de Béchar, 2017, Algérie.
- [46] A. Yilmaz, C. Şimşek, Calculation of the optimum PV panel incline angle for Mediterranean climate, *European Journal of Science and Technology*, 35, 322-329, 2022.
- [47] S.M.A. Bekkouche, Modélisation du comportement thermique de quelques dispositifs solaires, Doctorat en Physique Électronique et Modélisation, Université Abou-Bakr Belkaïd de Tlemcen, 2009, Algérie.
- [48] FriedrVieweg, SohnVerlagsgesellschaftmbH, 'Ses éléments des projets de construction', Dunod, Paris, 1996, pour la 7e édition française.
- [49] <https://skyduino.wordpress.com/comparatif-des-differentes-cartes-arduino-et-des-cartes-compatible-arduino/> accédé le 22/06/2024
- [50] <https://store.arduino.cc/arduino-nano> accédé le 22/06/2024
- [51] <http://air.imag.fr/index.php/ESP8266> accédé le 24/06/2024
- [52] CA, H. (2011). Gestion des paramètres bioclimatiques dans les serres agricoles (Doctoral dissertation, Thèse d'Ingénieur en Instrumentation électronique, Université des Sciences et de la technologie Houari Boumediene USTHB).
- [53] Abbas, N. (2018). Conception et réalisation d'un suiveur solaire à base d'une carte Arduino nano (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU).

- [54] Katia, B., & Siham, C. (2017). Conception et réalisation d'un suiveur de soleil à base d'une carte Arduino UNO (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [55] Safsouf, Y., Ibourek, L. A., &Reha, A. (2019, June). Casquette intelligente connectée à but préventif. In Colloque sur les Objets et systèmes Connectés.
- [56] Dahmani, H., Salim, M. E., &Benmoussat, C. (2022). Conception et réalisation d'un prototype d'une mini serre agricole automatisée (Doctoral dissertation).
- [57] <https://arduino-france.site>accédé le 24/06/2024
- [58] <https://www.robotique.tech/robotics/control-a-water-pump-by-arduino>accédé le 24/06/2024
- [59] Ahmed AZI, A. (2014). Contribution au developpement d'un outil d'aide au diagnostique de performances des 'mppt' dans la chaine de conversion photovoltaïque (Doctoral dissertation, Université de M'Sila-Mohamed Boudiaf).
- [60] Boulhares, K., Traket, C., &Sadok, M. (2018). Etude Pratique et Dimensionnement d'un Système d'Eclairage Public Photovoltaïque Autonome Cas d'étude (Doctoral dissertation, Université Ahmed Draia-ADRAR).
- [61] Samir, G., &Mokrane, A. (2018). Commande d'un panneau solaire à l'aide d'une carte arduino (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

Annexe

Annexe1. Application PVsys

Introduction

Les installations solaires autonomes offrent une source d'énergie indépendante du réseau électrique. Elles se composent généralement de panneaux solaires, de batteries pour stocker l'énergie produite et de contrôleurs pour réguler le système. Les résultats du dimensionnement du système solaire PV destiné à la serre expérimentale sont détaillés dans cette annexe.

Application Logiciel PVsys

PV système est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires qui fournit diverses informations essentielles telles que la production d'énergie, l'irradiation, le coût de l'installation, la surface nécessaire, et la production annuelle d'énergie. Le logiciel offre principalement deux modes de fonctionnement.

Le premier mode est une application de pré-dimensionnement simple, facile à utiliser et accessible aux néophytes. Le deuxième mode permet une étude beaucoup plus approfondie, tenant compte de nombreux paramètres pour une analyse très complète. Ce mode avancé utilise des équipements concrets pour ses calculs, contrairement au premier mode qui se base sur des scénarios plus généraux. En utilisant ces deux modes, PV Système permet d'obtenir une évaluation précise et détaillée des systèmes photovoltaïques.

- Choix de site

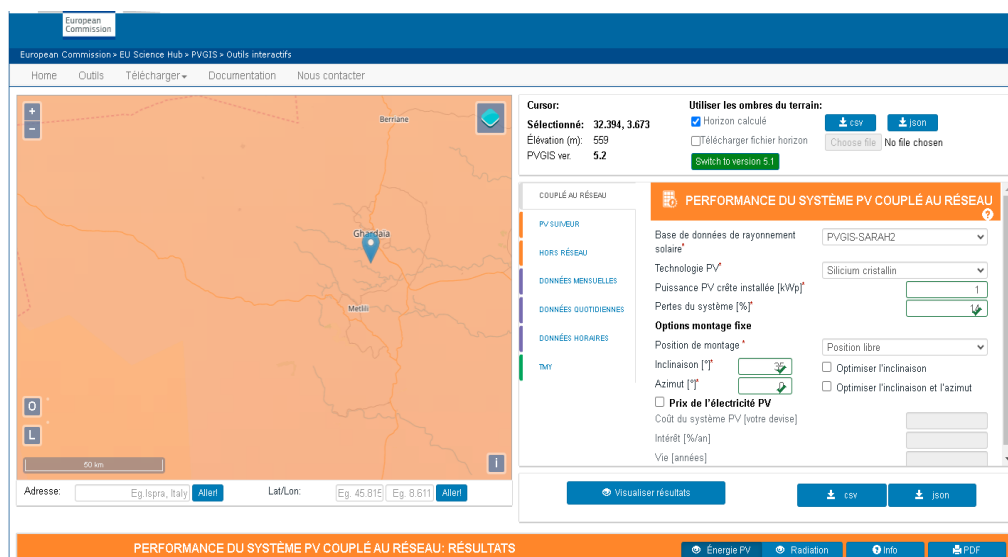


Figure A.3 : Choix de site

- Détermination des besoins électriques

En mode « isolé avec batteries », PVsyst dispose d'une fenêtre dédiée où nous pouvons entrer la consommation estimée, incluant la consommation électrique et le temps d'utilisation. PVSYST fournit alors une estimation de la consommation journalière et mensuelle moyenne. Dans le cadre de notre étude et selon la figure suivante, les résultats obtenus sont les suivants :

Besoins d'énergie quotidiens, variante "Nouvelle variante de simulation"

Définition des usages domestiques journaliers pour Été (Juin-Août).

Consommation Distribution horaire

Consommations journalières

Nombre	Appareil	Puissance	Util. journ.	Distrib. horaire	Daily energy
3	Lampes (LED ou fluo)	20 W/lampe	12.0 h/jour	OK	720 Wh
0	TV / PC / Mobile	0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh
0	Appareils domestiques	0 W/app	0.0 h/jour		0 Wh
0	Frigo / Congélateur	0.00 kWh/jour	24.0		0 Wh
0	Machines à laver linge/vaisselle	0.0 W moy.	2.0 h/jour		0 Wh
2	Pompe a eau	150 W/app	5.0 h/jour	OK	1500 Wh
2	ventilateur	100 W/app	6.0 h/jour	OK	1200 Wh
	Consomm. de veille	1 W tot	24 h/jour		24 Wh
Energie journalière totale					3444 Wh/jour
Energie mensuelle					103.3 kWh/mois

Info appareils

Définition consommation par

Années
 Saisons
 Mois

Utilis. Week-end ou semaine

Utilisation seulement pendant
 7 jours dans la semaine

Voir les valeurs de

Été
 Automne
 Hiver
 Printemps

Copier valeurs

Aucun appareil défini pour Automne, Hiver, Printemps.

Modèle

Charger Sauver Autre profil Annuler OK

Figure A.4: Détermination des besoins électriques

- Dimensionnement du parc de batteries

Définition d'un système isolé avec batteries; Variante "Nouvelle variante de simulation", Variant "Nouvelle variante de simulation"

Besoins jour. moyens 0.9 kWh/jour Déf. la PLOL acceptable 5.0 % Tension batterie (et utilis.) 48 V
 Autonomie requise 4.0 jour(s) Capacité conseillée 338 Ah
 Puissance PV conseillée 604 Wc (nom.)

Pré-dimens. détaillé

Stockage | Champ PV | Appoint | Schéma simplifié

Procédure
 Les suggestions de pré-dimensionnement sont basées sur la météo mensuelle, et les besoins de l'utilisateur

1. - Pré-dimensionnement Définissez les conditions de pré-dimensionnement (PLOL, autonomie, tension batterie)
2. - Stockage Définissez le pack de batteries (les cases défaut approchent les suggestions du pré-dimensionnement)
3. - Conception champ PV Définissez le champ PV (Module PV) et mode de contrôle. Conseil : commencez avec un régulateur universel
4. - Appoint Définissez un éventuel groupe électrogène

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

V-TAC 48 V 200 Ah Li-LFP VT-48200 B 48V 9.6 kWh Depuis 2023 Ouvrir

Lithium-ion La batterie sélectionnée est une module

1	<input checked="" type="checkbox"/> modules en série	Nombre de modules	2	Tension du pack batteries	48 V
2	<input checked="" type="checkbox"/> modules en parallèle	Nombre d'éléments	60	Capacité globale	400 Ah
100.0	% Etat d'usure initial (nb. de cycles)			Energie stockée (80 % DOD)	15.4 kWh
100.0	% Etat d'usure initial (statique)			Poids total	162 kg
				Nbre de cycles à 80 % DOD	5000
				Energie totale stockée durant la vie de la batterie	78 MWh

Température batterie en opération

Mode tempér. Fixée (local tempéré)

Température fixée 20 °C

La température est importante pour la durée de vie de la batterie.

Besoins utilis.

Utilis. domestique	Puissance moy.	35 W
Fraction nuit 58.3 %	Énergie jour	0.85 kWh

Pack de batteries

2 en parallèle, 48 V	Capacité	400 Ah
Autonomie 18.1 j	Energie stockée	15.36 kWh

Champ PV

1 chaînes de 1 modules	Puissance nom.	Wc
PV/PLoad -282.6	Énergie moy. jour	0.00 kWh

Régulateur

Universel, couplage direct		
Courant PV max.	A	Seuils selon tensio

Veillez choisir le module PV !

Annuler OK

Figure A.5: Dimensionnement du parc de batteries.

▪ Dimensionnement du champ PV

Plusieurs technologies existantes pour les modules PV, pour cela le dimensionnement du module est basé selon plusieurs critères comme les besoins électriques de l'installation et le choix d'une technologie qui réduit au maximum le nombre de batteries sans avoir un manque d'énergie.

Besoins jour: moyens 0.9 kWh/jour
Déf. la PLOL acceptable 5.0 %
Autonomie requise 4.0 jour(s)
Tension batterie (et utilis.) 12 V
Capacité conseillée 1351 Ah
Puissance PV conseillée 716 Wc (nom.)

Stockage | Champ PV | Appoint | Schéma simplifié

Nom et orientation du sous-champ
 Nom: Champ PV
 Inclinaison: 53°
 Orient: Plan incliné fixe
 Azimut: 0°

Aide au dimensionnement
 Pas de prédim. Pnom désirée: 0.6 kWc
 Redimens. ... ou surface disponible: 0 m²

Sélection du module PV
 Tous les modules | Tri modules par: Puissance | Technologie: Si-poly
 Advent 525 Wp 28V | Jusqu'à 2€
 Dimens. des tensions: Vmpp (60°C) 26.4 V
 Vco (-10°C) 43.4 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur
 Régulateur universel | Convertisseur de puissance MPPT
 Mode d'opération: Couplage direct | Convertisseur MPPT | Convertisseur DC-DC
 Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Conception champ PV
Nombre de modules et chaînes
 Mod. en série: 3 (doit être: Pas de contrainte)
 Nb. chaînes: 2 (entre 1 et 1)
Nbre modules 6 **Surface** 8 m²

Cond. de fonctionnement:
 Vmpp (60°C) 79 V
 Vmp (20°C) 98 V
 Vco (-10°C) 130 V
 Irradiance plan 1000 W/m²
 Imp (60°C) 10.5 A
 Isc (60°C) 11.2 A
 Isc (aux STC) 11.2 A

Puiss. max. en fonctionnement (à irrad. max. et 50°C) 0.88 kW
Puiss. nom. champ (STC) 3.15 kWc

Besoins utilis. Utilis. domestique | Puissance moy. 36 W
 Fraction nuit 43.1 % | Énergie jour 0.87 kWh
Pack de batteries 1 en parallèle, 48 V | Capacité 195 Ah
 Autonomie 10.0 jr | Énergie stockée 6.64 kWh
Champ PV 2 chaînes de 3 modules | Puissance nom. 3.15 kWc
 PV/PLoad 67.1 | Énergie moy. jour 13.00 kWh
Régulateur MPPT universel | Puissance nom. 2.74 kW
 PV/PConv 1.15 | Seuls selon SOC

Figure A.6 : Dimensionnement du champ PV

▪ Dimensionnement du convertisseur

Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système. La figure suivante montre les caractéristiques électriques du convertisseur MPPT.

Définition d'un système isolé avec batteries, Variante "Nouvelle variante de simulation", Variant "Nouvelle variante de simulation"

Besoins jour, moyens: 0.9 kWh/jour
 Déf. la PLOI acceptable: 5.0 %
 Autonomie requise: 4.0 jour(s)
 Pré-dimens. détaillé

Tension batterie (et utilis.): 12 V
 Capacité conseillée: 1351 Ah
 Puissance PV conseillée: 716 Wc (nom.)

Stockage | Champ PV | Appoint | Schéma simplifié

Nom et orientation du sous-champ:
 Nom: Champ PV
 Orient.: Plan incliné fixe
 Inclinaison: 53°
 Azimut: 0°

Aide au dimensionnement:
 Pas de prédim. Pnom désirée: 0.6 kWc
 Redimens. ... ou surface disponible: 0 m²

Sélection du module PV:
 Tous les modules: Advent
 Tri modules par: Puissance
 Technologie: Si-poly
 Modèle: S25 Wp 28V
 Fabricant: KABIR
 Jusqu'à 2C
 Ouvrir

Dimens. des tensions: Vmpp (60°C): 26.4 V
 Vco (-10°C): 43.4 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur:
 Régulateur universel
 Régulateur: Générique
 Convertisseur de puissance MPPT
 Courants max. de charge - décharge: MPPT 1000 W 48 V 23 A 12 A
 Ouvrir

Mode d'opération:
 Couplage direct
 Convertisseur MPPT
 Convertisseur DC-DC
 Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Conception champ PV:
 Nombre de modules et chaînes:
 Mod. en série: 3
 Nb. chaînes: 2
 entre 1 et 1
 Nbre modules: 6 Surface: 8 m²

Cond. de fonctionnement:
 Irradiance plan: 1000 W/m²
 Vmpp (60°C): 79 V
 Vmpp (20°C): 98 V
 Vco (-10°C): 130 V
 Irrpp (60°C): 10.5 A
 Isc (60°C): 11.2 A
 Isc (aux STC): 11.2 A

Puiss. max. en fonctionnement (à irradi. max. et 50°C): 0.88 kW
 Puiss. nom. champ (STC): 3.15 kWc

Besoins utilis.:
 Utills. domestique: Fraction nuit: 43.1 %
 Puissance moy.: 36 W
 Énergie jour: 0.87 kWh

Pack de batteries:
 1 en parallèle, 48 V
 Capacité: 195 Ah
 Autonomie: 10.0 jr
 Énergie stockée: 8.64 kWh

Champ PV:
 2 chaînes de 3 modules
 Puissance nom.: 3.15 kWc
 PV/PLoad: 87.1
 Énergie moy. jour: 13.00 kWh

Régulateur:
 MPPT universel
 Puissance nom.: 2.74 kW
 PV/PCConv: 1.15
 Seuls selon SOC

Annuler OK

Figure A.7: Dimensionnement du convertisseur.



Projet: SERRE AGRICOLE

Variante: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.4.7

VC1, Simulé le :
27/06/24 13:35
avec V7.4.7

Paramètres généraux

Système isolé		Système isolé avec batteries	
Orientation plan capteurs		Configuration des sheds	
Orientation		Pas de scène 3D	
Plan fixe		Modèles utilisés	
Inclinaison/Azimut 32 / 0 °		Transposition	Perez
		Diffus	Importé
		Circumsolaire	séparément
Besoins de l'utilisateur			
Consomm. domestique			
Constants sur l'année			
Moyenne 3.0 kWh/Jour			

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV		Batterie	
Fabricant	Generic	Fabricant	Generic
Modèle	ZT 220P	Modèle	LFP-CB 12.8V / 200Ah
(Base de données PVsyst originale)			
Puissance unitaire	220 Wc	Technologie	Lithium-ion, LFP
Nombre de modules PV	3 unités	Nombre d'unités	4 en série
Nominale (STC)	660 Wc	Décharge : min. SOC	10.0 %
Modules	1 chaînes x 3 En série	Energie stockée	9.1 kWh
Caractéristiques du banc de batteries			
Aux cond. de fonct. (50°C)		Tension	51 V
Pmpp	600 Wc	Capacité nominale	202 Ah (C10)
U mpp	80 V	Température	Fixée 20 °C
I mpp	7.5 A	Seuils de régulation batterie	
Régulateur		Seuils de commande selon	Calcul SOC
Régulateur universel		Charge	SOC = 0.96 / 0.80
Technologie	Convertisseur MPPT	Décharge	SOC = 0.10 / 0.35
Coeff. de temp.	-5.0 mV/°C/Élém.	Convertisseur	
Efficacité maxi et EURO 97.0 / 95.0 %			
Puissance PV totale			
Nominale (STC)	0.660 kWc		
Total	3 modules		
Surface modules	4.9 m²		
Surface cellule	4.4 m²		

Pertes champ

Fact. de pertes thermiques		Pertes câblage DC		Perte diode série	
Température modules selon l'irradiance		Rés. globale champ	181 mΩ	Chute de tension	0.7 V
Uc (const)	20.0 W/m²K	Frac. pertes	1.5 % aux STC	Frac. pertes	0.8 % aux STC
Uv (vent)	0.0 W/m²K/m/s	Pertes de mismatch modules		Facteur de perte IAM	
Perte de qualité module		Frac. pertes	1.0 % au MPP	Paramétris. ASHRAE: IAM = 1 - bo (1/cos ² -1)	
Frac. pertes	2.5 %	Facteur de perte IAM		Param. bo 0.05	

Figure A.8: Paramètres généraux

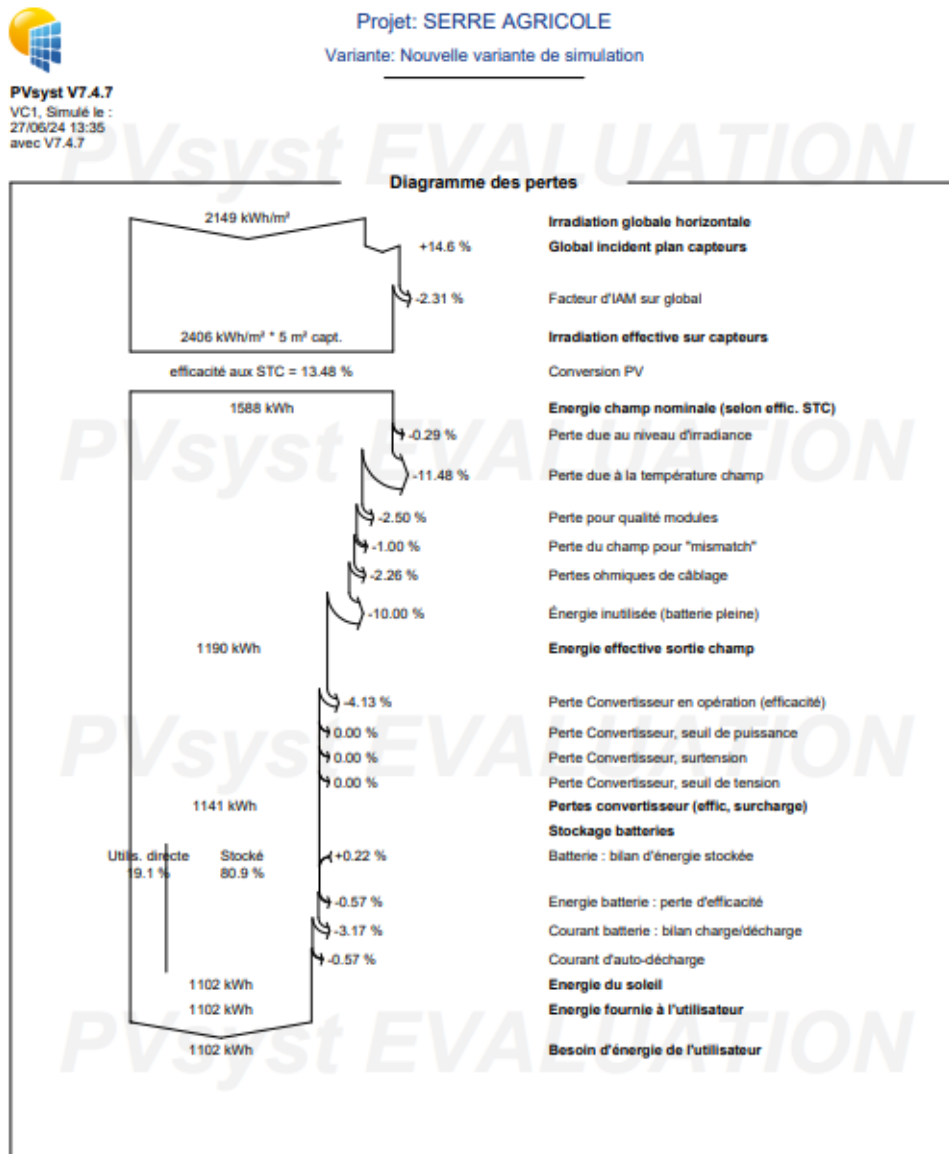


Figure A.9: Diagramme des pertes.

Conclusion :

Cette annexe détaille les étapes de dimensionnement et de simulation qui ont été réalisées pour évaluer les performances de notre système PV destiné à la serre hydroponique. Ces démarches nous ont permis d'obtenir des résultats clés, offrant une compréhension approfondie du comportement du système dans des conditions spécifiques, tout en intégrant les spécifications et les contraintes du projet.

Annexe2. Programmation Arduino

Dans ce travail on va faire la programmation de notre système en utilisant logiciel Arduino.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
int hum;
int temp;
int ldr=A3;
int lum;
int led=5;
int buzzer=10;
int pompe=6;
int clima=7;
int cf=9;
int flame;
int ws=A0;
int water;
```

```
int sol;
```

```
void setup() {

    dht.begin();
    lcd.begin();
    lcd.backlight();
```

```
Serial.begin (9600);

    pinMode (pompe,OUTPUT);
pinMode (led,OUTPUT);
pinMode (ldr,INPUT);
pinMode (ws,INPUT);
    pinMode (clima,OUTPUT);

}

void loop() {

    water= analogRead (ws);

    lum= analogRead (ldr);
    hum = dht.readHumidity();
    temp = dht.readTemperature();
    Serial.println("flame");
    Serial.println(flame);
    Serial.println("water");
    Serial.println(water);
    Serial.println("lumiere");
    Serial.println(lum);

    Serial.println("TEMPERATURE");
    Serial.println(temp);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor (0,0);
    lcd.print("serre ");
    lcd.setCursor (1,1);
    lcd.print(" agricole ");
```

```
if (lum<=200){
digitalWrite (led,LOW);}
  if (lum>200){
digitalWrite (led,HIGH);
}
  if (water>=500 ){
digitalWrite (pompe,HIGH);}
  if (water<500 ){
digitalWrite (pompe,LOW);
lcd.clear();
  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print("Waterl Supply ");
  lcd.setCursor (1,1);
  lcd.print("  ON");
}

if (temp>=40){
digitalWrite (clima,HIGH);}
  if (temp<40){
digitalWrite (clima,LOW);}

delay(1000);
}
```