

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE
Département : ELECTRONIQUE
Domaine : SCIENCES ET
TECHNIQUES
Filière : Automatique
Spécialité : Automatique et système

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master
Thème:

Serre agricole photovoltaïque

Présenté par : *Abbaci Amira*
Touati Narimene

Encadrant : *Saidi Mohammed Larbi*

Professeur

UBMA Annaba

Jury de Soutenance :

LAKEL RabeH	Professeur	UBMA Annaba	Président
SAIDI Mohammed Larbi	Professeur	UBMA Annaba	Encadrant
ARBAOUI Fayçal	Professeur	UBMA Annaba	Examineur

Année universitaire :2021/2022

RESUME :

Ce travail porte sur l'utilisation de l'énergie photovoltaïque dans les serres agricoles qui jouent un rôle important dans le domaine de l'agronomie. L'objectif de cette étude est de découvrir un domaine qui prend de plus en plus une large place dans le développement de l'agriculture, surtout dans les endroits isolés. Ce travail permet de connaître les différents types de serres agricoles, leurs paramètres climatiques et les moyens de production de l'énergie électrique à partir du rayonnement solaire. La technique abordée dans ce mémoire est basée sur l'utilisation des panneaux solaires. Généralement, des surfaces avec des panneaux solaires sont intercalées avec des surfaces sans panneau solaire pour laisser passer de la lumière pour les cultures. Pour favoriser le passage de la lumière pour les plantes, des panneaux solaires semi-transparents peuvent être utilisés : espaces transparents entre les cellules cristalline ou couches minces en partie transparentes. Les serres photovoltaïques sont considérées comme des systèmes agrivoltaïques par la commission de régulation de l'énergie.

Abstract:

This work focuses on the use of photovoltaic energy in agricultural greenhouses which play an important role in the field of agronomy. The objective of this study is to discover an area that is increasingly taking a large place in the development of agriculture, especially in isolated places. This work makes it possible to know the different types of agricultural greenhouses, their climatic parameters and the means of production of electrical energy from solar radiation. The technique discussed in this work is based on the use of solar panels. Typically, surfaces with solar panels are interspersed with surfaces without solar panels to let in light for crops. To favor the passage of light for the plants, semi-transparent solar panels can be used: transparent spaces between the crystalline cells or partly transparent thin layers. Photovoltaic greenhouses are considered as agrivoltaic systems by the Energy Regulation Commission.

ملخص:

يركز هذا العمل على استخدام الطاقة الكهروضوئية في البيوت الزراعية التي تلعب دورًا مهمًا في مجال الهندسة الزراعية. الهدف من هذه الدراسة هو اكتشاف ميدان يحتل بشكل متزايد مكانة كبيرة في تطوير الزراعة، خاصة في الأماكن المعزولة. يتيح هذا العمل معرفة الأنواع المختلفة من البيوت الزراعية، ومعاييرها المناخية، ووسائل إنتاج الطاقة الكهربائية من الإشعاع الشمسي. تعتمد التقنية التي تمت مناقشتها في هذه الأطروحة على استخدام الألواح الشمسية. عادةً ما تتخلل الأسطح ذات الألواح الشمسية أسطح بدون ألواح شمسية للسماح بدخول الضوء للمحاصيل. لتفضيل مرور الضوء للنباتات، يمكن استخدام الألواح الشمسية شبه الشفافة: مسافات شفافة بين الخلايا البلورية أو طبقات رقيقة شفافة جزئيًا. اعتبرت البيوت الزجاجية الكهروضوئية أنظمة زراعية من قبل لجنة تنظيم الطاقة.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu.

Nous dédions ce modeste travail :

A nos chers parents pour tous les efforts et les sacrifices pour notre avenir.

A nos chers frères.

Pour les deux familles (Abbaci, Touati)

A tous nos amis, surtout (Benseghir Bouthaina, Khaireddine Chaima)

Touati Narimene

Abbaci Amira

Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir donné à tous la patience, le courage, la volonté et la motivation qui nous ont permis de mener ce travail à son terme.

Nous tenons à remercier notre **Pr** Mohammed Labri SAIDI d'avoir accepté de diriger ce travail et de nous avoir aidé avec tous ses précieux conseils et ses orientations.

Nous remercions aussi tous les membres du jury pour l'évaluation de ce mémoire.

Et merci à tous nos professeurs du département d'électronique.

Enfin, nos sincères remerciements vont aussi à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

- **Sommaire**
- **Liste des figures**
- **Liste des tableaux**
- **Introduction générale**

Chapitre01 : Généralités sur les serres agricoles

1.1 - Introduction.....	01
1.2 - Définition d'une serre.....	04
1.3 - Importance de la serre.....	04
1.4 - Types de construction	05
1.5 - Avantages et Inconvénients des serres	06
1.6 - Les Différents Types de Serres.....	06
1.7 - Choix de la Serre et de sa Couverture.....	10
1.8- Types de serre basés sur les espèces cultivées	11
1.9- L'emplacement de la serre	11
1.10-Les caractéristiques générales des serres agricoles	12
1.11-Aération de la serre	12
1.11.1-Ventilation Naturelle.....	13
1.11.2- Ventilation Forcée.....	13
1.12-l'équipements utilisés dans une serre.....	15
1.13-Le Micro climat de la serre	17
1.13.1- Paramètres influents le climat sous serre.....	18
1.13.2-La température	18
1.13.3- L'effet de serre.....	18
1.13.4- Lumière.....	19
1.13.5- L'humidité.....	19
a. La déshumidification	20
b. Le Rayonnement	20
1.13.6- Le gaz carbonique CO2.....	20
1.14- Orientation de la serre	21
1.15- Le vent.....	21
1.16- Conclusion.....	21

Chapitre 02 : Généralité sur les systèmes photovoltaïques

2.1- Introduction.....	23
2.2- Composants d'un système photovoltaïque (PV).....	24
2.2.1- Principe de fonctionnement.....	26
2.3- Générateur photovoltaïque.....	26
2.3.1-Principe.....	26
2.3.2- Cellules Photovoltaïques.....	26
a- Structure d'une cellule Photovoltaïques.	27
b- Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.	27
c-Différents types de Cellules Photovoltaïques.....	29
d- Modélisation d'une cellule photovoltaïque.	29
2.3.3- caractéristique électrique d'un générateur Photovoltaïque.	32
2.4- Influence de l'éclairement.....	33
2.5- Influence de la température et du rayonnement.....	34
2.5.1- Influence de la température.....	34
2.5.2 -Influence du rayonnement.....	35
2.6-Module photovoltaïque.....	36
2.6.1- Composition d'un module solaire photovoltaïque.....	37
2.6.2 Caractéristique électriques d'un panneau solaire.....	38
2.6.3- Association des cellules en série	39
2.6.4- Association des cellules en parallèle.....	41
2.7-Panneaux solaire.....	42
2.8- Champs photovoltaïque (PV)	43
2.9- programme et simulation	44
2.10- Orientation des panneaux solaires.....	46
2.10.1 Choix de l'orientation des modules	46
2.10.2- Choix de l'inclinaison des modules.....	47
2.10.3- trajectoire apparente du soleil.....	48
2.11 - Conclusion.....	48

Chapitre 03 : photovoltaïque agriculture (L'agrivoltaïque)

3.1 -Introduction	50
3.2 -Qu'est-ce qu'une serre photovoltaïque	50
3.3 -Comment fonctionne une serre solaire	51
3.4 -Les avantages du passage à la culture sous serre photovoltaïque	51
a. La protection des cultures.....	51
b. La diversification des variétés.....	52
c. L'augmentation des rendements et des marges.....	52
d. La production d'une énergie consommée localement.....	52
e. Un investissement à fort impact environnemental.....	52
3.5 -Le financement d'une serre photovoltaïque.....	53
3.6- Conclusion	53
Conclusion générale.....	54
Annex a : les caractéristiques des panneaux photovoltaïques	55
Références bibliographiques.....	58

Liste des figures

Figure 1.1 : serre multi chapelle

Figure 1.2 : la serre Tunnel

Figure 1.3 : Serre châssis

Figure1.4 : serre gonflable

Figure 1.5 : Serre de jardin

Figure 1.6 : Ventilation naturelle

Figure1.7 : Ventilation forcée

Figure 1.8 : Ecran

Figure 1.9 : Fertilisation

Figure 1.10 : Chauffage d'eau

Figure 1.11 : Système de réfrigération

Figure 1.12 : Extracteur

Figure2.1 : type d'énergie solaire

Figure 2.2 : schéma synoptique d'un système photovoltaïque

Figure 2.3 : présentation schématique d'une cellule photovoltaïque

Figure2.4 : principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Figure 2.5: circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

Figure 2.6 : Influence des résistances série et shunt sur la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

Figure 2.7 : caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque

Figure 2.8: Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

Figure 2.9: Impact de la température sur la caractéristique $I=f(V)$

Figure 2.9.1 : Impact de la température sur la caractéristique $P=f(V)$

Figure 2.10 : Caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ d'un module pour différentes irradiances solaires à 25°C

Figure 2.11 : module photovoltaïque

Figure 2.12 : les composants d'un module photovoltaïque

Figure 2.13 : Schéma d'un module fermé d'un groupement N_s cellules en série

Figure 2.14 : Schéma d'un module fermé d'un groupement de N_p cellules en parallèle

Figure 2.15: Caractéristique $I(v)$ d'un groupement de N_p cellules en parallèle

Figure 2.16 : exemple d'un panneau solaire

Figure 2.17 : champ photovoltaïque montrée en série- parallèle

Figure 2.18 : comment incliner le panneau solaire

Figure 2.19 : représentation de l'attitude (hauteur) angulaire et l'azimut

Figure 3.1 : hectares de serres photovoltaïques avec panneaux made-in-France

Figure 3.2 : Fonctionnement d'une serre agricole solaire

Liste des tableaux

1.1 Avantage set Inconvénients des serres

Introduction générale

La culture sous serre connaît un grand développement depuis plusieurs années dans la majorité des pays du monde afin d'augmenter la qualité et la quantité des produits agricoles.

Principalement en raison de la croissance croissante de la population et de l'élévation continue du niveau de vie.

La serre a été conçue à l'origine, comme un conteneur limité par une paroi transparente du rayonnement solaire, comme dans la serre traditionnelle, largement utilisée dans notre pays, gonflant certains paramètres du climat environnant et présentant des conditions défavorables à la croissance et au développement de la réserve. Les serres traditionnelles, très populaires dans les pays du bassin méditerranéen, connaissent un refroidissement nocturne intense, qui entraîne parfois des inversions de température interne, des complications d'élévation de température et des changements d'hygromètre selon les saisons.

Les progrès technologiques ont grandement contribué au développement des serres. Ils sont devenus très développés (systèmes de chauffage et de climatisation, accessoires et équipements techniques d'accompagnement, etc.).

De nouvelles technologies, notamment l'utilisation de dispositifs pour contrôler et réguler les variables climatiques de la serre (température, humidité, concentration en dioxyde de carbone, etc.) et le développement des techniques d'exploitation des ressources d'énergie renouvelable ont permis d'augmenter la rentabilité des serres agricoles surtout dans les milieux éloignés et désertiques.

Ce tapuscrit est composé de trois chapitres et il est organisé comme suit :

Dans le premier chapitre, nous présenterons une vue globale sur les différents types de serres agricoles, des facteurs climatiques essentiels pour le développement de la plante et les composants importants pour la gestion de ces paramètres climatiques.

Dans le deuxième chapitre, nous allons voir des notions générales sur les énergies renouvelables et précisément l'énergie solaire.

Pour comprendre ce phénomène, nous introduisons quelques notions de base sur rayonnement solaire et les propriétés des semi-conducteurs, le matériel de base des Cellules photovoltaïques.

Le troisième chapitre abordera les serres photovoltaïques.

Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale sur l'intérêt de cette étude.

Chapitre 1

Généralités sur les serres agricoles

1.1 -Introduction

Les serres sont construites pour protéger les plantes contre les climats rigoureux et pour fournir de la chaleur toute l'année, pour obtenir un rendement suffisant des cultures les plantes ont basion d'un climat stable et approprié.

En général, ces conditions ne sont pas toujours données car la plupart des régions sont confrontées à des conditions météorologiques extrêmes.

La présentation suivante vous donnera des informations sur les serres en générale leurs avantages et inconvénients.

1.2 -Définition d'une Serre

Serre se définit comme des tentes constituées de matériaux transparents qui pénètrent les rayons du soleil, et se présentent parfois sous la forme d'une structure en métal ou en bois dans laquelle les plantes sont cultivées dans des températures et une humidité régulées, le but est de créer un environnement propice à leur développement en profiter de l'influence du climat et la création d'un microclimat, pour mieux gérer les besoins des plantes, pour accélérer leur production ou leur croissance quelles que soient les saisons.

1.3 -Importance de la serre

-L'importance des serres est évidente comme l'une des technologies modernes les plus importantes qui ont réussi à fournir des conditions de croissance appropriées, à protéger les cultures des fluctuations météorologiques (pluie, vent, grêle).

- Elle est conçue pour recréer un environnement spécifique (microclimat).

- Fournir des légumes et des cultures tout au long de l'année : L'un des avantages des serres en agriculture est qu'elles permettent la culture de toutes sortes de cultures et de plantes à tout moment de l'année, si possible, en plantant des fruits et légumes d'été en hiver, ou en plantant l'hiver cultures en été, car le temps est à l'intérieur de ces serres et cela peut être un contrôle automatique de la plantation.

- Permet de chauffer l'air et les racines, de contrôler l'arrosage et la fertilisation, de s'enrichir en dioxyde de carbone et de contrôler l'humidité.

-La serre joue un rôle économique en proposant des produits sur le marché de contre-saison ; Ainsi ils permettent d'obtenir une production végétale dans de meilleures conditions.

-Pour arriver à ces résultats, il est nécessaire de satisfaire avec précision les exigences de la culture pour les différents facteurs qui interviennent dans sa croissance et son développement, ce qui suppose la connaissance des interactions entre ces différents paramètres.

1.4 -Types de construction

Produire des séries de produits en acier de construction avec différentes structures et spécifications.

Les serres peuvent être entièrement vitrées, ou bien avoir un ou plusieurs côtes en planches ou en briques jusqu'à la hauteur de l'étagère, il y a des avantages à l'un et à l'autre, l'émure parfaitement être en dur. des demi paroi en brique, en bois ou en amiante fournissent une bonne isolation et abaissent les frais de chauffage de la serre.

[1]

1.5 -Avantages et Inconvénients des serres

Avantages des serres	Inconvénients des serres
<ol style="list-style-type: none">1. Augmenter la production.2. réduire l'exposition du produit aux risques.3. augmenter les bénéfices.4. plus de sécurité et de stabilité.5. moins de problèmes de mauvaises herbes et de contrôle des maladies.6. la capacité de pousser toute l'année même en dehors de la saison de croissance.7. préserver l'environnement.8. moins d'utilisation de pesticides.9. accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau.	<ol style="list-style-type: none">1. vous avez besoin d'un capital initial important (moyens de production de base).2. besoin d'une conception soignée.3. coûts de production élevés.4. cela nécessite un niveau de compétence plus élevé.5. conditions idéales pour les maladies.6. la nécessité d'un processus de commercialisation stable.

1.6 -Les différents types de serre

Différents types et formes de serres agricoles sont conçues sous différentes conditions climatiques dans le monde pour abriter différents types de cultures et répondre aux besoins du producteur.

a. La serre multi chapelle

La Serre Multi chapelle est constituée de nefs adossées avec une couverture elliptique et des ; latérales verticales. Il s'agit d'une serre très polyvalente qui s'adapte parfaitement à tous types de climats et de cultures et permet d'adapter la largeur de chaque chapelle au cadre de plantation des cultures. ^[2]

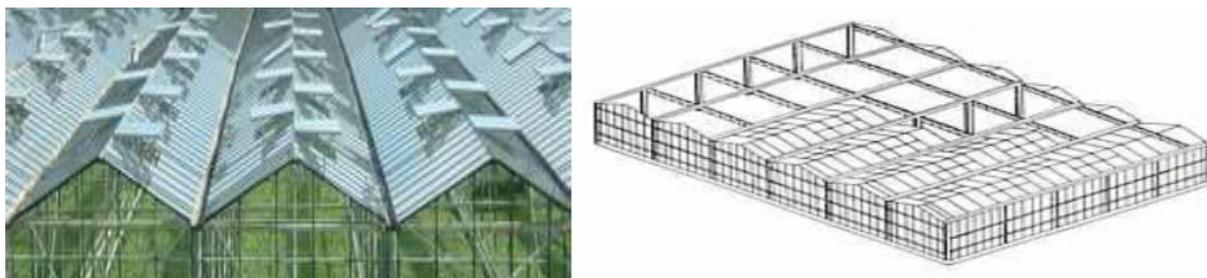


Figure 1.1 : serre multi chapelle

- **Caractéristique des serres multi-chapelle**

Matériaux de revêtement :

- Film plastique.
- Matériaux semi-rigides.
- Plaque rigide.

- b. La serre tunnel**

La serre tunnel en général se compose d'une série d'éléments juxtaposés constitués chacune par une armature en tube d'acier et un film plastique se fixe par divers systèmes de clips qui coincent le film contre le profil. [2]



Figure 1.2: la serre Tunnel

- **Caractéristique des serres tunnel**

- La hauteur varie généralement entre 2 et 2,50 mètres.
- La largeur se situe entre 3 et 5 mètres.
- Une surface au sol minimal de 6 m².
- Généralement existe deux portes.

c. Les Serres Châssis

De petite taille, la serre châssis sert à la levée des semis, à la culture de plantes aromatiques ou encore pour la protection des fleurs.

- Elle est efficace contre les intempéries.
- Elle fait partie des « serres froides ».

Les serres châssis sont généralement en bois ou en aluminium, avec des panneaux en verre ou en polycarbonate.

Leur couvercle se soulève pour accéder facilement au contenu de la serre, mais également pour un renouvellement efficace de l'air.

Ces serres sont non chauffées, mais vous pouvez améliorer l'isolation et la protection en période très froide avec des pailles, des voiles d'hivernage ou encore des plaques de polystyrène. Généralement dédiées à la culture en pleine terre (le châssis recouvrant la zone de culture), il existe également des serres châssis équipées d'un fond pour une utilisation sur un balcon ou une terrasse, ou encore en intérieur en tant que décoratif.^[2]



Figure1.3 : Serre châssis

d. La serre gonflable

La serre gonflable est une serre dont les parois sont flexibles de manière où son vrai volume avec l'état de son climat change (la température élevée provoque une détente qui fait augmenter la pression totale intérieure, la condensation de la vapeur d'eau diminue la pression totale, et provoque une dépression) par conséquent la paroi se rabat sur l'armature de la serre.



Figure1. 4 : serre gonflable

e. Serre de jardin

C'est un petit modèle, parfait pour faire pousser des plantes, idéale pour protéger ses plantes en hiver, récolter des fruits et légumes toute l'année ou réaliser des semis sous abri.

Une serre peut être construite avec divers matériaux et selon différentes formes, même avec des matériaux de récupération. ^[3]



Figure 1.5 : Serre de jardin

- **Caractéristique d'une serre de jardin**

- Les matériaux fréquemment utilisés pour l'armature de la serre :
- Les structures en aluminium.
- Les structures en acier.
- Les structures en bois.

1.7 - Choix de la serre et de sa couverture

Les principaux critères de choix d'une serre et sa couverture d'après sont les suivants

:

- La transmission du rayonnement utile à la photosynthèse.
- La solidité et la durabilité.
- La fonctionnalité et la facilité de maintenance.
- Les économies d'énergie et le prix.

1.8 -Types de serre basés sur les espèces cultivées

- a. **La serre froide** : Une serre froide est en réalité une serre non chauffée. Elle permet d'abriter les végétaux des intempéries hivernales : pluie, neige, vent et de maintenir une faible chaleur en exploitant la chaleur des rayons du soleil.
- b. **La serre tempérée** : La température idéale d'une serre tiède est entre 15° et 18°. Elle est adaptée à la plupart des fruits et légumes du jardin. La serre tropicale doit toujours avoir une température au-dessus de 18° et ne doit pas dépasser les 30.
- c. **La serre chaude** : serre chaude demande une température supérieure à celle de l'extérieur et nécessite donc un chauffage qui permet de cultiver nombres d'espèces tropicales et autres plantes rarissimes.

1.9 - L'emplacement de la serre

Il ne suffit pas d'ériger une serre pour y créer automatiquement une oasis de verdure ou de fleurs. Il faut bien choisir son emplacement. Qu'elle soit préfabriquée ou construite sur place, la serre est idéalement installée sur un site très ensoleillé.

Évidemment, la proximité des arbres et autres sources d'ombrage (bâtiments, etc.) est à éviter.

Un emplacement bien drainé est essentiel, la serre sera ainsi plus stable et bien au sec. Aussi, en prévision de l'hiver, le site choisi ne doit pas être propice aux fortes accumulations de neige qui occasionneraient une surcharge le long des murs de la serre. À tout le moins, la neige doit pouvoir être déblayée facilement. ^[4]

1.10 - Les caractéristiques générales des serres agricoles

- a. **La structure de la serre** : Le choix du matériau de la structure est en fonction du type de serre choisi, ce qui revient à la question de la place disponible et du budget.
- b. **Structure en aluminium** : C'est un matériau très pratique et très utilisé, pour sa solidité et le peu d'entretien qu'il nécessite. Une structure en aluminium de qualité peut durer une centaine d'années.
- c. **Structure en bois** : C'est le matériau le plus séduisant car le plus « noble » et le plus esthétique, il faut le choisir imputrescible et s'il est bien entretenu, il pourra durer toute une vie.
- d. **Structure en acier** : L'acier présente l'avantage d'être souple et résistant. Une serre en acier pourra avoir la longévité d'une serre en aluminium à condition de prendre garde à la rouille.
- e. **Structure en PVC** : Le PVC est relativement bon marché et c'est un des meilleurs isolants mais il est peu apprécié esthétiquement et sa longévité n'est pas exceptionnelle.

1.11 -Aération de la serre

L'aération des serres consiste en un échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur de la serre. Pendant la période estivale, la température peut atteindre des valeurs élevées susceptibles d'endommager les cultures. De même, l'humidité dépasse aussi parfois les valeurs acceptables pour les plantes. ^[4]

1.11.1 -Ventilation naturelle

La Ventilation Naturelle : Dans la ventilation naturelle, l'air chaud devient moins dense et s'élève. Cet air chaud sort et permet à l'air frais de s'écouler dans la serre à travers les ouvrants de ventilation. Plusieurs facteurs interagissent et interviennent dans la ventilation naturelle :

- Le mode de gestion des ouvrants ;
- Les aménagements particuliers réalisés à l'intérieur de la serre (présence d'écran thermique ou d'écran d'ombrage, présence de filets d'insectes (insecte-proof) ;
- Les conditions météorologiques qui règnent à l'extérieur de la serre : température, vitesse et direction du vent notamment.^[4]



Figure 1.6 : Ventilation naturelle

1.11.2-Ventilation forcée

La ventilation forcée nécessitera une installation électrique spécifique dans la serre : Boîtiers électriques avec protections des circuits, démarreurs, lignes, canaux électriques. Par la suite vous pourrez installer votre ventilateur :

Il s'agit habituellement de ventilateurs de type hélicoïdal avec des persiennes, fonctionnant en mode extracteur d'air.

Par son action ces types de ventilateurs fournissent le renouvellement du volume d'air logé dans la serre et permettent l'extraction du CO₂ et le ré équilibrage du climat général.

Ils peuvent être réglés selon le débit désiré, la plupart des modèles proposent trois à quatre niveaux de ventilation.

Ces ventilateurs doivent de préférence être installés à l'opposé des vents dominants. Ce type d'installation est adéquat pour suppléer le fonctionnement de l'aération naturelle dans les serres.

Il est aussi utile pour aérer les locaux qui hébergent certains types de végétaux aux besoins spécifiques, garantissant l'aération à des moments déterminés pendant lesquels les conditions environnementales ne conviennent pas aux cultures (Fort enneigement empêchant l'ouverture, vent violent).^[4]

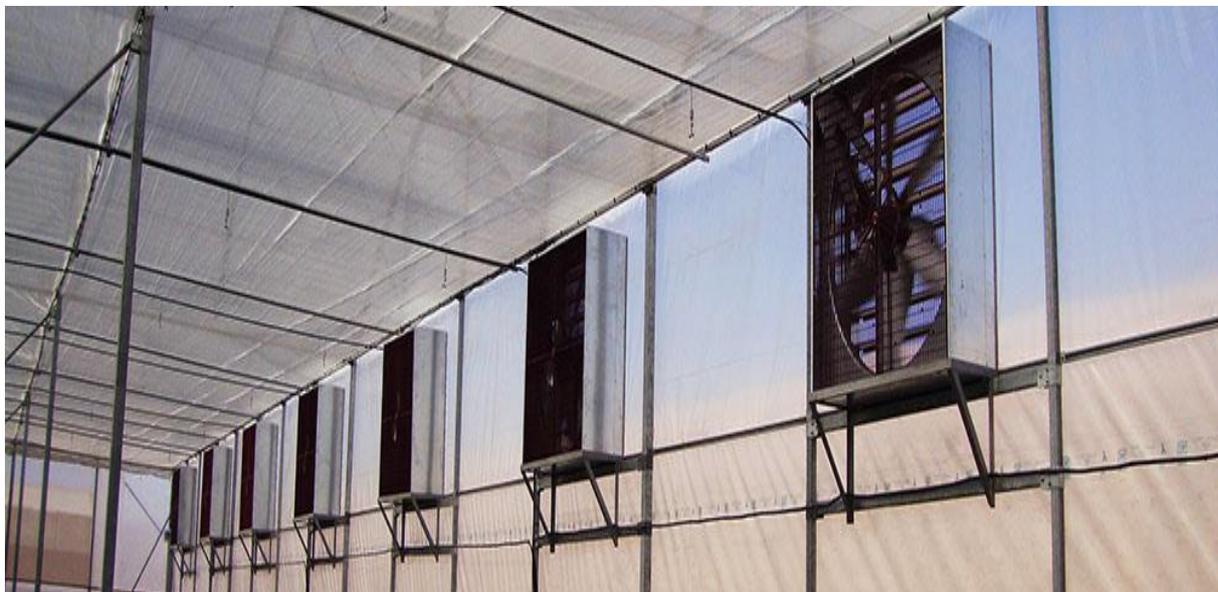


Figure1.7 : Ventilation forcée

1.12 -Équipements utilisés dans une serre

Parmi les équipements qui composent une serre agricole, nous en avons :

- **Ecran** : Il permet de contrôler la quantité de lumière, l'humidité et la température réduisant le coût énergétique.



Figure 1.8 : Ecran

- **Fertirigation** : La Fertirigation est l'application simultanée d'eau et d'engrais à travers un système Irrigation qui fournit au sol ou au substrat tous les nutriments dont les cultures ont.



Figure 1.9 : Fertilisation

- **Chauffage d'eau** : Le chauffage par tube eau chaude basse température est facilement applicable, même dans des serres anciennes.
 - Il peut s'adapter dans tous les types de serres.
 - Les tubes peuvent être enterrés au sol, comme pour la culture de jeunes plants. [5]



Figure 1.10 : Chauffage d'eau

- **Cooling (Système de réfrigération)** : Le refroidissement des serres est bénéfique pour tous les types de fruits, légumes et fleurs. Grâce à notre connaissance de la conception du refroidisseur d'air optimal pour cette application, le client dispose d'une solution parfaite garantissant une déshydratation minimale de son produit.



Figure 1.11 : Système de réfrigération

- **Extracteur** : Les ventilateurs extracteurs permettent de forcer l'aération dans la serre lorsque la ventilation naturelle à travers les ouvrants du toit ou ouvrants du périmètre ne permet pas d'atteindre le taux de renouvellement d'air désiré. IL s'agit d'un besoin essentiel dans la production de cultures et dans les fermes d'élevage. [5]



Figure 1.12 : Extracteur

1.13Le Micro climat de la serre

Les serriculteurs considèrent le climat comme un facteur de rendement essentiel qu'il faut mesurer pour obtenir des rendements optimaux, en assurant les conditions climatiques dont ils ont besoin.

Parmi les facteurs climatiques les plus importants dans la serre est :

- La lumière.
- L'humidité.
- La température.
- Et les concentrations des gaz (CO₂, et O₂).

1.13.1 Paramètres influents le climat sous serre

La température, l'humidité, la teneur en CO₂ et la lumière sont les paramètres les plus influents dans la production des plantes. Pour améliorer leurs rentabilités, il est indispensable de faire optimiser le climat environnant aux cultures. ^[6]

1.13.2 La température

La température est l'un des facteurs les plus importants dans la gestion du climat, ainsi que l'un des plus difficiles à gérer.

La température ambiante joue un rôle important dans les fonctions vitales d'une plante : photosynthèse, transpiration, renouvellement de la sève, reproduction et différenciation des cellules des organes aérobie.

De nos jours, les serres sont devenues des outils de production de masse qui doivent fournir des produits même hors saison.

Pour compenser ces pertes de chaleur et répondre aux exigences des consommateurs d'aujourd'hui, différents systèmes de chauffage ont été développés.

1.13.3 L'effet de serre

L'effet de serre est l'interférence entre l'atmosphère et la terre d'un matériau transparent à rayonnement court provenant du soleil et absorbant au maximum le rayonnement long provenant de la terre.

L'effet de serre se manifeste principalement par l'augmentation de la température ; L'effet de serre permet une augmentation conséquente de la température, mais dans d'autres conditions, la serre devient un émetteur et les températures peuvent chuter brusquement.

Ce phénomène est dû à plusieurs raisons, notamment :

- Les murs et le plafond échangent de la chaleur avec l'extérieur.
- Toute fuite provoque la régénération de l'air pour remplacer l'air intérieur chaud de l'extérieur.

- D'autres pertes se produisent également à travers la Terre par conduction et évaporation. ^[6]
- La serre n'a pas de parois épaisses et ne peut pas stocker beaucoup de chaleur.

1.13.4 la lumière

La lumière joue un grand rôle dans la croissance de la plante car elle intervient dans beaucoup de phénomènes physiologiques et conditionne surtout la photosynthèse. Les conditions d'éclairement à l'intérieur de la serre sont sous l'étroite dépendance du climat lumineux naturel, la meilleure utilisation de ce climat naturel sera liée au choix de matériaux de couverture (verre, pvc, polyéthylène) et aux conditions de leur mise en œuvre (Structure, forme et orientation des serres) qui ont une grande influence sur l'utilisation raisonnable de ce climat lumineux naturel.

1.13.5 L'humidité

L'augmentation de la température de l'air dans la serre entraîne un déficit de saturation, et la mesure de l'hygrométrie est trop faible avec le confinement et l'étanchéité de la serre. L'excès d'humidité est souvent dû à un mauvais système d'extraction ou à un manque de bonne ventilation à l'intérieur de la serre.

Les conséquences de l'humidité sont :

Journée :

- Augmentation de la température de l'air.
- Le besoin de végétation pour fournir un système de ventilation pour la serre.

La nuit :

- Puisque les serres sont habituellement fermées, l'humidité relative est élevée.
- La température baisse pendant la nuit. ^[6]

a. La déshumidification

La déshumidification est un élément essentiel du contrôle climatique des serres.

Trois méthodes d'élimination de l'humidité de la serre peuvent être appliquées :

- Ventilation avec air extérieur et condensation sur une surface froide.
- La ventilation externe est la méthode actuelle pour éliminer l'humidité des serres.
- Le chauffage permet d'une part de réduire l'humidité relative de l'air en augmentant la pression de vapeur saturante, et d'autre part de faciliter l'évaluation de l'air chauffé chargé en humidité grâce à la ventilation. [6]

b. Le Rayonnement

Le rayonnement solaire reçu par la plante agit notamment sur la transpiration et la photosynthèse.

Cette énergie est échangée directement des parois vers la surface des plantes et non vers l'air ambiant. Il transmet de l'énergie sans support physique à travers une onde électromagnétique solaire.

La température causée par le rayonnement et le réchauffement climatique ne garantit pas des températures optimales pour la croissance des plantes tout au long de l'année, mais diminue avec la perte de chaleur. De plus, l'humidité à l'intérieur de la serre doit être ajustée, en fonction des conditions climatiques de transpiration des cultures selon les espèces considérées, afin de ne pas limiter la croissance des plantes et d'éviter les risques phytosanitaires. [4]

1.13.6 Le gaz carbonique CO₂

Le dioxyde de carbone est l'un des déterminants de la croissance de la photosynthèse. Par conséquent, les agriculteurs s'efforcent d'obtenir une teneur plus élevée en dioxyde de carbone naturel dans la serre pour augmenter l'activité de la photosynthèse, quel que soit le type de plante. En stimulant la photosynthèse, il augmente le rendement et augmente considérablement la qualité de la production. [7]

1.14 Orientation de la serre

Le réglage de l'orientation de la serre se fait en fonction de la course du soleil ainsi qu'en fonction de la direction du vent pour éviter l'inhomogénéité de certaines conditions climatiques à l'intérieur de la serre.

Plus le sud est lumineux et plus le matériau de couverture est répandu, plus la répartition dans le temps est hétérogène avec le maximum mis en évidence à midi.

La direction nord-sud captera plus de lumière, et cette direction (nord-sud) à l'avantage de réduire les effets néfastes du vent sur la structure et sur les déperditions énergétiques. ^[7]

1.15 Le vent

Le vent est le mouvement de l'air qui se produit principalement horizontalement.

Ce mouvement est caractérisé par sa vitesse et sa direction dans les stations, et sa vitesse diminue à mesure qu'il se rapproche du sol.

Et en hiver, une serre fortement exposée au vent perd sa chaleur emmagasinée et aura du mal à la chauffer. ^[7]

1.16 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les types de serres Pour les produits agricoles les plus courants, nous avons indiqué quelques équipements utilisés dans la serre.

Enfin nous avons clos le chapitre avec les composantes des conditions environnementales de base.

Chapitre 02 : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

2.1 Introduction

L'énergie solaire est une énergie générée grâce aux rayonnements électromagnétiques produits par le soleil qui sont ensuite captés, puis transformés en chaleur ou en électricité utilisable.

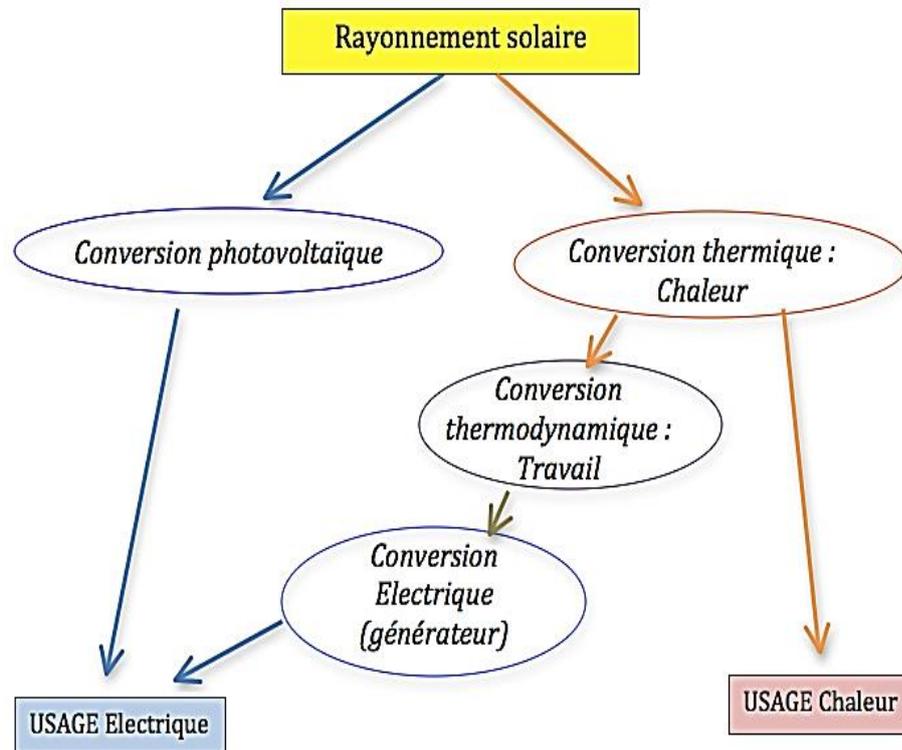


Figure 1.1 : type d'énergie solaire

- **L'énergie solaire photovoltaïque** : Désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur (Le silicium), d'un photon en électron.
- **L'énergie solaire thermique** : produit de la chaleur à partir du rayonnement solaire infrarouge du Soleil afin de chauffer de l'eau, de l'air ou un autre fluide. La technologie est plus simple que le photovoltaïque, donc moins onéreuse. Il s'agit de capter les calories grâce à des surfaces absorbantes de la chaleur,

des tubes métalliques peints en noir par exemple. Cela permet de réaliser des chauffe-eaux solaires individuels ou collectifs.

- **L'énergie solaire thermodynamique** : concerne de grandes centrales équipées de concentrateurs des rayons solaires, sous forme de miroirs galbés, dont la fonction est de chauffer un fluide à haute température (plusieurs centaines de degrés) afin de générer de la vapeur par échange thermique pour ensuite produire de l'électricité au moyen d'une turbine à vapeur par exemple.

2.2 Les composants d'un système photovoltaïque

Un système photovoltaïque comporte de modules composés de cellules photovoltaïques qui produisent du courant continu lorsqu'elles perçoivent de la lumière du rayonnement solaire, d'un régulateur, d'un ou plusieurs batteries de stockage, d'un convertisseur, de câbles et de récepteurs électriques. ^[8]

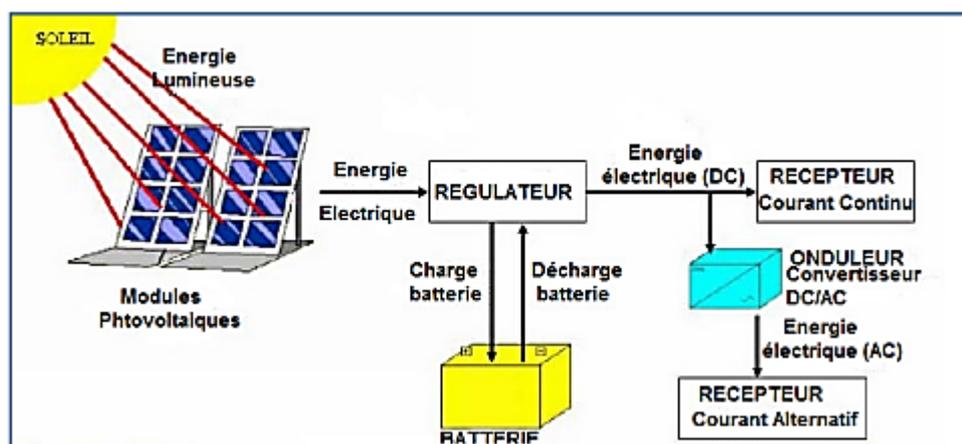


Figure 1.2 : schéma synoptique d'un système photovoltaïque

En site isolé les principaux composants sont :

- Panneaux photovoltaïques (+ structure de support)
- Chargeur/régulateur DC/DC
- Système de stockage (batteries, condensateurs, ...)
- Un onduleur si la consommation est alimentée en courant alternatif.

a. Le régulateur

- Le régulateur contrôle la production d'électricité du panneau et l'électricité allant vers les appareils
- Il laisse passer le courant dans un sens ou dans l'autre selon que la tension des composants atteint une certaine valeur
- Il contrôle la charge et la décharge de la batterie et protège cette dernière contre les surcharges et les décharges profondes pouvant l'endommager. Il mesure la tension de la batterie, et la coupe si la tension est au dessus (ex : 14,5V) ou en dessous (ex : entre 10,5 et 11,9V) d'un certain niveau
- Le régulateur permet d'optimiser la production d'énergie du panneau solaire
- Il permet de donner des informations à l'utilisateur sur l'état actuel du système solaire^[8]

b. Les batteries

- Une batterie est un composant qui sert à stocker chimiquement de l'énergie électrique (seulement du courant continu DC) pour un usage ultérieur
- La batterie est donc utilisée pour conserver l'électricité produite au cours de la journée par le panneau solaire

c. Les onduleurs DC/AC

L'onduleur permet de convertir le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif identique à celui du réseau électrique.

d. Les câbles

Les câbles vont servir à transporter l'électricité, les câbles doivent donc être dimensionnés afin de limiter les chutes de tension.

e. Les récepteurs

Ce sont les éléments qui utilisent l'électricité produite par le panneau solaire (lampes, radio, télévision, chargeur de téléphone...).

Il est conseillé d'utiliser des récepteurs fonctionnant en courant continu et de faible consommation afin de minimiser le coût de l'installation

2.2.1 Principe de fonctionnement

Un système photovoltaïque avec batterie peut être comparé à une charge alimentée par une batterie qui est chargée par un générateur photovoltaïque. Il comprend généralement les composants de base suivants :

- Transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.
- Les panneaux photovoltaïques produisent un courant électrique continu.
- Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.
- L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur (AC).
- Les batteries sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.^[9]

2.3 Générateur photovoltaïque (GPV)

2.3.1 Principe

Un générateur photovoltaïque est un système complet assurant la production et la gestion de l'électricité fournie par les capteurs photovoltaïques.

L'énergie est stockée dans des accumulateurs et/ou transformée en courant alternatif suivant le type d'application.

2.3.2 Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque également dénommée cellule solaire est un composant électronique qui, exposé à la lumière (photons), produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène. Le courant obtenu est proportionnel à la puissance lumineuse incidente. La cellule photovoltaïque délivre une tension continue.

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : séléniure de cuivre et séléniure d'indium ($\text{CuIn}(\text{Se})_2$ ou $\text{CuInGa}(\text{Se})_2$), tellurure de cadmium (CdTe), etc...

Elles se présentent généralement sous la forme de fines plaques d'une dizaine de centimètres de côté.

Les cellules sont souvent réunies dans des modules solaires photovoltaïques ou panneaux solaires, en fonction de la puissance recherchée. [9]

a- La structure d'une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de silicium (matériau semi-conducteurs) :

- une couche dopée avec du bore qui possède moins d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée positivement (zone P),
- une couche dopée avec du phosphore qui possède plus d'électrons que le silicium, cette zone est donc dopée négativement (zone N).

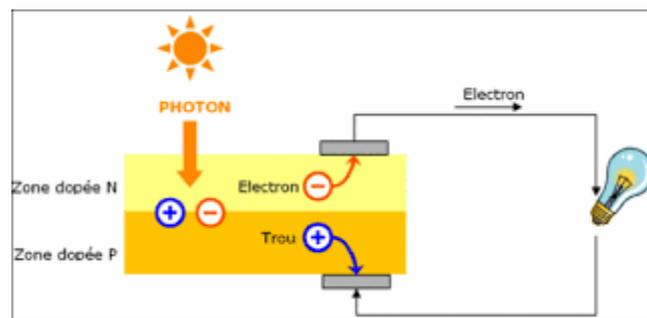


Figure1.3 : présentation schématique d'une cellule photovoltaïque

b- Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Dans le cas d'une cellule photovoltaïque formée de deux couches de silicium p- et n-, le champ électrique interne est créé entre ces deux couches à cause de leurs caractéristiques différentes. Ces deux couches sont obtenues en dopant le silicium très pur avec des traces d'autres éléments. Un dopage p correspond à l'adjonction d'atomes de bore dans la structure atomique du silicium, le dopage n à l'adjonction d'atomes de phosphore. Dans la zone entre les deux couches de silicium à dopages différents, se forme le champ électrique. Lorsque la lumière tombe sur cette cellule, des paires de porteurs de charge sont formées (des trous positifs et des électrons négatifs). Si les paires de porteurs réussissent à atteindre le champ électrique sans se

neutraliser réciproquement, elles seront séparées par le champ électrique. Les électrons se dirigeront vers la surface de la couche dopée n, où ils seront rassemblés par la grille de contact métallique et continueront dans le circuit extérieur. Les trous se dirigeront vers la surface de la couche dopée p et seront conduits également dans le circuit extérieur par la plaque de contact arrière de la cellule. ^[9](Générateurs photovoltaïques – Principes de base, technique de montage et injection dans le réseau).

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.1)$$

Avec :

E : énergie de photon (ev)

h : constante de Planck

v : fréquence de la lumière

C : vitesse de la lumière

λ : longueur d onde de la lumière

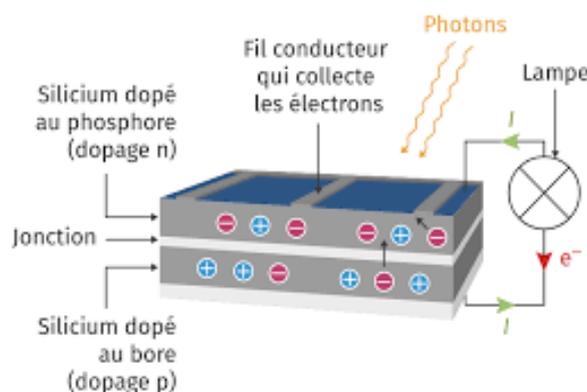


Figure1.4 : principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

D'une autre manière, Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'électrons. Lorsqu'ils frappent un élément semi-conducteur comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes. Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner.

La face exposée au soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui comportent moins d'électrons.

Quand les photons viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se crée. Une couche anti-reflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface. Voir la figure (1.4).

c- Différents types de cellules photovoltaïques

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés « semi-conducteurs ». Le plus connu d'entre eux est le silicium utilisé pour les composants électroniques. **Le silicium utilisé en photovoltaïque peut se rencontrer sous trois formes :**

- **Cellule en silicium poly cristallin** : il s'agit du matériau photovoltaïque le plus utilisé (à lui seul plus de 50% du marché mondial). Il offre un bon rendement (de 12% à 14 %) pour des coûts de fabrication maîtrisés.
- **Cellule en silicium mono cristallin** : le rendement de ce matériau photovoltaïque (15 % à 17 %) est légèrement supérieur au silicium polycristallin, en revanche sa fabrication est plus délicate donc plus coûteuse.
- **Cellule en silicium amorphe** : le rendement de ce matériau photovoltaïque est bien inférieur à ceux des silicium cristallin (6%) et son coût est proportionnellement inférieur. ^[9]

d- Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Le circuit équivalent d'une cellule solaire réelle est présenté sur la figure 2.13, ce circuit tient compte des pertes au niveau de la cellule, qui sont modélisées par deux résistances :
• La résistance série R_s qui représente les pertes résistives dans la

cellule (émetteur, base, contacts métalliques) ; • La résistance parallèle R_{sh} qui représente les courants de fuite existant dans la cellule. Pour minimiser les pertes, il faut minimiser R_s et augmenter R_{sh} . Le cas idéal est représenté par R_{sh} égale à l'infini et R_s égale à zéro.^[10]

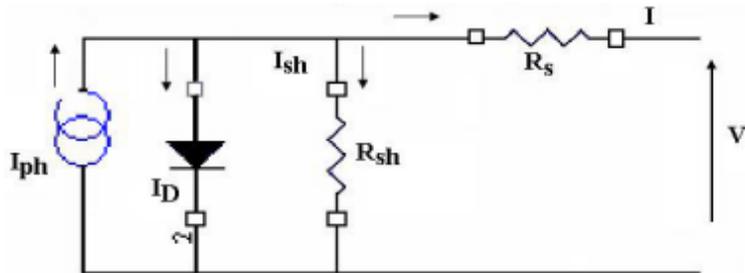


Figure 1.5: circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque

Pour prévoir ses performances, il est très important de connaître son modèle mathématique.

Selon la figure (1.5), le courant généré par la cellule photovoltaïque I est donné par [1]:

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Rsh} \quad (1.2)$$

Où :

I_{Rsh} : le courant qui traverse R_{sh} :

$$I_{Rsh} = \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1.3)$$

I_d : le courant traversant la diode est donné par :

$$I_d = I_s \left[\exp \left[q \times \frac{V + R_s I}{A \times k \times T} \right] - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1.4)$$

Où :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[\exp \left[q \times \frac{V + R_s I}{A \times k \times T} \right] - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1.5)$$

I_{ph} , I_0 et $V_t = \frac{A \cdot k \cdot T}{q}$ désignent respectivement le photo-courant, le courant de saturation inverse de la diode et la tension thermique,

Avec :

I : courant tiré par une cellule (Ampère)

I_{ph} : photo courant (Ampère)

I_0 : courant diode (Ampère)

I_s : courant de saturation de la diode (Ampère)

V : tension aux bornes de la cellule (Volt)

q : la charge de l'électron ($q=1.602 \cdot 10^{16}$ C)

K : la constante de Boltzmann, $k= 1,38 \cdot 10^{23}$ j/°k

T : la température effective de la cellule en Kelvin (°K)

A : le facteur de non idéalité de la jonction ($1 < A < 3$)

R_{sh} : la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction

R_s : la résistance série présentant les diverses résistances des contacts et de connexions

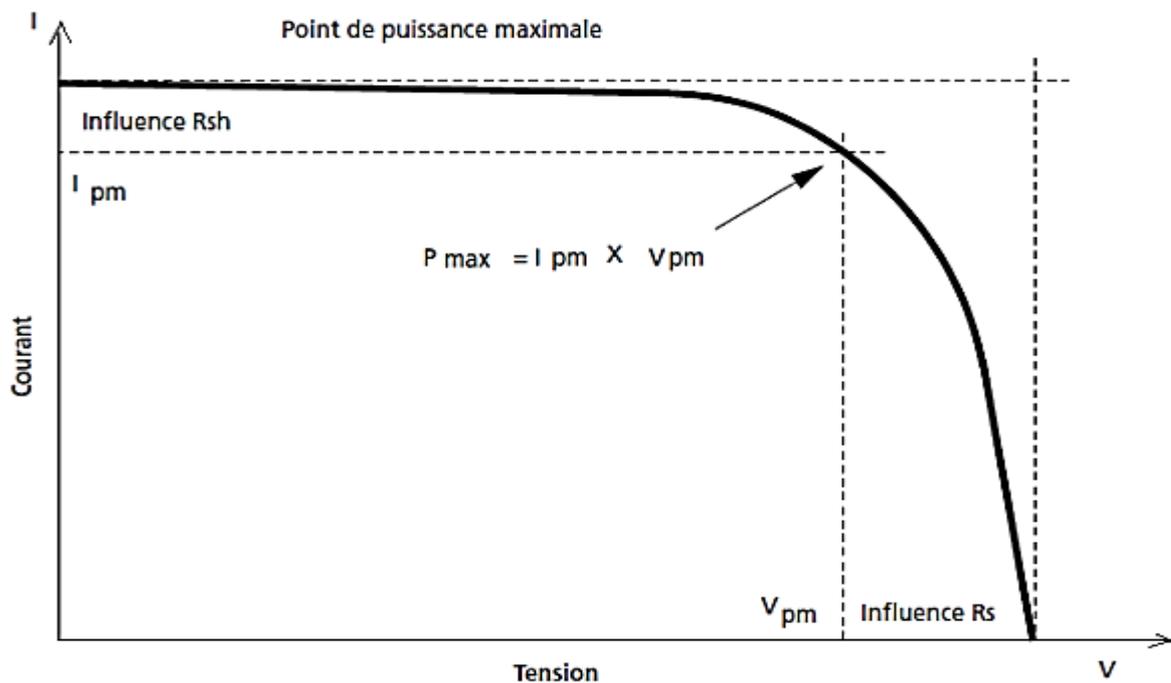


Figure 2.6 : Influence des résistances série et shunt sur la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

2.3.3 -caractéristique électrique d'un générateur photovoltaïque

Sous un éclairement donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension (I-V) qui permet de déduire les paramètres photovoltaïques propres à la cellule (figure 2.6) :

- Le courant de court-circuit I_{cc} .
- La tension de circuit-ouvert V_{c0} .
- Le facteur de forme FF.
- Le rendement de conversion η .

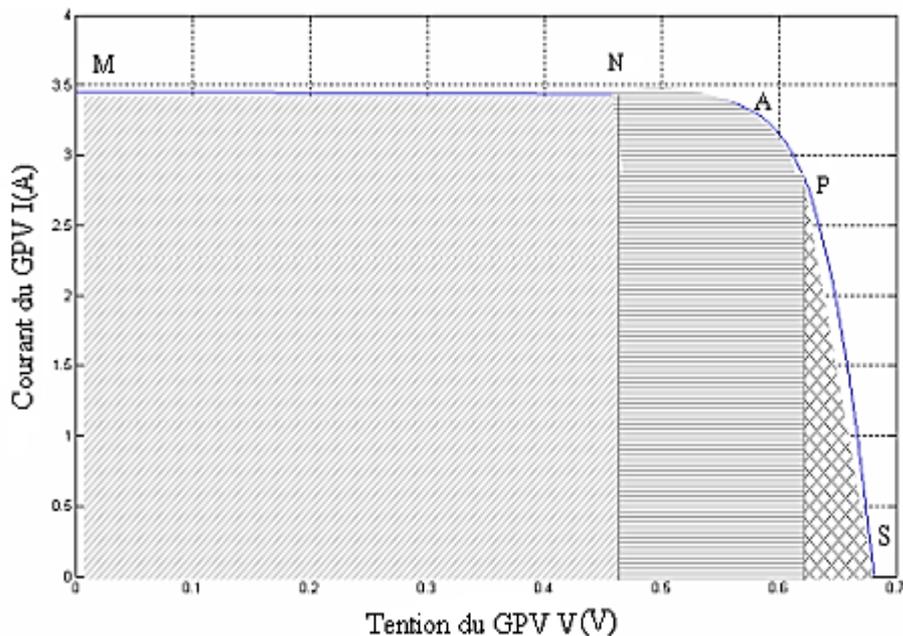


Figure 1.7 : caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque

Avec :

- GPV : le générateur photovoltaïque
- M : le courant de court-circuit I_{cc}
- A : la puissance maximale
- S : la tension de circuit ouvert V_{c0}

Nous pouvons décomposer la caractéristique $I(V)$ d'un générateur photovoltaïque en 3 zones :

- Une zone assimilable à un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'irradiation, d'admittance interne pouvant être modélisée par $\frac{1}{R_{sh}}$ (**Zone M**).
- Une zone assimilable à un générateur de tension V_{co} d'impédance interne équivalente à R_s (**Zone S**).
- Une zone où l'impédance interne du générateur varie très fortement de R_s à R_{SH} (**Zone A**).

C'est dans la **Zone 3** qu'est situé le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur est maximale. Ce point est appelé point de puissance optimale, et seule une charge dont la caractéristique passe par ce point, permet d'extraire la puissance maximale disponible dans les conditions considérées. ^[11]

2.4 -Influence de l'éclairement

La luminosité influence considérablement les performances des cellules.

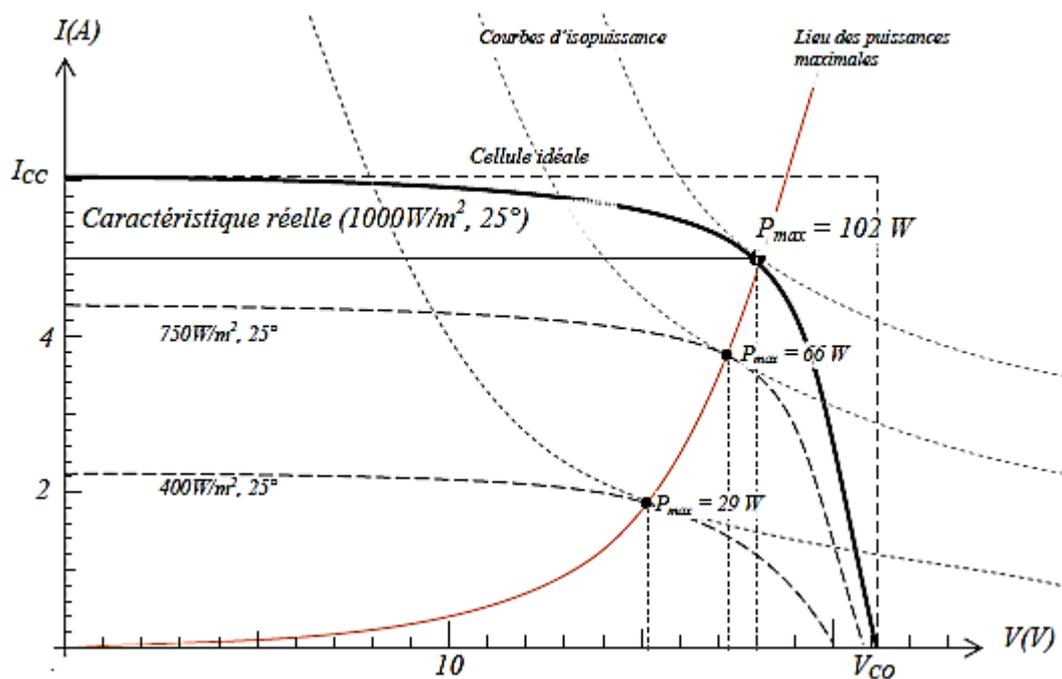


Figure 1.8: Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

Comme le montre ce graphique, le courant de court-circuit (I_{cc}) croît proportionnellement avec l'éclairement, alors que la tension à vide (V_{co}) varie très peu (environ 0,5 V).

Ainsi, au plus la couverture nuageuse est importante, au plus l'intensité du courant généré est faible.

2.5-Influence de la température et de rayonnement

2.5.1 Influence de la température

La figure 1.9 (a) montre l'impact de la température sur la caractéristique $I=f(V)$ du panneau solaire.

Sous un éclairement constant, on constate que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension.

Quand la température augmente la tension du circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution.

Et la figure 1.9.1 (b) montre l'impact de la température sur la puissance du panneau solaire: ^[11]

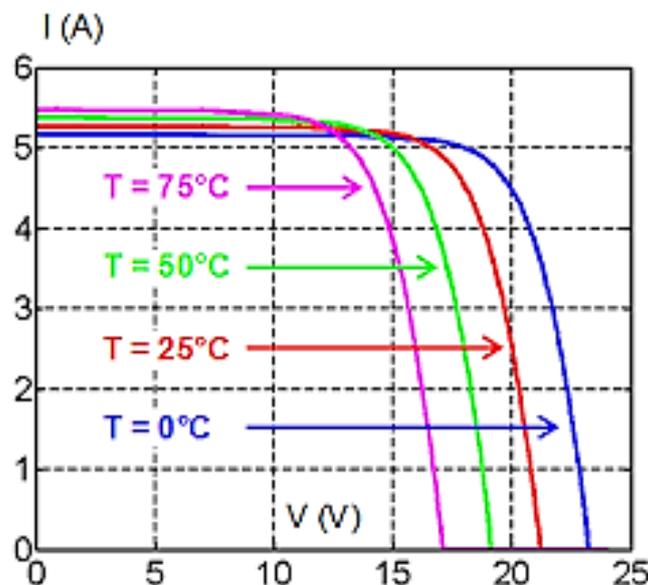


Figure 1.9: Impact de la température sur la caractéristique $I=f(V)$

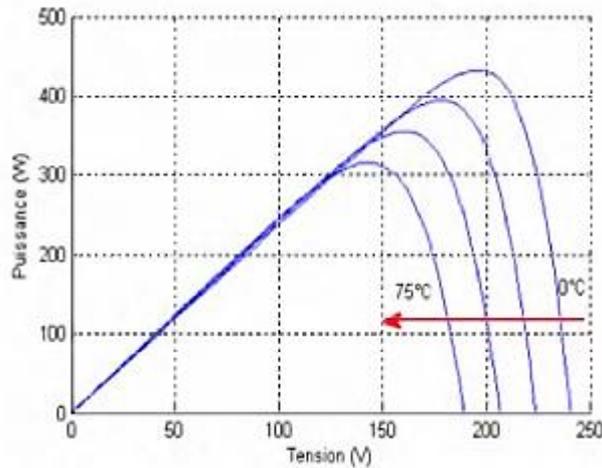
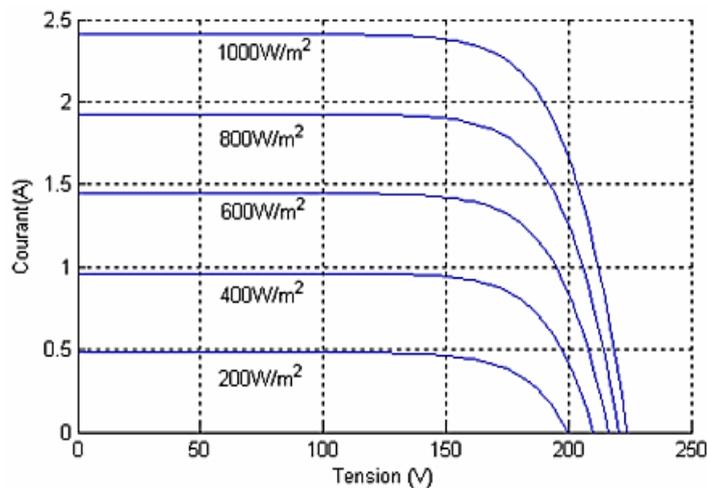


Figure 1.9.1 : Impact de la température sur la caractéristique $P=f(V)$

On remarque une importante variation de la tension, et une petite variation de l'intensité lorsque la température augmente, ceci peut être expliqué par une meilleure absorption de la lumière.

2.5.2 Influence du rayonnement sur la courbe $I=f(V)$

D'après la figure 1.10, les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque changent avec l'éclairement pour une température donnée. Quand l'ensoleillement augmente, l'intensité du courant photovoltaïque croît. Les courbes I-V se décalent vers les valeurs croissantes permettant au module de produire une puissance électrique plus importante, ce qui veut dire que les irradiations solaires n'ont pas d'effets négatifs. [12]



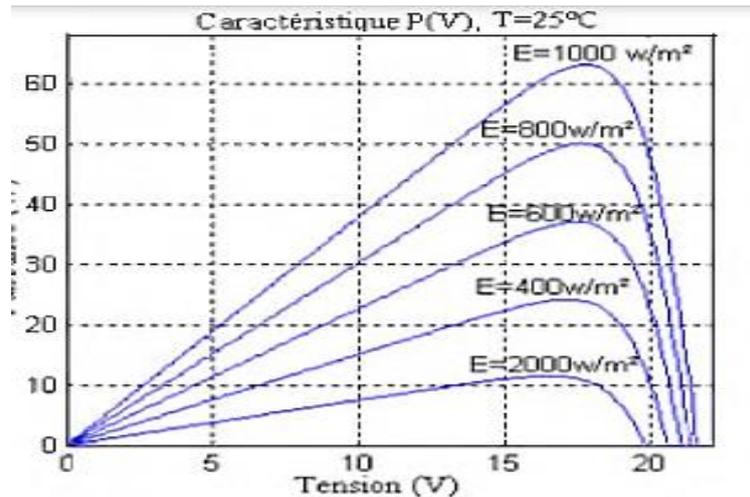


Figure 1.10 : Caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ d'un module pour différentes irradiances solaires à 25°C

Pour différents niveaux d'éclairement figure (1.10), on remarque que le courant est directement proportionnel à l'irradiation à ces niveaux d'éclairement. La tension par contre n'est pas très dégradée lorsque l'irradiation baisse donc à température constante

- I_{cc} est Proportionnel à l'ensoleillement
- V_{co} diminue légèrement avec ensoleillement,
- P_{max} est en première approximation proportionnelle à l'ensoleillement.

2.6 -Module photovoltaïque

Pour obtenir une tension électrique générée qui soit utilisable, on raccorde plusieurs cellules en série qui forment alors un string. Un module est composé de plusieurs strings.

L'association des cellules en modules permet :

- D'obtenir une tension suffisante
- De protéger les cellules et leurs contacts métalliques de l'ambiance extérieure (humidité,)
- De protéger mécaniquement les cellules (chocs,).

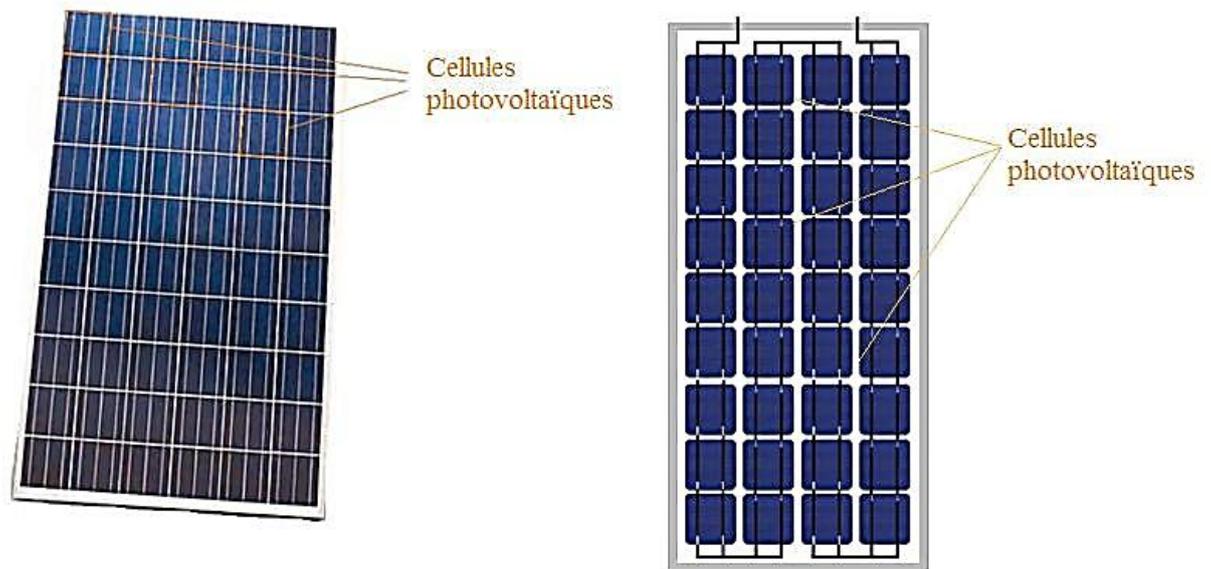


Figure 1.11 : module photovoltaïque

Toutes les cellules composant un module photovoltaïque doivent être identiques. Les cellules sont soudées deux à deux par un ou plusieurs collecteurs métalliques en forme de ruban. La connexion se fait du contact en face avant (pôle négatif) au contact en face arrière (pôle positif). Les rubans adhèrent par soudure à la cellule grâce à une lamelle de cuivre étamé.

2.6.1 - Composition d'un module solaire photovoltaïque

Un module solaire photovoltaïque est composé généralement de six éléments (figure 1.11) :

- Cadre en aluminium
- Jointure d'étanchéité.
- Verre : pour la protection du module
- Couche de l'EVA (EVA éthylène-acétate de vinyle) : pour résister aux intempéries et à l'humidité
- Cellules solaires.
- Feuille de Tedlar blanc : pour plus de résistance mécanique des grands modules.

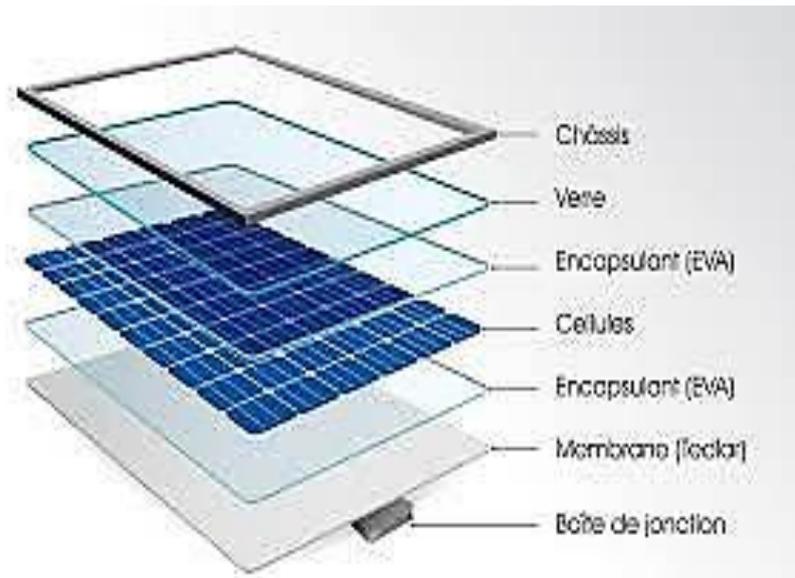


Figure 1.12 : le composant d'un module photovoltaïque

2.6.2 -caractéristiques électriques d'un panneau solaire

Un panneau solaire peut être photovoltaïque. Côté cellule de silicium, la caractéristique d'un panneau solaire photovoltaïque diffère selon le panneau monocristallin, poly cristallin, ou amorphe. Le panneau photovoltaïque est le panneau solaire le plus répandu.

- **La puissance de crête**

La puissance d'un panneau solaire photovoltaïque constructeur est le produit de tests en laboratoire. Sous conditions de test standard. Ils supposent un éclairement solaire d'une mesure de 1000 watts/m², sous 25°C ambiants.

- **La tension**

Tension nominale, tension de sortie, et tension en puissance maximum. La tension nominale des panneaux photovoltaïques indique quelle batterie ou installation ils peuvent alimenter. Jade Technologie propose par exemple un module photovoltaïque Pm 18,58 V, c.o 22,35 Volts, tension nominale 18 Volts, puissance maximale 140 watts.

- **La puissance**

La puissance d'un panneau solaire photovoltaïque constructeur est le produit de tests en laboratoire. La puissance nominale des panneaux photovoltaïques correspond à la puissance crête corrigée des données d'exposition et d'implantation.

- **La durée de vie du panneau solaire photovoltaïque**

La durée de vie des panneaux solaires photovoltaïques est la caractéristique d'un panneau solaire la moins médiatisée. Les études prouvent qu'au-delà de 40 ans, la capacité maximale à fournir de l'énergie électrique des panneaux solaires diminue. La durée de vie des panneaux solaires qui fait consensus se situe aux alentours de 30 années.

- **Le rendement**

La puissance d'une cellule (et par extension, d'un module) diminue lorsque sa température augmente.

Raccordement des cellules

2.6.3 Association des cellules en série

Dans les conditions standardisées de test, la puissance maximale pour une cellule Si (silicium) de 100 cm² (10 sur 10) tourne aux alentours de 1,25 Watt. Cette cellule constitue donc un générateur de très faible puissance, insuffisant pour les applications électriques courantes. Les modules sont donc réalisés par association, en série et/ou en parallèle, de cellules élémentaires. La connexion en série augmente la tension pour un même courant alors que la connexion en parallèle augmente le courant pour une tension identique.

Pour que l'électricité générée soit utilisable pour nos applications électriques, il est donc nécessaire d'associer entre elles un grand nombre de cellules.

Les modules (généralement présentés sous forme de panneaux) sont constitués d'un certain nombre de cellules élémentaires placées en série afin de rendre la tension à la sortie utilisable.

Ces modules sont ensuite associés en réseau (série-parallèle) de façon à obtenir les tensions/courants désirés. [13]

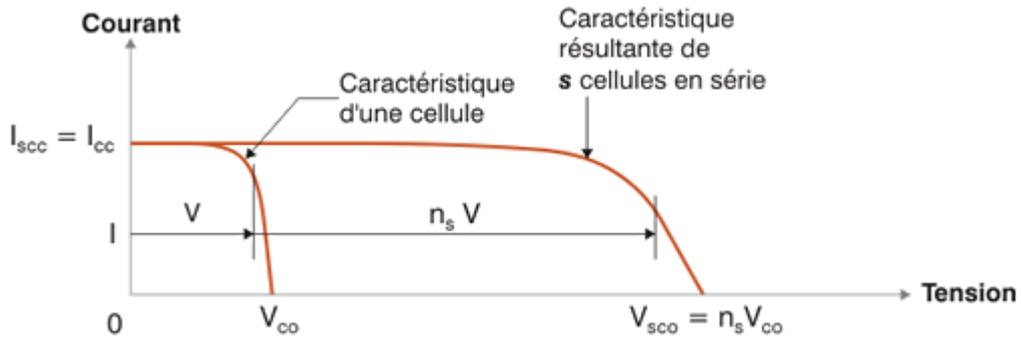


Figure 1.12 : Caractéristique I (v) d'un groupement de Ns cellules en série

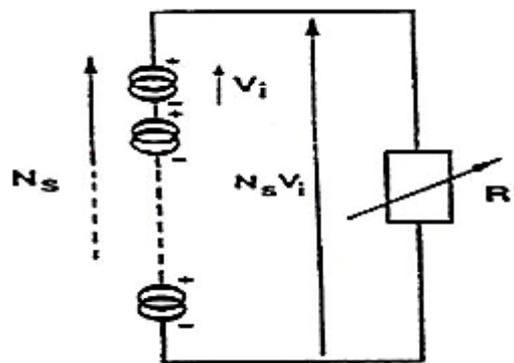


Figure 1.13 : Schéma d'un module fermé d'un groupement Ns cellules en série

Avec :

Ns : nombre de cellule en série

G : groupement de Ns cellules

R : la charge

2.6.4 -Association en parallèle

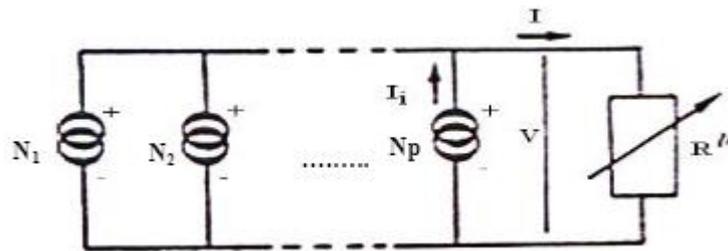


Figure 1.14 : Schéma d'un module fermé d'un groupement de N_p cellules en parallèle

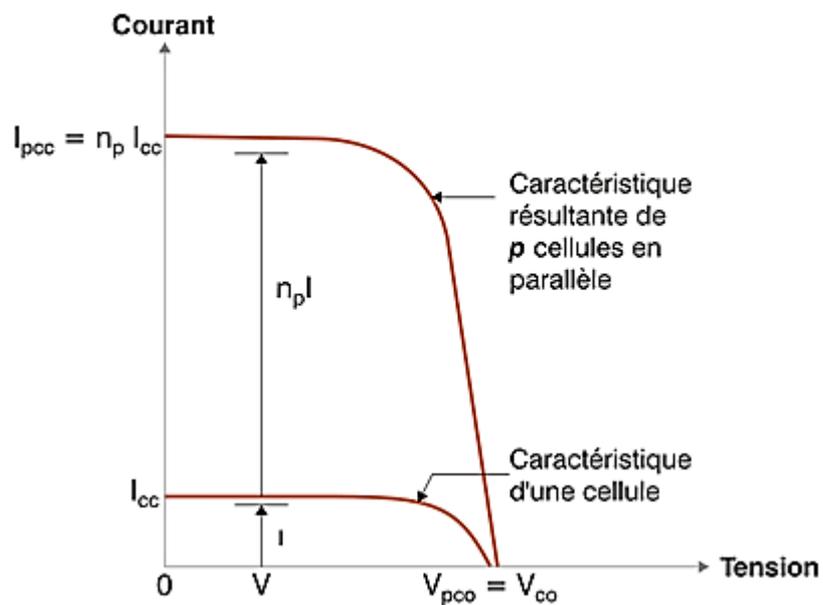


Figure 1.15: Caractéristique $I (v)$ d'un groupement de N_p cellules en parallèle

Avec :

N_p : nombre de cellule en parallèle

G : groupement de N_p cellules

R : la charge

Par association en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et le courant résultant correspond à la somme des courants générés par chacune des cellules.

Cette courbe (figure 1.15) est obtenue en multipliant point par point par N, (nombre d'éléments en parallèle) et pour chaque valeur de la tension, le courant de la courbe correspondant a une cellule élémentaire fermé sur une résistance RLe groupement parallèle délivrera le courant Np .

Sous la tension V Chacune des N branché en parallèle génère le courant La construction graphique de la figure (115) suppose que la connexion en parallèle n'introduit pas des résistances parasites (série ou shunt) supplémentaires. L'impédance optimale pour le groupement parallèle est N fois plus faible que l'impédance optimale pour une branche [14]

2.7 -Les panneaux solaires

Un panneau solaire est un module électrique regroupant des cellules photovoltaïques reliées entre elles en série et en parallèle, ces cellules produisent de l'électricité par réaction chimique lorsqu'elles rentrent en contact avec les rayons du soleil [13]

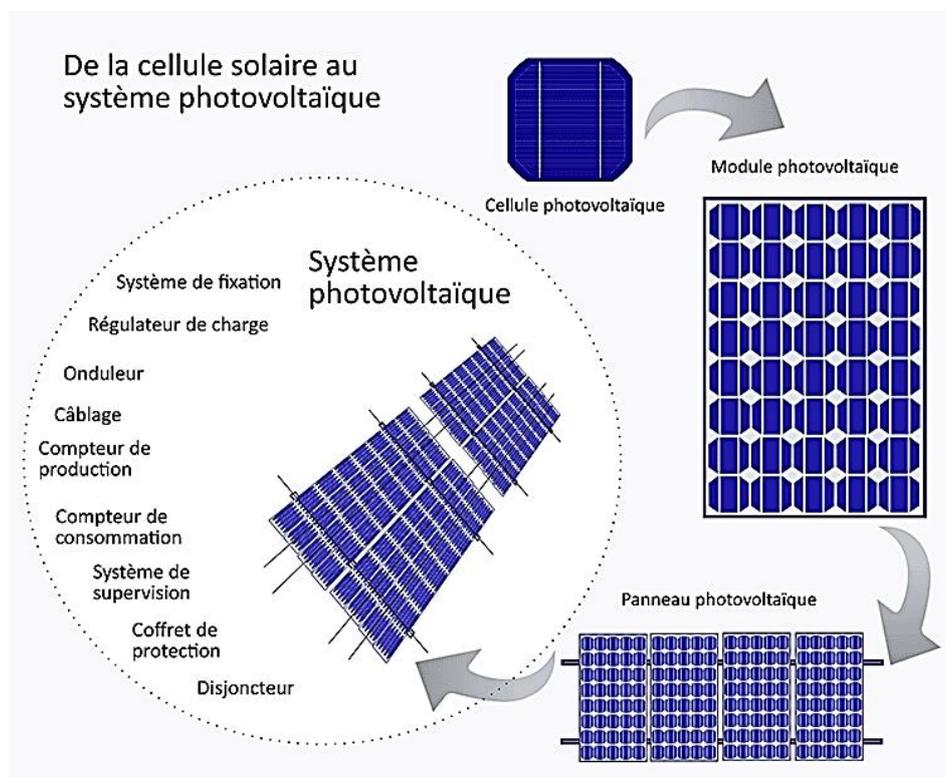


Figure 1.16 : exemple d'un panneau solaire

La quantité d'électricité produite par un panneau solaire

Ce rendement dépend des facteurs suivants :

- La taille des panneaux photovoltaïques.
- L'ensoleillement dans la région.
- L'exposition au soleil du toit.
- La saison d'utilisation

La puissance d'un **panneau solaire** s'exprime en WC (watts-crête). Elle correspond à la puissance maximale pouvant être produite dans des conditions optimales. [14]

2.8 Champ photovoltaïque (PV)

Afin d'obtenir la tension nécessaire à l'onduleur, les panneaux sont connectés en série. Ils forment alors une chaîne de modules ou string. Les chaînes sont ensuite associées en parallèle et forment un champ photovoltaïque (champ PV).

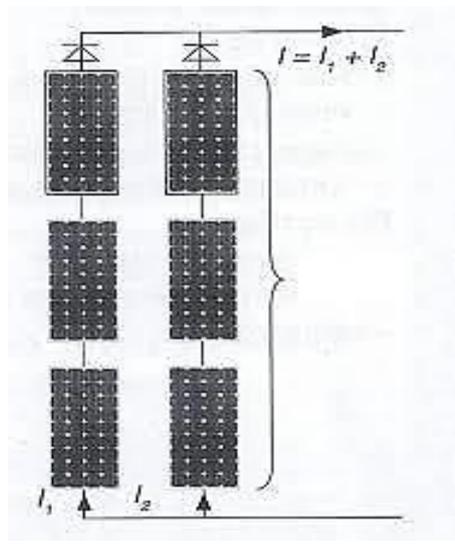
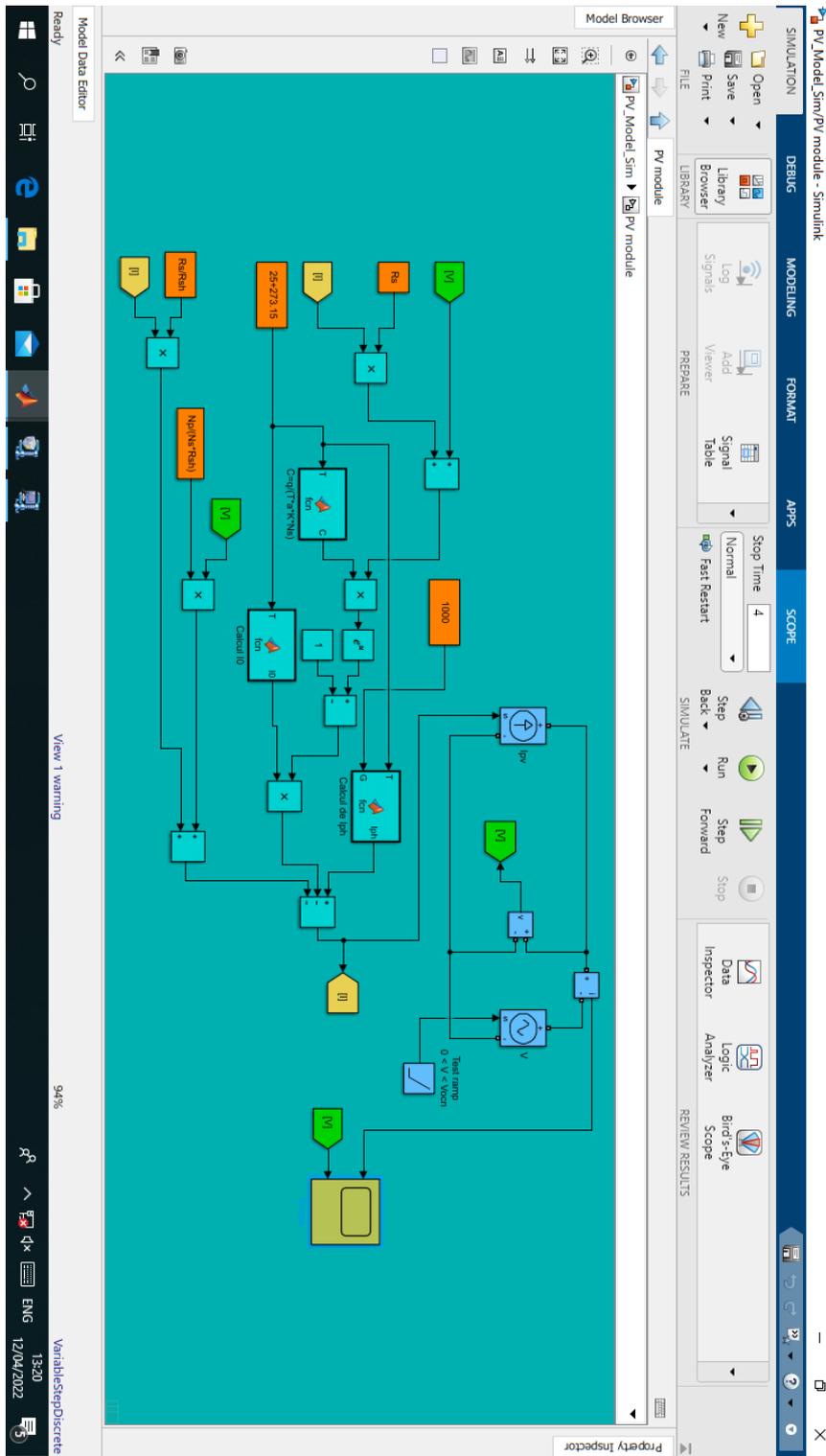


Figure 1.17: champ photovoltaïque montrée en série- parallèle

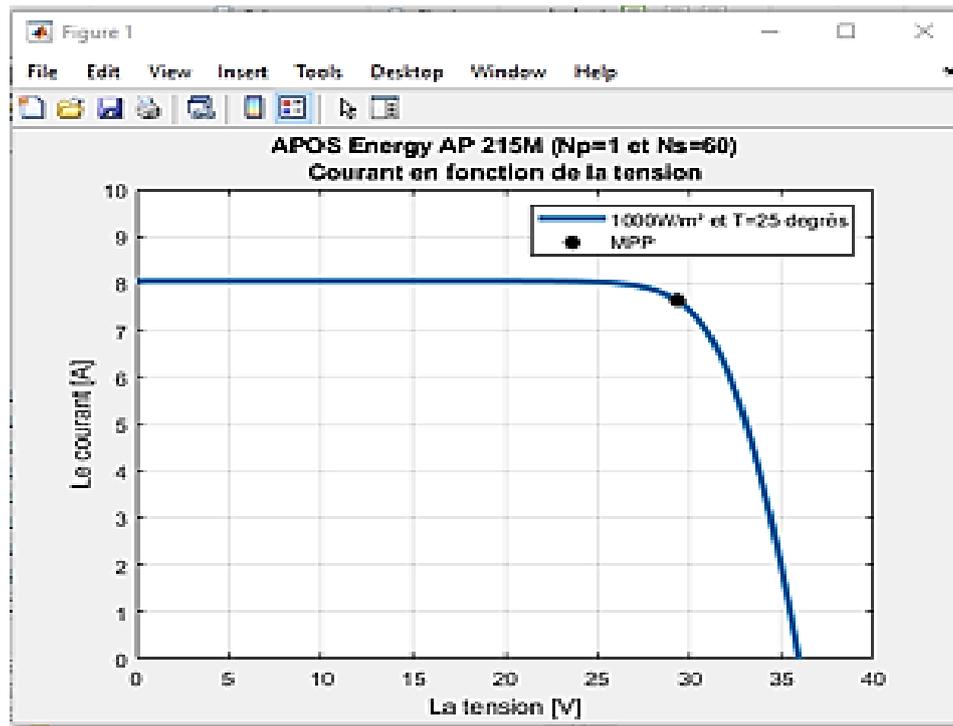
Il faut également installer des diodes ou des fusibles en série sur chaque chaîne de modules. Ces protections sont utiles pour éviter qu'en cas d'ombre sur une chaîne, elle se comporte comme un récepteur et que le courant y circule en sens inverse et l'endommage.

Programmes et simulation

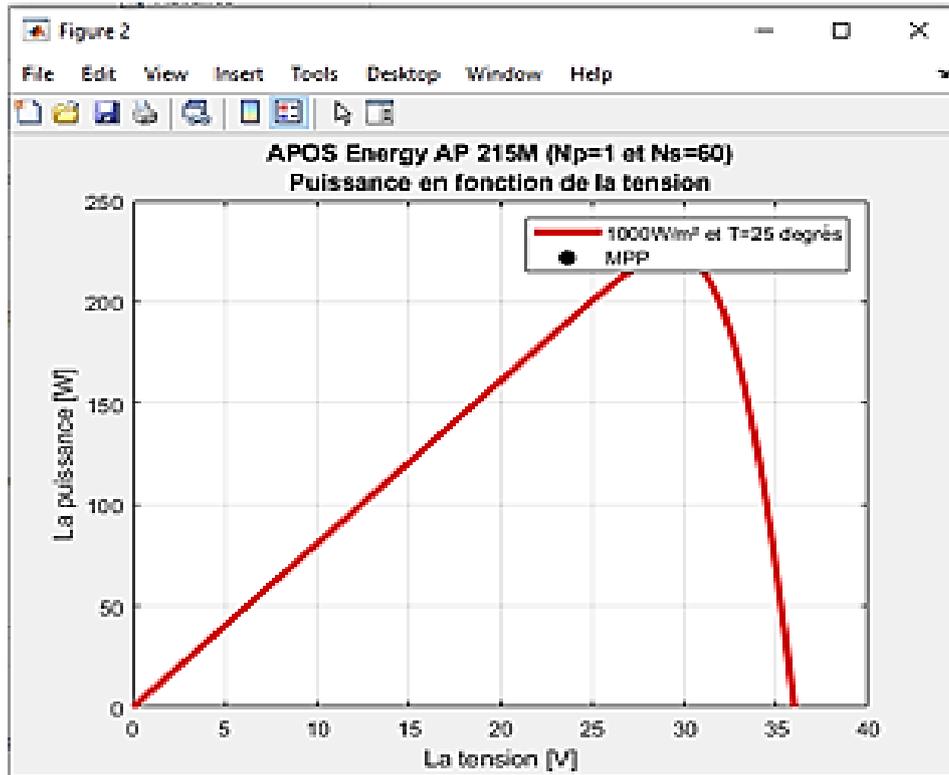
La figure 3 montre le montage sur Simulink du programme développé pour la détermination des paramètres. Le code script a été écrit sous le logiciel Matlab



Ces courbes montrent la relation non linéaire qui existe entre l'intensité et la tension du module d'une part, et d'autre part entre la puissance et la tension du module. Elles permettent de comprendre le fonctionnement d'un module photovoltaïque soumis à un éclairage et à une température de fonctionnements donnés.



La figure Présente la caractéristique Courant-Tension du panneau PV pour
Éclairement $G= 1000\text{W}/\text{m}^2$ et de température $T_c=25\text{C}$



La figure présente l'évolution de la puissance générée du module en fonction de la tension à température et éclairement fixe.

Orientation des panneaux solaire

2.9.1 Choix de l'orientation des modules

L'orientation plein sud : idéale pour notre production

Vous le savez sans doute : le soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest. Si vous souhaitez capter un maximum de rayons solaires durant toute la journée, c'est donc vers le sud (si vous habitez dans l'hémisphère nord) qu'il faut incliner vos panneaux. Il s'agit vraiment de l'orientation optimale pour des panneaux solaires.

En effet, si vous choisissez de les orienter soit à l'ouest, soit à l'est, il y aura forcément une partie de la journée pendant laquelle vous aurez du mal à capter le moindre rayon solaire.

Les autres orientations possibles

Si vous n'avez pas la possibilité d'orienter vos panneaux vers le sud, ce n'est pas pour autant que vous devez renoncer à tout projet photovoltaïque. En effet, même si cette orientation est idéale, ce n'est pas la seule qui est envisageable.

En effet, le rayonnement du soleil permet à la lumière de se réfléchir dans toutes les directions. Ainsi, une orientation sud-est ou sud-ouest peut tout à fait convenir. Une orientation est, bien qu'offrant moins de performances, peut également être envisagée. Enfin, choisissez l'ouest si vous n'avez pas d'autre option à votre disposition. En revanche, vous devez bannir le nord, nord-est et nord-ouest : votre production d'électricité serait alors beaucoup trop faible. [14]

2.9.2 Choix de l'inclinaison des modules

L'inclinaison représente la pente de votre toit. Elle représente l'angle exprimée en degré ou en pourcentage entre le plan du toit et une surface horizontale comme le sol. Ainsi, vos panneaux photovoltaïques suivent la même inclinaison que votre toiture puisqu'ils sont directement fixés sur vos tuiles.

La pente de vos panneaux solaires photovoltaïques est donc un critère essentiel afin de maximiser la production d'électricité solaire produite. En effet, le rendement est optimal quand les rayons du soleil frappent perpendiculairement les cellules photovoltaïques. Il est donc nécessaire de trouver la pente optimale afin de trouver la trajectoire perpendiculaire des rayons du soleil. [14]

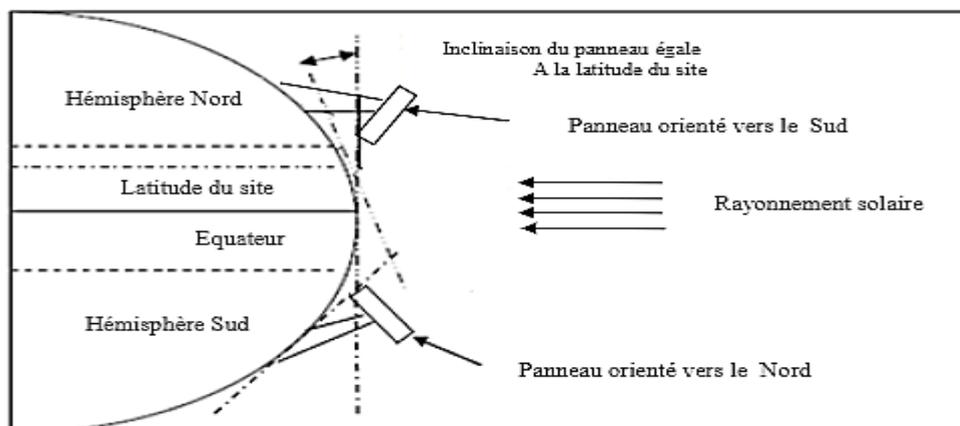


Figure 1.18 : comment incliner le panneau solaire

2.9.3 La trajectoire apparente de soleil

Nous savons tous que c'est la Terre qui tourne autour du Soleil. Mais pour nous, qui sommes sur la Terre, c'est le Soleil que nous voyons tourner autour de la Terre d'Est en Ouest. C'est ce qu'on appelle la course apparente du Soleil. Celle-ci varie au cours des saisons. Elle varie d'autant plus que la latitude du lieu d'observation est élevée ^[13]

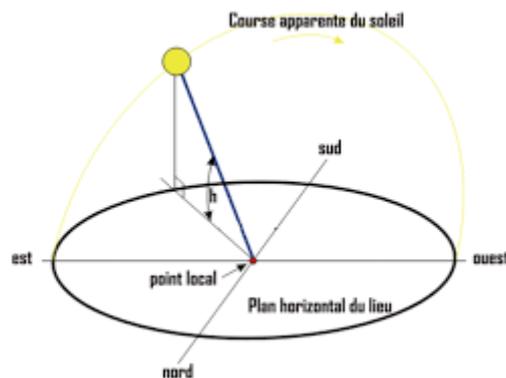


Figure 1.19 : représentation de l'attitude (hauteur) angulaire et l'azimut

2.10 Conclusion

Les performances d'un générateur photovoltaïque sont fortement influencées par les conditions climatiques, particulièrement l'irradiation solaire et la température du module.

Dans ce chapitre, nous avons donné un bref aperçu sur le domaine photovoltaïque.

On a commencé par donner la généralité et l'essentiel sur les cellules solaires. La liaison de ces cellules (série et ou parallèle) a été également traitée. Cette liaison constitue le module photovoltaïque alors que la liaison de ces modules aboutit au panneau ou générateur photovoltaïque. Nous avons vu aussi les caractéristiques courant-tension.

Les performances d'un générateur photovoltaïque sont fortement influencées par les Conditions climatiques, particulièrement l'irradiation solaire et la température du module.

Chapitre 03 : photovoltaïque agriculture (L'agrivoltaïque)

3.1 Introduction

Depuis quelques années émerge la volonté de développer des énergies renouvelables au sein du secteur agricole, afin d'atteindre les objectifs fixés par la loi de transition énergétique et mis en œuvre par la Programmation pluriannuelle de l'énergie, qui fait la part belle au photovoltaïque.

3.2 Qu'est-ce qu'une serre photovoltaïque

Ce gagnant-gagnant – production d'électricité et protection des cultures – a un nom : l'agrivoltaïsme. La serre est un système de production intensif utilisé aujourd'hui dans de nombreuses régions du monde pour les cultures de certains légumes, fruits, fleurs ou plantes ornementales. En les protégeant des aléas climatiques et en exploitant au maximum le rayonnement solaire naturel, la serre permet de mettre les cultures dans des conditions très favorables, d'augmenter ainsi les rendements et d'élargir la période de production.

Les projets de serres photovoltaïques consistent donc à intégrer, sur la structure d'une serre, des modules photovoltaïques pour produire de l'électricité. Afin de laisser passer la lumière, les modules PV peuvent être « semi-transparents » : avec des cellules cristallines en laissant passer une partie de la lumière entre les cellules, ou avec des couches minces en partie transparentes. [15]



Figure 3.1 hectares de serres photovoltaïques avec panneaux made-in-France

3.3 Comment fonctionne une serre solaire

Une serre solaire est un investissement qui consiste à installer, en toiture d'une serre, une série de panneaux captant la lumière du soleil qui, reliés à des onduleurs, génèrent une production d'électricité.

Cette énergie sera distribuée par Apex Energies au sein du réseau électrique des foyers environnants.

Enfin, cette nouvelle centrale photovoltaïque permet à l'exploitant de moderniser son outil productif (optimisation des conditions de production, protection des cultures, informatisation et automatisation) et de participer à la transition écologique dans un contexte micro local: ^[15]

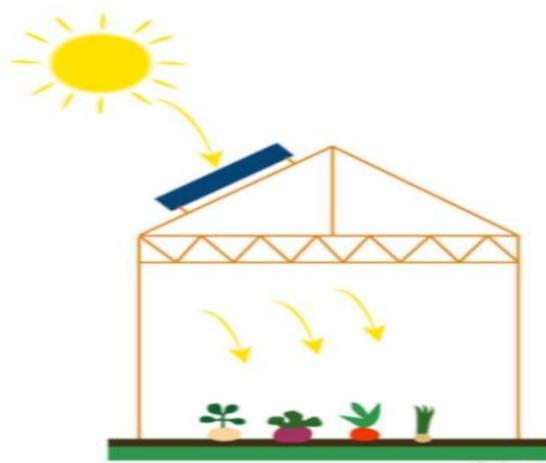


Figure 3.2 Fonctionnement d'une serre agricole solaire

3.4 Les avantages du passage à la culture sous serre photovoltaïque

- La protection des cultures

Les ouvrants, qui peuvent s'incliner au gré des besoins d'ensoleillement des cultures, offrent une protection contre les aléas climatiques (grêle, changements brusques de températures) et les nuisibles. Contrairement à une serre sous plastique, la serre photovoltaïque permet de réguler une atmosphère à faible condensation : grâce à un système de pilotage autonome de sa température et de son hygrométrie, elle limite le risque d'apparition de maladies.

- **La diversification des variétés**

La culture sous serre photovoltaïque nécessite une adaptation du choix variétal : des variétés qui s'épanouissent dans un environnement moins gourmand en ensoleillement, dont le rendement est amélioré par la régulation des conditions de production. Les tomates, aubergines, poivrons, courgettes, concombres, mâche, melon, kiwis, fraises, épinards, plantes aromatiques, roses et pivoines y trouveront un environnement propice au développement de cultures raisonnées et rentables.

- **L'augmentation des rendements et des marges**

Les rendements sous serre photovoltaïque sont très rentables, avec les bénéfices que représentent une meilleure maîtrise de l'apport hydrique (grâce, par exemple, à la récupération des eaux pluviales dans des bassins de rétention).

- **La production d'une énergie consommée localement**

En 2030, l'énergie verte représentera 30% de la production française. Pour atteindre cet objectif, inscrit dans la loi sur la transition énergétique, les projets de développement d'énergie renouvelable sont soutenus par l'Etat à travers des appels d'offres quadrimestres. En optant pour la création d'une serre photovoltaïque, vous participez activement à la transition énergétique de la France et devenez un fournisseur local d'électricité verte puisque l'ensemble de cette production est consommé par des foyers à moins de 10 km de votre exploitation.

- **Un investissement à fort impact environnemental**

Contrairement à une serre plastique dont la durée de vie n'est que de 5 ans, la serre solaire offre une longévité supérieure à 30 ans. Au-delà de l'impact environnemental, cet investissement est financé par Apex Energies^[16]

3.5 Le financement d'une serre photovoltaïque

Le coût de réalisation d'une serre photovoltaïque est 10 fois supérieur à celui d'une serre classique en tunnel. C'est pourquoi, à travers un partenariat gagnant-gagnant, Apex Energies prend à sa charge le financement des travaux et de construction de la structure, en contrepartie de la gestion de l'énergie produite pendant 30 ans. Pendant toute la durée de cette collaboration, l'agriculteur pourra fléchir ses investissements vers l'acquisition de matériel productif de pointe et, à l'issue de ce bail, devenir propriétaire d'une serre, totalement financée et de la centrale toujours opérationnelle. Il est préférable d'être bien accompagné pour monter un tel dossier, car il requiert un niveau de technicité élevé.^[16]

3.6 Conclusion

Les systèmes autonomes dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. L'énergie produite par les modules photovoltaïques au cours de la journée peut être utilisée immédiatement ou emmagasinée dans les accumulateurs, servant la nuit ou pendant des périodes à ciel couvert où dans le cas insuffisance d'énergie solaire pour alimenter la serre agricole.

Conclusion générale

Lors de ce projet de fin d'études, nous avons eu l'occasion de voir l'application des connaissances théorique acquise au cours de nos cinq années d'études, dans le domaine de contrôle des serres agricole et de la production de l'énergie électrique à partir d'un système photovoltaïque.

La serre agricole est un bon endroit pour cultiver des légumes et des fruits lorsque les conditions environnementales idéales pour les plantes sont disponibles les paramètres climatiques de la serre à savoir la température, l'humidité, et les concentrations des gaz (CO₂, et O₂), peuvent être gérés par des systèmes de commande, Les besoins en énergie de la serre peuvent être assuré par l'utilisation d'un système a base de panneaux photovoltaïque.

Enfin, ce travail nous a permis de découvrir les domaines des serres agricoles et des systèmes photovoltaïques qui présentent une grande priorité pour la relance économique de notre pays soit en production d'énergie soit en augmentation de produits agricoles surtout dans les milieux désertiques.

Annex A

Le système (PV)



Les étapes pour fabriquer un système photovoltaïque

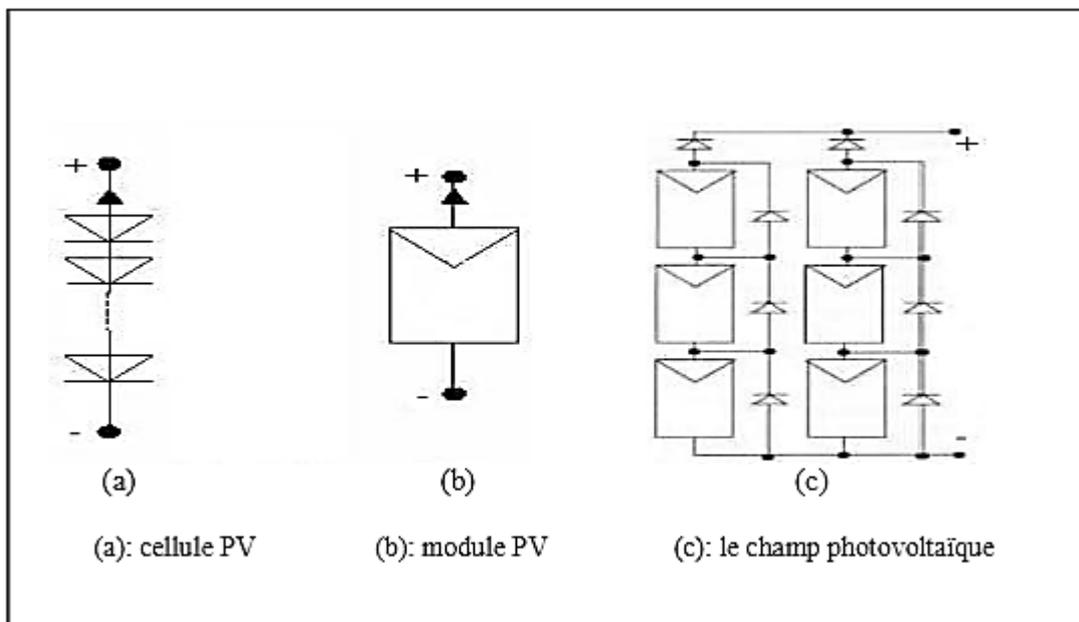
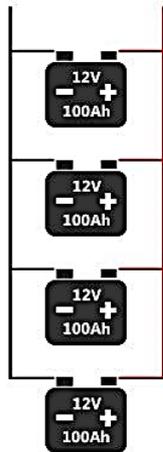


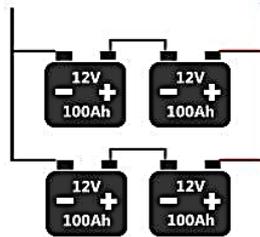
Schéma d'une cellule PV
Module PV
Est un champ photovoltaïque

Branchement en parallèle 12V



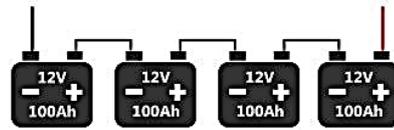
$$12V \times 400 Ah = 4800Wh$$

Branchement en série et parallèle 24V



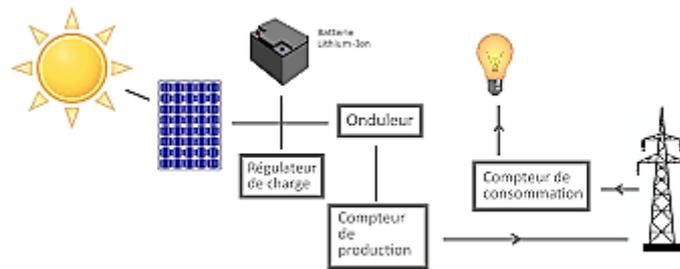
$$(24V \times 100Ah) \times 2 = 4800Wh$$

Branchement en série 48V



$$48V \times 100Ah = 4800Wh$$

Branchements de batteries ou de panneaux solaires



Installation de panneau solaire



Panneau photovoltaïque



Champs photovoltaïques en Allemagne

Bibliographie :

[1] fr.wikipedia.org/wiki/Serre

[2] <https://www.solutecagri.re/fr/serres-multi-chapelles/14-serre-multi-chapelle-largeur-650m.html>

[3] <https://www.cmf-groupe.com/cmf-cultures/serres-verre/>

[4] I. Telli, "Gestion Automatique d'une Serre Agricole", Mémoire de Fin d'Etudes En vue de l'obtention du diplôme MASTER, Université de Biskra 2015.

[5] <http://www.acd-serres.fr/fr-8825-4813-6707-sitemap-chauffage-serre.html>

[6] Vallères, Marise. Comparaison de méthodes de refroidissement et de déshumidification pour une production en serre de tomates biologiques. 2018

[7] Khosla, S. (2002) Le gaz carbonique dans les serres. Repéré à :
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm>

[8] Laboratoire sur L'Energie Solaire, Département de Physique Faculté Des Sciences, Université de Lomé, B.P. 1515, Lomé, Togo 1 Centre Informatique et de Calcul, Université de Lomé, B.P. 1515, Lomé, Togo

[9] www.academia.edu/5133875/ENERGIES_RENOUVELABLES

[10] www.climamaison.com

[11] www.planete-energies.com

[12] M. Kenane, S.Sadoudi « Modélisation de modules photovoltaïques en milieu réel d'implantation », Mémoire de Master II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.

[13] Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque: Cas du module polycristallin Ecoline LX-260P installé au dispensaire de Sévagan (Togo)

[14] <https://theconversation.com/agrivolta-sme-une-filiere-qui-doit-tenir-ses-promesses-175780>

[15] <https://www.apexenergies.fr/serre-photovoltaique/serres-photovoltaiques-mode-demploi>

[16] M. Kenane, S.Sadoudi « Modélisation de modules photovoltaïques en milieu réel d'implantation », Mémoire de Master II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2013.