

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 technologie

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentation

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

### DEVELOPPEMENT D'UNE STRATEGIE DE GESTION D'UN SYSTEME D'ENERGIE RENOUVLABLE POUR APPLICATION AGRICOLE

Présenté par :

- **DENDANI YUCEF**
- **BOUKHAMLA FOUED**

Encadreur : *Mr GHERBI Sofiane* Grade : *Professeur* Université d'Annaba

### Jury de Soutenance :

Mr. BEKAIK Mounir	MCB	Université d'Annaba	Président
Mr. AIT IZEM Tarek	MCB	Université d'Annaba	Examineur
Mr. GHERBI Sofiane	Professeur	Université d'Annaba	Expert

## REMERCIEMENT

Je remercie dieu tout puissant de m'avoir accordé la force et la volonté pour terminer ce travail.

Je tiens à remercier très sincèrement Monsieur **GHARBI Sofiane** professeur à l'université Badji Mokhtar Annaba pour l'honneur qu'il m'a accordé en acceptant d'encadrer ; de leur conseils utiles dans le travail expérimental et théorique.

Je tiens à exprimer mes remerciements et ma reconnaissance a Monsieur le professeur **ABBASSI Hadj Ahmed** au Centre de Recherche d'Environnement Annaba. Pour son suivi permanent ; ses lectures attentives ; ses conseils sage ; et le soutien qu'il m'a offrir durant l'élaboration de ce travail.

Mes remerciements également aux membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont accordé en acceptant de participer à l'évaluation de ce travail :

- ✚ Monsieur **BEKAIK Mounir** MCB université Annaba.
- ✚ Monsieur **AIT IZEM Tarek** MCB université Annaba.

J'exprime mes sincères remerciements au Doctorant Monsieur **SOUAIDI Hichem** à l'université Badji Mokhtar Annaba pour son aide et son soutien tout le long de la préparation de ce travail.

*DENDANI YOUCEF*

*BOUKHAMLA FOUAD*

## ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تطوير إستراتيجية إدارة الطاقة المتجددة لتطبيق زراعي، وتستند هذه الإستراتيجية بشكل أساسي على ثلاثة معايير ، الطاقة المنتجة من الخلايا الكهروضوئية، والطاقة التي تنتجها الرياح والطاقة المخزنة في البطاريات، مع العلم أن هذه الإستراتيجية تعتمد على وضع تشغيل معين وهو فصل الطاقة تم إنشاء أو حساب جميع احتياجات الطاقة للبيت البلاستيكي، والغرض منه هو الحصول على تحجيم النظام الهجين.

تم إجراء محاكاة بلغة matlab، وتتكون الأخيرة من مجموعة من الوحدات الكهروضوئية، توربينات الرياح وبنك البطاريات ، من أجل إمداد البيت البلاستيكي بالطاقة المطلوبة .

في الواقع، أعطت إستراتيجية الإدارة هذه مزيداً من التحسين، خاصة فيما يتعلق بإدارة الطاقة المنتجة، وسمحت لنا بإدارة احتياجات الطاقة وفقاً للطاقة المتاحة. تظهر نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها أداء وكفاءة هذه الإستراتيجية في إدارة الطاقة الخاصة بالبيوت البلاستيكية الزراعية

.الكلمات المفتاحية: إستراتيجية الإدارة ، نظام الطاقة الهجين ، فصل الطاقة

## **Abstract**

The main objective of this work is to develop a renewable energy management strategy for an agricultural application, this strategy is essentially based on three parameters, the energy produced from photovoltaics, thus the energy produced by wind turbines and the energy stored in the batteries, this strategy is based on the mode of operation in order of priority.

For this, an energy balance of the overall energy requirement of the greenhouse has been established, the aim of which is to have the optimal sizing of the hybrid system, a simulation has been carried out in MATLAB SIMULINK simulation language and which consists of a group of photovoltaic systems, a wind generator and a bank of batteries, in order to provide the power requested by the various organs of the greenhouse.

As a result, this management strategy has given remarkable improvements, particularly in the conduct of the energy produced, and has allowed us to manage energy needs according to available energy and demand.

The simulation results obtained show the performance and efficiency of this strategy in energy management in the agricultural greenhouse.

**Keywords:** management strategy, priority order hybrid energy system, agricultural greenhouse, PVP, wind turbine, battery bank.

## Résumé :

L'objectif principal de ce travail est de faire développer une stratégie de gestion de l'énergie renouvelable pour une application agricole, cette stratégie s'articule essentiellement sur trois paramètres, l'énergie produite du photovoltaïque, l'énergie produite par l'éolienne et l'énergie stockée dans les batteries, cette stratégie repose sur le mode de fonctionnement par ordre de priorité.

Pour cela, un bilan énergétique du besoin global en énergie de la serre a été établi, dont le but est d'avoir le dimensionnement optimal du système hybride, une simulation a été réalisée en langage de simulation MATLAB SIMULINK et qui est constituée d'un groupe de système photovoltaïque, une éolienne et un Bank de batteries, ceci afin de fournir la puissance demandée par les différents organes de la serre.

En conséquence, cette stratégie de gestion a donnée des améliorations remarquables notamment sur la conduite de l'énergie produite, cela nous a permet de gérer les besoins énergétiques selon l'énergie disponible et la demande.

Les résultats de simulation obtenus montrent la performance et l'efficacité de cette stratégie dans la gestion d'énergie dans la serre agricole.

**Mots Clés :** stratégies de gestion, système d'énergie hybride, serre agricole, PPV, éolienne, Bank de batteries

# Sommaire

---

REMERCIEMENT .....	i
Résumé : .....	iv
Sommaire .....	v
Liste des figures .....	ix
Liste des Tableaux .....	xi
Listes des Acronymes et Symboles .....	xii
INTRODUCTION GENERALE : .....	1
I.1 Introduction : .....	4
I.2 Généralité sur les systèmes photovoltaïque : .....	4
I.2.1 Effet photovoltaïque : .....	4
I.2.2 Cellule photovoltaïque : .....	5
I.2.3 Types de cellules solaires : .....	7
I.2.4 Association de cellules : .....	7
I.2.5 Caractéristiques d'un module photovoltaïque : .....	8
I.2.6 Principaux composants d'un système solaire photovoltaïque : .....	8
I.2.6.1 Générateur photovoltaïque : .....	8
I.2.6.2 Stockeur d'énergie (batterie ou accumulateur) : .....	8
I.2.6.3 Système de contrôle (régulateur) : .....	9
I.2.7 Convertisseurs d'énergie: .....	9
I.2.8 Hacheur : .....	9
I.2.8.1 Hacheur série : .....	9
I.2.8.2 Hacheur parallèle : .....	10
I.2.8.3 Hacheur série-parallèle : .....	10
I.3 Généralité sur les systèmes éoliens : .....	11
I.3.1 Types d'éoliennes : .....	11
I.3.1.1 Éolienne à axe horizontal : .....	11
I.3.1.2 Eolienne à axe vertical : .....	13
I.3.2 Zones de fonctionnement : .....	16
I.3.3 Modes de fonctionnement d'un système éolien : .....	16
I.3.4 Critère de choix d'un potentiel éolien : .....	17
I.3.5 Le vent : .....	17
I.4 Système de Stockage : .....	18
I.4.1 La capacité de stockage des batteries : .....	18
I.4.2 La tension de l'installation : .....	18

# Sommaire

---

1.4.3	Intégration de l'autonomie souhaitée pour finaliser votre estimation : .....	19
1.4.4	Durée de vie des batteries: .....	19
1.4.5	Mesure de la capacité d'une batterie : .....	19
1.4.6	La durée de vie d'une batterie:.....	20
I.5	Conclusion : .....	20
II.1	Introduction: .....	22
II.2	Généralités sur les systèmes d'énergie hybrides :.....	22
II.2.1	Hybridation des sources renouvelables avec des systèmes de secours :.....	23
II.2.2	Hybridation des sources purement renouvelables : .....	23
II.2.3	Hybridation des sources renouvelables avec unité de stockage à court-terme : 23	
II.2.4	Hybridation des sources purement renouvelables avec des unités de stockage à court et à long-terme : .....	23
II.3	Topologies du système hybride :.....	24
II.3.1	Le Couplage DC :.....	24
II.3.2	Couplage AC :.....	25
II.3.3	Le couplage mixte DC/AC : .....	25
II.4	Principaux composants des systèmes hybrides : .....	26
II.4.1	Systèmes de stockage : .....	26
II.4.2	Convertisseurs d'électronique de puissance :.....	26
II.4.2.1	Convertisseur Buck ou hacheur série :.....	27
II.4.2.2	Convertisseur boost ou hacheur parallèle : .....	27
II.4.2.3	Convertisseur Buck-Boost :.....	27
II.4.3	Charge : .....	27
II.5	Commande des systèmes hybrides :.....	27
II.6	Avantages et inconvénients des systèmes hybrides :.....	28
II.6.1	Avantage :.....	28
II.6.2	Inconvénients : .....	28
II.7	Conclusion: .....	28
III.1	Introduction : .....	30
III.2	Définition du besoin électrique :.....	31
III.3	La méthodologie est la suivante : .....	31
III.4	Evaluation du gisement solaire local .....	31
III.5	Présentation du site d'étude .....	32
III.6	Les divers paramètres météorologiques du site: .....	32
III.6.1	Les irradiations Globales horizontales de la zone des années 2019-2020 :.....	32

# Sommaire

III.6.2	La radiation solaire mensuelle des années 2019 – 2020: .....	33
III.6.3	La température mensuelle des années 2019 – 2020: .....	33
III.6.4	Température moyenne mensuelle .....	34
III.6.5	La vitesse du vent entre 1984-2013 .....	34
III.7	Le bilan énergétique de la serre : .....	35
III.7.1	Besoin en puissance de la serre partie « Elevage » : .....	35
III.7.2	Besoin en puissance de la serre partie « Griffage » : .....	35
III.7.3	Calcul du temps d'activité par outillage dans la partie « Elevage » : .....	36
III.7.4	Calcul du temps d'activité par outillage dans la partie « Griffage » : .....	36
III.7.5	Calcul de l'énergie à Produire : .....	36
III.8	Dimensionnement du photovoltaïque : .....	38
III.8.1	Calcul de la puissance crête:.....	38
III.8.2	Calcul nombre de modules :.....	39
III.8.3	Nombre de modules en série:[27].....	39
III.8.4	Nombre de chaines en parallèle :[27] .....	39
III.9	Dimensionnement batterie de stockage.....	39
III.9.1	Calcul de capacité de stockage.....	39
III.9.2	Nombre de batterie en série .....	39
III.9.3	Nombre de batterie en parallèle : .....	40
III.10	Dimensionnement du photovoltaïque par l'application PVsyst: .....	40
III.11	Dimensionnement PV/Éolienne/Batteries de stockage : .....	41
III.12	Conclusion : .....	42
IV.1	Introduction: .....	44
IV.2	Simulation de système hybride (PV/éolien/Batterie) avec la stratégie de gestion: ..	44
IV.2.1	Simulation du photovoltaïque avec MPPT : .....	44
IV.2.1.1	Le régulateur MPPT : .....	44
IV.2.1.2	Les paramètres Photovoltaïque dans la simulation : .....	45
IV.2.1.3	Caractéristique du panneau solaire utilisé dans la simulation : .....	45
IV.2.1.4	Commentaires sur les résultats obtenus:.....	47
IV.2.2	Simulation de l'éolienne : .....	47
IV.2.2.1	Caractéristique éolienne : .....	48
IV.2.2.2	Commentaires sur les résultats obtenus:.....	49
IV.2.3	Simulation les batteries : .....	49
IV.2.3.1	Commentaires sur les résultats obtenus : .....	50
IV.3	Simulation du système hybride (PV/Eolien/Batterie) : .....	51
IV.3.1	Commentaires sur les résultats obtenus : .....	52

## Sommaire

---

IV.3.2	Commentaires sur les résultats obtenus :.....	53
IV.4	Organigramme de la stratégie :.....	54
IV.5	Simulation du système hybride avec la stratégie de gestion :.....	56
IV.5.1	La stratégie de gestion :.....	57
IV.5.1.1	Résultats de simulation système hybride avec la stratégie .....	58
IV.5.1.2	Résultats de simulation des charges PL1, PL2 et PL3 ci-après :.....	60
IV.5.1.3	Commentaires sur les résultats obtenus :.....	61
IV.5.1.4	Commentaires sur les résultats obtenus PL1, PL2 et PL3 :.....	62
IV.6	Conclusion : .....	63
	Conclusion Générale :.....	65
	Références Bibliographiques.....	67
	Annexe .....	70

## Liste des figures

Figure I- 1 :Diversification du système photovoltaïque .....	4
Figure I- 2:Schéma d'une cellule photovoltaïque.....	6
Figure I- 3:Diagramme de bandes d'énergie au voisinage de la jonction.....	6
Figure I- 4:Types de cellule photovoltaïque.....	7
Figure I- 5:Structure d'une cellule solaire en silicium. ....	8
Figure I- 6:Schéma d'un hacheur série.....	9
Figure I- 7:Schéma d'un hacheur parallèle. ....	10
Figure I- 8:Schéma d'un hacheur série-parallèle.....	10
Figure I- 9:Éoliennes à axe horizontal.....	12
Figure I- 10:Orientation de la turbine d'une éolienne à axe horizontal.....	13
Figure I- 11:Éoliennes à axe vertical.....	13
Figure I- 12:Composants d'une turbine éolienne. ....	14
Figure I- 13:Constitution d'un système éolien. ....	15
Figure I- 14:Zone de fonctionnement d'une éolienne. ....	16
Figure II- 2:Schéma général du système énergétique hybride multi-sources, charges et stockage.....	22
Figure II- 3:Architecture d'un système hybride avec DC bus.....	24
Figure II- 4:Architecture d'un système hybride avec AC bus.....	25
Figure II- 5:Architecture d'un système hybride avec DC bus et AC bus.....	25
Figure II- 6:Un système hybride avec AC bus et DC bus. ....	26
Figure III- 2:la serre multi chapelle.....	30
Figure III- 3:solaire mensuelle des années 2019 – 2020 .....	33
Figure III- 4:Température moyenne mensuelle.....	34
Figure III- 5:Vitesse moyenne du vent.....	34
Figure IV- 1:Courant du PV .....	46
Figure IV- 2:Tension du PV .....	46
Figure IV- 3:Courant de charge.....	46
Figure IV- 4:Tension de charge.....	46
Figure IV- 5:La puissance produite .....	47
Figure IV- 6:Courant éolien .....	48
Figure IV- 7:Tension éolien .....	48
Figure IV- 8:Puissance produite par éolien .....	48
Figure IV- 9:State of charge SOC .....	49
Figure IV- 10:Courant Batterie.....	49
Figure IV- 11:Tension Batterie.....	50
Figure IV- 12:Tension PV/éolien .....	51
Figure IV- 13:Courant PV/éolien .....	52
Figure IV- 14:Puissance PV/éolien .....	52

## **Liste des figures**

---

Figure IV- 15: Tension PV/éolien après DC/AC.....	53
Figure IV- 16: Courant PV/éolien après DC/AC.....	53
Figure IV- 17:Puissance PV/éolien après DC/AC.....	53
Figure IV- 18:Commande PL1 .....	58
Figure IV- 19:Commande PL2 .....	58
Figure IV- 20:COMMANDE S3 .....	59
Figure IV- 21:Commande SBat .....	59
Figure IV- 22:Commande Scd.....	60
Figure IV- 23:Puissance charge LP1 .....	60
Figure IV- 24:Puissance charge LP2 .....	60
Figure IV- 25:Puissance charge LP3 .....	61

## Liste des Tableaux

---

### Liste des Tableaux

Tableau I- 1:Classification des turbines éoliennes. ....	14
Tableau I- 2: la tension de stockage de l'énergie.....	19
Tableau III- 1:Les cordones du site d'étude.....	32
Tableau III- 2:Les irradiations Globales horizontales de la zone des années 2019/2020.....	32
Tableau III- 3:La température mensuelle des années 2019 – 2020 .....	33
Tableau III- 4:La vitesse du vent entre 1984-2013.....	34
Tableau III- 5:Besoin en puissance de la serre partie « Elevage » .....	35
Tableau III- 6:Besoin en puissance de la serre partie « Griffage » .....	35
Tableau III- 7:Le temps dissipé pour chaque appareillage en relation avec le conditionnement approprié.....	36
Tableau III- 8:temps d'activité par outillage dans la partie « Griffage » .....	36
Tableau III- 9:Calcul de l'énergie à Produire - partie « Elevage ».....	37
Tableau III- 10:Calcul de l'énergie à Produire - partie« Griffage ».....	37
Tableau III- 12:Récup globale des besoins énergétique journalière :.....	37
Tableau III- 12:Caractéristique des composants prise dans le dimensionnement- photovoltaïque .....	40
Tableau III- 13:Caractéristique des composants prise dans le dimensionnement- Batterie de stockage .....	40
Tableau III- 14:Caractéristique des composants présent dans l'application -l'éolienne .....	41
Tableau III- 15:Caractéristique des composants présent dans l'application –Le photovoltaïque.....	41
Tableau III- 16:Caractéristique des composants présent dans l'application - Les Batterie de stockage	41
Tableau IV- 1: Caractéristique du panneau solaire utilisé dans la simulation.....	45
Tableau IV- 2:Caractéristique éolienne .....	48

## *Listes des Acronymes et Symboles*

---

### Listes des Acronymes et Symboles

SER	Système Energie Renouvelable
SER	Système Energie Renouvelable
GPV	Générateur Photovoltaïque
PV	Photovoltaïque
CA	Courant Alternatif
CC	Courant Continu (DC)
SOC	Etat de Charge de la batterie
MPPT	Poursuite du Point de puissance Maximale
Ep	L'énergie à produire
STC	conditions standard de test
Eelec	Energie max journalière consommée
Pi	La puissance radiative
Ei	L'irradiation solaire journalière la plus faible
Pc	Puissance crête
C	capacité de stockage
LP	puissance de charge
CS	convertisseur statique
P&O	Perturbation et Observation
RMS	raccine carré moyenne
P <sub>PV</sub>	Puissance produite par le photovoltaïque.
P <sub>w</sub>	Puissance produite par l'éolienne.
P <sub>bat</sub>	Puissance instantané des batteries.
P <sub>Re</sub>	Somme des Puissances des énergies renouvelable
S <sub>bat</sub>	State batteries.
S1	Commande de la charge PL1.
S2	Commande de la charge PL2.
S3	Commande de la charge PL3.
S <sub>cd</sub>	State charge/décharge des batteries.

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENERALE :

La croissance intensive de la population mondiale, avec une dépendance accrue sur la technologie entraîne une augmentation à la demande d'énergie. Actuellement, la principale source d'énergie provient des ressources conventionnelles limitées telles que le charbon, le pétrole et le gaz naturel, ces ressources en combustibles fossiles sont en baisse, et la capacité de les produire est toujours en perturbation.

L'utilisation des combustibles fossiles est également nocif à l'environnement, lorsque les combustibles fossiles sont brûlés pour produire de l'énergie, ils émettent des gaz à effet de serre, le dégagement de ces gaz dans l'atmosphère contribue au changement climatique et à la production de pluies acides. L'émission de certains gaz à effet de serre a également un effet néfaste sur la couche d'ozone.

L'augmentation de la demande d'énergie, la diminution des ressources en combustibles fossiles, ainsi que les problèmes environnementaux liés à la combustion des combustibles fossiles ont accru le besoin des ressources énergétiques alternatives notamment les ressources renouvelables, qui ne s'épuisent pas tel que le soleil, le vent, la terre et l'eau.

De ce fait, le monde a connu une augmentation remarquable au domaine de la recherche scientifique et le développement des technologies pour l'exploitation de ces ressources dont le but principal est de trouver les meilleures solutions possibles pour substituer les ressources conventionnelles par des autres renouvelables. Cela pour des fins environnementaux et économiques ou la majorité des recherches dans cherchent à exploité d'une manière rentable les différentes manières possibles pour l'exploitation de ces ressources dans les différentes régions du monde.

Les principales gammes de ressources renouvelables utilisées comprennent généralement la biomasse, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'hydroélectricité et l'énergie solaire.

Chacune de ces technologies renouvelables a ses avantages et ses inconvénients. Les énergies hydroélectrique et géothermique sont spécifiques à l'emplacement de leurs énergies primaires, ce qui limite leur utilisation. Le développement de la biomasse a eu des implications sur la production alimentaire, car pour produire cette énergie avec un meilleur rendement, il faut occuper des terres fertiles et par conséquent, baisser la production agricole et entrainer une importante déforestation.

Les éoliennes nécessitent un entretien régulier en raison des pièces mobiles et ne sont pas considérées esthétiquement attrayantes. L'énergie solaire a aussi ses inconvénients. Cependant, les panneaux photovoltaïques (PV) nécessitent une maintenance minimale, ne génèrent aucun bruit et leur coût continu à diminuer au cours des prochaines années. Ces sources d'énergies, dites aussi productions dispersées, peuvent être raccordées soit au réseau électrique, soit alimenter un site isolé [1-2].

L'ALGERIE est parmi les payés en développement bénéficiaire d'un gisement très important d'énergies renouvelables, particulièrement l'ensoleillement et le vent, l'exploitation

de ces deux ressources d'une manière séparée donne des résultats très acceptables, mais une combinaison de ces deux ressources dans un seul système dit «système hybride solaire/éolien» présente une solution digne d'analyse et peut contribuer à des résultats très satisfaisants.

Cependant, les énergies solaire et éolienne peuvent être catégorisé comme des sources intermittentes, car il ne s'agit pas d'une alimentation continue et ne répond pas à la demande de charge d'électricité. Pour ces deux types d'énergie renouvelable, l'énergie éolienne est la source la plus affectée par rapport à l'énergie solaire en raison de son inconstance. De même, ces deux sources d'énergie imprévisibles, autonomes, produiront une énergie électrique flottante et ne pourront donc pas assurer le niveau minimum de continuité de puissance requis par la charge.

L'objectif de cet mémoire est le développement d'une stratégie de gestion d'un système d'énergie renouvelable hybride solaire/éolien pour une application agricole et la simulation du système avec des batteries de stockage, en utilisant langage MATLAB/SIMULINK.

Ce travail est basé sur le calcul du bilan énergétique pour déterminer la puissance demandée par la serre agricole de type multi chapelle située à Ben Amar commune de Chatt wilaya de Tarf ainsi que les paramètres métrologiques appropriées.

Le développement d'une telle stratégie de gestion d'un système hybride avec des batteries de stockage peut contribuer à une alternative énergétique dans le domaine de l'agriculture. La simulation d'un système hybride PV/éolien isolés avec des batteries de stockage présente une solution optimale pour l'alimentation en intermitten de la serre agricole.

Le travail présenté dans ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente l'état de l'art des énergies renouvelables photovoltaïque ; éolienne ainsi que le stockage des batteries.

Dans le deuxième chapitre, on a exposées les divers systèmes d'hybridation (PV/éolien/batterie) est leurs avantages et inconvénients vis à vis les applications prévues.

Le troisième chapitre est dédié à la détermination des besoins énergétiques de la serre agricole, basant sur leur position géographique et les divers paramètres météorologique : l'ensoleillement ; la vitesse du vent et la température, afin d'avoir les calculs de dimensionnement, et avec l'utilisation des applications de dimensionnement pour nous permettre l'obtention d'un dimensionnement optimal.

Le quatrième chapitre présente le développement et la simulation en langage Matlab/Simulink du système hybride (PV/éolien/Batteries) avec la stratégie de gestion de l'énergie renouvelable dans la serre agricole en mode de délestage par priorité.

Ce travail est finalisé par une conclusion générale, en mettant en légende les principales contributions et propose également quelques recommandations pour des futurs développements sur cette thématique de recherche.

# **Chapitre 1**

## **Généralités sur les systèmes photovoltaïque-éoliens**

## I.1 Introduction :

Ce chapitre représente un état de l'art sur les deux énergies renouvelables ; le photovoltaïque et l'éolienne qui constituent les composants nécessaires du système hybride qui alimente la serre agricole, ainsi qu'une élaboration d'une étude sur les batteries de stockage.

## I.2 Généralité sur les systèmes photovoltaïque :

Dans la plupart des pays en voie de développement, la disponibilité de l'énergie électrique dans le milieu rural est toujours un enjeu socio-économique important. Ce problème d'accès à l'électricité est incompatible avec un développement équilibré de ces pays et constitue un des facteurs favorisant l'exode rural. C'est donc un défi de mettre à la disposition des populations rurales une source d'énergie capable de stimuler l'activité économique et de conduire à une amélioration de leurs conditions de vie.

L'énergie solaire photovoltaïque (PV), qui est la conversion directe de la lumière en électricité grâce à des cellules solaires, représente une alternative intéressante et bien adaptée à des besoins limités. Malgré sa facilité de mise en œuvre, son faible impact environnemental et le peu d'entretien qu'il nécessite, un système photovoltaïque n'est plus concurrentiel lorsque la demande augmente.

La performance d'un système PV dépend fortement des conditions météorologiques, telles que le rayonnement solaire, la température. Pour fournir l'énergie continuellement durant toute l'année, un système PV doit donc être correctement dimensionné. Ce qui exige une étude assez rigoureuse dans le but de faire le meilleur choix, le plus performant et au moindre coût. Mais les informations fournies par les constructeurs d'équipements photovoltaïques ne permettent que de dimensionner approximativement le système PV.

### I.2.1 Effet photovoltaïque :

Lorsqu'une cellule photovoltaïque est soumise au flux lumineux incident, elle va interagir de telle façon qu'une partie du flux soit :

- Réfléchi.
- Diffusé.
- Absorbé.
- Transmis.

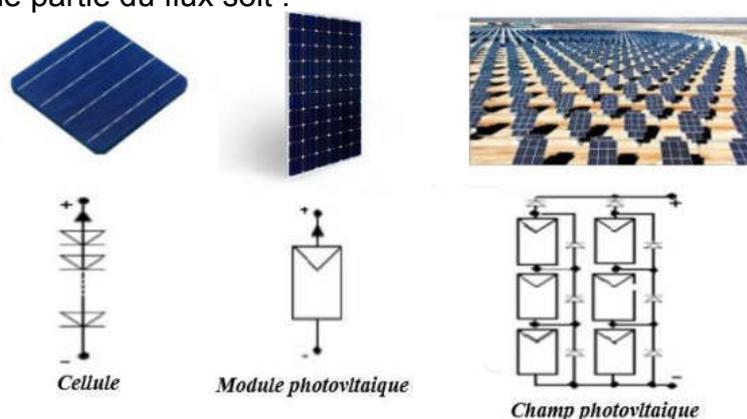


Figure I- 1 : Diversification du système photovoltaïque

Le système solaire est composé d'éléments capables de convertir une partie de l'énergie solaire reçue, soit directement ou indirectement en énergie électrique.

• **Système solaire à conversion directe :**

Il s'agit de transformer l'énergie contenue dans la lumière du soleil en énergie électrique avec l'utilisation d'une technologie nommée « photopile », c'est un effet physique de certains matériaux (l'effet photovoltaïque) [3]. L'effet photovoltaïque, fut observé la première fois en 1839 [4], par le physicien français EDMOND BECQUEREL. Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs de la compagnie Bell Téléphone, aux ÉTATS-UNIS, arrivèrent à fabriquer la première photopile, qui représente l'élément primaire ou de base du système photovoltaïque. Le mot "photo" vient du grec qui désigne lumière et "voltaïque" vient du nom d'un physicien Italien ALESSANDRO VOLTA qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité ou l'unité de tension électrique est aussi nommée "volt". L'électricité se produit sans bruit, sans parties mécaniques et sans que des produits toxiques soient dégagés [5].

• **Système solaire à conversion indirecte :**

Il s'agit de transformer l'énergie contenue dans la lumière du soleil en énergie électrique avec l'intermédiaire de deux technologies au minimum.

**I.2.2 Cellule photovoltaïque :**

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible. Son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs [6]. Elle permet la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Son principe de fonctionnement repose sur l'effet photovoltaïque.

En effet, une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur. Ces deux couches sont dopées différemment :

- Pour la couche N, apport d'électrons périphériques
- Pour la couche P, trous ou déficit d'électrons.

Ces deux couches présentent ainsi une différence de potentiel. L'énergie des photons lumineux, captés par les électrons périphériques (couche N), leur permet de franchir la barrière de potentiel séparant les couches N et P, d'être attiré par la couche chargée positivement p et donc d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches de semi-conducteur comme illustré dans la figure 1.2. L'électrode supérieure est une grille permettant le passage des rayons lumineux. Une couche antireflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbée [7]

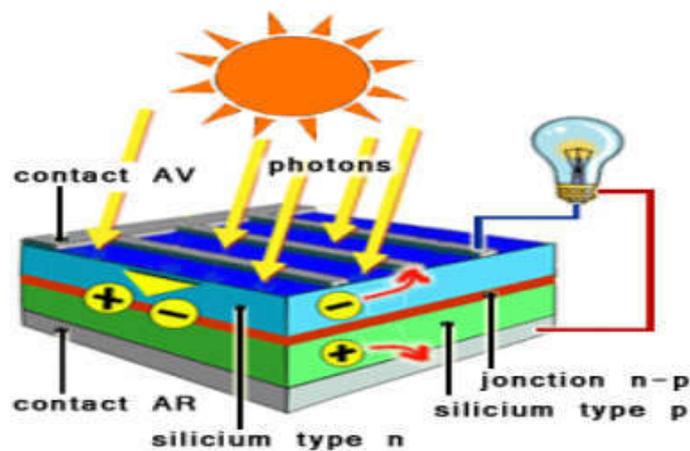


Figure I- 2:Schéma d'une cellule photovoltaïque.

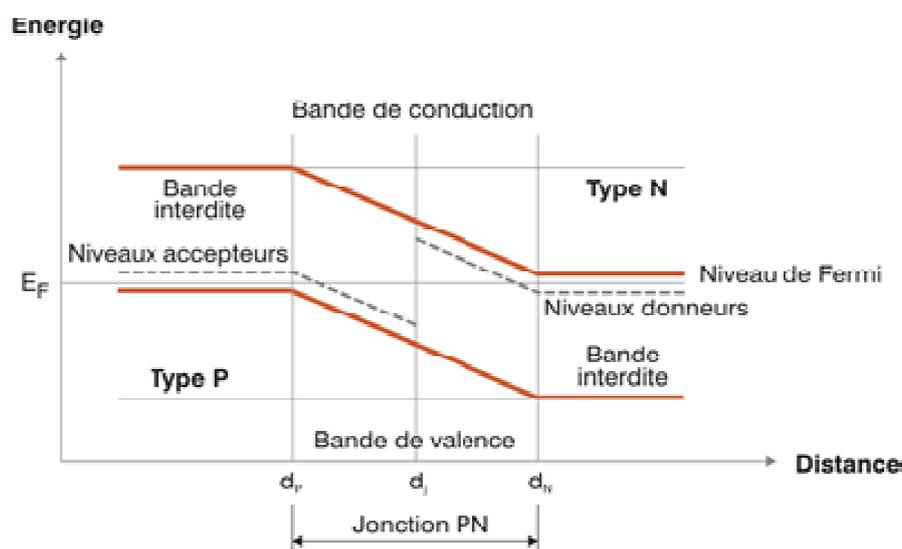


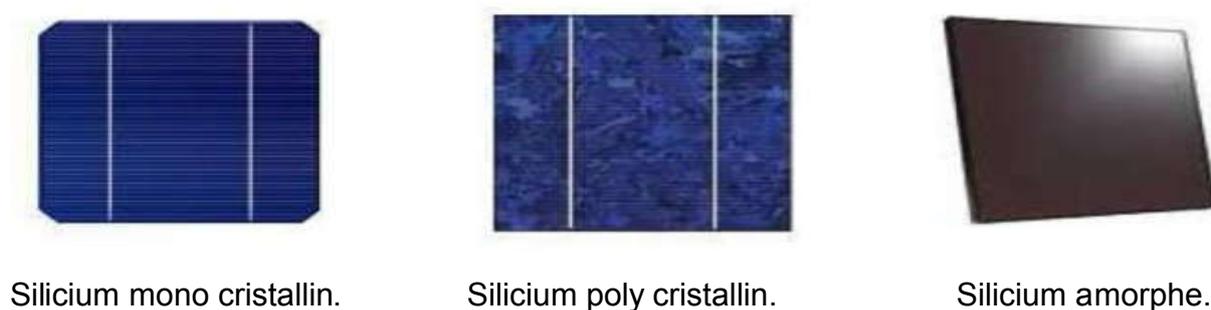
Figure I- 3:Diagramme de bandes d'énergie au voisinage de la jonction.

Quand un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont bombardés par les photons constituant la lumière. Sous l'action de ce bombardement, les électrons de valence ont tendance à être arrachés/décrochés. Si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est convertie en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons décrochés créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement convertie en énergie électrique, ce qui nous donne l'effet PV. Les systèmes photovoltaïques peuvent être trouvés en deux classes soit en autonome ou non autonome.

### I.2.3 Types de cellules solaires :

Le matériau le plus répandu dans les cellules photovoltaïques est le silicium, semi-conducteur de type IV. Il est dit tétravalent, cela signifie qu'un atome de silicium peut se lier avec quatre autres atomes de même nature. La transformation de ce matériau pour arriver au produit fini qu'est la cellule nécessite beaucoup d'énergie. On estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner 2 à 4 ans selon sa technologie pour produire l'énergie nécessaire à sa fabrication.

On utilise également l'arséniure de gallium et des couches minces comme le CdTe (tellurure de cadmium) et le CIS (Cuivre-Indium-Diséléniure) et encore le CIGS (Cuivre Indium Gallium Diséléniure). Il existe plusieurs types de cellules, qui sont [8,9] :



Silicium mono cristallin.

Silicium poly cristallin.

Silicium amorphe.

**Figure I- 4:**Types de cellule photovoltaïque.

### I.2.4 Association de cellules :

La cellule PV élémentaire constitue un générateur électrique de très faible puissance insuffisante pour la plupart des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs PV sont, de ce fait, réalisés par association, en série et/ou en parallèle d'un grand nombre de cellules élémentaires. Ces groupements sont appelés modules, puis panneaux.

Cette association doit être réalisée en respectant des critères précis, en raison des déséquilibres pouvant exister dans un réseau de cellules PV en fonctionnement. En effet, bien que choisies théoriquement identiques, les nombreuses cellules qui constituent le générateur présentent des caractéristiques différentes du fait des dispersions de construction inévitables, mais aussi d'un éclairement et d'une température non uniformes sur l'ensemble du réseau de cellules (ombrages par exemple) [7]. Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant pour une même tension. Les cellules ensuite sont assemblées pour former des modules.

Enfin, pour constituer un panneau, il faut connecter des modules en série afin d'obtenir une tension suffisamment élevée pour être exploitable par les onduleurs permettant le raccordement au réseau et des groupements de modules en parallèle afin d'augmenter la puissance.

### I.2.5 Caractéristiques d'un module photovoltaïque :

Un module PV est caractérisé par les paramètres suivants :

- ❖ **La puissance crête  $P$** : Puissance électrique maximale que peut fournir le module dans les conditions standards ( $T = 25^{\circ}C$  et un éclairement de  $1000 W/m^2$ ).
- ❖ **La caractéristique ( $V$ )**: Courbe représentant le courant  $I$  débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- ❖ **Tension à vide  $V_c$** : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- ❖ **Courant de court-circuit  $I_c$** : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".
- ❖ **Point de fonctionnement optimum ( $V_m, I_m$ )** : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil,  $P_m = V_m \cdot I_m$ .
- ❖ **Rendement maximal** : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- ❖ **Facteur de forme** : Le ratio entre la puissance optimale  $P_m$  et la puissance maximale que peut avoir la cellule  $V_{co} \cdot I_{cc}$ , et qui indique le degré d'idéalité de la caractéristique.

### I.2.6 Principaux composants d'un système solaire photovoltaïque :

Un système PV est constitué des éléments principaux suivants :

#### I.2.6.1 Générateur photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque (GPV) représente l'outil de transformation de l'énergie contenue dans la lumière du soleil en énergie électrique en courant continu. Il est composé d'un ensemble de panneaux, dont chacun est composé de plusieurs modules. Chaque module contient un certain nombre des cellules à base de silicium (connectées en série ou en parallèle ou en série/ parallèle).

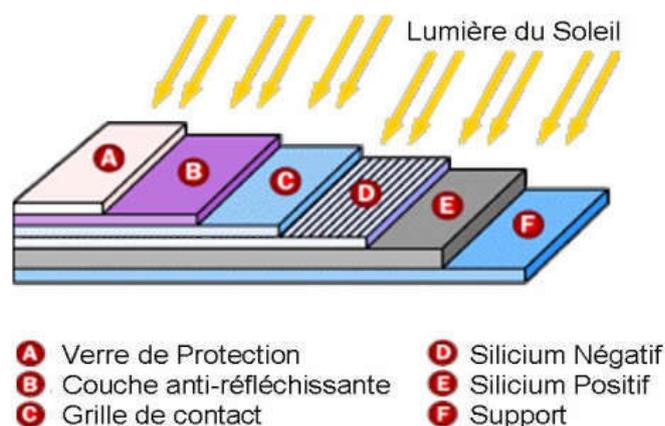


Figure I- 5: Structure d'une cellule solaire en silicium.

#### I.2.6.2 Stockeur d'énergie (batterie ou accumulateur) :

Il a pour but de stocker l'énergie produite par le générateur photovoltaïque. L'intégration d'unité de stockage dans un système photovoltaïque n'est pas toujours indispensable car elle dépend de la nature d'application.

### I.2.6.3 Système de contrôle (régulateur) :

Dans le cas où la batterie est utilisée avec le système PV, le régulateur a pour rôle d'assurer la sécurité et le bon fonctionnement entre ces deux systèmes. Il est constitué souvent d'un convertisseur (dévolteur, survolteur ou les deux au même temps) et des jeux de contact. Les hacheurs ou les convertisseurs continu-continu ont pour objectif d'offrir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe.

Les convertisseurs statiques sont composés des éléments actifs et passifs sophistiqués et qualifiés qui permettent un certain nombre de limitations qui ne sont pas sans conséquence sur la synthèse des boucles de commande. Aussi, les pertes par commutation limitent la fréquence de commutation et la durée de vie des porteurs impose indirectement des butées de rapport cyclique.

### I.2.7 Convertisseurs d'énergie:

L'électronique de puissance permet de réaliser, à l'aide d'éléments semi-conducteurs fonctionnant en interrupteurs, l'interface entre deux sources électriques, en l'occurrence un GPV constitué d'un assemblage de cellules, et une charge comprenant éventuellement un dispositif de stockage tampon ou encore une source alternative dans le cas d'un débit sur le réseau électrique, en assurant [7]:

- ❖ Le réglage de certaines grandeurs (amplitude, fréquence, phase).
- ❖ Et/ou un changement de forme de celle-ci (alternatif ↔ continu).

### I.2.8 Hacheur :

#### I.2.8.1 Hacheur série :

Elle est composée d'un interrupteur commandable et unidirectionnel et d'une diode de roue libre qui permet d'assurer la continuité de la circulation du courant lorsque la charge est inductive. Ces deux composants sont complémentaires. L'un est passant pendant que l'autre est bloqué et vice versa. Le coefficient!, rapport du temps de fermeture de l'interrupteur sur la période et nommé rapport cyclique, est réglable. Il permet de faire varier la valeur moyenne de tension  $V$  [7]:

$$V_{moy} = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} E \cdot dt = \frac{\alpha T}{T} E = \alpha E (1-1)$$

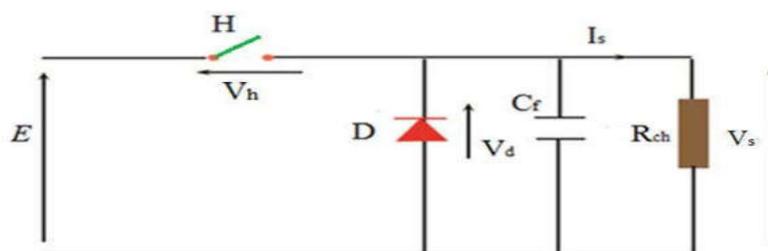


Figure I- 6:Schéma d'un hacheur série.

Le hacheur série est un abaisseur de tension. La valeur moyenne ne peut pas être supérieure à  $E$ .

### I.2.8.2 Hacheur parallèle :

Il est composé comme l'hacheur série, sauf l'architecture est différente (Figure I -7). La valeur moyenne de la tension est donnée par la relation suivante :

$$V_{moy} = E = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T V_c dt = (1 - \alpha)V_c \quad (1-2)$$

$$V_c = \frac{E}{1-\alpha} \quad (1-3)$$

Le hacheur parallèle est un élévateur de tension, la valeur moyenne peut être supérieure à E.

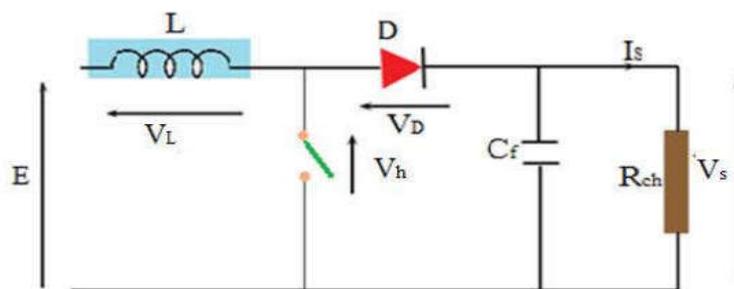


Figure I- 7:Schéma d'un hacheur parallèle.

### I.2.8.3 Hacheur série-parallèle :

Le convertisseur hybride (série-parallèle) comporte les deux hacheurs cités précédemment et comme montré dans la figure 1.8 qui définit que la tension moyenne de sortie  $V_{moy}$  est inférieure ou supérieure par rapport à l'entrée E. La tension moyenne à la sortie est évaluée par :

$$V_{moy} = \frac{\alpha}{1-\alpha} E \quad (1-4)$$

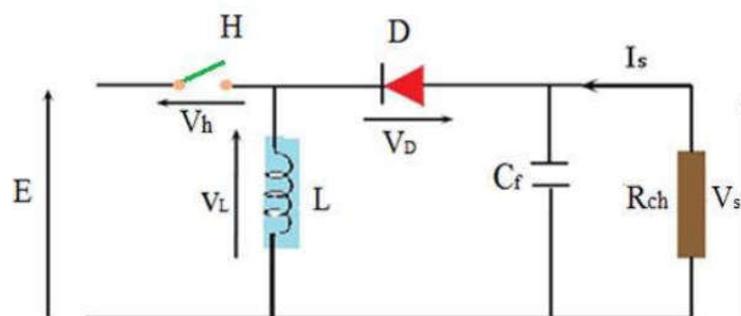


Figure I- 8:Schéma d'un hacheur série-parallèle.

### **I.3 Généralité sur les systèmes éoliens :**

Le vent est une source d'énergie renouvelable, économique, exploitable avec un bon niveau de sécurité et respectueuse de l'environnement. Dans le monde entier, les ressources d'énergie éolienne sont pratiquement illimitées. Les récents développements technologiques dans les domaines des turbines éoliennes à vitesse variable, en électronique de puissance et en commande de machines électriques tendent à rendre l'énergie éolienne aussi compétitive que l'énergie d'origine fossile [10, 11]. Depuis l'utilisation du moulin à vent, la technologie des capteurs éoliens n'a cessé d'évoluer. C'est au début des années quarante que de vrais prototypes d'éoliennes à pales profilées ont été utilisés avec succès pour générer de l'électricité. Plusieurs technologies sont utilisées pour capter l'énergie du vent (capteur à axe vertical ou à axe horizontal) et les structures des capteurs sont de plus en plus performantes [9]. Outre les caractéristiques mécaniques de l'éolienne, l'efficacité de la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique est très importante. Là encore, de nombreux dispositifs existent et, pour la plupart, ils utilisent des machines synchrones et asynchrones. Les stratégies de commande de ces machines et leurs éventuelles interfaces de connexion au réseau doivent permettre de capter un maximum d'énergie sur une plage de variation de vitesse de vent la plus large possible, ceci dans le but d'améliorer la rentabilité des installations éoliennes [12].

#### **I.3.1 Types d'éoliennes :**

Il existe deux types d'éoliennes modernes : les éoliennes à axe horizontal et celles à axe vertical.

##### **I.3.1.1 Éolienne à axe horizontal :**

Les éoliennes à axe horizontal sont des machines au vent avec deux ou trois pales, habituellement faites de matériaux composites comme la fibre de verre. Elles fonctionnent comme les anciens moulins à vent, et ce type de turbines est la plus ancienne conception. Une turbine à axe horizontal est constituée d'un rotor avec des pales, d'un train d'entraînement (qui comprend généralement une boîte de vitesses et un générateur) et d'une tour pour améliorer l'accès au vent. La tendance générale a été l'émergence des éoliennes tripales puisque la puissance récupérable est fonction (dans une certaine limite) du nombre de pales, et qu'un rotor tripale représente un excellent compromis entre la puissance récupérable et le coût de la machine. De plus, les efforts subis par la machine sont mieux équilibrés et visuellement parlant, la rotation d'un rotor tripale est perçue d'une façon plus harmonieuse (et donc esthétique) que celle d'un rotor bipale ou d'un rotor monopole [7]. De nombreuses éoliennes disposent d'un système automatique de régulation de vitesse pour empêcher le rotor de tourner hors de contrôle lorsque les vents sont forts.

Ces éoliennes ont pris le dessus sur celles à axe vertical car elles présentent un coût moins important, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et la position du récepteur à plusieurs dizaines de mètres du sol privilégie l'efficacité. Notons cependant que certains travaux défendent la viabilité du rotor vertical en réalisant

des études multicritères. Aujourd'hui, pratiquement les seules éoliennes commerciales sont à axe horizontal, et les plus grandes éoliennes mesurent jusqu'à 180m en bout de pale avec un moyeu à 120 m pour une puissance de 6 MW [7].



**Figure I- 9:**Éoliennes à axe horizontal.

La plupart de ces éoliennes sont des capteurs omnidirectionnels, c'est à dire qu'elles doivent orienter leur rotor par rapport au vent, soit de façon passive (empennage), soit de façon active (avec engrenage). Les rotors des éoliennes classiques sont placés face au vent et intègrent certains dispositifs permettant un positionnement face au vent. Les éoliennes de petites tailles (inférieures à 50 kW) utilisent essentiellement le contrôle passif de l'orientation via le gouvernail pour des raisons de simplicité. Certains gouvernails sont équipés d'amortisseurs ou d'autres dispositifs destinés à réduire la vitesse d'orientation de l'éolienne face au vent et surtout les oscillations de direction. Au-delà d'une certaine taille (de l'ordre de 300 kW), les éoliennes utilisent un système d'orientation actif qui permet de maintenir la turbine face au vent de façon plus stable. Une girouette placée au sommet de la nacelle envoie des signaux à un système motorisé qui oriente mécaniquement la nacelle face au vent [7].

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur l'utilisation de la force de portance sur chaque pale. La turbine est supposée orientée face au vent qui présente une certaine vitesse, mesurée loin devant la turbine (vitesse à l'infini amont). En effet, le flux d'air est perturbé par la présence de la pale avant de l'avoir touché et il est dévié avant d'atteindre le bord d'attaque de la pale, comme illustré dans la figure 1.10.

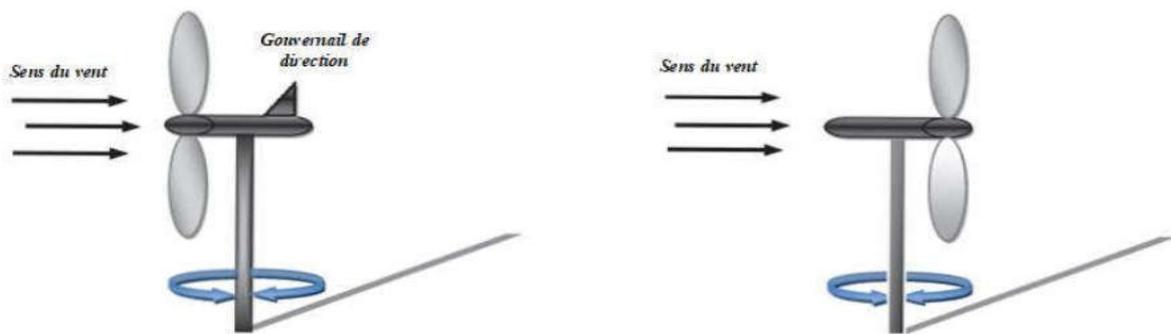


Figure I- 10:Orientation de la turbine d'une éolienne à axe horizontal

### I.3.1.2 Eolienne à axe vertical :

Les éoliennes à axe vertical captent la vitesse du vent quelle que soit sa direction. Il n'est donc pas nécessaire d'utiliser un dispositif d'orientation du rotor comme pour les éoliennes à axe horizontal. Cependant, les vents sont faibles à proximité du sol et présentent de fortes turbulences compte tenu du fort impact du relief, ce qui affaiblit la puissance générée par rapport à une captation centralisée à plus grande hauteur.

Les turbines à axe vertical offrent la possibilité de loger sur leur base tout le dispositif de conversion de l'énergie (génératrice, multiplicateur, etc.). Même si pour des questions de sécurité, cette turbine doit être inaccessible. Ces éléments sont localisés à une hauteur beaucoup plus faible que pour les turbines à axe horizontal, facilitant ainsi les opérations de maintenance. On peut distinguer deux types de turbines à axe vertical : le rotor de SAVONIUS reposant sur le principe de traînée différentielle, le rotor de DARRIEUS reposant sur la variation cyclique d'incidence (ou portance) [7].



Figure I- 11:Éoliennes à axe vertical.

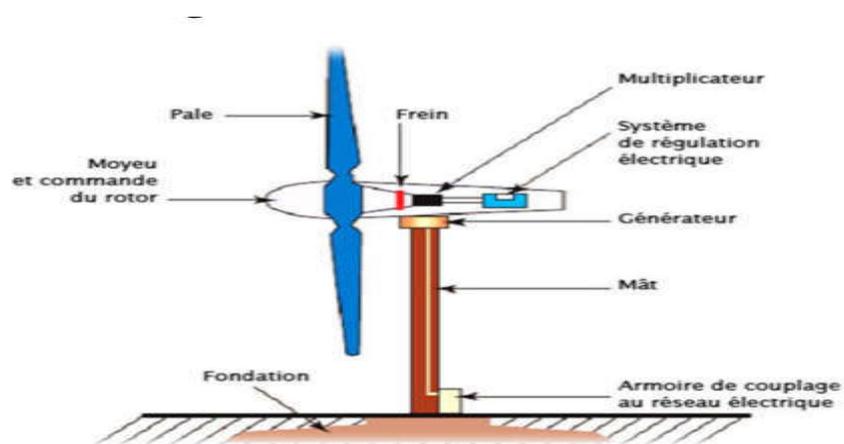
Il existe une grande variété de tailles et de puissances des éoliennes, et le tableau 1.1 montre la différence entre ces types d'éoliennes [13] :

**Tableau I- 1:**Classification des turbines éoliennes.

<i>Echelle</i>	<i>Diamètre de l'hélice</i>	<i>Puissance délivrée</i>
<i>Petite</i>	<i>Moins de 12 m</i>	<i>Moins de 40 kW</i>
<i>Moyenne</i>	<i>12 m à 45m</i>	<i>De 40 kW à 1 MW</i>
<i>Grande</i>	<i>46 m et plus</i>	<i>De 40 kW à 1 MW</i>

**Les éoliennes permettent de convertir l'énergie du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en deux étapes :**

1. Au niveau de la turbine, qui extrait une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique.
2. Au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique. Il doit donc y avoir conversion et transmission régulières de l'énergie. Les principaux constituants d'une turbine sont montrés dans la figure 1.12 :



**Figure I- 12:**Composants d'une turbine éolienne.

Une éolienne typique est composée de plusieurs éléments (figure 1.13) [14] :

- **Le moyeu:** C'est l'organe qui supporte les pales, est-il est fixé à l'arbre lent de l'éolienne.
- **La turbine :** Possède en général trois pales qui permettent de capter l'énergie du vent et de la transférer à l'arbre lent. Un système électromécanique permet généralement d'orienter les pales et ainsi de contrôler le couple de la turbine et de réguler sa vitesse de rotation. Les pales fournissent également un frein aérodynamique par (mise en drapeau) ou seulement par rotation de leurs extrémités. Un mécanisme utilisant des servomoteurs électriques permet d'orienter la nacelle face au vent. Un anémomètre et une girouette situés sur le toit de la nacelle fournissent les données nécessaires au système de contrôle pour orienter l'éolienne et la déclencher ou l'arrêter selon la vitesse du vent.

- **La nacelle:** Partiellement insonorisée, avec une armature métallique, accueille la génératrice et son système de refroidissement, le multiplicateur de vitesse et différents équipements électroniques de contrôle qui permettent de commander les différents mécanismes d'orientation ainsi que le fonctionnement global de l'éolienne.
- **Le multiplicateur de vitesse:** Comporte un arbre lent supportant la turbine et un arbre à grande vitesse (1000 à 2000 tr/min). Il est équipé d'un frein mécanique à disque, auquel est accouplé le générateur. Le multiplicateur de vitesse est pourvu d'un système de refroidissement pour l'huile.

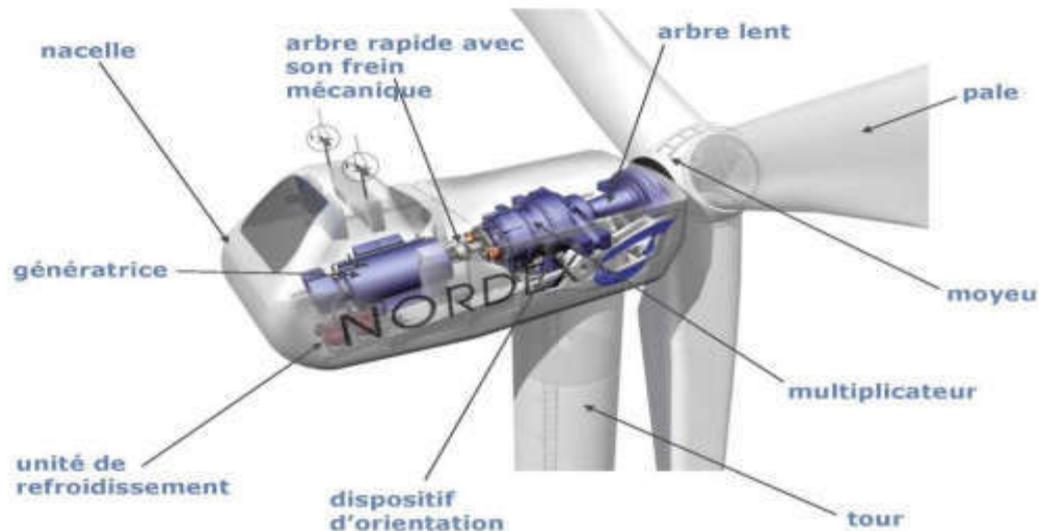


Figure I- 13: Constitution d'un système éolien.

- **Arbre de transmission:** lie le moyeu du rotor au multiplicateur, et contient un système hydraulique permettant le freinage aérodynamique en cas de besoin.
- **Générateur électrique:** Il peut être un générateur à courant continu ou un alternateur. Dans tous les cas, il transforme l'énergie mécanique qui lui transmet le rotor, en énergie électrique.
- **Système de refroidissement:** Il comprend généralement un ventilateur électrique utilisé pour refroidir le générateur et un refroidisseur à l'huile pour le multiplicateur. Il existe un certain type d'éoliennes comportant un refroidissement à l'eau.
- **Un mât (tour):** Supporte la nacelle et la turbine. Il est important qu'il soit haut du fait de l'augmentation de la vitesse du vent avec la hauteur. Il est tubulaire et accueille une échelle voire un ascenseur.

### I.3.2 Zones de fonctionnement :

Le fonctionnement de la turbine éolienne dépend de la vitesse du vent. On distingue quatre zones de fonctionnement comme montré dans la figure 1.14 [15] :

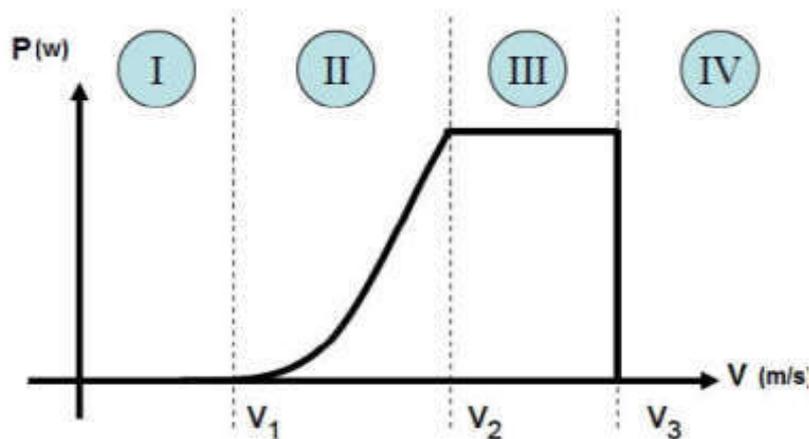


Figure I- 14:Zone de fonctionnement d'une éolienne.

$V_1$ : Vitesse du vent correspondant au démarrage de la turbine.

$V_2$ : Vitesse du vent pour laquelle la puissance extraite correspond à la puissance nominale du générateur.

$V_3$ : Vitesse du vent au-delà de laquelle il convient de déconnecter l'éolienne pour des raisons de tenue mécanique en bout de pales.

- **Zone I** :  $V < V_1$  : La vitesse du vent est trop faible, la turbine ne fonctionne pas, par conséquent la puissance extraite est nulle.
- **Zone II** :  $V_1 < V < V_2$  : Dans cette zone, un algorithme de commande est appliqué pour extraire la puissance maximale pour chaque vitesse du vent. Différentes méthodes existent pour optimiser l'énergie extraite. Le coefficient de puissance maximum correspond dans ce cas à un angle de calage optimal et constant. Cette zone correspond au fonctionnement à charge partielle.
- **Zone III** :  $V_2 < V < V_3$  : La vitesse de rotation nominale est atteinte, tandis que la puissance disponible arrive à des trop importantes, la puissance extraite est donc limitée à l'aide du système d'orientation des pales « pitch control », tout en restant le plus proche possible de la puissance nominale de la turbine. Cette zone correspond au fonctionnement à pleine charge.
- **Zone IV** :  $V > V_3$  : La vitesse du vent devient trop forte. Un dispositif de protection est actionné pour éviter des ruptures mécaniques, la turbine est arrêtée et la puissance extraite est nulle.

### I.3.3 Modes de fonctionnement d'un système éolien :

Les conditions de fonctionnement d'une turbine éolienne dépendent essentiellement des conditions de vent sur lesquelles aucune action n'est possible. On ne peut agir qu'en limitant, parfois de manière optimale dans certaines conditions

de fonctionnement, et toujours de manière stricte dans d'autres conditions, l'énergie effectivement convertie par la turbine puis par le générateur électrique [14]. Il existe généralement deux modes de fonctionnement d'une éolienne, celles à vitesse fixe et l'autre à vitesse variables, et chaque mode de ces deux technologies contient sa propre structure tout dépend de type de générateur. Dans ce cas, on trouve trois types principaux du système éolien qui sont [16] :

- Système éolien à vitesse fixe avec machine asynchrone à cage ;
- Système éolien à vitesse variable avec machine asynchrone à double alimentation (*MADA*).
- Système éolien à vitesse variable avec machine synchrone à inducteur bobiné ou à aimants.

#### **I.3.4 Critère de choix d'un potentiel éolien :**

L'énergie cinétique de vent constitue une ressource énergétique inépuisable mais fluctuante. Pour toute installation d'une éolienne dans un endroit, il faut d'abord faire une étude des caractéristiques des sites :

- Quantifier la ressource éolienne sur les sites d'application.
- Estimer la puissance moyenne annuelle disponible sur ces sites.

#### **I.3.5 Le vent :**

Le vent est généralement appliqué aux déplacements naturels horizontaux de l'atmosphère (mouvement d'air). Les mouvements de direction verticale sont appelés des courants. Les vents sont produits par les différences de pressions atmosphériques engendrées principalement par les gradients de température. Les variations de la distribution des pressions et des températures sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire sur la surface de la terre, et aux différences des propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans. Quand les températures de régions voisines deviennent inégales, l'air le plus chaud tend à s'écouler par-dessus l'air le plus froid (le plus lourd). La direction des vents générés de cette façon est généralement grandement modifiée par la force de Coriolis résultant de la rotation de la terre [17].

#### **I.4 Système de Stockage :**

Les batteries solaires assurent le stockage de l'énergie électrique produite par les sources d'énergie afin d'assurer l'alimentation en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire).

Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes. Vous pouvez brancher une batterie solaire directement sur un panneau solaire, mais vous risquez d'endommager la batterie si son niveau de charge dépasse les 90%. C'est pour cela qu'il est vivement recommandé d'installer un régulateur solaire entre le panneau solaire photovoltaïque et la/les batteries solaires. Le rôle du régulateur dans une installation solaire est très important car le niveau de charge des batteries solaires ne doit être ni trop bas (pas en dessous de 40%) ni trop haut (ne pas dépasser 95%). Des charges trop faibles ou trop importantes non régulées détériorent les batteries et limitent leur durée de vie. Nous vous recommandons de bien vérifier que le cyclage (nombre de cycles complets de charge - décharge de la batterie) est clairement indiqué par le fabricant. Le cyclage indique la durée de vie de la batterie solaire. Les batteries solaires de qualité ont une durée de vie de plus de 500 cycles, soit de 7 ans jusqu'à 15 ans. Les principales utilisations d'une batterie solaire sont : installation solaire en site isolé, camping-car, caravaning, nautisme.

##### **I.4.1 La capacité de stockage des batteries :**

La première question à se poser est la question de la capacité de stockage d'énergie solaire ou éolienne, dont vous avez besoin. La capacité d'une batterie solaire est exprimée en Ampères Heure (Ah) ce qui désigne le débit totale d'énergie de la batterie dans des conditions données (10 heures, 20 heures, ...). Avec un régulateur solaire (qui se branche entre les panneaux solaires et la batterie), vous réglez la charge de la batterie, qui ne doit pas dépasser 90%, ni ne doit descendre sous les 40%, car une surcharge comme une décharge trop profonde endommage ces batteries et diminue leur durée de vie. Donc, si nous reprenons notre exemple, une batterie 100 Ah – 12V, pourra se décharger au mieux de 60Ah (60% x 100Ah). Cela représente par rapport à votre besoin quotidien en énergie  $60 \text{ Ah} \times 12\text{V} = 720 \text{ Wh}$ . [19]

##### **I.4.2 La tension de l'installation :**

Ensuite, il faut déterminer la tension de stockage de l'énergie solaire : 12V, 24V ou 48V. La règle pour cela est assez simple : plus vous utilisez d'énergie, plus vous devez utiliser une tension élevée, afin de diminuer les déperditions d'énergie, qui surviennent quand l'énergie est transportée ou stockée. [20]

**Tableau I- 2:** la tension de stockage de l'énergie

<b>Puissance de l'installation photovoltaïque</b>	<b>Tension recommandée</b>
<b>De 0 à 800 Wc</b>	<b>12V</b>
<b>De 800 à 1600 Wc</b>	<b>24V</b>
<b>Au-dessus de 1600 Wc</b>	<b>48V</b>

Le montage des batteries se fait en série ou en parallèle pour augmenter la tension ou la capacité :

- ✓ Le montage en parallèle (qui consiste à relier les bornes "+" aux bornes "+" et les bornes "-" aux bornes "-") permet d'additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en Volts).
- ✓ Le montage en série permet d'additionner la tension des batteries, en revanche la capacité en Ah reste celle d'une seule batterie.

#### **I.4.3 Intégration de l'autonomie souhaitée pour finaliser votre estimation :**

Pour déterminer l'autonomie souhaitée, on fixe le nombre des jours d'autonomie de l'installation photovoltaïque, c'est-à-dire le nombre de jours pendant lesquels vos batteries n'ont pas besoin d'être rechargées tout en conservant une consommation d'énergie normale. En général, cela représente le nombre de jours consécutifs sans soleil auquel on fait face.

#### **I.4.4 Durée de vie des batteries:**

Une installation à énergies renouvelables autonome (dite aussi site isolé) comporte une ou plusieurs batteries pour stocker l'énergie produites. Ces batteries spécifiques sont appelées "batterie à décharge lente".

Ces batteries comportent des électrodes positives et négatives composées d'alliages dissemblables plongées dans un électrolyte (acide). L'ensemble est encapsulé dans un bac scellé ou muni d'un bouchon de remplissage et d'un évent. Les réactions d'oxydoréduction, qui gouvernent le fonctionnement d'une batterie sont réversibles, dans la mesure où celle-ci n'a pas été longtemps ni complètement déchargée, ni trop surchargée. Un fonctionnement prolongé dans l'un ou l'autre de ces états aboutirait à la destruction des capacités de la batterie.

#### **I.4.5 Mesure de la capacité d'une batterie :**

La capacité d'une batterie solaire (appelée aussi batterie à décharge lente) se mesure en ampères heure (Ah). Elle représente le "débit" potentiel de la batterie.

Mais il faut ajouter à cela la vitesse de décharge de la batterie qui a un impact sur la capacité : plus la rapidité de la décharge est importante, plus la capacité réelle de la batterie sera faible. Ainsi une batterie présentant la capacité de 70 Ah en C100 aura réellement une capacité de 70 Ah si la décharge prend 100 heures, environ 55 Ah en 20 heures et seulement 50 Ah en 10 heures.

Pour le dire autrement : si on décharge complètement cette batterie selon une intensité de 5 Ampères, la décharge ne durera que 10 heures ( $10 \times 5 = 50$ ) cette même décharge durera 20 heures à la cadence de 2,75 A ( $2.75 \times 20 = 55\text{Ah}$ ) et enfin 100 heures à la cadence de 0,7 A ( $0.7 \times 100 = 70 \text{ ah}$ ).

Mais attention, dans une installation photovoltaïque ou éolienne, cette capacité n'est qu'une base de travail, car il est hors de question de décharger une batterie à 100% : cela la détruirait. Dans le cadre d'un dimensionnement photovoltaïque ou éolien, on prendra donc comme hypothèse une décharge possible de 40% (jusqu'à 50% maximum), afin de ne pas endommager la batterie et de prolonger sa durée de vie.

Enfin il ne faut pas confondre capacité d'une batterie qui est exprimée en Ah et la consommation d'un appareil électrique que vous souhaitez brancher sur cette batterie et qui s'exprime en Watts heure

#### **I.4.6 La durée de vie d'une batterie:**

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. On dit "estimer" car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données. La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL. Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges : le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge.

Pour vous donner un ordre d'idée, pour des décharges de l'ordre de 40%, on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente : - Batterie solaire au plomb ouvert : 400 à 500 cycles - Batterie solaire AGM : 600 à 700 cycles - Batterie solaire GEL : 800 à 900 cycles.

#### **I.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a fondé une étude sur les deux énergies renouvelables, le photovoltaïque et l'éolienne ainsi que les composants primordiaux qui constituent une chaîne hybride de production d'énergies, tel que les batteries de stockage et les convertisseurs DC/DC.

## **Chapitre 2**

# **Généralités sur les systèmes d'énergie hybrides**

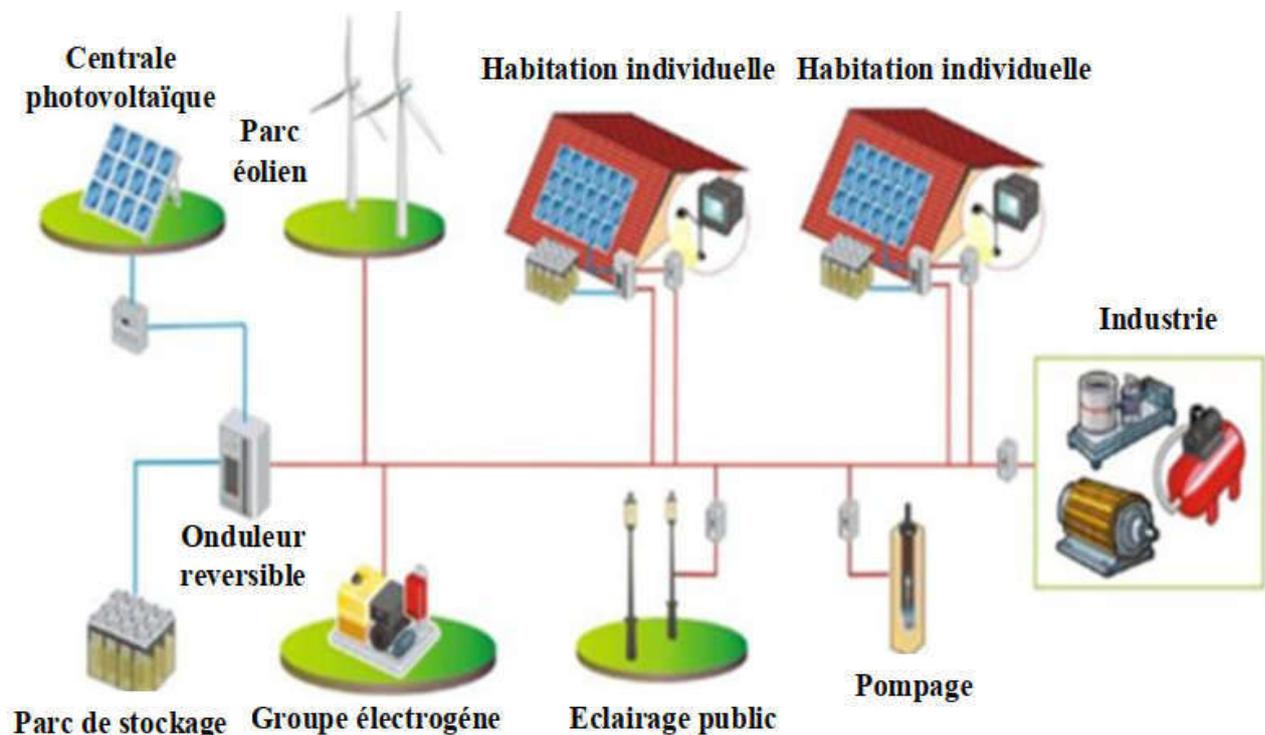
## II.1 Introduction:

Système hybride photovoltaïque/éolien qui assure l'alimentation en énergie verte des équipements de la serre agricole peut être configuré selon plusieurs modèles, pour cela on a choisi d'étaler dans ce chapitre certains notions de base sur le système hybride tel que la classification, l'architecture, le couplage ainsi que les avantages et inconvénients.

## II.2 Généralités sur les systèmes d'énergie hybrides :

Le terme « Système d'Energie Hybride » fait référence aux systèmes de génération d'énergie électrique multi-sources. Il s'agit de systèmes complexes associant différentes sources renouvelables ou bien combinées avec des sources conventionnelles (générateur diesel...), différents éléments de stockage et différentes charges. Ils permettent la compensation du caractère intermittent des sources renouvelables et offrent un rendement énergétique global plus élevé.[21].

Leur intérêt essentiel est la possibilité d'autonomie énergétique qu'ils permettent vu qu'ils ne dépendent pas d'une seule source. Ils peuvent résoudre en très grande partie le problème de la disponibilité de l'énergie. Les systèmes d'énergies hybrides peuvent être connectés aux réseaux électriques ou autonomes. La figure 1.1 représente le schéma général des systèmes hybrides. Un bus électrique est commun à tous les éléments qui sont connectés. Ces derniers sont regroupés selon leurs fonctions électriques ; les éléments de génération (ou sources), les éléments de charge (Load) et les éléments de stockage (Storage).



**Figure II- 1:** Schéma général du système énergétique hybride multi-sources, charges et stockage

En raison de la disponibilité intermittente et fluctuante des sources d'énergies renouvelables, les systèmes d'alimentation hybrides assurent un haut niveau de sécurité énergétique grâce à la combinaison de divers systèmes de production, et intègrent souvent des systèmes de stockage d'énergie, pour assurer un maximum de fiabilité de l'alimentation [22]. Plusieurs types d'hybridations des sources d'énergies renouvelables sont présentés dans les sous-sections suivantes:

### **II.2.1 Hybridation des sources renouvelables avec des systèmes de secours :**

A cause de la nature instable des sources d'énergies renouvelables, des unités de puissances de secours sont intégrées pour un haut niveau de sécurité énergétique locale. Par exemple, le générateur diesel, la micro turbine à gaz et les piles à combustible sont généralement utilisés comme des sources secondaires pour assurer une alimentation électrique permanente [23].

### **II.2.2 Hybridation des sources purement renouvelables :**

Deux ou plusieurs sources renouvelables peuvent être associées pour leurs avantages complémentaires. Par exemple Les systèmes hybrides les plus répandus sont caractérisés par un couplage éolien photovoltaïque. L'intérêt de la combinaison de ces deux sources énergétiques est justifié par le fait qu'ils présentent les ressources les mieux partagées. La complémentarité de ces deux sources est très significative que ce soit à l'échelle annuelle ou à l'échelle journalière. En effet, le vent souffle plus pendant l'hiver et l'automne et diminue au printemps tandis que l'ensoleillement solaire le plus intense se situe pendant l'été. De même, sur une journée, l'ensoleillement solaire est plus fort pendant le jour alors que le vent peut souffler aussi la nuit. Cette complémentarité saisonnière et journalière des ressources solaires et éoliennes permet par exemple au site isolé d'avoir une disponibilité de l'énergie plus fiable, laquelle, bien entendu, dépend du site d'implantation [21].[22].

### **II.2.3 Hybridation des sources renouvelables avec unité de stockage à court-terme :**

L'association des dispositifs de stockage à court-terme (batteries, volant d'inertie...) avec des sources d'énergie renouvelables peuvent garantir la fiabilité et la sécurité du système de production d'électricité distribuée, tout en maximisant les avantages des énergies renouvelables. L'excédent et le déficit de production d'énergie peuvent être optimisés ou ajustés par les unités de stockage d'énergie pour augmenter l'efficacité énergétique [22].

### **II.2.4 Hybridation des sources purement renouvelables avec des unités de stockage à court et à long-terme :**

Pour mieux garantir la performance et éliminer les fluctuations de puissance du système hybride à base de sources renouvelables, dans certaines applications, en plus de l'insertion des systèmes de stockage à court-terme, des systèmes de stockage à long-terme comme les piles à combustibles avec des électrolyseurs ont été installés. Elles contribuent en effet à garantir l'autonomie du SH, en constituant

une réserve d'énergie lorsque les sources produisent en excédent, et en la restituant lorsqu'elles ne produisent momentanément plus assez [24].

### II.3 Topologies du système hybride :

Étant donné que toutes les technologies d'énergie renouvelable ont des caractéristiques de fonctionnement différentes, il est important de choisir un moyen standard pour les intégrer dans un système hybride. Il existe diverses architectures pour associer différentes sources d'énergie renouvelables dans un système hybride. Ces types peuvent être classés en trois catégories générales ; Couplage dans un bus à courant continu (DC-bus), couplage dans un bus à courant alternatif (AC-bus), et couplage mixte DC/AC bus. Cependant, le choix optimal entre le couplage DC et AC dépend du type de génération, du type de stockage d'énergie et éventuellement de la nature de la charge. Ces méthodes sont discutées brièvement dans les sous-sections suivantes :

#### II.3.1 Le Couplage DC :

Dans un couplage avec un bus continu comme illustré dans la *figure 1.2*, différentes sources recouvrables sont connectées au DC bus par l'intermédiaire de convertisseurs électroniques appropriés. Des sources à courant continu (CC) qu'on peut directement connecter au DC-bus ou via un convertisseur DC/DC si nécessaire. Des charges à courant continu (CC) peuvent être également connectées au bus DC directement ou par l'intermédiaire d'un convertisseur amplificateur afin d'obtenir la tension nécessaire pour ces charges. Le système peut fournir de l'énergie à des charges AC ou être interfacé à un réseau électrique par l'intermédiaire d'un convertisseur DC/AC conçu pour permettre un écoulement bidirectionnel de la puissance. Le couplage DC est simple et ne nécessite aucune synchronisation pour intégrer les différentes sources.

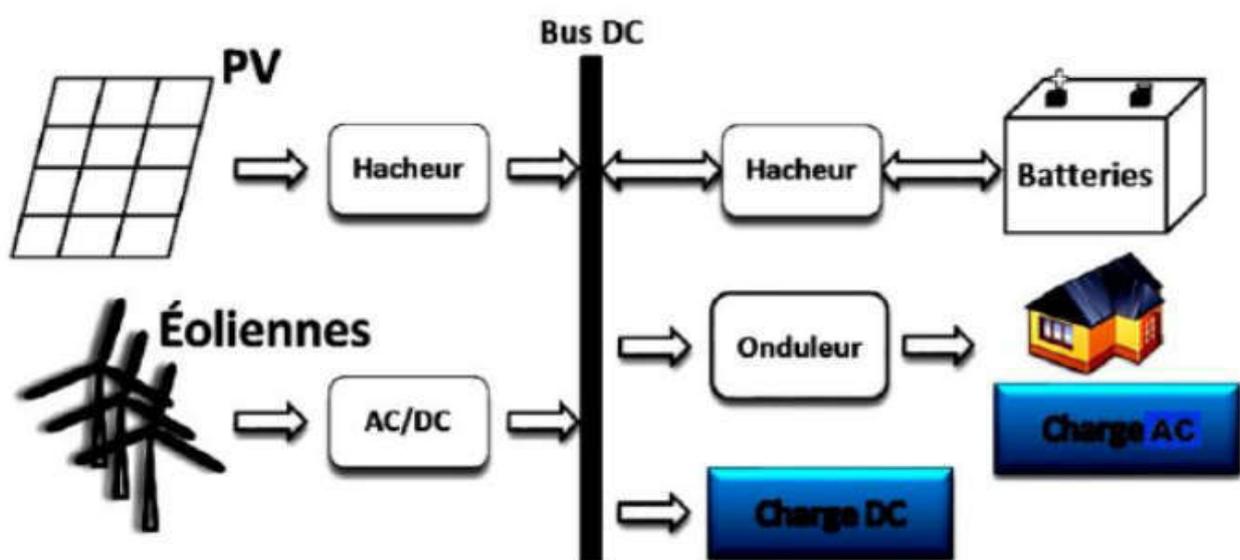


Figure II- 2: Architecture d'un système hybride avec DC bus

### II.3.2 Couplage AC :

Dans cette configuration comme schématisé sur la *figure 1.3*, diverses sources d'énergie sont intégrées à travers leur circuit d'interface électronique à un AC bus. Des inductances de couplage pourraient être utilisées entre le circuit électronique de puissance et le bus AC pour obtenir la gestion de flux de puissance souhaitée. Dans cette configuration, l'alimentation des charges à CC peut être obtenue via des convertisseurs AC / DC.

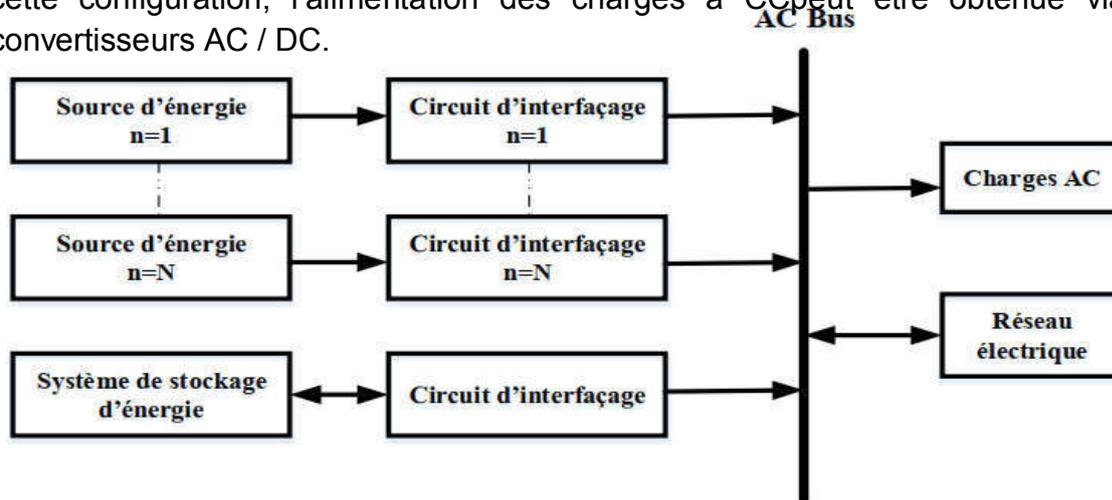


Figure II- 3: Architecture d'un système hybride avec AC bus.

### II.3.3 Le couplage mixte DC/AC :

L'architecture du système hybride à un couplage mixte DC/AC est présentée dans la figure.1.4. Dans cette configuration, différents générateurs distribués (GD) peuvent être reliés au DC bus ou AC bus par l'intermédiaire des convertisseurs appropriés. Cependant certaines sources peuvent être connectées directement sans l'utilisation des circuits d'interface. Par conséquent, le système tend à offrir, en même temps, une rentabilité et une plus grande efficacité énergétique. Inversement, le contrôle du système et la gestion de l'énergie dans cette configuration sont plus complexes que dans des couplages DC et AC seules.

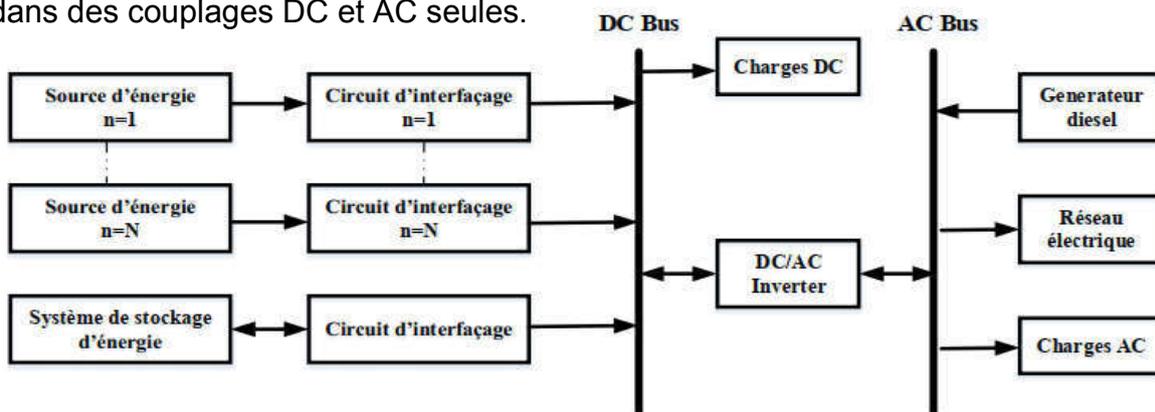


Figure II- 4: Architecture d'un système hybride avec DC bus et AC bus.

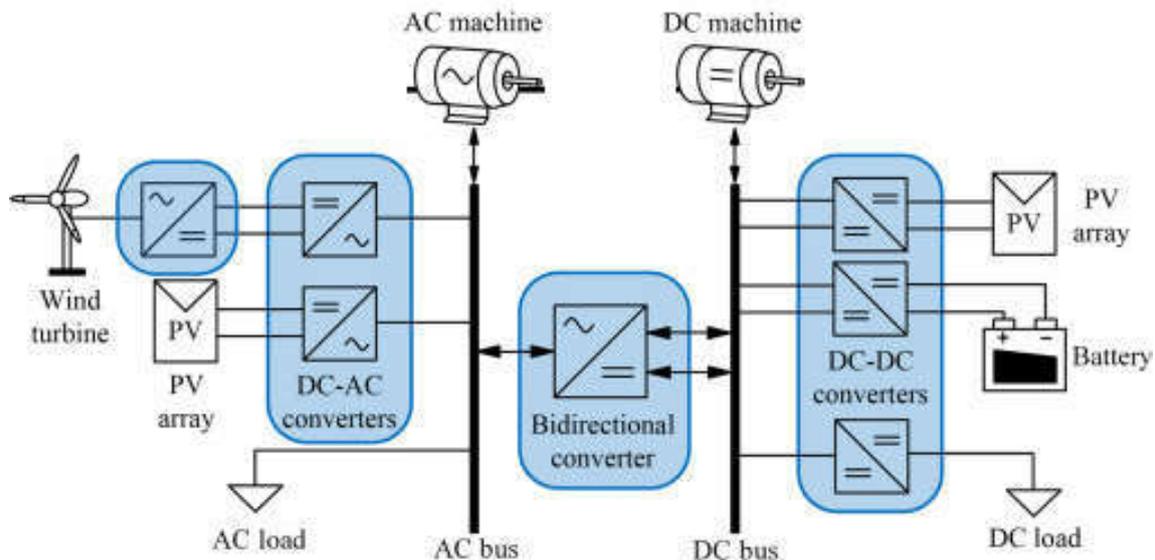


Figure II- 5: Un système hybride avec AC bus et DC bus.

#### II.4 Principaux composants des systèmes hybrides :

Les systèmes photovoltaïques et les éoliennes, Les convertisseurs, les charges, les charges de délestage est une forme de gestion de l'énergie peuvent également faire partie d'un SEH. Les principaux composants des systèmes hybrides sont décrits comme suit :

##### II.4.1 Systèmes de stockage :

L'augmentation de la part de renouvelable dans la fourniture d'énergie nécessite la mise en œuvre de systèmes de stockage de cette énergie. La nature de stockage sera différente selon la durée à assurer. Le développement de moyens de stockage d'énergie performants et économiques est aussi indispensable pour diminuer la dépendance au pétrole extrêmement forte du secteur des transports.

##### II.4.2 Convertisseurs d'électronique de puissance :

Dans un système de conversion des énergies renouvelables, des convertisseurs sont utilisés pour effectuer des contrôles qui sont reliés à ces systèmes, comme par exemple charger les batteries de stockage et transformer le courant continu en courant alternatif et vice versa. Généralement, les convertisseurs les plus couramment utilisés avec les systèmes d'énergies renouvelables sont : les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs [25].

Les redresseurs effectuent la conversion CA/CC, d'où ils sont utilisés avec les systèmes de conversion des énergies renouvelables. Ce sont des instruments relativement simples, pas chers et à bon rendement. Les onduleurs convertissent le CC en CA, ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent

assurer les deux régimes de fonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur. Ceux-ci sont les plus flexibles mais sont aussi les plus chers. Parfois, les fonctionnements de redresseur et de l'onduleur sont réalisés par un seul appareil. Les hacheurs permettent de faire la conversion CC/CC, par exemple, pour adapter la tension entre deux sources Il existe différents types de hacheurs :[2].

#### **II.4.2.1 Convertisseur Buck ou hacheur série :**

Est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur.

#### **II.4.2.2 Convertisseur boost ou hacheur parallèle :**

Est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur.

#### **II.4.2.3 Convertisseur Buck-Boost :**

Est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible ou plus grande valeur mais de polarité inverse. Un inconvénient de ce convertisseur est que son interrupteur ne possède pas de limite reliée au zéro, compliquant ainsi sa commande.

#### **II.4.3 Charge :**

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Elles peuvent être de type résistif et inductif. La charge et l'équipement électrique, alimentée par le système, peuvent être alimentés en CC comme des équipements de télécommunications, le pompage d'eau, ou en CA dans les cas d'usage domestique, nécessitant l'utilisation d'un onduleur.

#### **II.5 Commande des systèmes hybrides :**

Le problème primordial rencontré dans la commande des SEH est la possibilité de produire l'énergie requise par la charge, bien que les grandes variations de l'énergie fournie, dans le but de maintenir la fréquence et la tension du bus à CA dans des limites admissibles. Les variations de la production des sources d'énergie renouvelables sont affectées par les variations météorologiques. Deux étapes très importantes et essentielles doivent être prises en considération pour effectuer la commande du SEH [2] :

- La stratégie d'opération, qui indique le déroulement de la gestion d'énergie pour plusieurs heures ou jours et des actions pour améliorer le fonctionnement du système.
- La qualité de l'énergie, qui permet de confirmer la stabilité de la fréquence et de la tension, les protections, etc.

## **II.6 Avantages et inconvénients des systèmes hybrides :**

Le système d'énergie hybride peut présenter des avantages et des inconvénients qui peuvent résumés dans ce qui suit [26,27].

### **II.6.1 Avantage :**

- Deux sources d'énergie renouvelable ou plus peuvent être intégrées dans un seul système, en fonction du potentiel d'énergie renouvelable local .
- Aucune forme d'émission n'est produite à partir de tous les systèmes hybrides d'énergie renouvelable (comme le PV et l'éolienne) .
- Modulaire (PV et système de vent) sont faciles à installer
- Les systèmes hybrides plus petits sont moins chers que les systèmes plus grands et complexes comme le système nucléaire ;

### **II.6.2 Inconvénients :**

- Augmentation de la complexité du système.
- Difficulté d'optimisation des divers organes du système.
- Plus complexe que les systèmes mono source et nécessite du Stockage.
- La durée de vie des composants d'un SEH peut être beaucoup plus courte que la durée de vie normale des composants individuels.
- Les points les plus critiques sont en général la dégradation des batteries, l'endommagement du système mécanique de freinage des éoliennes.

## **II.7 Conclusion:**

Dans ce chapitre Une brève description des systèmes d'énergie hybride a été étaler entre autres les principales notions liées à la technologie utilisée ainsi que leurs avantages et inconvénients dans les systèmes a énergies hybrides ont été cités.

# **Chapitre 3**

## **Bilan énergétique et dimensionnement**

### **III.1 Introduction :**

La conception d'une installation hybride photovoltaïque/éolienne avec un système de stockage (Banque de batteries) repose essentiellement sur l'analyse technique des différentes composantes ou les outils électriques pouvant assurer les besoins énergétiques d'une serre multi chapelle. Ce chapitre est consacré pour les calculs électriques de la serre.

L'application qui sera présentée dans ce chapitre consiste à l'étude expérimentale pour l'alimentation isolée de la serre multi chapelle située très exactement à **Ben-Amar** dans la zone de **Djeraden** commune **EI-Chatt** Wilaya d'**EI-Tarf**.

Dans un premier temps nous avons procédé à la récolte des énergies installées cumulées du projet (l'investissement de la serre globalement) c'est-à-dire nous sommes statué sur la puissance installée de chaque élément électrique de la serre, afin de calculer le bilan énergétique journalier.

#### **C'est quoi la serre multi chapelle ?**

C'est une fabrication constituée de nefs adossées avec une couverture elliptique et des parois 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



**Figure III- 1:** la serre multi chapelle

chaque chapelle au cadre de plantation des cultures. Sachant qu'elle possède d'une automatisation de quelques accessoires d'exploitation, ouverture toiture, les latéraux (zénithal, latéral), les extracteurs, chauffage et les pompes en générales sont programmés automatiquement selon des paramètres (humidité, température et besoins des plantes).

### **III.2 Définition du besoin électrique :**

La définition du besoin électrique est un travail préalable important impactant le dimensionnement du champ photovoltaïque et du parc de batteries. Une sous-estimation du besoin électrique provoquera des défauts de fonctionnement (coupure électrique, vieillissement prématuré des batteries), alors que sa surévaluation aura pour effet d'augmenter considérablement le coût de l'installation. Calculer les besoins électriques consiste à compter l'énergie électrique journalière consommée par les usagers. Ainsi, les besoins électriques s'exprimeront en Wh/jour (ou kWh/jour). [27]

### **III.3 La méthodologie est la suivante :**

- Identifier l'ensemble des appareils électriques qui seront alimentés par l'installation hybride (PV/Éolienne/Batteries).

- Pour chacun de ces appareils, la puissance nominale de fonctionnement doit être identifiée.

Pour cela, on pourra se poser sur des mesures levées d'un site internet, ou bien sur les fiches techniques/signalétiques des appareils.

- Ensuite, une estimation de la durée d'utilisation journalière devra être effectuée.

Dans ce sens, il est essentiel de connaître les habitudes des utilisateurs (car ce sont bien eux qui utilisent à leurs guises, les appareils consommateurs d'énergie).

- Le produit de la puissance électrique (en W) par le temps d'utilisation (en h) indiquera l'énergie journalière consommée (en Wh) par l'appareil considéré.

Enfin, la somme des énergies journalières calculées donnera une évaluation globale des besoins électriques de la serre.

### **III.4 Evaluation du gisement solaire local**

La ressource solaire est partout présente mais inégalement répartie. Le gisement solaire dépend de la localisation, il est influencé par la latitude, l'altitude et la nébulosité du site :

➤ **La latitude** : c'est la distance par rapport à l'équateur. L'irradiation solaire diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche des pôles ou qu'on s'éloigne de l'équateur.

➤ **L'altitude** : du fait qu'en altitude, le rayonnement solaire traverse une épaisseur d'atmosphère moins importante qu'en plaine.

- **La nébulosité du site est également une variable.** On remarquera en ce sens que les zones arides à très faibles nébulosité sont les plus soumises aux fortes irradiances solaires (désert d'Atacama au Chili, désert du Sahara en Afrique).

Ces trois paramètres doivent être déterminés lors du dimensionnement du PV. [27]

### III.5 Présentation du site d'étude

La région d'**EI-Chatt** est une commune de la wilaya d'**EI-Tarfse** située à l'extrême Est de l'Algérie en limitrophe avec la wilaya d'**ANNABA**, elle a une superficie de 3 339 km<sup>2</sup>, plus précisément le site en question est cité ci-dessus

Elle a les spécifications suivantes mentionnées dans le tableau ci-après :

**Tableau III- 1:** Les coordonnées du site d'étude

Latitude	36°790Nord
Longitude	7°829 EST
Altitude	09 ml
Albédo	0.20

### III.6 Les divers paramètres météorologiques du site:

#### III.6.1 Les irradiances Globales horizontales de la zone des années 2019-2020 :

**Tableau III- 2:** Les irradiances Globales horizontales de la zone des années 2019/2020

Mois	Globales horizontales kWh/m <sup>2</sup>		Directe normale kWh/m <sup>2</sup>		Globale angle optimal kWh/m <sup>2</sup>	
	Année 2019	Année 2020	Année 2019	Année 2020	Année 2019	Année 2020
Janvier	66.63	84.55	79.42	130.93	97.92	136.96
Février	98.99	116.74	133.87	168.36	140.93	170.53
Mars	149.73	132.92	171.79	133.42	184.22	159.3
Avril	168.11	169.38	155.24	160.26	176.82	180.03
Mai	185.79	215.22	167.62	205.57	177.99	207.23
Juin	224.48	228.69	210.97	221.3	206.77	209.52
Juillet	240.2	241.68	238.81	244.89	226.02	226.4
Août	211.47	207.45	206.72	208.49	217.31	212.6
Septembre	150.88	152.16	154.52	151.09	174.45	174.42
Octobre	127.57	125.65	154.09	153.91	170.53	169.49
Novembre	77.53	83.28	101.79	111.79	116.58	125.33
Décembre	69.78	69.83	105.56	106.29	115.38	<b>115.24</b>

Sachant que les informations ont été obtenues d'un site officiel (PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM) [28]

### III.6.2 La radiation solaire mensuelle des années 2019 – 2020:



Figure III- 2:solaire mensuelle des années 2019 – 2020

### III.6.3 La température mensuelle des années 2019 – 2020:

Tableau III- 3:La température mensuelle des années 2019 – 2020

Mois	L'année 2019	L'année 2020
Janvier	9.9	10.4
Février	9.8	12.4
Mars	12.6	13.1
Avril	15.1	16.4
Mai	17.4	21.4
Juin	25.4	24.3
Juillet	28.5	27.5
Août	28.2	28.1
Septembre	24.2	23.3
Octobre	20.1	18.4
Novembre	14	16.3
Décembre	12.8	10.8

### III.6.4 Température moyenne mensuelle



Figure III- 3:Température moyenne mensuelle

### III.6.5 La vitesse du vent entre 1984-2013

Tableau III- 4:La vitesse du vent entre 1984-2013

Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
4.070	4.220	4.300	4.630	5.360	5.580	5.260	5.060	4.990	5.010	5.150	4.630

Les paramètres du vent ont été téléchargés le 14/05/2022 à partir d'un site : **NASA prediction of worldwide energy resource (POWER)** lors de simulation avec l'application Homer pro. La valeur obtenu au tableau c'est la valeur moyennemensuelle, La valeur moyenne annuelle du vent est égale à **4.86 m/s**.



Figure III- 4:Vitesse moyenne du vent

### III.7 Le bilan énergétique de la serre :

La serre agricole sujet de ce travail est de type multiple chapelle réalisé à **Ben-Amar** zone de **Djeraden** commune **El-Chatt** wilaya d'**El-Tarf** étalé sur une superficie de 100x140 (M<sup>2</sup>), la serre se compose de deux parties, une partie pour l'élevage et l'autre pour le griffage des semis.

#### III.7.1 Besoin en puissance de la serre partie « Elevage » :

**Tableau III- 5:** Besoin en puissance de la serre partie « Elevage »

Moteur	Nombre total demoteur	Puissance Unité en (W)	Moteur utilisé en Hiver	Moteur utilisé en été	Puissance demandée en(W)hiver	Puissance demandée en(W) été	Observation
<b><u>Moteur d'ouverture</u></b>							
Zénithal	10	500	10	10	5000	5 000	02 fois par jours durant ouverture/Fermeture
Latéral	05	500	5	5	2500	2 500	
Ventilateurs	40	500	0	20	0	10 000	Quand temp>25°c
Chauffage	4	3000	4	0	12000	0	Quand temp<15°c
<b><u>Chariots irrigation</u></b>							
Charriots	10	370	3	3	1110	1110	Saisonnrière : Durant l'hiver une par jour, l'été plus de 05 fois par jours, seulement 03 chariots qui fontionne en même temps
Pompe irrigation	2	4100	1	1	4100	4100	
Pompe agitateur fertilisante	1	1400	1	1	1400	1400	
<b>Total</b>					<b>26 110</b>	<b>24 110</b>	

#### III.7.2 Besoin en puissance de la serre partie « Griffage » :

**Tableau III- 6:** Besoin en puissance de la serre partie « Griffage »

Moteur	Nombre total de moteur	Puissance Unité en (W)	Moteur utilisé en Hiver	Moteur utilisé en été	Puissance demandée en(W)hiver	Puissance demandée en (W) été	Observation
<b><u>Moteur d'ouverture</u></b>							
Zénithal	04	500	04	04	2000	2000	02 fois par jours durant
Extracteurs	20	1100	0	10	0	11000	
Chauffage	2	3000	2	0	6000	0	Quand temp<15°c
Ecran Thermique	2	400	2	2	800	800	
<b><u>Cooling (refroidissement)</u></b>							
Extracteurs	20	1600	0	10	0	16000	Saisonnrière : Durant l'été presque toute la journée
Pompes recirculation panneaux	6	750	0	3	0	2250	
Pompe remplissage réservoirs enterrés	1	2230	0	1	0	2230	
<b>TOTAL</b>					<b>8 800</b>	<b>34280</b>	

### III.7.3 Calcul du temps d'activité par outillage dans la partie « Elevage » :

**Tableau III- 7:** Le temps dissipé pour chaque appareillage en relation avec le conditionnement approprié

Moteur	Le temps d'exploitation/ jour	Nombre d'heures/jour	Conditions de fonctionnement
<b><u>Moteur d'ouverture</u></b>			
Zénithal	2x03 minutes	0,10	02 fois par jours durant ouverture/Fermeture
Latéral	2x05 minutes	0,17	
Ventilateurs	05 heures	05	Quand temp>23°C Humidité 60%
Chauffage	De 18h à 9h	09	Quand temp<18°C Humidité 60%
<b><u>Chariots irrigation</u></b>			
Charriots	7minutes*5fois	0,58	Saisonnaire : Durant l'hiver une par jour, l'été plus de 05 fois par jours
Pompe irrigation	7minutes*5fois	0,58	
Pompe agitateur fertilisante	07 minutes	0,12	

### III.7.4 Calcul du temps d'activité par outillage dans la partie « Griffage » :

**Tableau III- 8:** temps d'activité par outillage dans la partie « Griffage »

Moteur	Le temps d'exploitation/ jour	Nombre d'heures/jour	Conditions De fonctionnement
<b><u>Moteur d'ouverture</u></b>			
Zénithal	2x03 minutes	0,10	02 fois par jours durant ouverture/Fermeture
Latéral	2x05 minutes	00	
Extracteurs	05 heures	05	Quand temp>23°C Humidité 60%
Chauffage	De 18h à 9h	09	Quand temp<18°C Humidité 60%
Ecran Thermique	7x2 minutes	0.23	Lumière/Humidité
<b><u>Cooling (refroidissement)</u></b>			
Extracteurs	10 heures	10	Saisonnaire : Durant l'été presque toute la journée
Pompes recirculation panneaux	10 heures	10	
Pompe remplissage réservoirs enterrés	6 heures	06	

### III.7.5 Calcul de l'énergie à Produire :

**Définition :** Elle s'obtient en multipliant la puissance d'un appareil par sa durée d'utilisation exprimée en heures. C'est la quantité d'électricité produite ou consommée pendant une période de temps donnée. Elle s'exprime en kilowattheures (kWh) donc : **Energie Produite = Puissance installé x Temps en heure.**

• **La partie « Elevage » de la serre :**

**Tableau III- 9:** Calcul de l'énergie à Produire - partie « Elevage »

Moteur	Puissance demandée en (W) hiver	Puissance demandée en (W) été	Le temps	Energie demandée en (Kwh) hiver	Energie demandée en (Kwh) été	Observation
<b><u>Moteur d'ouverture</u></b>						
Zénithal	5000	5 000	0,10	500	500	Périodique
Latéral	2500	2 500	0,17	416.67	416.67	
Ventilateurs	0	10 000	05	0	<b>50 000</b>	
Chauffage	12000	0	09	<b>108 000</b>	0	
<b><u>Chariots irrigation</u></b>						
Charriots	1110	1110	0,58	647.50	647.50	Périodique
Pompe irrigation	4100	4100	0,58	2391.67	2391.67	
Pompe agitateur fertilisante	1400	1400	0,12	163.33	163.33	
<b>Total</b>				<b>112 119,17</b>	<b>54 119,17</b>	

• **La partie « Griffage » du serre :**

**Tableau III- 10:** Calcul de l'énergie à Produire - partie « Griffage »

Moteur	Puissance demandée en (W) hiver	Puissance demandée en (W) été	Le temps	Energie demandée en (Kwh) hiver	Energie demandée en (Kwh) été	Obs
<b><u>Moteur d'ouverture</u></b>						
Zénithal	2000	2000	0,10	200	200	Périodique
Extracteurs	0	22000	05	0	110 000	
Chauffage	6000	0	09	54 000	0	
Ecran Thermique	800	800	0.23	186.67	186.67	Périodique
<b><u>Cooling (refroidissement)</u></b>						
Extracteurs	0	16000	10	0	160 000	Périodique
Pompes recirculation panneaux	0	2250	10	0	22 500	
Pompe remplissage réservoirs enterrés	0	2230	06	0	13 380	
<b>Total</b>				<b>54 386,67</b>	<b>251 266,67</b>	

**Remarque :** Vu que la consommation d'énergie électrique durant la saison d'été est différente de celle de l'hiver, donc nous avons procédé aux calculs saisonnier de l'énergie avec une précision élevée afin d'obtenir un bilan énergétique fiable et efficace dans notre étude voir le tableau ci-dessus.

**Tableau III- 11:** Récup globale des besoins énergétique journalière :

Puissance (W) en hiver	Puissance (W) en été	Energie (Wh) en hiver	Energie (Wh) en été
<b>34 910,00</b>	<b>58 390,00</b>	<b>166 505,83</b>	<b>305 385,83</b>

Donc comme nous avons vu précédemment que l'énergie journalière calculé en hiver est inférieure à celle de l'été, alors nous sommes obligé d'utiliser l'énergie la plus grande afin d'offrir les besoins électrique de la serre.

L'énergie à produire  $E_p$  doit être égale :

$$E_p = E_{p\text{calculé}} + 20\% E_{p\text{calculé}}$$

$$E_p = (305.40) + 0.2 * (305.40) = 366.48 \text{ kwh}$$

Généralement dans le calcul des besoins énergétiques en ajoute 20% dans le calcul de l'énergie produite ça revient essentiellement aux pertes dues à l'effet de joule.

### III.8 Dimensionnement du photovoltaïque :

#### III.8.1 Calcul de la puissance crête:

La puissance du générateur photovoltaïque est donnée par :

$$P_c = \frac{E_{elec} \cdot P_i}{E_i \cdot K}$$

Avec :

$E_{elec}$  : Energie max journalière consommée par la serre en été est égale :

$$E_{elec} = 305,40 \text{ kwh/jour.}$$

$P_i$  (kW/m<sup>2</sup>): La puissance radiative dans les conditions standard de test (conditions STC),

$$P_i = 1 \text{ kW/m}^2.$$

Le paramètre météorologique radiation choisi le plus défavorable de l'année 2020, mois décembre qui est : **115,24KWh/m<sup>2</sup>**

$E_i$  (kWh/j/m<sup>2</sup>) : L'irradiation solaire journalière la plus faible de la période étudiée égale a :

$$E_i = \frac{115.24}{31} = 3,71 \text{ kwh/jour/m}^2$$

PR : ou K Le ratio de performance de l'installation photovoltaïque, égale à 1.

$$P_c = 95.165 \text{ kw}$$

Donc le générateur photovoltaïque aura une puissance crête de **95.165kWc**

Les panneaux solaires utilisés sont de types poly-cristallin modèle IFRI-SOL (IF-P340-72) avec une puissance crête = **340W voir annexe**.

### III.8.2 Calcul nombre de modules :

$$N_{\text{totalePV}} = \frac{P_c}{P_{\text{module}}} = \frac{95165}{340} \cong 282 \text{ modules}$$

Donc le nombre total des PV pour satisfaire les besoins de la serre en énergie est de **282 modules**.

### III.8.3 Nombre de modules en série:[27]

Le nombre de modules en série dépend de la tension de fonctionnement de l'onduleur.

$$N_{PV\text{seriemax}} = \frac{V_{m\text{pponduleur}}}{V_{co*pv} * 0.85} \cong 27.16 \text{ modules}$$

$$N_{PV\text{seriemin}} = \frac{V_{m\text{pponduleur}}}{V_{co*pv} * 1.15} \cong 19.32 \text{ modules}$$

### III.8.4 Nombre de chaines en parallèle :[27]

$$N_{\text{chaineparallele}} = \frac{I_{\text{maxonduleur}}}{I_{ccpv} * 1.15} \cong 10 \text{ modules}$$

Donc on peut conclure que le dimensionnement des PV en utilisant le calcul manuel s'abouti à 282 modules globalement, 10 branches en parallèle avec 28 modules en série de chaque branche.

## III.9 Dimensionnement batterie de stockage

### III.9.1 Calcul de capacité de stockage

Soit la formule suivante qui détermine la capacité des batteries selon les besoins demandés :

$$C(Ah) = \frac{D * N}{U * L}$$

- **N** : Le nombre de jours avec un ensoleillement insuffisant.
- **D** : La demande énergétique quotidienne de la serre en Wh/jour.
- **U** : La tension en Volt sous laquelle est installée le parc de batteries 720 V.
- **L** : La profondeur de décharge maximale des batteries, est de : 0.8.

$$C(Ah) = \frac{305390 * 0.93}{720 * 0.8} = 2096.98Ah$$

### III.9.2 Nombre de batterie en série

Avant de commencer il faut savoir le type de batterie à utiliser, donc le type de batterie choisi c'est SAKO 6 FMG-296, GEL battery with up-dated AGM. (Voir annexe n°02 caractéristique Batterie utilisé)

$$N_{\text{Batterie}} = \frac{\text{Tension de travail}}{\text{Tension de Batterie choisi}} = \frac{720}{12} = 60 \text{ batteries}$$

### III.9.3 Nombre de batterie en parallèle :

$$N_{\text{Batterie chaîne}} = \frac{\text{Capacité de stockage Global}}{\text{Capacité de batterie choisi}} = \frac{2096.98}{296} = 7 \text{ chaînes}$$

Alors d'après le calcul, on obtient **07** chaînes de batteries et chaque chaîne contient **60** batteries de **12** volts chacune.

### III.10 Dimensionnement du photovoltaïque par l'application PVsyst:

**PVsyst** est une application de dimensionnement PV et des batteries de stockage, dans ce sens un besoin énergétique de la serre agricole a été établi, le bilan a été arrêté : **305.40 Kwh/jour**. Une simulation de dimensionnement avec **PVsyst** a été faite en utilisant les paramètres météorologiques en ligne du site météo nom 8.0, l'énergie calculée et les résultats obtenus sont en **annexe**.

#### Caractéristique des composants prise dans le dimensionnement:

##### Le photovoltaïque:

**Tableau III- 12:** Caractéristique des composants prise dans le dimensionnement- photovoltaïque

Caractéristique PV		
Fabricant	Generic	
Modèle	UKS-6M-72 Cells	
Puissance crête	340 Wp	32 volt
Type	Si-mono	

##### Batterie de stockage:

**Tableau III- 13:** Caractéristique des composants prise dans le dimensionnement- Batterie de stockage

Caractéristique batterie de stockage		
Fabricant	Rolls	
Modèle	12-CS-11PS	Pb-acide
Capacité	296 Ah	Tension nominale : 12 volts
Température de référence	20°C	

#### Comparaison :

Les résultats obtenus par le calcul manuel et l'application sont très proches même sont égaux, seulement une précision reconnue dans les résultats de l'application en ce qui concerne la tension de travail et le choix du régulateur MPPT, en outre ; on obtient, les calculs de l'énergie annuel, la surface pour l'installation du champ PV et d'autres paramètres nécessaires pour l'installation du système hybride.

### III.11 Dimensionnement PV/Éolienne/Batteries de stockage :

Une simulation a été élaborée en utilisant l'application de dimensionnement **Homer.pro** afin d'obtenir un dimensionnement hybride PV/Éolien/Batteries de stockage. Les résultats obtenus sont en **annexe**.

#### Caractéristique des composants présent dans l'application :

**Tableau III- 14:** Caractéristique des composants présent dans l'application -l'éolienne

Caractéristique de l'éolienne		
Fabricant	Xant	
Modèle	Xant-M24	
Capacité	95 Kw	
Hauteur	38 ml	

**Tableau III- 15:** Caractéristique des composants présent dans l'application –Le photovoltaïque

Caractéristique de PV		
Fabricant	LONGiSolar	
Modèle	Efficiency	
Capacité	0.350 kw	72 Cells mon-cristalline
Type panneau	Flat plate	

**Tableau III- 16:** Caractéristique des composants présent dans l'application - Les Batterie de stockage

Caractéristique batterie de stockage		
Fabricant	Rolls/Surette S-260	
Modèle	Kineticbattery	
Capacité	260 Ah	Tension nominal 12 volt
Capacité nominale	3.12 kwh	

**Commentaires** : la simulation avec cette application nous a donnée des résultats en annexe qui sont en relation avec le cout minimum, d'ailleurs on a abouti à :

\* Éolienne : Une (01) qui doivent fournir une énergiede:**260kwh/année.**

\* Un nombre de PV qui doit fourni une énergiede:**80.858kwh/Année.**

\* Batterie de stockage : une quantité de batterie qui est de : **186 batteries.**

Donc le besoin énergétique de la serre agricole d'après la simulation avec Homer.pro nous a donner un partage de fourniture d'énergie annuel entre les deux énergies renouvelable PV et éolien avec leurs dimensionnements de stockage.

### **III.12 Conclusion :**

Vu l'occasion que nous avons eu dans ce chapitre, le bilan énergétique et les paramètres météorologique (irradiation, température, vent...) sont deux grandeurs indispensable dans le dimensionnement soit pour le photovoltaïque ou l'éolienne. Selon ce que nous avons fait, il existe des applications qui nous donnent des mesures très précises. Citons l'exemple de **PVsyst**, **Homer.pro**, et comme notre étude de dimensionnement PV de la serre a eu l'occasion de la simulation avec l'application **PVsyst**, un rapport des résultats obtenus sont très bénéfique pour la concrétisation du projet d'alimentation en PV sur terrain via les divers paramètres portés par l'application. Une autre simulation par **Homer.pro** a été établis afin d'avoir le dimensionnement mixte PV et éolien avec le nombre de batteries de stockage avant d'aller à la simulation du système hybride en utilisant le langage Matlab.

## **Chapitre 4:**

### **La simulation de la stratégie de gestion du système hybride**

### **IV.1 Introduction:**

Ce chapitre est alloué principalement pour la simulation en langage Matlab du bilan énergétique de la serre agricole, en respectant le calcul de dimensionnement statué dans le chapitre trois. On a commencé d'abord par la simulation de chaque énergie renouvelable séparée, ainsi que le système hybride (PV/Éolien) en associant par la suite la Banque de batteries pour stockage, passant par l'onduleur (Inverter) pour avoir de l'électricité en mode alternative et enfin reliant les trois charges (Loads) LP1, LP2 et LP3. Les trois puissances importantes par ordre de priorité dans la serre (PL1: charge ouverture toiture, PL2: charge ventilateurs + irrigation, PL3: charge des extracteurs de refroidissement), après nous avons procédé à l'intégration de la nouvelle stratégie de gestion qui gère ces charges, avec la variation des deux paramètres indispensables dans la simulation, l'irradiation et le vent en décroissance.

### **IV.2 Simulation de système hybride (PV/éolien/Batterie) avec la stratégie de gestion:**

#### **IV.2.1 Simulation du photovoltaïque avec MPPT :**

La conception d'une installation photovoltaïque dans notre cas repose essentiellement sur l'analyse technique c'est-à-dire sur les composants là où en assurent les besoins énergétiques de la serre et avoir une bonne rentabilité du système photovoltaïque installé, avec un régulateur MPPT qui nous donne le maximum de la puissance fourni par cette installation. Nous avons consacré notre travail dans ce chapitre quatre sur la simulation, en se basant sur les résultats de calculs dans le chapitre trois.

##### **IV.2.1.1 Le régulateur MPPT :**

La commande MPPT (Maximum power point tracking) permet de chercher le point de fonctionnement optimal du générateur photovoltaïque suite à des variations climatiques et de charge. Son principe est basé sur la variation automatique du rapport cyclique du convertisseur statique (CS) pour maximiser continuellement la puissance du générateur photovoltaïque (champ PV). Cette action de contrôle correspond à une variation de la tension de sortie du champ PV pour l'amener vers sa valeur optimale. La commande MPPT est en général basée sur la variation du rapport cyclique du CS en fonction des évolutions des grandeurs électriques de telle sorte que la puissance fournie par le Champ PV soit maximale. Dans ce travail, nous

avons implémenté un régulateur qui est le fameux contrôleur P&O, son schéma de principe d'adaptation est géré par une commande MPPT.

#### IV.2.1.2 Les paramètres Photovoltaïque dans la simulation :

Selon les calculs dans le chapitre trois nous avons statué sur :

- Le nombre des PV en série : **40** modules.
- Le nombre des PV en parallèle : **07** modules.
- Les irradiations sont variante à **1000, 800 et 600 w/h/m<sup>2</sup>**.
- La température fixe dans les conditions de: **25 °C**.
- Un hacheur élévateur (**DC/DC**) (**Boostconverter**) a été installé en aval afin d'obtenir la puissance souhaitée.
- Un régulateur MPPT qui a pour objectif d'atteindre la puissance maximum en ajustant sur le rapport cyclique.

#### IV.2.1.3 Caractéristique du panneau solaire utilisé dans la simulation :

Dans cette expérience de simulation on a opté pour l'utilisation d'un panneau solaire très exploité dans les installations des énergies renouvelable actuel (Marque: IFRISOL,IF-P340-72).

**Tableau IV- 1:** Caractéristique du panneau solaire utilisé dans la simulation

Caractéristique IFRISOL, IF-P340-72		
Puissance nominale "P"	340 Wp	
Tension nominale "U <sub>mpp</sub> "	37.33 volt	
Courant nominale "I <sub>mpp</sub> "	9.11 Ampère	
Tension circuit ouvert "U <sub>oc</sub> "	46.11volt	
Courant de court-circuit "I <sub>sc</sub> "	9.64 Ampère	
Poid du panneau	23.5 kg	
Nombre de cellule	72 Pcs	157x157 mm poly cristalline
Dimensionnement panneau	1977x1002x35 mm	+1mm

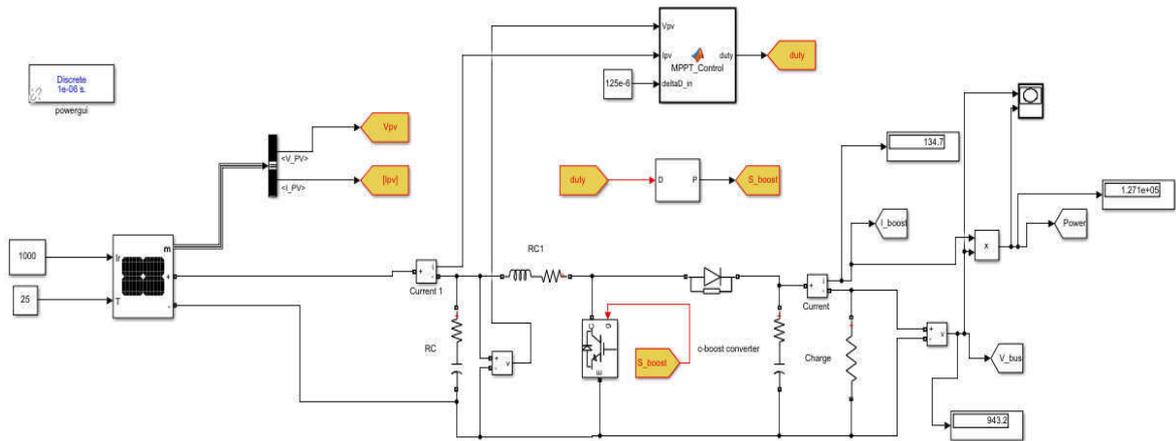
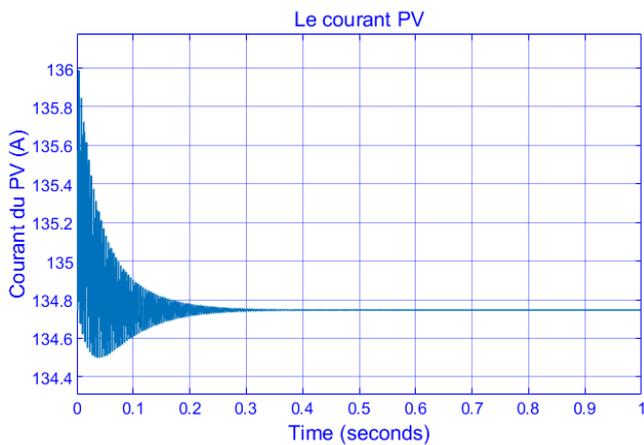
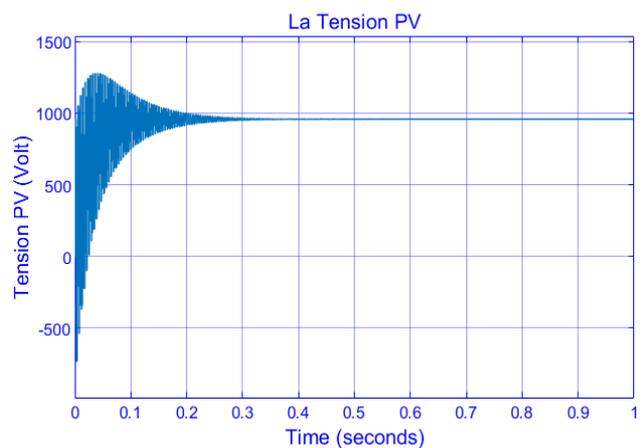


Schéma du bloc de simulation des panneaux photovoltaïques.

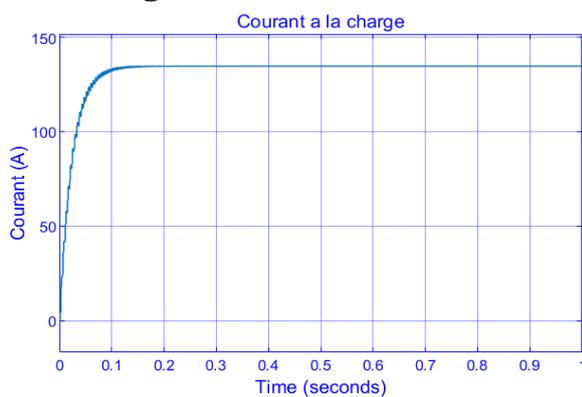
**Les résultats de simulation des panneaux photovoltaïques sont représentés sur les figures ci-après :**



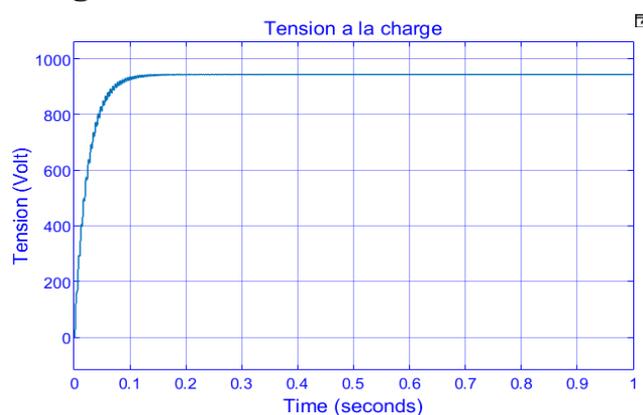
**Figure IV- 1: Courant du PV**



**Figure IV- 2: Tension du PV**



**Figure IV- 3: Courant de la charge**



**Figure IV- 4: Tension de la charge**

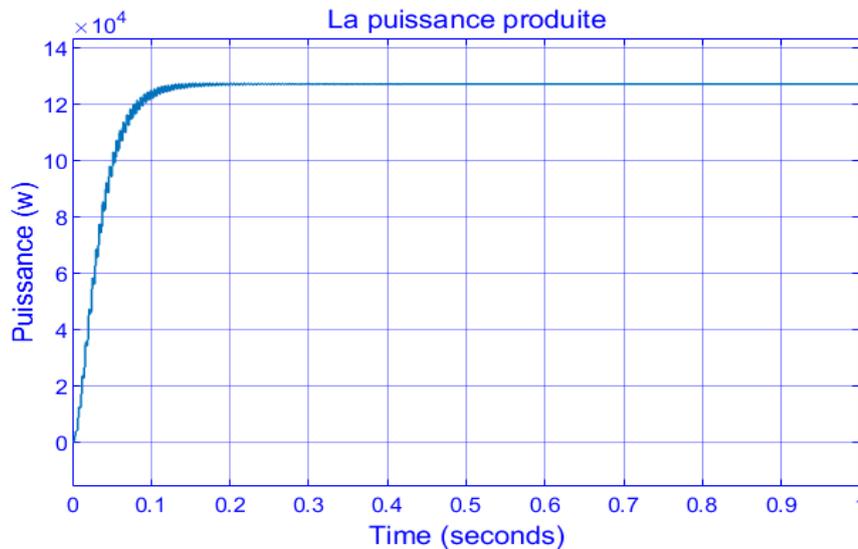


Figure IV- 5:La puissance produite

IV.2.1.4 Commentaires sur les résultats obtenus:

- **Figure IV-1et IV-2 :** sont deux courbes obtenus de la simulation d'un ensemble des PV,le résultat est : tension GPV et courant GPV,  $V_{pv}= 959.6$  volt; $I_{pv}=134.7$  Ampère.
- **Figure IV-3 et IV-4 :** sont deux courbes obtenus après passage par le DC/DC (Boostconverter) hacheur et MPPT, le résultat est :  $V_{Boost}= 943.2$  volt; $I_{Boost}=134.7$  Ampère.
- **Figure N°05:**la courbe obtenue nous a donné au début une augmentation de la puissance en fonction temps jusqu'as en arrivant à la puissance max qui est de :  $P_{pv}=1.27 \cdot 10^{+5}W$ , après par la suite, la valeur a été fixée, c'est la puissance demandé de la serre agricole.

IV.2.2 Simulation de l'éolienne :

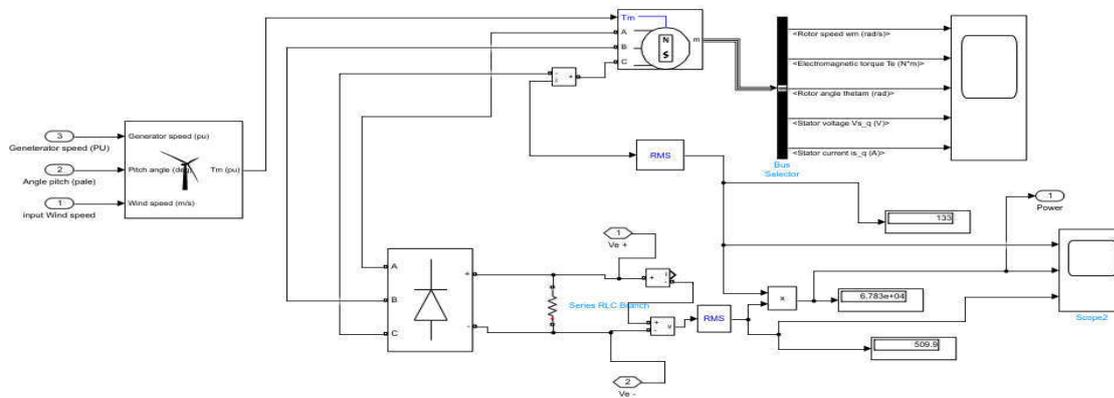


Schéma bloc de la simulation d'éolienne.

### IV.2.2.1 Caractéristique éolienne :

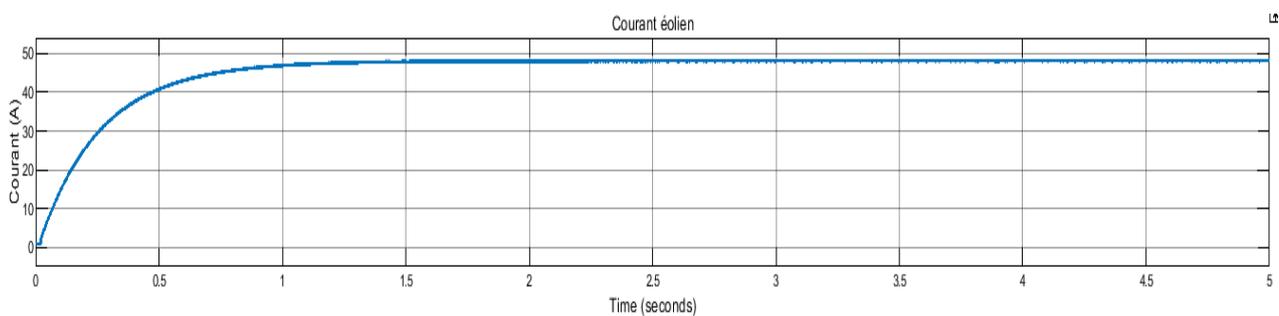
**Tableau IV- 2:**Caractéristique éolienne

Caractéristique éolienne		
Puissance nominale "P"	1.17 kW	
Vitesse minimale turbine	2.8 m/s	
Vitesse de rotation de base	1.2 P.U	

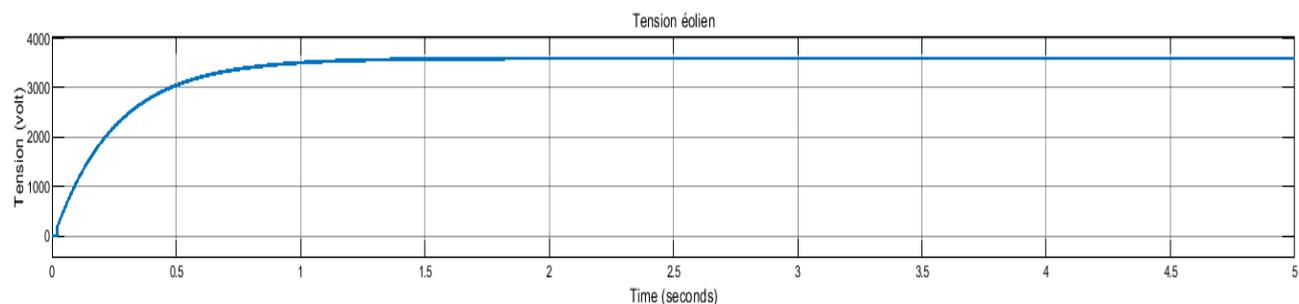
D'après les calculs du troisième chapitre nous nous sommes statués sur :

- Une seule éolienne de puissance de 95 kW selon la simulation trouvée par l'application **Homer.pro** pour satisfaire un pourcentage de l'énergie demandé par la serre.
- Le paramètre pour qu'une éolienne produise de l'énergie, c'est la vitesse du vent qui se varie dans la simulation entre :5,3 et 1 m/s.

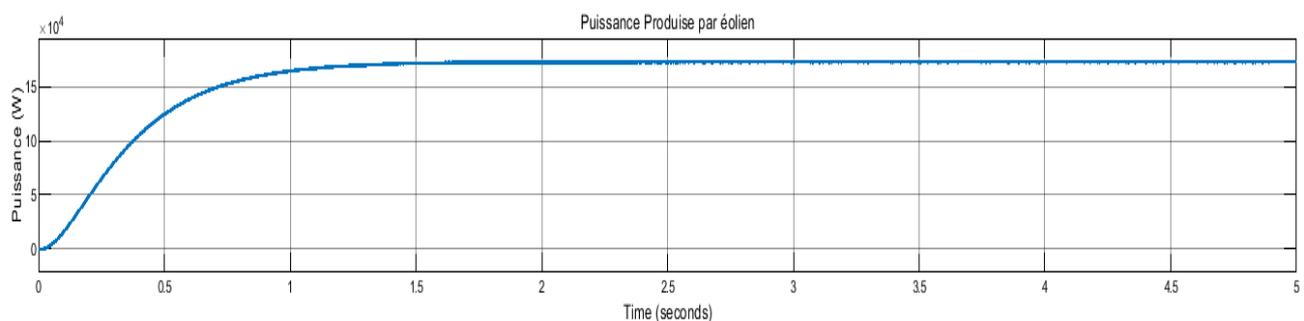
**Les résultats de simulation de l'éolienne est représenté sur les figures ci-après:**



**Figure IV- 6:**Courant éolien



**Figure IV- 7:**Tension éolien



**Figure IV- 8:**Puissance produite par éolien

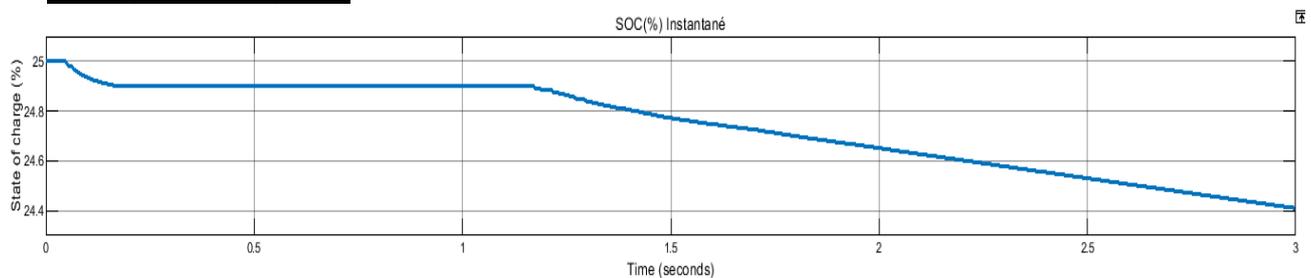
### IV.2.2.2 Commentaires sur les résultats obtenus:

- **Figure IV-6 et IV-7** : sont deux courbes obtenus de la simulation d'une éolienne selon des caractéristique choisi dans le tableau ci-dessus, le résultat est : tension et courant éolien,  $V_{\text{éolien}} = 3597 \text{ volt}$ ;  $I_{\text{éolien}} = 48.09 \text{ Ampère}$ .
- **Figure IV-8** : la courbe obtenue nous a donné au début une augmentation de la puissance en fonction temps jusqu'à en arrivant à la puissance max qui est de :  $P_{\text{éolien}} = 1.73 \cdot 10^5 \text{ W}$ , on voit bien une stabilité de la valeur de puissance, courant et tension, en effet c'est notre objectif, la puissance utile pour la serre.

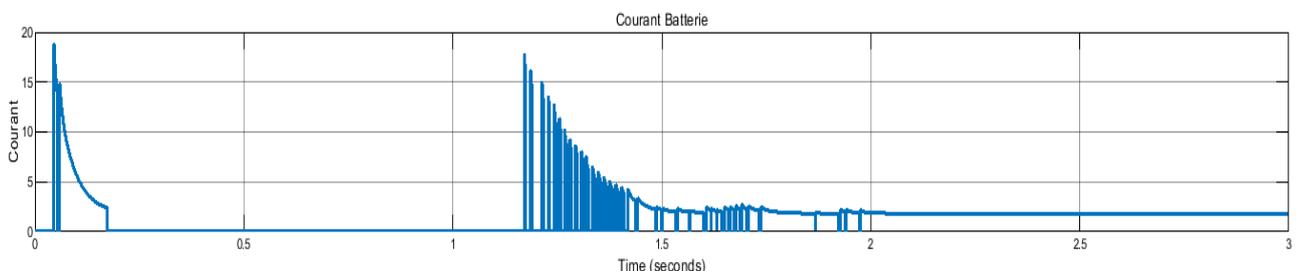
### IV.2.3 Simulation les batteries :

Vu que la puissance demandée dans la serre est très élevée et pour satisfaire et assurer les besoins énergétiques, on a choisie une tension de travail égale à : 720 volt et ça suite aux résultats aboutis dans le chapitre trois par les deux applications de dimensionnement **PVsyst et Homer.pro**. Alors on a opté pour une tension de travail 720 volt, c'est à dire une série de 60 batteries de 12 volts pour chaque branche, et comme la capacité calculé est de 2096.98 Ah, alors on obtient 07 branches, ce qui nous donne 420 batteries dans la totalité.

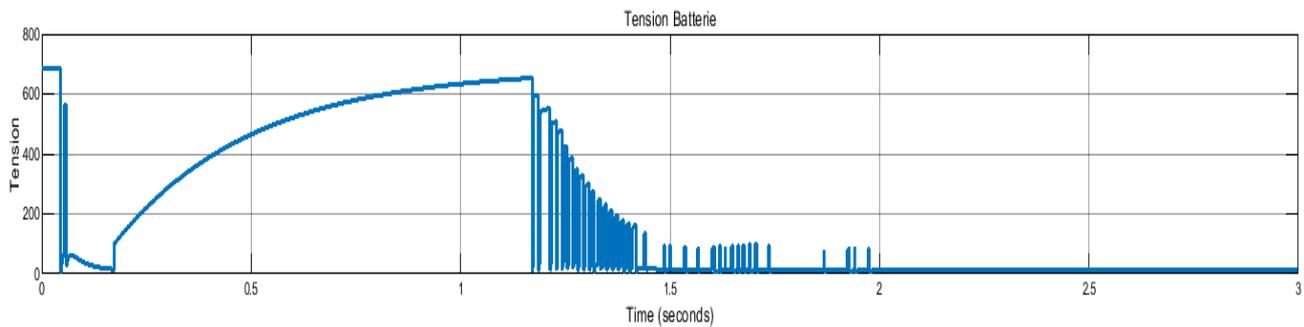
### Les résultats de simulation des batteries (SOC(t), Vbat et Ibat) représenté sur les figures ci-après:



**Figure IV- 9: State of charge SOC**



**Figure IV- 10: Courant Batterie**



**Figure IV- 11:**Tension Batterie

#### IV.2.3.1 Commentaires sur les résultats obtenus :

**Figure IV-9:** Elle représente l'état de décharge des batteries installé avec le système hybride, on voit bien au démarrage les batteries entre 0-0.05 prend la valeur 25%, et entre 0.05-0.16 seconde se décharge certain moment après se stabilise entre 0.16 jusqu'à 1.2 seconde, la dernière période entre 1.2 et 3 secondes se décharge, cela signifie que système utilise les batteries entre 0.05-0.16 seconde et entre 1.2-3 seconde, d'après la courbe qui se descendre.

**Figure IV-10:** Dans cette figure on constate aussi quatre cas de figure toujours dans les mêmes périodes : entre : 0 - 0.05 seconde le courant est nul, deuxième période le courant s'augmente subitement a la valeur 19 A, après se diminue lentement pour revient a zéro, entre 0.05-1.2 seconde stable à la valeur zéro, et entre 1.2 - 3 seconde le courant a pris plusieurs valeurs instantanées de 19-2.1 A, pour se stabilisera cette dernière valeur jusqu'à la fin.

**Figure IV-11 :** On constate quatre durées de changement, la première entre 0-0.05 seconde la tension fixe à 720 volts, entre 0.05-0.16 volt la tension a pris un changement instantané pour atteindre une valeur minime 0.05 volt, entre 0.16-1.2 seconde la tension prend la courbe exponentielle pour arriver à la valeur 720 volt, et enfin la tension a pris beaucoup de valeur instantanée et une valeur stable minime.

### IV.3 Simulation du système hybride (PV/Eolien/Batterie) :

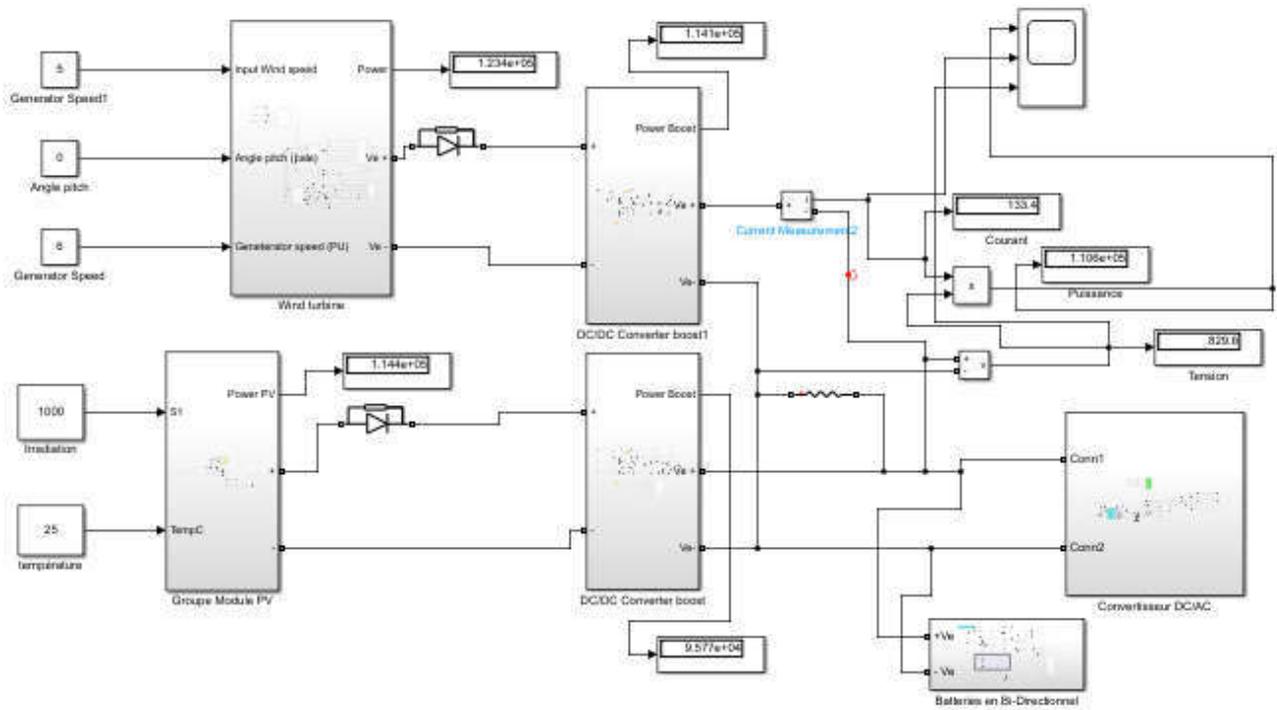


Schéma bloc de la simulation système hybride (PV/Éolien/Batteries) avec convertisseur DC/AC.

**Les résultats de simulation système hybride (PV/Éolien/Batterie) avec DC/AC sur les figures ci-après :**  
**\* AVANT CONVERTISSEUR DC/AC :**

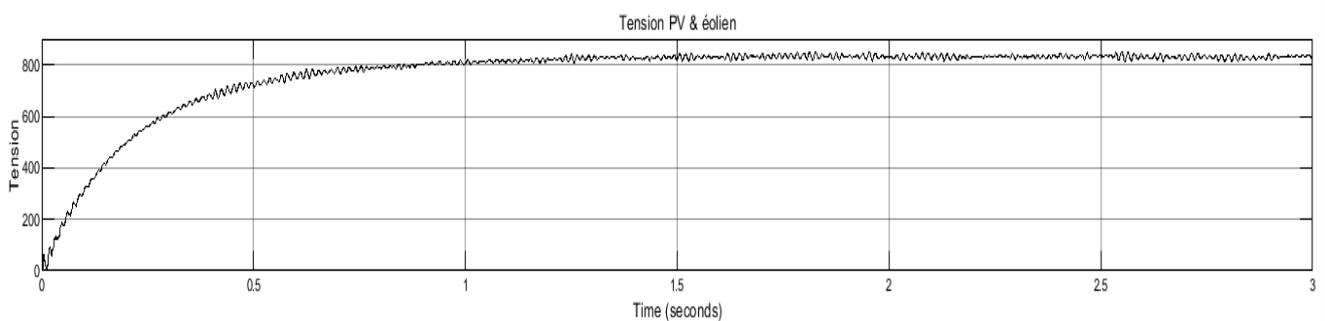
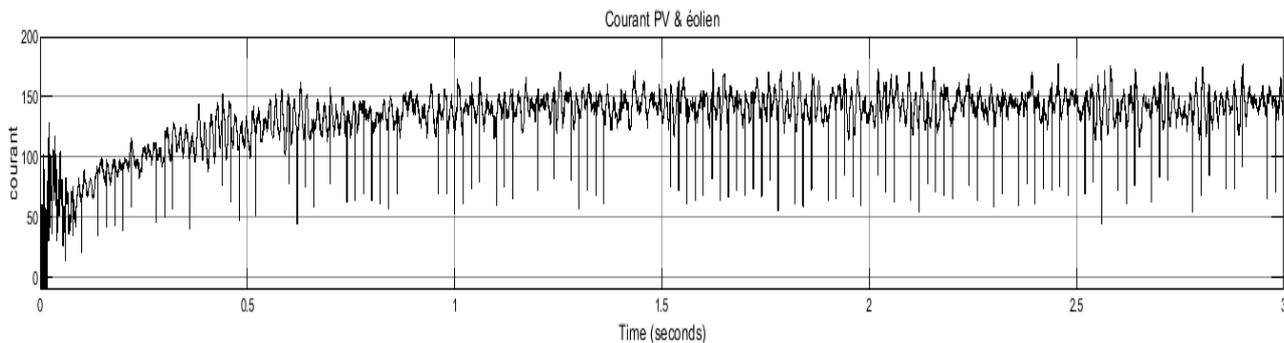
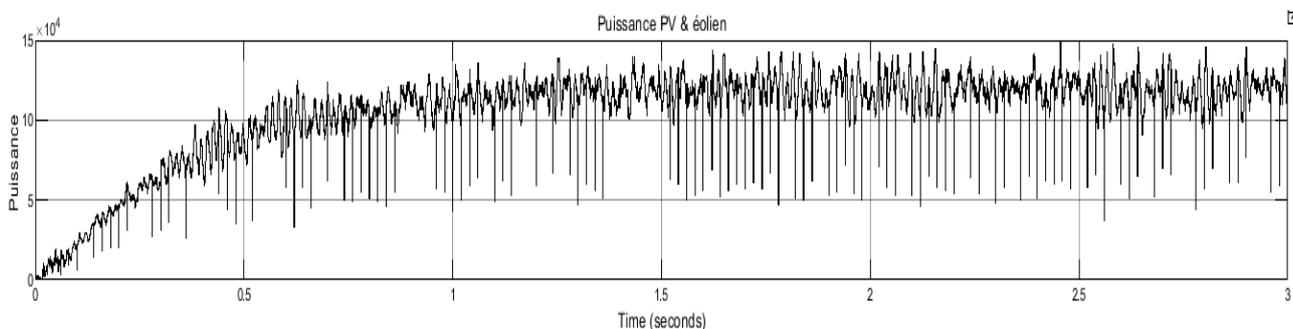


Figure IV- 12:Tension PV/éolien



**Figure IV- 13:** Courant PV/éolien



**Figure IV- 14:** Puissance PV/éolien

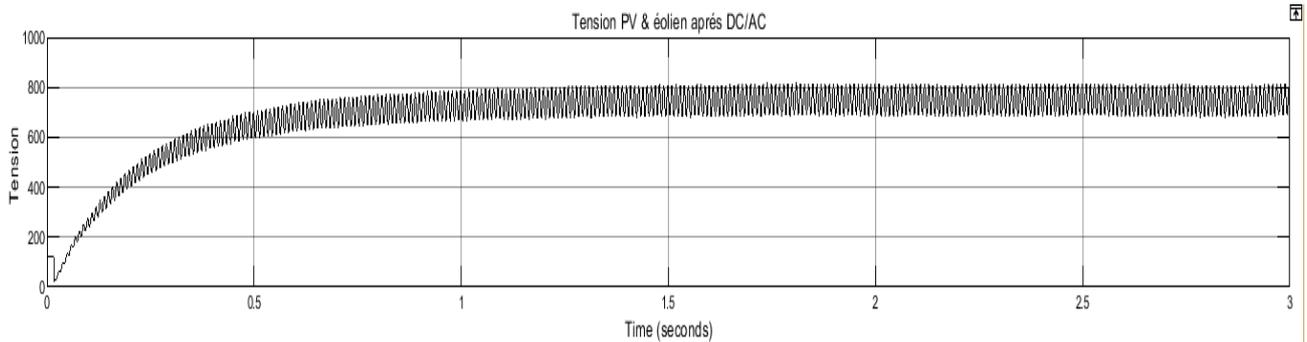
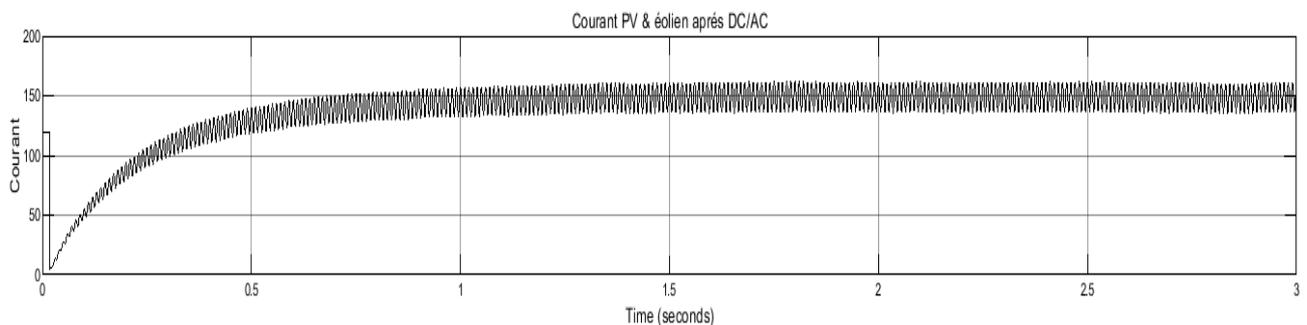
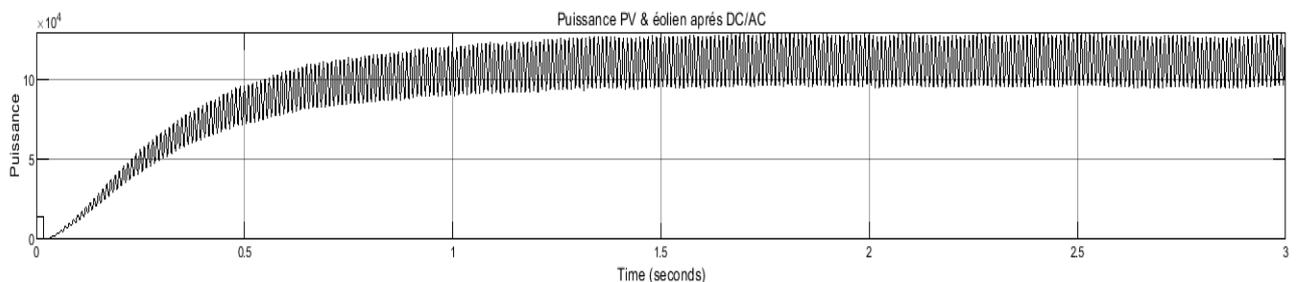
### IV.3.1 Commentaires sur les résultats obtenus :

Compte tenu de ce qui précède une adaptation des deux énergies renouvelables a été faite et nous avons obtenus ce qui suit :

**Figure IV-12** : La combinaison entre les deux énergies renouvelables PV/éolien nous a donné une puissance après passage par le convertisseur DC/DC égale à : 110.6 Kwh et une tension égale à : 829.6 Volt, un courant égal à : 133.4 Ampère. Donc on peut dire que cette puissance est supérieure à celle demandé donc elle couvre les besoins électriques de la serre.

**Figure IV-13** : on voit bien que le courant obtenu après DC/DC des deux énergies renouvelables est un peu instable mais dans l'ensemble la valeur affichée par le scope couvre les besoins exigés de la serre agricole.

**Figure IV-14** : une tension max obtenue après DC/DC est égale à: 829.6 volt, cette tension restera suffisante pour le besoin de la serre.

**\* APRES CONVERTISSEUR DC/AC:****Figure IV- 15:** Tension PV/éolien après DC/AC**Figure IV- 16:** Courant PV/éolien après DC/AC**Figure IV- 17:** Puissance PV/éolien après DC/AC**IV.3.2 Commentaires sur les résultats obtenus :**

Un convertisseur DC/AC dont les composants sont :

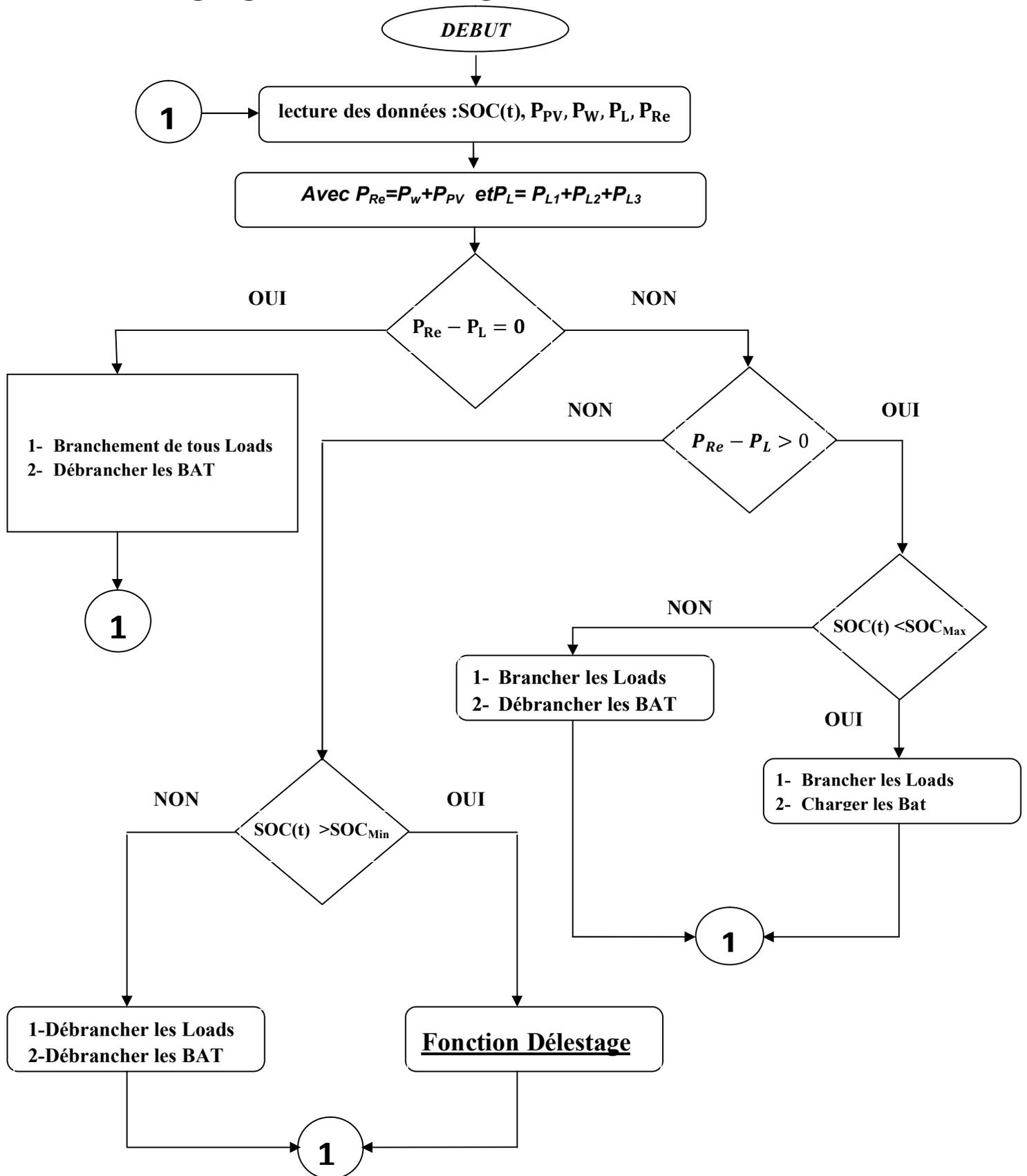
Un onduleur triphasé, une bobine pour lissage, une charge de 3kva pour compensation et une charge à la fin pour mesure.

**Figure IV-15 :** Une tension PV&éolien alternative pour exploitation a été fourni par l'onduleur qui est égale à : 786 volts en RMS (racine carré moyenne).

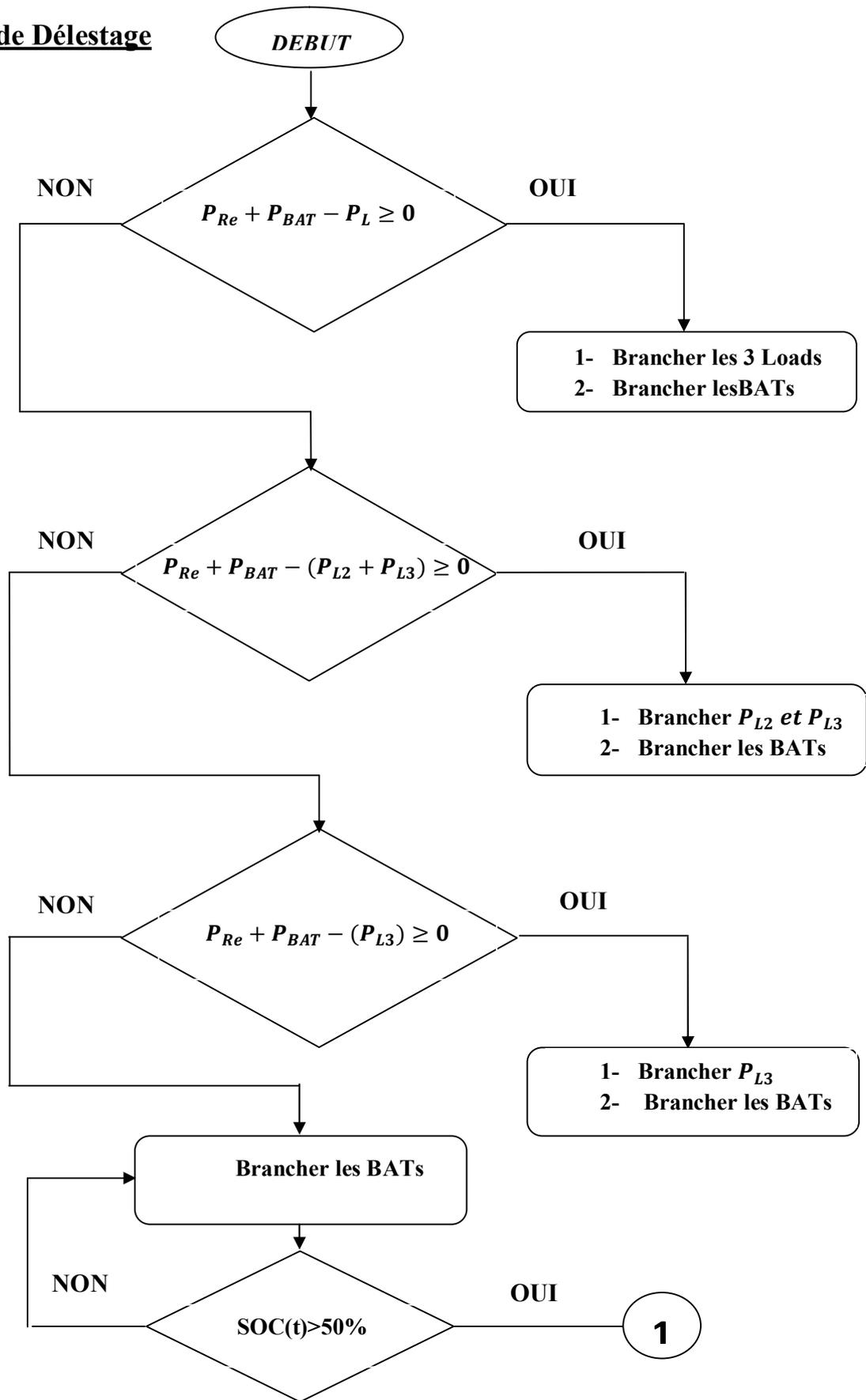
**Figure IV-16 :** Un courant PV&éolien d'ordre 161.4 ampère en RMS, sachant que cette valeur est la moyenne.

**Figure IV-17 :** La puissance est le produit de la tension et le courant, la valeur produite satisfait les besoins énergétiques de la serre.

**IV.4 Organigramme de la stratégie :**



**Fonction de Délestage**





La période de simulation qui est de 03 seconde, on a choisi la variation des irradiations et le vent sur trois étages, 01 seconde pour chaque variation de paramètre, les irradiations (1000, 800,600)wh/m<sup>2</sup>, le vent (5, 3, 1) m/s (en langage Matlab signal Builder).

#### **IV.5.1 La stratégie de gestion :**

L'objectif principal de notre mémoire c'est de développer une fonction pour une stratégie de gestion de la puissance produite par le système hybride (PV/éolien/batterie) en utilisant le langage Matlab, afin de satisfaire les besoins de la serre agricole en matière d'énergie et par d'ordre de priorité. Dans un premier temps on a choisi trois étages d'ordre de priorité de puissance, PL1 : charge de l'ouverture toiture comme premier ordre, PL2: charge des ventilateurs + Irrigation deuxième ordre, PL3 : charge des extracteurs de refroidissement troisième ordre. Selon cette organisation un organigramme a été établi en se basant sur les puissances des énergies renouvelables produites par le PV, éolien, l'énergie emmagasinée par le système de stockage ( $SOC_{min}$ ,  $SOC_{max}$  et  $SOC(t)$  instantané), et les charges demandées PL1, PL2, PL3 par la serre. La fonction de la stratégie de gestion a été développée, simuler et résultats acquis sont ci-après.

Sachant que :

##### **\* Les entrées de la stratégie :**

$P_{PV}$  : Puissance produite par le photovoltaïque.

$P_w$  : Puissance produite par l'éolienne.

$P_{bat}$ : Puissance instantané des batteries.

$SOC(t)$  : L'état de charge(state of charge) des batteries.

##### **\* Les sorties de la stratégie :**

$S_{bat}$ : State batteries.

S1: Commande de la charge PL1.

S2: Commande de la charge PL2.

S3: Commande de la charge PL3.

Scd: State charge/décharge des batteries.

#### IV.5.1.1 Résultats de simulation système hybride avec la stratégie sur les figures ci-après :

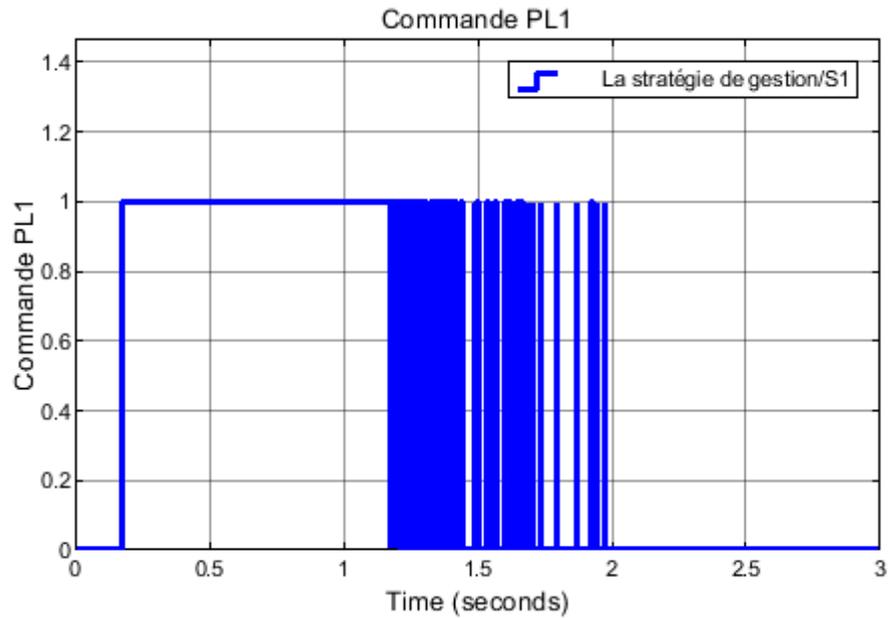


Figure IV- 18:Commande PL1

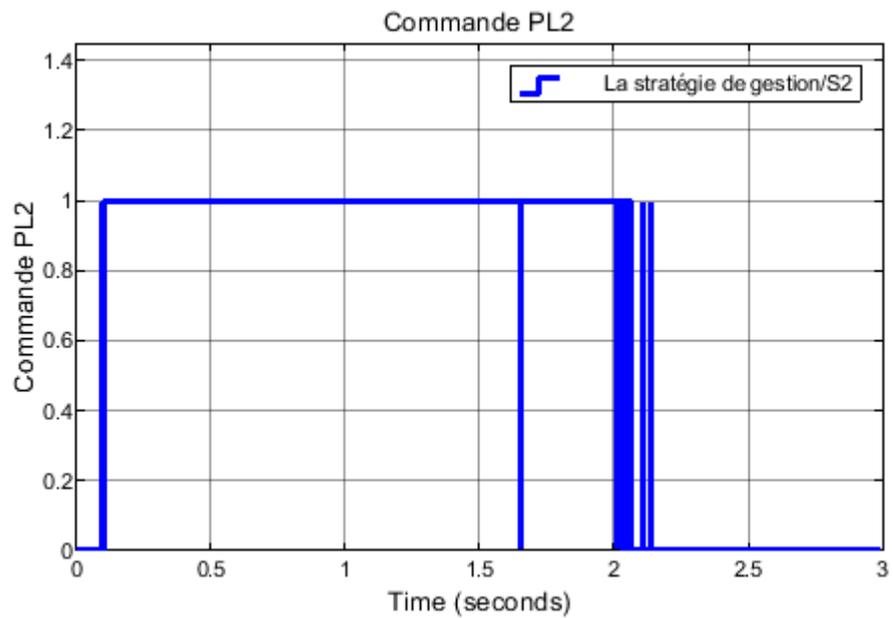
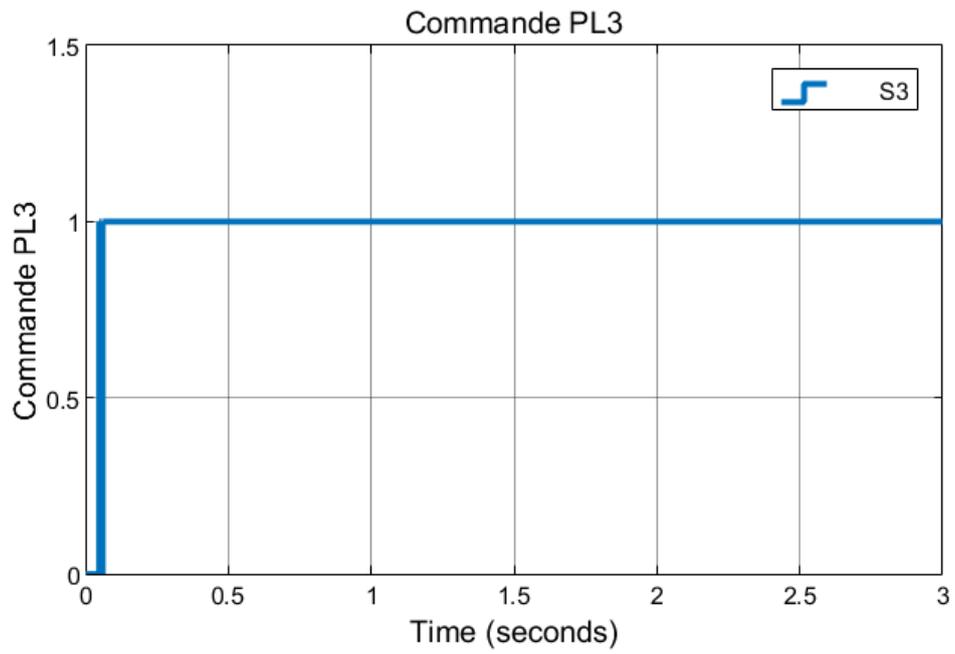
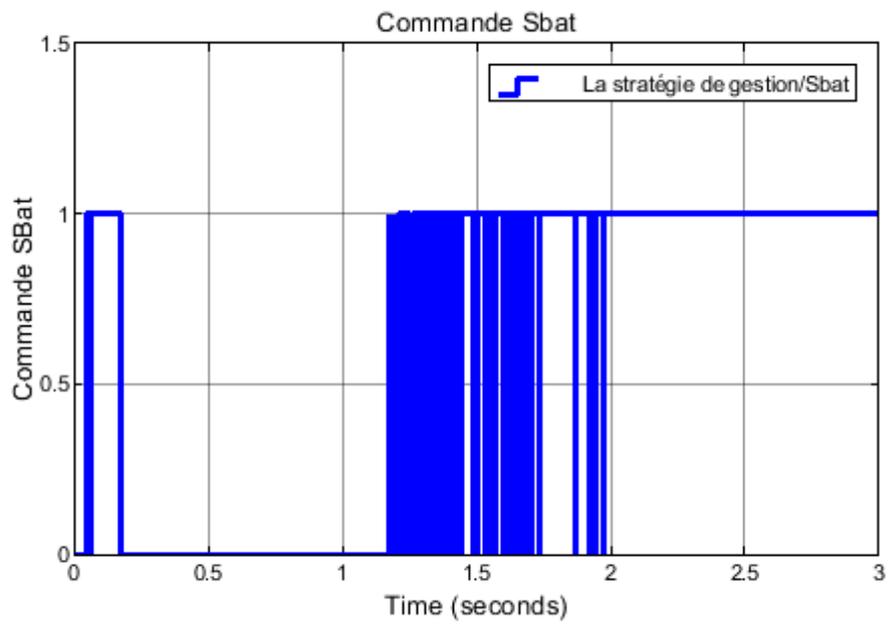


Figure IV- 19:Commande PL2



**Figure IV- 20:COMMANDE PL3**



**Figure IV- 21:Commande Sbat**

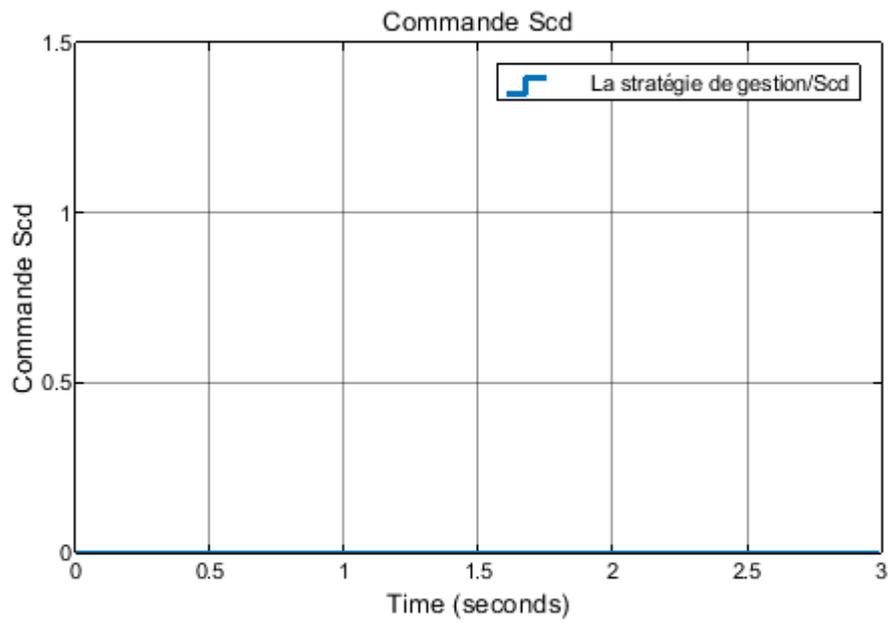


Figure IV- 22:Commande Scd

IV.5.1.2 Résultats de simulation des charges PL1, PL2 et PL3 ci-après :

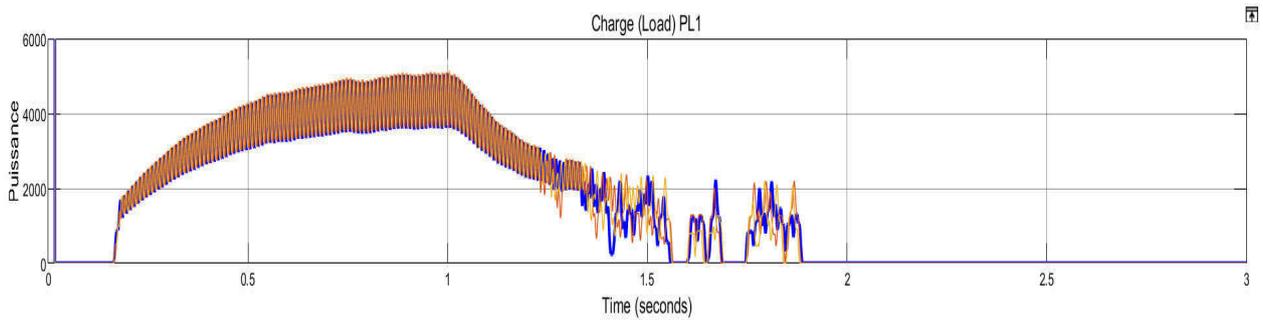


Figure IV- 23:Puissance charge LP1

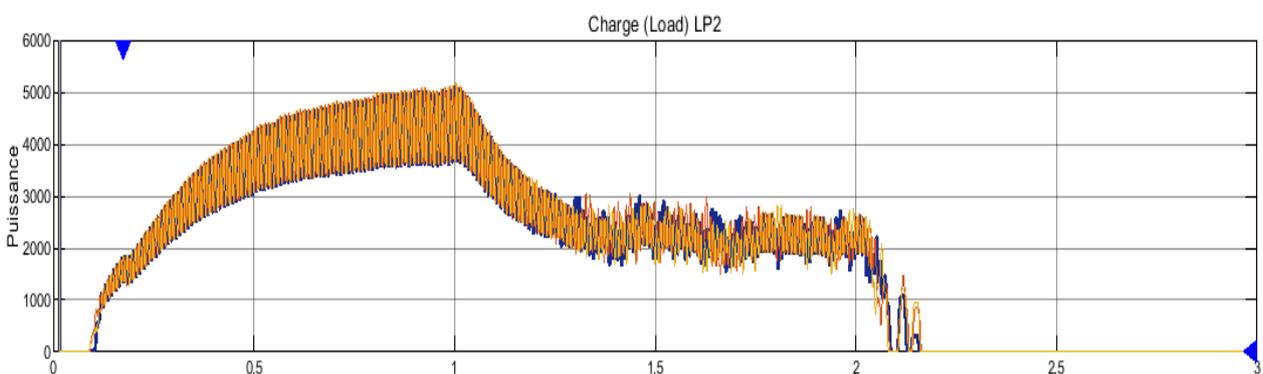
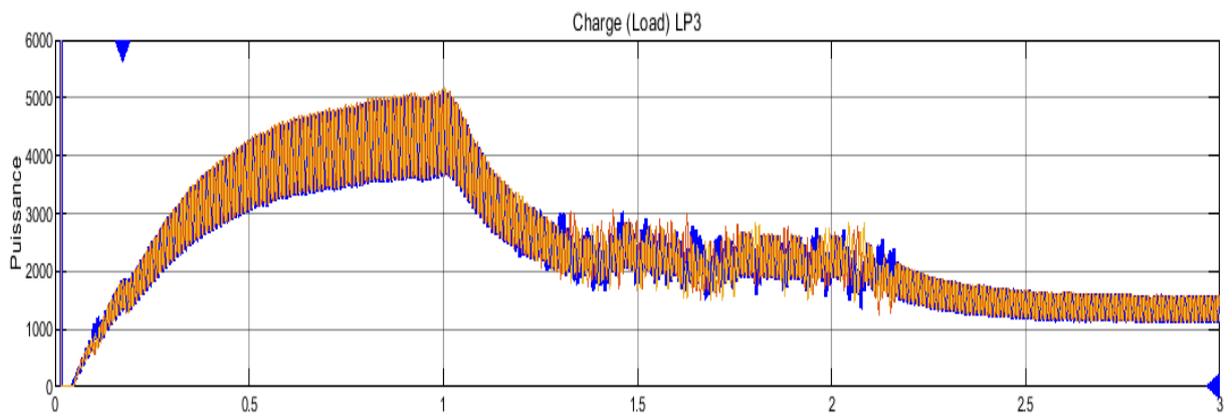


Figure IV- 24:Puissance charge LP2



**Figure IV- 25:**Puissance charge LP3

#### IV.5.1.3 Commentaires sur les résultats obtenus :

**Figure IV-18** : Juste après l'instant 0.175 seconde la sortie **S1a** été activé à 1, avec l'activation **Sbat** à 1 afin de permettre aux batteries de décharger dans les charges (car **Scd** dans l'état 0 se décharge), après l'instant 1.2 seconde plusieurs changement d'état entre 0. et 1; jusqu'à à l'instant 1.98 seconde d'où la sortie **S1** détient l'état 0.

**Figure IV-19** : à l'instant 0.095 seconde la sortie **S2** a été activé à 1, toujours avec l'activation du **Sbat** à 1 qui permis aux batteries de donner de l'énergie (**Scd** à l'état 0 décharge) et elle maintien l'état jusqu'à l'instant 2.2 seconde là où elle change l'état à 0, sauf quelque perturbation entre l'instant (2-2.2) seconde.

**Figure IV-20**: à l'instant 0.048 seconde la sortie **S3** a été activé à 1 jusqu'à la fin de la période de simulation.

**Figure IV-21** : **Sbat** est activé dans un premier temps à l'instant 0.175 seconde, ensuite elle a été désactivée à l'instant 0.095 seconde, après elle a été activé à l'instant 1.2 seconde et elle maintient l'état 1 jusqu'à la fin de la période.

**Figure IV-22**: Cette sortie maintien l'état 0 dès le début jusqu'à la fin de la période (les batteries en état de décharge durant toute la période).

**Analyse des commentaires** : Au début entre 0-1 seconde, la sortie **S3** a été activé la première car elle est la charge la plus importante dans la serre selon le mode de délestage, en plus les énergies renouvelables produisent l'énergie en croissance ce qui fait appel aux batteries pour compensation dans le démarrage.

Dans la deuxième période entre 1-2 seconde, chose très importante les irradiances et la vitesse de vent sont diminués respectivement aux valeurs (800 Wh/m<sup>2</sup> et 3 m/s) ce qui engendre la perturbation dans les états de sorties surtout **S1** et **S2** car elles

sont objet de mettre à l'état 0 les premières (S1 après S2 dans le mode délestage), car l'énergie produite ne satisfait pas les besoins de la serre.

La troisième période entre 2-3 seconde ; les deux paramètres métrologiques, irradiances et vitesse de vent ont été diminués encore une fois (600 Wh/m<sup>2</sup>, 1 m/s) et comme nous avons vu précédemment les deux sorties S1 et S2 ont forcées à l'état 0, malgré Sbat à 1, ce qui veut dire que la production du système Hybride + le stockage dans les Batteries ne couvre pas les besoins de la serre, seulement la sortie S3 et la charge PL3 : les extracteurs sont activés à 1.

#### **IV.5.1.4 Commentaires sur les résultats obtenus PL1, PL2 et PL3 :**

**Figure IV-23 :** La courbe de puissance de la charge PL1 a été démarrée du point 0.175 seconde, car la puissance produite par le système hybride au début ne couvre pas tous les besoins énergétiques de la serre et comme cette charge a été mise dans le premier ordre d'élimination (mode de délestage) que si l'énergie est insuffisante, donc c'est pour ça que la puissance est arrivée à la charge PL1 en retard. En plus la période entre 1-2 seconde des perturbations ont été vues dans le graphe de la puissance car la production a été diminuée suite à la réduction des deux paramètres (irradiances et vent) et entre 2-3 seconde la courbe a atteint la valeur zéro.

**Figure IV-24 :** La courbe de puissance de la charge PL2 a été démarrée au point 0.095 seconde, c'est-à-dire en deuxième position et après la disponibilité de l'énergie produite par le système hybride, entre 1-2 seconde, à la fin de cette période des perturbations ont été enregistrées car l'énergie produite par le système hybride ne satisfait pas les besoins, entre 2-3 seconde et très exactement à l'instant 2.2 seconde PL2 se met à zéro.

**Figure IV-25 :** La courbe a pris la forme normale jusqu'à l'instant entre 1.2 et 2.2 seconde là où elle a connue des perturbations suite au manquement de l'énergie produite par le système hybride, après l'instant 2.2 seconde la courbe se stabilise jusqu'à la fin de la période.

#### **Analyse des commentaires sur charges PL1, PL2 et PL3 :**

Vis-à-vis de tout ce que nous avons vu dans les commentaires, la stratégie de gestion de l'énergie renouvelable a été bénéfique surtout du côté gestion. Ceci, parce que nous avons vu au démarrage les charges s'alimentent par ordre de priorité PL3, PL2 après PL1 selon l'importance de chacune bien sûr avec l'aide de l'énergie de stockage s'il y a lieu, après nous avons vu l'élimination des charges l'un après

l'autre (PL1, PL2) selon le mode de délestage choisi dans la fonction de gestion et cela suite à l'insuffisance de la production du système hybride.

#### **IV.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, une simulation a été faite en plusieurs étapes, commençant par la simulation du photovoltaïque seule, éolienne seule, l'ensemble du système hybride complet avec les batteries de stockage et enfin le système hybride avec la stratégie de gestion de puissance. Les résultats obtenus du simulink/matlabmontrent que la puissance désirée ou nécessaire pour le fonctionnement de la serre est fournie par le système hybride avec une adaptation par un convertisseur DC/DC + MPPT pour qu'il puisse nous fournir la puissance max voulue ou demandée. Après cette étape un autre convertisseur DC/AC (onduleur) installé devant le convertisseur DC/DC afin d'avoir une tension en mode alternative, pour l'alimentation de l'appareillage de la serre (moteur, chauffage, irrigation ...etc.). Enfin une fonction de la stratégie a été développée en bloc pour gérer la puissance fournie du système hybride et par ordre de priorité et pour arbitrer cette stratégie, trois charges sont choisies, PL1 charge de l'ouverture de toiture, PL2 charge ventilateurs + irrigation, PL3 charge des extracteurs de refroidissement, un organigramme a été concrétisé comme nous l'avons dit précédemment pour la gestion de cette gestion objectif de notre mémoire.

Et enfin de bons résultats ont été obtenus par la simulation du système hybride avec la stratégie de gestion.

# Conclusion Générale

### **Conclusion Générale :**

Dans ces dernières années, l'Algérie est parmi les pays du monde qui adopte une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables et d'efficacité énergétique, cette vision s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et l'éolien et leurs utilisations, cela pour diversifier les sources d'énergie.

De ce fait, le domaine de la recherche scientifique a connu un saut très important dans plusieurs axes concernant l'exploitation des énergies renouvelables qui favorise une transition énergétique rentable.

Dans ce contexte, on a choisi dans ce mémoire l'étude et la simulation d'un système hybride PV/éolien pour une application agricole, où une stratégie de gestion d'énergie est proposée pour assurer l'alimentation de l'ensemble des organes de la serre agricole située à Ben Amar commune de Chatt wilaya de Tarf, cette stratégie est basée sur un ordre de priorité selon les besoins de la serre et les conditions climatiques.

Ce travail a été commencé par des généralités sur les différents systèmes des énergies renouvelables en particulier le photovoltaïque et les éoliens, débuté par la définition de chaque système, leur composition, les différents types existants, le mode de fonctionnement, la constitution et les caractéristiques, enfin, le système de stockage d'énergie (les batteries), leur capacité, la tension de travail et la durée de vie des batteries utilisées.

Après ça, on a étudié les systèmes hybrides, passant par leurs classifications et topologie, ainsi que leurs couplages avec le stockage, on a aussi cité les principaux composants qui constituent ce système.

En suite, on a présenté le travail de calcul du bilan énergétique pour le dimensionnement du système hybride solaire/éolien, dans ce calcul nous avons commencé par le recensement des divers appareillages constituant la serre afin d'avoir la puissance demandée par chaque équipement électrique, après, on a passé au calcul de la durée de fonctionnement de chaque appareil, afin d'obtenir l'énergie totale.

Par la suite on a entamé le processus de dimensionnement qui a été fait à la base de l'énergie calculée dans le bilan énergétique, de ce fait, trois méthodes sont utilisées pour avoir le dimensionnement optimal de l'installation hybride.

La première méthode est la méthode classique fondée sur le calcul du nombre des PV et les batteries de stockage par la méthode de la puissance crête.

L'application **PVsyst** utilisée dans la deuxième méthode qui donne la solution la plus favorable pour la concrétisation sur terrain, avec le nombre adéquat des modules PV et les batteries.

Pour un système hybride complet, une troisième méthode est appliquée pour déterminer le nombre optimal des PV, les éoliennes et les batteries, en utilisant l'application **Homer-pro**.

La solution proposée par **Homer-pro** est considérée comme la plus rentable car elle permet l'alternance entre les deux sources d'énergies pour combler le manque d'une source par l'autre, avec un banc de batterie de stockage pour garantir l'alimentation de la serre en temps de défaillance des deux sources.

Sur la base de ces résultats de dimensionnement de la troisième méthode, on a procédé à la simulation du système hybride avec le SIMULINK/Matlab.

Dans un premier lieu, la simulation est répartie en trois parties indépendantes :

1. La simulation du panneau photovoltaïque suivi par un convertisseur DC/DC élévateur (Hacheur Boost) pour extraire le maximum de puissance possible afin de l'injecter au bus.

2. La simulation de l'éolienne avec le redresseur et le convertisseur DC/DC pour le suivi du point maximum de puissance.

3. La simulation du banc des batteries en charge et en décharge.

Après, on a procédé à une simulation globale du système hybride qui inclut les panneaux photovoltaïques, l'éolienne et les batteries de stockage ainsi que la fonction de gestion de la puissance entre ces trois sources selon un organigramme de gestion par priorité.

L'ordre de priorité des charges est imposé selon le degré et l'importance de chaque équipement dans la serre.

Pour visualiser le comportement du système dans des différents cas possibles, on a adopté la variation des paramètres d'entrée du système qui sont la vitesse du vent et l'irradiation solaire.

Les résultats obtenus lors de la simulation montrent que la stratégie de gestion proposée est un moyen très efficace, simple et facile à implémenter.

En perspective et continuité de ce travail, on propose un projet dans le même contexte avec

1. Le couplage du système au réseau de distribution,
2. L'insertion dans le système d'autres sources d'énergies renouvelables et/ou propres.
3. L'utilisation d'un groupe électrogène dans telle application de la serre agricole et cela pour préserver au maximum le produit.

## **Références Bibliographiques**

- [1] EFSTATHIOS E. (STATHIS) MICHAELIDES, *Alternative Energy Sources*, Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012
- [2] IONEL VECHIU, "Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome", Thèse de Doctorat en génie électrique, Université de HAVRE, soutenu 2005
- [3] HOQUE A., WAHID K.A., "New mathematical model of a photovoltaic generator", *Journal of Electrical Engineering*, Vol. EE28, No.1, June 2000.
- [4] ANGEL CID PASTOR M., "Conception et réalisation de module photovoltaïque électronique", Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de TOULOUSE, 2006.
- [5] SEBASTIEN QUAZOLA, "Epitaxie en phase vapeur de silicium sur silicium mes poreux pour report sursubstrats économique et application photovoltaïque bas cout", Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de LYON, 2003
- [6] ASTIER S., *Conversion photovoltaïque : du rayonnement solaire à la cellule*, technique de l'ingénieur, article D3935, PARIS, 2008.
- [7] BENOIT ROBYNS, ARNAUD DAVIGNY, BRUNO FRANÇOIS, ANTOINE HENNETON, JONATHAN SPROOTEN, *Production d'énergie électrique à partir des sources renouvelables*, collection science et technologies de l'énergie électrique dirigée, Lavoisier, CACHAN, 2012.
- [8] GERMAN SOLAR ENERGY SOCIETY, *Planning & Installing photovoltaic systems*, Earthscan, LONDRES, 2008.
- [9] EQUER B., "Les filières photovoltaïques : progrès récents, recherches actuelles", Actes de la journée SEEISA FRANCE « l'énergie photovoltaïque », 29-30 avril 2009.
- [10] S. Mathew, « *Wind Energy : Fundamentals, Resource Analysis and Economics* », Springer, Germany, 2006.
- [11] Z. Chen and F. Blaabjerg, « *Wind Energy - The World's Fastest Growing Energy Source* », IEEE Power Electronics Society Newsletter, 3, 15-18, 2006.
- [12] F. Poitiers, « *Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne* », Thèse de doctorat en génie électrique, Ecole polytechnique de Nantes, France, 2003.
- [13] MOREAU L., "Modélisation, conception et commande de génératrice à réductance variable basse vitesse", Thèse de Doctorat soutenue le 09/12/2005, Université de NANTES, France.
- [14] JEAN-CLAUDE SABLONNIERE, *Nouvelles technologies de l'énergie : les énergies renouvelables*, Lavoisier, PARIS, 2006
- [15] LAVERDURE N., "Sur l'intégration des générateurs éoliens dans les réseaux faibles ou insulaires", Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de CACHAN, FRANCE, 2005.
- [16] SOLTANE BELAKEHAL, "Conception et commande des machines à aimants permanents dédiées aux énergies renouvelables", Thèse de Doctorat soutenue le 10/06/2010, Département d'électrotechnique, Université de Constantine, Algérie.

[17] L, AICHE-HAMAE.A.KHELLAF. « Evolution mensuelle de la ressource éolienne à travers l'Algérie » congrès sur le photovoltaïque et l'énergie éolienne (IPCWE) Tlemcen, Algérie (Novembre 2003).

[18] Belaïche Hacene, Nanouche Yacine « Etude d'une installation en énergie photovoltaïque intégrée au bâtiment : cas d'un laboratoire au CDER ». Mémoire de maîtrise II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO 2014.

[19] <https://www.quelleenergie.fr/questions/capacite-duree-vie-batteries-solaires>

[20] <https://www.google.dz/search?q=+quels+sont+les+critères+de+choix+d'une+batterie+solaire.>

[21] Dhaker Abbas « Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome » thèse de doctorat de l'Université de POITIERS France 2012.

[22] Tao Zho « Commande et Supervision Energétique d'un Générateur Hybride Actif Eolien incluant du Stockage sous forme d'Hydrogène et des Super-Condensateurs pour l'Intégration dans le Système Electrique d'un Micro Réseau » Thèse de doctorat de Laboratoire L2EP à l'Ecole Centrale de Lille. France 2009.

[23] Z. Chen,; Y. Hu, « A hybrid generation system using variable speed wind turbines and diesel units », The 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IEEE IECON'03, vol.3, pp.2729-2734, Nov. 2003.

[24] Lila CROCI « Gestion De L'énergie dans Un Système Multi-Sources Photovoltaïque et Eolien avec Stockage Hybride Batteries/Super condensateurs » thèse de doctorat de l'Université de POITIERS France 2013.

[25] SOLTANE BELAKEHAL, "Conception et commande des machines à aimants permanents dédiées aux énergies renouvelables", Thèse de Doctorat soutenue le 10/06/2010, Département d'électrotechnique, Université de Constantine, Algérie.

[26] BINAYAK BHANDARI, KYUNG-TAE LEE, GIL-YONG LEE, YOUNG-MAN CHO, AND SUNG-HOON AHN, "Optimization of Hybrid Renewable Energy Power Systems: A review", International Journal of Precision Engineering *and* Manufacturing-Green Technology, Vol.2, No.1, pp. 99-112, 2015.

[27] LUDMIL STOYANOV, "Structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables", revue de génie industriel, vol.5, pp.1-19, 2010.

[28] : BENBOUZA Naima ; Etude Technico-économique des Systèmes Photovoltaïques pour Application dans la Région de Batna, thèse doctorat.

[29] : Site internet pour les paramètres métrologique : [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/fr/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/)

# Les Annexes



## PVsyst - Simulation report

### Stand alone system

Project: Projet Master2 dendani  
Variant: Nouvelle variante de simulation  
Stand alone system with batteries  
System power: 95.2 kWp  
BENAMAR CHATT TARF - Algérie

*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*

*PVsyst TRIAL*

| Author



**PVsyst V7.2.12**

VC1, Simulation date:  
08/05/22 22:11  
with v7.2.12

**Project summary**

<b>Geographical Site</b> <b>BENAMAR CHATT TARF</b> Algérie	<b>Situation</b> Latitude 36.79 °N Longitude 7.83 °E Altitude 9 m Time zone UTC+1	<b>Project settings</b> Albedo 0.20
<b>Meteo data</b> Ben Mehidi Meteonorm 8.0 (1991-2000), Sat=100 % - Synthétique		

**System summary**

<b>Stand alone system</b> <b>PV Field Orientation</b> Fixed plane Tilt/Azimuth 30 / 0 °	<b>Stand alone system with batteries</b> <b>User's needs</b> Daily household consumers Constant over the year Average 308 kWh/Day
<b>System information</b> <b>PV Array</b> Nb. of modules 280 units Pnom total 95.2 kWp	<b>Battery pack</b> Technology Lead-acid, sealed, plates Nb. of units 420 units Voltage 720 V Capacity 2072 Ah

**Results summary**

Available Energy 148057 kWh/year	Specific production 1555 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 61.24 %
Used Energy 108434 kWh/year		Solar Fraction SF 96.45 %

**Table of contents**

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	4
Main results	5
Loss diagram	6
Special graphs	7



**PVsyst V7.2.12**  
 VC1, Simulation date:  
 08/05/22 22:11  
 with v7.2.12

**General parameters**

Stand alone system	Stand alone system with batteries	
<b>PV Field Orientation</b>	<b>Sheds configuration</b>	<b>Models used</b>
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Fixed plane		Diffuse Perez, Meteonom
Tilt/Azimuth	30 / 0 °	Circumsolar separate
<b>User's needs</b>		
Daily household consumers		
Constant over the year		
Average	308 kWh/Day	

**PV Array Characteristics**

<b>PV module</b>	Generic	<b>Battery</b>	Generic
Manufacturer		Manufacturer	
Model	UKS-6M 340Wp 72 cells	Model	12-CS-11PS
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, plates
Unit Nom. Power	340 Wp	Nb. of units	7 in parallel x 60 in series
Number of PV modules	280 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	95.2 kWp	Stored energy	1342.7 kWh
Modules	7 Strings x 40 in series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Voltage	720 V
Pmpp	85.5 kWp	Nominal Capacity	2072 Ah (C10)
U mpp	1362 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	63 A		
<b>Controller</b>		<b>Battery Management control</b>	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	approx.	869.1 / 746.4 V
<b>Converter</b>		Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %	approx.	661.5 / 717.6 V
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	95 kWp		
Total	280 modules		
Module area	543 m <sup>2</sup>		

**Array losses**

<b>Thermal Loss factor</b>	<b>DC wiring losses</b>	<b>Serie Diode Loss</b>						
Module temperature according to irradiance	Global array res.	Voltage drop						
Uc (const)	365 mΩ	0.7 V						
20.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction	Loss Fraction						
Uv (wind)	1.5 % at STC	0.0 % at STC						
0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s								
<b>Module Quality Loss</b>	<b>Module mismatch losses</b>	<b>Strings Mismatch loss</b>						
Loss Fraction	Loss Fraction	Loss Fraction						
-0.8 %	2.0 % at MPP	0.1 %						
<b>IAM loss factor</b>								
Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

### Calculation Report

497 solutions were simulated:

- 151 were feasible.
- 346 were infeasible due to the capacity shortage constraint.

---

144 were omitted:

- 0 due to infeasibility.
- 46 for lacking a converter.
- 16 for having an unnecessary converter.
- 76 for no sources of power generation.

Select Base Case

Choose a base case to compare with other systems for economic analysis. More detailed economic comparison is available in Simulation Results.

Categorized Overall

Architecture				LONGi		XANT24		SurrS-260		Converter	
LONGi (kW)	XANT24	SurrS-260	Converter (kW)	Capacity (kW)	Inverter Capacity (kW)	Quantity	Production (kWh/yr)	Quantity	Nominal Capacity (kWh)	Usable Nominal Capacity (kWh)	Capacity
51.1	1	186	73.0	51.1	0	1	260,006	186	581	348	73.0
184		385	67.4	184	0			385	1,202	721	67.4

Emissions

Cost Summary Cash Flow Compare Economics Electrical Renewable Penetration Surrrette S-260 LONGi LR6-72HV-350M XANT M-24 [95kW] System Converter

You may choose a different base case using the Compare Economics button on the Results Summary Table.

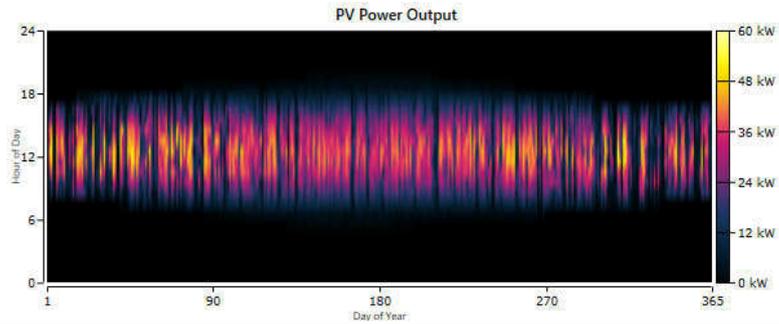
		Architecture			
		LONGi (kW)	XANT24	SurrS-260	Converter (kW)
Base system		51.1	1	186	73.0
Proposed system		51.1	1	186	73.0

Metric	Value
Present worth (US\$)	US\$0
Annual worth (US\$/yr)	US\$0
Return on investment (%)	0.0
Internal rate of return (%)	n/a
Simple payback (yr)	n/a
Discounted payback (yr)	n/a

Charts...

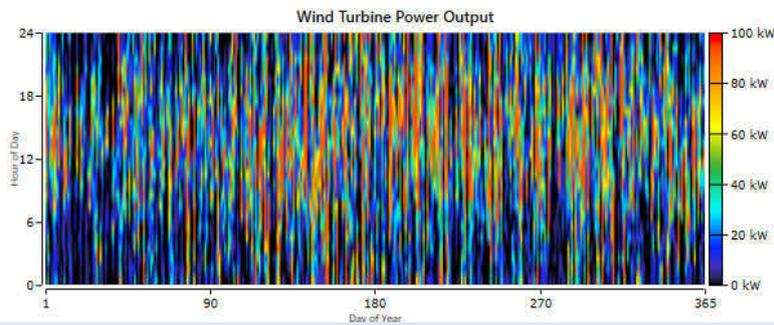
Quantity	Value	Units
Rated Capacity	51.1	kW
Mean Output	9.23	kW
Mean Output	222	kWh/d
Capacity Factor	18.1	%
Total Production	80,858	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	54.0	kW
PV Penetration	72.6	%
Hours of Operation	4,381	hrs/yr
Levelized Cost	0.0343	US\$/kWh



Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	95.0	kW
Mean Output	29.7	kW
Capacity Factor	31.2	%
Total Production	260,006	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	95.0	kW
Wind Penetration	234	%
Hours of Operation	7,058	hrs/yr
Levelized Cost	0	US\$/kWh



Quantity	Value	Units
Batteries	186	qty.
String Size	1.00	batteries
Strings in Parallel	186	strings
Bus Voltage	12.0	V

Quantity	Value	Units
Autonomy	27.4	hr
Storage Wear Cost	0.000147	US\$/kWh
Nominal Capacity	581	kWh
Usable Nominal Capacity	348	kWh
Lifetime Throughput	186,985	kWh
Expected Life	12.0	yr

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	US\$/kWh
Energy In	17,393	kWh/yr
Energy Out	13,937	kWh/yr
Storage Depletion	25.4	kWh/yr
Losses	3,481	kWh/yr
Annual Throughput	15,582	kWh/yr

