

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES  
--T L E M C E N--



المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
École Supérieure en  
Sciences Appliquées

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا في العلوم التطبيقية  
-تلمسان-

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de master

Filière : Électrotechnique  
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par : KADRI Nour El Houda.  
FERDJI Amina.

Thème

**Etude comparative entre les différentes  
structures des installations hybrides**

Soutenu publiquement, le 30/07/2022, devant le jury composé de :

Mme. BOUDGHENE STENBOULI Naoul	MAA	ESSA. Tlemcen	Présidente
Mme. LASSOUANI Fatiha	MCB	ESSA. Tlemcen	Encadrante
Mme. FARADJI Djamila Née KHERBOUCHE	MCA	ESSA. Tlemcen	Co- Encadrante
Mme. FEKIH Zakia	MCB	Université Belhadj Bouchaib Ain Témouchent	Examinatrice
Mme. BOUKLI HACENE Souhila	MCA	Université Abou Beker Belkaid Tlemcen	Examinatrice

Année Universitaire : 2021/2022



سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت  
العليم الحكيم



سورة البقرة: الآية: 31

اللهم إنا نسألك علما نافعاً وقلبا خاشعاً ولسانا ذاكراً

# Remerciements

Ce travail, a été le fruit d'un dur travail, accompagnés de beaucoup de sacrifices, surtout durant cette pandémie. Nos remerciements, vont tout d'abord au créateur de l'univers, qui nous a accordé la force et le courage et l'intelligence, pour mener à bien cette année.

On offre nos sincères et chaleureux remerciements, à nos encadreurs de mémoire madame **LASSOUANI Fatiha** et madame **KHERBOUCHE Djamila**, pour avoir accepté de diriger notre travail avec leurs précieux conseils. Aussi que les membres du jury trouvent ici nos remerciements les plus vifs, pour avoir accepté d'honorer par leurs jugements notre modeste travail.

Enfin, on ne peut pas achever sans exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont aidés à réaliser ce travail de près ou de loin.

On a à cœur également de remercier nos professeurs monsieur **MESSIRDI Mohammed**, monsieur **BEY Mohammed** et monsieur **CHIALI Aniss** qui nous ont beaucoup aidé.

En remercie également les membres du jurés madame **BOUDGHENE STANBOULI Naoul**, madame **FEKIH Zakia**, madame **BOUKLI HACENE Souhila** d'avoir acceptée d'examiner notre travail.

MERCI !



## DEDICACE

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail A mes très chers parents Je vous dois ce que je suis aujourd'hui grâce à votre amour, à votre patience et vos innombrables sacrifices. A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse dans mes études.

Mon frères « Souheyb », ma sœurs « Hanna », je leurs souhaite une vie pleine de succès et de réussite.

Je le dédie aussi à mes grands-parents, à mes tantes, mes cousines Safaa et Wafaa.

A Toutes ma Famille

Mes chères copines FERDJI Amina, BELKADI Lamia, Imene, MADEH Chada, DADDA Asma qui j'ai passé des meilleur 5ans avec eux qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir. Merci d'être toujours à mes côtés.

A tous mes professeurs.

A tous mes amis et mes collègues de l'ESSAT.

**KADRI Nour EL Houda**

# Dédicaces

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie cet événement marquant de ma vie à la mémoire de mon père qui restera gravée dans mon cœur. J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part de sa fille qui n'a jamais lui oublié !

À la lumière de mes jours, à ma mère, qui m'a entouré d'amour, d'affection, et qui a fait tout pour ma réussite. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester fidèle à votre fierté et ne jamais vous décevoir. Que dieu, te protège, préserve santé et longue vie.

À mes très chères sœurs : Soumia, Meriem, Houda et mon frère Abd-El-Allah, pour les souvenirs d'une enfance agréable et unique et spécialement à ma sœur Meriem qui mon aidé beaucoup au cours de mes études.

À mes adorables nièces et neveux : Hiba, Abdellah, Hafsa, Céline et Mohemed.

ET à toute ma famille

À mes très chers amis et collègues, et spécialement KADRI Nour El Houda et BENRAHOU FARAH, Imen pour l'amitié qui nous unit et les souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble. Merci d'être toujours à mes côtés. Vous serez à jamais dans mon cœur. A tous mes professeurs et à toute la famille de l'ESSAT

**FERDJI Amina**

# SOMMAIRE

<b>Remerciements</b> .....	<b>II</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>V</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>IX</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>XI</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>I</b>
<b>Chapitre I</b> Les différentes structures des installations hybrides .....	<b>1</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>2</b>
<b>I. Système hybride</b> .....	<b>2</b>
I.1 Définition .....	2
I.2 Importance de l'hybridation.....	2
I.3 Classification.....	3
I.3.1 Le régime du fonctionnement .....	3
I.3.2 La structure du système hybride .....	3
I.4 Avantages et inconvénients des systèmes hybrides .....	4
I.4.1 Avantages.....	4
I.4.2 Inconvénients .....	5
I.5 Configuration des systèmes des énergies hybrides .....	5
I.5.1 Architecture à bus à CC .....	5
I.5.2 Architecture mixte à bus à CC/ CA .....	6
I.5.3 Architecture à bus à CA.....	6
I.6 Les principaux composants des systèmes hybrides .....	7
I.6.1 Générateur diesel .....	7
I.6.2 Batteries d'accumulation : .....	7
I.6.3 Les régulateurs : .....	8
I.6.4 Système de conversion.....	8
I.6.4.1 Câblage électrique : .....	9
I.6.4.2 Récepteurs et charges.....	9
I.7 Les structures des installations hybrides .....	10
I.7.1 Système hybride avec source conventionnelle.....	10
I.7.1.1 Système Hybride photovoltaïque-diesel .....	10
I.7.1.2 Système hybride éolienne-diésel : .....	10
I.7.1.3 Système hybride photovoltaïque éolienne diésel : .....	11
<b>Conclusion</b> .....	<b>11</b>

<b>Bibliographie .....</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre II système hybrides autonome.....</b>	<b>14</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>15</b>
<b>II. Les systèmes hybrides autonomes.....</b>	<b>15</b>
II.1 L'Énergie photovoltaïque .....	15
II.1.1 L'énergie Solaire .....	15
II.1.2 Rayonnement solaire.....	15
II.1.2.1 Le gisement solaire en Algérie.....	17
II.1.3 La conversion photovoltaïque.....	17
II.1.3.1 Effet photoélectrique et jonction PN.....	18
II.1.3.2 Modélisation simple d'une cellule photovoltaïque.....	18
II.1.4 Paramètre photovoltaïque .....	19
II.1.4.1 Le courant du court-circuit <b><i>I<sub>cc</sub></i></b> .....	20
II.1.4.2 La tension du circuit-ouvert <b><i>V<sub>co</sub></i></b> .....	20
II.1.4.3 Le facteur de forme FF.....	20
II.1.4.4 Le rendement <b><i>η</i></b> .....	20
II.1.5 Les types des cellules solaires.....	20
II.1.5.1 Les cellules monocristallines .....	21
II.1.5.2 Les cellules polycristallines .....	21
II.1.5.3 Les cellules amorphes .....	22
II.1.6 Module photovoltaïque .....	22
II.2 L'Énergie éolienne.....	23
II.2.1 L'éolienne .....	24
II.2.1.1 Le gisement éolien en Algérie .....	24
II.2.1.2 La loi de Betz :.....	25
II.2.1.3 Fonctionnement des éoliennes .....	26
II.2.2 Les types d'éoliennes.....	26
II.2.2.1 Eolienne à axe verticale .....	27
II.2.2.2 Eolienne à axe horizontal.....	27
II.3 Les Systèmes hybrides autonomes.....	28
II.3.1 Les systèmes photovoltaïques autonomes.....	28
II.3.1.1 Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage.....	28
II.3.1.2 Systèmes autonomes avec stockage.....	29
II.3.1.3 Avantage et inconvénients des systèmes photovoltaïques autonomes.....	30
II.3.2 Eoliennes autonomes .....	30

II.3.3	Système hybride photovoltaïque-éolienne : .....	31
II.3.3.1	Système photovoltaïque-éolienne avec stockage .....	31
II.3.3.2	Système photovoltaïque-éolienne sans stockage .....	32
<b>Conclusion</b> .....		<b>33</b>
<b>Bibliographie :</b> .....		<b>34</b>
<b>Chapitre III</b> les systèmes hybrides raccordé au réseau .....		<b>36</b>
<b>Introduction</b> .....		<b>37</b>
III.1	Réseau électrique .....	37
III.1.1	Définition .....	37
III.1.2	Production d'énergie électrique .....	38
III.1.3	Centrale électrique .....	38
III.1.3.1	Centrale thermique : .....	38
III.1.3.2	Centrale nucléaire .....	39
III.1.3.3	Centrale hydroélectrique .....	39
III.1.3.4	Centrale photovoltaïque .....	39
III.1.3.5	Centrale éolienne.....	40
III.1.4	Les différents types de réseaux .....	40
III.1.4.1	Réseaux d'interconnexion et de transport.....	40
III.1.4.2	Réseaux de répartition : .....	40
III.1.4.3	Réseaux de distribution et de livraison .....	41
III.1.5	Constitution des réseaux électriques .....	41
III.1.5.1	Postes électriques .....	41
III.1.5.2	Les différents éléments du poste .....	42
a.	Transformateur de puissance .....	42
b.	Transformateurs de mesure .....	42
c.	Disjoncteur.....	42
d.	Sectionneurs .....	43
e.	Fusible.....	43
f.	Jeux de barres.....	43
g.	Isolateurs .....	43
h.	Parafoudres .....	43
i.	Eclateurs.....	43
j.	Supports .....	44
III.1.5.3	Les lignes électriques .....	44
a.	Les lignes de transport THT.....	44
b.	Les lignes de transport HTB .....	44



c.	Les Ligne de distribution HTA .....	44
d.	Les lignes de distribution BTA .....	44
III.1.5.4	Les différentes lignes électriques .....	45
a.	Les lignes aériennes .....	45
b.	Les lignes souterraines .....	45
c.	Cable de Garde.....	45
III.1.6	Grandeurs électriques importantes .....	45
III.1.6.1	Surveillance de la tension .....	45
III.1.6.2	Problématique de l'intensité.....	46
III.1.6.3	Intensité de court-circuit .....	46
III.2	Grid- photovoltaïque .....	46
III.2.1	Compteur photovoltaïque.....	47
III.2.1.1	Injection totale.....	47
III.2.1.2	Injection de surplus .....	48
III.2.2	Installations photovoltaïques raccordées au réseau.....	49
III.2.2.1	Installation PV raccordée au réseau avec injection des excédents de production....	49
III.2.2.2	Installation PV raccordée au réseau avec injection totale de l'énergie produite.....	50
III.2.2.3	Installation PV raccordée au réseau sans injection .....	51
III.2.3	Les systèmes PV connectés au réseau sans batterie de stockage .....	51
III.2.4	Les systèmes PV connectés au réseau avec batterie .....	52
III.2.5	Technologies des onduleurs couplés au réseau .....	52
III.2.5.1	Onduleurs modulaires (module inverter) .....	53
III.2.5.2	Onduleurs centralisés (central inverter) .....	53
III.2.5.3	Onduleurs de string «de Rangée » .....	53
III.2.6	Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau.....	54
III.2.7	Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau .....	54
III.2.7.1	Avantages.....	54
III.2.7.2	Inconvénients .....	54
III.3	Grid-PV-éolienne .....	55
III.3.1	Configurations des systèmes photovoltaïque-éolienne connecté au réseau .....	55
III.3.2	Problème de connexion des systèmes PV-éolienne au réseau .....	56
	<b>Références .....</b>	<b>58</b>
	<b>Chapitre IV simulation et interprétation les résultats.....</b>	<b>60</b>
	<b>Introduction.....</b>	<b>61</b>
IV.1.	Présentation du logiciel HOMER .....	61

IV.2. Fonctionnement .....	62
IV.3. Caractéristiques du site étudié .....	63
IV.3.1. Méthode générale d'utilisation HOMER Pro .....	63
IV.3.2. Situation géographique : .....	63
IV.3.3. Donnés météorologiques : .....	64
IV.3.3.1. Le potentiel solaire : .....	64
IV.3.3.2. Température ambiante du site.....	65
IV.4. Configuration Des Eléments Du Système .....	66
IV.4.1. Profil de la charge .....	66
IV.4.2. Paramètre du champ PV .....	67
IV.4.3. Paramètres du convertisseur .....	67
IV.4.4. Les batteries solaires.....	68
IV.4.5. Le Réseau de Site Etudie .....	69
IV.5. Interprétation et discussion des résultats .....	69
IV.5.1. La production du champ PV et la consommation.....	71
IV.5.2. Résultats de convertisseur.....	72
IV.5.3. Résultats sur les batteries.....	74
IV.5.4. Résultats sue le réseau : .....	77
IV.5.5. Résultats sur les émissions :.....	77
Conclusion : .....	78
<b>Bibliographie .....</b>	<b>80</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>80</b>

### Liste des figures

Figure I. 1: Classification des systèmes hybrides. ....	4
Figure I. 2: Configuration des SEH à bus CC.....	6
Figure I. 3: Configuration du SEH à deux bus à CC et à CA. ....	6
Figure I. 4: Configuration de bus CA. ....	7
Figure I. 5: rôle de l'onduleur. ....	9
Figure I. 6 : Système hybride photovoltaïque -diésel. ....	10
Figure I. 7: Principaux composant d'un système PV-E-D. ....	11
Figure II. 1: Le rayonnement solaire.....	16
Figure II. 2: La carte d'éclairement solaire de l'Algérie.....	17
Figure II. 3: Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque.....	18
Figure II. 4: Caractéristique de la convention diode générateur .....	19
Figure II. 5: Schéma équivalent le plus simple de la cellule photovoltaïque à jonction PN.....	19
Figure II. 6 : Cellule monocristalline .....	21

Figure II. 7: Cellules polycristallines.....	22
Figure II. 8: Cellules amorphe. ....	22
Figure II. 9: Structure d'un panneau photovoltaïque face avant et face arrière. ....	23
Figure II. 10: Atlas de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol.....	25
Figure II. 11: Vue générale des éléments constituant une éolienne.....	26
Figure II. 12: Représentation des concepts d'éoliennes (a) à axe horizontal et (b) à axe vertical.....	27
Figure II. 13: Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage.....	29
Figure II. 14: Systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage. ....	30
Figure II. 15: schéma synoptique du système photovoltaïque-éolienne-stockage.....	32
Figure III. 1: organisation d'un réseau électrique.....	38
Figure III. 2: Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque.....	39
Figure III. 3: Schéma de principe d'une production éolienne.....	40
Figure III. 4: Schéma générale de production, transport et distribution de l'énergie électrique. ....	41
Figure III. 5: Installation photovoltaïque raccordée au réseau.....	47
Figure III. 6: Installation avec injection totale de la production photovoltaïque. ....	48
Figure III. 7: Installation avec injection du surplus de la production photovoltaïque. ....	48
Figure III. 8: Schéma de principe de la configuration avec injection des excédents de production.....	50
Figure III. 9: Schéma de principe de la configuration d'injection totale d'énergie. ....	50
Figure III. 10: Schéma de principe de la configuration sans injection de l'énergie.....	51
Figure III. 11: Les systèmes PV connectés au réseau avec batterie.....	52
Figure III. 12: Classification des onduleurs PV connectés au réseau. ....	54
Figure III. 13: Configurations des systèmes PV-éolienne connecté au réseau. ....	56
Figure IV. 1: Modèle conceptuel du logiciel HOMER. ....	62
Figure IV. 2: l'interface de logiciel HOMER Pro. ....	63
Figure IV. 3: Situation géographique de site étudiée.....	64
Figure IV. 4: Le profil de l'éclairement moyen mensuel.....	64
Figure IV. 5: la variation de la température journalière moyenne de chaque mois. ....	65
Figure IV. 6: Architecture du système PV-réseau sous le logiciel Homer. ....	66
Figure IV. 7: Profil de charge. ....	67
Figure IV. 8: le module PV.....	67
Figure IV. 9: Caractéristique de convertisseur.....	68
Figure IV. 10: Paramètres des batteries solaires.....	68
Figure IV. 11: le réseau de site (Grid). ....	69
Figure IV. 12: Architecture du système PV autonome sous le logiciel Homer. ....	69
Figure IV. 13: le nombre de solution simuler par HOMER PRO pour le système raccordé au réseau. ..	70
Figure IV. 14: Résultat optimal pour le système PV-réseau.....	70
Figure IV. 15: le nombre de solution simuler par HOMER PRO pour le système autonome. ....	70
Figure IV. 16: Résultat optimal pour le système PV autonome.....	71
Figure IV. 17: la production électrique totale mensuelle d'un système PV-réseau. ....	72
Figure IV. 18: la production électrique totale mensuelle d'un système PV autonome.....	72
Figure IV. 19: puissance de l'onduleur pour le système raccordé au réseau. ....	73
Figure IV. 20: la puissance d'entrée du convertisseur. ....	73
Figure IV. 21: puissance de l'onduleur pour le système autonome. ....	74
Figure IV. 22: état de la charge moyenne journalière et mensuelle des batteries pour système connecté au réseau. ....	75
Figure IV. 23: état de la charge moyenne journalière et mensuelle des batteries pour système autonome. ....	75

Figure IV. 24: puissance journalière moyenne délivré par les générateur PV-réseau. ....	76
Figure IV. 25: puissance journalière moyenne délivré par les générateur PV autonome. ....	76
Figure IV. 26: indication de puissance de réseau.....	77
Figure IV. 27:la quantité des gaz émis par les systèmes (a : autonome, b : raccordé au réseau).....	78

## Liste des tableaux

Tableau IV. 1: La radiation solaire moyenne.....	65
Tableau IV. 2: Les températures mensuelles .....	66

### **Introduction générale**

Face aux problèmes environnementaux causés par l'épuisement des ressources énergétiques fossiles et les émissions de gaz à effet de serre, des énergies alternatives ont été développées et doivent continuer à être dans le cadre de l'exploitation de ces ressources.

Pour cela dans ces dernières années, le développement et l'expansion des ressources énergétiques renouvelables et des systèmes décentralisés de production d'énergie renouvelable ont connu une forte croissance. Dans vingt ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources d'énergie conventionnelles et sur l'utilisation accrue des sources d'énergie renouvelables. Il est avantageux de les utiliser chez le consommateur, en les transformant directement en chaleur ou en électricité selon les besoins. La production de cette énergie renouvelable offre aux consommateurs une plus grande sécurité d'approvisionnement tout en respectant l'environnement. Toutefois, la nature aléatoire de ces sources nous oblige à établir des critères de taille et d'utilisation de ces systèmes afin d'en tirer pleinement parti [1],[2].

Le travail effectué dans ce mémoire, porte sur une comparaison entre les différents systèmes hybrides qui associent plusieurs énergies renouvelables à l'aide de logiciel HOMER PRO. Les sources d'énergie renouvelables présentent un grand intérêt pour les pays en développement. En effet, il existe dans ces pays de nombreuses régions, isolées et éloignées des réseaux de distribution d'électricité. Ainsi, le prolongement de ces réseaux serait d'un coût financier exorbitant. Pour résoudre ce problème, l'exploitation du potentiel d'énergies renouvelables de ces pays doit être une priorité.

Pour répondre au mieux à cette étude, cette thèse est encadrée par quatre chapitres principaux, en plus de l'introduction générale et de la conclusion générale.

Dans le premier chapitre, Nous présentons des généralités sur les systèmes hybrides et leur classification, les avantages et les inconvénients de la construction, ainsi que les différentes configurations de système. Nous présentons aussi les divers composants d'un système hybride puis ces structures d'installation.

Le deuxième chapitre a pour objectif d'étudier la modélisation du système hybride pour l'énergie solaire et éolienne, ainsi que les différents systèmes hybrides avec et sans stockage.

Le troisième chapitre, « Les systèmes hybrides raccordé au réseau », comme le titre l'indique, c'est la présentation des différents types de système hybride et principalement les composantes et les installations des systèmes connectés au réseau.

Finalement, dans le dernier chapitre, nous présentons la simulation d'un système photovoltaïque en utilisons le logiciel HOMER PRO. Il s'agit d'un modèle d'amélioration d'un système alimenté par des énergies renouvelables et qui explique son fonctionnement.

Nous utilisons le logiciel Homer pour optimiser les résultats dans les mêmes conditions de fonctionnement et nous faisons une comparaison entre système PV autonome et autre raccordé au réseau. Ensuite, on présente les différents résultats trouvés par le logiciel et leurs interprétations.

Enfin, les résultats principaux de ce travail de recherche et les perspectives qui en découlent sont proposés ainsi qu'une conclusion générale.

# Chapitre I

## Les différentes structures des installations hybrides

## **Introduction**

En raison de la situation difficile des combustibles traditionnels tels que le pétrole et le gaz naturel, aujourd'hui le développement des énergies renouvelables est en augmentation et prend de plus en plus d'importance. Cela est dû à leurs avantages tels que la disponibilité abondante dans la nature, la protection de l'environnement et la recyclabilité. Parmi ces énergies renouvelables, les énergies solaire et éolienne constituent les ressources énergétiques les plus dynamiques au monde. En l'absence d'émissions polluantes, la conversion d'énergie est réalisée grâce au vent et aux cellules photovoltaïques.

Dans ce chapitre on commence par présenter les systèmes hybrides et les différentes installations. Nous étudions aussi les différentes structures, usuelles des systèmes hybrides d'énergie électrique.

## **I. Système hybride**

### **I.1 Définition**

Le terme "système hybride" fait référence à un système de production d'énergie multi-sources. Ce sont des systèmes complexes qui combinent différentes sources d'énergie renouvelables ou conventionnelles (groupes électrogènes diesel, etc.), différents éléments de stockage et différentes charges. Ils compensent l'intermittence des énergies renouvelables et offrent une meilleure efficacité énergétique globale.

Pour résoudre le problème des énergies renouvelables (l'électricité obtenue est variable et dépend des conditions climatiques), le couplage entre différentes sources d'approvisionnement forme un système énergétique dit hybride. Par conséquent, SEH est un dispositif qui combine différentes technologies (renouvelables, conventionnelles, piles à combustible, etc.) pour générer de l'électricité afin de combiner les avantages de chaque système et fournir un rendement énergétique global plus élevé. Par exemple, les sources d'énergie renouvelables telles que le photovoltaïque et les éoliennes ne peuvent pas fournir une puissance constante en raison de leur caractère aléatoire. Cependant, la combinaison de celles-ci avec d'autres sources permet d'obtenir une production d'énergie soutenue [3].

### **I.2 Importance de l'hybridation**

Aujourd'hui, les chercheurs doivent trouver d'autres sources d'énergie propres et renouvelables en plus des énergies fossiles et de fission. Il s'agit notamment de l'énergie provenant de sources



telles que le soleil, le vent, la géothermie, la biomasse et les océans. Contrairement aux sources d'énergie conventionnelles, ces sources d'énergie propres et durables sont respectueuses de l'environnement. Cependant, ces sources d'énergie renouvelables varient selon l'heure de la journée, la saison et l'année. Le caractère aléatoire de ces sources a conduit les chercheurs à se tourner vers l'hybridation, une combinaison de deux ou plusieurs sources d'énergie renouvelables. Par conséquent, la technologie hybride offre une plus grande disponibilité du système et une alimentation continue en énergie de la charge [4].

### **I.3 Classification**

Il existe plusieurs classifications de systèmes hybrides basées sur des critères sélectionnés. Les classifications les plus courantes sont présentées ci-dessous.

#### **I.3.1 Le régime du fonctionnement**

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on a un système hybride qui fonctionne en parallèle avec le réseau, également appelé connexion réseau. Ces systèmes aident à répondre à la charge du système électrique du pays. Le deuxième groupe de systèmes hybrides fonctionne en mode isolé ou autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs hors réseau: refuges de montagne, îles, villages isolés, signalisation routière, etc [5].

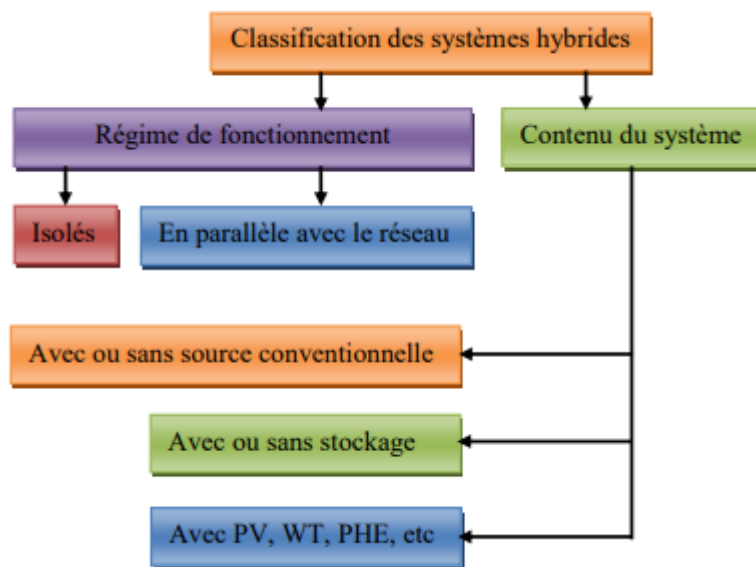
#### **I.3.2 La structure du système hybride**

En fonction de la structure du système, trois critères peuvent être pris en compte dans le classement.

Le premier critère est la présence ou l'absence de sources d'énergie conventionnelles. Ces sources conventionnelles peuvent être des générateurs diesel, des turbines ou dans le cas d'études sur le réseau complet, des centrales électriques entières.

Un deuxième critère possible est la présence ou l'absence de dispositifs de stockage. La présence de stockage permet d'assurer une meilleure couverture des charges électriques pendant les périodes où il n'y a pas de ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec des réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc.

La dernière classification possible est celle liée au type d'énergie renouvelable utilisée. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, convertisseurs d'énergie hydroélectrique (centrales hydroélectriques ou utilisation vagues) ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour le choix de la source utilisé est le potentiel d'énergie disponible, qui dépend de l'endroit où le système hybride est installé hybride. Un autre facteur déterminant est la fourniture d'appareils électriques. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc [5], [6], [7], [8].



**Figure I. 1:** Classification des systèmes hybrides.

## I.4 Avantages et inconvénients des systèmes hybrides

Les avantages et les inconvénients des systèmes énergétiques hybrides peuvent être résumés comme suit [9], [10]:

### I.4.1 Avantages

- Deux ou plusieurs sources d'énergie renouvelables peuvent être intégrées dans un seul système, dépend du potentiel local d'énergie renouvelable local;
- Tous les systèmes hybrides d'énergie renouvelable ne produisent aucune forme d'émissions, (telles que le photovoltaïque et les éoliennes);
- Modulaire (systèmes photovoltaïques et éoliens) sont faciles à installer et dans la plupart des cas ne nécessite aucune conception pour un usage domestique;

- Les petits systèmes hybrides sont moins chers que les grands systèmes complexes comme les systèmes nucléaires;
- Le combustible du SEH est abondant, gratuit et inépuisable, donc l'électricité générée grâce à ce système est indépendante du prix du carburant.

#### **I.4.2 Inconvénients**

- Complexité accrue du système;
- Difficulté à optimiser les différents organes du système;
- Plus complexe que les systèmes à source unique, nécessitant du stockage;
- Coût d'investissement élevé par rapport aux générateurs diesel;
- Les composants HES peuvent avoir une durée de vie beaucoup plus courte que la durée de vie normale des composants individuels (fonctionnement connecté à un réseau interconnecté).

Les points les plus critiques sont en général la dégradation des batteries, l'endommagement des démarreurs diesel et du système mécanique de freinage des éoliennes et la carbonisation excessive des cylindres du moteur diesel.

### **I.5 Configuration des systèmes des énergies hybrides**

Il est possible de connecter des systèmes énergétiques hybrides dans différentes configurations. Ces configurations incluent souvent des systèmes d'énergies renouvelables, des systèmes conventionnels et des systèmes de stockages d'énergie retrouvés selon différentes architectures:

- Architecture à bus CC (DC);
- Architecture mixte à bus DC-AC (courant continu-courant alternatif);
- Architecture à bus AC.

#### **I.5.1 Architecture à bus à CC**

La Puissance fournie par chaque système est concentrée sur un bus à CC. L'onduleur doit alimenter la charge à CA à partir du bus à CC et doit suivre les consignes fixées l'amplitude et la fréquence [11], [12].

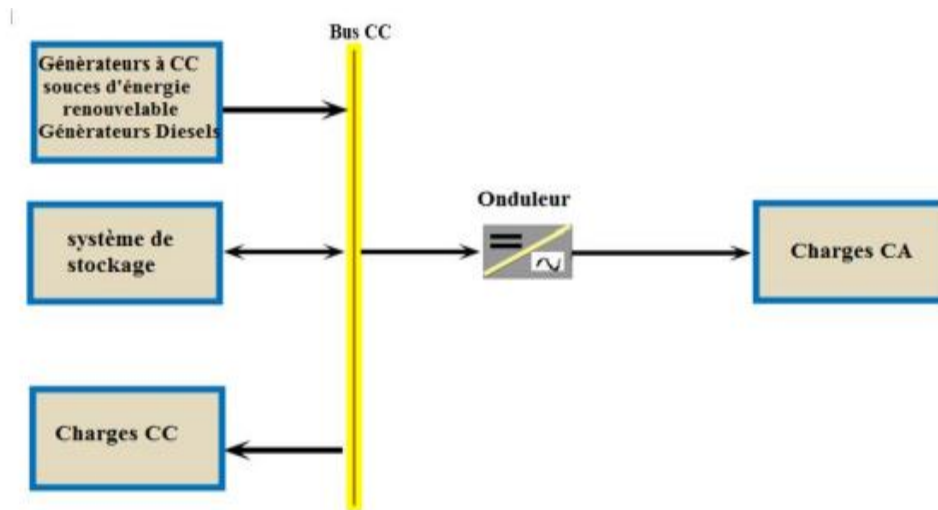


Figure I. 2: Configuration des SEH à bus CC.

### I.5.2 Architecture mixte à bus à CC/ CA

Cette architecture combine des bus à courant continu et à courant alternatif. Le convertisseur entre les deux bus (redresseur et onduleur) peut être remplacé par un convertisseur bidirectionnel qui réalise la conversion DC/AC en fonctionnement normal (fonctionnement onduleur) [13].

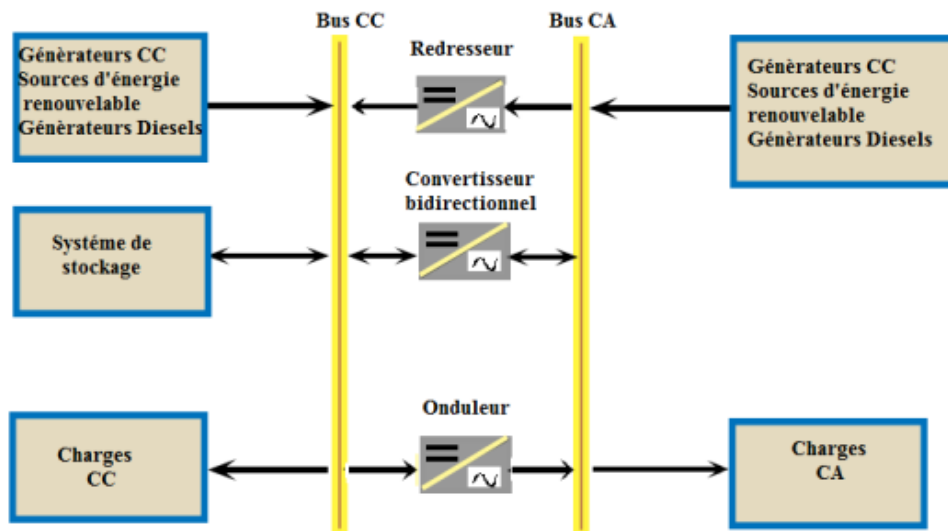
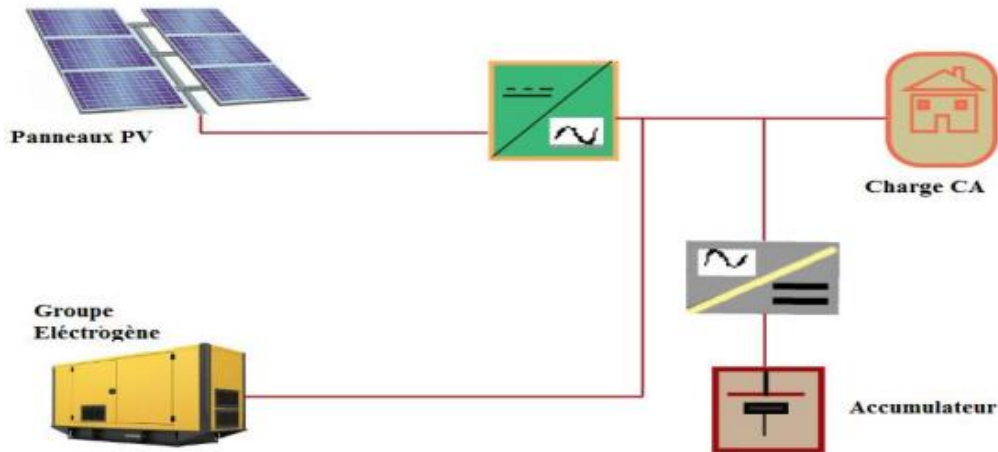


Figure I. 3: Configuration du SEH à deux bus à CC et à CA.

### I.5.3 Architecture à bus à CA

Les sources de production sont toutes connectées au bus CA par des convertisseurs. Un couplage de toutes les consommateurs et générateurs du côté CA permet de compléter un

système flexible de composants modulaires. Nous pouvons combiner différents systèmes renouvelables ainsi que des systèmes conventionnels en termes d'énergie utilisée ou appliquée. Le système peut également être facilement étendu en ajoutant des composants ou des générateurs supplémentaires pour augmenter la production d'énergie. Sachant que connecter tous les composants sur le bus AC peut rendre le système de contrôle encore plus déroutant [13].



**Figure I. 4:** Configuration de bus CA.

## I.6 Les principaux composants des systèmes hybrides

Les principaux composants des systèmes hybrides sont décrits comme suit:

### I.6.1 Générateur diesel

Dans le cas d'installations à énergie renouvelable autonome, il est nécessaire de recourir au stockage et/ou d'ajouter un ou plusieurs générateurs pour assurer la continuité de l'alimentation en énergie électrique. Les générateurs diesel jouent un rôle important dans les systèmes hybrides. Leur intégration fournit une source d'énergie disponible rapidement et fiable, ce qui réduit considérablement la taille des installations solaires.[14].

### I.6.2 Batteries d'accumulation :

Dans les systèmes photovoltaïques, la ressource solaire n'étant pas toujours disponible, l'électricité produite par les panneaux solaires doit être stockée de manière journalière ou saisonnière. Pour cela on utilise des batteries d'accumulateurs. Les batteries les plus courantes

sont les batteries plaque plane de type plomb-acide utilisées dans les appareils à faible puissance. Il existe également des batteries de type nickel-cadmium, qui sont coûteuses et posent des problèmes de régulation de tension. A long terme, on pourrait voir d'autres systèmes de stockage [15], [16]

### **I.6.3 Les régulateurs :**

Le système de régulation de charge fait partie intégrante d'un système photovoltaïque et son but est de contrôler la charge et la décharge de la batterie pour maximiser sa durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque complètement chargée. Lorsque la batterie approche d'un état complètement chargé, de petites bulles commencent à se former sur l'électrode positive. A partir de ce moment, il est préférable de réduire le courant de charge, non seulement pour éviter les dommages, mais aussi pour mieux atteindre un état de pleine charge. Un courant excessif peut entraîner la déformation des électrodes internes, provoquant un court-circuit.

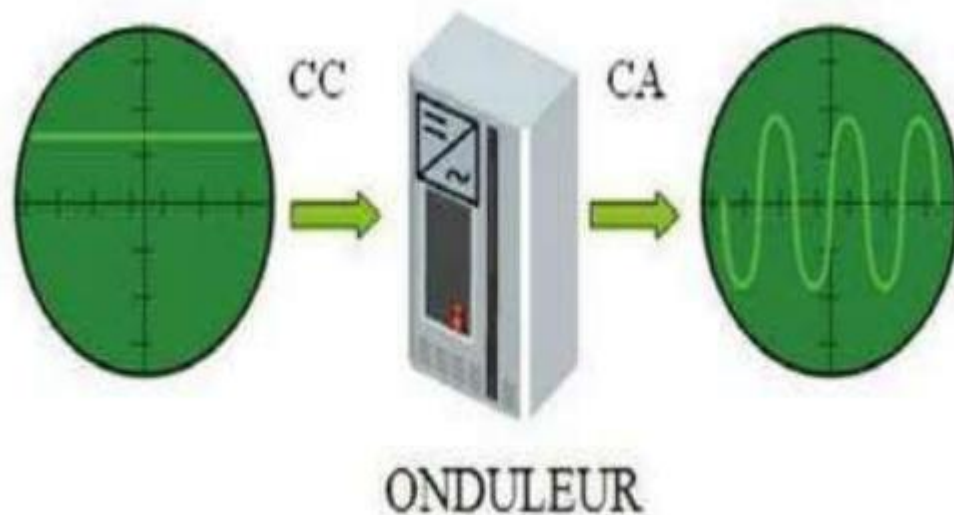
Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- La fonction de régulation de la charge de la batterie.
- La fonction de limitation de décharge de la batterie [17].

### **I.6.4 Système de conversion**

Un convertisseur d'énergie est un appareil qui est généralement placé entre un champ photovoltaïque et une charge (sans stockage continu de la charge, on l'appellerait un convertisseur DC-DC), ou entre une batterie et une charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif).

Un onduleur est généralement associé à un redresseur qui convertit le courant alternatif en courant continu, et son rôle est de charger la batterie et d'alimenter les circuits continus de l'unité pendant de longues périodes sans soleil [18].



**Figure I. 5:** rôle de l'onduleur.

#### **I.6.4.1 Câblage électrique :**

Ils seront à l'extérieur, exposés au vent, au gel, au soleil et autres agressions. Il est strictement nécessaire d'utiliser un câble approprié avec une section (diamètre) suffisante [19].

Nous allons d'abord nous connecter via un câble de bonne qualité, qui doit par exemple résister au vent, à la pluie, au soleil, au gel, à la croissance des océans, etc. La section transversale est d'au moins 1,5 mm<sup>2</sup>, 2,5 mm<sup>2</sup> et la longueur est supérieure à 25 m lorsque la puissance du module est supérieure à 100 W.

#### **I.6.4.2 Récepteurs et charges**

Les récepteurs (charges) font partie du système PV. En effet on détermine les caractéristiques des éléments du système à partir de leurs puissances et leurs tensions d'usages. Lorsqu'il est possible on choisit les récepteurs de grand rendement mais généralement les récepteurs sont déjà existant dans ce cas-là on détermine leurs caractéristiques et leurs puissances. Après le choix de récepteurs et/ou la détermination de leurs caractéristiques on peut enfin déterminer la puissance à installer [15].

## I.7 Les structures des installations hybrides

### I.7.1 Système hybride avec source conventionnelle

#### I.7.1.1 Système Hybride photovoltaïque-diesel

Dans cette configuration, l'énergie produite par le générateur diesel est d'abord redressée puis reconvertie en courant alternatif pour alimenter la charge, ce qui entraîne des pertes de conversion importantes. Le moteur diesel est éteint lorsque l'énergie générée et stockée par le champ photovoltaïque est suffisante pour répondre aux exigences de la charge. Le courant continu fourni par le champ magnétique et la batterie est converti en courant alternatif par un onduleur. Aussi, il est important de noter que dans la plupart de ces systèmes, puisque la majeure partie de l'énergie est transférée par la batterie, l'efficacité du système est réduite, augmentant ainsi le nombre de cycles de charge-décharge [14].

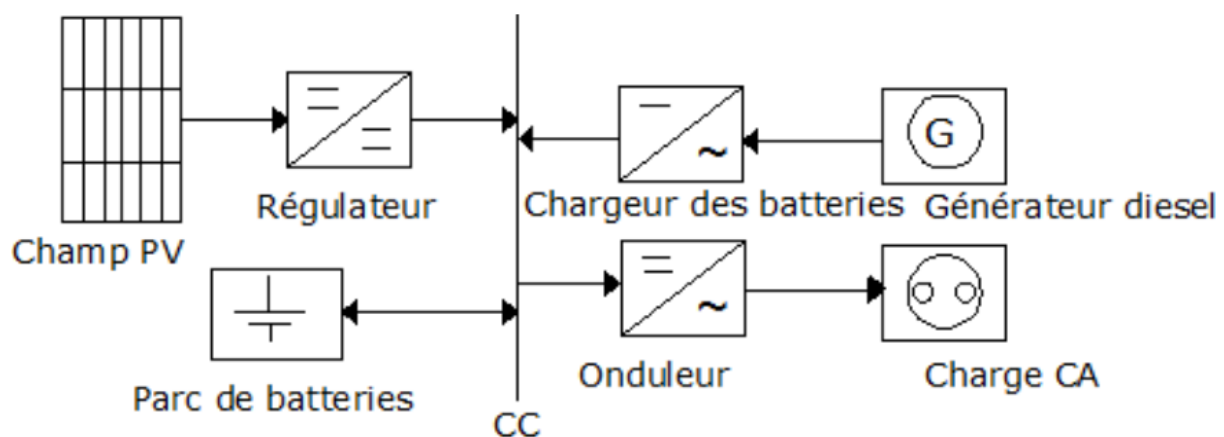


Figure I. 6 : Système hybride photovoltaïque -diesel.

#### I.7.1.2 Système hybride éolienne-diesel :

La nécessité de trouver des solutions fiables et économiques pour la production d'électricité dans les zones reculées, des alternatives à la production de diesel qui s'est avérée coûteuse et polluante, et la disponibilité de technologies éoliennes abordables suscitent l'intérêt pour les systèmes hybrides éolien-diesel (SHED). SHED assure un équilibre entre l'énergie éolienne produite à partir de carburants et la stabilité de la production assurée par le diesel, tout en limitant les coûts d'investissement. Dans l'ensemble, la plupart des SHED actuels sont modernisés à partir de centrales diesel existantes, en ajoutant des centrales éoliennes et des



systèmes de contrôle. En plus des éléments principaux tels que les éoliennes et les moteurs diesel, le SHED peut également contenir un système de délestage. Les principaux composants sont l'éolienne et le générateur diesel et un système de stockage. Le système de stockage le plus utilisé dans une telle structure est le système de stockage à air comprimé ce système est appelé : Système Hybride Eolienne Diesel Air Comprimé (SHEDAC) [20].

### I.7.1.3 Système hybride photovoltaïque éolienne diesel :

Le système retenu dans cet article est le système multi-sources photovoltaïque diesel PV-E-D. En plus d'un ou plusieurs générateurs diesel, le système comprend également un parc éolien, un parc photovoltaïque, un système de stockage d'énergie, un convertisseur, une charge, options de délestage et de gestion de la charge ou systèmes de supervision (Figure I-1). Tous ces composants peuvent être connectés dans différentes architectures. Dans la plupart des cas, un système hybride typique contient deux bus : un bus CC pour la source d'alimentation, les charges CC et les batteries, et un bus CA pour l'alternateur et le système de distribution [21].



**Figure I. 7:** Principaux composant d'un système PV-E-D.

## Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu des concepts des systèmes hybrides et identifier leurs classifications. On a donné aussi un aperçu sur les composants les plus fréquents dans les systèmes hybrides ainsi que les avantages et les inconvénients de ces systèmes. Enfin on a présenté quelques structures d'installation des SH.

## Bibliographie

- [1] BORNİ ABDELHALİM, « Etude et optimisation d'un multi système hybride de conversion d'énergie électrique », Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat en science en électrotechnique, Option modélisation et commande des machine électrique, Université constantine 1, 2015.
- [2] LUDMIL Stoyanov, « Structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables », Revue de génie industriel, Vol.5, pp.1-19, 2010.
- [3] CHAKOR Rania, « Modélisation, simulation et analyse d'un Système de stockage hybride photovoltaïque-éolienne dans un site isolé », Mémoire master en physique, Physique énergétique & énergies renouvelables, Tlemcen, 2021.
- [4] TRAORE Abdoul Karim, « Gestion d'un système autonome hybride photovoltaïque éolien pour applications agricoles », Thèse de doctorat, Université du Québec à Trois-Rivières, 2016.
- [5] LUDMIL Stoyanov, « Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables », Thèse préparée en cotutelle et soutenue pour l'obtention du grade de docteur en énergétique Mention énergétique, Docteur de l'université technique de Sofia, 2011.
- [6] Ashari Mohamad, Nayar, C.V, Keerthipala, W.W.L, « Optimum operation strategy and economic analysis of a photovoltaic - diesel - battery –mains hybrid uninterruptible power supply », Renewable energy, Vol.22, Issues 1-3, pp.247- 254, March 2001.
- [7] CAISHENG Wang, « Modeling and Control of hybrid wind/photovoltaic/fuel cell distributed generation systems », These de doctorat, Dissertation, Montana state university, July 2006.
- [8] BORNİ ABDELHALİM, « Etude et optimisation d'un multi système hybride de conversion d'énergie électrique », Thèse pour l'obtention du diplôme de doctorat en science en électrotechnique, Option modélisation et commande des machine électrique, Université constantine 1, 2015.
- [9] BINAYAK Bhandari, Kyung-YUNG-TAE lee, GIL-YONG lee, YOUNG-MAN cho, 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.
- [10] LUDMIL Stoyanov, « Structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables », Revue de génie industriel, Vol.5, pp.1-19, 2010.
- [11] ASHARI Mohamad, NAYAR, C.V, «An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system », Renewable energy - Elsevier science, Vol.66, No.1, pp.1-9, 1999.
- [12] 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 le15/12/2005.
- [13] Melle. SAIB Samia, « Contribution à l'optimisation d'un système hybride (PV/éolien) avec stockage d'énergie connecté au réseau électrique », Thèse présentée au département d'électrotechnique pour l'obtention du diplôme de doctorat, Université Ferhat Abbas -Setif1, 2018.

- [14] YAYA NAadjo Isdeen, « Étude d'un système hybride solaire photovoltaïque/diesel pour une production décentralisée d'électricité au Bénin », Diplôme d'ingénieur de conception, 2012.
- [15] Hamza Boukhelifa, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw », Mémoire de master de l'université de Mohamed Bougara-Boumerdes, 2017.
- [16] Belhadj Mohammed, « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome », Mémoire de magister option microélectronique -photovoltaïque, Centre Universitaire de Bechar, 2007.
- [17] ABED Mebarka, Mebrouka BADJEDI, « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome par les algorithmes génétiques », Diplôme de master, Université Ahmed Draïa-Adrar, 2013.
- [18] D.Thévenard, M.Ross, « Validation and verification of component models and system models for the PV », CETC-internal report 2003-035, Canada, 2003.
- [19] C. Bernard, J. Chauvin, D. Lebrun, J.F Muraz, P. Stassi, « Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger », 2006.
- [20] BASBOUS Tammam, « Hybridation pneumatique d'un moteur diesel en vue de son utilisation dans un système hybride éolien-diesel avec stockage d'énergie sous forme d'air comprimé », Université du Québec à Chicoutimi, 2013.
- [21] LAROUÏ Rachid, Ali BENATIALLAH, « Modélisation et simulation d'un système multi-sources Photovoltaïque-éolien-diesel dans la région d'Adrar », Thèse de doctorat, Université Ahmed Draïa-ADRAR, 2015.

# **Chapitre II**

## **Systemes hybrides autonomes**

## Introduction

Dans les zones éloignées, l'électricité est souvent produite par des génératrices diesel, car le raccordement à un réseau de distribution central est difficile et coûteux. Pour fonctionner des générateurs diesel qui utilisent de grandes quantités de combustibles fossiles peut poser de graves problèmes environnementaux, sociaux et même économiques. Ils provoquent des émissions de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique. La solution proposée par la communauté scientifique est d'utiliser des énergies renouvelables, disponibles gratuitement et avec des niveaux de pollution très faibles par rapport aux générateurs diesel. L'installation de systèmes autonomes d'énergie renouvelable (SER), en particulier dans les zones reculées, peut à la fois alimenter ces zones et réduire les taux de pollution [1].

## II. Les systèmes hybrides autonomes

### II.1 L'Énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est générée selon le principe de conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique, connu sous le nom d'effet photoélectrique, découvert par Becquerel puis identifié par Einstein comme un phénomène inexplicable par la physique classique au XIXe siècle. C'est ce fait expérimental qui a donné naissance en grande partie à la physique quantique moderne, le seul fait qui puisse expliquer la possibilité d'interactions entre l'énergie lumineuse (portée par les photons) et les électrons [2].

#### II.1.1 L'énergie Solaire

À une distance moyenne de 149 598 000 kilomètres de la Terre, le Soleil est une pseudosphère d'un diamètre de 1 391 000 kilomètres. C'est une énorme source d'énergie disponible en permanence qui brûle de l'hydrogène depuis 4,6 milliards d'années. Lorsque les atomes d'hydrogène fusionnent, des atomes plus lourds se forment, libérant beaucoup d'énergie sous forme de chaleur rayonnante. C'est la fusion nucléaire. La constante solaire est la densité d'énergie solaire atteignant la limite extérieure de l'atmosphère face au soleil. Sa valeur est généralement prise comme 1360W/m<sup>2</sup>. Au sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/m<sup>2</sup> en raison de l'absorption par l'atmosphère [3], [4], [5].

#### II.1.2 Rayonnement solaire

Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère il sera absorbé et diffusé donc on peut distinguer :

- **Rayonnement directe**

On appelle rayonnement directe le rayonnement solaire qui est reçu directement du soleil et qui peut être mesuré par le pyréliomètre.

- **Rayonnement diffus**

Rayonnement diffus: Rayonnement du ciel entier. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à la réflexion par les nuages. Elle peut être mesurée par un pyranomètre avec un écran qui bloque le soleil.

- **Rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol**

C'est la partie du rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par les objets sur la surface du sol. Ce type de rayonnement devient important lorsque le sol est réfléchissant par exemple : l'eau, la neige.

- **Rayonnement global**

La somme des tous les rayonnements reçus (comprenant le rayonnement solaire réfléchi). Il peut être mesuré par le pyranomètre ou un solarimètre sans écran. A noter que certains capteurs solaires concentrent le rayonnement solaire pour augmenter l'efficacité du capteur par rapport à une surface donnée. Ces capteurs concentrés ne peuvent utiliser que le rayonnement direct du soleil. Dans les endroits à forte proportion de lumière solaire diffuse, ces capteurs ne peuvent pas fonctionner efficacement car la lumière solaire diffuse ne peut pas être concentrée sur un seul point [3], [5].



**Figure II. 1:** Le rayonnement solaire.

### II.1.2.1 Le gisement solaire en Algérie

Maîtriser le périmètre des sources d'énergie renouvelables en Algérie et l'enjeu existant inexploité important et inépuisable de ces sources d'énergie, à savoir des gisements solaires spéciaux couvrant une superficie de 2 381 745 kilomètres carrés. L'Algérie fait partie des pays avec de nombreuses implantations, du fait de sa grande superficie, le rayonnement dans les zones proches de la mer est influencé par les saisons. Les régions du nord de l'Algérie sont plus nuageuses que les régions du sud.

Le Sahara reçoit plus d'énergie, mais se caractérise par des températures plus élevées. Du fait de cette diversité de climats, l'ensoleillement moyen global sur le plan horizontal varie entre 4,5 et 7,5 kWh/m<sup>2</sup>.

Compte tenu de cette diversité, l'Algérie peut être divisée en 8 zones climatiques avec un ensoleillement à peu près uniforme, comme le montre la figure ci-dessous [4].

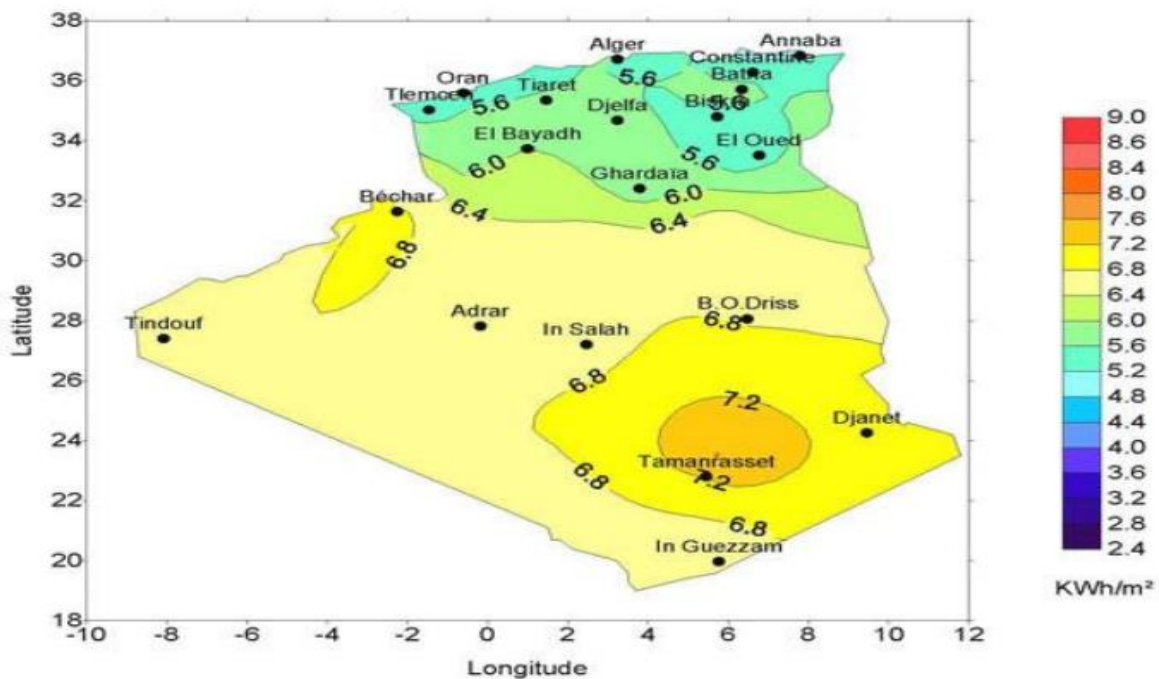


Figure II. 2: La carte d'éclairement solaire de l'Algérie.

### II.1.3 La conversion photovoltaïque

En 1954 et avec la découverte de l'effet photovoltaïque la possibilité de transformer l'énergie lumineuse (et plus précisément le rayonnement solaire) en énergie électrique est apparue. L'effet photovoltaïque utilise les propriétés quantiques de la lumière qui permet de transformer



l'énergie incidente en courant électrique dont la photopile ou bien la cellule solaire est considérée comme l'élément de base de cette transformation qui est appelé la conversion photovoltaïque [6].

### II.1.3.1 Effet photoélectrique et jonction PN

La conversion de l'énergie solaire en électricité est basée sur l'effet photoélectrique, qui est définis comme la capacité des photons à générer des porteurs de charge (électrons et trous) dans un matériau. Lorsqu'un semi-conducteur est irradié avec un rayonnement de la longueur d'onde appropriée (l'énergie du photon doit être au moins égale à l'énergie de la bande interdite du matériau), l'énergie du photon absorbé permet aux électrons de passer de la bande de valence à la bande de conduction du semi-conducteur, créant des paires électron-trou, Lors de sa polarisation, cela aide le transport de courant du matériau (photoconductivité). Si une jonction PN est maintenant éclairée, la région de charge d'espace à la jonction est immédiatement séparée par le champ électrique régnant dans cette région, et entraînées dans les zones neutres de chaque côté de la jonction. Le dispositif est isolé, une différence de potentiel sera apparue aux borne de la jonction; et on observera le passage d'un courant s'il est connecté à une charge électrique extérieure alors qu'on n'applique aucune tension au dispositif. C'est le principe basique de la cellule photovoltaïque [7].

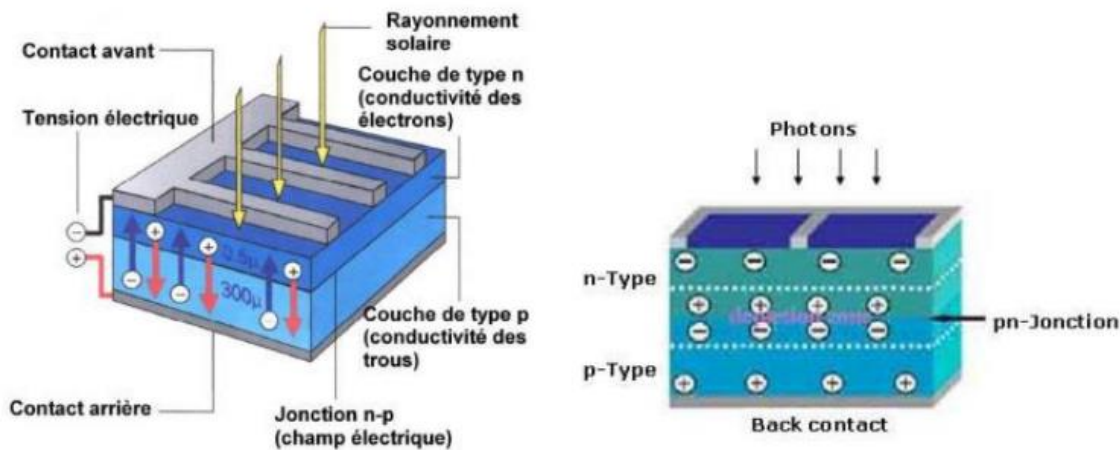


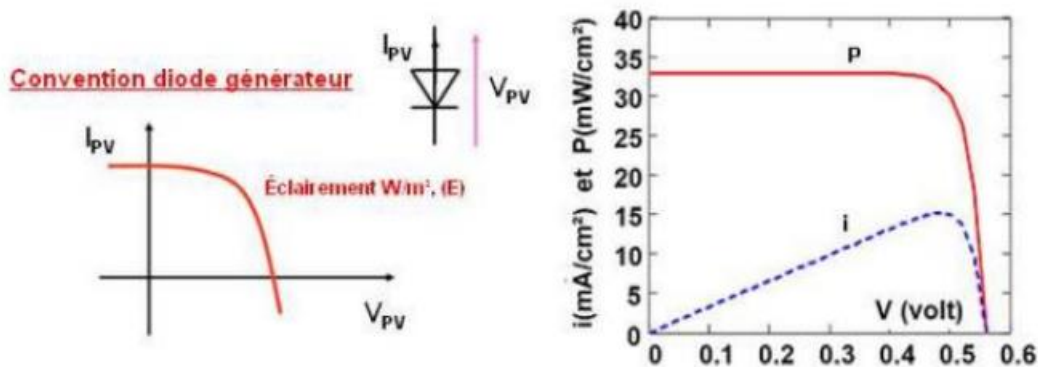
Figure II. 3: Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque

### II.1.3.2 Modélisation simple d'une cellule photovoltaïque

Une cellule solaire photovoltaïque est une diode électronique PN à grande surface qui, lorsqu'elle est exposée à la lumière (photons), produit une tension (volts). La figure ci-dessous

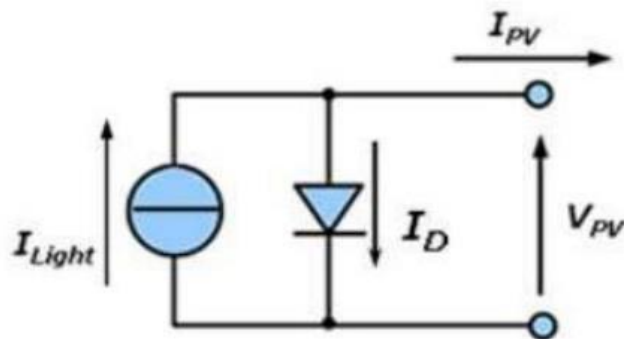


montre les caractéristiques électriques en convention récepteur de la cellule dans différentes conditions d'éclairements [7].



**Figure II. 4:** Caractéristique de la convention diode générateur

Le schéma équivalent le plus simple d'une cellule photovoltaïque à jonction PN idéale est constitué d'une source de courant  $I_{Light}$ , qui modélise le courant photoélectrique, associée à une diode parallèle qui simule une jonction P-N dont la polarisation détermine la tension (ci-dessous)[7].



**Figure II. 5:** Schéma équivalent le plus simple de la cellule photovoltaïque à jonction PN

#### II.1.4 Paramètre photovoltaïque

De nombreux paramètres caractérisent les cellules solaires. Ces paramètres sont appelés paramètres photovoltaïques et ce sont [8]:

### II.1.4.1 Le courant du court-circuit $I_{cc}$

C'est le courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule. Ceci est fonction de la température de la longueur d'onde du rayonnement de surface cellulaire et de la mobilité des porteurs. Ce courant est linéairement lié à l'intensité lumineuse reçue.

### II.1.4.2 La tension du circuit-ouvert $V_{co}$

La tension de circuit ouvert est obtenue lorsque le courant traversant la cellule est nul. Cela dépend de la barrière énergétique et de la résistance shunt. Elle diminue avec la température et ne change pas beaucoup avec l'intensité lumineuse.

### II.1.4.3 Le facteur de forme FF

Le facteur de forme est l'un des paramètres les plus importants qui caractérise la qualité de la cellule. Ce dernier est défini comme le rapport entre la valeur maximale de la puissance pouvant être extrait de la photophile sous les conditions standardisé ( $P_{max} = I_{max} \cdot V_{max}$ ) et le produit  $I_{cc} \times V_{co}$ .

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} \times I_{cc}} \quad (2.2)$$

### II.1.4.4 Le rendement $\eta$

Le rendement des cellules photovoltaïque qui désigne le rendement de conversion en puissance est définit comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente ( $P_{in}$ ).

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{co} \times I_{cc}}{P_{in}} \quad (2.3)$$

D'après la relation on remarque que le rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme ; le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert. Le rendement des cellules photovoltaïque est un paramètre très important dans la comparaison des performances des cellules solaires.

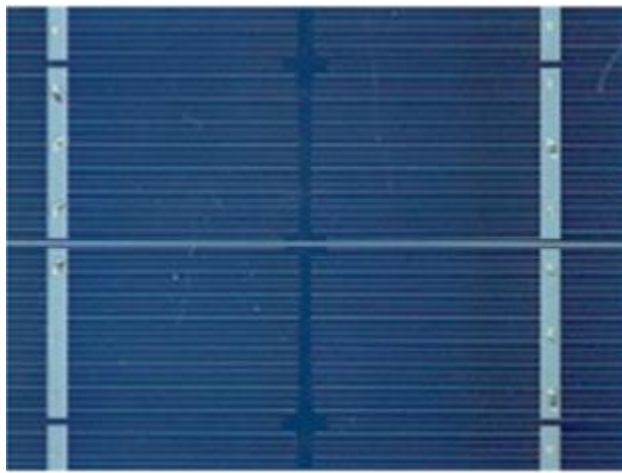
## II.1.5 Les types des cellules solaires

On peut distinguer trois types principaux des cellules photovoltaïques :

### II.1.5.1 Les cellules monocristallines

Le modèle des cellules monocristalline est le plus proche du modèle théorique, elle est composée d'un seul cristal divisé en deux couches. Ce type de cellule permet d'obtenir de hauts rendements, d'ordre de 15 à 22%. Les cellules monocristallines ont certains inconvénients [9]:

- Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.
- Méthode de production laborieuse et difficile et donc très chère.
- Une durée d'amortissement de l'investissement en énergie élevée (jusqu'à 7 ans).

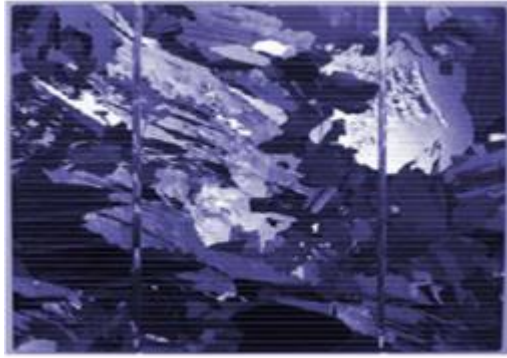


**Figure II. 6 :** Cellule monocristalline

### II.1.5.2 Les cellules polycristallines

Les cellules polycristallines sont constituées d'un agglomérat de cristaux. Ils proviennent également du sciage de blocs de cristaux, mais les blocs sont coulés et donc hétérogènes. Les caractéristiques des cellules polycristallines sont:

- Coûts de fabrication réduit.
- Nécessite moins d'énergie.
- 13 % et jusqu'à 20 % de rendement en laboratoire.



**Figure II. 7:** Cellules polycristallines

### II.1.5.3 Les cellules amorphes

En 1976, le silicium amorphe est apparu. La structure atomique de ce type de silicium est désordonnée, non cristallisée, mais il a un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin. Cependant, ce qu'il gagne en pouvoir d'absorption, il le perd en mobilité des charges électriques (rendement de conversion faible) [9]:

- Cout de production plus bas.
- Rendement de seulement 5 % par module et de 14 % au laboratoire.
- Fonctionne sous très faible éclaircissement.



**Figure II. 8:** Cellules amorphe.

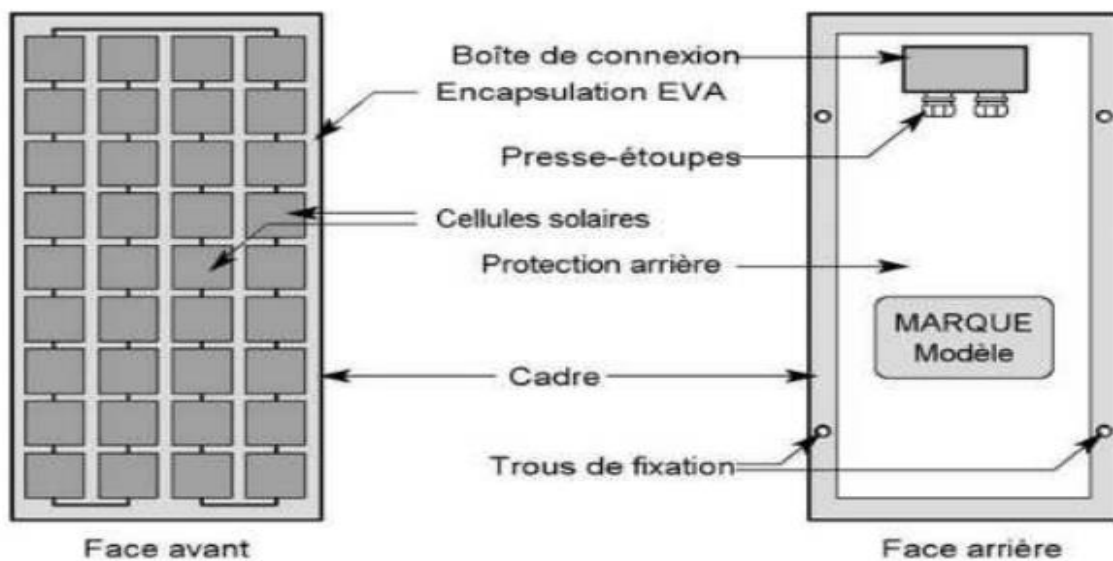
### II.1.6 Module photovoltaïque

L'unité de base d'un système photovoltaïque est la cellule individuelle mais elle produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt

Pour générer plus d'électricité, les cellules sont assemblées en un module solaire photovoltaïque (ou panneau solaire photovoltaïque), on peut donc définir un panneau solaire comme un générateur de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées

électriquement entre elles, utilisées comme modules de base pour le photovoltaïque installations, en particulier les centrales solaires photovoltaïques.

Plusieurs cellules en série augmentent la tension pour un même courant, tandis qu'en parallèle augmentent le courant tout en maintenant la tension. La puissance crête obtenue à l'éclairement maximum sera proportionnelle à la surface du module. La rigidité de la face avant (vitre) et l'étanchéité sous vide apportée par la face arrière soudée sous vide confèrent à l'ensemble sa durabilité [10].



**Figure II. 9:** Structure d'un panneau photovoltaïque face avant et face arrière.

## II.2 L'Énergie éolienne

Vers 2000 avant JC, Hammurabi (le fondateur de Babylone) utilisait déjà l'énergie éolienne pour irriguer la Mésopotamie. Les Chinois utilisent également l'énergie éolienne pour construire des systèmes de pompage. Les moulins sont apparus en Europe au début du Moyen Âge lorsque les lacs néerlandais et les terres inondées se sont asséchés et que le grain a été moulu. La production d'énergie éolienne a commencé à la fin du 19ème siècle. Parmi les pionniers, on peut citer Paul La Cour du Danemark, qui en 1891 connecta le générateur à l'éolienne. Dans les années 1950, Johannes Juul (un élève de Paul La Cour) a également été le pionnier de l'utilisation de l'énergie éolienne en construisant les premières éoliennes générant du courant alternatif.

Le premier choc pétrolier en 1973 a suscité l'intérêt pour l'énergie éolienne dans plusieurs pays. Les États-Unis, en particulier, ont lancé des opérations à grande échelle en Californie au début des années 1980, passant de 7 MW en 1981 à 386 MW en 1985.

Aujourd'hui, la recherche se concentre sur l'amélioration des éoliennes et de la chaîne qui convertit l'énergie éolienne en électricité utilisable sur le réseau. Les premières éoliennes utilisaient des génératrices asynchrones reliées aux pales par des réducteurs, tournant à vitesse fixe et connectées directement au réseau (pas d'interface électronique). Cette technique était principalement utilisée au Danemark dans les années 1970. Les systèmes récents se sont orientés vers la vitesse variable d'une part, maximisant l'extraction de puissance du vent en insérant de l'électronique entre le générateur et le réseau, et d'autre part. Utilisez un générateur spécial qui tourne à basse vitesse pour vaincre le réducteur [11].

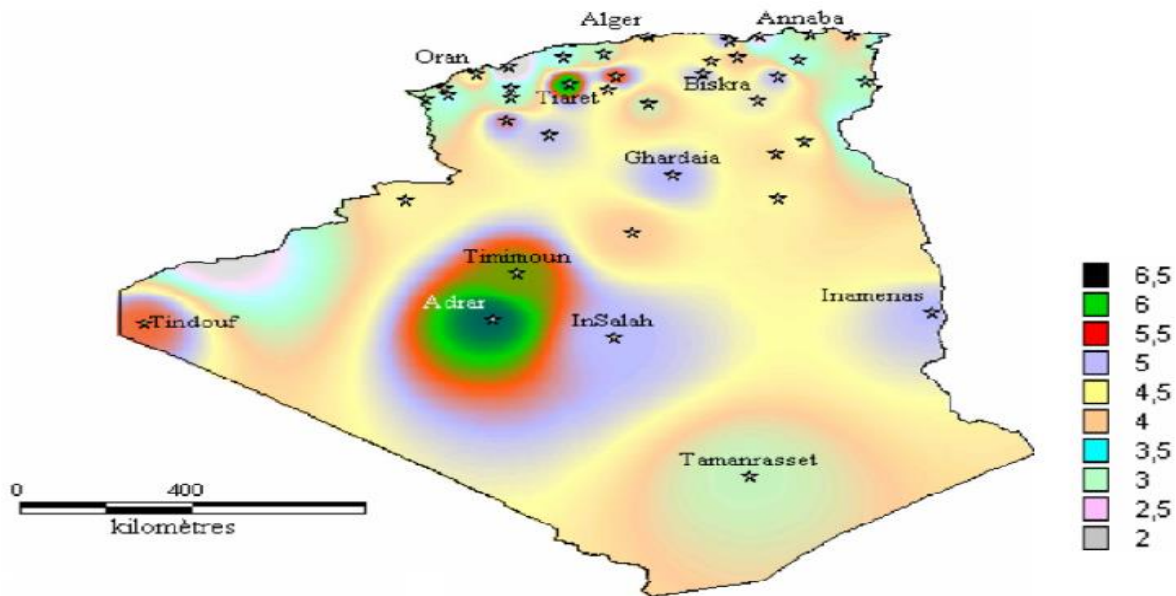
## II.2.1 L'éolienne

Les éoliennes sont des machines appelées aérogénérateurs ou plus communément éoliennes, qui sont des systèmes qui récupèrent l'énergie cinétique du vent et la convertissent en énergie mécanique pour produire de l'électricité [12].

### II.2.1.1 Le gisement éolien en Algérie

L'air qui compose l'atmosphère est un mélange de gaz et de particules concentré dans la troposphère. Dans cette région, en raison du réchauffement inégal de la surface de la Terre par le soleil aux pôles et à l'équateur, le mouvement de l'air par la rotation de la Terre autour de son axe, et la pression de haute à basse pression, provoque des masses atmosphériques de différentes densités passé d'une altitude à une autre. Le courant correspondant constitue le vent

La vitesse du vent augmente à mesure que vous vous élevez du sol. La figure II-1 montre une carte des vents pour l'Algérie, estimée à 10 m au-dessus du sol. Nous avons remarqué des vitesses de vent modérées en Algérie, allant de 2 à 6 m/s, et la vitesse augmentait à mesure que nous descendions vers le sud-ouest. La valeur maximale dans la zone d'Adrar est de 6 m/s. la région d'Oran appartient à la région ventée d'Algérie avec un potentiel énergétique important où la vitesse moyenne du vent est de 4,5 m/s. [12]



**Figure II. 10:** Atlas de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol

### II.2.1.2 La loi de Betz :

L'énergie éolienne provient de l'énergie cinétique du vent. En effet, si l'on considère une masse  $m$  d'air se déplaçant à la vitesse  $v$ , l'énergie cinétique de cette masse est :

$$E = \frac{1}{2}mV^2 \quad (2.4)$$

Si, par unité de temps, cette énergie peut être entièrement récupérée à l'aide d'une hélice balayant une surface  $S$ , qui est orientée perpendiculairement à la vitesse du vent  $V$ , comme le montre la figure II-2, la puissance instantanée fournie sera alors :

$$P_v = \frac{1}{2}\rho SV^3 \quad (2.5)$$

$\rho$ : Densité de l'air 1,225 kg.m<sup>-3</sup>

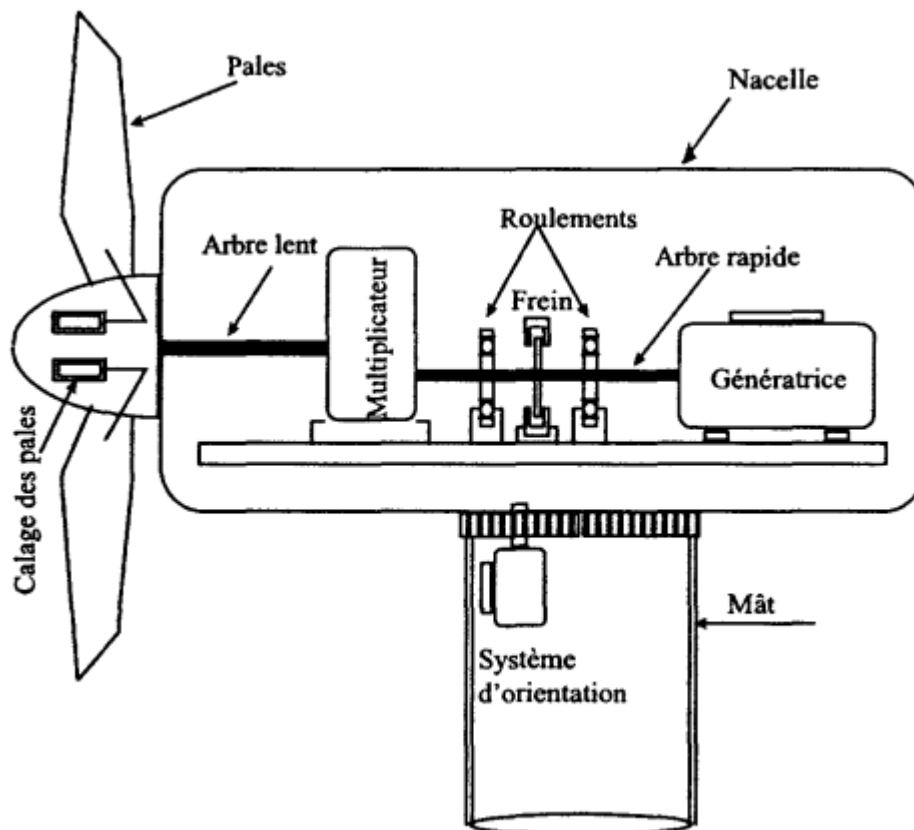
$P_v$ : Puissance incidente sur le rotor

La formule de Betz montre que l'énergie maximale qu'une éolienne peut capté ne peut en aucun cas dépasser 59 % de l'énergie cinétique de la masse d'air qui la traverse par seconde [13].

$$P_{max} = \frac{16}{27}P_v = 0.59P_v \quad (2.6)$$

### II.2.1.3 Fonctionnement des éoliennes

Afin de convertir l'énergie disponible dans le vent en électricité, une éolienne doit être composée d'une partie mécanique et d'une partie électrique. La partie mécanique sert à capter l'énergie cinétique disponible dans le vent et à la convertir en énergie mécanique de rotation. Cette dernière est transmise au générateur via un système d'entraînement, qui consiste généralement en une boîte de vitesses. La conversion d'énergie mécanique en énergie électrique se fait au moyen de la génératrice électrique [14].

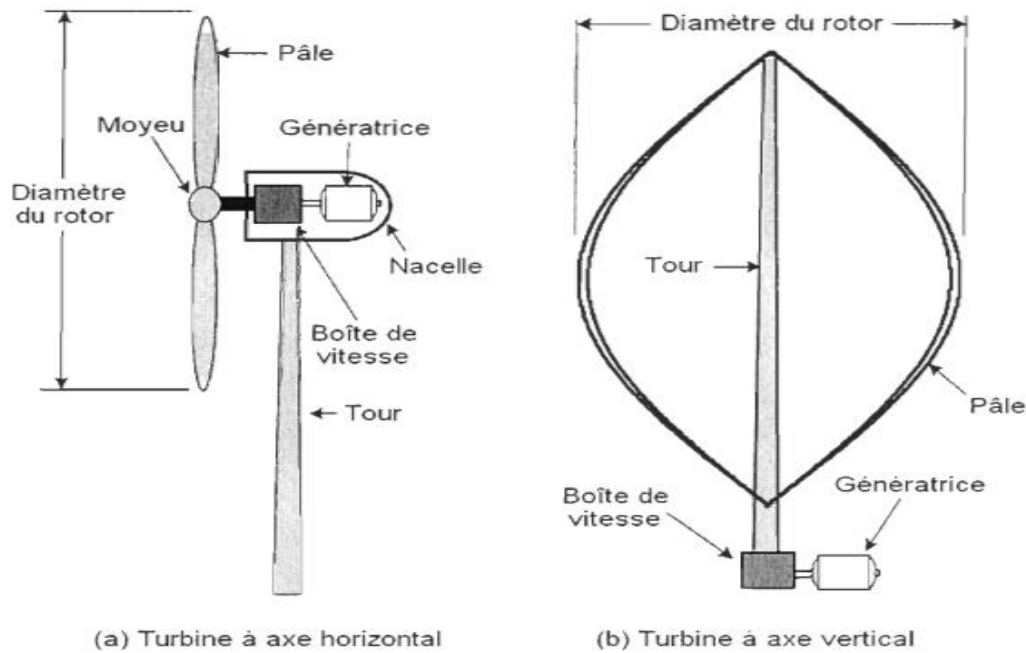


**Figure II. 11:** Vue générale des éléments constituant une éolienne.

### II.2.2 Les types d'éoliennes

Les éoliennes modernes se divisent en deux groupes de base : l'éolienne à axe horizontal, (Fig. 2), comme les moulins à vent de ferme traditionnels utilisés pour pomper l'eau, et l'éolienne à axe vertical, (Fig. 2), comme le modèle Darrieus à batteur d'œufs ou le modèle Savonius [15].





**Figure II. 12:** Représentation des concepts d'éoliennes (a) à axe horizontal et (b) à axe vertical.

### II.2.2.1 Eolienne à axe verticale

Elles sont rarement mises en œuvre aujourd'hui car ils sont moins performants par rapport que celle à axes horizontaux. Elles fonctionnent sur le même principe que les roues hydrauliques où le vent est perpendiculaire à l'axe de rotation. La conception verticale offre l'avantage de placer les multiplicateurs et les générateurs directement au sol, mais cela oblige les éoliennes à fonctionner avec un vent proche du sol, plus faible qu'en hauteur car les vitesses du vent sont ralenties par le terrain.

Du fait de son axe vertical, à symétrie de rotation, le vent peut venir de toutes les directions sans avoir à déterminer la direction du rotor. Par contre, ce type d'éolienne ne peut pas démarrer automatiquement et doit démarrer dès qu'il y a suffisamment de vent pour être productive [16].

### II.2.2.2 Eolienne à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal sont inspirées des moulins à vent. Ils se composent généralement de deux ou trois pales qui tournent de manière aérodynamique. Ils fonctionnent comme une turbine à eau : la puissance mécanique du vent fait tourner les pales, qui sont reliées à un alternateur soit directement, soit par l'intermédiaire d'un multiplicateur de vitesse. Cela génère

de l'électricité. Les éoliennes à axe horizontal peuvent fonctionner « en amont » ou « en aval ». Pour les éoliennes fonctionnant en amont, le vent frappe directement les pales. Par conséquent, ils doivent être rigides pour résister au vent. La plupart des grandes éoliennes de plus de 1000 kW fonctionnent sur ce principe. Pour les éoliennes fonctionnant en aval, le vent frappe l'arrière des pales. Cette configuration est principalement utilisée pour les petites éoliennes [17].

## II.3 Les Systèmes hybrides autonomes

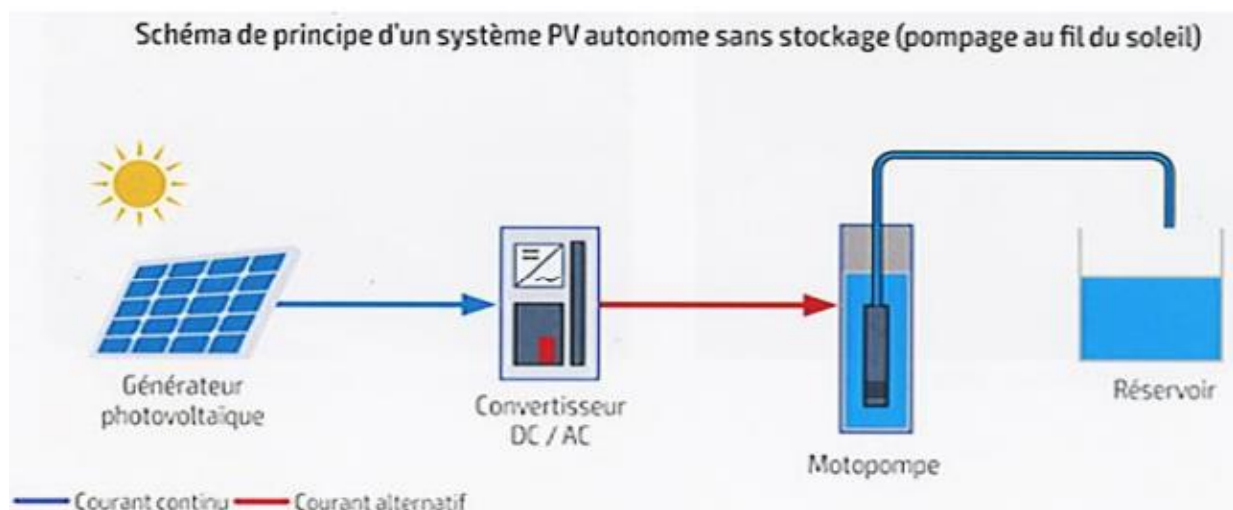
### II.3.1 Les systèmes photovoltaïques autonomes

D'une manière générale, les systèmes PV peuvent être divisés en deux types : les systèmes PV avec ou sans stockage. La principale différence entre les deux systèmes est que le système sans stockage d'énergie ne contient aucun dispositif de stockage d'énergie (pas de batterie de stockage). Le schéma ci-dessous représente la structure de chacun de ces systèmes [18].

#### II.3.1.1 Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage

C'est le système le plus simple car l'énergie photovoltaïque est utilisée directement à partir des panneaux. Les appareils alimentés par ce système ne peuvent fonctionner que lorsqu'il y a de la lumière, et tant que la lumière est suffisante pour atteindre la puissance requise. Ce type de système est intéressant pour toutes les applications où il n'est pas nécessaire de fonctionner dans l'obscurité et où les besoins énergétiques sont compatibles avec la présence de lumière.

L'inconvénient de ce système est qu'on ne profite pas toujours de la lumière plus élevée, il n'y a pas de stockage et donc pas de récupération de l'énergie solaire excédentaire [4].



**Figure II. 13:** Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage.

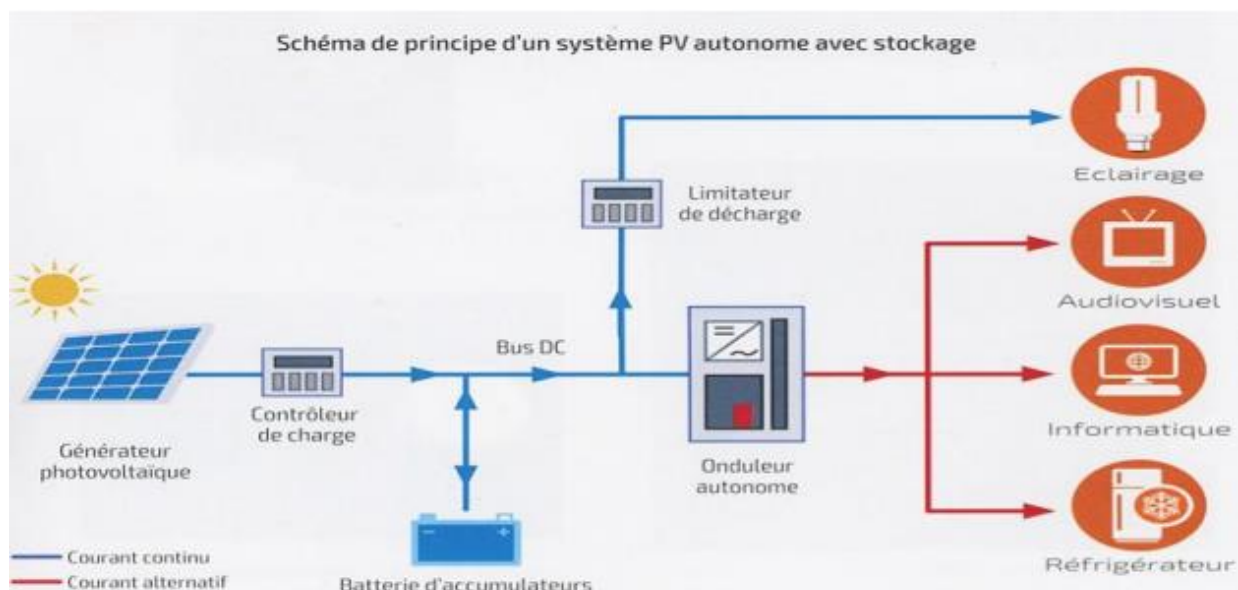
### II.3.1.2 Systèmes autonomes avec stockage

Il s'agit de la configuration de système PV autonome la plus courante, et les anglophones l'appellent Stand-Alone Systems. Le système fonctionne généralement en courant continu (DC). Ce qui est préférable car c'est plus simple. Mais une fois qu'on touche à l'habitat, il y a presque toujours des appareils à courant alternatif (AC) pour l'alimenter car ils ne sont pas continus.

La batterie d'un tel système est chargée pendant la journée et agit comme un "stockage" d'énergie permanent. Il peut recevoir du courant de charge et sortir différentes valeurs de courant de décharge à un instant donné sans aucun problème. Par conséquent, l'appareil alimenté est connecté à la batterie via le régulateur de charge. Lorsque la batterie est pleine, ce dernier coupe la charge pour éviter qu'elle ne se surcharge, ce qui entraîne une partie des pertes d'énergie qui surviennent en été, surtout sous notre climat.

Lorsqu'un récepteur doit fonctionner en courant alternatif, on introduit la notion de conversion DC/AC (de courant continu en alternatif) mais ceci provoque plusieurs problèmes, notamment :

- Augmentation du coût et de l'encombrement de l'installation
- Réduction du rendement énergétique (aucun convertisseur ne restitue 100% de l'énergie).
- Risque de panne complète en cas de problème sur le convertisseur si toute l'installation électrique est alimentée par son intermédiaire [4].



**Figure II. 14:** Systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage.

### II.3.1.3 Avantage et inconvénients des systèmes photovoltaïques autonomes

➤ **Avantages** [19], [20].

- Conversion directe de l'énergie solaire gratuite et inépuisable en électricité.
- Absence de bruit, de pollution et d'émissions.
- Maintenance réduite (pas de pièces en mouvement ; durée de vie des modules = 20 ans).
- Rentabilité assurée pour les applications de faible puissance (moins de 3–5 kWh/jour).

➤ **Inconvénients** [19], [20].

- Le coût initial des systèmes PV est élevé, même si la rentabilité à long terme est assurée. Ils sont donc parfois hors de portée des personnes à faibles revenus.
- Dans la plupart des installations, l'électricité doit être stockée dans des batteries. Or, les batteries : requièrent une maintenance régulière, doivent être remplacées périodiquement et peuvent avoir un impact sur la performance du système (lorsque les produits locaux sont de mauvaise qualité ou ne peuvent pas être remplacés)
- Les systèmes photovoltaïques de faible puissance requièrent souvent des équipements à courant continu dont l'efficacité énergétique est supérieure à celle des équipements à courant alternatif, mais dont le coût est souvent plus élevé.

### II.3.2 Eoliennes autonomes

Dans les systèmes hybrides éolien-stockage l'interconnexion des dispositifs de stockage aux éoliennes peut avoir deux objectifs possibles : agir comme un tampon lorsque le système fonctionne en parallèle avec le réseau, puis le dispositif peut lisser les variations rapides de puissance électrique des éoliennes, c'est-à-dire un rôle de stockage à long terme, en mode autonome pour permettre l'alimentation des consommateurs lors de faibles vitesses de vent. La grille peut être très grande ou très petite.

Les recherches sont également différenciées par l'intervalle de temps considéré. Dans le cas de l'étude de processus à évolution lente, les auteurs s'intéressent à l'énergie obtenue par chaque source. D'autres études ont été menées sur des processus à court terme. Comme d'autres systèmes décrits précédemment, ils peuvent fournir de l'électricité aux maisons ou aux bâtiments (hôtels) ou même aux villages.

Les modes de stockage étudiés peuvent être des batteries, des électrolyseurs avec des réservoirs d'hydrogène, une combinaison des deux, un stockage à air comprimé, des aimants supraconducteurs, ou une combinaison d'électrolyseurs avec des réservoirs d'hydrogène et des super condensateurs [21].

### **II.3.3 Système hybride photovoltaïque-éolienne :**

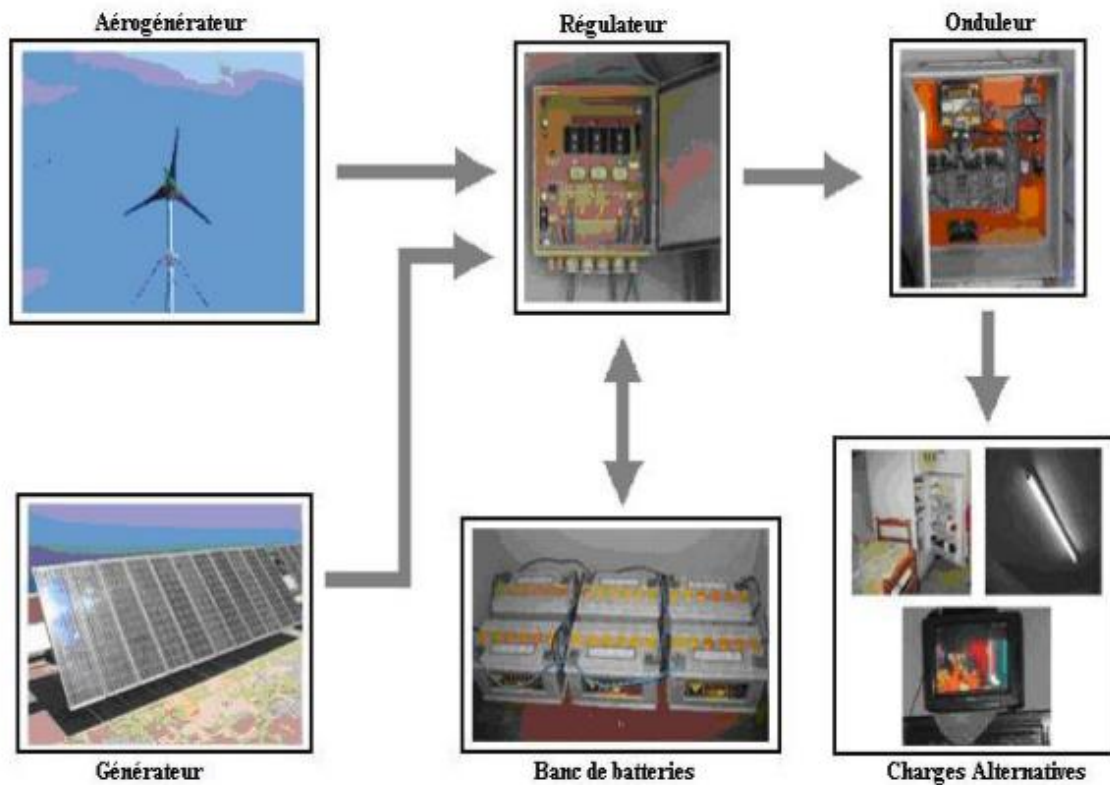
D'un point de vue technique et économique, le couplage de plusieurs sources d'énergie renouvelables complémentaires peut augmenter la disponibilité des systèmes de production d'électricité. Les avantages d'un système hybride par rapport à un système éolien ou photovoltaïque (PV) à source unique dépendent de plusieurs facteurs fondamentaux : la forme et le type de charge, les conditions de vent, le rayonnement solaire, l'énergie disponible, le coût relatif des équipements éoliens, les parcs photovoltaïques et le plus important est le choix de la configuration du système de couplage, avec ou sans stockage. Les sources d'énergie telles que le solaire et l'éolien ne fournissent pas une puissance constante, leur combinaison permet une production d'énergie plus continue. En effet, les journées ensoleillées sont généralement caractérisées par une faible activité éolienne, tandis que des vents forts sont observés les jours nuageux ou la nuit.

#### **II.3.3.1 Système photovoltaïque-éolienne avec stockage**

Pour de nombreuses applications sensibles et stratégiques hors réseau traditionnel, comme les relais de télécommunication, les postes frontières, les habitations isolées, les pharmacies, etc., la disponibilité permanente de la source d'énergie primaire est critique et conditionne en grande partie la fiabilité de l'installation et sa pérennité de fonctionnement.

Les solutions techniques classiques apportées par le stockage électrochimique traditionnel sont coûteuses, techniquement limitées en puissance et en capacité. Celles fournies par les groupes électrogènes, du fait de la nécessité d'alimentation en carburant et de maintenance, présentent des inconvénients liés au bruit, à la pollution, et surtout à leurs faibles performances à charge partielle. En revanche, les nouvelles solutions technologiques proposées par le système hybride offrent un haut niveau de sécurité, même si elles ne sont pas encore économiquement compétitives. Cependant, compte tenu de la nécessité d'un développement durable, ces solutions sont économiquement viables à moyen et long terme, soutenues par la volonté publique.

D'une manière générale, un système de production d'énergie hybride est un système qui combine et utilise plusieurs ressources disponibles facilement mobilisables. Le système qui nous intéresse se compose de deux parties qui génèrent de l'énergie (l'aérogénérateur + PV) et une partie de stockage dans la figure 21 le dispositif de stockage est une batterie (stockage électrochimique [22]).



**Figure II. 15:** schéma synoptique du système photovoltaïque-éolienne-stockage

### II.3.3.2 Système photovoltaïque-éolienne sans stockage

Un grand nombre de sites dans le monde, disposent de ressources éoliennes et solaires complémentaires sur une base saisonnière (vents les plus forts en hiver et rayonnement solaire le plus fort en été). De plus, la construction d'un système qui utilise à la fois l'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne peut répondre aux besoins énergétiques tout au long de l'année. Par conséquent, la combinaison de ces deux sources peut réduire les besoins en stockage d'énergie et également réduire davantage la consommation de diesel.

La chaîne de conversion éolienne est constituée d'une éolienne qui entraîne directement une génératrice synchrone triphasée (GS) à aimants permanents. L'éolienne est connectée à un redresseur PWM (Pulse Width Modulation) équipé d'un contrôle de couple et d'un algorithme

MPPT (Maximum Power Point Tracking), qui établit la consigne de couple optimale pour toute vitesse de rotation de la turbine.

Les systèmes photovoltaïques fonctionnant dans des conditions climatiques variables, il est nécessaire d'adapter le point de fonctionnement de la charge aux caractéristiques du générateur photovoltaïque afin d'extraire un maximum de puissance. En ajustant le rapport cyclique, l'hacheur contrôlé dynamiquement assure une puissance maximale. Cette commande peut être exécutée en mode MPPT pour rechercher immédiatement la meilleure puissance disponible du générateur PV [23].

## **Conclusion**

Dans ce chapitre une description détaillée sur l'énergie photovoltaïque ainsi que l'énergie éolienne est présentée. Le principe de fonctionnement des panneaux solaire et l'éolienne est aussi exposé dans cette présentation. Enfin on a donné les différentes structures des installations hybrides autonomes.



**Bibliographie :**

- [1] LEKENE Richard, « Utilisation des énergies renouvelables pour l'alimentation électrique d'une station de télécommunications en site isolé », Thèse de doctorat, Université du Québec à Rimouski, 2018.
- [2] Pâris MOURATOGLOU, Pierre-Guy THEROND, « L'énergie solaire photovoltaïque », Distribution électronique Cairn.info pour ESKA, Annales des mines-réalités industrielles, 2009.
- [3] Aniss YAKER, BELKACEM Belaid, « Dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome », Mémoire de fin d'études de master académique, Génie électrique, Réseaux électriques, Tizi-Ouzou, 2015.
- [4] BELABBAS Arezki, CHERIF Aghiles, « Dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome de 16 kW », Mémoire de fin d'études de master académique, Electrotechnique, Réseaux électriques, Tizi-Ouzou, 2016.
- [5] GHRAIBI Saida, BEKKA Safia, « Estimation du rayonnement solaire reçu par un capteur solaire », Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master en physique énergétique, ADRAR, 2021.
- [6] BORNİ Abdelhalim, « Etude et régulation d'un circuit d'extraction de la puissance maximale d'un panneau solaire », UMC, 2009.
- [7] Dariga MEEKHUN, « Réalisation d'un système de conversion et de gestion de l'énergie d'un système photovoltaïque pour l'alimentation des réseaux de capteurs sans fil autonomes pour l'application aéronautique », Thèse En vue de l'obtention du doctorat, Génie électrique, Toulouse, 2011.
- [8] AMARA Sayad, OUADA Amine, « Etude et simulation d'une cellule photovoltaïque », Mémoire d'obtention du diplôme de master académique en télécommunication, El Oued, 2016.
- [9] SOUMAILA DAN BARIA Abdoul Hamid, « Expertise et Cotation d'un système photovoltaïque hybride pour l'alimentation en électricité du CSPS de KOLLO », Rapport de fin d'études, Systèmes énergétiques électriques, le Havre, 2020.
- [10] BRESSAN Michael, « Développement d'un outil de supervision et de contrôle pour une installation solaire photovoltaïque », mémoire doctorat, Science de l'ingénieur, Université de Perpignan, 2014.
- [11] Luc MOREAU, « Modélisation, Conception et commande de génératrices à reluctance variable basse vitesse », Energie électrique, Université de Nantes, 2005.
- [12] HOCINI Yacine, « Commande d'une génératrice pour énergie éolienne », Mémoire magister, Automatique et informatique industrielle, Oran, 2013.
- [13] MEKKAOUI Naïma, « Contribution à la modélisation et à la commande d'une minicentrale éolienne à base de machines à induction simple et double alimentée », Mémoire de magister, Electrotechnique, Maîtrise d'énergie et énergies renouvelables, Batna, 2004.



- [14] DOMINIQUE Guérette, « Asservissement d'une éolienne a vitesse variable et a pas fixe dans le cadre d'un système de jumelage éolien-diesel a haute pénétration », mémoire pour l'obtention du grade de maître en sciences appliquées (M.Sc.A.), QUÉBEC, 2010.
- [15] A. LEBSIR, A. BENTOUNSI, Mohamed BENBOUZID, H. MANGEL, « Electric generators fitted to wind turbine systems: An up-to-date comparative study », Journal of electrical systems, ESR groups, 2015.
- [16] Armand BOYETTE, « Contrôle-commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec système de stockage pour la production éolienne », Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2006.
- [17] BRESSAN Michael, « Développement d'un outil de supervision et de contrôle pour une installation solaire photovoltaïque », mémoire doctorat, Science de l'ingénieur, Université de Perpignan, 2014.
- [18] BOUKHLIFA Hamza, « Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque De 300kw », Mémoire master, Génie Electrique, Machines Electriques, université de Mohamed Bougara-Boumerdes, 2017.
- [19] HANKINS Mark, « Stand-alone solar electric systems: the Earthscan expert handbook for planning, design and installation », Routledge, 2010.
- [20] HANKINS Mark, « Installations solaires photovoltaïques autonomes: conception et installation d'unités non raccordées au réseau », Dunod, 2012.
- [21] LUDMIL Stoyanov, « Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables », mémoire doctorat, Energie électrique, Université Pascal Paoli, 2011.
- [22] A. Kaabeche, M. Belhamel, R. Ibtouen, S. Moussaet, M. R. Benhaddadi, « Optimisation d'un système hybride (éolien-photovoltaïque) totalement autonome », Revue des énergies renouvelables, Energies renouvelables, Algérie, canada, 2006.
- [23] Mehdi TURKI, Jamel BELHADJ, Xavier ROBOAM, « Analyse des performances d'un processus de dessalement par « osmose inverse » alimenté par un système hybride (PV-Eolien) sans stockage électrochimique », article, Energie renouvelable, Tunis, Toulouse, 2007.

# Chapitre III

## Les systèmes hybrides raccordés au réseau

## Introduction

Les problèmes d'approvisionnement énergétique rencontrés dans le monde ne sont pas seulement en raison de la destruction de l'environnement et du changement climatique qui en résulte, mais aussi en raison de l'augmentation de la consommation et de la tarification des ressources fossiles. Une La consommation mondiale augmente, notamment en électricité et La tendance à la libéralisation entraîne des changements spectaculaires dans le domaine du réseau d'approvisionnement et le remplacement des parcs de centrales électriques. Des conséquences pour le moins inquiétantes affectant la disponibilité et la qualité des produits vitalité. C'est pourquoi les solutions recherchées doivent être techniquement réalisables tout en répondant aux exigences de durabilité.

Dans ce chapitre, une recherche descriptive générale sur les différents systèmes connectés au réseau est présentée et la composition de chaque système.

### III.1 Réseau électrique

#### III.1.1 Définition

Un réseau électrique est un ensemble d'infrastructure énergétiques plus ou moins disponibles constitué par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis la centrale de génération jusqu'aux clients les plus éloignés.

Le réseau électrique a pour fonction d'interconnecter les centres de production tel que les centrales hydraulique, thermiques. Ont des centres de consommation (ville, usine.....).

L'énergie électrique est délivrée à haute voire très haute tension pour limiter les pertes joules (les pertes sont proportionnelles au carré de l'intensité) puis progressivement ramenée au niveau de tension de l'utilisateur final grâce aux transformateurs [1].

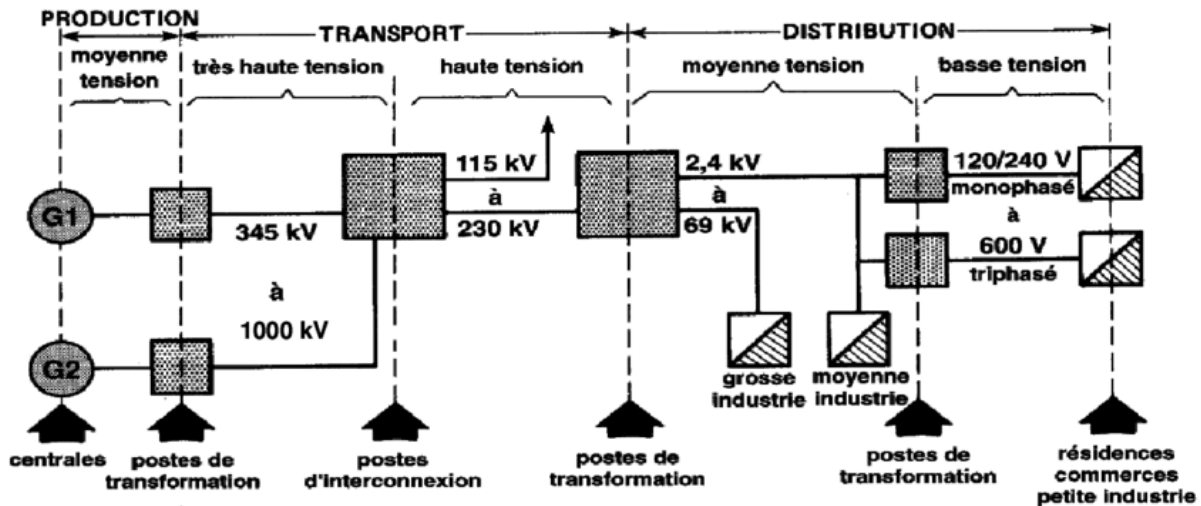


Figure III. 1: organisation d'un réseau électrique

### III.1.2 Production d'énergie électrique

Le centre de production est l'élément de base de l'organisation des moyens de production. Une centrale peut regrouper plusieurs unités sur un même site production, généralement avec la même technologie et la même puissance. Il se compose d'un Les ensembles d'éléments qui interagissent les uns avec les autres sont les alternateurs et les éléments de commandes. L'électricité est produite à des tensions entre 5000 et 24000V. Cette tension est insuffisante pour assurer un transport économique et a été portée à Valeurs entre 63 et 400KV pour les transformateurs situés dans les postes de départ est à proximité de l'usine [2].

### III.1.3 Centrale électrique

Il existe cinq types de centrales électriques:

#### III.1.3.1 Centrale thermique :

Les centrales thermiques produisent de l'électricité en libérant de la chaleur Combustion de charbon, fioul ou gaz naturel [3].

On les trouve souvent près des rivières, des lacs et des océans en raison de la grande quantité d'eau nécessaire refroidit et condense la vapeur sortant de la turbine. La combustion dégage beaucoup de chaleur, qui est utilisée pour chauffer l'eau d'une chaudière (ou d'un générateur de vapeur).

### III.1.3.2 Centrale nucléaire

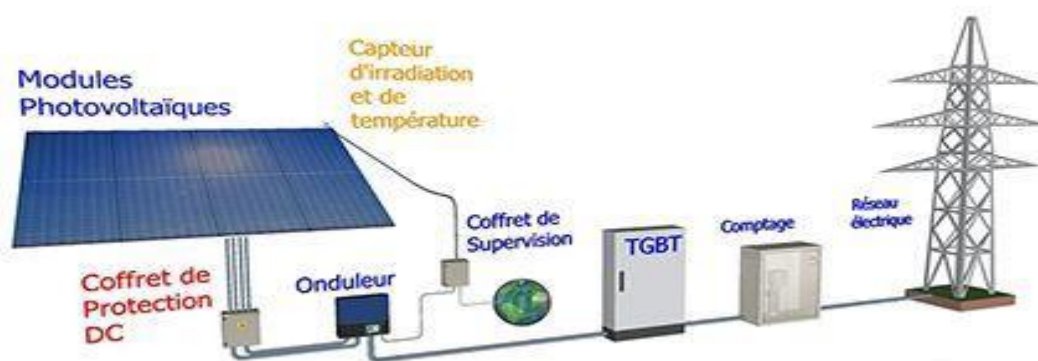
Les centrales nucléaires utilisent la chaleur dégagée par les réactions nucléaires pour produire de l'électricité. Ce phénomène est causé par la fission des noyaux atomiques, un processus appelé fission nucléaire. Les centrales nucléaires génèrent des déchets radioactifs et créent un risque d'accident.

### III.1.3.3 Centrale hydroélectrique

Une centrale hydroélectrique convertit l'énergie de l'eau courante en énergie électrique. L'énergie générée par la chute d'eau est d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. La turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est convertie en énergie électrique.

### III.1.3.4 Centrale photovoltaïque

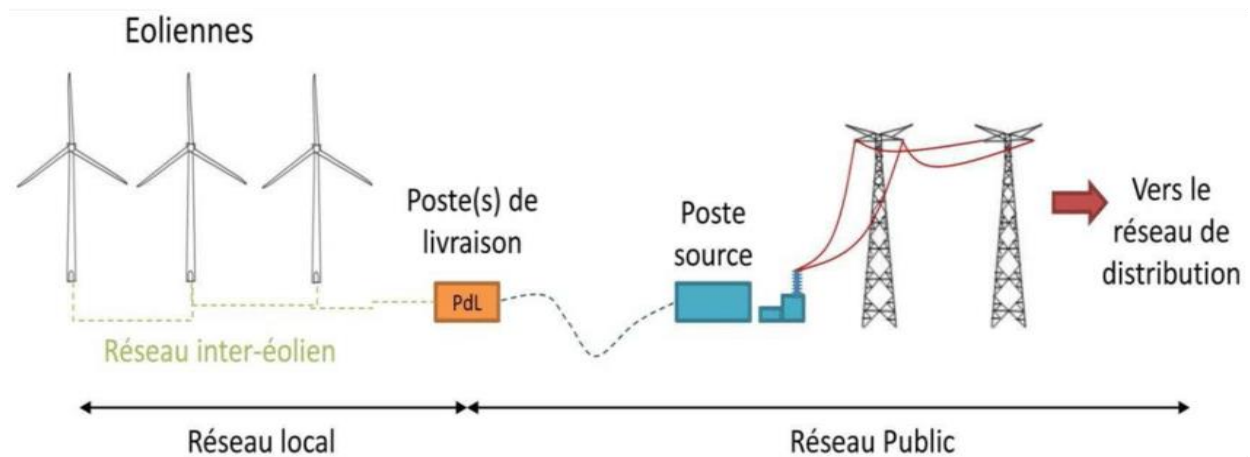
Le premier procédé consiste à exploiter l'énergie solaire pour générer de l'électricité en utilisant les rayons du soleil, qui sont directement convertis en courant électrique par des cellules à base de silicium ou d'autres matériaux ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule fournit une basse tension et les cellules sont assemblées dans le panneau. Un autre processus utilise des miroirs pour concentrer le flux d'énergie vers un point focal où l'eau est pulvérisée pour entraîner un alternateur.



**Figure III. 2:** Schéma de principe d'un générateur photovoltaïque

### III.1.3.5 Centrale éolienne

Les éoliennes convertissent la force de translation du vent en puissance de rotation. L'alternateur est Couplé mécaniquement à l'arbre des pales (rotor) pour générer des tensions triphasées. Un dispositif La régulation permet d'obtenir une vitesse de rotation constante compatible avec la fréquence du réseau (50Hz).



**Figure III. 3:** Schéma de principe d'une production éolienne

### III.1.4 Les différents types de réseaux

Suivant le chemin de l'énergie, de la production à l'utilisation, il existe différents types de réseaux dont les missions sont parfaitement définies par [2], [4] :

#### III.1.4.1 Réseaux d'interconnexion et de transport

Ces réseaux assurent le transport et l'interconnexion THT et HT sur les points de consommation et de distribution. Ces réseaux comprennent Usines de production mais aussi lignes de production et sous-stations, leur rôle est de collectée et distribuée l'énergie générée par les centrales électrique.

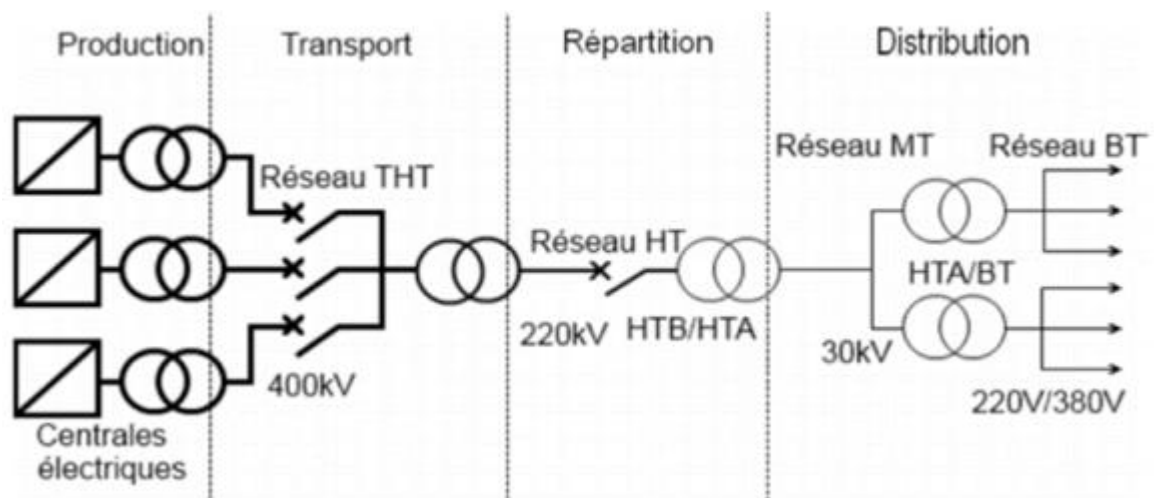
#### III.1.4.2 Réseaux de répartition :

Ces réseaux comprennent des lignes de transport et des postes de transformations intermédiaires entre les réseaux de transport et de distribution. Ce sont des réseaux à haute tension dont le rôle est de distribuer l'énergie électrique au niveau régional. Ils peuvent être aériens ou souterrains [2], [4].

### III.1.4.3 Réseaux de distribution et de livraison

Leur rôle est de fournir l'électricité nécessaire au réseau de l'utilisateur. Ils utilisent deux tensions:

- Lignes moyenne tension (MT ou HTA) alimentées par des postes HT/MT et Fournit de l'électricité directement aux gros consommateurs Ou dans divers postes MT/BT.
- Fournir aux utilisateurs des lignes basses tension monophasées ou triphasées. Le réseau moyenne tension fait en effet partie de l'ensemble du réseau de distribution.



**Figure III. 4:** Schéma générale de production, transport et distribution de l'énergie électrique.

### III.1.5 Constitution des réseaux électriques

#### III.1.5.1 Postes électriques

Les postes électriques peuvent ajuster la tension en fonction des lignes et du réseau, mais aussi à diriger l'électricité et de la "surveiller" à distance sur les différentes lignes qu'elle emprunte. Les postes d'interconnexion, les postes de transformations et les postes mixtes [2], [5].

- **Postes d'interconnexion:** Qui comprennent à cet effet un ou plusieurs points communs triphasés appelés jeu de barres, sur lesquels différents départs (lignes, transformateurs, etc.) de même tension peuvent être aiguillés.
- **Postes de transformations:** Un poste de transformation est un local qui abrite des transformateurs, des dispositifs de protection (disjoncteurs, sectionneurs, parafoudres,

etc.), et des appareils de mesure et de contrôle. Permet de passer d'un niveau de tension d'entrée donné à un niveau de tension de sortie qui peut être supérieur (on dit alors transformateur élévateur) ou inférieur (abaisseur).

- **Les postes mixtes:** Les localisations mixtes, le plus souvent, assurent des fonctions et comprennent en outre une ou plusieurs étages de transformation.

### III.1.5.2 Les différents éléments du poste

#### a. Transformateur de puissance

Un transformateur de puissance est un appareil électrique indispensable au fonctionnement du réseau électrique ou Un dispositif statique à deux enroulements ou plus, qui convertit un système de tension et de courant alternatif en un autre système de valeurs généralement différentes de tension et de courant, à la même fréquence, pour la transmission de puissance électrique. Il peut être monophasé ou triphasé.

#### b. Transformateurs de mesure

- **Transformateur de courant:** est un transformateur de mesure dans lequel le courant secondaire est dans les conditions normales d'utilisation, est en fait proportionnel au courant primaire et déphasé par rapport à celui-ci Pour une bonne orientation de la connexion l'angle est proche de zéro [6].
- **Transformateur de tension :** est un transformateur de mesure, où Dans des conditions normales d'utilisation, la tension secondaire est en fait proportionnelle à la tension primaire et déphasée par rapport à la tension primaire d'un angle proche de zéro pour s'adapter à la bonne orientation de connexion. Ils ont de types, selon leur raccordement :
  - Phase/phase : primaire raccordé entre deux phases.
  - Phase/terre : primaire raccordé entre une phase et la terre.

#### c. Disjoncteur

Un disjoncteur est un appareil qui interrompt les courants importants, qu'il s'agisse courant normal ou courant de défaut. Il peut donc agir comme un gros interrupteur, Commande sur place par un bouton poussoir ou télécommande. Donc, ils protègent le réseau des éventuelles surcharges causées par les courants de défaut (foudre, allumage de branche d'arbre) et les forts courants de court-circuit [1].



#### **d. Sectionneurs**

Un sectionneur est un appareil destiné à ouvrir ou fermer un circuit à vide, Ils n'ont pas de dispositif d'extinction d'arc. Les sectionneurs contiennent un ou trois pôles principaux portés par des isolateurs, un mécanisme de commande, châssis et contacts auxiliaires. Ils sont utilisés pour réparer et isoler, par exemple, les lignes et les disjoncteurs des autres parties de réseau. [1]

#### **e. Fusible**

Un fusible est un dispositif qui, en fusionnant un ou plusieurs de ses éléments, conçu et Calibré à cet effet, en interrompant le courant lors de l'ouverture du circuit dans lequel il est installé Cela dépasse la valeur donnée assez longtemps [7].

#### **f. Jeux de barres**

Dans la distribution d'énergie, le jeu de barres est une partie importante de chaque poste, c'est un système de trois conducteurs en tube et parfois des barres plates. Il est utilisé pour établir des connexions entre les connexions arrivées et départs des postes, chaque branche est reliée au bus par un dispositif de déconnexion, il peut être déconnecté du réseau en cas de panne [5].

#### **g. Isolateurs**

Chaînes d'isolateurs, généralement en verre, pour le support et la fixation. D'une part, les conducteurs sous tension, d'autre part, pour assurer l'isolation électrique entre pylônes et conducteurs. Les isolateurs doivent avoir une résistance d'isolement élevée afin d'Ils ne contournent pas la surface ni ne traversent la masse qu'ils doivent traverser le Support [1].

#### **h. Parafoudres**

Les parafoudres sont des dispositifs utilisés pour limiter les surtensions imposées par la foudre et les manœuvres sur les transformateurs, les instruments et les moteurs. La partie supérieure du parafoudre est reliée à l'un des conducteurs de la ligne protégée, et la partie inférieure est connectée au sol par une mise à la terre de faible résistance, généralement inférieure à un ohm [1].

#### **i. Eclateurs**

Un éclateur est un dispositif simple composé de deux électrodes, la première reliée à un conducteur protection, la seconde reliée à la terre. Lorsqu'ils sont installés dans un réseau, les

éclateurs représentent un point faible pour que les surtensions parviennent à la terre et protègent ainsi les équipements.

#### **j. Supports**

La fonction du support est de maintenir le câble à une distance minimale de sécurité du sol, et les obstacles environnants pour assurer la sécurité des personnes et des installations à proximité de la ligne. Les supports ont été choisis en fonction des lignes à construire, de leur environnement et des contraintes mécaniques liées au terrain et aux conditions climatiques de la zone [3].

### **III.1.5.3 Les lignes électriques**

#### **a. Les lignes de transport THT**

Ce sont les lignes qui permettent de transporter de grandes quantités d'électricité sur de longues distances avec des pertes minimales et reliant les centrales éloignées aux centres d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs de 1000 km et elles fonctionnent à une tension 400 KV [7].

#### **b. Les lignes de transport HTB**

Constituent le réseau de répartition ou d'alimentation régionale et permettent la transmission au niveau régional ou local. Elles livrent de l'électricité aux gros consommateurs d'électricité tels que l'industrie lourde, le transport ferroviaire, et se connectent à un deuxième réseau. Elles sont disponibles en 63 ou 90 kV.

#### **c. Les Lignes de distribution HTA**

Permet de fournir de l'électricité aux petites industries au niveau local. Elles ont également établi le lien entre les clients et les postes de transformations. La tension de ces lignes est comprise entre 15 kV et 30 kV.

#### **d. Les lignes de distribution BTA**

Est la ligne la plus courte du réseau. Ils sont soit en 230V soit en 400V. Ce sont ceux que nous utilisons quotidiennement pour alimenter nos appareils électroménagers. Ainsi, ils permettent la distribution de l'énergie électrique aux ménages et aux artisans.

### III.1.5.4 Les différentes lignes électriques

#### a. Les lignes aériennes

Pour transporter le courant, on utilise des câbles conducteurs portés par le pylône. Cette Avec un courant triphasé, il y a trois conducteurs de câble (ou faisceau de câbles) par circuit. Ces lignes sont soit simple (un circuit), soit double (deux circuits par fil de pylône).. Le conducteur est généralement utilisé Alliages d'aluminium ou d'aluminium et d'acier ; également conducteurs constitués d'âmes L'acier central est un fil toronné en aluminium tressé [8].

#### b. Les lignes souterraines

Un câble de haute tension est un câble utilisé pour transmettre de l'énergie électrique, soit en courant alternatif, soit en courant continu.

#### c. Cable de Garde

Placé sur le conducteur Lignes aériennes à haute tension. Ils agissent comme des paratonnerres au-dessus de la ligne, attirant les coups de foudre et empêchant les conducteurs d'être abattus. Ils sont généralement en acier.

### III.1.6 Grandeurs électriques importantes

Les grands réseaux nécessitent une surveillance constante de certains paramètres afin de maintenir le réseau et les installations de production et de consommation qui y sont raccordées dans la zone d'utilisation prévue. Les principales grandeurs à surveiller sont la fréquence, la tension, le courant de fonctionnement et la puissance de court-circuit [4].

#### III.1.6.1 Surveillance de la tension

Les grands réseaux ont plusieurs niveaux de tension. Chaque classe de tension est conçue pour une plage d'utilisation bien spécifique. Des tensions légèrement plus élevées peuvent entraîner une usure prématurée des équipements, et franchement peuvent provoquer une "panne" d'isolation si la tension est trop élevée (comme c'est le cas avec les câbles souterrains, les câbles domestiques ou les isolateurs de lignes électriques). De très fortes surtensions (par exemple causées par la foudre) sur des conducteurs "nus" qui sont sans isolation (ce qui est le cas pour les lignes électriques) peuvent provoquer des contournements avec des objets proches, par ex. des arbres.

A l'inverse, une tension trop faible par rapport à la plage spécifiée provoquera de nombreux appareils tombent en panne, soit dans les locaux du consommateur, soit dans le réseau lui-même (panne de protection). De plus, les tensions Le faible niveau du réseau de transport d'électricité est la cause d'accidents majeurs responsable de la fermeture de millions de foyers.

### **III.1.6.2 Problématique de l'intensité**

L'intensité est un paramètre de surveillance particulièrement important car elle peut endommager des équipements coûteux (transformateurs et câbles), ou Atteinte à la sécurité des biens et des personnes (dans le cas des lignes aériennes).

Le problème causé par des intensités trop élevées (c'est-à-dire une puissance d'émission élevée) est un échauffement Joule important (échauffement des câbles, transformateurs, les lignes aériennes)

### **III.1.6.3 Intensité de court-circuit**

Le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) est une grandeur théorique qui correspond au courant mesurable lorsqu'un point du réseau est directement relié à la terre.

Cependant, les réseaux électriques présentent un grand intérêt pour avoir des  $I_{cc}$  élevés. En effet, cela permet Supprimer la perturbation des grandes émissions industrielles, ainsi que réduire Chute de tension lors d'un court-circuit du réseau.

## **III.2 Grid- photovoltaïque**

Au fil du temps, les systèmes connectés au réseau réduiront la nécessité d'augmenter la capacité des lignes de transmission et de distribution. Les systèmes reliés au réseau génèrent leur propre électricité et transportent L'énergie excédentaire peut être fournie au réseau selon les besoins. Ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir des batteries. Peut toujours les utiliser pour servir Alimentation de secours en cas de panne de courant.

Les petits systèmes ont une boîte qui contient un petit convertisseur synchrone coordonné au réseau monté à l'arrière de chaque panneau. Les grands systèmes ont un grand onduleur qui peut être connecté à plusieurs panneaux (comme les systèmes non connecté).

Ces deux appareils convertissent le courant continu en courant alternatif, ils Synchroniser le courant de sortie avec le courant de sortie du réseau pour ralentir le compteur. Si la puissance

de sortie du système photovoltaïque est inférieure à la consommation, le compteur ralentira. Inversement, s'il le dépasse, Le compteur compte à rebours et accumule des crédits. Ce crédit peut être utilisé pour les services de livraison lorsque le soleil n'est pas présent. Autrement dit, le réseau de distribution remplace une infinité de batteries [9].

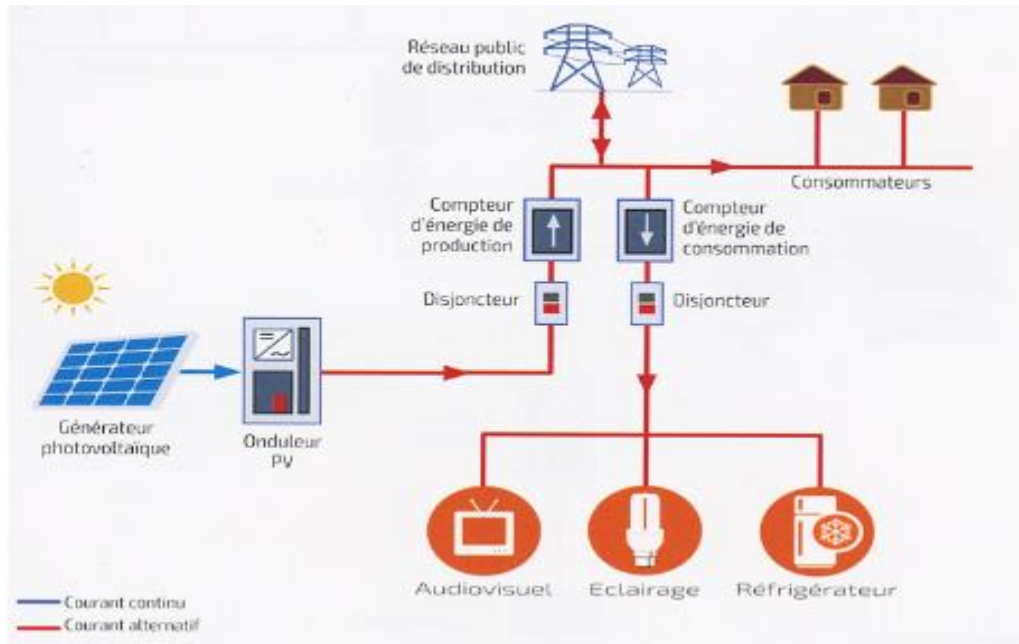


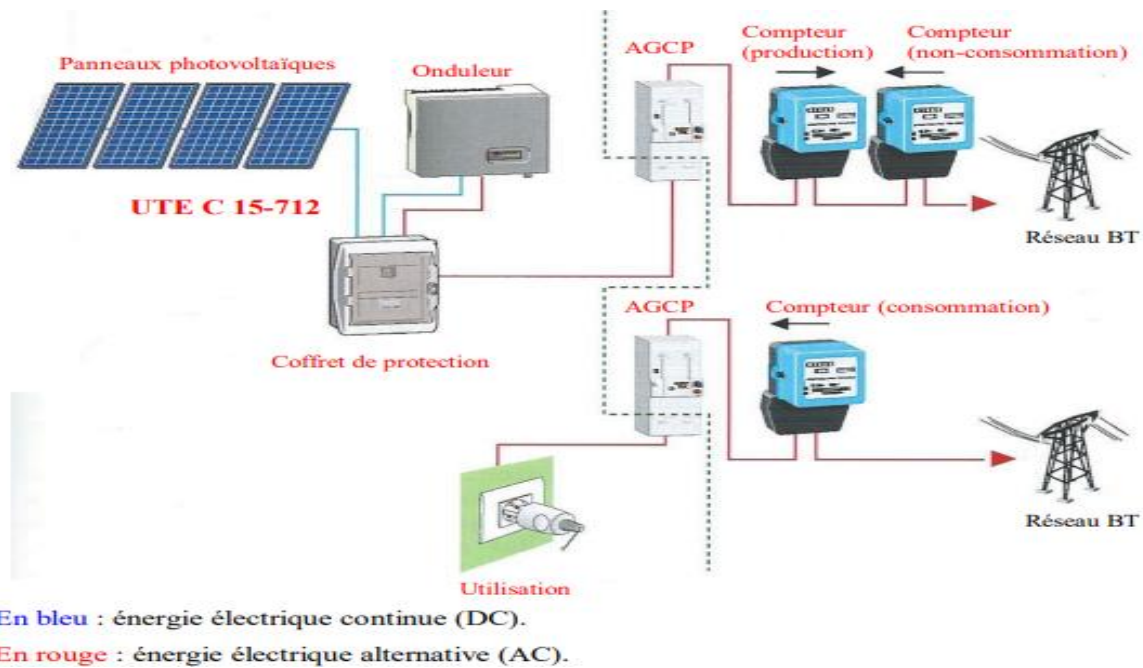
Figure III. 5: Installation photovoltaïque raccordée au réseau

### III.2.1 Compteur photovoltaïque

#### III.2.1.1 Injection totale

Toute l'énergie électrique générée par les capteurs photovoltaïques est envoyée sur le réseau de distribution pour être revendue. La solution fonctionne en se connectant au réseau public en deux points [4]:

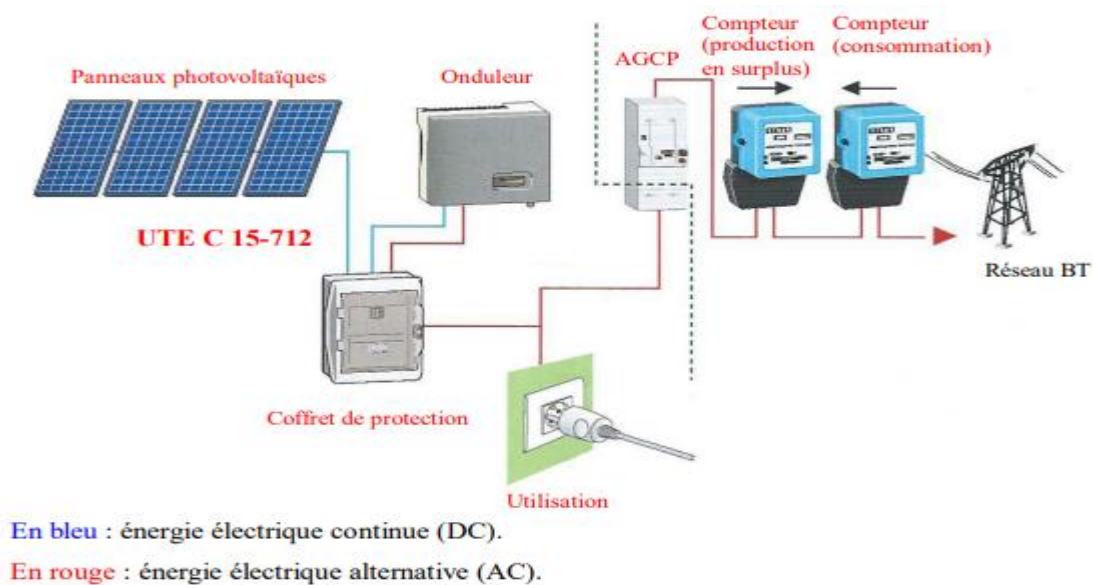
- Le raccordement du consommateur est cohérent avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser son propre produit).
- Le nouveau raccordement qui permet l'injection de toute la production dans le réseau comporte deux compteurs :
  - Un pour la production ;
  - Autre pour la non-consommation (permet de vérifier qu'il n'y a pas de prélèvements frauduleux pas mis en œuvre).



**Figure III. 6:** Installation avec injection totale de la production photovoltaïque.

### III.2.1.2 Injection de surplus

La solution est obtenue en se connectant au réseau public à un certain point, l'utilisateur consomme l'énergie qu'il génère à travers le système solaire et injecte l'énergie excédentaire dans le réseau. Lorsque la production d'énergie photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant. [4]



**Figure III. 7:** Installation avec injection du surplus de la production photovoltaïque.

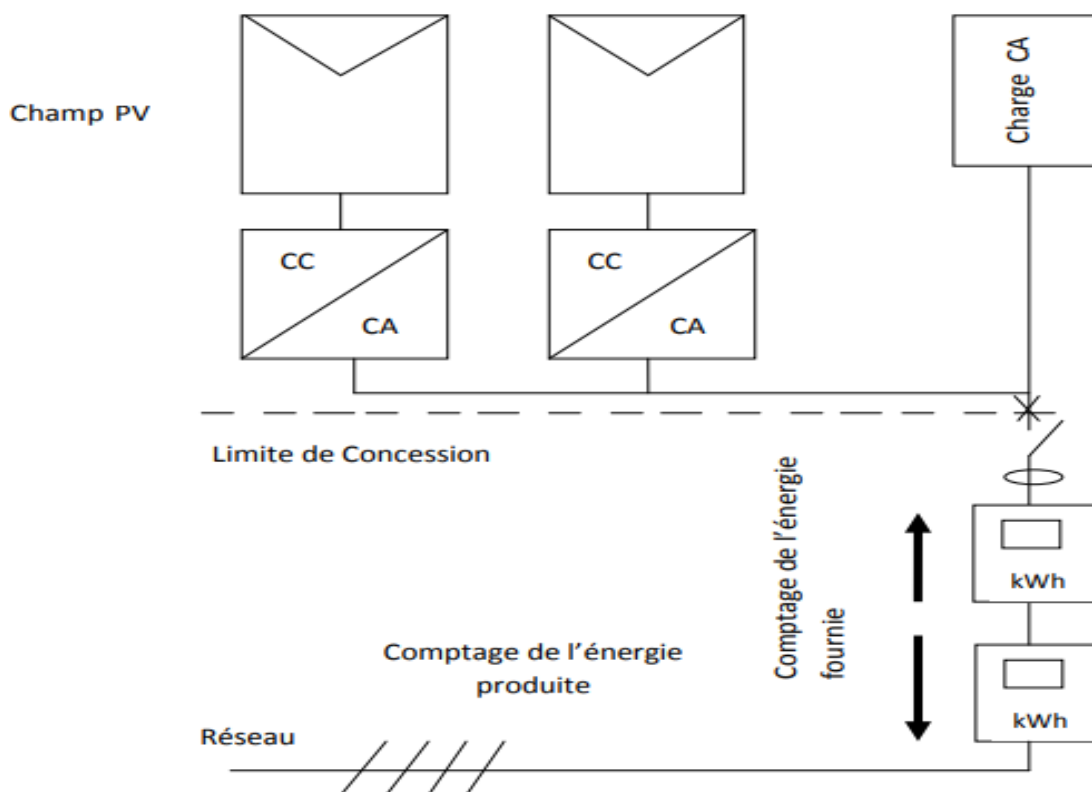
### III.2.2 Installations photovoltaïques raccordées au réseau

De tels systèmes sont installés sur des sites raccordés au réseau (Sonelgaz, Algérie). Habituellement dans une maison ou une entreprise qui veut utiliser le formulaire Énergie renouvelable et bénéficie d'un bon ensoleillement. Les générateurs photovoltaïques connectés au réseau ne nécessitent pas de stockage d'énergie Éliminant ainsi les liens les plus problématiques (et coûteux) [10].

On distingue divers types d'installations PV raccordées au réseau:

#### III.2.2.1 Installation PV raccordée au réseau avec injection des excédents de production

Les clients consomment une partie de leur produit et injectent le reste dans le réseau. Lorsque la consommation dépasse la production, les clients retirent leur solde du réseau. L'unité est équipée de deux compteurs, l'un mesurant l'énergie extraite du réseau lorsque la consommation dépasse la production (un compteur soutirage), une autre mesure l'énergie injectée dans le réseau (compteur d'injection) [11].

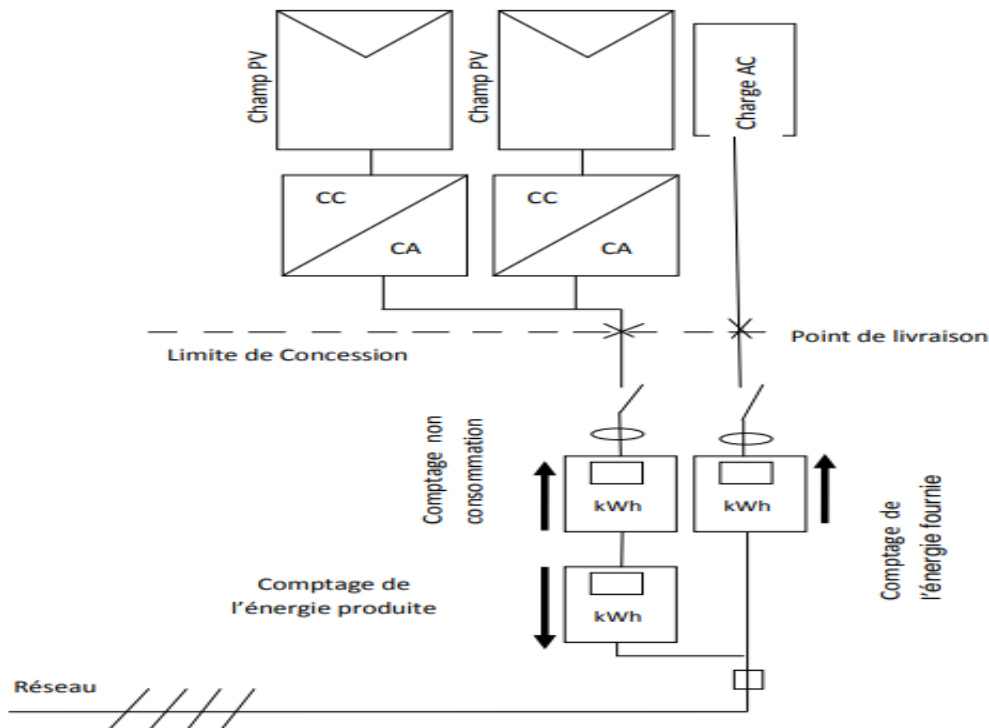


**Figure III. 8:** Schéma de principe de la configuration avec injection des excédents de production

### III.2.2.2 Installation PV raccordée au réseau avec injection totale de l'énergie produite

Le champ PV est connecté au réseau via un point de livraison différent du point pour les demandes de retrait du producteur. Les producteurs peuvent injecter toute l'énergie produite et extraire toute l'énergie nécessaire à la consommation du réseau.

Le raccordement de production est constitué de deux compteurs installés bout à bout (production et consommation des équipements de la chaîne photovoltaïque) dont l'un est chargé de l'énergie de la source photovoltaïque afin de mieux appréhender leur utilisation Production (comptage de l'énergie produite par le client) et un autre pour le calcul de l'énergie achetée au fournisseur et consommée par le récepteur Installation (compteur électrique fourni au client) [11].

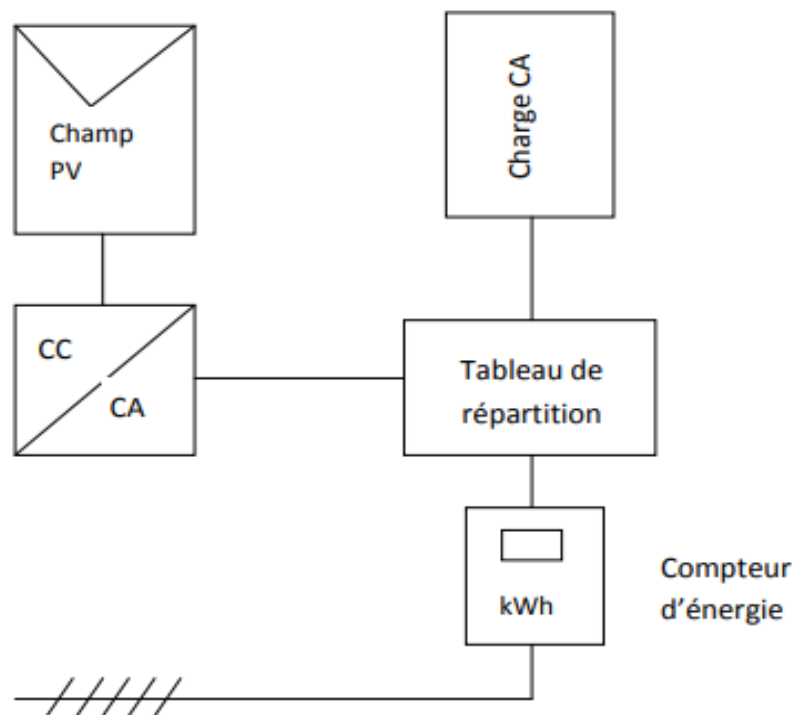


**Figure III. 9:** Schéma de principe de la configuration d'injection totale d'énergie.



### III.2.2.3 Installation PV raccordée au réseau sans injection

Les installations photovoltaïques résidentielles pouvant être raccordées au réseau sans injection de production constituent un cas particulier. L'énergie générée par le système photovoltaïque est utilisée pour son propre usage, au cas où la production d'énergie photovoltaïque du petit système serait insuffisante. L'énergie extraite du réseau comble le manque d'énergie consommée [11],[12].



**Figure III. 10:**Schéma de principe de la configuration sans injection de l'énergie.

### III.2.3 Les systèmes PV connectés au réseau sans batterie de stockage

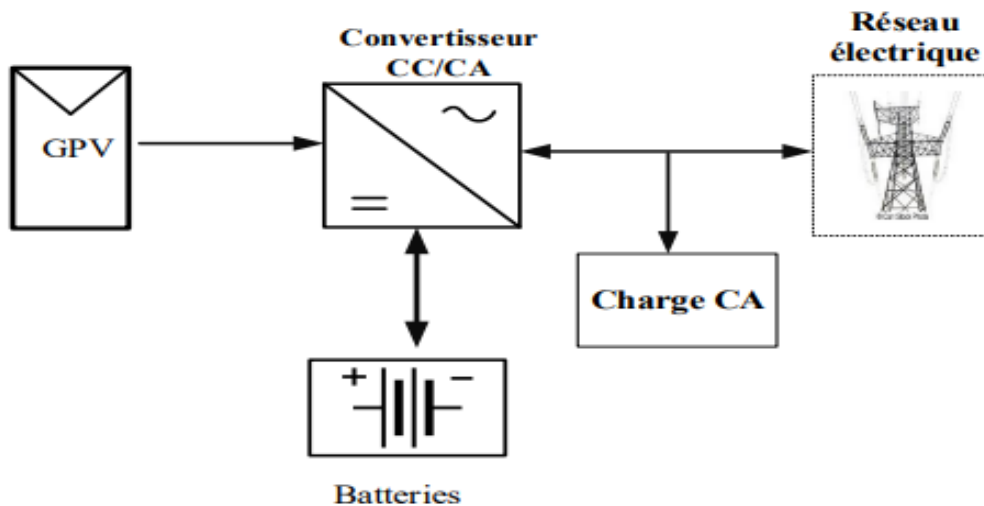
Ces systèmes sont conçus pour fonctionner en parallèle avec le réseau public et pour être connectés les uns aux autres. Le composant principal d'un tel système est l'onduleur. Il convertit le courant continu (DC) obtenu par les modules photovoltaïques en alimentation alternative tout en respectant les conditions de tension et de puissance de l'alimentation exigentes par le réseau, peut s'arrêter automatiquement lorsque le réseau ne fonctionne pas [13].

Cela permet de générer de l'électricité alternative à partir de systèmes photovoltaïques, ou en fournissant toutes les charges électriques directement, ou en injectant le surplus de puissance

(PV) dans le réseau lorsque on est plus besoin. La nuit ou en cas de faible ensoleillement dans les périodes où la demande des consommateurs est supérieure à la production (PV), le réseau fournit l'appoint nécessaire pour atteindre un bilan énergétique [7].

### III.2.4 Les systèmes PV connectés au réseau avec batterie

On rencontre système PV raccordé au réseau avec stockage. Cette topologie dispose d'un système de stockage utilisable en cas de panne du réseau. L'énergie produite est fournie aux utilisateurs sur site, le reste sera stocké dans des batteries jusqu'à sa limite de charge, puis le reste sera injecté dans le réseau. Si la production et le stockage sont insuffisants pour alimenter toutes les charges, utiliser le réseau public [14].



**Figure III. 11:** Les systèmes PV connectés au réseau avec batterie.

### III.2.5 Technologies des onduleurs couplés au réseau

Les onduleurs connectés au réseau sont utilisés dans les installations photovoltaïques. Il permet convertir le courant continu généré par le module solaire en un courant ondulatoire répondant aux conditions suivantes : celui du réseau. Il adapte également le courant généré à la fréquence et à la tension du réseau. L'installation de l'onduleur couplé au réseau est effectuée avec l'accord de l'autorité de distribution d'électricité. Pour des raisons de sécurité, les onduleurs couplés au réseau doivent surveiller en permanence ces perturbations et interrompre immédiatement l'injection en cas de défaut, panne ou interruption. Ceci est absolument nécessaire pour permettre une intervention sans intervention cyber-danger [15].

### III.2.5.1 Onduleurs modulaires (module inverter)

Suivant ce concept, chaque module solaire a un onduleur séparé à côté de la boîte de jonction. Pour les installations plus importantes, tous les onduleurs sont mis en parallèle du côté de courant AC. Les onduleurs modulaires sont installés à proximité des modules solaires correspondants [16].

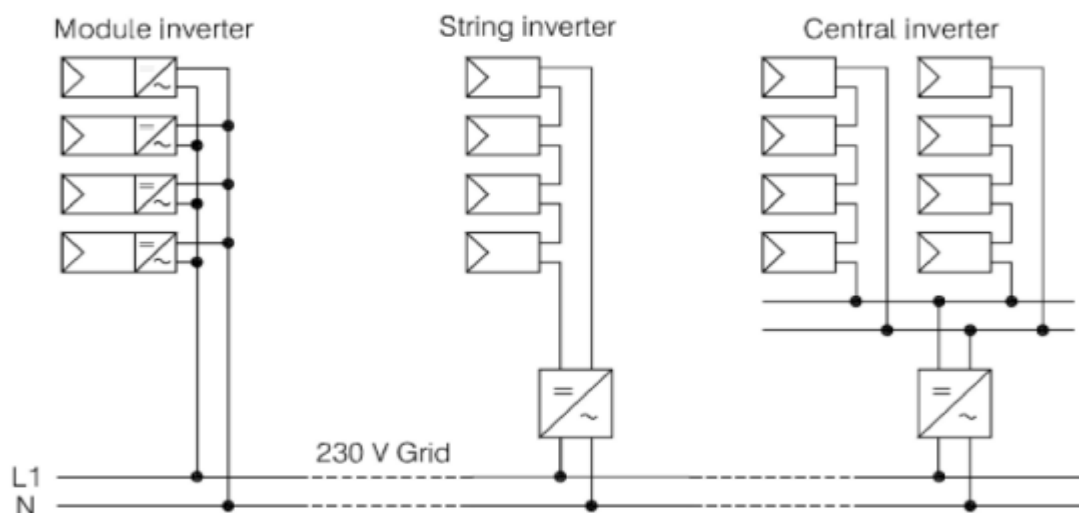
### III.2.5.2 Onduleurs centralisés (central inverter)

Un onduleur centralisé de forte puissance convertit tout le courant continu généré par le champ solaire en courant alternatif. Les champs de cellules solaires se composent généralement de plusieurs rangées en parallèle. Chaque rangée elle-même se compose de plusieurs modules solaires connectés en série. Pour éviter les pertes dans le câble et obtenir un rendement élevé, connectez autant de modules que possible en série [16].

### III.2.5.3 Onduleurs de string «de Rangée »

Dans la plupart des cas ce type de L'onduleurs est le plus utilisés, huit ou plus modules solaires sont connectés en série. Les coûts d'installation sont réduits car une seule connexion série est nécessaire. Les installations jusqu'à 3 kW sont souvent réalisées avec des onduleurs string. Pour une puissance plus élevée, plusieurs onduleurs string peuvent être connectés en parallèle, côté AC.

L'avantage de ce concept est qu'un plus grand nombre d'onduleurs du même type peut être utilisé. Cela réduit les coûts de production et apporte un avantage supplémentaire : en cas de panne de l'onduleur, seule la production de la rangée concernée tombe en panne.



**Figure III. 12:** Classification des onduleurs PV connectés au réseau.

La principale différence entre les systèmes autonomes et connectés au réseau est la technologie des onduleurs. En fait, un onduleur SAPVS est un simple convertisseur DC/AC qui ajuste la tension, le courant et la fréquence en fonction des caractéristiques de la charge. D'autre part, lorsque le SPV est connecté au réseau, l'onduleur doit pouvoir se synchroniser avec les caractéristiques du réseau, c'est-à-dire la tension, la fréquence et le déphasage. Il doit être bidirectionnel pour pouvoir alimenter la charge DC du producteur en cas de pénurie. De plus, on peut rencontrer des systèmes dits hybrides, qui associent plusieurs générateurs en plus du GPV. Comme générateurs, nous pouvons avoir : des générateurs, des parcs éoliens, des réseaux publics de distribution.

**III.2.6 Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau**

Les Problème de connexion au réseau du système PV sont [17]:

- Le réseau tombe en panne (problème des îles).
- Protection contre la foudre.
- La qualité de l'énergie fournie au réseau.
- Influence des systèmes multiples sur des parties du réseau, en particulier les monophasés non équilibré.
- Mesure fiable des courants.
- Risques techniques et financiers.

**III.2.7 Avantages et inconvénients des systèmes connectés au réseau****III.2.7.1 Avantages**

- Aucun stockage d'énergie n'est nécessaire.
- Il n'y a pas de gaspillage - tout excédent est injecté dans le réseau.
- On n'est pas obligé de calculer soigneusement ses besoins en électricité et de prévoir des niveaux de consommation très élevés, même très rares.
- Nous pouvons répondre à tout ou partie de nos besoins [18].

**III.2.7.2 Inconvénients**

- On peut retomber dans le piège de la consommation inattentive à cause de La consommation risque qui a redevenir relativement "invisible".

- Les contraintes électriques imposées par les sociétés de services publics peuvent être sévères et les onduleurs synchrones doivent répondre aux exigences techniques des sociétés de production et de transmission.

### III.3 Grid-PV-éolienne

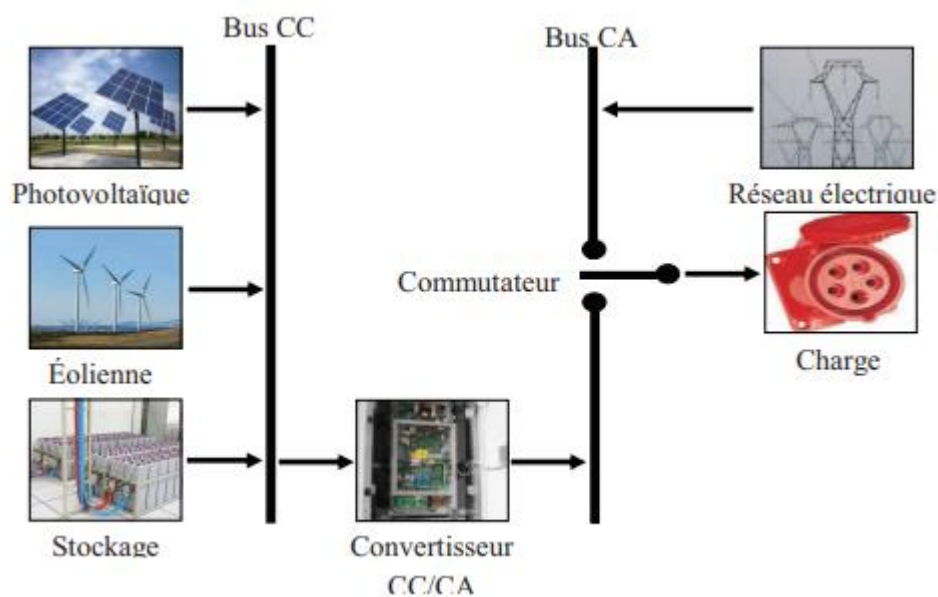
Au début du développement, les unités de production basées sur l'éolien et le photovoltaïque étaient de petite taille. Ces unités sont donc d'abord connectées au réseau de distribution, d'où le nom de production décentralisée. Au fur et à mesure que la technologie se développe, les unités de production deviennent de plus en plus grandes, Connectez-vous donc au réseau de transport [19].

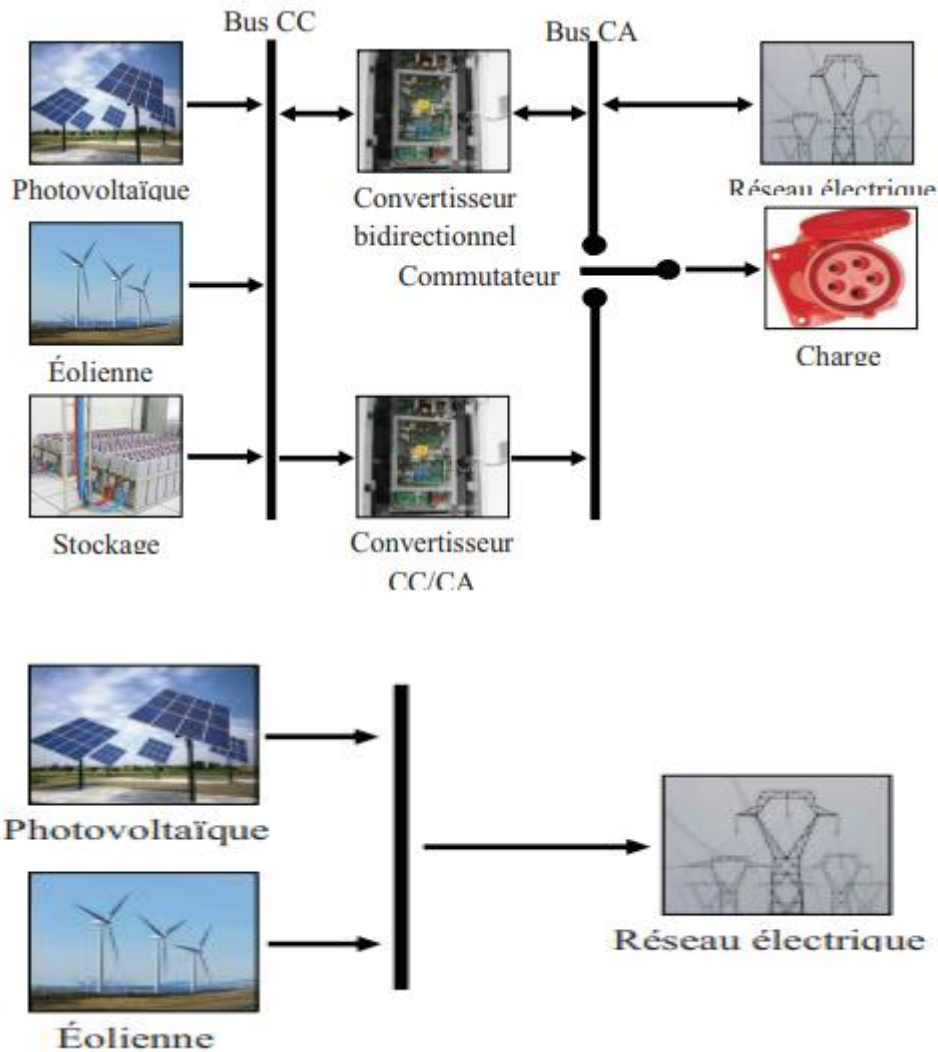
#### III.3.1 Configurations des systèmes photovoltaïque-éolienne connecté au réseau

Premièrement, la puissance de sortie peut être fournie par l'alimentation d'énergie renouvelable obtenue via le bus DC ou directement du réseau en cas de production insuffisante d'énergie renouvelable et d'épuisement de l'énergie stockée.

Deuxièmement, l'énergie produite est utilisée localement et le surplus d'énergie produite est injecté et vendue aux services publics.

La configuration finale est comme ça Production décentralisée raccordée au réseau de distribution ou production centralisée (raccordée au réseau de transport) [19].





**Figure III. 13:** Configurations des systèmes PV-éolienne connecté au réseau.

L'intégration massive de l'énergie éolienne et photovoltaïque dans le réseau va creuser l'écart entre l'offre et la demande. Car la plupart de ces énergies sont maîtrisées pour fournir un maximum de puissance au réseau. De plus, lors d'un défaut de court-circuit ou d'une baisse de tension sur le réseau, ces sources d'énergie sont rapidement déconnectées car elles n'ont pas la capacité de réguler leur production et de desservir le système électrique. Pour faciliter leur intégration, il faut disposer de ressources flexibles capables de combler l'écart entre l'offre et la demande.

### III.3.2 Problème de connexion des systèmes PV-éolienne au réseau

Les principaux problèmes liés à l'intégration de l'éolien et du photovoltaïque dans le réseau sont doubles [19] :

- Modifications de la production dues aux variations de l'énergie primaire.
- L'incertitude des prévisions météorologiques entraîne l'incertitude sur Production. Ce problème est plus prononcé dans l'énergie éolienne où les prévisions de vitesse du vent ne sont pas aussi fiables que Lumière du soleil.

Ces problèmes conduisent à modifier la structure du réseau et conduisent à définir des règles ou des conditions techniques de raccordement de la production au réseau. En fait, il s'agit d'un défi nouveau et important pour les administrateurs réseau [20].

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons pu faire la description des différentes installations raccordé au réseau (photovoltaïque et éolienne) ainsi qu'à la mise en évidence des principales composantes de cette installation, notamment l'étude des onduleurs et le réseau qui ont des rôles majeurs dans ce système.

## Références

- [1] Célia DJILI et Karima FAREB, « Etude d'impact d'une centrale photovoltaïque sur un réseau électrique », Thèse de doctorat, Mémoire de master en Génie Electrique, Université Mouloud Mammeri, 2017.
- [2] Centre Universitaire Nour El Bachir El Bayadh, Institut des Sciences, Département de Technologie, Support de Cours, Réseaux Electriques.
- [3] T. Tran-Quoc, C. Le Thi Minh, S. Bacha, C. Kieny, N. Hadjsaid, C. Duvauchelle, A. Almeida, « Local voltage control of PVs in distribution networks », CIRED, Prague, Czech Republic, 2009.
- [4] Sofiane FELLOUAH, Siham MESBAHI, « étude d'un système photovoltaïque connecté au réseau », Mémoire de master en Génie Electrique, 2015.
- [5] T. Tran-Quoc, H. Colin, C. Duvauchelle, B. Gaidon, C. Kieny, C. Le-Thi-Minh, S. Bacha, Saddek, G. Moine, Y. Tangui, « Transformer less inverters and RCD: what's the problem », 25th EUPVSEC, Valencia, Spain, 2010.
- [6] T. Tran-Quoc, C. Le Thi Minh, S. Bacha, C. Kieny, « Behaviour of Grid-Connected Photovoltaic Inverters in Islanding Operation », IEEE Power Tech, Trondheim, Norvege, 2011.
- [7] BENAZA Zohir, AHMED BENCHAID Abdel sámí, « Etude de fonctionnement d'un réseau électrique hybride Dans un réseau avec un réseau local », Mémoire de fin d'étude Pour l'obtention du diplôme de master, 2021.
- [8] Dr. AOUZELLAG LAHAÇANI Narimen, « réseaux électriques », Faculté de technologie département de génie électrique laboratoire de maîtrise des énergies renouvelables.
- [9] MUHOZA Béni Trésor, « Etude d'un système solaire photovoltaïque: cas de l'installation au C.H.U.K », Mémoire présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du grade de licencié en sciences physiques, Physique fondamentale et appliquée, Bujumbura, 2015.
- [10] M. BOUKLI-HACENE Omar, « Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique », Mémoire de magister, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, 2011.
- [11] BENCHERIF Mohammed, « Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension », Thèse de doctorat en Physique, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, 2014.
- [12] MOINE Gérard, « L'énergie solaire photovoltaïque (PV): une filière compétitive en site isolé », 2018.
- [13] N. Benamrouche, L. Hassaine, « Etude d'un système photovoltaïque connecte au réseau », Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électrotechnique, Réseaux électriques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2008.
- [14] Isaac AMOUSSOU, « Dimensionnement technico-économique d'une centrale de production d'énergie solaire photovoltaïque connectée au réseau : application à la commune de Kandi », Mémoire



de formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Contrôle de processus industriels, Université D'Abomey-Calavi, 2016.

[15] A. Oi, « Design and simulation of photovoltaic water pumping system », Partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in electrical engineering, Faculty of California polytechnic state University, San Luis Obispo, September, 2005.

[16] DETLEF Schulz, MATTHIAS Jahn, PFEIFER Thomas « Grid integration of photovoltaics and fuel cells », Department of electrical engineering, Electrical power engineering, Helmut-Schmidt University, Holstenhofweg 85, D-22043 Hamburg, Germany.

[17] ABBASSEN Lyess « Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque », Thème de magister, Université de Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2011.

[18] CHEBANA Abdelkrim, « contrôle d'un système photovoltaïque connecté au réseau », Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme master, Electrotechnique option énergie renouvelable, Université Mohamed Khider Biskra, 2013.

[19] ARDJOUN Sid Ahmed El Mehdi, « Commande d'un système d'énergies renouvelables multi sources relié au réseau électrique », Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences, Spécialité Electrotechnique option Convertisseurs électromécaniques, Université Djilali Liabes de Sidi-Bel-Liabes de Sidi-Bel-Abbès, 2016.

[20] H. BAYEM, « Apport des méthodes probabilistes aux études d'insertion des énergies renouvelables dans les systèmes électriques », Thèse de doctorat, Université Paris Sud11, 2009.

# **Chapitre IV**

## Simulation et interprétation des résultats

## Introduction

Une installation photovoltaïque est un ensemble de panneaux photovoltaïques constitué d'un groupe de cellules photovoltaïques connectées entre elles. Lorsque ces cellules sont exposées au rayonnement solaire, elles produisent de l'électricité. Tout système PV peut être constitué d'un module PV, qui ne répond pas à un besoin spécifique, il doit donc être associé à un système complet. En ce qui concerne les coûts d'installation, il existe aujourd'hui de nombreux logiciels capables de modéliser, d'optimiser ou de redimensionner divers systèmes conçus pour tirer parti des énergies renouvelables.

La plupart de ces programmes sont consacrés à des types spécifiques de sources d'énergie, beaucoup d'entre eux sont pour l'énergie solaire photovoltaïque, et d'autre part, un logiciel appelé HOMER est pour plusieurs sources d'énergie renouvelables. Dans ce chapitre, nous présentons le logiciel et une étude de cas issue du logiciel HOMER d'un système photovoltaïque raccordé au réseau sur le site de l'aire de repos de zianide (bloc de prière).

### IV.1. Présentation du logiciel HOMER

Le logiciel HOMER (Hybrid Optimization Model for Electricity Renewables), développé par le US NREL (National Renewable Energy Laboratory), simplifie la tâche d'évaluation des différentes conceptions de systèmes électriques (hors réseau et connectés au réseau) pour diverses applications. Il peut analyser et simuler des systèmes hybrides combinant différentes sources d'énergie, qu'elles soient renouvelables ou fossiles, et combiner diverses sources d'énergie. Afin d'arriver à montrer la meilleure configuration, différentes situations de configuration ont été évaluées afin d'être déterminées selon un certain nombre de critères techniques, dans ce cas les applications réellement envisageables de ces types de systèmes sont diverses opérations de conversion lorsque diverses sources d'énergie est produit lorsqu'il contribue à produire de l'énergie et à la convertir en électricité [1] [2] [3].

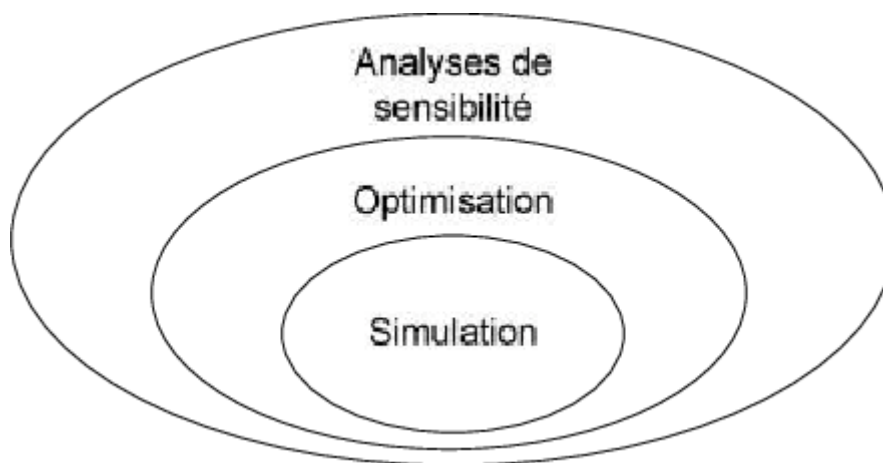
Pour la simulation d'une installation donnée il est nécessaire de définir tous les éléments de celle-ci, Utiliser des composants définis dans des bibliothèques logicielles (éoliennes, Hydraulique, Batteries, Électrolyseurs, Carburants, Biomasse, etc.). Par la commande Add/Remove. Si le composant donné n'est pas dans cette bibliothèque, il doit être ajouté En décrivant toutes ces caractéristiques techniques et leurs coûts, il faut également préciser la quantité de chaque composant de l'installation à simuler. Vous pouvez également modifier les propriétés des composants qui existent déjà dans la bibliothèque. Les potentiels d'énergies

renouvelables (éolien, solaire, biomasse, etc.) peuvent être saisis manuellement ou importés via Internet ou un fichier texte. Une charge est définie par sa nature (AC ou DC) et sa répartition horaire.

## IV.2. Fonctionnement

Le logiciel peut exécuter des simulations, puis optimiser le système, et enfin Effectuez une analyse de sensibilité de ces systèmes optimisés. Obtenir la solution HOMER est la solution la moins coûteuse dans un portefeuille de différents systèmes énergétiques comme Énergie renouvelable, combustible fossile ou système hybride contenant à la fois des sources d'énergie ou Suite.

HOMER Pro vous permet de simuler, d'optimiser et d'effectuer une analyse de sensibilité de SERS. Il convient aux centrales électriques rurales, aux camps, aux cabanes, aux bases militaires et aux résidences individuelles, qu'elles soient connectées au réseau ou autonome.[4]



**Figure IV. 1:** Modèle conceptuel du logiciel HOMER.

Le logiciel permet de faire des simulations avec différents systèmes de production d'énergie :

- Panneaux Solaires Photovoltaïques.
- Eoliennes.
- Réseau Electrique.
- Génératrices (diesel, essence, biogaz, combustibles alternatifs et combustibles personnalisés, Co alimentées).

De ce fait, HOMER peut simuler une variété de systèmes différents, en plus de toutes les combinaisons possibles de systèmes hybrides [3].

## IV.3. Caractéristiques du site étudié

### IV.3.1. Méthode générale d'utilisation HOMER Pro

Le logiciel HOMER Pro est facile à utiliser et l'interface est similaire à celle d'un logiciel ordinaire. L'interface HOMER peut être considérée comme ayant trois parties importantes : la première est la définition du système, la seconde est la ressource et la troisième est le résultat. Ainsi que le logiciel dans la section de définition du système qui doit être appliqué à nos remarques ou instructions pour les autres étapes.

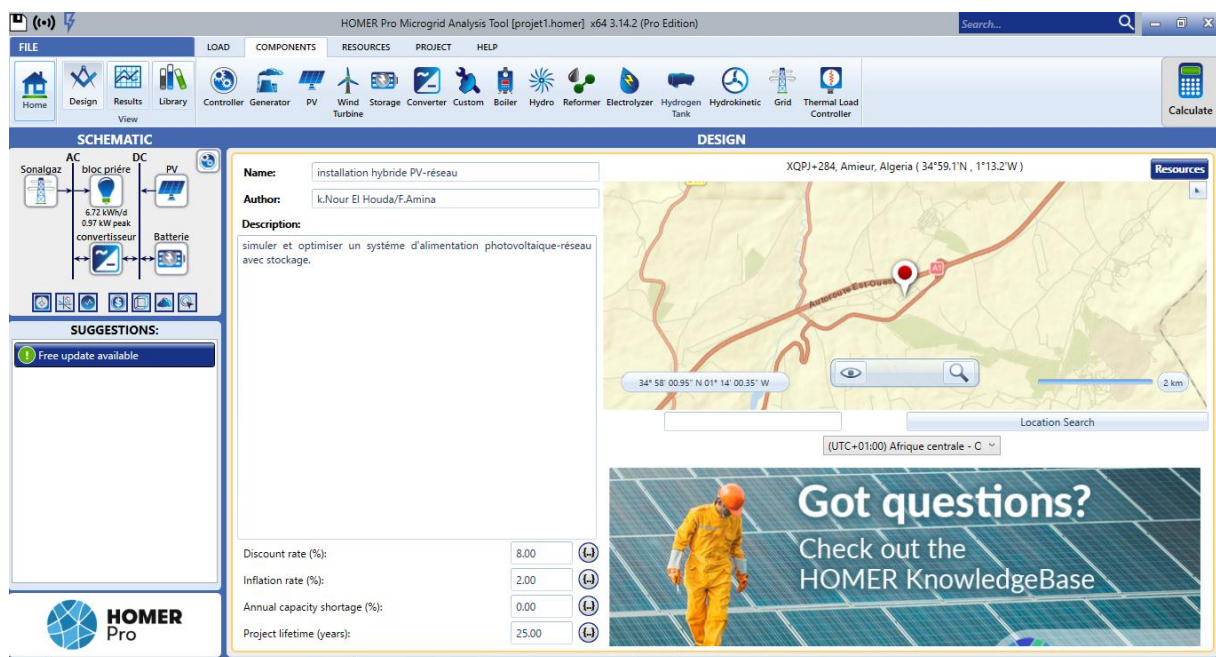


Figure IV. 2: L'interface de logiciel HOMER Pro.

Un modèle de système hybride est décrit dans le logiciel Homer avec les options suivantes :

- Disponibilité de la technologie,
- Coût des composants et disponibilité des ressources,
- Informatique Bilan énergétique pour chaque configuration de SMS considérée.

### IV.3.2. Situation géographique :

Le lieu de notre étude est situé à Tlemcen exactement sur l'aire de repos de Zianide, avec les coordonnées géographiques suivant : (34°59,2'N,1°13.2'W)

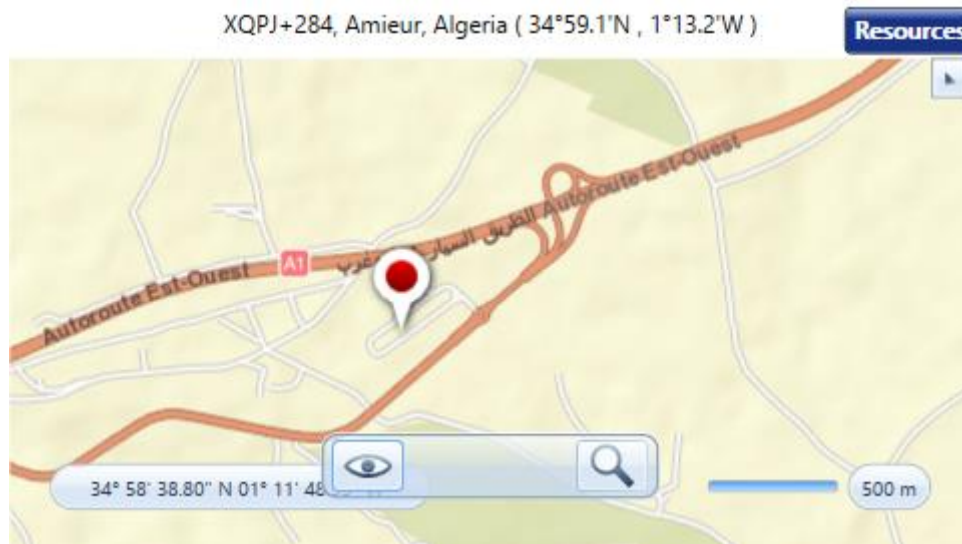


Figure IV. 3: Situation géographique de site étudiée.

### IV.3.3. Données météorologiques :

Le logiciel Homer prend ses données sur le site Internet de la NASA à partir de la localisation du site étudié.

#### IV.3.3.1. Le potentiel solaire :

L'éclairement global moyen journalier reçu par une surface horizontale est égale à 4.92 *Kwh/m<sup>2</sup> /day*. Comme présenté sur la figure suivante :

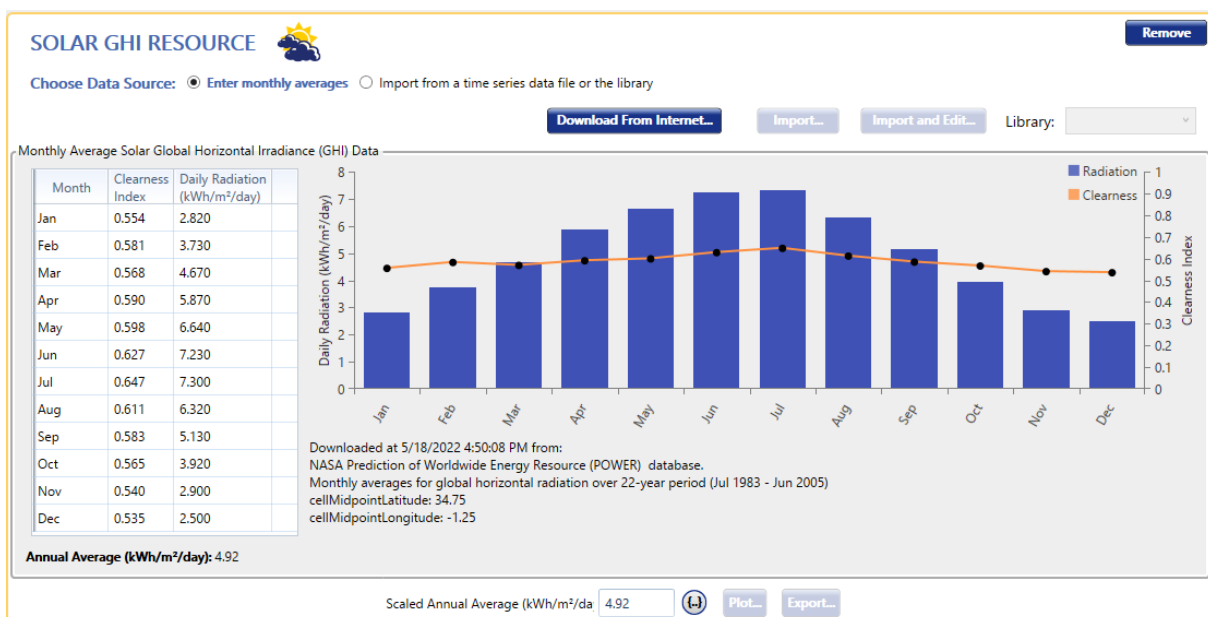


Figure IV. 4: Le profil de l'éclairement moyen mensuel.

Mois	Indice de clarté	Rayonnement solaire [KWh/m <sup>2</sup> /jour]
Janvier	0.554	2.820
Février	0.581	3.730
Mars	0.568	4.670
Avril	0.590	5.870
Mai	0.598	6.640
Juin	0.627	7.230
Juillet	0.647	7.300
Out	0.611	6.320
Septembre	0.583	5.130
Octobre	0.565	3.920
Novembre	0.540	2.900
Décembre	0.535	2.500

Tableau IV. 1: La radiation solaire moyenne.

### IV.3.3.2. Température ambiante du site

L'effet de la température sur l'efficacité du système de conversion ne peut être ignoré Photovoltaïque, la température journalière moyenne est égale à 16.09°C.

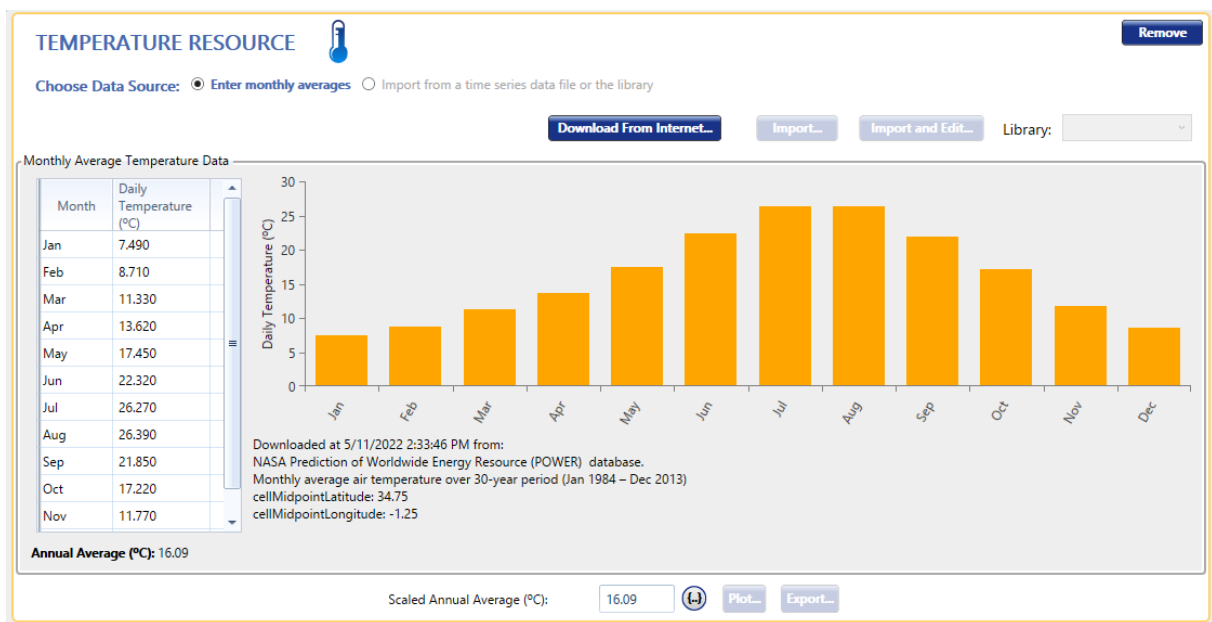


Figure IV. 5: La variation de la température journalière moyenne de chaque mois

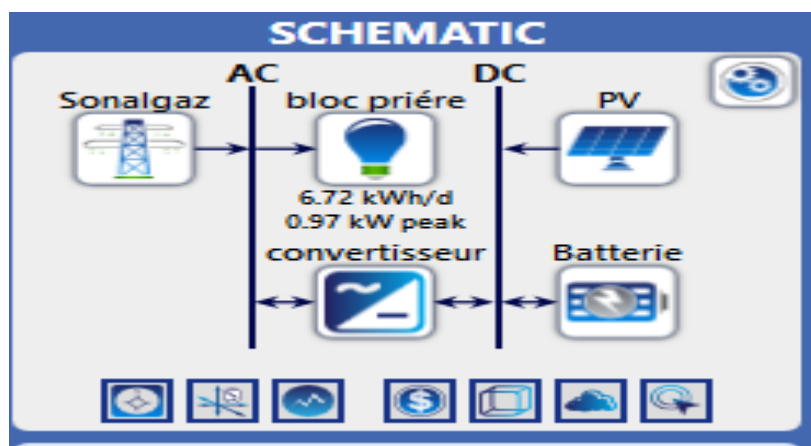
Mois	Température moyenne [°C]
Janvier	7.490
Février	8.710
Mars	11.330
Avril	13.620
Mai	17.450
Juin	22.320
Juillet	26.270

<b>Out</b>	26.390
<b>Septembre</b>	21.850
<b>Octobre</b>	17.220
<b>Novembre</b>	11.770
<b>Décembre</b>	8.630

**Tableau IV. 2:** Les températures mensuelles

#### IV.4. Configuration Des Eléments Du Système

La simulation du système hybride dans le logiciel HOMER a été réalisée, Atteindre des objectifs bien définis, tels que l'ajout d'autres ressources énergétiques énergie renouvelable (photovoltaïque) et démontrer la faisabilité et la mise en œuvre de la configuration choisie.



**Figure IV. 6:** Architecture du système PV-réseau sous le logiciel Homer

Le diagramme du système hybride PV-réseau que l'on a réalisé pour le bloc de prière de l'aire de repos de Zianide se compose de: des panneaux solaires, des batteries solaires, Grid et d'un convertisseur DC/AC.

##### IV.4.1.Profil de la charge

Le dimensionnement d'un tel système de production d'énergie est principalement déterminé par le profil de consommation à satisfaire. Après évaluation heure par heure, la consommation électrique quotidienne est de 6,72 KWh/jour. La figure IV.7 présente le détail de cette redevance en jours, mois, années ou heures.



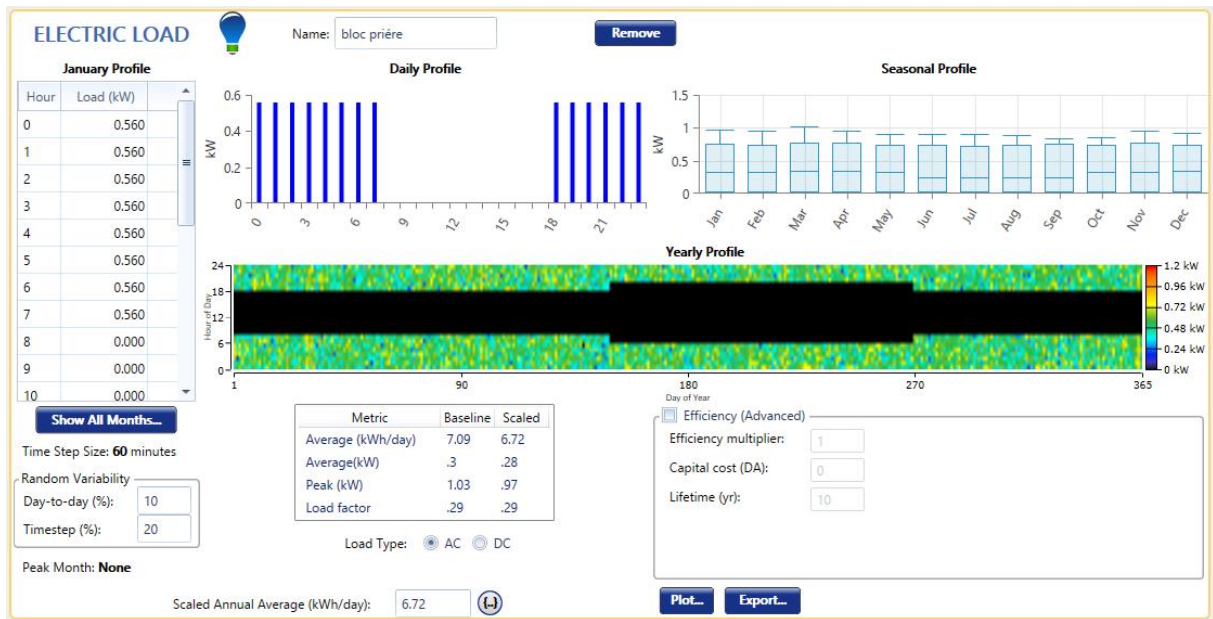


Figure IV. 7: Profil de charge.

### IV.4.2. Paramètre du champ PV

Un système photovoltaïque est constitué d'un ensemble de modules connectés en parallèle et en série et d'un ensemble de composants qui ajustent l'électricité produite par les modules en fonction des facteurs météorologiques.

Le logiciel Homer permet de sélectionner une marque de panneaux solaires dans sa bibliothèque interne, ainsi que d'ajouter une autre marque non incluse dans sa bibliothèque. Nous avons choisi un panneau photovoltaïque de 330W avec une efficacité de 17%.

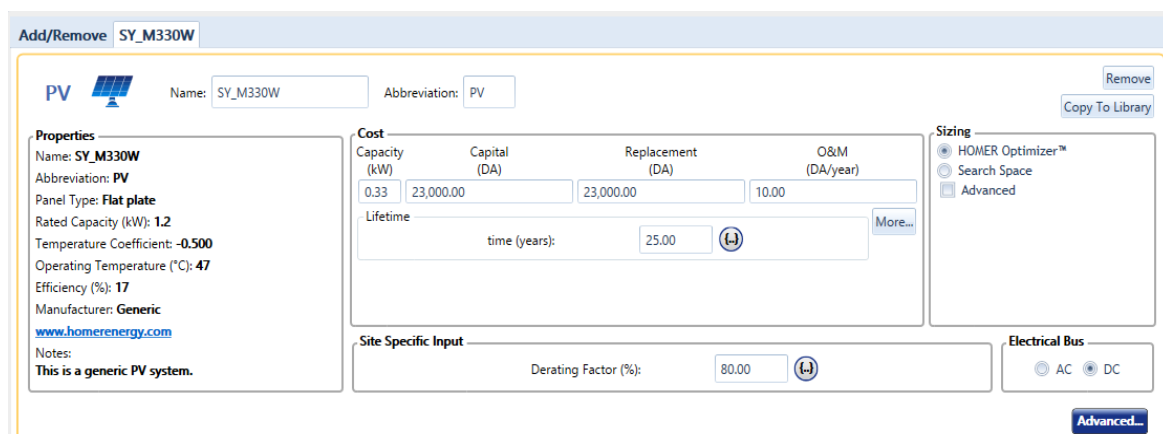


Figure IV. 8: Le module PV

### IV.4.3. Paramètres du convertisseur

Dans les installations photovoltaïques, on utilise des onduleurs connectés au réseau, qui permettent de convertir le courant continu généré par les modules solaires photovoltaïques en un courant ondulé provenant du réseau. Il permet également d'adapter le courant généré à la fréquence et à la tension du réseau. Les onduleurs couplés au réseau sont installés avec l'accord de l'organisme distributeur d'électricité. Pour des raisons de sécurité, cet onduleur relié au réseau doit surveiller en permanence ces perturbations et interrompre immédiatement les injections en cas de : panne ou d'interruption. Ceci est absolument nécessaire afin de permettre une intervention sans danger sur Internet.

La puissance de sortie du convertisseur utilisé dans Homer est de 3KW de la marque Fronius Galvo 2.5-1.

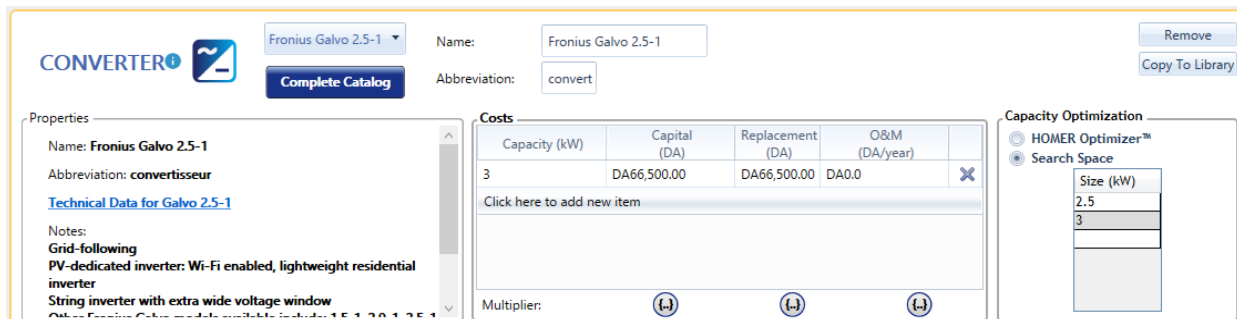


Figure IV. 9: Caractéristique de convertisseur.

#### IV.4.4. Les batteries solaires

Les batteries ajoutées dans la partie stockage (storage) du logiciel Homer ont une capacité de 1.2KWh et une tension nominale de 12V et 100Ah de la marque Trojan SAGM 12 90 (Figure IV.10).

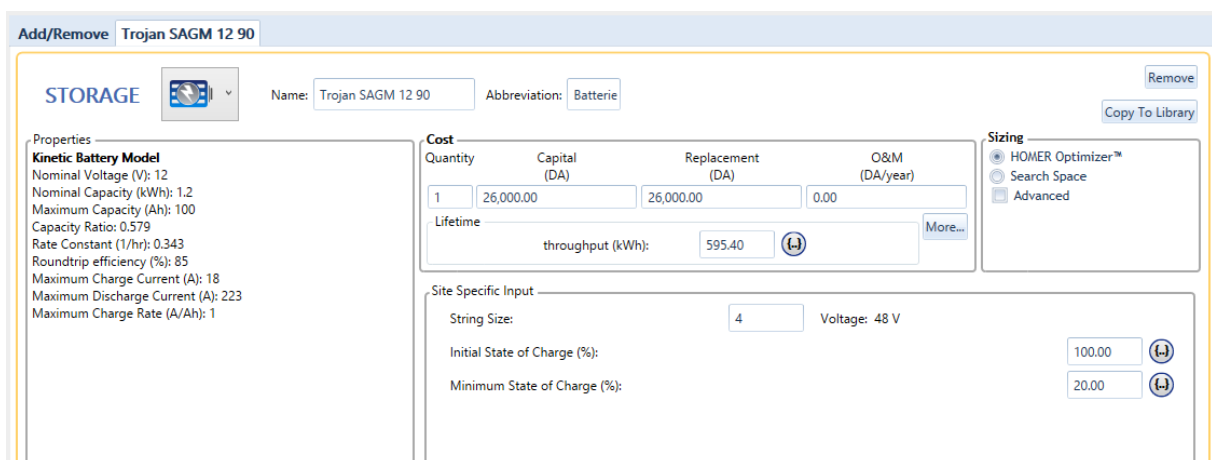
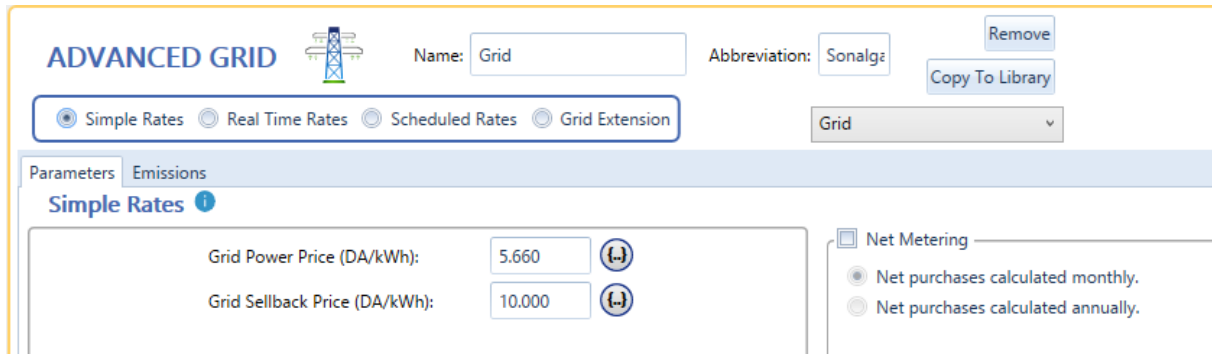


Figure IV. 10: Paramètres des batteries solaires.

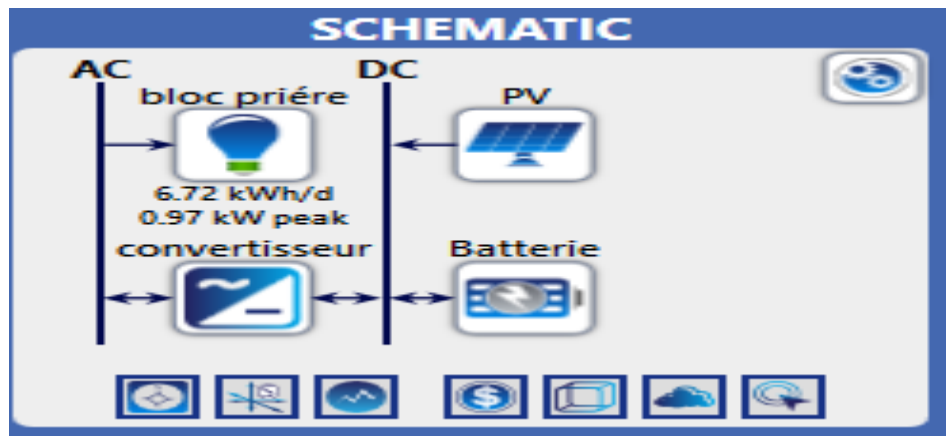
#### IV.4.5. Le Réseau de Site Etudie

Pour des rôles principaux des gestionnaires du réseau électrique, qu'il est d'assurer l'équilibre entre la production et la consommation de l'électricité, on choisit un réseau comme illustre la Figure « IV.11 ».



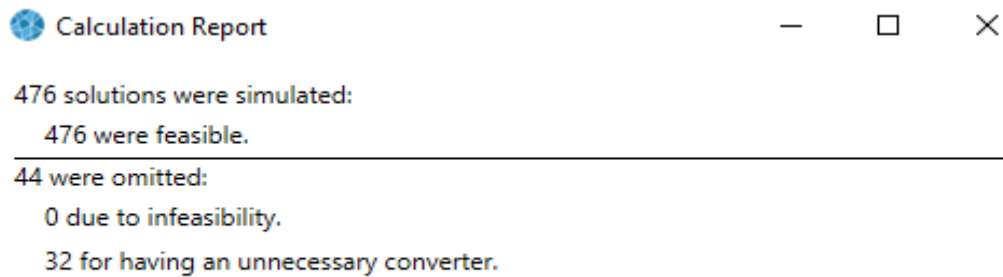
**Figure IV. 11:** Le réseau de site (Grid).

Les composants d'un système PV autonome sont les mêmes que ceux d'un système PV raccordé au réseau, à l'exception du réseau (des panneaux solaires, des batteries solaires, un convertisseur DC/AC).



**Figure IV. 12:** Architecture du système PV autonome sous le logiciel Homer.

#### IV.5. Interprétation et discussion des résultats



**Figure IV. 13:** Le nombre de solution simulé par HOMER PRO pour le système raccordé au réseau.

HOMER PRO a simulé 476 solutions qui sont tous réalisable parmi eu 44 étés négliger car 32 manquante de convertisseur inutile.

En fait, le logiciel HOMER simule toutes les configurations possibles du système étudié, qui peut fonctionner parfaitement à l'endroit choisi avec suffisamment de puissance disponible au profil de charge de configuration soit optimale comme ceci :

RESULTS

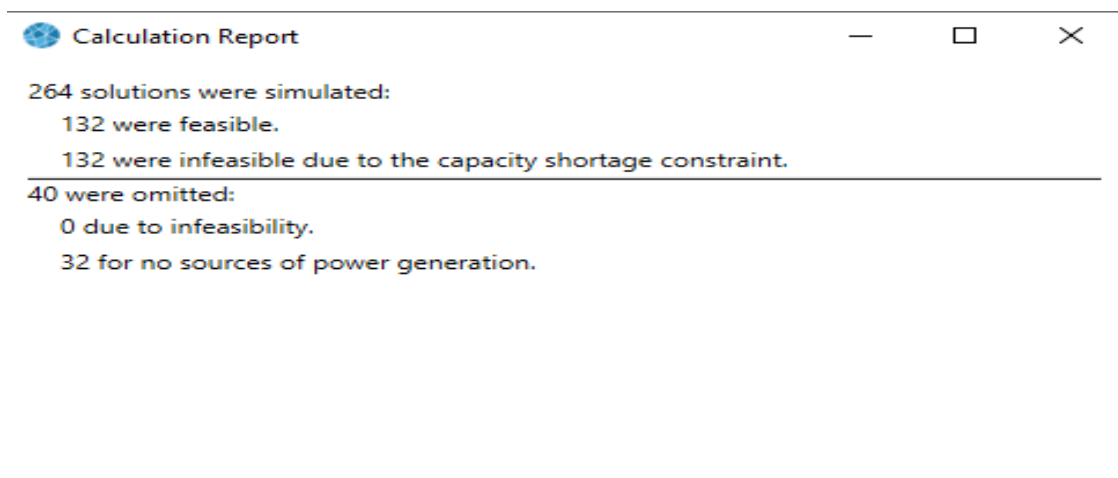
Summary Tables Graphs Calculation Report

Export... Compare Economics Column Choices...

Optimization Results  
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results. Categorized Overall

Architecture						Cost			System		PV				
PV (kW)	Batterie	Sonalgaz (kW)	convertisseur (kW)	Dispatch		NPC (DA)	COE (DA)	Operating cost (DA/yr)	Initial capital (DA)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (DA)	Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)
6.82		999,999	3.00	CC		-DA278,485	-DA2.04	-DA63,443	DA541,674	77.7	0	475,174	10,198		
6.85	4	999,999	3.00	CC		-DA198,767	-DA1.46	-DA65,518	DA648,215	77.8	0	477,715	10,253	13.7	0
	4	999,999	2.50	CC		DA356,916	DA11.26	DA15,277	DA159,417	0	0			13.7	0

**Figure IV. 14:** Résultat optimal pour le système PV-réseau.



**Figure IV. 15:** Le nombre de solution simulé par HOMER PRO pour le système autonome.

HOMER PRO a simulé 264 solutions parmi ses solution 132 ne sont pas réalisable et 40 étés négliger car 32 manquante de convertisseur inutile. Les solutions les plus optimale sont mentionné dans la figure suivante:

RESULTS																	
Summary															Tables	Graphs	Calculation Report
Export...																	
Optimization Results																	
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.																	
Categorized Overall																	
Architecture				Cost				System			PV		Batterie				
PV (kW)	Batterie	convertisseur (kW)	Dispatch	NPC (DA)	COE (DA)	Operating cost (DA/yr)	Initial capital (DA)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Capital Cost (DA)	Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)	Nominal Ca (kWh)			
4.70	20	2.50	CC	DA2.21M	DA69.67	DA100,887	DA903,210	100	0	327,794	7,035	68.5	2,703	24.0			

**Figure IV. 16:** Résultat optimal pour le système PV autonome.

La figure IV.14 montre l'architecture optimale qui nous intéresse trouvée par le logiciel Homer. Cette architecture est composée par:

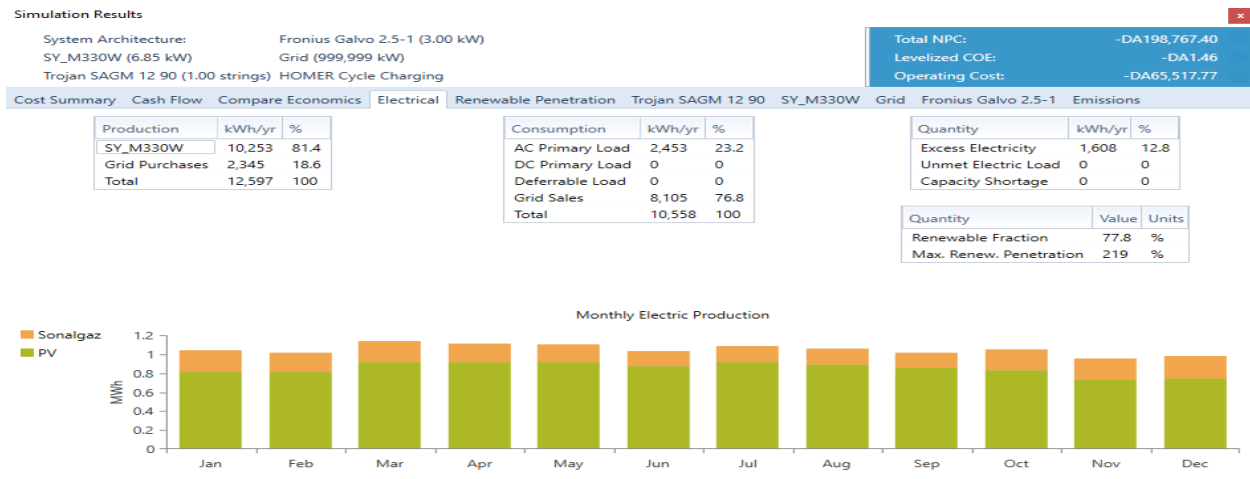
- Un champ PV de 6.85KW.
- 4 batteries solaires.
- Un convertisseur CC-CA de 3KW.
- La capacité maximale de réseau électrique 999999

La figure IV.16 montre l'architecture optimale trouvée par le logiciel Homer. Cette architecture est composée par :

- Un champ PV de 4.70KW.
- 20 batteries solaires.
- Un convertisseur CC-CA de 2.50KW.

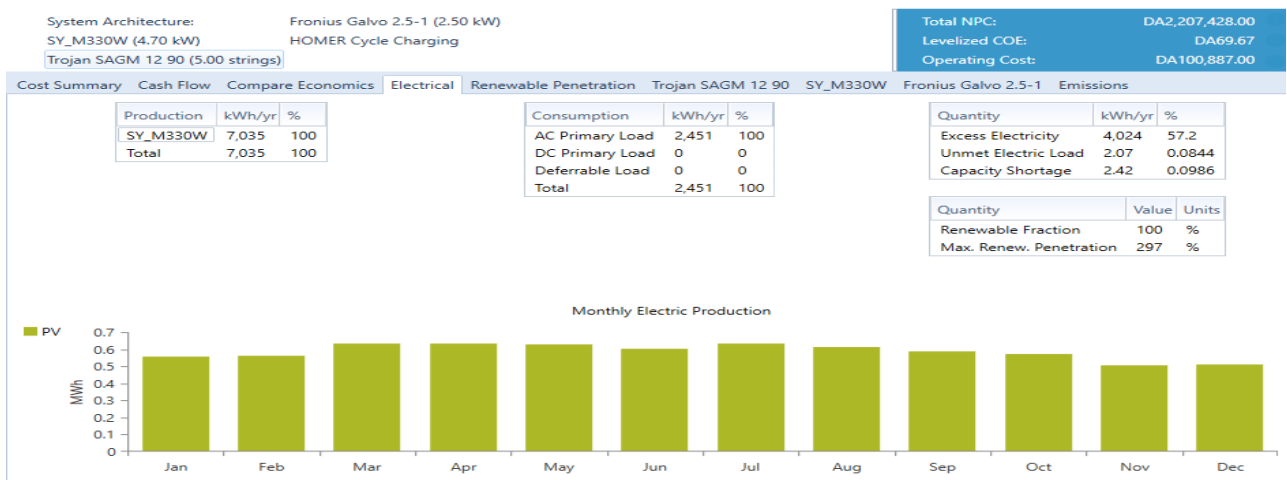
### IV.5.1. La production du champ PV et la consommation

La production photovoltaïque représente 81.4% de la production totale du système et le réseau 18.6%. Il s'agit d'années modifiables, qui sont directement liées au rayonnement solaire. La figure "IV.17" illustre la production Consommation mensuelle moyenne totale d'électricité tout au long de l'année. Elle indique même que les besoins énergétiques du site sont assurés par le champ photovoltaïque.



**Figure IV. 17:** La production électrique totale mensuelle d'un système PV-réseau.

La production photovoltaïque représente 100%. Il s'agit d'années modifiables, qui sont directement liées au rayonnement solaire. La figure "IV.17" illustre la production Consommation mensuelle moyenne totale d'électricité tout au long de l'année. Elle indique même que les besoins énergétiques du site sont assurés par le champ photovoltaïque.



**Figure IV. 18:** La production électrique totale mensuelle d'un système PV autonome.

**IV.5.2. Résultats de convertisseur**

Les figures (IV.19) et (IV.20) montre que les pertes annuelles de l'onduleur ne dépassent pas 5% ce qui est équivalent d'un un rendement de95% car l'énergie d'entrée de l'onduleur est 8645KWh/yr or que l'énergie de sortie de l'onduleur est 8213KWh/yr. L'énergie a injecté dans le réseau varie suivant les saisons et l'ensoleillement.

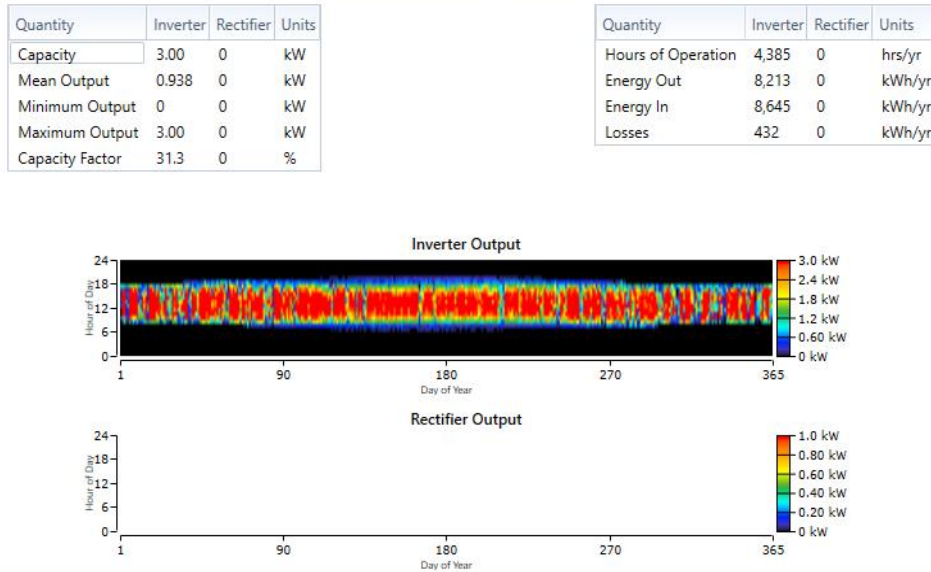


Figure IV. 19: Puissance de l’onduleur pour le système raccordé au réseau.

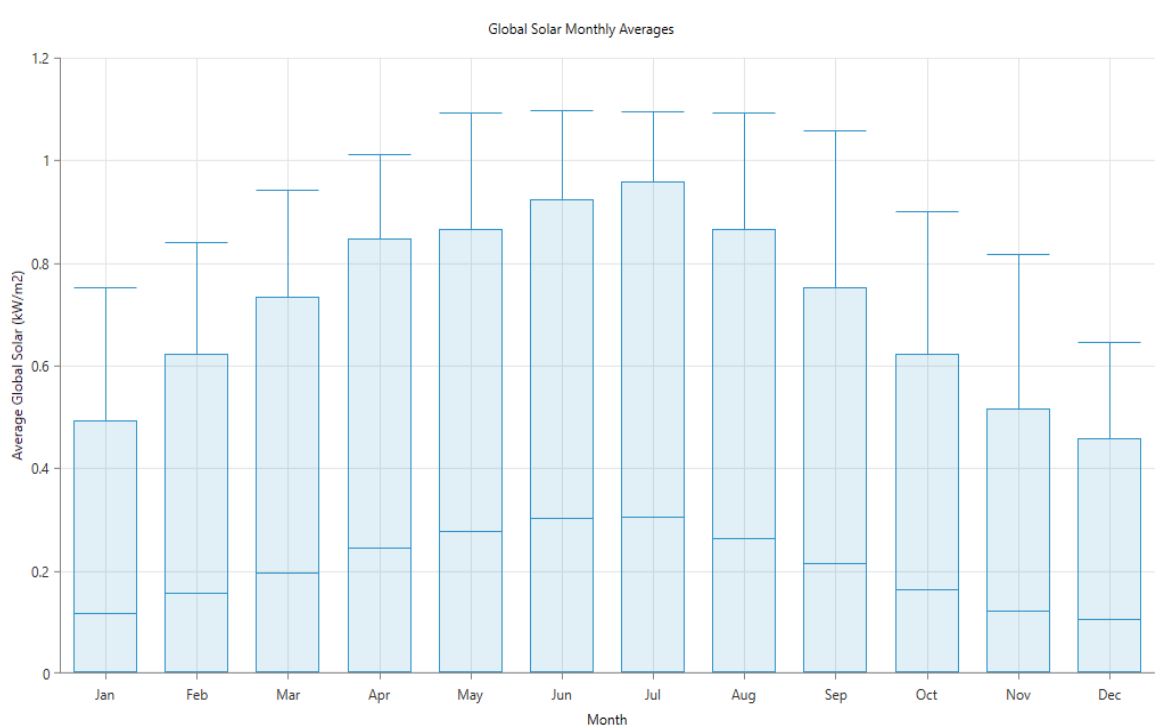
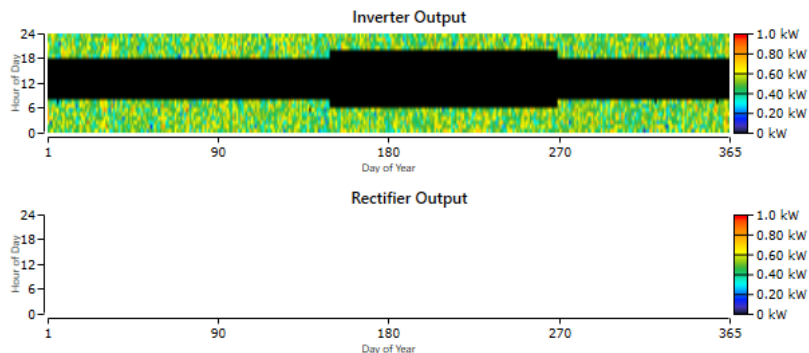


Figure IV. 20: La puissance d’entrée du convertisseur

La figures (IV.21) montre que les pertes annuelles de l’onduleur ne dépassent pas 5% ce qui est équivalent d’un rendement de 95% car l’énergie d’entrée de l’onduleur est 2580KWh/yr or que l’énergie de sortie de l’onduleur est 2451KWh/yr. L’énergie injectée dans le réseau varie suivant les saisons et l’ensoleillement.

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	2.50	0	kW
Mean Output	0.280	0	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	0.973	0	kW
Capacity Factor	11.2	0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	4,619	0	hrs/yr
Energy Out	2,451	0	kWh/yr
Energy In	2,580	0	kWh/yr
Losses	129	0	kWh/yr



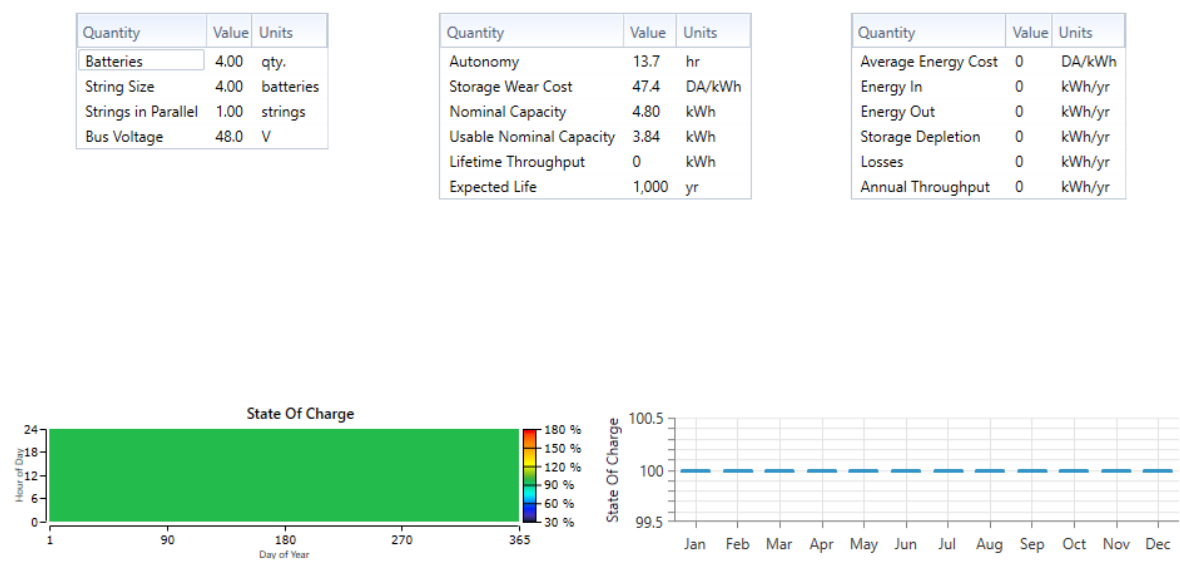
**Figure IV. 21:** Puissance de l'onduleur pour le système autonome.

Pour l'allure de la puissance d'entrée du convertisseur on remarque que reste la même dans les deux systèmes autonome et raccordé au réseau.

### IV.5.3. Résultats sur les batteries

HOMER PRO propose d'installer une série de 4 batteries relié "4 séries pour atteindre la tension de champ PV qui est égale à 48V et 1 parallèle ". Le profil de la distribution journalière moyenne de l'état de la charge est constant durant toute l'année ; les batteries se charge tous les jours à 100% en cas d'absence d'énergie PV accompagnée aune coupure de réseau les batteries joue un rôle d'appoint avec une autonomie de 13.7 heures.





**Figure IV. 22:** Etat de la charge moyenne journalière et mensuelle des batteries pour système connecté au réseau.

HOMER PRO propose d’installer une série de 20 batteries relié “4 séries pour atteindre la tension de champ PV qui est égale à 48V et 5 en parallèles “. Le profil de la distribution journalière moyenne de l’état de la charge est variant et dépend de l’ensoleillement durant toute l’année ; le système absorbe de l’énergie a partir des batteries en absence de l’éclairement de soleil. Autonomie des batteries est égale 68.5 heures pour une durée de vie 4.40 années.

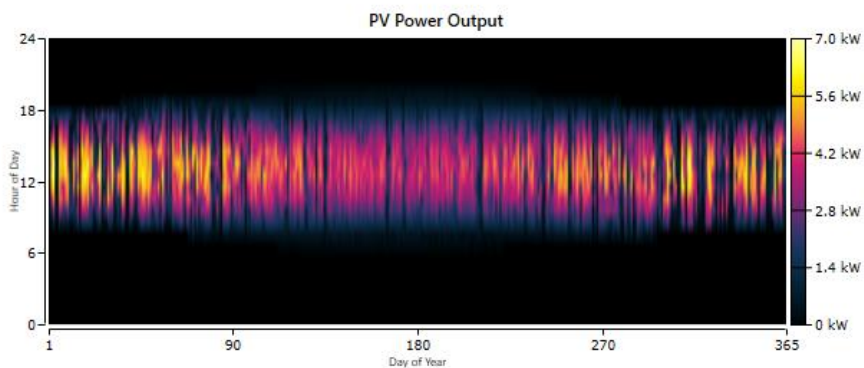


**Figure IV. 23:** Etat de la charge moyenne journalière et mensuelle des batteries pour système autonome.

#### IV.5.4. Résultats du champ PV

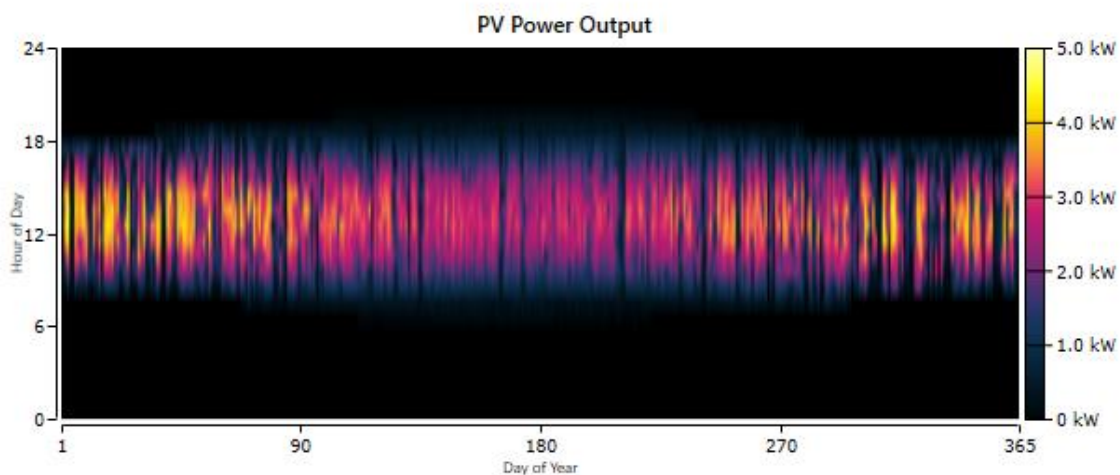
La production de l'énergie électrique commence après le lever de soleil à tout moment entre 6h et 7h en automne et l'hiver et entre 5h-6h en l'été et printemps pour les deux systèmes soit autonome ou relié au réseau. L'allure de la puissance de deux systèmes est semblable avec des valeurs de puissance différentes.

La production par PV est nulle au période de pic de consommation électrique ce qui nécessite soit de recours au réseau électrique soit de l'énergie stockée dans les batteries.



**Figure IV. 24:** Puissance journalière moyenne délivré par les générateurs PV-réseau.

La figure (IV.25) montre que la production par PV est nulle au période de pic de consommation électrique ce qui nécessite le recours de l'énergie stockée dans les batteries.



**Figure IV. 25:** Puissance journalière moyenne délivré par les générateurs PV autonome.

#### IV.5.4. Résultats sur le réseau :

Le producteur injecte sur le réseau le surplus d'énergie, on remarque que la valeur maximale de l'énergie net vendue sur le réseau est au moins de juin, juillet et août car le rayonnement solaire est concentré de cette période par conséquent la production d'énergie PV est maximale. D'autre part on remarque que le réseau ne produit pas de l'énergie durant la journée et le photovoltaïque injecte une grande quantité d'énergie sur le réseau par contre le réseau sera utilisé comme appoint de système le soir et la production d'électricité sera basée sur le réseau électrique durant la nuit.



Figure IV. 26: indication de puissance de réseau.

#### IV.5.5. Résultats sur les émissions :

La production de l'énergie dans le système autonome ne provoque aucune émission des Gaz à Effet de Serre (GES) donc cette énergie est dite propre. Par contre la production de l'énergie d'un système hybride provoque une émission d'une grande quantité de GES qui est due au réseau électrique, parmi ces gaz on peut citer le dioxyde de carbone, dioxyde de soufre et oxyde d'azote.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	0	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	0	kg/yr
Nitrogen Oxides	0	kg/yr

**a**

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	1,482	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	6.43	kg/yr
Nitrogen Oxides	3.14	kg/yr

**b**

**Figure IV. 27:** la quantité des gaz émis par les systèmes (a: autonome, b: raccordé au réseau).

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous présentons une étude comparative des résultats de simulation entre un système hybride PV connecté au réseau et le système autonome dans la wilaya de Tlemcen. Pour cette étude, le logiciel HOMER Pro est utilisé pour l'optimisation du système sur un site où les données météorologiques telles que l'ensoleillement et la température sont disponibles.

HOMER Pro a simulé nombreuse solution dans le système raccordé au réseau qu'au système autonome ceci est due à la variété du sources énergétiques dans le système PV-réseau

Sur la base des résultats du processus d'optimisation, le système énergétique optimal se compose de 6,85 kW de modules PV, d'un onduleur de 3 kW et d'un nombre de 4 batteries plus une capacité de réseau de 999999KW, et pour un système autonome, nous avons obtenu 20 batteries solaires avec un champ PV de 4,70KW, un onduleur de 2,50KW.

HOMER Pro a simulé nombreuse solution dans le système raccordé au réseau qu'au système autonome ceci est due à la variété du sources énergétiques dans le système PV-réseau

Le système PV-réseau utilise un nombre limité de batteries (4) par contre le système PV autonome utilise un très grand nombre de batteries (250) de même capacité et pour la même consommation car le système connecté au réseau utilise le réseau comme appoint et les batteries sont utilisé en cas d'absence de l'éclairément accompagné par une coupure de réseau et le système autonome

Dans le système PV-réseau le champ photovoltaïque fournit plus d'énergie électrique que le système PV autonome malgré que ce dernier chargé plus de batteries, ceci peut être expliqué

par la stratégie de l'injection de surplus d'énergie dans le réseau électrique pour aider le réseau dans les heures de points

Par conséquent, l'utilisation d'un système PV autonome est la meilleure solution pour la protection de l'environnement contre la pollution et réduire l'effet de serre et les émissions de gaz.

**Bibliographie**

- [1] O. GERGAUD, « Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », Thèse de doctorat, l'ENS de Cachan France, 2002.
- [2] GABANI Lakhdar, RIGHI Abdoullah, « Dimensionnement d'un système multi sources à énergies renouvelables », Thèse de doctorat, Université Ghardaïa, 2021.
- [3] KARA Abdelfattah, « Dimensionnement et analyse du coût d'un système hybride de production d'énergie renouvelable pour des sites isolés en Algérie », Mémoire de master, Université Ferhat Abbas –Setif1, Faculté de technologie département d'électrotechnique, 2016.
- [4] GHENAIM Sabah, SEBKHI Yasmine, « Simulation d'une centrale PV connectée au réseau électrique par deux logiciels 'PVSYST' et 'HOMER Pro' », Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme master option réseau électrique, Université Mohamed Khider, Biskra, 2019.

### Conclusion générale

Les énergies renouvelables apparaissent comme des solutions potentielles pour réduire la pollution. Parmi les modes de production prometteurs (éolien, hydraulique, etc.), les systèmes hybride se présente aujourd'hui comme la forme la plus adaptée et la plus efficace de production d'électricité renouvelable.

Dans ce travail on a présenté une étude comparative entre différentes structures des installations hybrides. Pour se faire une comparaison entre deux installations hybrides (PV autonome et PV raccordé au réseau) nous avons dimensionné les différents composants de ces deux systèmes hybrides, ensuite une simulation a été faite par le logiciel HOMER Pro. Ce logiciel répond correctement aux choix des composants constituant notre installation.

Les résultats de la simulation montrent que :

Le système PV-réseau utilise un nombre limité de batteries par contre le système PV autonome utilise un très grand nombre de batteries de même capacité et pour la même consommation car le système connecté au réseau utilise le réseau comme appoint et les batteries sont utilisées en cas d'absence de l'éclairage accompagné par une coupure de réseau et le système autonome

Dans le système PV-réseau le champ photovoltaïque fournit plus d'énergie électrique que le système PV autonome malgré que ce dernier a chargé plus de batteries, ceci peut être expliqué par la stratégie de l'injection de surplus d'énergie dans le réseau.

Le système photovoltaïque raccordé au réseau aide à l'amélioration de la production de l'électricité lorsque l'ensoleillement est disponible ainsi que l'hybridation du système participe à la diminution des GES.

Par conséquent, l'utilisation d'un système PV autonome est la meilleure solution pour la protection de l'environnement contre la pollution et réduire l'effet de serre et les émissions de gaz.

## Résumé :

Dans ces dernières années, le développement et l'expansion des ressources Énergétiques renouvelables et des systèmes décentralisés de production d'énergie renouvelable ont connu une forte croissance a causés l'épuisement des ressources énergétiques fossiles et les émissions de gaz à effet de serre.

On a présenté dans ce mémoire une comparaison entre les différentes installation hybrides autonome et raccordé au réseau, pour cela une étude pratique a été faite sur le bloc prière de l'aire de repos des zianides situé à Tlemcen pour fournir l'énergie électrique nécessaire pour alimenter la station.

Le logiciel HOMER pro a été utilisé pour simuler et d'optimiser la faisabilité technique et économique du système. Cela nous permet de déterminer la configuration du système hybride photovoltaïque-réseau et un système autonome ainsi qu'un bref aperçu sur les émissions des gaz à effets de serre.

## Summary:

In recent years, the development and expansion of renewable energy resources and decentralized systems of renewable energy production have experienced strong growth has caused the depletion of fossil energy resources and greenhouse gas emissions.

A comparison between the different autonomous and grid-connected hybrid installations has been presented in this paper, for which a practical study has been made on the prayer block of the Zianides rest area located in Tlemcen to provide the necessary electrical energy to supply the station

The HOMER pro software was used to simulate and optimize the technical and economic feasibility of the system. This allows us to determine the configuration of the hybrid photovoltaic-grid system and a stand-alone system as well as a brief overview of the greenhouse gas emissions.

## ملخص :

في السنوات الأخيرة، شهد تطوير وتوسيع موارد الطاقة المتجددة وأنظمة إنتاج الطاقة المتجددة اللامركزية نموًا قويًا، مما تسبب في استنفاد موارد الطاقة الأحفورية وانبعثات غازات الاحتباس الحراري.

قدمنا في هذه الأطروحة مقارنة بين الأنظمة الكهروضوئية المختلفة المتصلة بالشبكة والنظام الكهروضوئي المستقل، ولهذا تم عمل دراسة عملية على مصلى فضاء الراحة لمحطة الزيانيين الواقع بولاية تلمسان لتوفير الطاقة الكهربائية اللازمة للمحطة.

تم استخدام برنامج HOMER pro لمحاكاة الجدوى التقنية والاقتصادية للنظام وتحسينها. يتيح لنا ذلك تحديد تكوين النظام الهجين للشبكة الكهروضوئية ونظام قائم بذاته بالإضافة إلى لمحة موجزة عن انبعثات الغازات المتسببة في الاحتباس الحراري.