



Université Eochaid Hama Lakhdar d'El-Oued



Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique

Spécialité : Command Électrique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

THÈME :

**L'intégration du l'énergie photovoltaïque
pour l'étude de bilan énergétique**

Présenté par :

- ❖ Zouzou Nouamane
- ❖ Ghendir Mabrouk-Abdallah
- ❖ Chennouf Chokri

le professeur :

Dr : Laib Ismail

Annie Universitario 2022\2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نشكرات

الحمد لله الذي خلقنا ورزقنا من كل خير وأورثنا العلم سلاحاً
وصلّى الله وسلّم على نبينا محمد حبيبنا وشفيعنا، وخاتم الأنبياء
أما بعد: يقول عز وجل في محكم تنزيله.
" واشكروا لله إن كنتم إياه تعبدون "

* بادئنا تشكراتنا بشكر المولى عز وجل لنعمته التي انعم بها

علينا بتعلمنا العلوم

* ثم أتقدم بخالص الشكر والامتنان إلى المؤطر الفاضل

"الدكتور اسماعيل العايب"

الذي لم يبخل علينا بنصائحه وإرشاداته القيمة، كما نشكره على سعة
صبره

معنا طول فترة إنجاز هذا العمل المتواضع، ونتوجه

بالشكر إلى

كل من قدم لنا يد المساعدة معنوية كانت أو مادية

لإتمام هذه المذكرة، سواء

من قريب ومن بعيد

* ونسأله المولى جلت قدرته أن ينفعنا جميعاً فهو وحده المستعان وله
الحمد والشكر على كل شيء

الإهداء

الحمد لله الذي تتم بنعمته الصالحات

والذي وفقنا لنيل

ما يحبه ومن بفضله على حامده

حمداً ما بعده رجاء

اهدي ثمرة جهدي إلى:

والدي الكريمين، وإلى كل الإخوة والأخوات والأقارب.

وأخص بالذكر روح الفقيد

اب زميلنا زوزو رحمة الله عليه

وكذا جميع الزملاء والاصدقاء

ومن لم تسعتهم ذاكرتي من قريب وبعيد

والى كل من علمنا حرفاً لننال ثمرة مجهودنا طيلة

مشوارنا الدراسي

Résumé

L'objectif de cette thèse est d'étudier les performances du système photovoltaïque connecté au réseau et le bilan énergétique dans le bâtiment résidentiel dans le désert algérien, province d'El Oued, en tant que modèle. C'est un modèle d'optimisation de la taille des systèmes photovoltaïques connectés au réseau. Le modèle actuel a été implémenté dans MATLAB Simulink, les conditions météorologiques dominantes, la puissance de crête d'un générateur photovoltaïque et la présence et l'absence d'un réseau électrique. Notre contribution a fourni le triple avantage d'un système sans stockage

Électrochimique, d'une réduction des coûts et d'une fiabilité accrue du système photovoltaïque connecté au réseau.

Mots-clés : photovoltaïque Électrochimique raccordé au réseau ; Performance énergétique Bilan énergétique Logement bioclimatique.

Abstract

The objective of this thesis is to study the performance of the photovoltaic system connected to the network and the energy balance in the residential building in the Algerian desert, province of El Oued, as a model. It is a model for optimizing the size of photovoltaic systems connected to the grid. The current model was implemented in MATLAB Simulink, the prevailing weather conditions, the peak power of a photovoltaic generator and the presence and absence of a power grid. Our contribution provided the triple benefit of a system without electrochemical storage, cost reduction and increased reliability of the grid-connected photovoltaic system.

Keywords: grid-connected photovoltaic; Energy performance Energy balance Bioclimatic housing.

ملخص

الهدف من هذه الرسالة هو دراسة أداء النظام الكهروضوئي المتصل بالشبكة وتوازن الطاقة في المبنى السكني في صحراء الجزائر ولاية الوادي نموذجاً. وهو نموذج لتحسين حجم النظم الكهروضوئية المتصلة بالشبكة. تم تنفيذ النموذج الحالي في ماتلاب سيملينك، والظروف الجوية السائدة، وقوة الذروة لمولد كهروضوئي، ووجود وغياب شبكة الكهرباء. قدمت مساهمتنا ميزة ثلاثية، نظام بدون تخزين كهروكيميائية وخفض التكلفة وزيادة موثوقية النظام الكهروضوئي المتصل بالشبكة الكهرباء.

كلمات البحث: الكهروضوئية؛ الكهروضوئية المتصلة بالشبكة؛ أداء الطاقة؛ توازن الطاقة؛ السكن البيو مناخي.

Sommaire

Résumé	1
---------------------	----------

Chapitre I

Situation énergétique en Algérie

Introduction générale.....	10
I.1 Introduction :	11
I.2 Energie primaire :	11
I.2.1 Production :	11
I.2.2 Consommation :	12
I.3 Energie renouvelable :	15
I.3.1 L'énergie solaire :	16
I.3.2 Quelques réalisations dans le domaine des énergies renouvelables :	16
I. 4 Conclusion :	17

Chapitre II

Energie solaire et efficacité énergétique dans l'habitat

II.1 Introduction :	19
II.2 Situation énergétique de la région d'el oued	19
II. 2.1 Localisation géographique :	19
II.2.2 Consommation d'électricité et du gaz :	20
II.3 Solutions solaires pour l'habitat :	22
II.3.1 Systèmes du solaire actif :	23
II.4 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	27
II.5 Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque	30
II.5.1 Avantages :	30
II.5.2 Inconvénient	30
II.6 Conclusion	30

Chapitre III

Modélisation du système photovoltaïque

III.1 Introduction.....	33
III.2 Description du système proposé.....	33
III.3. Modélisation du système proposé	36
III.3.1 Modélisation des cellules photovoltaïques :	36
III.3.2 Caractéristiques courant-tension et puissance-tension :	40
III.3.3 Modélisation de l'onduleur :	41
III.4 conclusion :	44

Chapitre IV

Simulation et résultats du système photovoltaïque

IV.1 Introduction.....	46
IV.2 Données météorologiques.....	46
IV.2.1 L'effet de la température et l'éclairement sur Panneaux solaires	47
IV.3 Optimisation de l'angle d'inclinaison du générateur PV :	52
IV.4 Simulation d'un système PV connecté au réseau	53
IV.4.1 Simulation de la chaîne de conversion PV sous MATLAB/SIMULINK	53
IV.4. 2 L'outil Matlab/Simulink	54
IV.5 Résultats pour Système photovoltaïque connecté au réseau	54
IV.6 Conclusion	56
Conclusion Générale :	58
Références.....	60
Lannex.....	63

Liste des figures

Figure I.1 : Evolution de la production d'énergie primaire par produits entre 2009 et 2022	12
Figure I.2: Répartition de la consommation d'énergie finale par produit en Mtep de l'année 2022	13
Figure I.3 : L'évolution de la consommation d'énergie finale par produit en Algérie entre 1998 et 2022 en ktep	13
Figure I.4: Répartition de la consommation d'énergie finale par secteur d'activité de l'année 2022 en Mtep	14
Figure I.5: Consommation d'énergie finale de sous-secteur résidentiel entre 2017 et 2021 en ktep	15
Figure II.1: Vue satellitaire de l'habitation de El oued (Google Earth).	20
Figure II.2: Evolution de nombre des abonnés d'électricité et de gaz en Algérie entre 2018 et 2022.	21
Figure II.3: Consommation électrique de l'habitation de El oued.....	22
Figure II.4: Représentation globale d'un CESI [24]	24
Figure II.5: Exemple de la structure d'un système PV autonome	25
Figure II.6: Exemple de la structure d'un système PV raccordé au réseau.....	27
Figure II.7: Structure d'une cellule photovoltaïque	28
Figure II.8: types de la cellule photovoltaïque	29
Figure III.1: Schéma de principe du système photovoltaïque connecté au réseau.	33
Figure III.2: Le schéma général du système PV connecté au réseau proposé.	34
Figure III.3: module Condor.....	36
Figure III.4: Circuit équivalent d'une cellule solaire, modèle d'une diode.	37
Figure III.5: Circuit équivalent d'une cellule solaire, modèle de deux diodes.	39
Figure III.6: Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque.	41
Figure III.7: Caractéristique P-V d'une cellule photovoltaïque.	41
Figure IV.1: Evolution du a rayonnement solaire et de la température ambiante (a) en hiver ,1 janvier 2022 et (b) à auner,21 juin2022.....	47
Figure IV.2: Evolution de la température ambiante en 2022.	48
Figure IV.3: Irradiation solaire horizontale à El oud.....	48
Figure IV.4: Durée d'ensoleillement à El oud.....	49
Figure IV.5: La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de Température.....	50

Figure IV.6: La caractéristique de $P = f(V)$ en fonction de température	50
Figure IV.7: La caractéristique $I = f(v)$ en fonction de l'éclairement.....	51
Figure IV.8: La caractéristique $P = f(v)$ en fonction de l'éclairement.	51
Figure IV.9: montrant des exemples de différents angles d'inclinaison.....	52
Figure IV.10: MATLAB-Simulink program of the proposed grid-connected PV system.	53
Figure IV.11: Production d'électricité quotidienne.....	54
Figure IV.12: Consommation électrique journalière.....	55
Figure IV.13: Schéma Panneau Photovoltaïque.	63
Figure IV.14: Simulation PV du Matlab.....	64
Figure IV.15: Caractéristique I-V du module PV.	66

Liste des Tableau

Tableau III.1 : Spécifications techniques du module solaire PV (condor, CEM200M-72).	34
Tableau III.2 : Spécifications des caractéristiques techniques de l'onduleur SMA (SB 1200 Sunny boy).....	35
Tableau III.3: Paramètres de performance du SMA1200.....	43
Tableau III.4: Courbes de rendement pour SMA1200.....	44

Liste des symboles et abréviations

I_{op} : Courant optimum (A).

I_{op} : Tension optimum (V).

P_m : Puissance maximal (w).

I_D : Courant de diode (A).

I_{ph} : Photo courant, dépendant de l'intensité de l'irradiation (A).

I_p : Le courant dérivé par la résistance parallèle (A).

I_O : Courant de saturation de diode, dépendant de la température (A).

I_{cc} : Le courant de court-circuit de référence (A).

V_{co} : La tension de circuit ouvert. (V).

V_T : La tension thermique. (V).

I_{ccr} : Courant de court-circuit de référence. (A).

R_p : Résistance en parallèle. (Ω).

R_S : Résistance en série (Ω).

G : L'irradiation solaire (W / m^2).

q : Charge d'électron $q= 1.602 \times 10^{-9}$ c (C).

K : Constante de Boltzmann $k=1.381 \times 10^{-23} J/K$ (J / K).

n : Facture de non idéalité de la jonction.

T : La température effective de la cellule en kelvin (K).

D : Est appelé rapport cyclique, et compris entre 0 et 1.

PV : Photovoltaïque.

GPV : Générateur Photovoltaïque.

MPPT: Maximum Power Point Cracking.

P&O : Perturbation et Observation.

DC : Courant Continu.

Introduction Générale

Introduction générale

La production d'énergies un défi de grande importance pour les années avenir. En effet les besoins énergétiques des sociétés industriels ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie d'en voie déplurent de plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, nos jours de la production la production assure à partir de la production de ses sources donne lieu à des émissions de gaz effet de serrée donneuse augmentation de la pollution. Le donneur excessif du stock de donneuse les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. Poussée par un contexte favorable (volonté politique, intérêt économique...), la production décentralisée se développe dans de nombreux pays. L'observation des programmes de recherche et de développement des moyens de production de système photovoltaïques, des micros turbines à gaz associées différents système déstockage tels que les batteries d'accumulateurs, les super condensateurs ou le stockage inertiel ; induisent un développement significatif de ces moyens de production de entrainerait un foisonnement important du point d'injection de la puissance dur les réseaux basse tension. Le soleil réseaux basse grandiose a la terre. Mais le problème réside dans le fait que la forme sous laquelle nous problème réside nécessairement celle sous laquelle cette énergie est utilisable. C'est pourquoi, nous de von utiliser des processus de conversion de l'énergie par exemple, les cellules solaires, photovoltaïques permettent de photovoltaïques permettent du soleil en énergie électrique.

Chapitre I

Situation énergétique en Algérie

I.1 Introduction :

L'Algérie fait face à une croissance démographique rapide, associée à l'absence de conscience et manque de culture sur la maîtrise d'énergie. La consommation d'énergie au niveau national est en forte croissance sous l'effet d'une urbanisation accélérée, outre des besoins grandissants de développement socio-économique en constante progression [1] [2]. Ceci se traduit par une nouvelle demande croissante d'énergie. En ce qui concerne les ressources, basée essentiellement sur le pétrole et le gaz naturel, ils ne sont pas illimités et sont lentement en voie de raréfaction et présenteront un état d'épuisement inéluctable [3].

Cela rend urgent de diversifier nos sources d'énergie et de multiplier les actions dans le domaine de la maîtrise d'énergie et l'efficacité énergétique. Les énergies renouvelables se manifestent comme la solution la plus adéquate pour faire face à la nouvelle situation énergétique actuelle. L'Algérie dispose d'un énorme potentiel des énergies renouvelables à savoir ; le solaire, l'éolienne, la géothermie et la biomasse, etc. [4].

Ce chapitre 2 analyse la situation énergétique actuelle en Algérie, la disponibilité et le potentiel des énergies renouvelables.

I.2 Energie primaire :

I.2.1 Production :

Sa superficie de 2, 381, 741 km² et 43,8million d'habitants (18,4 habitant/km²) et ses grandes réserves de pétrole et de gaz font de l'Algérie un pôle énergétique important dans le Nord de l'Afrique et dans le monde entier [5]. L'Algérie est le 4^{ème} plus grand producteur de pétrole Brut au niveau du continent Africain et le 6^{ème} plus grand producteur du gaz naturel à l'échelle internationale [4]. L'économie Algérienne dépend essentiellement des recettes d'hydrocarbures qui représentent 95% des recettes totales d'exportation. Les ressources des hydrocarbures financent les projets et budgets, les prévisions et décisions, les importations ainsi que les médicaments. Avec l'abaissement des revenus de l'exportation due à la chute persistante des prix du pétrole, les effets seront dramatiques sur l'économie Algérienne [4] [6]. L'Algérie dispose de 12,2 milliards de barils de réserves prouvées de pétrole et 4,5billion de mètre cube de réserves de gaz naturel, fin 2022 [7]. Sous l'effet conjugué de la croissance démographique avec un taux de 03% par an et de la forte consommation intérieure qui connaît une hausse de 5% annuellement, ces réserves ne pourront assurer que la consommation intérieure durant les 50 ans qui viennent pour le pétrole et les 70 ans prochains pour le gaz naturel [3]. L'Algérie produit l'équivalent du 1,525 million de barils par jour du pétrole brut et 83,3 milliards

de mètres cube par jour du gaz naturel à la fin de l'année 2022 [7]. La production commerciale d'énergie primaire a atteint 155,3 Mtep en 2022, soit une hausse de 5,2 Mtep par rapport à 2021. Cette hausse est due essentiellement à l'ensemble des produits énergétiques, à savoir, le pétrole, le gaz naturel et autres. La figure I.1, présente l'évolution de la production de ces produits entre 2009 et 2022.

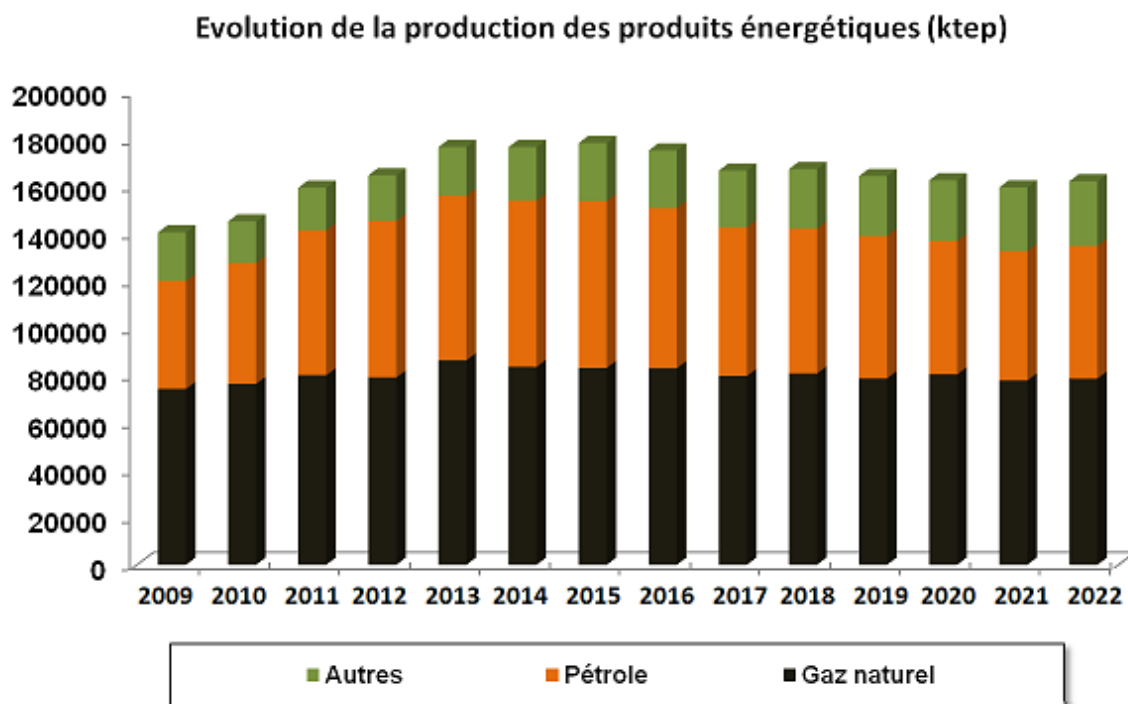


Figure I.1 : Evolution de la production d'énergie primaire par produits entre 2009 et 2022 [8].

Cette figure ressort que la production d'énergie primaire est dominée par le gaz naturel, suivi du pétrole. On remarque aussi une hausse de la production d'énergie primaire entre 2009 et 2015, tirée par la hausse de la production des produits pétroliers et du gaz naturel. A partir du 2016 jusqu'au 2021, on constate une réduction de production de l'énergie primaire qui se remonte légèrement en 2022. Cette baisse concerne principalement la production du pétrole et du gaz naturel. Depuis un pic pétrolier atteint en 2015, la production du pétrole a chuté de 22%. La production du gaz naturel a diminué de 11% depuis un pic atteint en 2013 [8].

I.2.2 Consommation :

Dans les pays en voie de développement, la consommation d'énergie connaît une augmentation de 5% chaque année dont l'Algérie ne fait pas l'exception [3]. La consommation nationale d'énergie a atteint 55,9 Mtep en 2021, indiquant une hausse de +7,8% (+4,0 Mtep) par rapport à l'année 2020. Cette croissance est tirée notamment par la hausse de la consommation de gaz naturel, de l'électricité

et celle des produits pétroliers. Elle représente 36% de la production nationale. La consommation d'énergie finale comprend tous les usages à caractère final d'énergie. En 2022, elle est estimée à 43,8 millions de tep (Mtep), soit une hausse de 5,0% par rapport à 2021 [8].

Répartition de la consommation finale par produit (%)

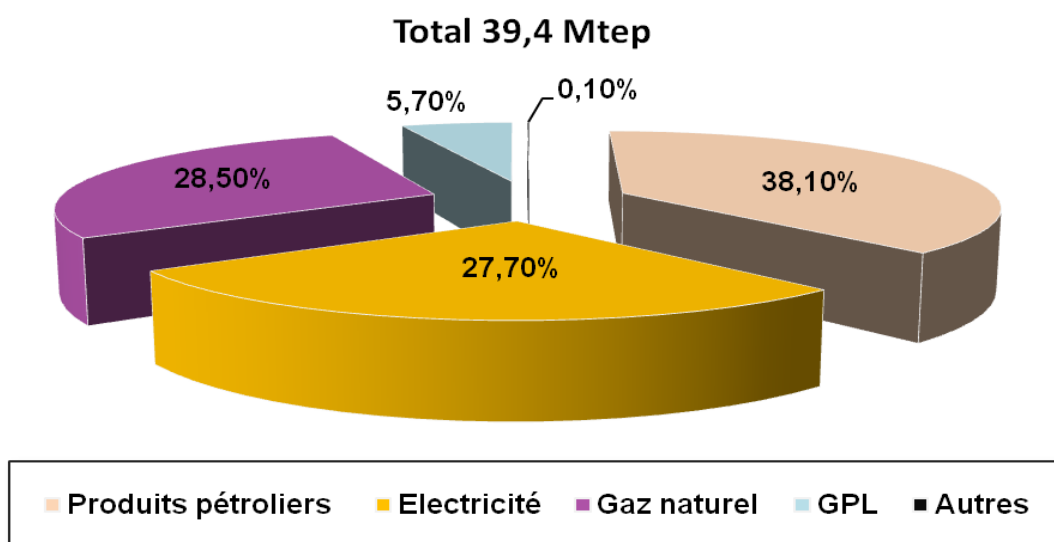


Figure I.2: Répartition de la consommation d'énergie finale par produit en Mtep de l'année 2022 [8]

La figure I.2 présente la répartition de la consommation d'énergie finale par produit de l'année 2022. Les produits pétroliers sont la première forme d'énergie consommée, avec 38,1% de la consommation finale. Suivi par le gaz naturel avec 28,5 % et l'électricité avec 27,7 % de l'ensemble. Ensuite, le GPL qui représente 5,7% de l'ensemble.

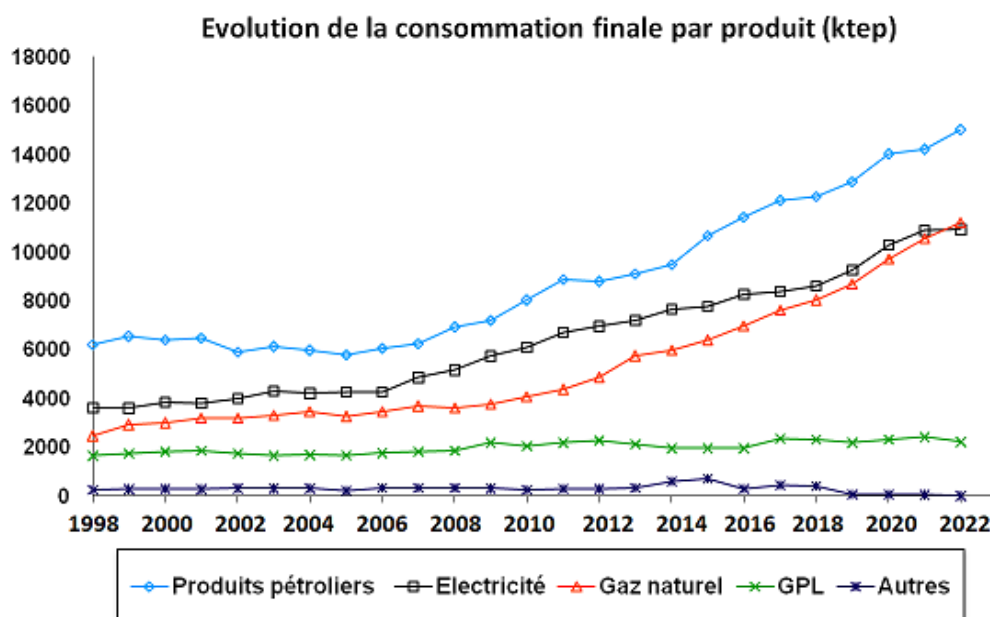


Figure I.3 : L'évolution de la consommation d'énergie finale par produit en Algérie entre 1998 et 2022 en ktep [8].

La figure I.3 expose l'évolution de la consommation finale par produit entre 1998 et 2022. Cette évolution indique une croissance de tous les produits, à l'exception du GPL qui a connu des baisses dues à la conversion au gaz naturel, avec la poursuite du développement des réseaux de distribution publique du gaz. La consommation finale est dominée par les produits pétroliers qui sont orientés essentiellement vers la carburation automobile. L'électricité consolide la deuxième place reflétant une forte hausse, tirée par l'accroissement de la consommation du résidentiel. La forte augmentation de la consommation du gaz naturel est due à la hausse de la consommation des ménages et autres.

Répartition de la consommation finale par secteur (%)

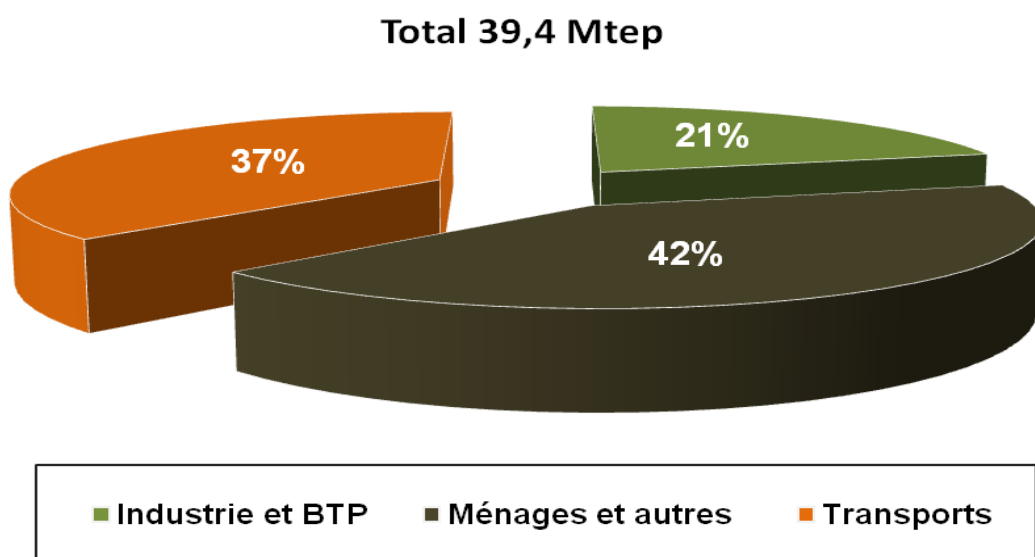


Figure I.4: Répartition de la consommation d'énergie finale par secteur d'activité de l'année 2022 en Mtep (Source : MEM).

L'analyse de cette figure I.4, montre clairement la prépondérance du secteur des ménages et autres, indiquant un taux de 42% contre 37% pour transports et 21% pour l'industrie. Ceci reflète le désir grandissant des citoyens vert le confort, l'amélioration du niveau de vie. Ainsi que l'effet de manque de culture sur la maîtrise de l'énergie dans leurs foyers.

L'évolution de la consommation d'énergie finale du secteur résidentiel entre l'an 2017 et 2021 est présentée par la figure 1.5.

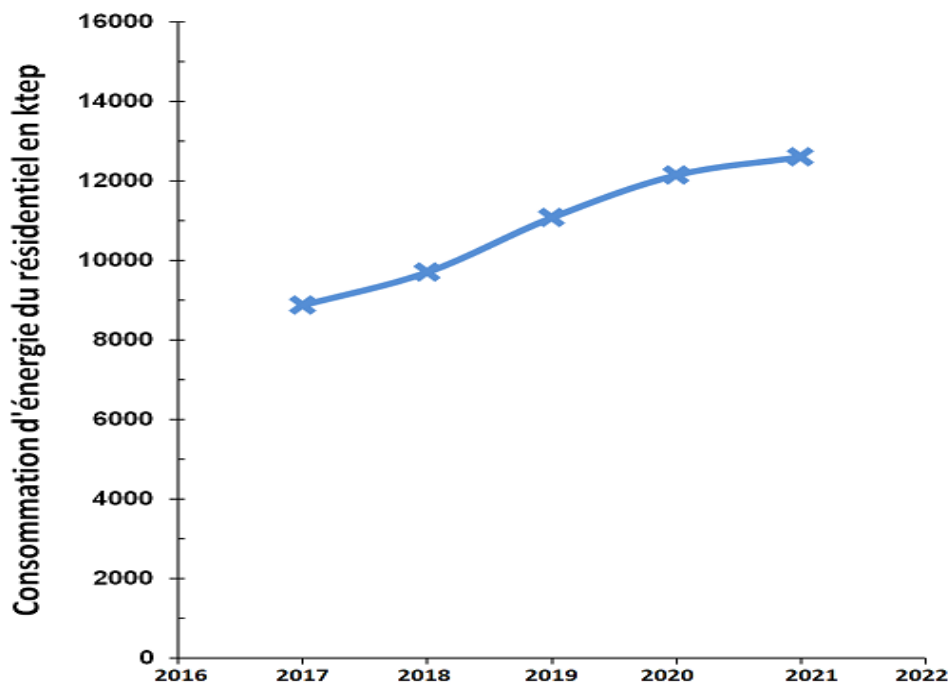


Figure I.5: Consommation d'énergie finale de sous-secteur résidentiel entre 2017 et 2021 en ktep [8].

D'après cette figure I.5, on remarque que la consommation d'énergie finale du secteur résidentiel est en hausse continu de l'an 2017 jusqu'au l'an 2022 avec un pourcentage de croissance de 29.6%, environ 3735 ktep.

I.3 Energie renouvelable :

La politique des énergies renouvelables est devenue l'élément essentiel des plans de développement socio-économique dans le monde entier [9]. Aujourd'hui, le développement durable est un nouveau concept au centre des débats, il s'exprime comme la solution à la tension entre progrès et nouvelles menaces. Il représente un développement qui doit répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs [10] [11]. L'Algérie a intégré la dimension du développement durable dans ses plans de développement, y compris dans un souci de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre. De même qu'elle a adopté des mesures visant à améliorer l'efficacité énergétique et une politique de promotion des énergies renouvelables [12]. Sa politique énergétique préconise l'accroissement de la contribution des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national. L'objectif est d'atteindre une contribution de l'ordre 40% dans le bilan de production d'énergie à l'horizon 2030 [2] [4].

Les différentes branches des énergies renouvelables sont : l'énergie solaire à savoir le solaire passif, le solaire photovoltaïque et thermique ; la géothermie à basse, à moyen et à haute température ;

l'énergie éolienne et la biomasse [13]. Cependant, l'Algérie dispose d'un énorme potentiel d'énergies renouvelables selon la distribution suivante [4] :

- 169,440 TWh/an en termes de solaire thermique.
- 13,9 TWh/an en termes de solaire photovoltaïque.
- Et 35 TWh/an en termes d'énergie éolienne.

I.3.1 L'énergie solaire :

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KWc/m^2) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés :

- L'énergie solaire thermique : qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.
- L'énergie solaire photovoltaïque : qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon [14].

I.3.2 Quelques réalisations dans le domaine des énergies renouvelables :

Les principales applications des énergies renouvelables en Algérie sont en électrification, en télécommunication, en pompage, en éclairage public et bien d'autres [13]. La puissance totale installée est de 11000 MW dont 275 MW pour la filière hydraulique et 306 MW pour les réseaux isolés du Sud. La capacité hydraulique représente 1,7 % de la puissance installée, le parc solaire en fonctionnement est de 108 installations PV et la capacité de raccordement solaire a dépassé les 900 foyers. L'énergie solaire dans le bilan énergétique national représente 0,028% de la consommation nationale avec un taux d'intégration des énergies renouvelable de 5%. Les principaux projets réalisés ou en cours de réalisation en matière des énergies renouvelables peuvent être résumés par ce qui suit [15] :

- Centrale solaire expérimentale de Ghardaïa (1,1 MW), réalisée pour l'expérimentation des technologies photovoltaïques.

- Programme d'alimentation en énergie solaire de 20 villages au Sud d'où la mise en place d'un million de km² de surface photovoltaïque. Production plus de 2 GWh.
- 13 centrales photovoltaïques d'une puissance de 265 MW seront installées dans la région des Hauts Plateaux, et 10 autres dans le Grand sud pour une puissance globale de 78 MW.
- Usine de fabrication des modules PV Condor de 75 MW par an a été inaugurée en 2014 à Bordj Bou-Arredj. Ces modules solaires sont destinés à la production d'électricité, l'éclairage public et le pompage solaire. Une usine ENIE se lance à la fabrication des modules PV Condor d'une capacité annuelle de 120 MW à Sidi Belabbes

I. 4 Conclusion :

A travers ce deuxième chapitre, la situation énergétique en Algérie a été étudiée. L'Algérie est un pays producteur et exportateur des hydrocarbures, essentiellement du pétrole et de gaz naturel. Cette situation risque de ne pas perdurer longtemps, voir, des réserves en voix de raréfaction, de la hausse continue de la consommation nationale ainsi que le défis relevé vis-à-vis la préservation de l'environnement. Dans ce contexte, l'Algérie doit diversifier ces ressources d'énergies surtout qu'elle possède un potentiel d'énergie renouvelable important.

L'Algérie s'est engagée sur la dimension du développement durable dans ses plans de développement. L'un de ces priorités majeures, la promotion des énergies renouvelables et l'amélioration de l'efficacité énergétique dont l'objectif est d'atteindre une contribution de l'ordre 40% dans le bilan de production d'énergie à l'horizon 2030. Pour l'instant, l'apport des énergies renouvelables dans le bilan national de production d'énergie est insuffisant.

L'énergie solaire est en abondance en Algérie. Ajoutant à cela, la disponibilité de l'énergie éolienne, géothermique et aussi de la biomasse. Le secteur résidentiel est le premier secteur consommateur de l'énergie en Algérie. L'intégration de l'efficacité énergétiques et de différentes technologies solaires aux bâtiments, peut jouer un rôle primordial à la réduction de la demande d'énergie dudit secteur ainsi qu'à la diminution des GES.

Chapitre II

Energie solaire et efficacité énergétique dans l'habitat

II.1 Introduction :

Quarante-deux pourcent de la consommation nationale d'électricité est consommé par le secteur du bâtiment [16] et elle reste en expansion. L'Algérie a connu et connaît encore les effets de la crise de logement. La précarité, la spontanéité et l'inaccessibilité ont favorisé la naissance de divers types d'habitat qualifiés tantôt d'informel et d'illégal, tantôt de précaire et marginal [17] [18]. Afin de résorber ce déficit et d'offrir des conditions de vie décentes à leurs citoyens, les pouvoirs publics élaborent de vaste programme de construction sous diverse forme rurale, promotionnelle, ADL, LPP, etc. Dans tel contexte de pénurie de logements et d'urgence, les pouvoirs publics sont davantage sensibles au souci de rapidité qu'à celui d'efficacité énergétique. Ce qui va amplifier encore la demande d'énergie de secteur résidentiel, voir le nombre important d'unités réalisées en Algérie.

Notre travail vise à étudier le comportement énergétique de ce projet d'un bâtiment standard ayant les mêmes caractéristiques dimensionnelles dans le sud du Sahara Algérien. Cela afin de ressortir l'impact positif de l'ensemble des mesures d'efficacité énergétique appliquées à l'habitat sur la demande d'énergie ainsi d'optimiser ces paramètres pour la région sélectionnée à savoir d'El Oued. Ce chapitre présente la situation énergétique de la région d'étude et montre les principes élémentaires du solaire actif et les applications du solaire actif.

II.2 Situation énergétique de la région d'el oued

Dans ce papier, la région d'El Oued qui se trouvent dans les zones extrême Nord-est du Sahara. Nous avons choisi ces localisations pour plusieurs raisons : ces régions sont les plus peuplées après les régions du Nord surpeuplées, soumises à des conditions climatiques difficiles, un été très chaud et un hiver très froid, avoir une idée sur le comportement énergétique du projet pilote (HQE) de Souidania, Alger dans les régions de Nord du Sahara : centre, extrême-Est et extrême-Ouest.

II. 2.1 Localisation géographique :

El Oued est situé au nord-est du Sahara algérien, à 630 km de la capitale, il est bordé à l'est par la République tunisienne, à l'ouest par Lamghir et Toqourt, au nord par les états de Tebessa, Khenchela et Biskra, et au sud par la wilaya de Ouargla. Géographiquement, elle se situe entre la longitude : 06° 86 Est et la latitude : 33° 37 Nord. La hauteur moyenne de la zone au-dessus du niveau de la mer est d'environ 80 m. L'état de la vallée se caractérise par des étés chauds et secs et des hivers froids. La température moyenne en été atteint 34° et peut parfois dépasser 50° là où le sable est semi-flammé, et en hiver la température moyenne est de 10°, et quand il fait froid, surtout la nuit, elle descend en dessous de zéro [19].

La maison à étudier :

Cette maison est occupée par une famille composée de 6 membres, père et mère, et de 4 enfants. La superficie totale est estimée à : 15 x 15 (225) m²



Figure II.1: Vue satellitaire de l'habitation de El oued (Google Earth).

II.2.2 Consommation d'électricité et du gaz :

L'architecture villageoise traditionnelle inspirée de son environnement immédiat et respectueuse des valeurs sociales ancestrales répond parfaitement aux exigences de ses occupants. Elle est construite à base des matériaux locaux : pierres sèches, pierres hourdées au mortier de terre crue et enfin des murs porteurs en pisé. Les planchers quant à eux, sont épais et constitués d'un empilage de poutres, de solives, de branchages et de terre. Concernant les toitures, on en distingue deux catégories, en terre et en tuiles. Les habitants utilisent pour le chauffage et la cuisson du bois et récemment le gaz de butane.

Actuellement, cette architecture est presque totalement remplacée par le modèle standard (STH), construit selon le style international à base du parpaing et du béton. Surtout après le lancement de vastes programmes de construction dont par l'Etat. L'espace rural est donc envahi par ce nouvel habitat standard raccordé en électricité. Pour le gaz naturel, il vient de remplacer peu à peu les bouteilles de gaz de butane qui est utilisé pour le chauffage, production de l'eau chaude et Cuisson. L'électricité est utilisée pour l'éclairage, la mise en marche des appareils électriques et pour le refroidissement. L'augmentation importante de nombre de logements ruraux et de tous autres types

(LSL, LSP et LPL) réalisés engendre une augmentation de la facture énergétique (électricité et gaz). La Figure II.2 montre clairement l'évolution de nombre des abonnés d'électricité et de gaz en Algérie entre 2018 et 2022. Ces données sont fournies par la société nationale de l'électricité et du gaz.

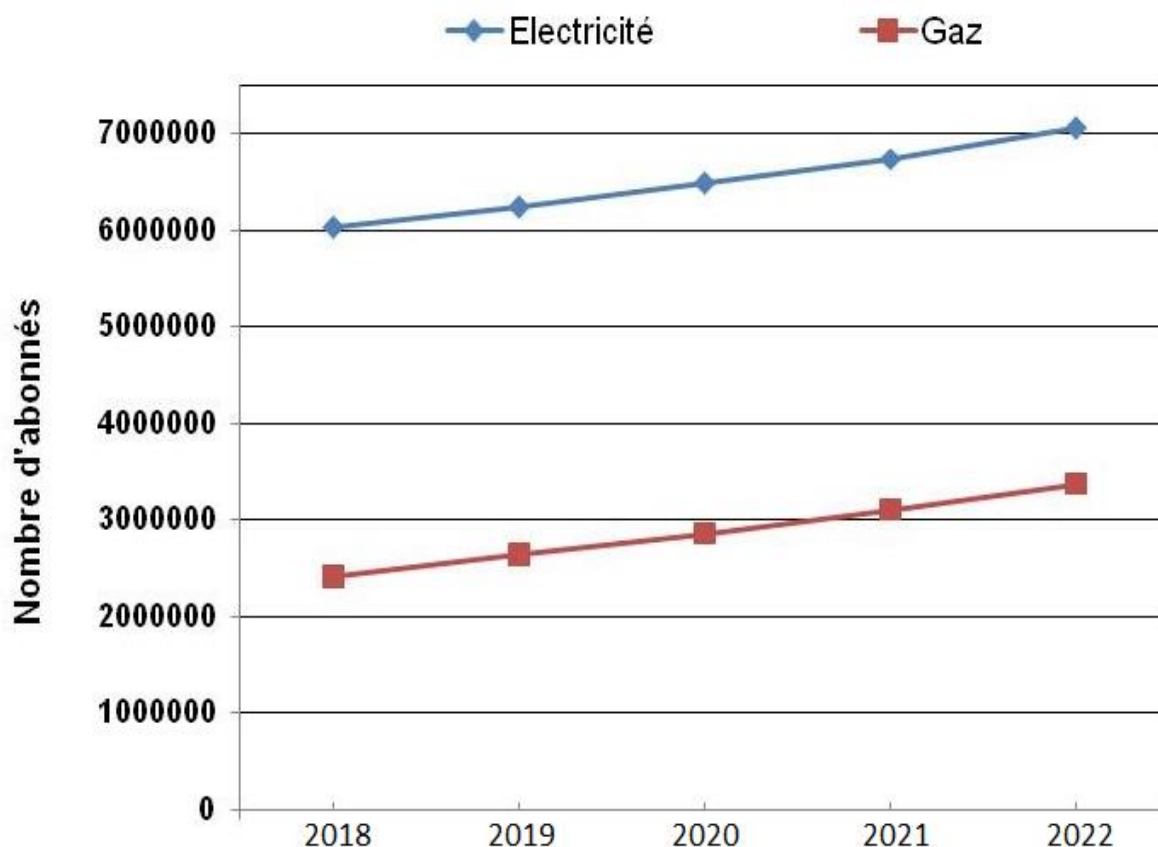


Figure II.2: Evolution de nombre des abonnés d'électricité et de gaz en Algérie entre 2018 et 2022.

D'après la figure II.2, le nombre d'abonnés d'électricité et du gaz naturel au niveau national sont en hausse continue annuellement. Le nombre d'abonnés d'électricité a augmenté de 6022484 à 7057246 abonnés entre 2018 et 2022 avec un taux de croissance de 1,04%/an. Le nombre d'abonnés de gaz naturel est passé de 2412035 abonnés en 2018 à 3371704 en 2022 avec un taux d'accroissement d'environ 1,09%/an.

Pour la région d'El Oued, le nombre d'abonnés d'électricité entre 2018 et 2022 est passé de 9831 to 14395. Pour le gaz naturel, le nombre d'abonnés pendant la même période est passé de 66404 à 137695. Depuis les années 1970 jusqu'à maintenant, une accélération significative des raccordements en gaz a été remarquée du fait de la densification des petites et moyennes entreprises et des industries

et de l'impact des programmes nationaux de distribution publique du gaz, initiés par les pouvoirs publics.

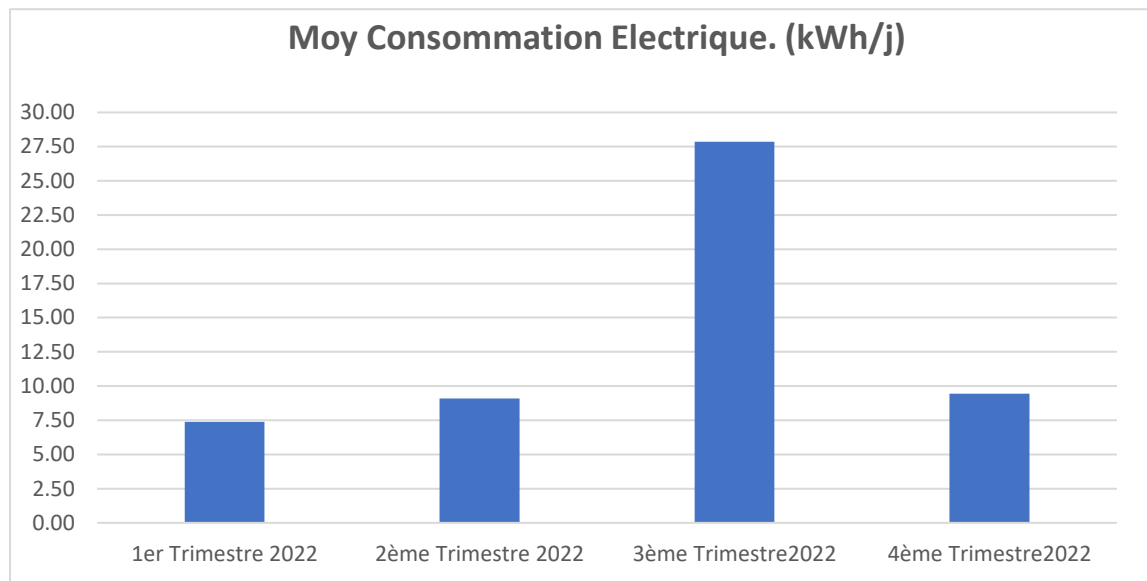


Figure II.3: Consommation électrique de l'habitation de El oued.

II.3 Solutions solaires pour l'habitat :

Après la 2^{ème} guerre mondiale, la science et la technologie a connu un large progrès façonnant les contours d'une société de consommation. Un état d'inquiétude est soulevé par certains économistes sur les effets néfastes du développement sur l'environnement. Les hommes ont ainsi pris conscience :

- De l'aggravation de l'effet de serre avec des conséquences visibles qui ont marqué les esprits, la France par exemple a été touchée par la tempête de 1999, canicule de 2003...etc.
- De l'explosion démographique entraînant le risque d'épuisement des ressources naturelles et la concentration de la population dans les villes (80% au niveau mondiale).
- Des catastrophes industrielles et naturelles (Tchernobyl en Ukraine en Avril 1986, Fukushima au Japon en Mars 2011, ...etc.).
- Des impacts graves de pollutions sur la santé : le plomb, l'amiante...

C'est dans ce contexte, que l'organisation des nations unies a mobilisé en 1992 plus de 170 chefs d'état tenue à Rio. L'agenda 21 proposé au terme de premier sommet de la terre reprend les lignes directrices définies en 1987 dans le rapport de Brundtland intitulé « Our Common Futur » et fixe les objectifs à suivre pour tendre vers un « développement durable ou soutenable ». Le paradigme de développement durable tel qu'adapté par l'assemblée générale des Nations Unies y définit comme suit :

« Le développement durable est le développement qui permet de satisfaire les besoins actuels sans pour autant compromettre les possibilités des générations futures de satisfaire leur propre besoins ». Ces concepts rappellent le propos prêté à Antoine de Saint-Exupéry : « Nous n'héritons pas de la terre de nos ancêtres, nous l'empruntons à nos enfants » [20].

L'application de ces principes aux secteurs de bâtiment, et exactement à l'architecture bioclimatique fait l'objet du concept de haute qualité environnementale.

En 1999, ces objectifs environnementaux étaient plutôt avant-gardistes. Aujourd'hui, « bâtir durable » est une tendance forte, tant auprès des particuliers que des entreprises. Cette démarche, prenante du développement durable recherche la meilleure adéquation possible entre le climat, le bâtiment et le confort de l'occupant. L'architecture bioclimatique permet de réduire les besoins énergétiques et de créer un climat de bien être dans les locaux avec des températures agréables, une humidité contrôlée et un éclairage naturel abondant [21].

II.3.1 Systèmes du solaire actif :

Le soleil est probablement la source d'énergie la plus disponible sur Terre. Une énergie qui peut se transformer en chaleur, par le moyen des panneaux solaire thermiques, ou en électricité, par le moyen des cellules photovoltaïques [22].

II.3.1.1 Système thermique pour eau Chaude Sanitaire (ECS) :

Les technologies solaires actives visent à tirer profit de l'énergie thermique du rayonnement solaire pour la transmettre à un fluide caloporteur [23]. Bien qu'il existe une variété des systèmes qui fonctionnent en utilisant cette technologie à base de différents capteurs thermiques :

Chauffe-eau solaire individuel (CESI) pour la production d'eau chaude sanitaire (voir figure II.4) : dans une installation solaire classique de Chauffe-Eau Solaire Individuel (CESI), un fluide caloporteur circule grâce à une pompe dans les capteurs solaires pour récupérer l'énergie solaire. Dans le ballon de stockage de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS), un échangeur est alors essentiel pour transmettre l'énergie récupérée. Cette transmission de chaleur s'effectuant via un échangeur. La consommation d'ECS constitue la décharge du ballon de stockage [24].

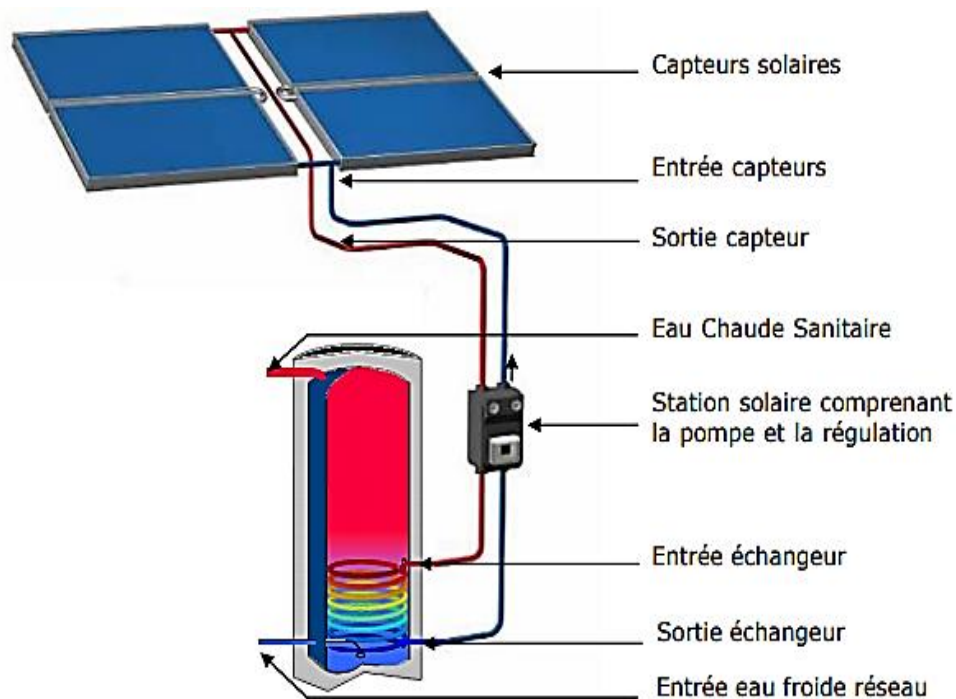


Figure II.4: Représentation globale d'un CESI [24]

II.3.1.2 Systèmes solaire photovoltaïque :

Parmi toutes formes d'utilisations de l'énergie solaire, c'est probablement les cellules photovoltaïques qui sont les plus connues. Cette technologie exploite la lumière du soleil pour la convertir directement en électricité. Un des principaux avantages des panneaux solaires photovoltaïques réside dans leur flexibilité. Ils peuvent être installés pratiquement partout et produisent de l'électricité là où se trouve la demande. Les impacts du transport de l'énergie sur de longues distances sont donc éliminés [23].

Les systèmes solaires photovoltaïques connaissent actuellement une forte croissance au niveau mondial avec +20% de puissance photovoltaïque installée au monde en 2014 par rapport à 2013, soit 40GW de puissance ajoutée en 2014 pour un total mondial de 177 GW. Cette tendance devrait représenter une part importante du futur énergétique à l'horizon de quelques décennies [25].

Un système PV est composé d'un support (modules et systèmes d'intégration), d'onduleur, de régulateur et de batteries. Les modules PV peuvent être branchés en série pour augmenter leur tension d'utilisation et en parallèle pour augmenter leur courant. Cet ensemble est appelé le champ de modules PV. L'énergie fournie par un champ de module PV, peut être utilisée de différentes manières pour rendre de divers services à travers n'importe quel moment et dans n'importe quel lieu, ce qui est

indiqué là-dessous en détaillant les différents systèmes existants. Les systèmes photovoltaïques, sont classés en deux groupes distincts [26] [27] :

A) L'autonome et le raccordé au réseau. On s'intéresse dans ce travail au système PV résidentiel Couplé au réseau électrique, appelé parfois système PV à échelle réduite ($P \leq 5 \text{ kW}_c$). La figure II.5, donne un exemple de la structure d'un système PV autonome.

Les systèmes autonomes ont un rôle d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans des zones non raccordé au réseau électrique. Dans tel système, un système de stockage est associé aux générateurs PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de la production. Ce système de stockage représente une part très importante du coût de l'installation, et ces conditions de fonctionnement sont très contraignantes. Ainsi, les générateurs PV, fournissent des tensions continues (CC), et comme la plupart des équipements électriques d'une habitation s'alimentent en alternatif (CA), la présence d'un onduleur CC/CA est nécessaires [28] [29].

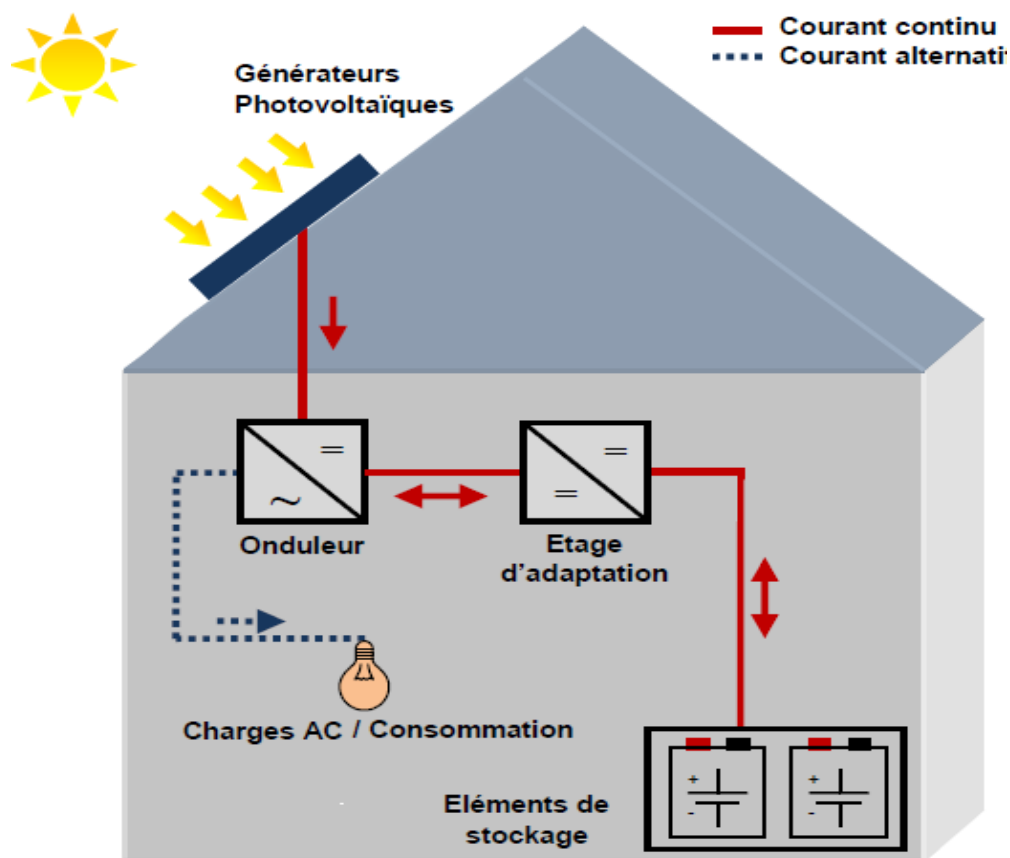


Figure II.5: Exemple de la structure d'un système PV autonome [28].

B) Le système photovoltaïque connecté au réseau (figure II.6) est le plus populaire pour les maisons et entreprises situées en zones développées. Ce système est branché directement sur un réseau électrique, mais il est installé près de la demande. Il peut être installé, par exemple, sur une résidence individuelle ou sur un centre commercial, de telle sorte qu'il alimente cette charge et fournit

l'excédent de sa production sur le réseau durant le jour. Durant la nuit, la charge puise l'énergie requise du réseau ce qui fait que le stockage d'énergie n'est pas nécessaire dans ce cas. Ce système permet de diminuer les frais de transport d'électricité et la surcharge de ligne [30] [31].

Il existe deux types de structures d'un système photovoltaïque connecté au réseau.

Centralisé : Production  Vente

C'est un système à connexion direct au réseau. Cette installation est constituée d'un générateur photovoltaïque qui est connecté à l'aide d'un onduleur au réseau électrique. Le courant produit injecter directement dans le réseau, la totalité du courant produit est vendu et la totalité du courant consommé est fournie par le réseau. Ainsi, l'électricité produite est vendue au distributeur d'électricité. Des démarches sont nécessaires auprès des différentes parties concernées (gestionnaire du réseau, pouvoirs publics) pour être reconnu comme producteur d'électricité.

Décentralisé : Production  Consommation  Vente

Le courant produit consommer directement par l'habitat, seul le surplus est vendu en cas d'excédent et le courant nécessaire lorsque la consommation dépasse la production (nuit, ciel couvert, brouillard) est fourni par le réseau, Pour soutenir le développement de la filière, le tarif d'achat du kWh produit par une installation photovoltaïque est supérieur au prix pratiqué par les compagnies électriques pour la vente d'électricité à leurs clients. Il est donc nécessaire un compteur qui séparer les kWh injectés et kWh prélevés sur le réseau, ce qui oblige à installer deux compteurs unidirectionnels (électroniques). En cas d'arrêt de la distribution d'électricité venant du réseau (panne, travaux de la compagnie d'électricité), l'onduleur ne débite aucun courant sur le circuit intérieur ni sur le réseau. [32]

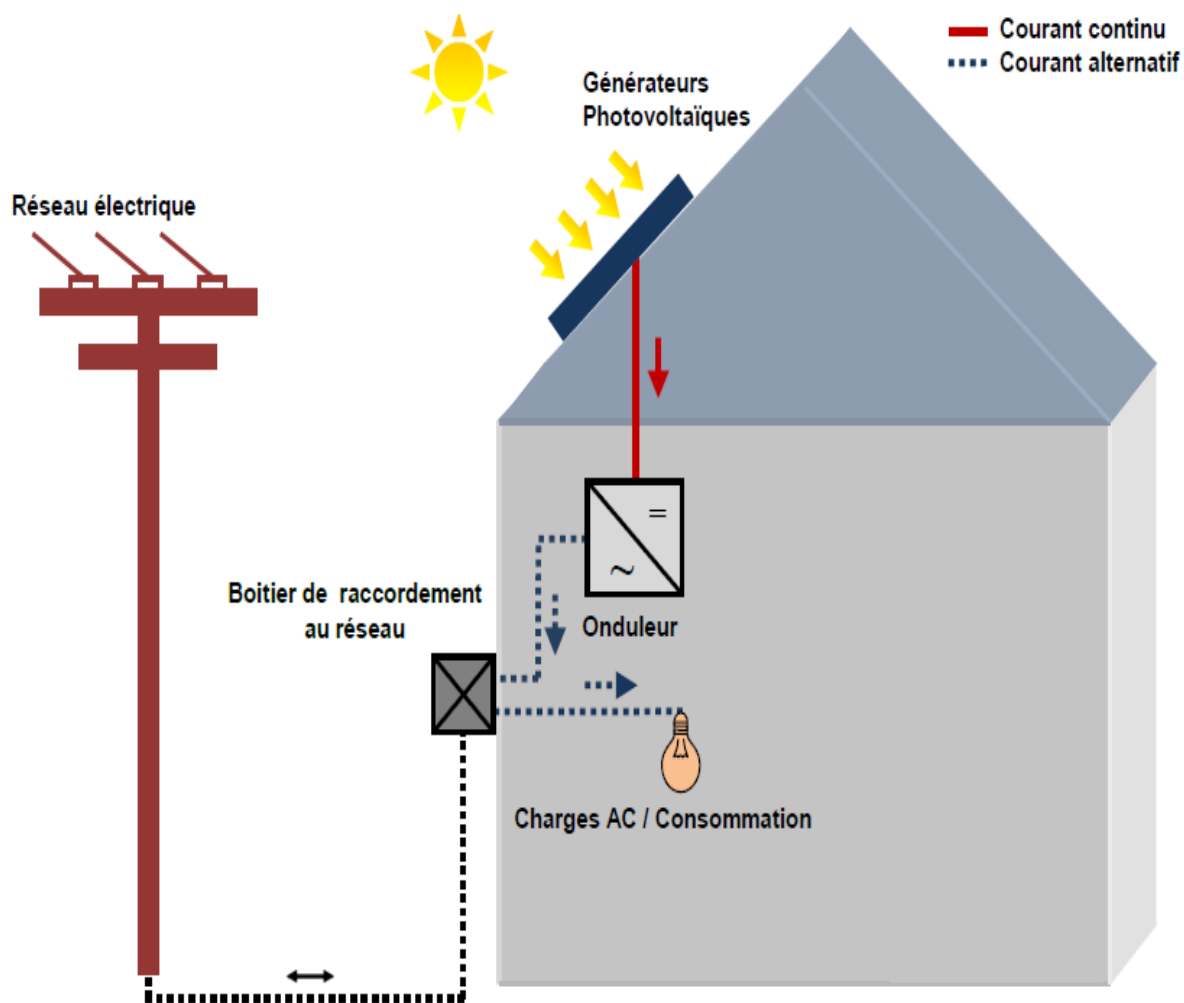


Figure II.6: Exemple de la structure d'un système PV raccordé au réseau [28].

II.4 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement à base de silicium. La taille de chaque cellule va de quelques centimètres jusqu'à 100 cm^2 , sa forme est circulaire carrée ou dérivée des deux géométries [33]. Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule [34].

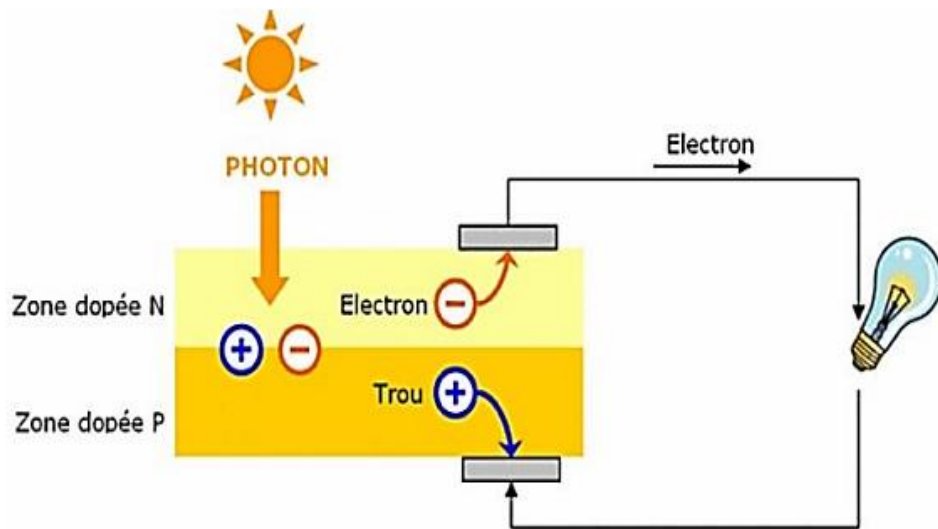


Figure II.7: Structure d'une cellule photovoltaïque.

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium. Chaque type de cellules à un rendement qui lui est spécifique. Par contre quel que soit leurs types leurs rendement est assez faible de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent [35]. Il existe trois principaux types de cellules.

- **Les cellules monocristallines :**

Elles sont le meilleur rendement ainsi qu'un coût très élevé, du fait que leurs fabrications sont compliquées.

- **Les cellules poly cristallines:**

Un rendement plus faible, et un coût de fabrication moins important ainsi qu'une conception plus au moins facile.

- **Les cellules amorphes:**

Elles sont utilisées dans de petits produits tel que des calculatrices ou encore des montres elle sont un rend entassez faible, elles nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium donc un cout plus élevé.



Silicium monocristaline

Silicium poly-cristallin

Silicium amorphe

Figure II.8: types de la cellule photovoltaïque.

Le tableau suivant présente les différents types des cellules avec leur rendement.

Technologies de cellules	Rendement en laboratoire	Rendement production
Silicium amorphe (a-si)	13%	5-9%
Silicium poly cristallin (P-SI)	19 ,8%	11 à 15%
Silicium monocristalline (m-SI)	24,7%	13 à 17%

Tableau II.1: Les différents types des cellules avec leur rendement [35].

Les panneaux solaires photovoltaïque regroupent des cellules photovoltaïques reliées entre photovoltaïques reliées. Photovoltaïques reliées sur des supports fixes au sol ou sur des systèmes mobiles de poursuite du soleil appelés trackers. Dans ce dernier cas la production électrique augmente d'environ 30% par rapport à une installation fixe. En dehors de centrales solaires, les installations fixes se font actuellement plutôt sur les toits des logements ou des bâtiments, soit en intégration de toiture. Dans certains cas, on pose des panneaux verticaux en façade d'immeuble, cette inclinaison n'est pas optimale pour la production d'électricité, la position fixe inclinaison n'est de 30° par rapport à l'horizontale [36].

II.5 Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

II.5.1 Avantages :

L'énergie photovoltaïque offre de multiples avantages :

- ❖ Energy propre et ecologies.
- ❖ Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.
- ❖ L'énergie photovoltaïque est particulièrement attractive pour les sites urbains, vu la petite taille des installations et leur fonctionnement silencieux.
- ❖ Elle est exploitable pratiquement partout, la lumière du soleil étant disponible dans le monde entier.
- ❖ L'équipement de production peut presque toujours être installé à proximité du lieu de consommation, évitant ainsi les pertes en ligne.
- ❖ Les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques.
- ❖ La durée de vie des panneaux photovoltaïques est très longue. Certains producteurs garantissent les panneaux solaires pour une durée de 25 ans [37].

II.5.2 Inconvénient :

- ❖ Le coût très élevé des investissements.
- ❖ Faible Rendement de conversion.
- ❖ Dans le cas d'une installation photovoltaïques autonome, il faut inclure des batteries dont le coût reste très élevé.

II.6 Conclusion :

Dans une première partie de ce chapitre, nous avons présenté la situation énergétique et le programme national de l'habitat rural dans la région étude d'El Oued. Il s'avère que la demande en énergie électrique et en gaz naturel dans ces régions est en expansion voire le nombre d'abonnés d'électricité et du gaz naturel qui ne cesse de s'accroître. Ajoutant à cela, l'habitat rural traditionnel connu par l'utilisation des matériaux locaux est remplacé par d'autre type d'habitations énergivores surtout avec le lancement du programme national de l'habitat rural par le gouvernement dont le nombre de logement réalisé est doublé ce qui enflamme encore la facture énergétique.

Dans une deuxième partie, on a présenté des solutions solaires avec lesquelles on peut faire face à la forte consommation dans le secteur résidentiel. Ainsi qu'on a discuté quelques éléments du solaire passif et actif.

Chapitre III :

**Modélisation du système
photovoltaïque**

III.1 Introduction :

L'étude portant sur Les systèmes d'énergie photovoltaïque connectés au réseau nécessite la modélisation des systèmes de production et de gestion ainsi que le développement de me proposer

Sur l'habitat et de scénarios d'occupation.

III.2 Description du système proposé :

Les systèmes d'énergie photovoltaïque connectés au réseau peuvent changer de taille en fonction de la demande de puissance, cependant ils ont les mêmes composants. La figure III.1 montre un schéma de principe du système photovoltaïque connecté au réseau qui est intégré dans le bâtiment [24-26]. Il comprend un générateur photovoltaïque, un onduleur et un compteur pour mesurer l'énergie exportée vers le réseau et l'énergie importée du réseau. Tous les appareils électriques de la maison sont desservis à la fois par le système photovoltaïque et le réseau. Pendant la journée, l'électricité est fournie par le système photovoltaïque et pendant la nuit (absence de soleil) ou en demande supplémentaire d'énergie, l'énergie électrique est fournie par le réseau. En cas de surplus d'énergie, l'énergie supplémentaire est injectée dans le réseau. Le compteur de la maison est utilisé pour calculer les énergies produites et consommées.

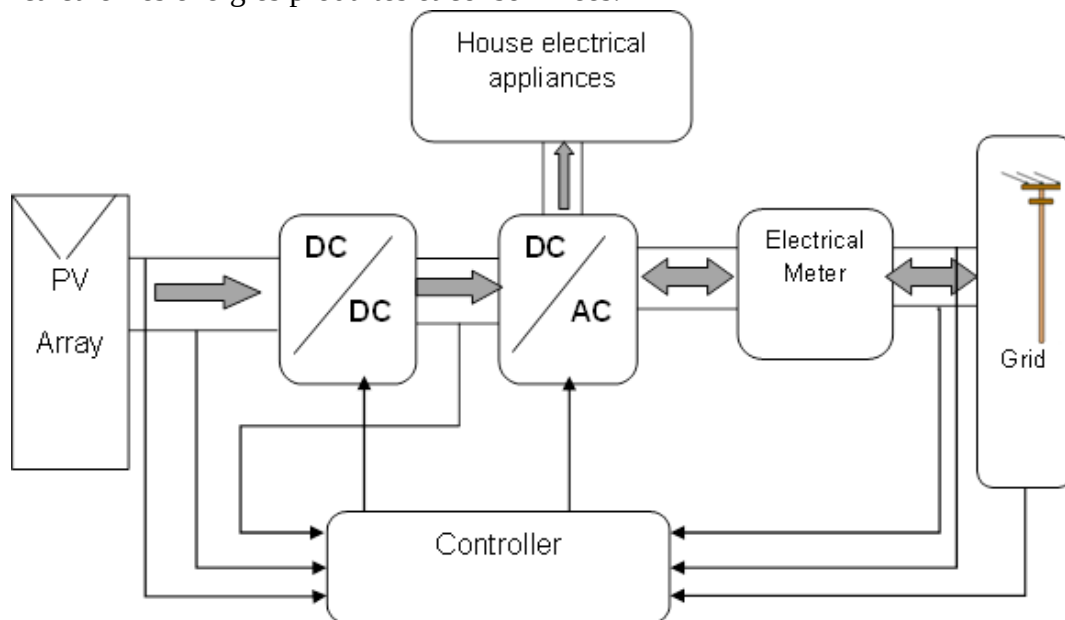


Figure III.1: Schéma de principe du système photovoltaïque connecté au réseau.

Sur la figure III.1, il est montré que le système contient 6 modules PV monocristallins disposés en série, la surface totale du module est de 7,66 m². Les spécifications techniques détaillées de ce modèle

sont présentées dans le tableau III.1. Il contient également un onduleur SMA-1200 qui garantit la supervision et la sécurité du réseau. De plus, le système assure la conversion DC / AC Avec une puissance de 1.2kVA. La productivité nominale de cet onduleur est de 92,1% et ses spécifications sont indiquées dans le tableau III.2.

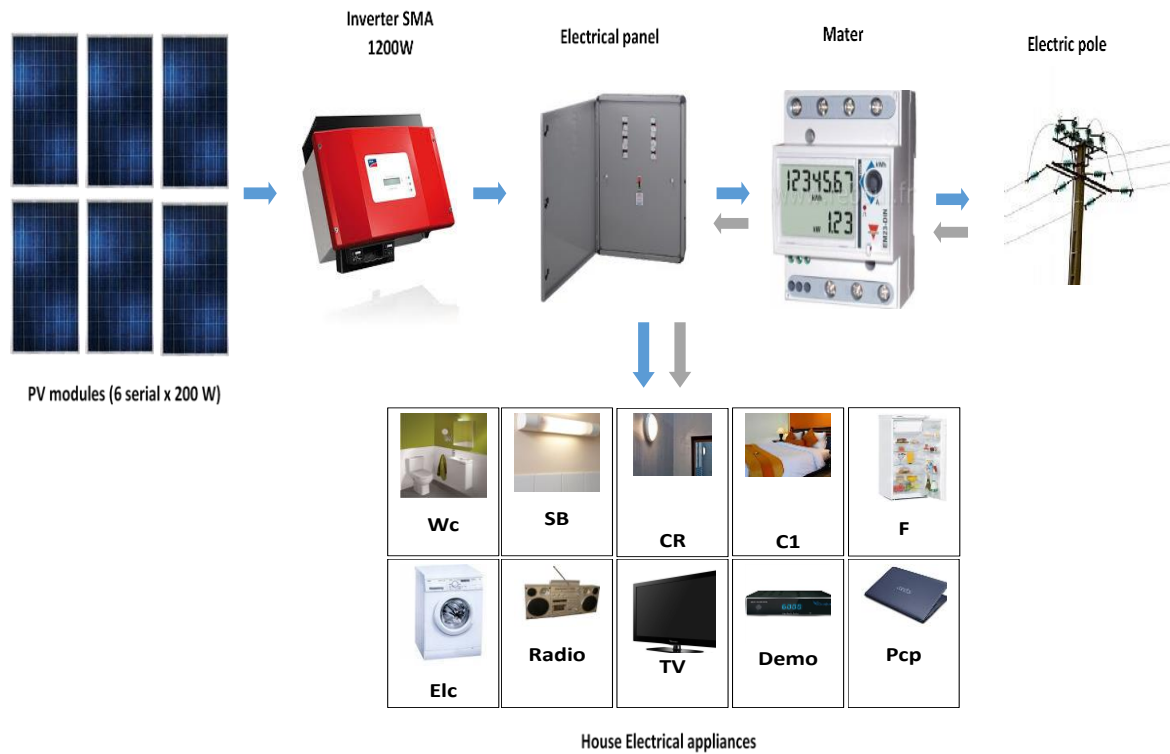


Figure III.2: Le schéma général du système PV connecté au réseau proposé.

Parameters	Valeur
Puissance maximale nominal(W)	200
Tension de fonctionnement optimale (V)	36.5
Courant de fonctionnement optimale (A)	5.48
Tension de circuit ouvert (V)	44.5
Courant de corti- circuit(A)	5.92
Temperature de fonctionnement	-40°C ~+85-C
Température de fonctionnement nominale de la cellule	45+2 C
dimensions(mm)	1580mm*808mm*45mm

Tableau III.1 : Spécifications techniques du module solaire PV (condor, CEM200M-72).

Parameters		Valeur
Entrée	-Puissance maximale (W)	1320
	-Tension maximale(V)	400
	-Courant maximale(A)	12.6
	-Plage de Tension MMPT(V)	De100 a'320
Sortie CA	-Puissance maximale (W)	1200
	-plage de Tension nominale(V)	De180 a'260
	-Courant maximale(A)	6.1
	-Fréquence AC nominale (Hz)	50/60
Efficacité (%)		92.1

Tableau III.2 : Spécifications des caractéristiques techniques de l'onduleur SMA (SB 1200 Sunny boy).

Les panneaux photovoltaïques alimentent un bus de tension continue à travers un convertisseur conçu pour effectuer la conversion DC-AC et pour s'assurer que le générateur PV fonctionne toujours à son point de fonctionnement optimal (MPPT : Maximum Power Point Tracking). Les caractéristiques électriques des panneaux photovoltaïques étant liées aux conditions météorologiques, ce convertisseur améliore la rentabilité globale du système. La grille peut accepter en permanence l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques, permettant un retour sur investissement relativement rapide. Par conséquent, il n'y a pas de perte de production dans ce type de système. En effet, le réseau a pour mission d'assurer en permanence l'adéquation entre production et consommation électrique.

Pour une installation PV bien planifiée, la puissance de l'onduleur doit être adaptée au générateur photovoltaïque connecté. Pour effectuer cette opération, le rapport de puissance agit comme une valeur de référence. Il définit l'interface des deux systèmes en fonction du rapport entre la puissance d'entrée maximale de l'onduleur et la puissance de crête du générateur photovoltaïque.

- Si l'on veut atteindre un rendement maximal, la configuration doit avoir un rapport de puissance d'environ 110%. En revanche, c'est une configuration avec une rentabilité optimisée qui est recherchée ; l'amélioration de la rentabilité ou la réduction de la durée d'amortissement

est difficile à obtenir. En outre, cela dépend de plusieurs facteurs : du soleil, de l'efficacité d de la charge partielle de l'onduleur et du son taux d'achat.

- Si l'orientation du générateur PV s'écarte des valeurs idéales (par exemple sur une façade PV), ceci doit être pris en compte en réduisant considérablement le dimensionnement de l'onduleur.

III.3. Modélisation du système proposé :

III.3.1 Modélisation des cellules photovoltaïques :

La modélisation des cellules photovoltaïques passe nécessairement par un choix judicieux des circuits électriques équivalents. Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément, en prenant plus ou moins de détails. Selon cette philosophie, plusieurs modèles mathématiques sont développés pour représenter un comportement fortement non linéaire, résultant de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations. Ces modèles se différencient entre eux par les procédures mathématiques et le nombre de paramètres intervenant dans le calcul de la tension et du courant du module photovoltaïque. On présentera deux modèles du GPV [38] :

- Modèle avec une seule diode (ou exponentielle simple),
- Modèle avec deux diodes (ou double exponentielle).

Tous les deux sont basés sur l'équation de diode bien connue de Shockley, Nous avons étudié un module Condor, présenté sur la figure III.3.



Figure III.3: module Condor.

a) Modèle avec une seule diode

Le circuit équivalent d'une cellule solaire est idéalisé par une diode de jonction P-N par une source de courant I_{ph} , une résistance série R_s modélise les pertes par effet joule, qui sont dues à une série de résistances causée par la résistivité du matériau semi-conducteur, par les résistances de contact des électrodes et par la résistance de la grille collectrice et le courant collecté par le bus, la valeur habituelle de cette résistance est très petite de quelque dixième d'ohms, reflète directement la qualité de fabrication des cellules PV et une résistance parallèle R_{sh} , représente les pertes internes, ou le courant de fuite à travers la diode de Shockley. En d'autres termes Il s'agit le plus souvent d'une conductance de fuite. C'est comme si l'on devait soustraire au photo-courant, outre le courant de diode, un courant supplémentaire proportionnel à la tension développée. En employant la loi du Kirchhoff au circuit équivalent ci-dessous figure III.4 pour trouver le rapport entre le courant de sortie I et la tension de sortie V aux bornes de la résistance de charge R_c [1, 2, 3, 4, 5, 6].

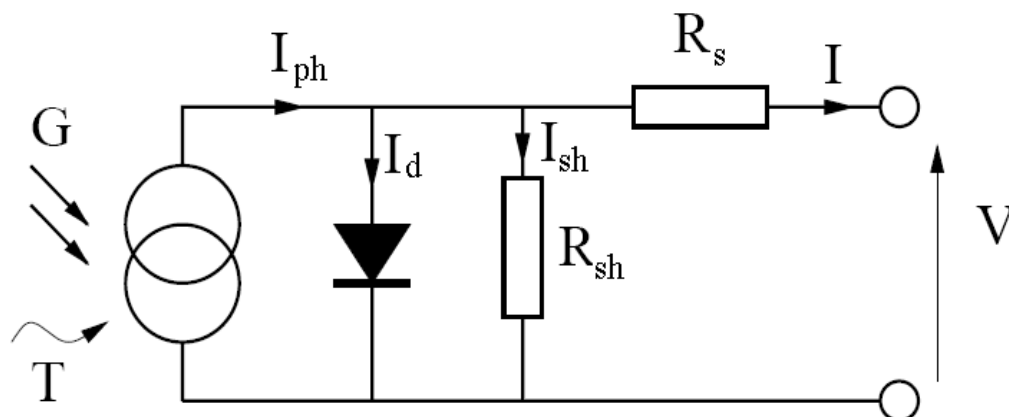


Figure III.4: Circuit équivalent d'une cellule solaire, modèle d'une diode.

L'application des lois de Kirchhoff permet dans un premier temps d'écrire la relation entre les courants

$$I + I_{sh} - (I_{ph} - I_d) = 0 \dots\dots\dots (1)$$

Reste alors à expliciter les différents courants :

I_{sh} , courant de shunt :

$$I_{sh} = \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \dots\dots\dots (2)$$

R_s : Résistance série du module.

R_{sh} : Résistance de shunt du module.

I_{ph} , photo-courant:

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \left(I_{ph,ref} + u_{I,sc} (T - T_{ref}) \right) \dots \dots \dots (3)$$

$I_{ph,ref}$: Courant de court-circuit dans les conditions de référence [A].

G : Eclairement solaire [W/m²].

G_{ref} : Eclairement solaire dans les conditions de référence [W/m²].

$u_{I,sc}$: Coefficient de température du courant de court-circuit [A/°K].

T : Température de fonctionnement de la cellule [°K].

T_{ref} : Température de fonctionnement dans les conditions de référence [°K].

I_d , courant de diode :

$$I_d = I_{sat} \left[\exp \left[\frac{V + R_s I}{n V_{th}} \right] - 1 \right] \dots \dots \dots (4)$$

I_{sat} : Courant de saturation de la diode [A].

V_{th} : Tension résiduelle thermique [V].

n : Facteur de diode idéale de la cellule solaire.

Le courant de saturation de la diode I_{sat} s'exprime par :

$$I_{sat} = I_{sat,ref} \left[\frac{T}{T_{ref}} \right]^{3/n} \exp \left[\frac{E_g}{n V_{th}} \left[\frac{T}{T_{ref}} - 1 \right] \right] \dots \dots \dots (5)$$

$I_{sat,ref}$: Courant de diode en inverse dans les conditions de référence [A].

E_g : Bande énergétique de gap du semi-conducteur [V].

V_{th} : Tension [V].

Le courant de saturation $I_{sat,ref}$ s'exprime par :

$$I_{sat,ref} = \frac{I_{sc,ref}}{\exp \left[\frac{V_{oc,ref}}{n V_{th}} \right] - 1} \dots \dots \dots (6)$$

L'expression de V_{th}

$$V_{th} = \frac{kT}{q} \dots \dots \dots (7)$$

k : Constante de Boltzmann $k = 1.38 \times 10^{-23}$ [J/°K].

T : Température de fonctionnement de la cellule [°K].

q : Constante de Faraday $q = 1.60 \times 10^{-19}$ [C].

L'équation (1) s'écrit finalement:

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{n V_{th}} \right) - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \dots \dots \dots (8)$$

B) Modèle avec deux diodes

Dans ce modèle une diode supplémentaire est mise en parallèle au circuit du modèle simple d'une diode figure III.5. Cette diode est incluse pour fournir une courbe caractéristique I-V bien plus précise, qui prit en compte la différence dans l'écoulement du courant aux basses valeurs courantes dues à la recombinaison de charges dans la région de la zone de charge d'espace du semi-conducteur. Alors la diode D1 modélise la diffusion des porteurs dans la base et l'émetteur. Son influence sera d'autant plus grande que le matériau présentera une bonne longueur de diffusion. Par contre la diode D2 modélise la génération/recombinaison des porteurs dans la zone de charge d'espace.

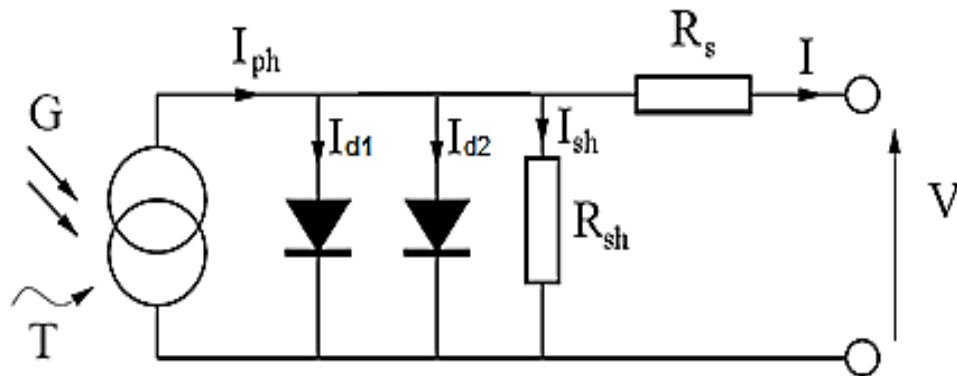


Figure III.5: Circuit équivalent d'une cellule solaire, modèle de deux diodes.

Le courant délivré à la charge sous une tension V est donné par la relation [4, 7, 8, 9, 10, 11,12]

$$I = I_{ph} - I_{sat1} \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{n_1 V_{th}} \right) - 1 \right) - I_{sat2} \left(\exp \left(\frac{V + R_s I}{n_2 V_{th}} \right) - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \dots \dots \dots (9)$$

Ce modèle à deux diodes est plus exact que le modèle simple d'une diode mais en raison de la difficulté de la résolution de l'équation du courant, le modèle simple d'une diode est préféré.

I_{sat1} : Courant de saturation de la première diode [A].

I_{sat2} : Courant de saturation de la deuxième diode [A].

n_1 : Coefficient d'idéalité de la primaire diode D1

n_2 : Coefficient d'idéalité de la deuxième diode D1

Une valeur du facteur d'idéalité n différent de l'unité est associée à un mécanisme de recombinaison prédominant et elle dépend de la nature et de la position des niveaux pièges.

$n=1$: La zone de charge d'espace est dépeuplée (cas idéal).

$1 < n < 2$: Le niveau piège est peu profond dans la zone de charge d'espace et n dépend de la polarisation [39].

$n=2$: Les centres de recombinaison sont distribués uniformément dans la zone de charge d'espace et sur un seul niveau au milieu de la bande interdite.

$2 < n < 4$: Les centres de recombinaison sont distribués de façon non uniforme avec une densité réduite au centre de la zone de charge d'espace par rapport à la surface

III.3.2 Caractéristiques courant-tension et puissance-tension :

La caractéristique courant-tension nous montre que la cellule PV est une source de courant constante pour des faibles valeurs de la tension avec un courant approximativement égal au courant de court-circuit I_{cc} .

Avec l'augmentation de la tension, le courant commence à diminuer exponentiellement jusqu'à la valeur zéro où la tension est égale à la tension de circuit ouvert V_{co} . Sur la gamme entière de tension, il y a un seul point où la cellule fonctionne au rendement le plus élevé ; c'est le point de puissance maximal (MPP).

Il est possible de déterminer ces caractéristiques par des méthodes numériques itératives.

(La méthode de dichotomie, la méthode de Lagrange, la méthode de point fixe et la méthode de Newton Raphson). La méthode de Newton Raphson est choisie pour la convergence rapide de la réponse.

_ La méthode de Newton Raphson est l'une des méthodes les plus utilisées pour la résolution des équations non linéaires. L'algorithme de cette méthode est basé sur l'utilisation du développement de Taylor.

Les figures (III.6) et (III.7) représente les courbe $I(v)$ et $P(v)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions standard l'éclairement et de température 1000 W/m^2 et 25°C

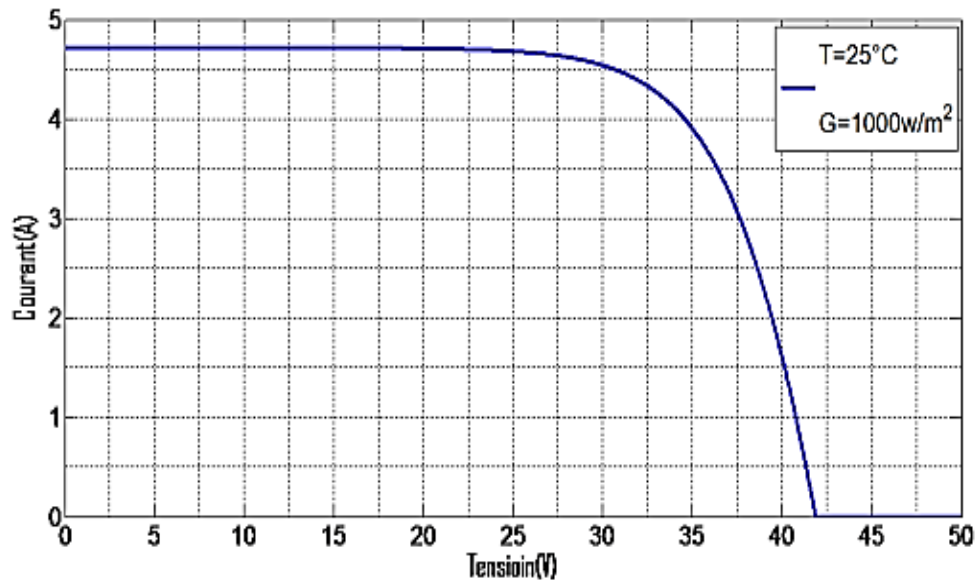


Figure III.6: Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque.

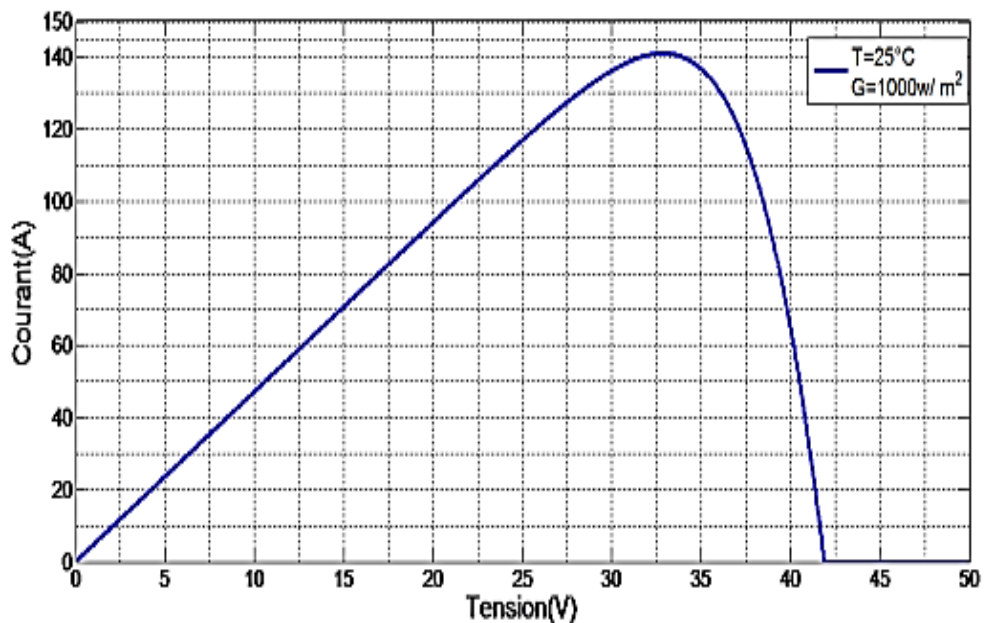


Figure III.7: Caractéristique P-V d'une cellule photovoltaïque.

III.3.3 Modélisation de l'onduleur :

Dans cette section, un modèle empirique a été introduit par SANDIA Laboratoires (Sandi National Laboratoires), le modèle était valable pour tous les onduleurs commerciaux utilisés dans les systèmes PV. C'est un modèle simple qui permet de calculer avec précision la puissance de sortie (P_{ac}) en

fonction de la puissance d'entrée (P_{dc}) de l'onduleur. Ce modèle sera utilisé pour modéliser le comportement dynamique de l'onduleur monophasé (SMA1200) connecté au réseau. Le modèle nécessite un ajustement des paramètres de performance (coefficients) dans des conditions réelles.

Les équations ci-dessous décrivent le modèle de l'onduleur développé par les laboratoires SANDIA. La tension continue (V_{dc}) et la puissance continue (P_{dc}) sont considérées comme des variables indépendantes pour calculer la puissance de sortie de l'onduleur (P_{ac}) [40].

Les paramètres avec l'indice "o" sont des valeurs constantes qui sont définies dans les conditions de référence ou dans les opérations nominales. Les C_0 , C_1 , C_2 et C_3 sont des coefficients constants du modèle de l'onduleur. La relation entre P_{ac} en fonction de V_{dc} et P_{dc} est donnée par l'équation suivante (2).

$$P_{ac} = \left[\frac{P_{ac0}}{A - B} - C(A - B) \right] \cdot (P_{dc} - B) + C(P_{dc} - B)^2 \quad (1)$$

Dance :

$$A = P_{dc0} [1 + C_1(V_{dc} - V_{dc0})] \quad (2)$$

$$B = P_{s0} [1 + C_2(V_{dc} - V_{dc0})] \quad (3)$$

$$C = C_0 [1 + C_3(V_{dc} - V_{dc0})] \quad (4)$$

La précision du modèle dépend de la précision des paramètres de performance du modèle d'onduleur PV. Ces paramètres peuvent être obtenus à partir des fiches techniques du constructeur en considérant les valeurs par défaut des coefficients ou des bases de données de tests réalisées dans des laboratoires internationaux reconnus.

Parameters par performances	Parameters par default	Laboratoire SANDIA
P_{aco} (w)	1200	1200
P_{aco} (W)	1320	1320
P_{so} (W)	400	400
V_{dco} (V)	15	3.5
C_0 (w^{-1})	0	-1.44 e -8
C_1 (V^{-1})	0	1.385
C_2 (V^{-1})	0	-0.00284
C_3 (V^{-1})	0	1.074

Tableau III.3: Paramètres de performance du SMA1200.

L'autoconsommation des onduleurs utilisés a été déterminée par des mesures expérimentales antérieures effectuées par un analyseur de puissance. Dans le reste de notre approche, le paramètre de performance P_{so} est considéré comme constant et égal à 3.5W.

Courbes de rendement pour ASM 1200

Sous $V_{dc} = 110$ $\eta = P_{AC}/P_{DC}$

P_AC (W)	η (%)	P_DC (W)
40	0	#DIV/0!
80	84	95.24
120	87.8	136.67
160	88.5	180.79
200	90.4	221.24
240	91.2	263.16
280	91.5	306.01
320	91.8	348.58
360	92	391.30
400	92.1	434.31
440	92.08	477.85
480	92.05	521.46
520	92.02	565.09

560	92	608.70
600	91.9	652.88
640	91.8	697.17
680	91.7	741.55
720	91.6	786.03
760	91.5	830.60
800	91.45	874.79
840	91.4	919.04
880	91.3	963.86
920	91.2	1008.77
960	91	1054.95
1000	90.8	1101.32
1040	90.7	1146.64
1080	90.6	1192.05
1120	90.5	1237.57
1160	90.4	1283.19
1200	90.25	1329.64

Tableau III.4: Courbes de rendement pour SMA1200.

III.4 conclusion :

La modélisation de chaque composant du système photovoltaïque complet a été élaborée à partir de modèles de la littérature (champ PV, convertisseurs,) ; cette modélisation est une étape essentielle permet d'introduire un certain nombre de modèles puis évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi que ses paramètres constitutifs. L'implémentation de ces modèles dans un environnement de simulation adapté permettra d'étudier le comportement des composants en fonction de certains paramètres. L'outil ainsi réalisé sera utilisé pour déterminer le dimensionnement optimal d'un tel système l'étude reste incomplète ce qui nécessite de faire un bon dimensionnement.

Chapitre IV :

Simulation et résultats du système photovoltaïque

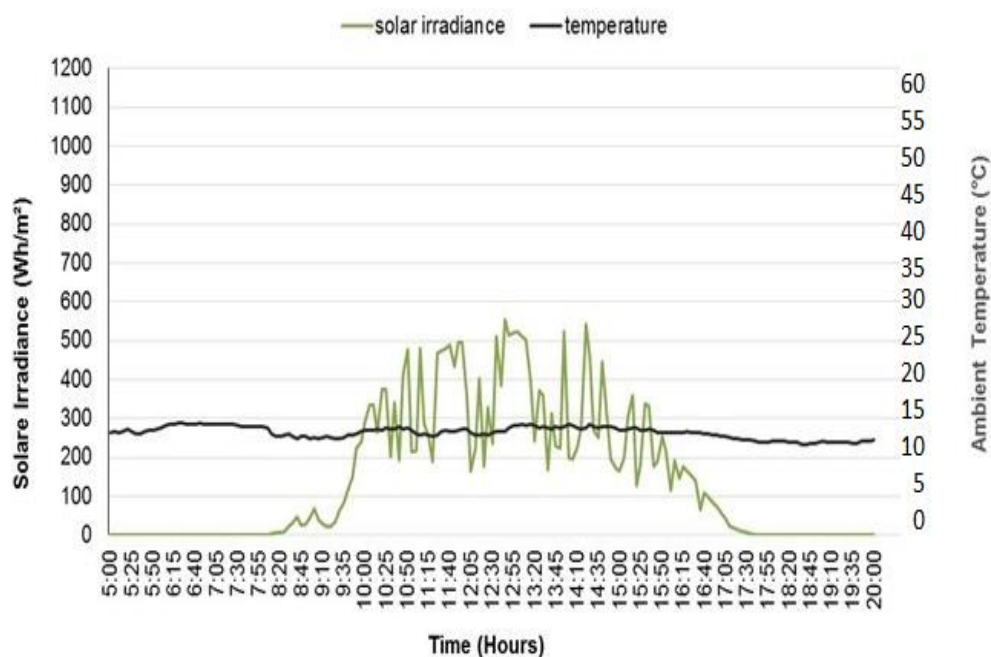
IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons discuté de l'effet des conditions météorologiques et de l'angle d'inclinaison des panneaux solaires, qui à son tour nous donne une énergie optimale. Nous allons maintenant simuler entièrement le système sélectionné, ainsi que suivre le point d'énergie maximale. Il a été sélectionné ci-dessous Simulink/Matlab.

IV.2 Données météorologiques

La disparité de l'irradiance solaire et de la température entre le solstice d'hiver et l'été est remarquable. Sur le site étudié (El oued), l'évolution de la température ambiante et de l'irradiation solaire au cours d'une journée en janvier et un jour en juin est illustrée à la figure IV.1. Janvier est l'un des mois les plus froids et juin est l'un des mois les plus chauds de l'année en El oued. On remarque que les journées d'hiver sont moins ensoleillées que les journées d'été, ce qui influence réellement le bon fonctionnement du système PV (diminution de la puissance avec faibles irradiances).

a)



b)

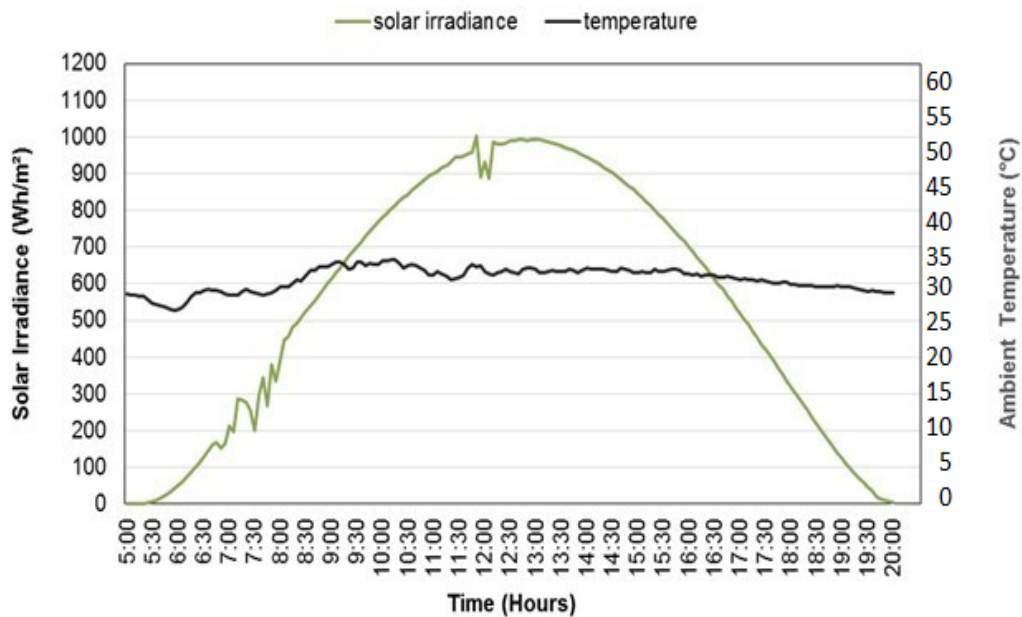


Figure IV.1: Evolution du a rayonnement solaire et de la température ambiante (a) en hiver ,1 janvier 2022 et (b) à auner,21 juin2022.

IV.2.1 L'effet de la température et l'éclairement sur Panneaux solaires

- 1- Les panneaux solaires sont négativement affectés par les températures élevées, contrairement à ce que certains pensent.
- 2- Les cellules produisent de l'électricité à partir de la lumière du soleil, pas de la chaleur
- 3- Vous serez peut-être surpris de savoir que tous les satellites fonctionnent avec une grande efficacité grâce à l'énergie solaire, même si la température dans l'espace est négative de -200 degrés Celsius, avec une luminosité solaire permanente et une absence totale de nuages et de pluie.
- 4- Plus on se déplace vers le sud vers l'équateur, plus la quantité annuelle de rayonnement solaire tombant sur chaque mètre carré augmente, à condition qu'il n'y ait pas de jours nuageux et de nombreuses pluies au cours de l'année. Par conséquent, nous constatons que la région arabe bénéficie d'un excellent taux de production de panneaux solaires en raison de sa proximité avec la ligne de l'équateur avec l'absence de nuages et de nuages, malgré les températures élevées.
- 5- Cependant, en général, le gain de productivité résultant de la luminosité du soleil dépasse de loin la perte résultant de l'augmentation de la température.

Les données relatives à El oued sont citées ci-après :

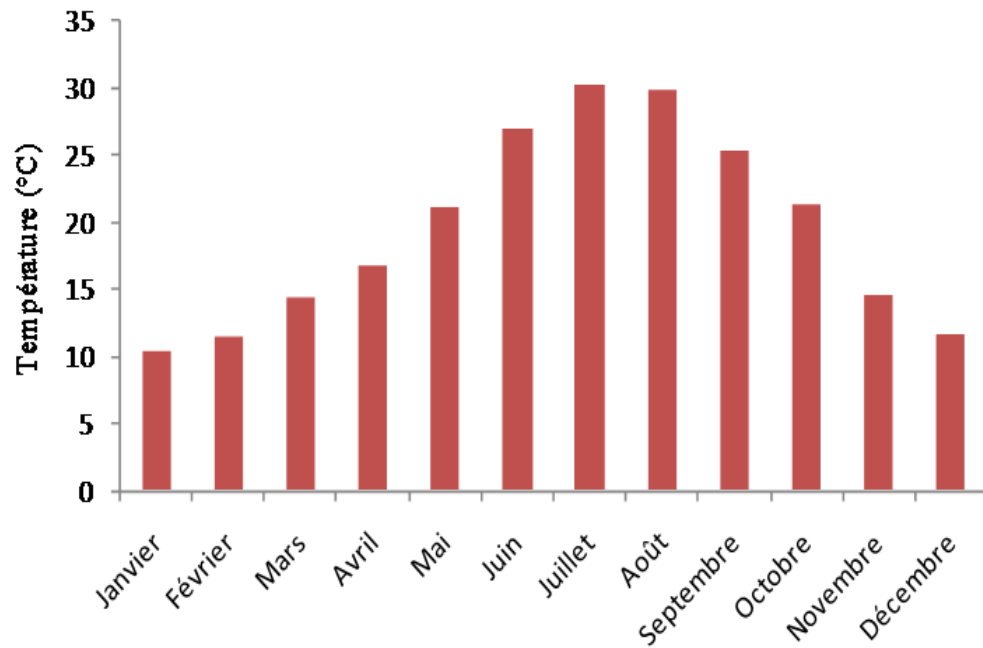


Figure IV.2: Evolution de la température ambiante en 2022.

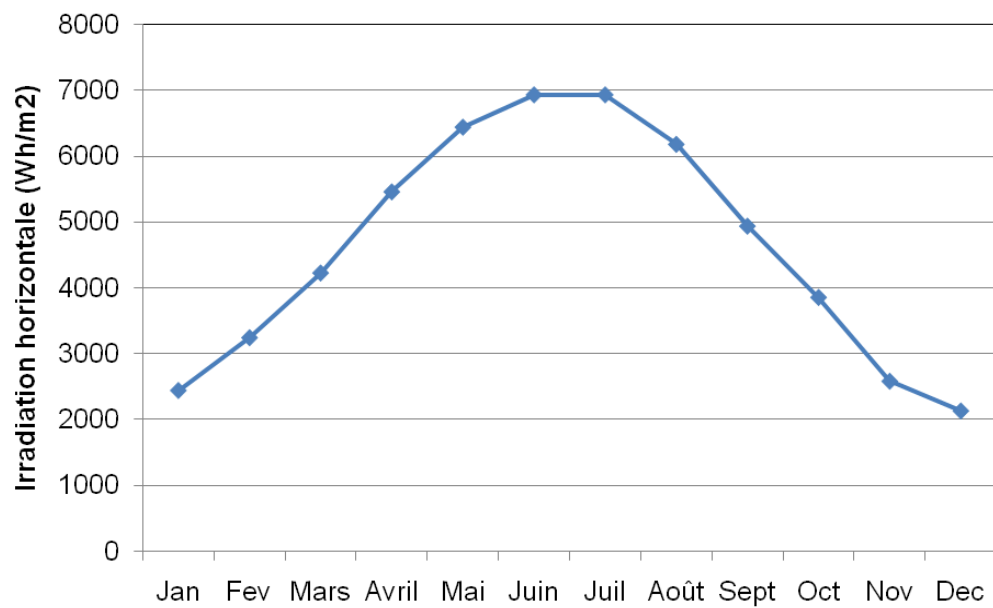


Figure IV.3: Irradiation solaire horizontale à El oud

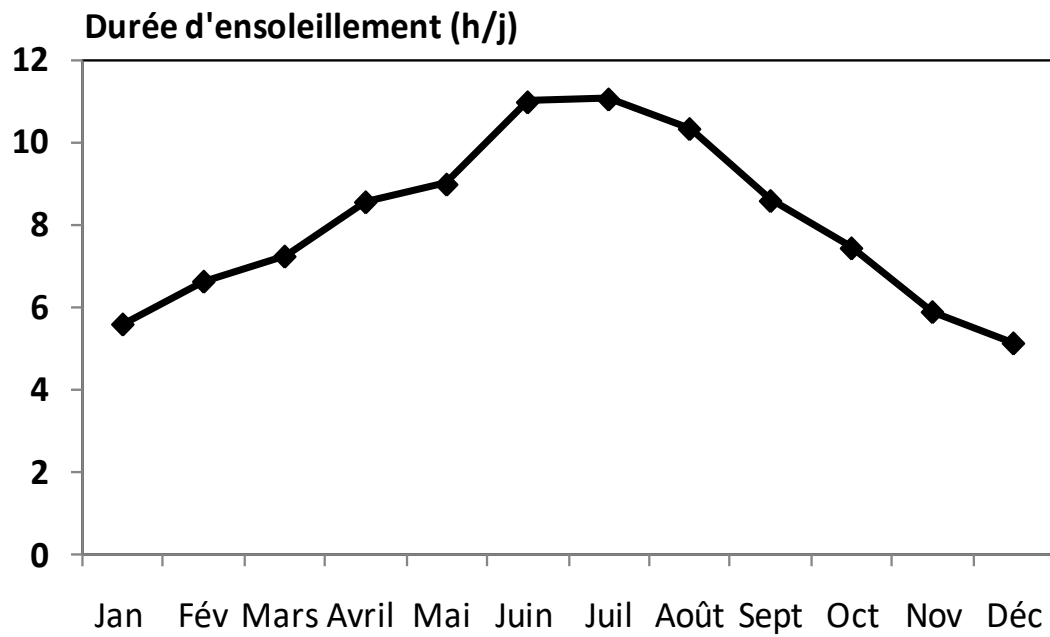


Figure IV.4: Durée d'ensoleillement à El oud.

Les caractéristiques d'un panneau d'pendent de l'éclairement et de la température. Selon la Technologie du générateur photovoltaïque, les variations des paramètres seront différentes, les figures (IV.5) et (IV.6) présentons un exemple des courbes pour différents Niveaux de rayonnement, Nous avons fixe la température ($T = 25^{\circ}\text{C}$) pour différents 'éclairements. On constate alors que la tension à vide est relativement constante par contre le courant de court-circuit augmente au l'augmentation de l'éclairement.

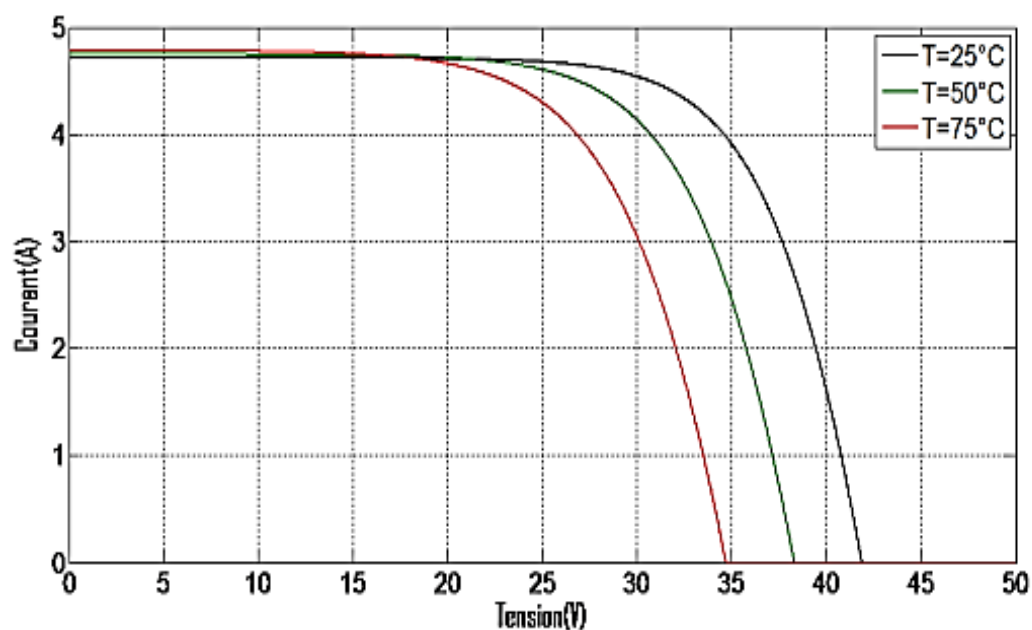


Figure IV.5: La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de Température.

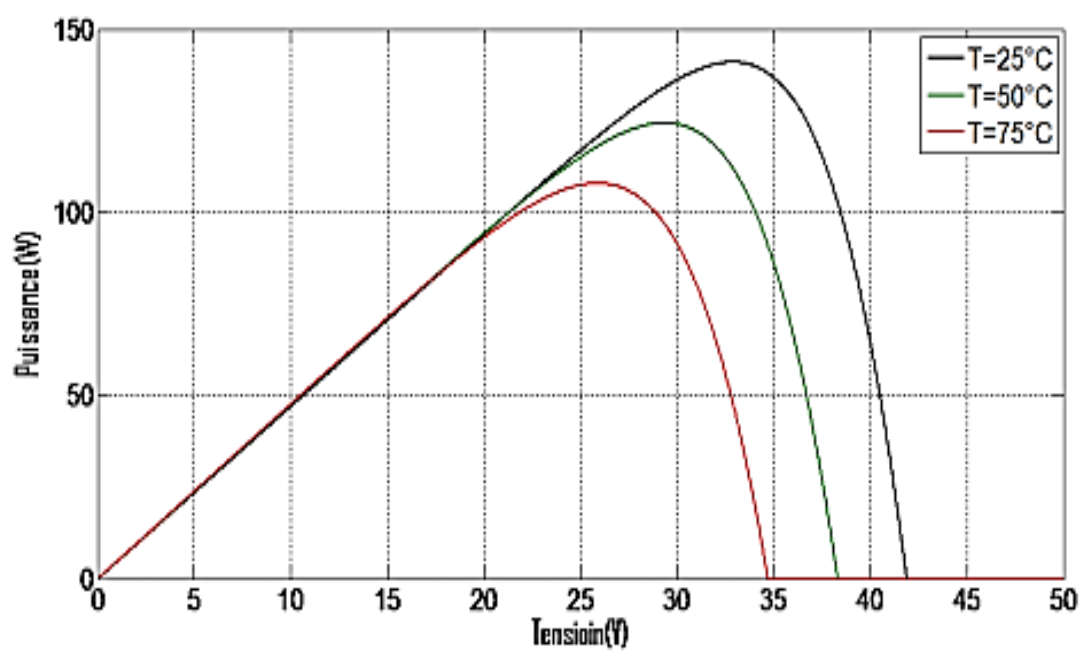


Figure IV.6: La caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température.

D'un module photovoltaïque pour un niveau rayonnement ($G=1000 \text{ w/m}^2$) fixe et pour différentes températures, Les figures (IV.10) et (IV.11) présentent les caractéristiques I - V et P - V

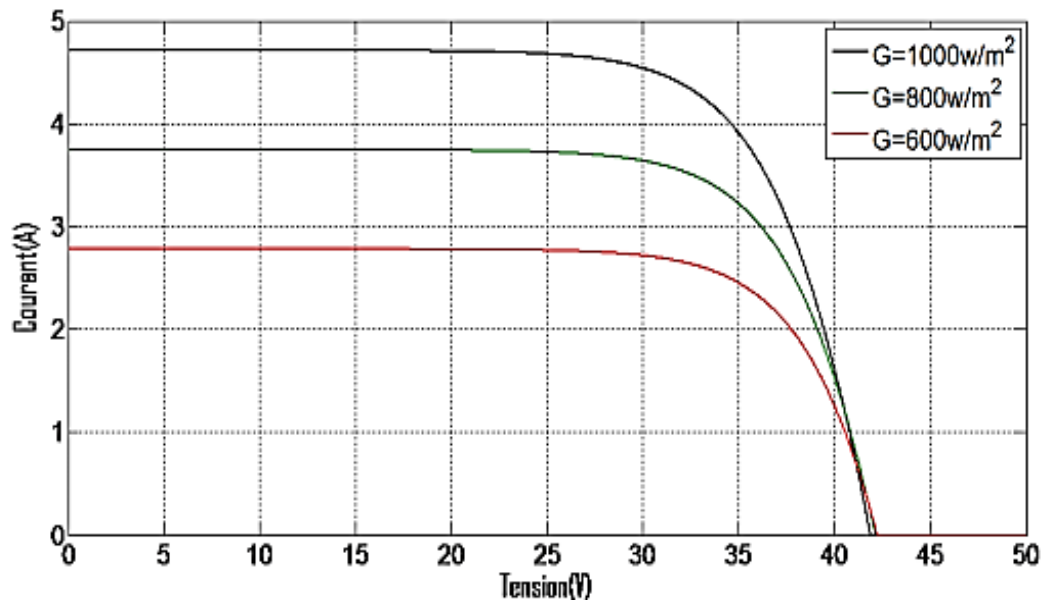


Figure IV.7: La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement.

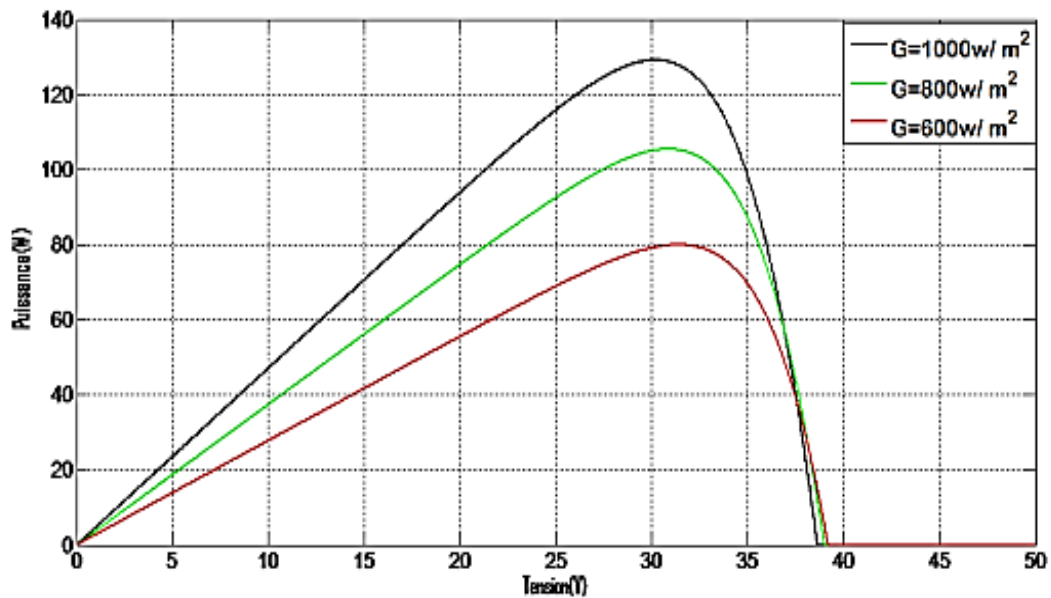


Figure IV.8: La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement.

Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le Courant augmente légèrement à mesure que la température augmente. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance.

IV.3 Optimisation de l'angle d'inclinaison du générateur PV :

Pour tirer le meilleur parti de vos panneaux solaires, les panneaux doivent être orientés de manière à recevoir le maximum de rayonnement solaire*. Aujourd'hui, nous allons découvrir les méthodes de routage des panneaux solaires photovoltaïques, la raison du choix de chaque méthode, et l'importance du routage dans le rendement du panneau solaire.

La différence d'inclinaison du rayonnement solaire entre les deux hémisphères de la terre provoque l'inversion des saisons : quand c'est l'été dans l'hémisphère sud, c'est l'hiver dans l'hémisphère nord.

On incline aussi les panneaux solaires pour qu'ils soient face au soleil afin que les rayons du soleil soient le plus perpendiculaire possible au panneau solaire, et puisque les rayons et solaires sont perpendiculaires à l'équateur, on essaie d'orienter les panneaux vers l'équateur, donc que les panneaux solaires sont orientés vers le sud dans l'hémisphère nord et vers le nord dans l'hémisphère sud. Donc les installation des panneaux solaires au meilleur angle d'inclinaison hivernale.

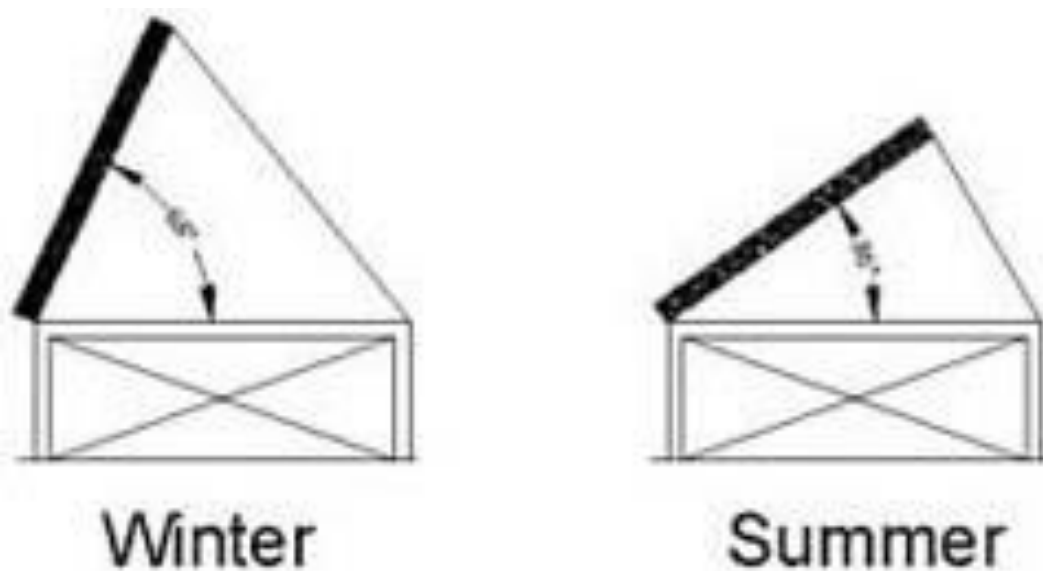


Figure IV.9: montrant des exemples de différents angles d'inclinaison.

IV.4 Simulation d'un système PV connecté au réseau

Un modèle élaboré de Matlab-Simulink a été développé et l'effet de différents sous-systèmes d'un système PV connecté au réseau a été analysé à la figure IV.10.

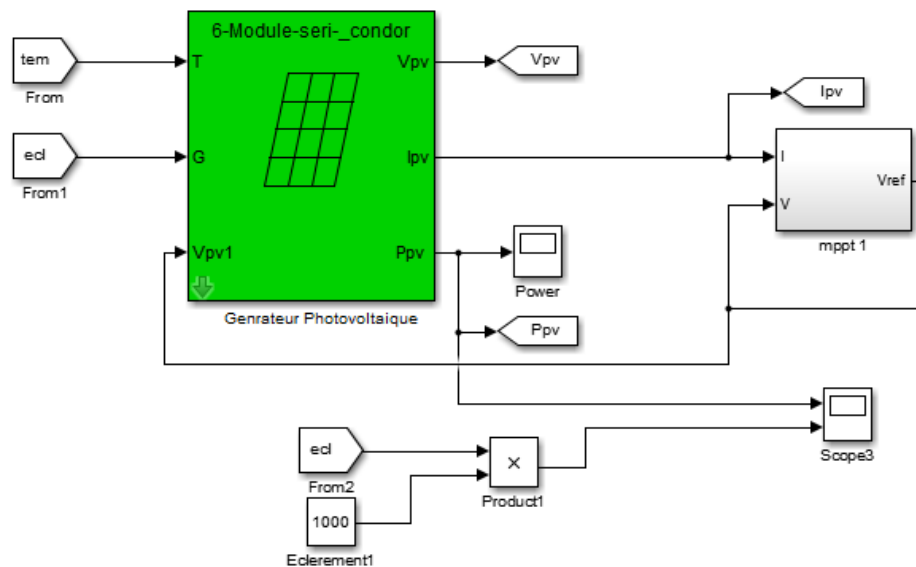


Figure IV.10: MATLAB-Simulink program of the proposed grid-connected PV system.

Dans la stimulation, la capacité du générateur PV et de l'onduleur considéré dans le modèle était de 1,2 kW. Cette simulation a été réalisée avec un vrai profil quotidien d'entrée de données du site algérien, exactement dans la ville de El oued (la température, l'irradiance et le profil de charge développé). D'un autre côté, dans la modélisation, la gestion de la demande a également été prise en compte.

IV.4.1 Simulation de la chaine de conversion PV sous MATLAB/SIMULINK

La simulation digitale sert afin de comprendre le comportement opérationnel de ces composants et les interactions entre eux. Depuis la simulation de la performance d'un système, on peut tracer toutes les étapes de la conversion d'énergie et identifier en détail les pertes à travers le système.

Comme la simulation sur ordinateur permet la variation d'une gamme de paramètres d'un système l'investigation comme fonction de ces paramètres, de caractéristiques opérationnelles, du procédé du projet de tel système.

Toutes les opérations de simulation sont faites par le logiciel MATLAB 2014a

IV.4. 2 L'outil Matlab/Simulink

MATLAB fait également partie d'un ensemble d'outils intégrés dédiés au Traitement du Signal. En complément du noyau de calcul Matlab, l'environnement comprend des modules optionnels qui sont parfaitement intégrés à l'ensemble :

- ✓ Une vaste gamme de bibliothèques de fonctions spécialisées (Tool boxés).
- ✓ Simulink, un environnement puissant de modélisation basée sur les schémas- blocs et de simulation des systèmes dynamiques linéaires et non linéaires.
- ✓ Des bibliothèques de blocs Simulations spécialisés (Block sets).
- ✓ D'autres modules dont un Compilateur, un générateur de code C, un accélérateur.
- ✓ Un ensemble d'outils intégrés dédiés au Traitement du Signal : le DSP Workshop.

SIMULINK est une plate- forme de simulation multi-domaine et de modélisation des systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal (A).

IV.5 Résultats pour Système photovoltaïque connecté au réseau

Énergie quotidienne

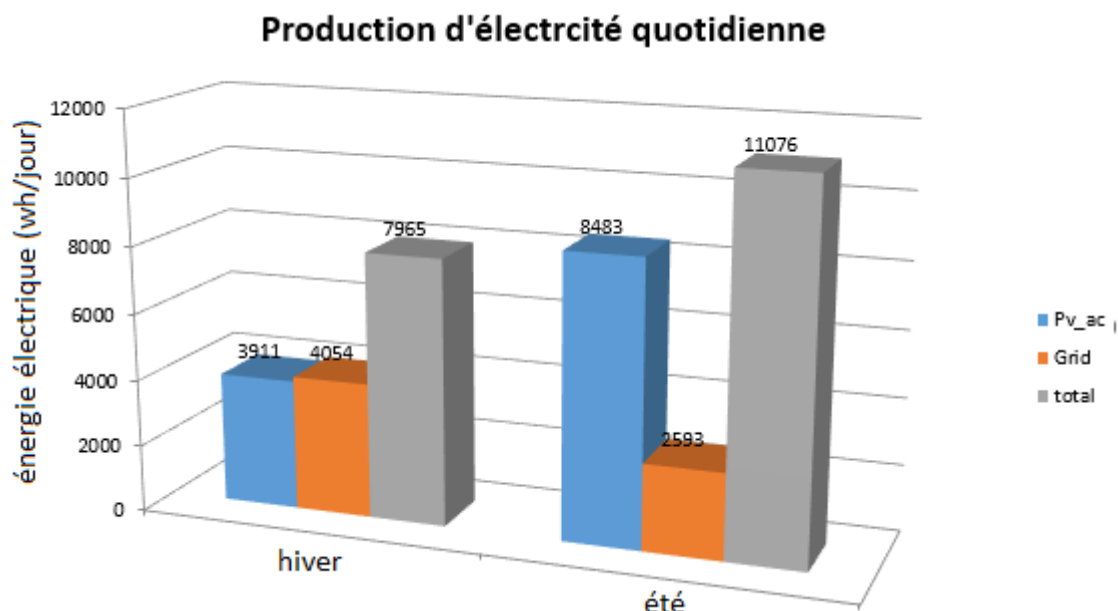


Figure IV.11: Production d'électricité quotidienne.

Selon la Figure IV.10, la valeur de production du réseau et des panneaux solaires était très proche en hiver et en été, la valeur de la production des panneaux solaires était élevée par rapport à la production du réseau.

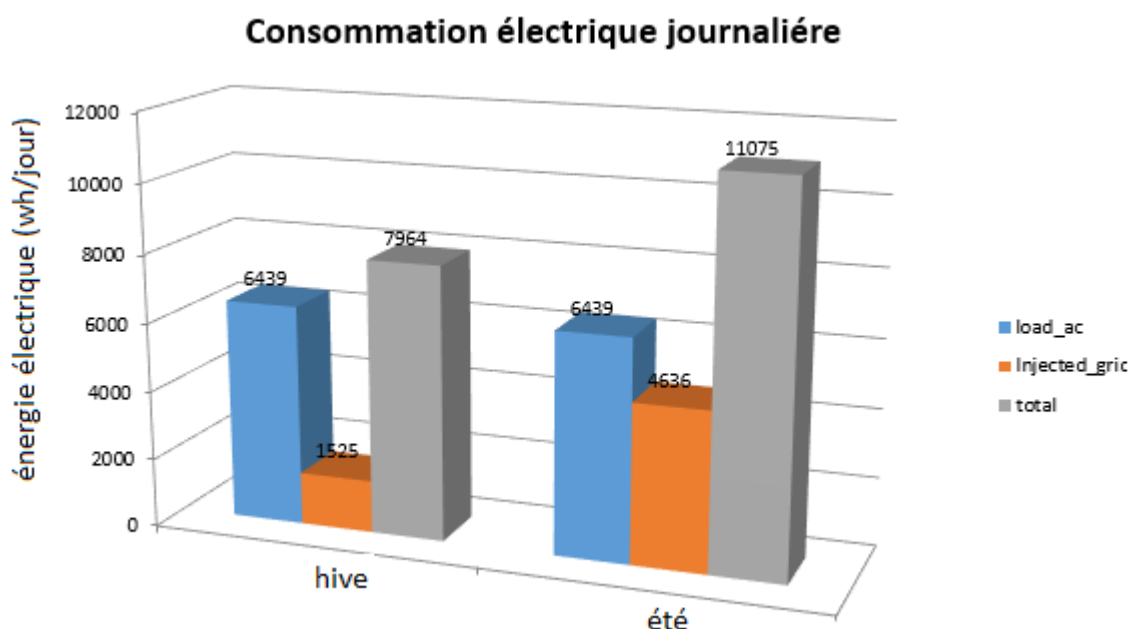


Figure IV.12: Consommation électrique journalière.

Dans la figure IV.11, la valeur de consommation des panneaux solaires était élevée par rapport à la consommation du réseau en hiver et en été, la valeur de la consommation du réseau était faible par rapport aux panneaux solaires.

Le développement de la conversion photovoltaïque se heurte à un certain nombre de difficultés, parmi lesquelles le coût élevé du kWh produit et la longue durée de retour sur investissement. A cela s'ajoute certains aspects d'installation et d'exploitation des modules photovoltaïque (PV). Sur le plan de l'exploitation, les modules photovoltaïques nécessitent d'être exposés à l'extérieur afin de fonctionner sous l'ensoleillement le plus direct possible. De tels équipements sont de ce fait soumis à un environnement occasionnant de multiples sources de pollution et d'encrassement. Parmi les plus courantes, nous pouvons citer : polluants industriels, pollutions automobiles, pluie acide, cheminées, pollens, poussières, sables, feuilles d'arbres, mousse, champignons, sels en ambiance marine, calcaire, résidus de produits de nettoyage. En plus de baisser leurs rendements certains polluants peuvent entraîner une usure prématurée des modules en engendrant des phénomènes d'échauffement intense via l'effet

« Hot spot ». Les châssis en aluminium dont les modules sont équipés peuvent également être source de nuisance en termes de production électrique parce que sous l'effet de la corrosion, les profilés en

aluminium attaquent les surfaces vitrées de protection. Celles-ci deviennent alors rugueuses et s'opacifient, ce qui engendre donc un effet néfaste sur le rendement de production.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons testé par simulation la méthode de poursuite du point de puissance maximale afin de visualiser le comportement de cette dernière sur un système photovoltaïque connecté au réseau. Les résultats de simulation ont prouvé que la méthode perturbation et observation est robuste par rapport aux variations des conditions météorologiques (ensoleillement et température). Les résultats de simulation ont montré aussi

Le bon control des puissances active et réactive. Le control des courants est effectué par hystérésis

Modulé pour imposer une fréquence de découpage constante. Dans ce document, les résultats de la consommation et de la production ont été enregistrés pour deux jours différents en été et en hiver, La valeur des bénéfices en été était positive par rapport à l'hiver.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Au cours de cette étude, nous avons essayé de mettre en évidence l'efficacité énergétique L'énergie solaire comme source d'énergie renouvelable dans le processus de production.

Avec l'augmentation significative de la consommation d'énergie, dont le secteur de la construction est le premier consommateur d'énergie et la troisième source de gaz à effet de serre.

Ressources fossiles exploitées et qui Coût élevé de l'exploitation des gisements (charbon, pétrole et gaz) naturelles), les études scientifiques favorisent le passage inéluctable aux énergies renouvelables. En conséquence, l'énergie solaire est la plus Surtout pratique en Algérie qui possède d'importants gisements d'énergie solaire.

L'émergence de l'architecture écologique, et donc bioclimatique, permet de théoriser et L'incarnation de cette réflexion dans la production architecturale de l'environnement bâti. Ceci est incroyable La conception cible principalement plusieurs facteurs climatiques vitaux, à savoir : direction, Emplacement, ventilation, isolation, etc. Ainsi qu'une introduction à la différence Fournir de l'énergie solaire en réduisant l'utilisation des combustibles fossiles, Au niveau opérationnel, il existe une variété d'approches « solaires », chacune ayant des implications pour l'apparence du bâtiment, pour la consommation d'énergie et pour le coût de construction.

L'utilisation de l'énergie solaire dans le bâtiment entraîne l'utilisation de Différentes technologies : production de chaleur thermique ou photo thermique La production d'électricité. Utilisations thermiques et photovoltaïques de l'énergie solaire.

Les intérêts réels actuels, cependant, cette alternative, jusqu'à présent, est critiquée sur le plan économique car le secteur de l'énergie solaire est encore au stade de développement et extension, notamment en Sahara Algérie, pour améliorer l'efficacité énergétique.

Références bibliographiques

Références

- [1] Changement climatique et énergie en méditerranée, Facilité euro-méditerranéenne d'investissement et de partenariat « FEMIP ».
- [2] Ministère de l'énergie et des mines. Agence National pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, APRUE. Consommation Energétique Finale de l'Algérie, chiffres clés Année 2012 (Edition 2014).
- [3] Amine Boudghene Stambouli, Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 1169–1181
- [4] A. Boudghene Stambouli, et al. Review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(2012) 4445-4460.
- [5] OECD/IEA. Statistics on the web, 2014.
- [6] Mohamed Chabane, « L'Algérie otage de ses hydrocarbures : obligation de réformes, urgence d'une reconversion », *Cahiers de la Méditerranée*, 2010, mis en ligne le 23 août 2013, consulté le 19 février 2016.
- [7] BP Statistical Review of World Energy June 2015
- [8] Ministère de l'Energie et des Mines. Bilan énergétique national 2021 (édition 2022).
- [9] Alnaser WE, Al Kalak A, Al Azraq MAT. The efforts of the Arab League Education, Culture and Scientific Organization (ALECSO) in the field of renewable energy. *Renewable Energy* 1995;6(56):649–57.
- [10] Le développement durable – Fabrice Flipo, 2007.
- [11] Frédéric Cherqui, « Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier-méthode ADEQUA, Sciences de l'ingénieur, Université de La Rochelle, 2005.
- [12] Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques à la CCNUCC, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Projet GEF/PNUD 00039149, Alger 2010.
- [13] Guide des énergies renouvelables, Ministère de l'énergie et des mines, Département des énergies nouvelles et renouvelables, édition 2007.
- [14] B.Multon, "Production d'énergie électrique par sources renouvelables", Techniques de l'Ingénieur Traité, D 4005

- [15] Agence nationale de consulté le 17/04/2016.
- [16] Ministère de l'énergie et des mines. Agence National pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie, APRUE. Consommation Energétique Finale de l'Algérie, chiffres clés Année 2012 (Edition 2014).
- [17] I. Haraoubia. (2011). La qualité de logement social en Algérie. Thèse du Master, Ecole National Supérieure d'Architecture de Marseille.
- [18] C.-A. Sénit. (2008). L'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel : une analyse des politiques des pays Sud et de l'Est de la Méditerranée. Institut du développement durable et des relations internationales (Iddri). France.
- [19] Ar .wikipedia.org/wiki/EL OUED,30/05/2023
- [20] Gauzin-Muller Dominique : »L'architecture écologique, 29 exemples européens « édition le Moniteur, 2001
- [21] Liebard.A et de Herde.A : « *Guide de l'architecture bioclimatique* ; Tome4 ; Cours fondamental : Construire avec le développement durable ».2002.
- [22] Noël Jabbour, 'Intégration des systèmes à absorption solaire de petites puissances aux bâtiments - approche multifonction solaire : chauffage, ECS et rafraîchissement' Thèse de Doctorat, École doctorale Mécanique, Énergétique, Génie Civil, Acoustique (MEGA), Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2011.
- [23] David Funk, 'L'énergie solaire : Circonstances et conditions d'exploitation au Québec, Maîtrise en environnement, Centre Universitaire de Formation en Environnement Université de Sherbrooke, Canada, 2010.
- [24] David Blandin, 'Modélisation et validation expérimentale de nouveaux concepts de ballons solaires à forte stratification', Thèse de Doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2010.
- [25] REN21. Renewables Global Status Report - 2015 Update. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2015
- [26] Yaël Thiaux, 'Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides Évaluation du potentiel de la technologie Li-ion', Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2010.
- [27] Le Pompage Photovoltaïque : Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Institut de l'énergie des pays « IEPF/Université d'Ottawa /EIER / CREPA », Canada, 1998

- [28] Jean-François REYNAUD, 'Recherches d'optimums d'énergies pour charge/décharge d'une batterie à technologie avancée dédiée à des applications photovoltaïque', Thèse de Doctorat, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS, Université de Toulouse, 2011
- [29] Sanjay M, Prabha Chand. Passive cooling techniques of buildings: past and present-a review. ARISER 2008;4(1):37–46.
- [30] Trends in Photovoltaics Applications - Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2014. International Energy Agency, 2015.
- [31] Y. Himri,_, A. Boudghene Stambouli, B. Draoui, S. Himri Techno-economical study of hybrid power system for a remote village in Algeria. Energy 33 (2008) 1128–1136.
- [32] Mukund R. Patel, Ph.D., P.E. "Wind and Solar Power Systems" 140 -147 CRC Press 1999
- [33]. SEDOUR A, BOUKHOBZA A "L'énergie solaire photovoltaïque" Mémoire de LICENCE département d'électrotechnique Université D'ANNABA
- [34] :M.ALAIN BILBAO LEARETTA, « Réalisation d'une commande MPPT numérique » rapport de stage fin d'étude, Université Rovira et Virgili, 2006.
- [35] : FSALAMA « Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique». Mémoire de Magister, Université de Sétif, 2011
- [36]. *L'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued* . Modélisation et Optimisation d'un système photovoltaïque interconnecté au réseau électrique. MASTER 2016/2017
- [37] Zenakhi .Etude par simulation du fonctionnement d'un système photovoltaïque menu d'une commande MPPT », Mémoire de Master, Université de Tlemcen, 2016
- [38] Synergrid, 'Prescriptions techniques spécifiques de raccordement d'installations de production décentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution', Fédération des Gestionnaires de Réseaux électrique et Gaz en Belgique.
- [39] G. N. Tiwari and Swapnil Dubey, "Fundamentals of Photovoltaic Modules and Their Applications", RSC .
- [40] A. Goetzberger V.U. Hoffmann, "Photovoltaic Solar Energy Generation", Springer 2005, pp 33

Lannex

(A)

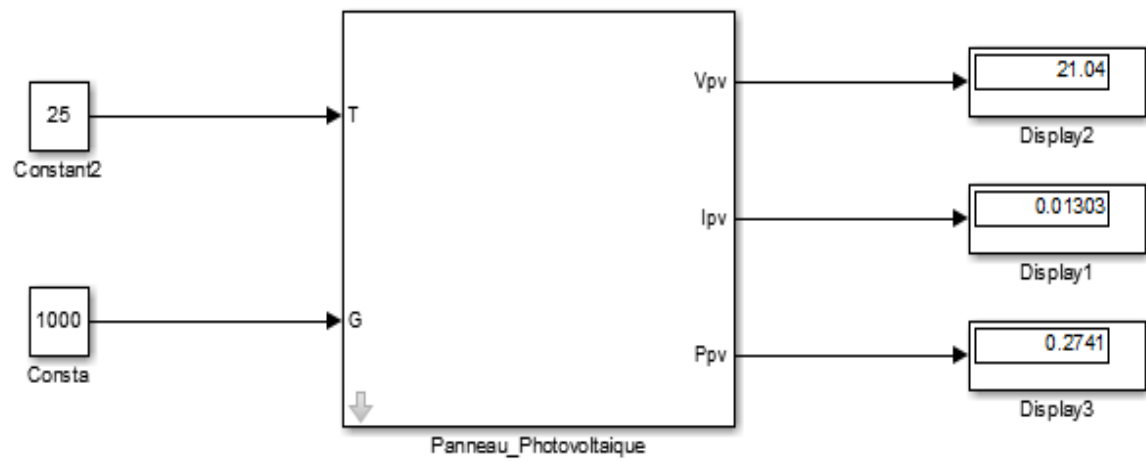


Figure IV.13: Schéma Panneau Photovoltaïque.

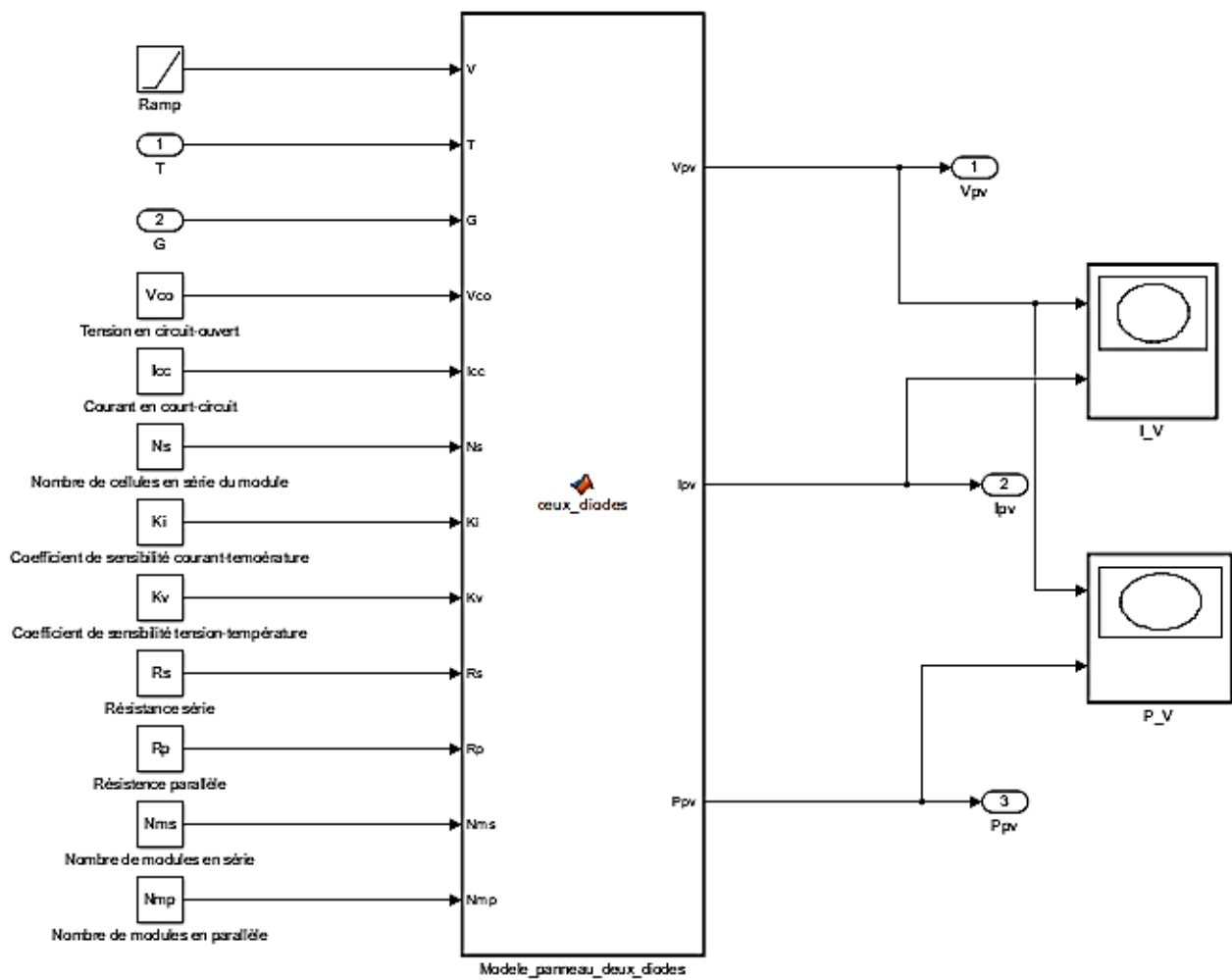


Figure IV.14: Simulation PV du Matlab.

```

%% Modélisation d'un module photovoltaïque en utilisant le medel à deux
%% diodes
%% I = Iph - Io1 exp [()]
function [Vpv, Ipv, Ppv] = deux_diodes (V, T, G, Vco, Icc, Ns, Ki, Kv, Rs, Rp, Nms, Nmp)
Gast = 1000 ;
T_stc = 298.15;
%% Les constantes
k = 1.3806503e-23; % Constante de Boltzman (J/K)
q = 1.60217646e-19; % Charge de l'electron (C)
%G = 200;
%% Modélisation du module PV
n1 = 1; % Facteur d'idéalité de la première diode
n2 = 1.2; % Facteur d'idéalité de la deuxième diode
p = n1 + n2;
a = (n1+n2)/p;
gamma = Nms/Nmp; % Rapport entre le nombre de modules en série et celui en parallèle
%Rp = 164.585828; % Valeurs des résistance Rs et Rp (Calculé à partir du
Modelisation_module.m)
%Rs = 0.340000;
T = T + 273.15; % Température en kelvin
delta_T = T - T_stc;
Vt = (k*T)/q; % Tension thermique de la jonction
Iph = (G./G_stc).*(Icc + Ki.*delta_T);
Io = (Icc + Ki.*delta_T)./(exp((Vco + Kv.*delta_T)./(Ns*a*Vt)) - 1); % Courant de
saturation de la diode (A)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Résoudre l'équation g = I - f(I,V) = 0 avec Newton-Raphson
Ipv = Iph;
eps = 1.e-4;
xx = Ipv;
ff_xx = Nmp*(Iph - Io * (exp((V + xx*Rs*gamma)/(n1*Ns*Vt*Nms)) - 1) - ...
Io * (exp((V + xx*Rs*gamma)/(n2*Ns*Vt*Nms)) - 1)) - ...
(V + xx*Rs*gamma) / (Rp*gamma) - xx;
while abs(ff_xx) > eps
ff_xx = Nmp*(Iph - Io * (exp((V + xx*Rs*gamma)/(n1*Ns*Vt*Nms)) - 1) - ...
Io * (exp((V + xx*Rs*gamma)/(n2*Ns*Vt*Nms)) - 1)) - ...
(V + xx*Rs*gamma) / (Rp*gamma) - xx;
ff_prime_xx = -1 - Nmp*((Io*Rs*gamma)/(n1*Ns*Vt*Nms)) * exp((V +
xx*Rs*gamma)/(n1*Ns*Vt*Nms)) + ...
((Io*Rs*gamma)/(n2*Ns*Vt*Nms)) * exp((V + xx*Rs*gamma)/(n2*Ns*Vt*Nms))) -
(Rs/Rp);
xx = xx - ff_xx./ff_prime_xx;
end;
Ipv = xx;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Ppv = Ipv .* V; % Calcul de la puissance du module PV
Vpv = V;

```

Programme PV module dans MATLAB fonction.

Après l'achèvement de la simulation nous obtenons sur les données suivantes :

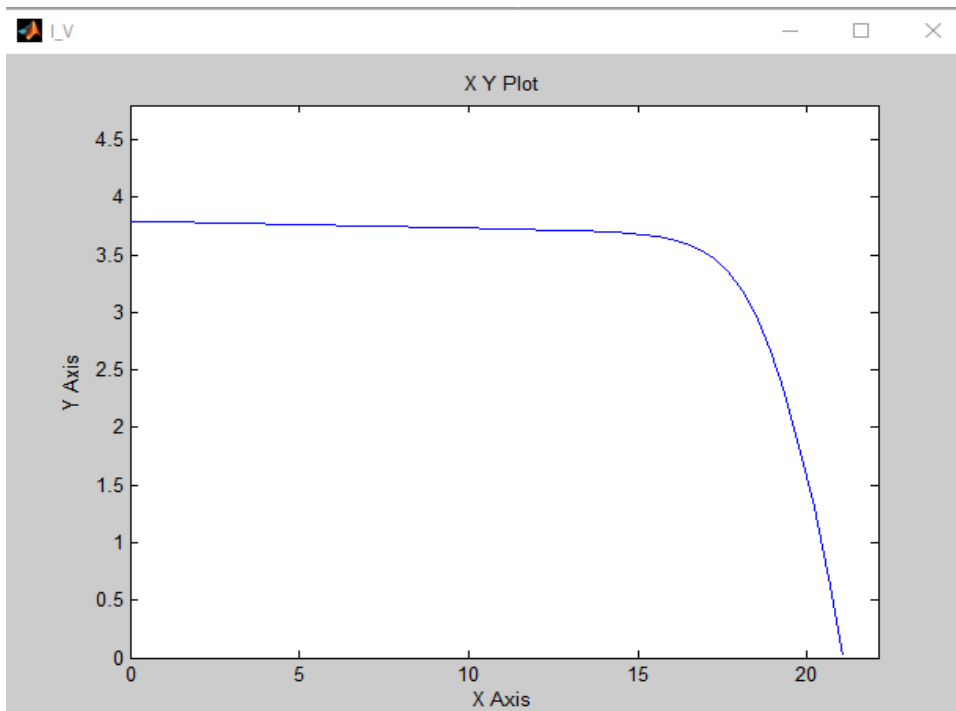


Figure IV.15: Caractéristique I-V du module PV.

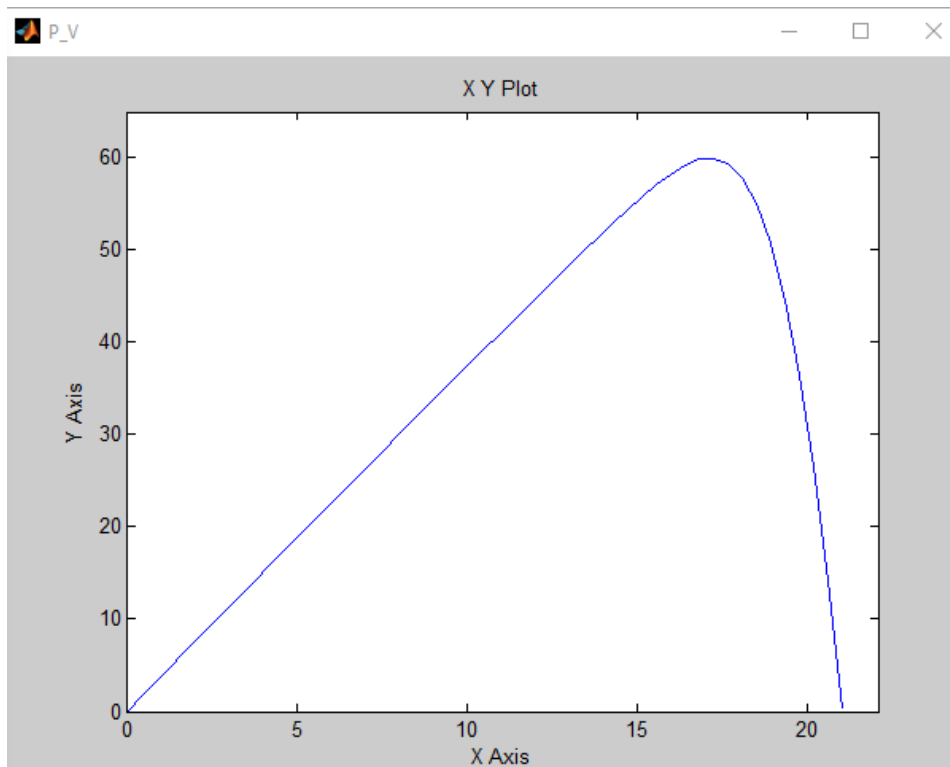


Figure IV.16: Caractéristique P-V du module PV.