



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة غرداية  
Université de Ghardaïa  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
قسم أوتوماتيك وإلكتروميكانيك  
Département d'Automatique et Electromécanique  
Mémoire de fin d'étude  
Pour l'obtention du diplôme de  
MASTER EN Energie Renouvelable

Thème

**Modélisation et commande d'une station photovoltaïque  
pour la production de l'énergie électrique**

Présenté par :

KHEDADI Nacer

Soutenu publiquement le 19/06/2023

Devant le jury composé de :

Dr. SEBA Hadj Yahia	MCA	Université de Ghardaïa	Président
Dr. BOUCHELGA Fatma	MCA	Université de Ghardaïa	Encadrant
Dr. DAHBI Abdeldjalil	MRA	URERMS	Co-encadrant
Dr. TOUAFEK Khaled	Grade	URERMS	Examineur
Dr. BOUCHAKOURE ABDE Elhak	Grade	URERMS	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

# *Dédicace*

---

*Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant pour toutes ses bénédictions, qui  
m'ont permis de le faire.*

*Je dédie ce travail aux personnes les plus chères au monde.*

*A mes parents, particulièrement à ma mère, qui m'ont apporté tout le soutien et  
tous les sacrifices tout au long de mon parcours universitaire, vous avez toute ma  
gratitude et mon appréciation, et puissiez-vous être bénis par la santé et le confort.*

*À mes frères, condoléances pour leur soutien et leurs encouragements dans les  
moments difficiles.*

*Aux superviseurs, Dr. BOUCHELGA Fatma et Dr. DAHBI Abdeldjalil*

*Un tel, pour m'avoir aidé et guidé dans divers aspects de mon travail*

*A tous mes amis pour m'avoir encouragé.*

## *Remerciements*

---

*Tout d'abord, louanges à dieu et grâces à lui de nous avoir permis d'atteindre l'achèvement de ce travail malgré les difficultés que nous avons rencontrées.*

*Nous remercions ensuite Dr. FATMA BOUCHELGA pour la supervision qu'elle nous a*

*Donnée et pour les conseils précieux et judicieux qu'elle nous a donnés tout au long de la recherche.*

*Nous tenons également à exprimer notre gratitude au Co-superviseur Dr. Dahbi*

*ABDELDJALIL*

*DAHBI pour son aide continue dans le développement et la rédaction de notre mémoire, il nous a aidés étape par étape à atteindre l'objectif désiré.*

*Nous remercions également les membres du comité de discussion pour leur approbation de la décision.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué à ce niveau, en particulier les enseignants dans toutes les phases.*

## ملخص

الهدف من هذه الرسالة هو الدراسة التحليلية للمحطة الكهروضوئية بوادي نشو في غرداية من أجل إنشاء نموذج محاكاة باستخدام برنامج الماتلاب MATLAB بحيث يمكن أن يعكس سلوكها الحقيقي ويقيم إنتاجها من الطاقة. للقيام بذلك، قمنا بإدخال جميع معلومات النظام في النموذج الذي برمجناه كالحالة الواقعية. بعد ذلك، تم اختبار خصائص الألواح الكهروضوئية ورسم منحنياتها عند درجات حرارة وإضاءة مختلفة لمعرفة تأثيرها، ثم قمنا بفحص التكتيلات المختلفة للألواح الكهروضوئية (على التسلسل، على التوازي و الهجين) ؛ بالإضافة إلى ربط الألواح الكهروضوئية مع المحولات التي يتم التحكم فيها بواسطة تقنية تتبع نقطة الاستطاعة الأعظمية MPPT لضمان إنتاجها لأقصى طاقة. لقد قمنا بمحاكاة جميع الحقول الفرعية الثمانية التي تحتوي على التقنيات الأربعة للألواح الشمسية واختبارها في ظل ظروف الاختبار القياسية (STC) ومقارنتها بالخصائص الفعلية. من خلال المقارنات، تم العثور على نتائج مماثلة للحقيقية. بعدها، أدخلنا البيانات الحقيقية لأربعة فصول خلال سنة كاملة في النموذج الذي تم إنشاؤه لمحطة واد نشو وقمنا بإجراء عمليات المحاكاة والمقارنات. بينت النتائج المتحصل عليها أن أداء المحطة والطاقة التي تنتجها يتأثران بالظروف المناخية الصحراوية خاصة درجات الحرارة والإشعاع الشمسي. ومع ذلك، تشجع هاته النتائج على الاستثمار في هاته الطاقة المتجددة من خلال تركيب محطات كهروضوئية أخرى في هاته المناطق. الكلمات المفتاحية: الإمكانيات الشمسية، الخلايا الكهروضوئية، المحطة الكهروضوئية، النمذجة، المحاكاة

## Résumé

L'objectif de ce mémoire est d'étudier et analyser la station photovoltaïque d'Oued Nechou à Ghardaïa afin de créer un modèle de simulation à l'aide du logiciel MATLAB qui peut refléter son comportement réel et évaluer sa production énergétique. Pour ce faire, nous avons introduit tous les paramètres du système dans le modèle construit comme le cas réel. Ensuite, les caractéristiques des panneaux photovoltaïques ont été testées et tracées pour différentes températures et éclairagements pour savoir leurs influences. Après, nous avons examiné les différentes associations des panneaux PVs (en série, en parallèle et hybride); en addition, l'association des panneaux photovoltaïques avec les convertisseurs commandés par MPPT pour assurer sa production pour le maximum d'énergie. Tous les huit sous-champs contenant les quatre technologies des panneaux PVs ont été simulés et testés dans les conditions standards de test (STC) et comparés avec les caractéristiques réelles. D'après les comparaisons, les résultats ont été trouvés semblables avec les caractéristiques réelles. Par la suite, Nous avons introduit les données réelles de quatre saisons pendant une année complète au modèle créé de la station d'Oued Nechou puis effectué les simulations et les comparaisons. Les résultats obtenus montrent que les performances de l'énergie produite de la station sont affectées par les conditions climatiques désertiques surtout la température et le rayonnement solaire. Cependant, ils encouragent à l'investissement par l'installation des autres stations photovoltaïques dans ces régions.

Mot clés : Potentiel solaire, Cellule photovoltaïque (PV), Station PV, Modélisation, Simulink

## Abstract

The objective of this work is to study and analyze the photovoltaic station of Oued Nechou located in Ghardaïa in order to create a simulation model using MATLAB software, which can reflect its real behavior and evaluate its energy production. To achieve this, all system parameters were introduced in the model according to the real case. Then, the characteristics of the photovoltaic panels were tested and plotted for different temperatures and irradiances to know their influences. Next, the different combinations of PV panels were examined (series, parallel and hybrid); in addition, the association of photovoltaic panels with converters controlled by MPPT algorithm to ensure its maximum energy production. All eight subfields containing the four technologies of the PVs panels were simulated and tested under standard test conditions (STC) and compared with the real characteristics. Based on the comparisons, the results had a good accuracy with the real characteristics. Subsequently, the real data of four seasons during a full year were introduced in the created model of Oued Nechou station,

**the simulations and comparisons were carried out. The obtained results show that the performances of the energy produced by the station are affected by the desert climatic conditions, especially the temperature and the solar radiation. However, they encourage investment by installing other photovoltaic stations in these areas.**

**Key words: Solar potential, Photovoltaic (PV) cell, PV plant, Modeling, Simulink**

# Sommaire

## Chapitre I :

### Généralités sur les panneaux photovoltaïques et la station d'Oued Nechou

Introduction General .....	1
I.1. l'introduction .....	3
I .2 Energie solaire .....	3
I.2.1Energie thermique : .....	3
I.2.2Energie électrique : .....	3
I.2.3Le rayonnement solaire .....	4
I. 3 Gisement solaire en Algérie .....	5
I. 4. Généralité sur les panneaux photovoltaïque .....	5
I.4.1Définition .....	5
I.4.2Le principe de fonctionnement .....	7
I.4.3Technologies des cellules photovoltaïques .....	8
I. 5 Description de (SONELGAZ : GRTE, GRTG, SKTM) .....	13
I. 5. 1 SONELGAZ [21] .....	15
I. 5.2 GRTE .....	15
I. 5. 3 GRTG [20] .....	15
I. 6 Description de la station d'Oued Nechou .....	17
I.7. Conclusion .....	19

## Chapitre II :

### Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

II.1.Introduction .....	20
II.2.Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque .....	20

II.3. Différents paramètres de la cellule photovoltaïque.....	21
II.3.1. Courant de court-circuit $I_{SC}$ .....	21
II.3.2. Tension du circuit ouvert $V_{co}$ .....	21
II.3.3. Puissance maximum $P_m$ .....	22
II.3.4. Facteur de forme $FF$ .....	22
II.3.5. Rendement, $\eta$ .....	22
II.3.6. Courant maximal de puissance ( $I_{mp}$ ).....	23
II.3.7. Tension maximale de puissance ( $V_{mp}$ ).....	23
II.4. Modélisation d'une cellule photovoltaïque.....	23
II.4.1. Résistance série.....	24
II.4.2. Résistance parallèle (shunt).....	24
II.4.4. Courant de saturation $I_0$ .....	24
II.4.5. Courant de saturation Inverse de la diode (courant de fuite) $I_{rs}$ .....	25
II.5. Influence des différents paramètres sur la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ .....	25
II.5.1. Effet de la température.....	25
II.5.2. Effet de l'éclairement :.....	27
II.5.3. Résistance de charge.....	29
II.5.4. Surface d'exposition de la cellule.....	29
II.5.5. Qualité de la cellule.....	29
II.6. Simulation d'un panneau photovoltaïque.....	29
II.6.2 Simulation de bloc sous Matlab- Simulink.....	30
II.7. Résultats de simulation du système photovoltaïque.....	30
II.7.1. Caractéristiques d'un module solaire.....	30
II.7.2. Influence de la température.....	32
II.7.3. Influence de l'éclairement.....	33
II.8. Assemblage et association des panneaux photovoltaïques.....	34
II.8.1. Caractéristiques du panneau polycristallin de la station.....	34
II.8.2. Association en série des panneaux PV.....	34

II.8.3.Association en parallèle des panneaux PV .....	36
II.8.4.Association hybride.....	38
II.9. Conclusion .....	39

## Chapitre III

### Estimation de la production d'une station photovoltaïque (Simulation et pratique)

III .1. Introduction .....	40
III.2. Modélisation d'une cellule et d'un module photovoltaïque sous Matlab .....	40
III.2.1. Poursuite du point de puissance maximale (MPPT) .....	40
III. 2. 1. Blocs de simulation du système photovoltaïque associé au convertisseur commandé par MPPT .....	42
III.3. Résultat de simulation des sous-champs pour les types de PVs en STC .....	43
III.3.1.Panneau photovoltaïque monocristallin 250 Wc .....	44
III.3.1.1.Résultats d'un panneau monocristallin 250W (avant le convertisseur).....	45
III. 3. 1. 2. Résultats du sous-champs des panneaux monocristallin (après le convertisseur DC/DC élévateur de tension).....	46
III.3.2.Panneau photovoltaïque polycristallin 235 W .....	48
Les caractéristiques de ce type sont représentées sur le tableau suivant :.....	50
III.3.2.1.Résultats du panneau photovoltaïque polycristallin 235 W .....	53
III.3.2.2.Résultats après le convertisseur DC/DC .....	55
III.3.3.Panneau photovoltaïque couche mince 80 W .....	56
III.3.3.1.Résultats des panneaux couches minces (avant le convertisseurDC/DC).....	17
A.III.3.3.1. Résultats du sous-champ (après le convertisseur DC/DC) .....	58
III.3.4.Panneau photovoltaïque au silicium amorphe 103 Wc .....	60
Les caractéristiques de ces types sont indiquées sur le figure 4.....	62
III.3.4.1.Résultats avant le convertisseur DC/DC élévateur .....	63
III.3.4.2.Résultats après le convertisseur DC/DC élévateur .....	65



III.4. Simulatin de la station d'Oeud Nechou en quatre saisons en utilisant les données réelles .....	43
III.4.1. Performance de la station durant le printemps .....	44
III.4.1.2. Performance de la station durant l'été (données réelles 15/09/2016) .....	45
III. 4. 3. Performance de la station durant l'automne (données réelles 15/11/2016) .....	46
III.4.4. Performance de la station durant l'hiver (données réelles 15/01/2016).....	48
III.4.5. Comparaison des résultats de la performance de la station saisons .....	53
III.5. Conclusion.....	55
Conclusion General.....	56
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	17
A.III.3.3.1. Résultats du sous-champ (après le convertisseur DC/DC) .....	58
III.3.4. Panneau photovoltaïque au silicium amorphe 103 Wc .....	60
III.5. Conclusion.....	73
Conclusion General.....	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	77

# Liste des figures

---

<b>Figure I.1.</b> Carte des irradiations solaires de l'Algérie .....	6
<b>Figure I.2.</b> Panneaux photovoltaïques.....	8
<b>Figure I.3.</b> Structure d'une cellule solaire.....	8
<b>Figure I.4.</b> Principe de fonctionnement d'une cellule solaire.....	10
<b>Figure I.5.</b> Panneaux en silicium monocristallin.....	12
<b>Figure I.6.</b> Panneaux en silicium polycristallin.....	13
<b>Figure I.7.</b> Panneaux en silicium amorphe.....	14
<b>Figure I.8.</b> Présentation de SONELGAZI.....	7
<b>Figure I.9.</b> Station photovoltaïque d'Oued Nechou.....	19
<b>Figure II.1.</b> Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque idéale à jonction PN.....	19
<b>Figure II.2.</b> Modèle de la cellule photovoltaïque réel.....	24
<b>Figure II.3.</b> Influence de la température sur les caractéristiques I(V) de la cellule photovoltaïque.....	27
<b>Figure II.4.</b> Influence de la température sur les caractéristiques P(V) de la cellule photovoltaïque.....	28
<b>Figure II.5.</b> Influence de l'éclairement sur les caractéristiques I(V) d'une cellule photovoltaïque.....	28
<b>Figure II.6.</b> Influence de l'éclairement sur les caractéristiques P(V) d'une cellule photovoltaïque.....	29
<b>Figure II.7.</b> Schéma d'un PV sous Simulink/Matlab.....	31
<b>Figure II.8.</b> Caractéristique I(V) d'un panneau PV ( $T=25^{\circ}\text{C}$ , $G=1000\text{W}/\text{m}^2$ ).....	31
<b>Figure II.9.</b> Caractéristique P(V) d'un panneau PV ( $T = 25^{\circ}\text{C}$ , $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$ ).....	32
<b>Figure II.10.</b> Caractéristique I(V) pour différentes températures ( $G=1000\text{W}/\text{m}^2$ ).....	33
<b>Figure II.11.</b> Caractéristique P(V) pour différentes températures ( $G=1000\text{W}/\text{m}^2$ ).....	33
<b>Figure II.12.</b> Caractéristique I(V) pour différents niveaux d'éclairement ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ).....	34
<b>Figure II.13.</b> Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ).....	34
<b>Figure II.14.</b> Association des panneaux PVs en série.....	36
<b>Figure II.15.</b> Courbe caractéristique (P-V) et (I-V) d'un seul panneau.....	37
<b>Figure II.16.</b> Courbe caractéristique (P-V) et (I-V) Des trois panneaux en série.....	37
<b>Figure II.17.</b> Association d'un panneau en parallèle.....	38
<b>Figure II.18.</b> Courbe caractéristique (P-V) et (I-V) Des trois panneaux en parallèle.....	39
<b>Figure II.19.</b> Association hybride (branchement série/parallèle) .....	40

# Liste des figures

---

<b>Figure II.20.</b> Courbe caractéristique (P-V) et (I-V) De l'association hybride des PVs.....	40
<b>Figure III.1.</b> Schéma de principe de convertisseur MPPT.....	40
<b>Figure III.2.</b> Schéma de block d'un panneau associé au convertisseur commandé par MPP.....	41
<b>Figure III.3</b> Schéma block du convertisseur Boost sous Simulink.....	41
<b>Figure III.4.</b> Irradiation en fonction du temps.....	42
<b>Figure III.5.</b> Température en fonction du temps.....	42
<b>Figure III.6.</b> Puissance de sortie d'un panneau monocristallin 250 W.....	44
<b>Figure III.7.</b> Tension (V_PV) du panneau monocristallin 250W.....	44
<b>Figure III.8.</b> Courant (I_PV) du panneau photovoltaïque monocristallin 250W.....	44
<b>Figure III.9.</b> Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°1 (PV monocristallin motorisé)..	45
<b>Figure III.10.</b> Tension du sous champ N°1 après le convertisseur.....	45
<b>Figure III.11.</b> Courant du sous champ N°1 après le convertisseur.....	46
<b>Figure III.12.</b> Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°7 (PV monocristallin fixe).....	46
<b>Figure III.13.</b> Tension du sous champ N°7 après le convertisseur.....	47
<b>Figure III.14.</b> Courant du sous champ N°7 après le convertisseur.....	47
<b>Figure III.15.</b> Puissance de sortie d'un panneau polycristallin 235W.....	49
<b>Figure III.16.</b> Tension (V_PV) du panneau polycristallin 235W.....	49
<b>Figure III.17.</b> Courant (I_PV) du panneau photovoltaïque polycristallin 235W.....	49
<b>Figure III.18.</b> Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°2 (PV polycristallin motorisé) .	50
<b>Figure III.19.</b> Tension du sous champ N°2 après le convertisseur.....	51
<b>Figure III.20.</b> Courant du sous champ N°2 après le convertisseur.....	51
<b>Figure III.21.</b> Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°8 (PV polycristallin fixe) .....	52
<b>Figure III.22.</b> Tension du sous champ N°8 après le convertisseur.....	52
<b>Figure III.23.</b> Courant du sous champ N°8 après le convertisseur.....	53
<b>Figure III.24.</b> Puissance de sortie d'un panneau couche mince 80 W.....	55
<b>Figure III.25.</b> Tension (V_PV) du panneau couche mince 80W.....	55
<b>Figure III.26.</b> Courant (I_PV) du panneau 80 W.....	56
<b>Figure III.27.</b> Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°3(PV CDTe 100.8 kWc).....	56
<b>Figure III.28.</b> Tension du sous champ N°3 après le convertisseur.....	57

# Liste des figures

---

<b>Figure III.29.</b> Courant du sous champ N°3 après le convertisseur.....	57
<b>Figure III.30.</b> Puissance de sortie d'un panneau amorphe 103W.....	59
<b>Figure III.31.</b> Tension (V_PV) du panneau amorphe 103W.....	59
<b>Figure 32.III.</b> Courant (I_PV) du panneau amorphe 103W.....	60
<b>Figure 33.III.</b> Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°4 (PV amorphe 100.8 kWc).....	60
<b>Figure 34.III.</b> Tension du sous champ N°4 après le convertisseur.....	61
<b>Figure 35.III.</b> Courant du sous champ N°4 après le convertisseur.....	61
<b>Figure 36.III.</b> Variation de l'éclairement en fonction du temps (15 Mars 2016).....	62
<b>Figure 37.III.</b> Variation de la température en fonction du temps (15 Mars 2016).....	62
<b>Figure 38.III.</b> Variation de l'éclairement en fonction du temps (15/03/2016).....	63
<b>Figure 39.III.</b> Variation de la température en fonction du temps (15/03/2016).....	64
<b>Figure 40.III.</b> Variation de la puissance globale en fonction du temps (15/03/2016).....	64
<b>Figure 41.III.</b> Variation de l'éclairement en fonction du temps (15/09/2016).....	65
<b>Figure 42.III.</b> Variation de la température en fonction du temps (15/09/2016).....	66
<b>Figure 43.III.</b> Variation de la puissance globale en fonction du temps (15/09/2016).....	66
<b>Figure 44.III.</b> Variation de l'éclairement en fonction du temps (15/11/2016).....	67
<b>Figure 45.III.</b> Variation de la température en fonction du temps (15/11/2016).....	68
<b>Figure 46.III.</b> Variation de la puissance globale en fonction du temps (15/11/2016).....	68
<b>Figure 47.III.</b> Variation de l'éclairement en fonction du temps (15/01/2016).....	69
<b>Figure 48.III.</b> Variation de la température en fonction du temps (15/01/2016).....	70
<b>Figure 49.III.</b> Variation de la puissance globale en fonction du temps (15/01/2016).....	70
<b>Figure 50.III.</b> Variation réelle de l'éclairement en fonction du temps dans l'année 2016.....	71
<b>Figure 51.III.</b> Variation réelle de la température en fonction du temps dans l'année 2016.....	72
<b>Figure 52.III.</b> Puissance globale de la station en fonction du temps dans l'année 2016.....	72

# Liste des Tableaux

---

<b>Tableau I.1.</b> Potentiel solaire en Algérie.....	5
<b>Tableau I.2.</b> Principaux types de cellule.....	8
<b>Tableau I.3.</b> Caractéristique des cellules mono cristallin.....	9
<b>Tableau I.4.</b> Caractéristique des cellules amorphe.....	10
<b>Tableau I.5.</b> Caractéristique des cellules polycristallin.....	12
<b>Tableau I.6.</b> Types des Sous_champ.....	17
<b>Tableau II.1.</b> Caractéristique des panneaux polycristallin installés à OuedNechou.....	33
<b>Tableau III.1.</b> Caractéristique du panneau au silicium monocristallin.....	45
<b>Tableau III.2.</b> Caractéristique du panneau au silicium polycristallin.....	48
<b>Tableau III.3</b> Caractéristique du panneau a couche mince.....	54
<b>Tableau III.4.</b> Caractéristique du panneau au silicium amorphe.....	58

# Liste des Acronymes et Symboles

---

## Acronymes

- M.P.P.T** Maximum Power Point tracking  
**IGBT** Insulated Gate Bipolar Transistor  
**MLI** Modulation de largeur d'impulsions  
**DC / AC** Continu / Alternatif  
**ONM** L'Office National de la Météorologie  
**CDÉR** Centre de Développement des Énergies Renouvelables  
**THD** Le facteur de distorsion (Total Harmonic Distorsion)  
**IAEA** International Atomic Energy Agency  
**SKTM** Sharikat Kahraba wa Takat l'Motajaddida  
**HF** Haute fréquence

## Symboles

$N$	nombre de jour
$I_{cc}$	Courant de court-circuit
$V_{co}$	Tension de circuit ouvert
$\eta$	Le rendement
$I_{ph}$	Photo courant créer par la cellule
$I_{pv}$	Courant de sortie
$V_t$	Tension thermique
$P_c$	puissance crête
$P_{Rs}$	La puissance perdue par la résistance série
$R$	coefficient de réflexion
$N_s$	Nombre de cellule en série
$N_p$	Nombre de cellule parallèle
$P_{pv}$	La puissance disponible en sortie du GPV
$I_{pv}$	Le courant de sortie du GPV
$V_{pv}$	La tension à la sortie du GPV
$E$	Champ électrique
$R_{sh}$	La résistance shunt
$R_s$	La résistance série
$P_m$	Puissance optimale de panneau Solaire
$V_m$	Tension optimal
$I_m$	Courant optimal
$T$	Température
$E_g$	Bande interdite
$q$	La charge de l'électron
$T_{réf}$	Température de référence

# Liste des Acronymes et Symboles

---

<i>I<sub>sat</sub></i>	Courant de saturation
<i>P<sub>0</sub></i>	La pression atmosphérique
<i>T</i>	Température
<i>V<sub>dc</sub></i>	Tension aux bornes du condensateur (bus continu)
<i>V<sub>dc-ref</sub></i>	Tension de référence du condensateur
<i>C</i>	Capacité du condensateur
<i>R<sub>ch</sub></i>	Résistance de la charge
<i>L<sub>ch</sub></i>	Inductance de la charge
<i>T</i>	Période
<i>U<sub>0</sub></i>	Tension d'entrée de l'onduleur

# Introduction Générale

---

Certes, la forte de la population mondiale signifie une augmentation de la demande énergétique. Pour répondre à cette demande croissante et parvenir à développement durable, il devient nécessaire de fournir des nouvelles sources d'énergies pour renforcer les réseaux électriques. En plus de, il est préférable de choisir des sources propres et respectueuses de l'environnement.

L'énergie photovoltaïque est l'une des sources renouvelables plus exploitées dernièrement. Cette énergie repose sur l'utilisation du rayonnement solaire pour produire de l'électricité. En installant des systèmes d'énergie solaire, l'électricité peut être produite de manière durable et efficace

L'énergie photovoltaïque présente plusieurs avantages. Il réduit la dépendance aux énergies fossiles, ce qui réduit les émissions de gaz à effet de serre et contribue à lutter contre le changement climatique. C'est aussi une ressource disponible en abondance, car la terre reçoit chaque jour des quantités massives d'énergie solaire. De plus, l'énergie photovoltaïque offre des opportunités économiques et sociales. Les systèmes d'énergie solaire peuvent être installés dans des communautés isolées ou des zones isolées dépourvues de réseaux électriques stables, permettant ainsi à des millions de personnes d'accéder à l'électricité.

Parmi les pays qui contient un gisement solaire les plus élevés, nous citons l'Algérie, sa superficie est estimée à plus de 2,3 millions de kilomètres carrés, dont 80 % sont désertiques, et 20 % de la superficie totale du sahara africain, ce qui constitue un avantage important pour le pays, car il dispose d'un énorme stock d'énergie renouvelable, il est considéré comme l'une des réserves les plus élevées au monde. Le temps d'ensoleillement de notre pays excède 2500 h/an et peut atteindre jusqu'à 3900 h/an ce qui donne un potentiel solaire moyen de 2500 kWh/m<sup>2</sup> soit près de 6000 TWh (150 fois la consommation algérienne actuelle).

L'Algérie a mis en place plusieurs entreprises dans le domaine de l'énergie, dont une centrale hybride pour produire de l'électricité à Hassi Rmel avec un taux de production de 150 mégawatts et 21 stations différentes pour produire de l'énergie photovoltaïque, dont la station d'Oued Nechou dans la wilaya de Ghardaïa, qui dispose d'un production de 1,1 mégawatts, que nous étudierons dans ce mémoire.

L'objectif visé par ce travail est de modélisé et simulé sous l'interface Matlab/



# Introduction Générale

---

Simulink, la performance de la station d'Ouad Nechou, des données réelles seront

utilisés afin de bien comprendre le comportement de chaque technologie de cellules photovoltaïques sous conditions de climat saharienne durant toutes l'année.

Dans la première partie de ce travail, nous nous présenterons d'abord des généralités sur l'exploitation photovoltaïque de l'énergie solaire, et les caractéristiques des différentes technologies de cellules utilisées pour la transformation de l'énergie solaire en énergie électriques. De plus, nous allons parler en détails sur la station d'Oued Nechou.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de la partie modélisation des panneaux photovoltaïque, nous citons les caractéristiques électriques d'une cellule et les paramètres affectant le bon fonctionnement de celle-ci. Par la suite, nous présenterons les résultats de simulation d'une cellule puis d'un panneau photovoltaïque sous conditions STC.

Dans le troisième chapitre seront présentés et interprétés les résultats de simulation des sous-champs constituant la station d'Oued Nechou, Ghardaia, sous conditions STC puis sous conditions de température et éclairage réelles de cette zone.

Dans la conclusion générale, nous soulignons les principaux résultats obtenus ainsi que les perspectives de recherche qui en découlent.

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

---

## I.1. Introduction

Les sources d'énergies solaires sont multiples et variées. Le soleil peut fournir, après transformation, de l'énergie thermique, de l'énergie rayonnante ou de l'énergie électrique. L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière [1].

L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par E. Becquerel qu'il mit en évidence pour la première fois la propriété de certains matériaux à convertir directement la lumière en courant électrique [2].

## I.2 Energie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre. Son apport énergétique annuel est de plusieurs milliers de fois plus grand que notre consommation globale d'énergie. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 01 kilowatt crête par mètre carré (KWc/m<sup>2</sup>) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. On distingue deux grandes applications de l'énergie solaire a sa voir dans la production d'énergie photovoltaïque et thermique :

### I.2.1 Energie thermique :

Qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.

### I.2.2 Energie électrique :

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

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

charbon [3].

## I.2.3 Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire appelé également rayonnement électromagnétique émis par le soleil est grandement perturbé par l'atmosphère. Ce qui ne permet que la réception au sol des composants les plus importants et les plus actifs du rayonnement solaire total qui sont le rayonnement direct et le rayonnement diffus [4].

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ( $0.2\mu\text{m}$ ) à l'infrarouge lointain ( $2.5\mu\text{m}$ ).

La mesure du rayonnement solaire en Algérie est réalisée par l'Office National de la Météorologie (O.N.M) à travers son réseau qui est constitué de 81 stations météorologiques mesurant la durée d'insolation. Les informations récoltées en 2011 indiquaient que seules trois stations à savoir Oran, Tamanrasset et Ksar Chellala assuraient d'une manière régulière la mesure du rayonnement solaire sur le plan horizontal. Huit autres stations automatiques mesurent le rayonnement depuis 2009 et qui sont : Alger (aéroport), Oran (Sénia), In amenas, Ghardaïa, Annaba, Tamanrasset, Tlemcen et Constantine [5].

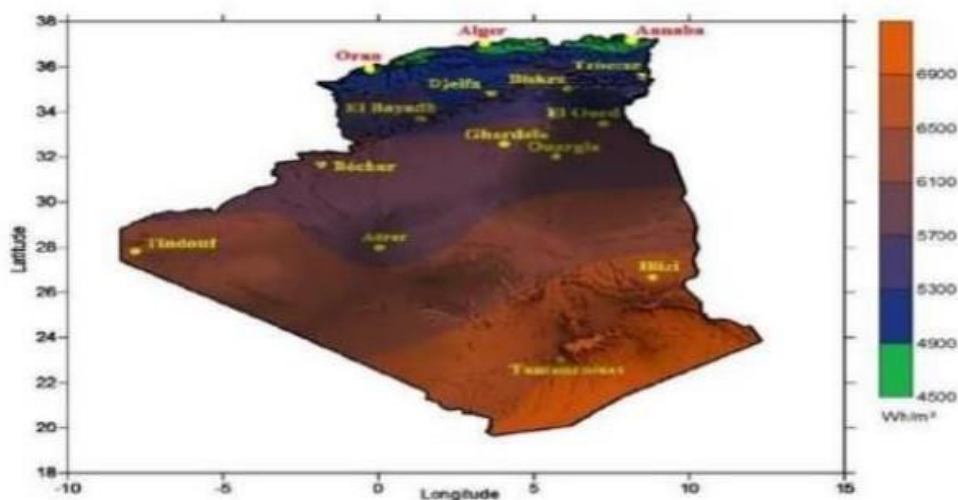


Figure I.1. Carte des irradiations solaires de l'Algérie [6]

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

---

## I. 3 Gisement solaire en Algérie

C'est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée [7]. Il est utilisé dans des domaines aussi variés que l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la sécurité publique [8].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde d'une durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au Sud du pays, Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de KWh [9]

**Tableau I.1 : Potentiel solaire en Algérie [10]**

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Désert
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

## I. 4. Généralité sur les panneaux photovoltaïque

### I.4.1 Définition

Le terme photovoltaïque est formé à partir de deux mots :

- « Phots », qui signifient lumière.
- « Volta », du nom du physicien Alessandro Volta (1745-1827, inventeur de la pile électrique).

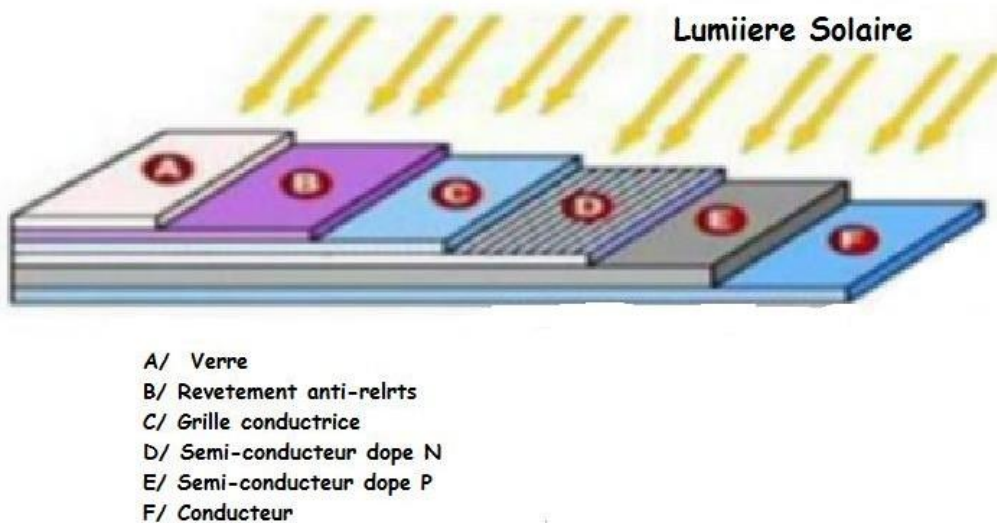
## CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

---



**Figure I.2.** Panneaux photovoltaïques

L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium [11]. Cette cellule consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière.



**Figure I.3.** Structure d'une cellule solaire [12]

Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire [11]. L'ensemble de panneaux photovoltaïques interconnectés forme le générateur. Celui-ci est caractérisé par sa puissance crête exprimée en kilowatt crête par mètre carré (kWc/m<sup>2</sup>) [13].

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

---

La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série ou en parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale.

## I.4.2 Le principe de fonctionnement

Le principe fondamental de l'énergie PV est de transformer le rayonnement solaire en courant électrique au moyen d'un panneau ou module PV les cellules qui composent ces panneaux sont en générale produites à l'aide d'un matériau semi- conducteurs tel que le silicium (Si), le germanium (Ge), le sélénium (Se) ou les composés semi-conducteurs tel que l'arséniure de gallium (GaAs), le tellure de cadmium (CdTe). Les cellules solaires de type GaAs sont très coûteuses dans leur fabrication, leur utilisation est aujourd'hui essentiellement limitée aux applications spatiales [14].

La majorité des cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir du silicium cristallin, lorsque la lumière du soleil vient frapper la surface du panneau, les photons qui transportent l'énergie lumineuse transmettent cette énergie aux électrons du silicium. Ces électrons vont alors se mettre en mouvement. Ce déplacement crée un courant électrique continu. il est indispensable de transformer l'énergie continu en énergie alternative afin de pouvoir la consommer ou l'injecter sur le réseau. C'est le rôle de l'onduleur, appareil central dans la chaîne de production [15].

La cellule solaire à semi-conducteur est un dispositif permettant de débiter un courant électrique dans une charge externe lorsque celui-ci est exposé à la lumière. Son principe de fonctionnement se résume comme suit : Lorsque la cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons d'énergie pénétrant dans la cellule solaire transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Si cette énergie est suffisamment élevée, elle peut faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur et créer ainsi des paires « électron- trou ». Les électrons (charges N) et les trous (charges P), sont alors maintenus séparés par un champ électrique

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

qui constitue une barrière de potentiel. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel et un courant électrique circule. Les cellules les plus répandus actuellement sont à base de silicium (différence de potentiel de 0.6 V).

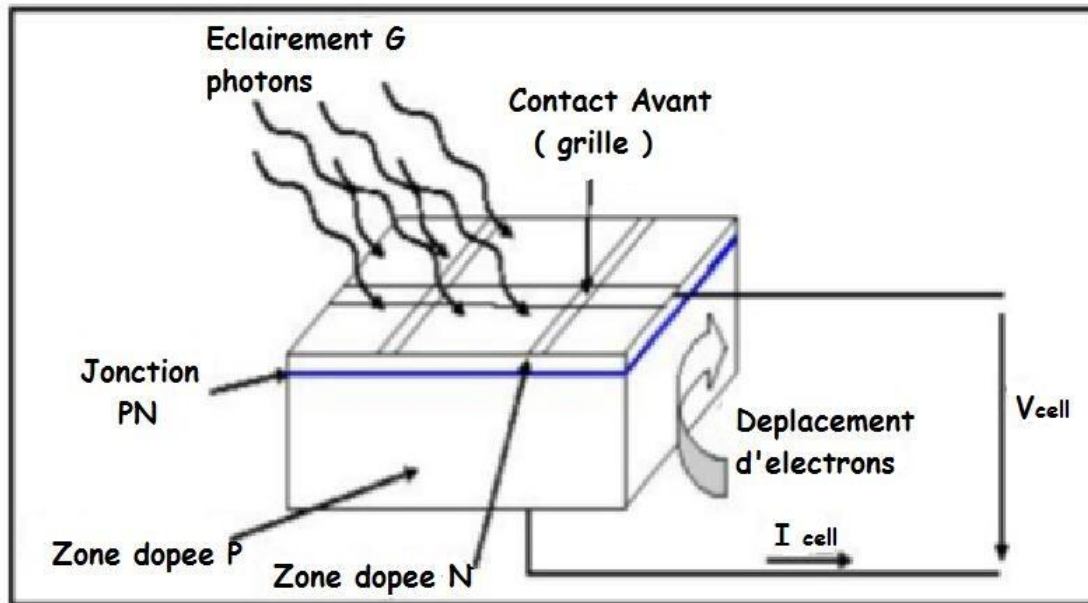


Figure I.4. Principe de fonctionnement d'une cellule solaire [16]

## I.4.3 Technologies des cellules photovoltaïques

### I.4.3.1 Cellules photovoltaïques

Il existe différentes technologies de cellules solaires ou cellules PV, Chaque type de cellule est caractérisé par a un rendement et un coût qui lui sont propres. À savoir, la technologie cristallin (monocristallin et polycristallin), la technologie couches minces et celle amorphe.

Tableau I.2.Principaux types de cellule [17]

Technologie	Rendement de la cellule (Laboratoire)	Rendement de la cellule (Production)	Coût
Monocristallin	24,7	21,5	Trop cher

## CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

Polycristallin	20,3	16,5	Moins élevé
Amorphe	13	10,5	Peu élevé
Coche mince	14	11.1	Peu élevé

### A. Panneaux en silicium monocristallin

Lors du refroidissement du silicium fondu on s'arrange pour qu'il se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Ce type des cellules est la première génération, il représente environ 80% du marché mondial actuel, c'est la technologie la plus répandue. Il utilise des cellules peu épaisses (0,15 à 0,2 mm), connectées en série et encapsulées dans un revêtement étanche. Ces cellules ont une durée de vie d'au moins 25 ans, elle est fabriquée à partir d'un seul bloc de silicium fondu en forme de barreau. Durant un refroidissement lent et maîtrisé, le silicium se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. Le tableau résume les caractéristiques de ce type :

**Tableau I.3.**Caractéristique des cellules mono cristallin [18]

<b>Modèle</b>	<b>A-250M</b>
<b>Puissance nominale</b>	<b>250 W</b>
<b>Tension maximale</b>	<b>30,35 V</b>
<b>Courant maximale</b>	<b>8,24 A</b>
<b>Tension en circuit ouvert</b>	<b>37,62 V</b>
<b>Courant de court-circuit</b>	<b>8,79 A</b>
<b>Maximum system voltage</b>	<b>1000 V</b>
<b>ID</b>	<b>6M44-6x10 3B1014114</b>
<b>S.N</b>	<b>L1041210008911</b>

➤ **Avantages d'utilisation de ce type**

- Cout de production et d'acquisition un peu plus élevé
- Fonctionnement optimal dans les régions froides et ensoleillées
- Bonne résistance à la chaleur



## CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

---

- Bon ratio Wc/m (environ 150 Wc/m) et un gain de surface
- Nombre de fabricants élevé
- Neutre pour l'environnement et aisément recyclable.

➤ **Inconvénients d'utilisation de ce type**

- Fabrication est couteuse et gain de productivité moindre
- Rendement est faible sous un faible éclairement



**Figure I.5.** Panneaux en silicium monocristallin [22]

### **B. Panneaux en silicium polycristallin**

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. Ils sont les plus courants, d'un rendement de conversion d'environ 13 à 15%, elles représentent 60% des installations. Elles sont créées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples de forme irréguliers. Ce type de cellules ont une forme rectangulaire et de couleur bleu pailletée avec des reflets. Elles ont le même fonctionnement que les autres systèmes PV. Elles sont souvent utilisées pour les équipements autonomes non reliés au réseau électrique. Le tableau suivant résume les caractéristiques de ce type :

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

Tableau I.5. Caractéristique des cellules amorphe [18]

<b>Modèle</b>	<b>A-235</b>
<b>Puissance nominale</b>	<b>235 W</b>
<b>Tension maximale</b>	<b>29,04 V</b>
<b>Courant maximale</b>	<b>8,10 A</b>
<b>Tension en circuit ouvert</b>	<b>36,94 V</b>
<b>Courant de court-circuit</b>	<b>8,64 A</b>
<b>Maximum system voltage</b>	<b>1000 V</b>
<b>ID</b>	<b>6P50-6x10 1014113</b>
<b>S.N</b>	<b>M1021209015656</b>

➤ **Avantages d'utilisation de ce type**

- Production plus régulière par an
- Rendement plus élève par forte température
- Plus économique et moins cher
- Empreinte écologique plus faible
- Forme de la cellule est carrée permettant un meilleur foisonnement dans le module
- Moins sensible aux variations de température

➤ **Inconvénients d'utilisation de ce type**

- Rendement moins faible qu'une cellule monocristallin
- Ratio  $W/m^2$  moins bon que la technologie monocristalline
- Rendement est faible sous un faible éclairement
- 



# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

---

Figure I.6. Panneaux en silicium polycristallin [22]

## C. Panneaux en silicium amorphe

Le silicium intégré dans ces cellules n'est pas cristallisé, il est déposé sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires". Ses atomes sont donc agencés sans réelle organisation, ce qui leur permet de mieux capter la lumière. Ils sont bien adaptés pour l'alimentation électrique des équipements de faible puissance, installée dans des zones à faible éclairage et sous ensoleillement diffus.

Le tableau suivant résume les caractéristiques de ce type :

Tableau I.4. Caractéristique des cellules polycristallin [18]

<b>Modèle</b>	<b>ASI-103</b>
<b>Puissance nominale</b>	<b>103 W</b>
<b>Tension maximale</b>	<b>30,43 V</b>
<b>Courant maximale</b>	<b>3,39 A</b>
<b>Tension en circuit ouvert</b>	<b>42,80 V</b>
<b>Courant de court-circuit</b>	<b>1,88 A</b>
<b>Tension maximale du système</b>	<b>1000 V</b>

### ➤ Avantages d'utilisation de ce type

- Bon fonctionnement malgré un éclairage faible
- Moins cher que les autres types de panneaux
- Intégration sur support souple ou rigide

### ➤ Inconvénients d'utilisation de ce type

- Rendement faible en plein soleil (maximum 60W/m<sup>2</sup>)
- Performance diminue avec le temps
- Nécessite de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de silicium cristallin.

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

---



**Figure I.7.** Panneaux en silicium amorphe [22]

## **I. 5 Description de (SONELGAZ : GRTE, GRTG, SKTM)**

### **I. 5. 1 SONELGAZ [21]**

Elle est considérée comme l'une des entreprises les plus importantes en Algérie dans le domaine de la fourniture d'énergie électrique et gazière. Son rôle est la production, la distribution et le transport d'électricité et de gaz par canalisations. Il a également d'autres activités telles que la commercialisation à l'étranger.

SONELGAZ a un rôle majeur dans le développement économique du pays. Sa contribution dans la concrétisation de la politique énergétique nationale est à la mesure des importants programmes réalisés ; en matière d'électrification rurale et de distribution publique gaz ;

Ce qui a permis de hisser le taux de couverture en électricité à 98% pour 10 983 538 clients et un taux de pénétration du gaz à 65% POUR 6 886 407 clients.

#### **I. 5. 1. 1 Historique**

**En 1946 :** création de EGA, Nationalisation des activités électriques et gazières de l'Algérie en vertu de la loi n° 46-628, par la nationalisation des entreprises privées d'électricité et de gaz situées en France.

**En 1947 :** consacrant la création de EGA (Electricité et Gaz d'Algérie) par décret N° 47-1002 du 5 juin 1947.

**En 1969:** Dissolution et remplacement d'EGA avec la création de Sonelgaz, et entrée dans une nouvelle ère avec un effectif de 6 000 agents pour servir 700 000 clients avec une facture d'électricité de 40%.

## **CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou**

---

**En 1983** : Sonelgaz conduit le premier processus de restructuration qui est la création de cinq filiales d'activités spécialisées et d'une entité de fabrication (KAHRIF, KAHRAKIB, INERGA, ETTERKIB et AMC).

**En 1995** : SONELGEZ est devenue une entreprise industrielle et commerciale (EPIC), sous la tutelle du ministère chargé de l'énergie et des mines.

**En 2002** : SONELGAZ est devenue la société Algérienne de l'électricité et du gaz par actions (SPA) grâce au décret présidentiel n° 02-195 du 01 Juin 2002.

**En 2004** : SONELGAZ a fait ses preuves en développant et en élargissant ses gammes jusqu'à devenir un catalyseur d'investissement nationaux et étrangers, elle adopte une organisation de groupe industriel en se transformant en filiales chargées du métier de base : centre SDC, SDE, SDA et Ouest SDO, GRTE et Conduite du Système Electric (OS).

**En 2009** : entre 2007 et 2009, SONELGAZ a amélioré ses performances grâce à une nouvelle organisation, qui s'est traduite par l'existence d'un groupe comprenant 33 filiales et 6 sociétés à participation directe, ainsi que par l'ouverture de l'institut de formation à l'électricité et au gaz (IFEG) en 2007.

Aujourd'hui, SONELGAZ ambitionne de mettre en œuvre un nouveau plan stratégique dont le dernier consiste à recentrer les missions de SONELGAZ sur son rôle d'énergéticien qui vise à fournir une énergie fiable tout en assurant un haut niveau de service et de continuité.

Parmi les applications du plan stratégique :

La création, au sein du Groupe, de deux (02) holdings détenus à 100% par la holding mère Sonelgaz :

Une holding Engineering et Construction qui exercera un rôle hiérarchique sur les sociétés travaux et engineering CEEG, HYENCO, KAHRIF, KAHRAKIB, KANAGHAZ, ETTERKIB, INERGA et TRANSMEX.

Une holding Industries qui exercera un rôle hiérarchique sur les sociétés MEI, AMC, Rouïba Eclairage, VIJAI, BHI, SEDIVER et GEAT.

Le maintien d'une seule société de protection et de surveillance par une opération de fusion/absorption par la SWAT des trois (03) autres sociétés SAR, SAT et SAH.

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou



Figure I. 8. Présentation de SONELGAZ [21]

## I. 5.2 GRTE

Est la société Algérienne de Gestion du réseau de transport de l'Electricité, dénommé GRTE, a pour mission d'assurer l'exploitation, la maintenance et le développement du réseau de transport de l'électricité. Conformément à la législation et le règlement en vigueur et aux dispositions de la loi N° 02-01 du 05/02/2002 relative à la distribution du gaz par canalisation, en vue de garantir une capacité adéquate par rapport aux besoins de transit et de réserve.

Le rôle de GTRE est de transmettre l'électricité, c'est le nerf de la transmission énergétique.

Il dispose de 6 régions de Transport de l'Electricité, à savoir : Alger, Centre, Oran, Sétif, Annaba et Hassi Messaoud, à travers 24 services de transport répartis sur le territoire national.

## I. 5.3 GRTG [20]

La société Algérienne de Gestion du transport du Gaz, est une filiale du groupe SONELGAZ, crée le 1 er janvier 2004.

Le nom de GRTE a changé en 2008 (la société Algérienne de gestion du réseau de transport du Gaz), pour devenir GRTG.SPA, avec en maintenant la situationet le capital sur son cours.

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

---

De ses missions principales sont :

L'exploitation, la maintenance et le développement du réseau de Transport pour acheminer le gaz naturel dans les meilleures.

Livraison de Gaz Natural aux clients aux points de distribution.

## I. 5. 4 SKTM [20]

Shariket Kahraba wa taket Motadjadida (spa), Est une société de production d'électricité conventionnelle pour réseaux isolés du sud et des énergies renouvelables, Elle a été créée en 2013 c'est une société par actions et l'intégralité de son capital est détenue par la SONELGAZ complexe société, basée à Ghardaïa.

En 2020, le nom de la société a été changé en (Société d'électricité et d'énergies renouvelables).

Le poste combustible intervient aux moyennes pour 33% dans la formation de ce déficit, Il est important de noter que ces résultats sont la conséquence de l'application d'un tarif unique pour l'ensemble des filières de SPE (péréquation des tarifs). Problématique qui sera réglée avec la mise en place des nouveaux contrats de fournitures avec les SDx.

La centrale solaire photovoltaïque de Ghardaïa s'inscrit dans le cadre du programme de développement des énergies renouvelables mis en place par le ministère de tutelle. Mandatée par la Société Algérienne de Production d'Electricité (SPE), la Compagnie de l'Engineering de l'Electricité et du Gaz (CEEG) a procédé à l'ouverture des plis des offres techniques relatives à ce projet le 28 Mars 2011, et le 21 décembre 2011 : l'ouverture et à l'évaluation des offres financières, le marché a été attribué au Groupement ABB Italie / ABB Algérie [1].

- Le 12/02/2012 : début de la phase étude de l'ingénierie par le Groupement ABB Italie /

ABB Algérie ;

- Le 28/05/2012 : Début des travaux de génie civil par SNC INDÉAL BATISSE

- Le 22/08/2013 : Début des travaux d'ETTERKIB ;

# CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

- Le 27 mars 2014 : Début des essais de commissionnement ;
- Le 11 juin 2014 : La mise en service partiel [1].

SKTM a été créée dans le but d'installer 23 centrales photovoltaïque, dont 19 centrales électriques, Dont la centrale de Ghardaïa qui s'apparente à un laboratoire ouvert dont le but est d'étudier le rendement de chaque technologie et les performances des quatre panneaux photovoltaïques et d'adapter ses technologies aux conditions climatiques du pays.

## I. 6 Description de la station d'Oued Nechou

La centrale est située près d'Oued Nechou à environ 15 km au nord de la ville de Ghardaïa, crée en 2014, Sa superficie estimée est de 10 hectares, Avec une capacité d'environ 1.1 MW, située à une latitude de 32°24'N et une longitude de 3°48'E avec une altitude de 566m. Elle a une puissance nominale d'environ de 1 100kWc.

La centrale est un projet «Pilote», partagée en huit sous-champs; contenant quatres modules photovoltaïques de technologie différentes et deux types de structures (Fixe et Motorisé).

**Tableau I.7. Types des Sous\_champ**

Centrale PV de Ghardaïa (1100 kWc)								
Sous-champ Num	Type	Structure	Puissance du sous-champ	Nbr modules / Sous-champ	Nbr de Chaines / sous champ	Nbr Modules / Chaîne	Energie du module	Rendement du module / Type
1	Mono	Motorisé	105 000 W <sub>c</sub>	420	21	20	250 W <sub>c</sub>	15,35%
2	Poly	Motorisé	98 700 W <sub>c</sub>	420	21	20	235 W <sub>c</sub>	14,43%
3	Cd-Te	Fixe	108 000 W <sub>c</sub>	1260	105	12	80 W <sub>c</sub>	11,10%
4	a-Si	Fixe	100 116 W <sub>c</sub>	972	54	18	103 W <sub>c</sub>	7,10%
5	Mono	Fixe	105 000 W <sub>c</sub>	420	21	20	250 W <sub>c</sub>	15,35%
6	Poly	Fixe	98 700 W <sub>c</sub>	420	21	20	235 W <sub>c</sub>	14,43%
7	Mono	Fixe	<sup>255</sup> 000 W <sub>c</sub>	1020	51	20	250 W <sub>c</sub>	15,35%
8	Poly	Fixe	258 500 W <sub>c</sub>	1100	55	20	235 W <sub>c</sub>	14,43%
<b>TOTAL</b>			<b>1174016 W<sub>c</sub></b>	<b>6.032</b>	<b>349</b>	<b>150</b>		



## CHI : Généralité sur les panneaux photovoltaïques la station d'Oued Nechou

---



**Figure I. 9.** Station photovoltaïque d'Oued Nechou

### **I. 7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'identification de l'énergie solaire en général avec ses différentes caractéristiques et types de technologies photovoltaïque.

Nous avons également décrit en général le secteur de l'énergie en Algérie, en particulier la société d'Energie pour la production d'électricité et la centrale électrique d'Oued Nechou

Les chapitres suivants traiteront de la modélisation et la simulation de différentes cellules photovoltaïques, notamment pour la centrale d'Oued Nechou

# Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

---

## II.1. Introduction

La modélisation et la simulation des panneaux photovoltaïques sont des outils essentiels pour la conception et l'optimisation de systèmes solaires photovoltaïques (PV). Les modèles mathématiques sont utilisés pour représenter le comportement physique des panneaux photovoltaïques et leur interaction avec l'environnement.

Les modèles thermiques permettent de modéliser la température du panneau photovoltaïque en fonction des conditions environnementales qui peuvent affecter l'efficacité du panneau. Les modèles de rayonnement solaire permettent de modéliser la quantité d'énergie solaire reçue par le panneau en fonction de la position du soleil dans le ciel, des nuages et de l'ombre.

Les modèles les plus couramment utilisés pour modéliser les panneaux photovoltaïques sont les modèles électriques, les modèles thermiques et les modèles de rayonnement solaire. Les modèles électriques permettent de représenter les caractéristiques électriques du panneau photovoltaïque, telles que la tension, le courant et la puissance en fonction de la température et de l'éclairement solaire, donc le choix des éléments de circuit électrique est considéré comme étant une étape très importante dans ce cas.

Le type de cellule examiné dans ce qui suit est la technologie polycristallin dans les conditions standard ( $E=1000\text{W/m}^2$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ ), Nous allons étudier l'effet de la température et de l'éclairement sur l'énergie produite par la cellule PV.

## II.2. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

Les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque décrivent comment la cellule produit de l'électricité en réponse à la lumière. Voici les principales caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque :

- Courant de court-circuit ( $I_{sc}$ ) ;
- Tension en circuit ouvert ( $V_{oc}$ ) ;
- Courant maximal de puissance ( $I_{mp}$ ) ;
- Tension maximale de puissance ( $V_{mp}$ ) ;
- Puissance maximum  $P_m$  ;

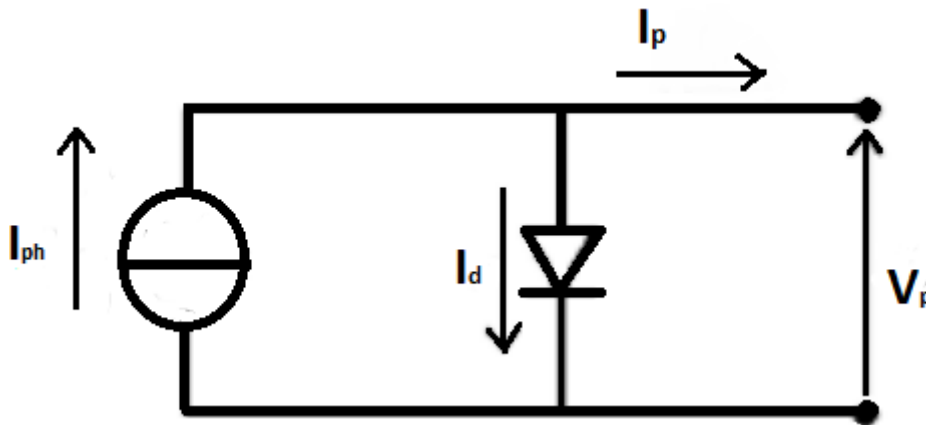
## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

---

- Rendement,  $\eta$  ;
- Facteur de forme FF

Les caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque sont mesurées sous des conditions spécifiques, telles que la température, l'éclairement solaire et la résistance de charge. Ces mesures permettent de déterminer les performances réelles de la cellule photovoltaïque et de les comparer aux autres technologies de cellules photovoltaïques

Le schéma électrique équivalent d'une cellule solaire idéale à jonction PN, peut être représenté par une diode (pour modéliser la jonction PN) et un générateur de courant continu,  $I_{ph}$  (pour modéliser le courant photogénéré), comme le montre la Figure (II.1) :



**Figure II. 1.** Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque idéale à jonction PN

Avec :

$I_p$  : le courant total produit par la cellule.

$I_d$  : le courant traversant la diode.

Une cellule solaire reliée à une résistance électrique et soumise à l'éclairement solaire débite un courant qui va se répartir entre la résistance et sa structure interne de diode. Sa caractéristique

(V) correspond à la soustraction du photo-courant et du courant de la diode donnée par [23].

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

---

$$I(V) = I_{obs}(V) - I_{ph} = I_s \left[ \exp\left(\frac{q \cdot v}{k \cdot T}\right) - 1 \right] - I_{ph} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

$I_{ph}$  : la densité de courant photogénéré. Tapez une équation ici.

$I_{obs}$  la densité de courant

d'obscurité.  $I_s$  le courant de

saturation de la diode.

$q$  la charge élémentaire.

$K$  la constante de Boltzmann.

$T$  la température.

### II.3. Différents paramètres de la cellule photovoltaïque

Le courant délivré sur une charge par une cellule photovoltaïque éclairée s'écrit :

$$I(V) = I_{ph} - I_{obs}(V) \quad (\text{II.2})$$

Avec :

$I_{ph}$  : la densité de courant photogénéré.

$I_{obs}$  : la densité de courant d'obscurité

Pour une cellule solaire idéale, l'équation (II.2) peut être écrite sous la forme suivante

$$I(V) = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{q \cdot v}{k \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (\text{II.3})$$

Avec :

$I_0$  : courant de saturation de la diode ;

$q$  : charge élémentaire ;

$k$  : constante de Boltzmann ;

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

---

**T** : Température.

Les paramètres des cellules photovoltaïques ( $V_{oc}$ ,  $I_{sc}$ ,  $FF$ ,  $\eta$ ), extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer les différentes cellules éclairées dans des conditions identiques [24].

### II.3.1. Courant de court-circuit $I_{sc}$

C'est le courant maximal que peut fournir la cellule photovoltaïque lorsqu'elle est court-circuitée (en prenant  $V=0$  dans le schéma équivalent). Cela se produit lorsque les bornes de la cellule sont connectées directement sans résistance externe. Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs et de la température [25].

### II.3.2. Tension du circuit ouvert $V_{co}$

La tension à circuit ouvert est obtenue quand c'est la tension maximale que peut produire la cellule photovoltaïque lorsqu'elle est laissée en circuit ouvert. Cela se produit lorsque les bornes de la cellule ne sont pas connectées à un circuit externe. Le courant qui traverse la cellule dans ce cas est nul. Elle dépend de la barrière d'énergie et de la résistance shunt. Elle décroît avec la température et varie peu avec l'intensité lumineuse [25].

La tension  $V_{oc}$  est donnée par la relation :

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right) \quad (\text{II.4})$$

### II.3.3. Puissance maximum $P_m$

Le point de fonctionnement est imposé par la résistance de charge et non par la cellule elle-même. Un choix judicieux de la résistance de charge permettra donc d'obtenir la puissance maximale, soit :

$$P_m = I_m V_m \quad (\text{II.5})$$

Avec :

$V_m$  : la tension correspondante à la puissance maximale fournie.

$I_m$  : le courant correspondant à la puissance maximale fournie.

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

---

### II.3.4. Facteur de forme $FF$

Le facteur de forme  $FF$  est un rapport entre la puissance maximale délivré par la cellule photovoltaïque  $P_{max}$ , avec le produit du courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ) par la tension de circuit ouvert ( $V_{co}$ ) (c'est à dire la puissance maximale d'une cellule idéale) :

$$ff = \frac{p_{max}}{v_{co} \cdot I_{sc}} \quad (II.6)$$

### II.3.5. Rendement, $\eta$

Le rendement,  $\eta$  des cellules photovoltaïques désigne le rendement de conversion en Puissance. Il est défini comme étant le rapport entre le rapport maximal délivré par la cellule et la puissance lumineuse incidente  $P_{in}$

$$\eta = \frac{p_{max}}{p_{in}} \quad (II.7)$$

### II.3.6. Courant maximal de puissance ( $I_{mp}$ )

C'est le courant maximal que peut fournir la cellule photovoltaïque lorsqu'elle est connectée à une charge résistive externe. À cette valeur du courant, la cellule photovoltaïque produit sa puissance maximale.

### II.3.7. Tension maximale de puissance ( $V_{mp}$ )

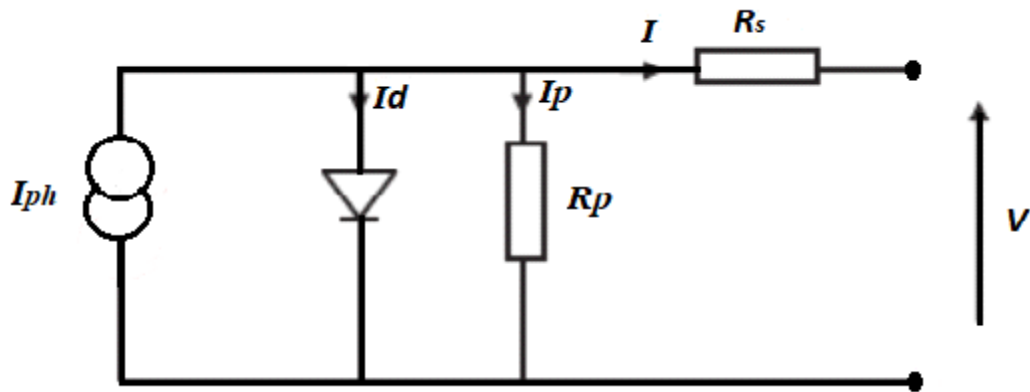
C'est la tension à laquelle la cellule photovoltaïque produit sa puissance maximale lorsqu'elle est connectée à une charge résistive externe.

## II.4. Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Il existe plusieurs modèles d'analyse du système photovoltaïque, parmi lesquels la cellule présentée dans ce qui suit peut-être décrite par ses composants, ces derniers étant constitués d'une résistance série  $R_s$  et d'une résistance shunt  $R_p$  qui affectent la caractéristique  $I=f(V)$ .

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

---



**Figure II. 2.** Modèle de la cellule photovoltaïque réel

Donc on a :

$$I = I_{ph} - I_d - I_p$$

(II.8)

$$I_p = \left( \frac{v + R_s \cdot I}{R_p} \right) \tag{II.9}$$

Avec :

$I$  : Le courant fourni par la cellule.

$I_{ph}$  : Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).

$I_0$  : Le courant de saturation de la diode.

$K$  : constante de Boltzmann ( $1,381 \cdot 10^{-23}$  joule/Kelvin).

$q$  : charge d'électron =  $1,602 \cdot 10^{-19}$  C.

$n$  : Le facteur de qualité de diode.

$T$  : La température de cellule en kelvin.

Ainsi, en se basant sur les opérations précédentes nous obtenons :

$$I = I_{ph} - I_0 \left( \exp \left( \frac{v + I \cdot R_s}{v_T} \right) - 1 \right) - \left( \frac{v + R_s \cdot I}{R_p} \right)$$

(II.11)

### II.4.1. Résistance série

Elle représente la résistance interne de la cellule, elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact, des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles [26].

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

---

### II.4.2. Résistance parallèle (shunt)

Elle est due à un courant de fuite au niveau de la jonction, elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée [26].

### II.4.3. Photo-courant $I_{ph}$

C'est le courant généré par une cellule, il est proportionnel à l'irradiation solaire et est légèrement influencé par la température selon l'équation suivante :

$$I_{ph} = I_{sc} - K_i(T - 298) \frac{G}{1000} \quad (\text{II.12})$$

Avec :

$I_{cc}$  [A] : Courant de court-circuit du panneau (donné par le constructeur).

$K_i$  [A/k] : Courant de court-circuit divisé par le coefficient de température du panneau.

$T$  [k] : Température ambiante.

$G$  [W/m<sup>2</sup>] : Irradiation sur la surface de la cellule.

$T_{ref}$  [k] : Température de référence (298 K).

### II.4.4. Courant de saturation $I_0$

Ce courant varie avec la température, Il est donné par la formule suivante :

$$I_0 = I_{rs} \left( \frac{T}{T_n} \right)^3 \exp \left[ \frac{qEG_0 \left( \frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right)}{n \cdot k} \right] \quad (\text{II.13})$$

Avec :

$E_g$  [eV] : Énergie de gap du semi-conducteur

### II.4.5. Courant de saturation Inverse de la diode (courant de fuite) $I_{rs}$

Son expression est donnée par l'équation :

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot k \cdot T}\right) - 1} \quad (\text{II.14})$$



## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

---

Avec :

$V_{oc}$  [V] : Tension de circuit ouvert du module (donnée par le constructeur).

$q$  [°C] : Charge de l'électron ( $1.602 \cdot 10^{-19}$  °C).

$N_s$  : Nombre de cellules connectées en série.

$n$  : Constante d'idéalité de la jonction ( $1 < n < 2$ ).

$K$  [J/k] : Constante de Boltzmann ( $1.3805 \cdot 10^{-23}$  J/K).

### II.5. Influence des différents paramètres sur la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$

Les caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'une cellule photovoltaïque peuvent être influencées par plusieurs paramètres, notamment :

#### II.5.1. Effet de la température

L'effet de la température est un facteur majeur sur les performances des cellules photovoltaïques, car son effet se traduit par une élévation de la température des composants de la cellule, ce qui affecte les propriétés électriques, notamment les conducteurs, car ils sont sensibles à ce paramètre.

De plus, les fortes chaleurs peuvent affecter négativement le processus de conversion de la lumière en énergie. Ainsi que, l'augmentation de la température des cellules photovoltaïques

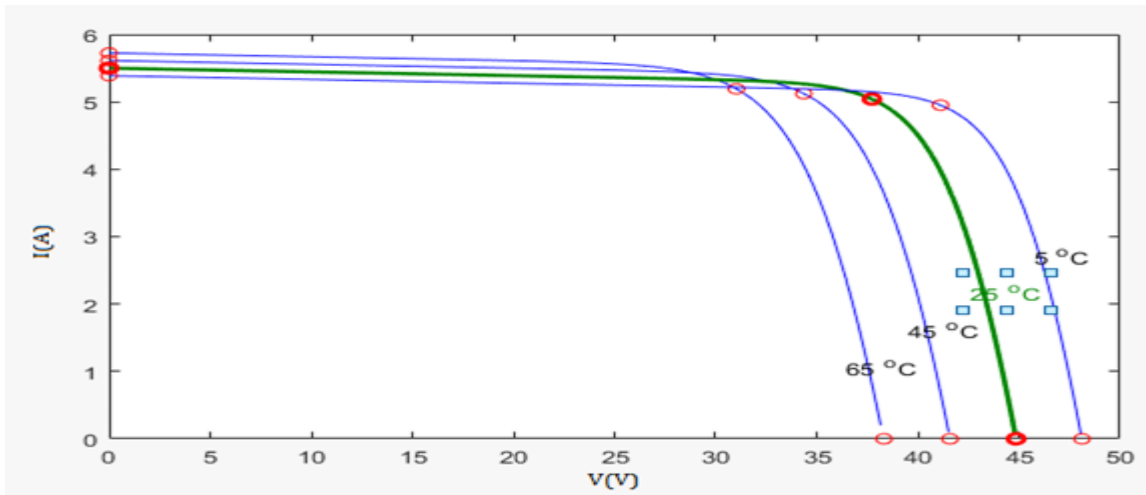
implique la diminution de la tension au sein du système photovoltaïque.

Par conséquent, nous constatons la présence des pertes en puissance et par la suite une réduction au niveau de la production d'énergie.

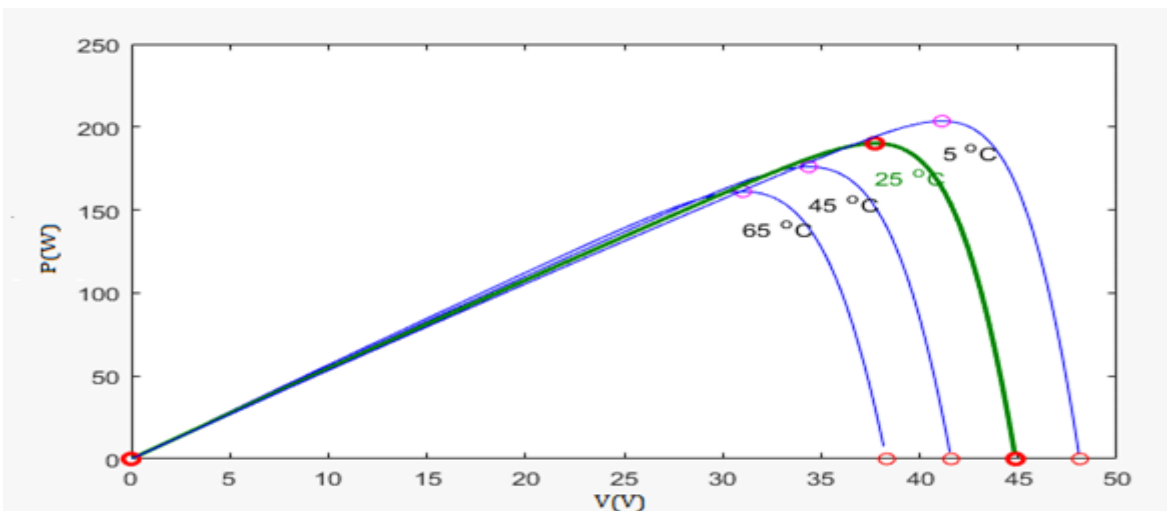
La figure (II.3) et (II. 4) montre l'influence de la température, sur la caractéristique  $I(V)$  et

$P(V)$  de panneau photovoltaïque (Zytech Engineering Technology ZT190S) lorsque la température varie.

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques



**Figure II.3.** Influence de la température sur les caractéristiques  $I(V)$  de la cellule photovoltaïque



**Figure II. 4.** Influence de la température sur les caractéristiques  $P(V)$  de la cellule photovoltaïque

### II.5.2. Effet de l'éclairement :

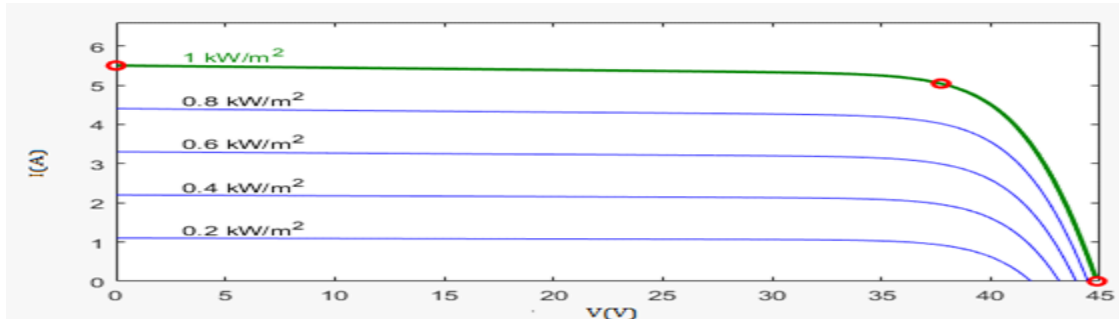
L'éclairement est un paramètre très important parce qu'il a un effet spécial sur le rendement électrique.

Les figure (II.5) et (II. 6) montrent l'influence de l'éclairement, sur la caractéristique  $I(V)$  et  $P(V)$  de la cellule solaire lorsque le taux de l'éclairement est variable.

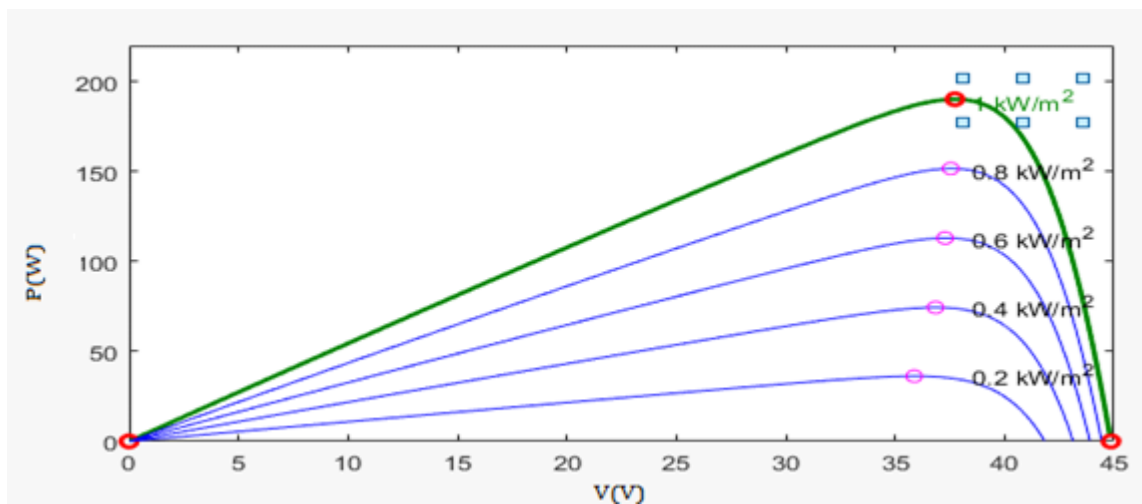
L'intensité de l'éclairement solaire affecte directement le courant de la cellule photovoltaïque, ainsi que la puissance qu'elle peut produire. Une augmentation de

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

l'éclairement solaire entraîne une augmentation du courant de la cellule et de sa puissance de sortie maximale.



**Figure II.5.** Influence de l'éclairement sur les caractéristiques  $I(V)$  d'une cellule photovoltaïque



**Figure II.6.** Influence de l'éclairement sur les caractéristiques  $P(V)$  d'une cellule

Photovoltaïque

Plus de ces deux paramètres détaillés, nous citons d'autres qui ont un effet majeur sur les caractéristiques  $I-V$  et  $P-V$

### II.5.3. Résistance de charge

La résistance de charge est le paramètre qui définit la charge connectée au panneau photovoltaïque. Une augmentation de la résistance de charge peut entraîner une diminution du courant de la cellule, ainsi qu'une diminution de sa puissance de sortie

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

---

maximale.

### II.5.4. Surface d'exposition de la cellule

La surface d'exposition de la cellule photovoltaïque est importante car elle détermine la quantité de captée de la lumière solaire. Une augmentation de la surface d'exposition de la cellule peut entraîner une augmentation de son courant et de sa puissance de sortie maximale.

### II.5.5. Qualité de la cellule

La qualité de la cellule photovoltaïque, telle que la pureté des matériaux et l'efficacité de conversion, peut affecter les caractéristiques I-V et P-V de la cellule. Les cellules de qualité supérieure ont généralement des performances supérieures.

### II.5.6. Configuration de la cellule

La configuration de la cellule photovoltaïque, telle que la connexion en série ou en parallèle avec d'autres cellules, peut affecter les caractéristiques I-V et P-V de la cellule.

Alors, afin d'obtenir les caractéristiques I-V et P-V optimales d'une cellule photovoltaïque, il est important de choisir les paramètres appropriés en fonction des conditions environnementales et de la configuration du système.

## II.6 Simulation d'un panneau photovoltaïque

Les simulations des panneaux photovoltaïques peuvent être effectuées aux différents niveaux de détail, allant de la modélisation de composants individuels, tels que les cellules photovoltaïques, aux systèmes complets, tels que les installations solaires sur les toits. Les simulations peuvent aider à optimiser la conception des systèmes solaires photovoltaïques en évaluant leur performance sous différentes conditions environnementales, telles que l'inclinaison et l'orientation des panneaux, l'emplacement géographique, la météo et l'ombrage. Les logiciels de simulation des panneaux photovoltaïques sont de plus en plus accessibles et faciles à utiliser, ce qui permet aux ingénieurs et aux concepteurs de systèmes solaires photovoltaïques de réaliser rapidement des simulations pour évaluer les performances des systèmes proposés. Parmi les logiciels les plus utilisés, Matlab Simulink, c'est un environnement de schémas bloc utilisé pour concevoir des systèmes avec des modèles multi-domaines sans avoir à écrire de code.

### II.6.2 Simulation de bloc sous Matlab- Simulink

La figure II.7 présente le schéma bloc de modèle Simulink du système photovoltaïque.

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

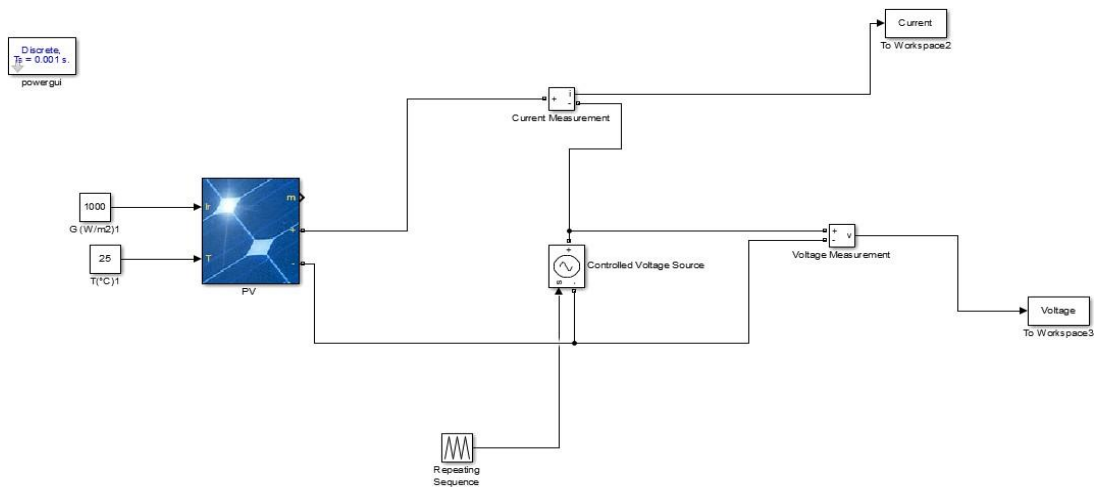


Figure II. 7. Schéma d'un PV sous Simulink/Matlab

### II.7 Résultats de simulation du système photovoltaïque

#### I.7.1. Caractéristiques d'un module solaire

La figure II. 8. représente les résultats obtenus de la caractéristique courant – tension d'un panneau PV de type (polycristallin A TERSA A-235p) dans les conditions de fonctionnement standard (STC), ( $E=1000 \text{ W/m}^2$  et  $T=25^\circ\text{C}$ ).

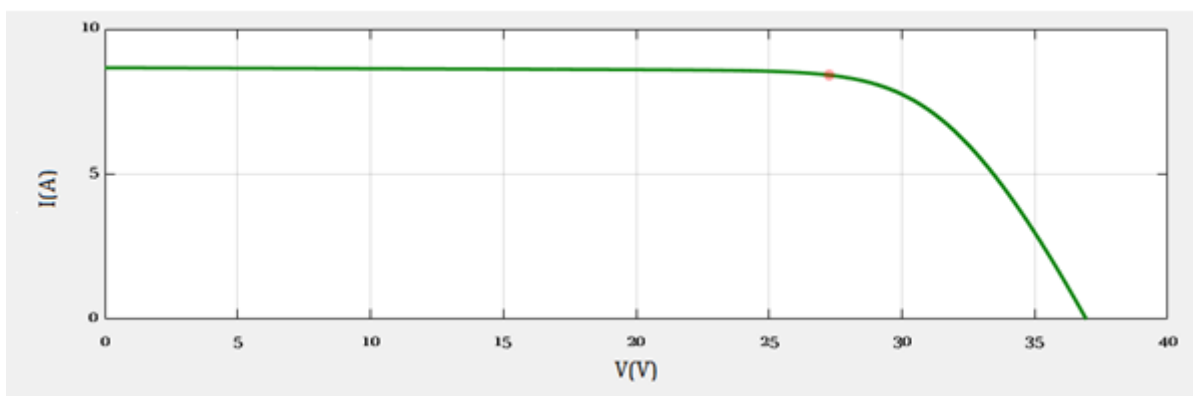


Figure II. 8. Caractéristique  $I(V)$  d'un panneau PV ( $T=25^\circ\text{C}$ ,  $G=1000\text{W/m}^2$ )

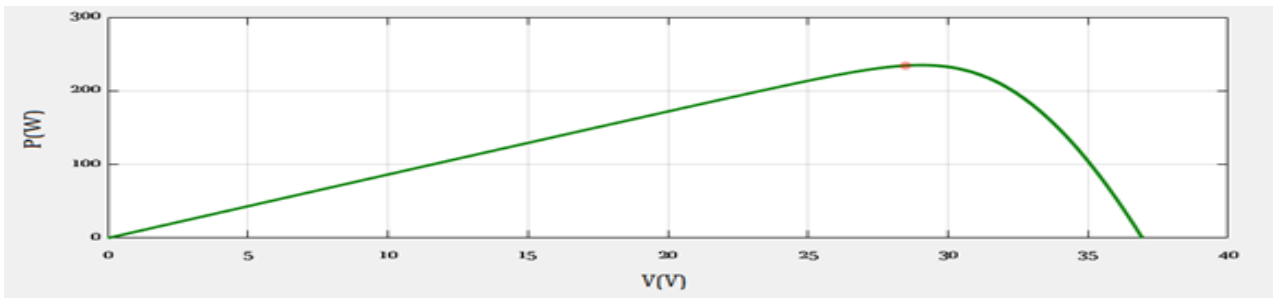
D'après la caractéristique obtenue, il est à signaler que le courant de court-circuit dans ces conditions est égal 8.64 A, cependant la tension de circuit ouvert  $V_{co}$  est

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

égale à 36.94 V.

D'après la courbe de Figure II. 8, nous remarquons une stabilité du courant de court-circuit malgré l'augmentation de la tension jusqu'à environ  $V_{mp}$  (26 V), car l'intensité du courant diminue jusqu'au zéro.

Figure II. 9. illustre la caractéristique puissance – tension d'un panneau PV dans les conditions de fonctionnement standard (STC). Il est à souligner que le niveau de puissance maximale est de l'ordre de 235W.

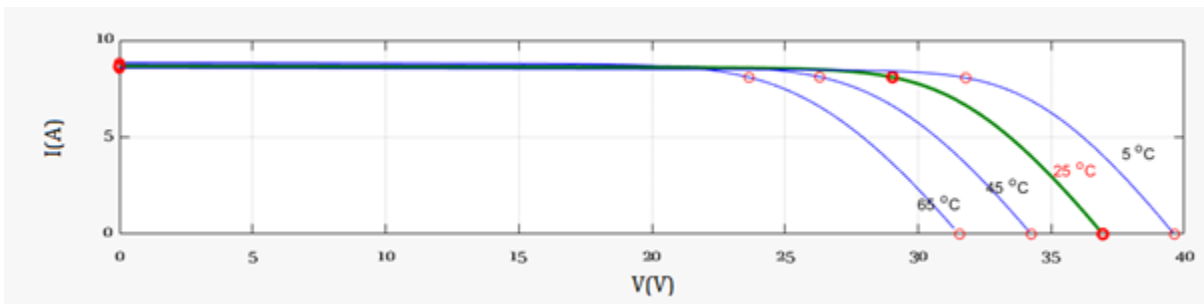


**Figure II. 9.** Caractéristique  $P(V)$  d'un panneau PV ( $T = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$ )

D'après la caractéristique illustrée dans la Figure II. 9 nous remarquons que la puissance augmente avec l'augmentation de la tension jusqu'à une valeur optimale, puis elle diminue jusqu'au zéro.

### II.7.2. Influence de la température

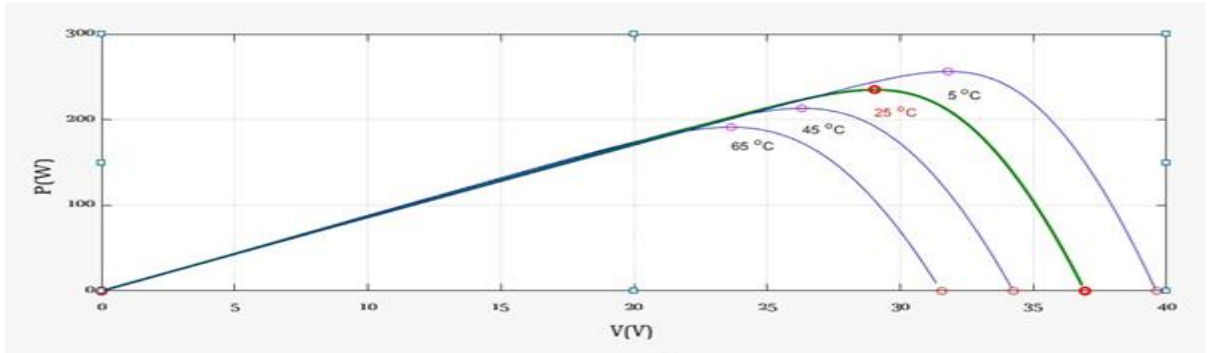
Les figures suivantes représentent respectivement les caractéristiques courant – tension  $I(V)$  et puissance tension  $P(V)$  pour une valeur de l'éclairement constante ( $E=1000\text{ W}/\text{m}^2$ ), et en variant les valeurs de la température ( $T = 5^{\circ}\text{C}$ ,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $T = 45^{\circ}\text{C}$ ,  $T = 65^{\circ}\text{C}$ ) :



**Figure II. 10.** Caractéristique  $I(V)$  pour différentes températures ( $G=1000\text{W}/\text{m}^2$ )

La courbe présentée dans la figure II. 10 montre que le courant court-circuit ne change pas de manière significative.

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques



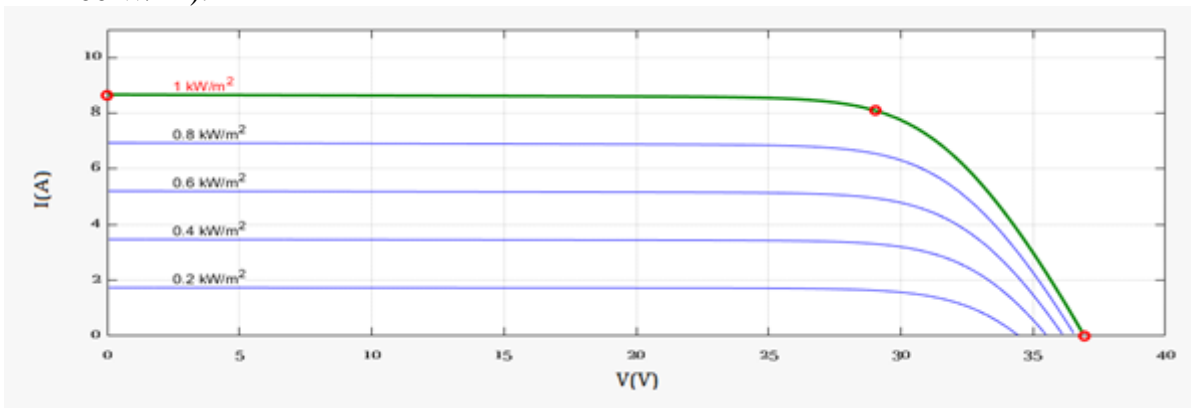
**Figure II. 11.** Caractéristique  $P(V)$  pour différentes températures ( $G=1000\text{W/m}^2$ )

D'après la figure II. 11, nous constatons une diminution de la valeur de la tension en circuit ouvert au fur et à mesure que le niveau de la température augmente.

Par conséquent, nous pouvons dire que la variation de la tension et le courant implique la variation de la valeur de la puissance maximale.

### II.7.3. Influence de l'éclairement

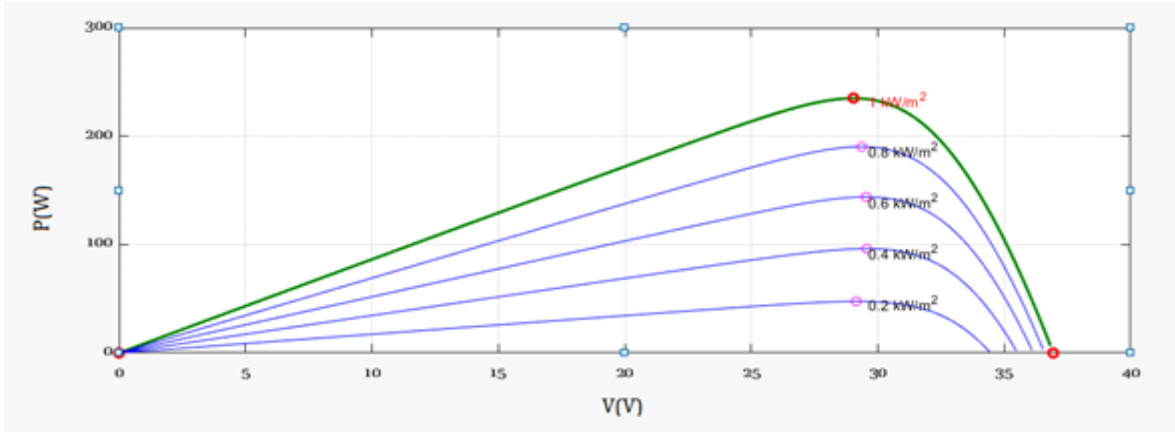
Les figures suivantes représentent simultanément les caractéristiques courant – tension  $I(V)$  et puissance tension  $P(V)$  à la même valeur de la température ( $T = 25^\circ\text{C}$ ), par contre, la valeur de l'éclairement est variable ( $E = 1000 \text{ W/m}^2$ ,  $E = 800 \text{ W/m}^2$ ,  $E = 600 \text{ W/m}^2$ ,  $E = 400 \text{ W/m}^2$ ,  $E = 200 \text{ W/m}^2$ ).



**Figure II. 12.** Caractéristique  $I(V)$  pour différents niveaux d'éclairement ( $T=25^\circ\text{C}$ )

La courbe de figure II. 12. montre l'effet de l'irradiation sur le courant à une température constante ( $T = 25^\circ\text{C}$ , car plus l'irradiation est élevée, plus le courant est élevé.

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques



**Figure II. 13.** Caractéristique P(V) pour différents niveaux d'éclairement (T=25°C)

Comme le montre la courbe, l'effet de la variation de l'éclairement sur la caractéristique de la puissance.

L'éclairement a un effet significatif sur les performances de la cellule, y compris son effet sur le niveau de courant, contrairement à la tension qui a un petit effet. Plus l'irradiation est élevée, plus le courant est élevé.

### II.8. Assemblage et association des panneaux photovoltaïques

L'assemblage des panneaux photovoltaïques (PV) est une étape cruciale dans la construction d'un système photovoltaïque. Chaque type d'assemblage des panneaux PV solaire a des particularités. L'association en série a pour rôle d'augmenter la tension, alors que celle en parallèle se traduit par l'augmentation de l'intensité du courant et même de la puissance.

Dans cette partie nous simulerons la technologie Polycristallin qui est en réalité à la station d'Oued Nechou, où en les associant une fois en série et une autre en parallèle, puis nous ferons le processus d'hybridation entre elles.

#### II.8.1. Caractéristiques du panneau polycristallin de la station [27]

Le tableau Tab.II.1 représente les caractéristiques des panneaux polycristallins installés dans le champ photovoltaïque d'Oued Nechou.

**TabII.1.** Caractéristique des panneaux polycristallin installés à Oued Nechou.

#### Caractéristique électrique

<b>Type</b>	<b>ATERSA A-235P</b>
-------------	----------------------



## **Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques**

---

<b>Pays d'origine</b>	<b>Espagne</b>
<b>Puissance de crête</b>	<b>235 Wc</b>
<b>Tolérance de la puissance de crête</b>	<b>0/+5Wc</b>
<b>Rendement du module</b>	<b>14.43%</b>
<b>Tension max (Vmpp)</b>	<b>29.04V</b>
<b>Intensité max (Impp)</b>	<b>8.10A</b>
<b>Tension circuit ouvert</b>	<b>36.94V</b>
<b>Courant de court-circuit</b>	<b>8.64A</b>
<b>Tension max du système</b>	<b>1000V</b>
<b>Normes de référence</b>	<b>IEC 61730-1,IEC 61730-2 ,IEC 61215</b>

### **II.8.2. Association en série des panneaux PV**

L'association en série des panneaux PV est une méthode de connexion de plusieurs panneaux PV pour augmenter la tension du système solaire. Cette méthode est utilisée lorsque la tension de sortie des panneaux PV individuels est inférieure à la tension requise pour le système solaire. En assemblant des panneaux en série, les cellules sont traversées au même courant, et ce montage se produit par l'addition de la tension avec un courant constant.

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

Branchement de panneaux en série

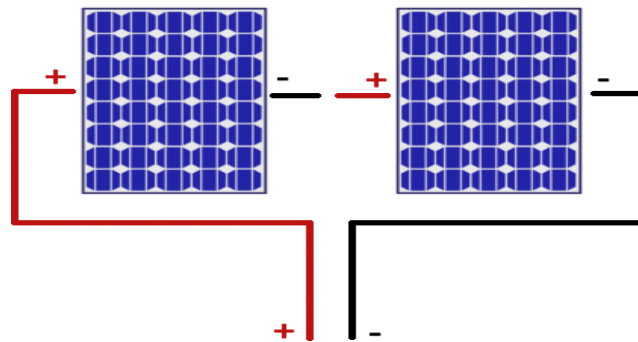


Figure II. 14. Association des panneaux PVs en série [28]

### II.8.2.1 Simulation de l'association des panneaux photovoltaïques en série

La figure II. 15. représente les caractéristiques d'un seul panneau PV Polycristallin étudié, dans les conditions standards (STC), ( $T = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$ ).

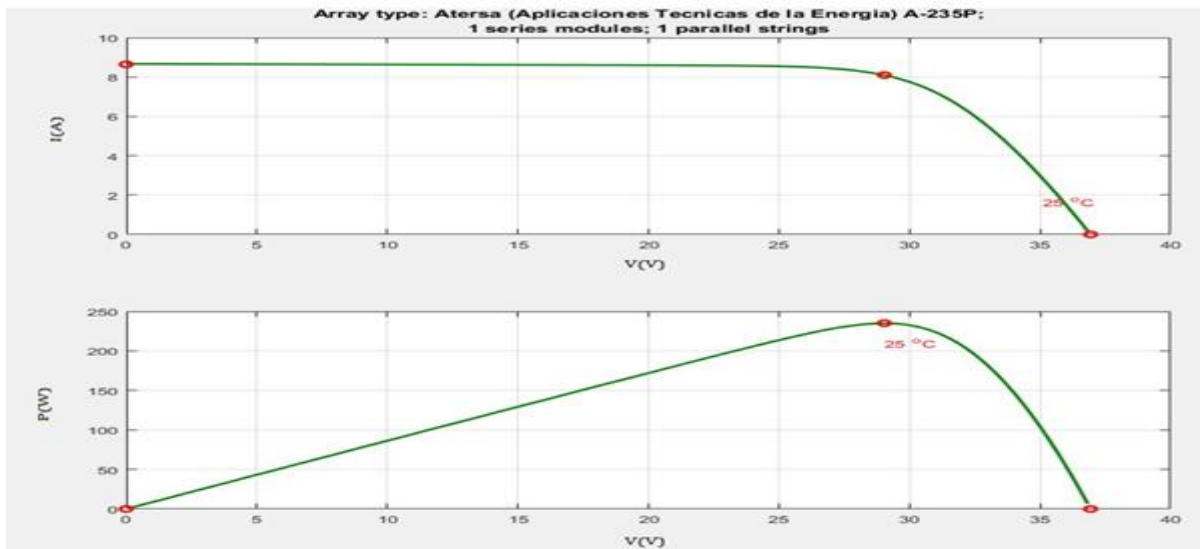


Figure II. 15. Courbe caractéristique ( $P-V$ ) et ( $I-V$ ) d'un seul panneau

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

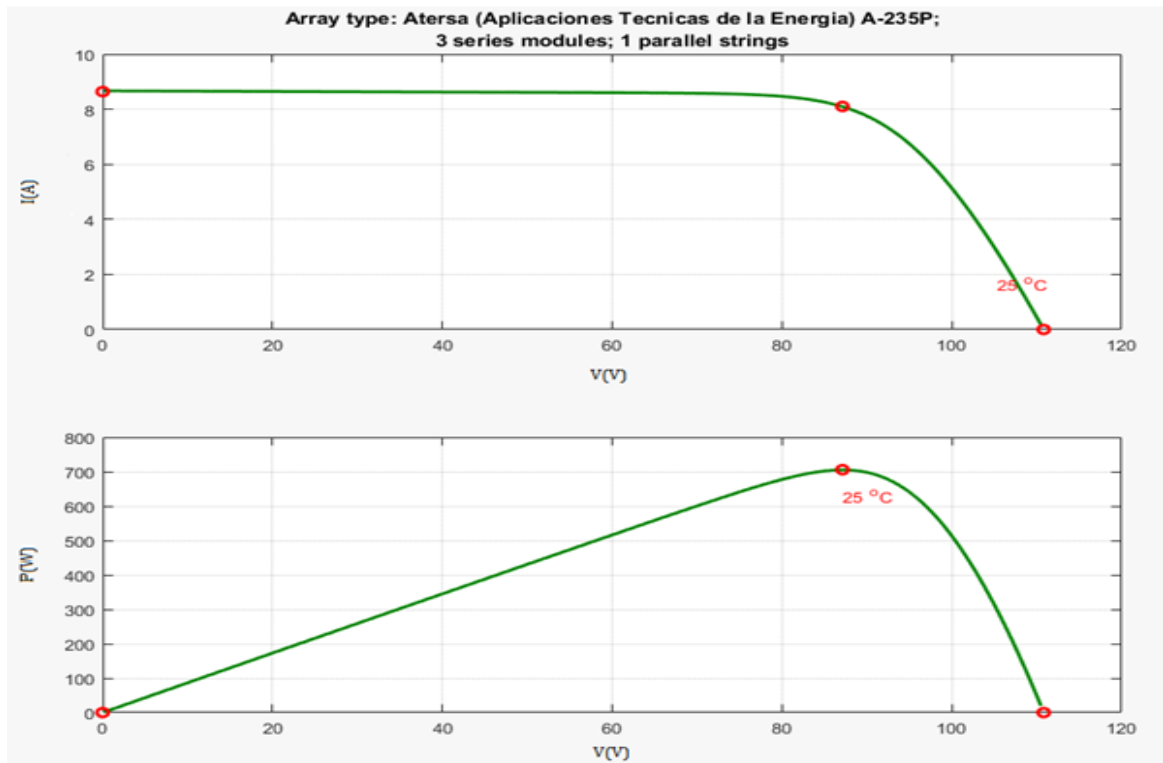


Figure II.16. Courbe caractéristique ( $P-V$ ) et ( $I-V$ ) Des trois panneaux en série

La figure II. 16. illustre la caractéristique d'une association en série des trois panneaux du type polycristallin étudié, dans les conditions standards (STC), ( $T = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$ ). D'après les résultats que nous avons trouvés dans l'association en série, nous concluons que la valeur du courant globale reste la même comme celle d'un seul panneau, par contre le niveau de tension est le résultat du produit du nombre des panneaux par la tension d'un seul panneau.

### II.8.3. Association en parallèle des panneaux PV

L'association en parallèle des panneaux PV est une méthode de connexion de plusieurs panneaux PVs pour augmenter le courant de sortie du système PV. Cette méthode est utilisée lorsque le courant de sortie des panneaux PV individuels est inférieur au courant requis pour le système ou la charge. Dans un groupement des panneaux connectés en parallèle, les cellules sont soumises à la même valeur de tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par l'addition des courants à la tension donnée.

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

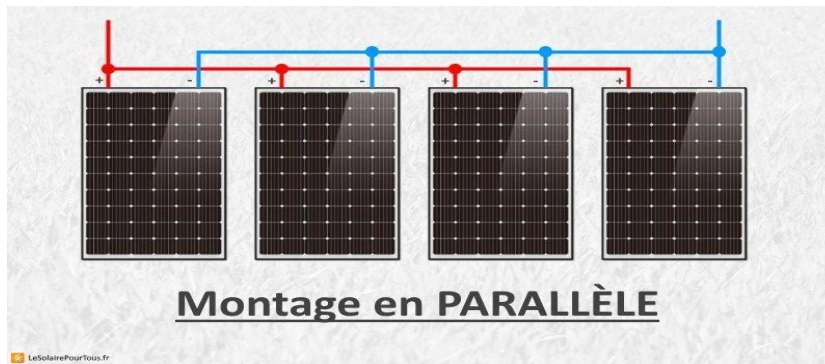


Figure II.17. Association d'un panneau en parallèle [28]

### II.8.3.1. Simulation de l'association des panneaux photovoltaïques en parallèle

La figure II. 18 représente la caractéristique d'une association des trois panneaux étudiés en parallèle de type Polycristallin, dans les conditions standards (STC), ( $T = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $G = 1000\text{W}/\text{m}^2$ ).

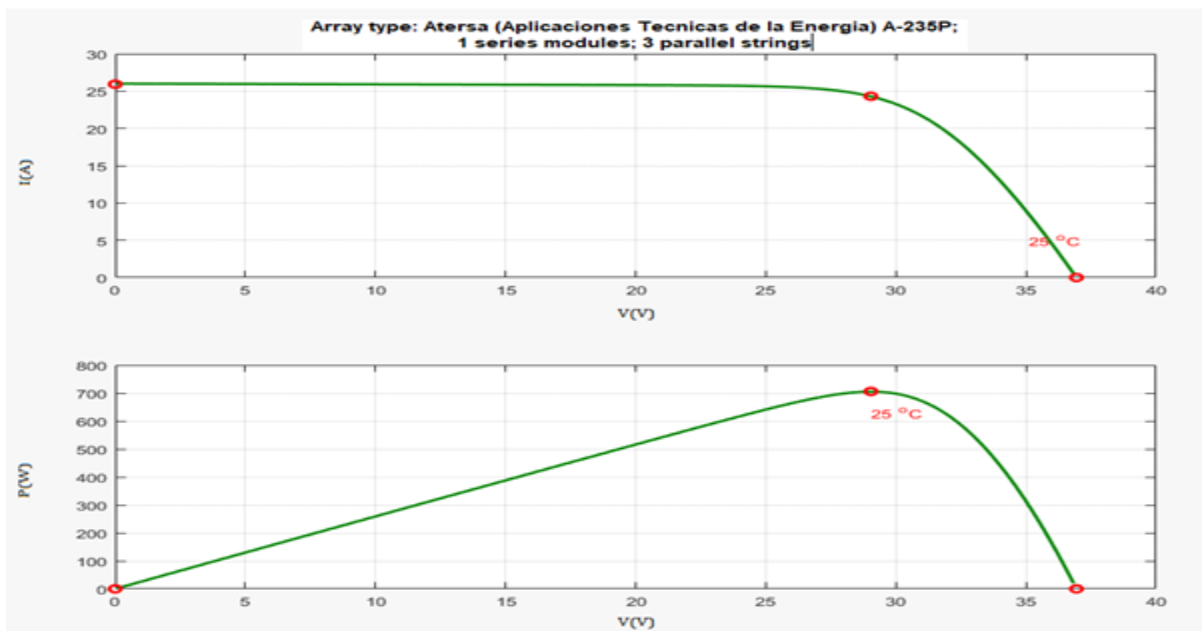


Figure II. 18. Courbe caractéristique ( $P-V$ ) et ( $I-V$ ) Des trois panneaux en parallèle

D'après les résultats obtenus, nous concluons que lorsque les panneaux sont connectés en parallèle, la tension reste fixe comme celle d'un seul panneau, mais le

## Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques

courant devient le résultat de la multiplication du nombre des panneaux par le courant d'un seul panneau.

### II.8.4. Association hybride

L'association hybride des panneaux PVs est une méthode de connexion qui combine les avantages des associations en série et en parallèle. Cette méthode permet d'augmenter la tension et le courant de sortie du système solaire en utilisant plusieurs types de panneaux solaires.

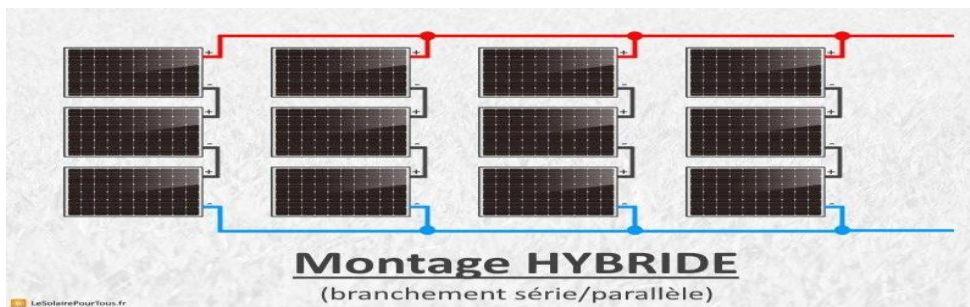


Figure II.19. Association hybride (branchement série/parallèle) [28]

#### II.8.4.1. Simulation de l'association hybride

Les figures suivantes représentent l'association hybride des panneaux Polycristallin étudiés en STC.

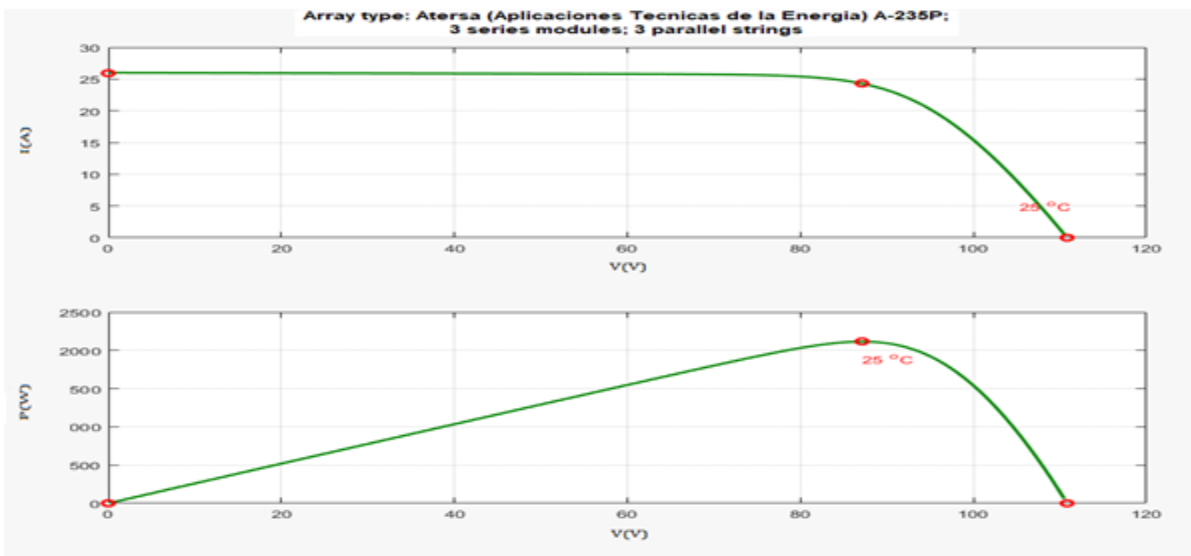


Figure II. 20. Courbe caractéristique ( $P-V$ ) et ( $I-V$ ) De l'association hybride des PVs

La dernière courbe nous a montré que lors de la phase l'hybridation (ici trois PVs en

## **Chapitre II : Modélisation et simulation des panneaux photovoltaïques**

---

série avec trois en parallèle), le courant et la tension ont augmenté au même temps, ce qui implique l'élévation du niveau de puissance aussi.

### **II. 9. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons étudié et simulé la cellule et le panneau photovoltaïque dans des conditions climatiques variables, ce qui nous a permis de comprendre mieux l'effet de l'éclairement et de la température sur les performances électriques des panneaux photovoltaïques où nous avons pris comme un exemple le panneau photovoltaïque réel du type Polycristallin installé à la station photovoltaïque à Oued Nechou. Après l'étude que nous avons menée, nous avons constaté aussi que les conditions climatiques ont un impact significatif sur les performances de sortie du panneau photovoltaïque. Plus le climat est proche aux conditions standards STC, plus la cellule, par conséquent le panneau photovoltaïque produit une meilleure énergie. De plus, la puissance, la tension et le courant globales du système photovoltaïque est lie à la façon dont ils sont associé (montés en série, ou en parallèle ou bien en system hypéridé)et cela dépend du besoin.

### III .1. Introduction

Dans le domaine de la productivité énergétique, il y a un grand intérêt à assurer la continuité des flux d'énergie, y compris le système photovoltaïque qui est sensible au climat. Afin de maîtriser ce système, il faut prendre en compte tous les facteurs affectant sa productivité.

Dans ce contexte, nous avons choisi à titre d'exemple la station d'Oued Nechou citée auparavant dans le premier chapitre. Dans ce dernier chapitre nous nous attacherons à étudier, analyser et simuler le fonctionnement de cette station ainsi que les grandeurs électriques du système photovoltaïque en prenant en compte la commande MPPT du convertisseur afin de rapprocher au cas réel. De plus, une comparaison des résultats de simulation avec ceux ramenés de la station de SKTM sera effectuée.

Dans le but d'évaluer leurs performances de cette station, les sous champs seront simulés à l'aide du logiciel Matlab, ce qui est mieux que la méthode manuelle dans laquelle des formules spécifiques sont utilisées, cela est pour obtenir une bonne précision dans l'étude d'un projet. Par la suite, nous allons utiliser les données réelles de la station pour simuler et évaluer le comportement de la station d'Oued Nechou dans quatre saisons pendant une année.

### III. 2. Association des panneaux photovoltaïques avec les convertisseurs commandés par MPPT

#### III. 2. 1. Commande MPPT du système photovoltaïque

Dans cette partie, nous analyserons tous les sous-champs installés dans la station d'Oued Nechou, ci-dessous nous mentionnerons les caractéristiques de chaque sous-champ. Notre objectif est en particulier d'analyser la mise en œuvre du convertisseur du type hacheur élévateur (boost) pour le système photovoltaïque afin de rapprocher au cas réel.

Nous allons utiliser la commande MPPT qui permet de faire fonctionner le système en produisant le maximum de la puissance suivant les variations des conditions météorologiques (température et irradiation). La commande du convertisseur place le système à son point de fonctionnement maximum ( $V_{mpp}$  et  $I_{mpp}$ ), afin de maximiser la puissance à la sortie du panneau photovoltaïque. Le système de régulation est généralement basé sur la variation automatique d'un rapport cyclique  $\alpha$  pour mettre la tension et la puissance à la valeur adéquate, Figure III.1.

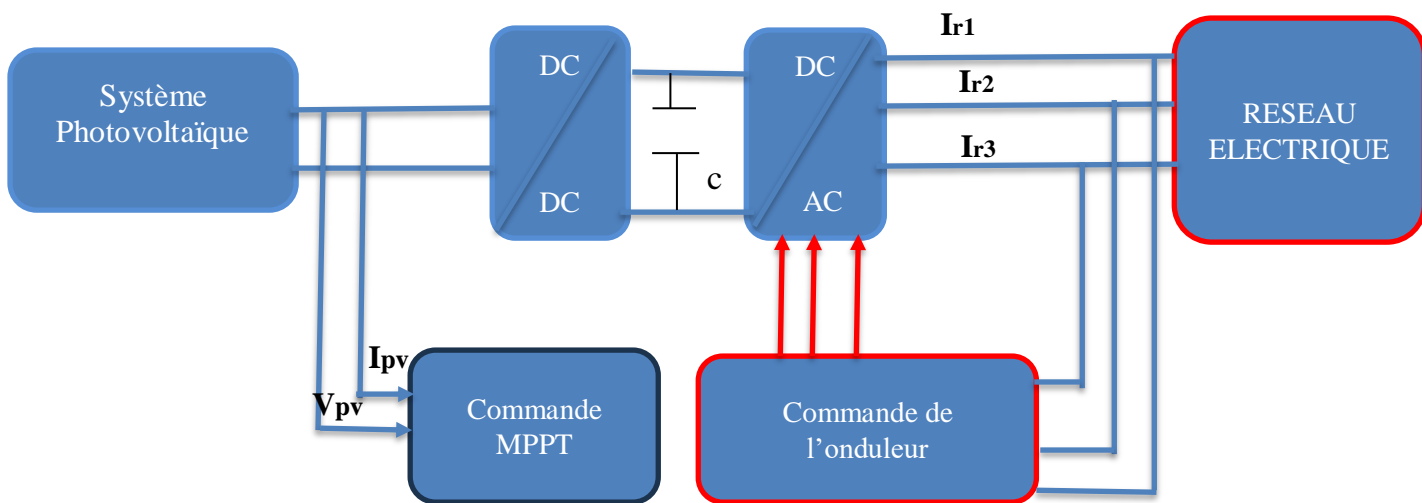


Figure III.1. Schéma de principe de convertisseur MPPT avec onduleur

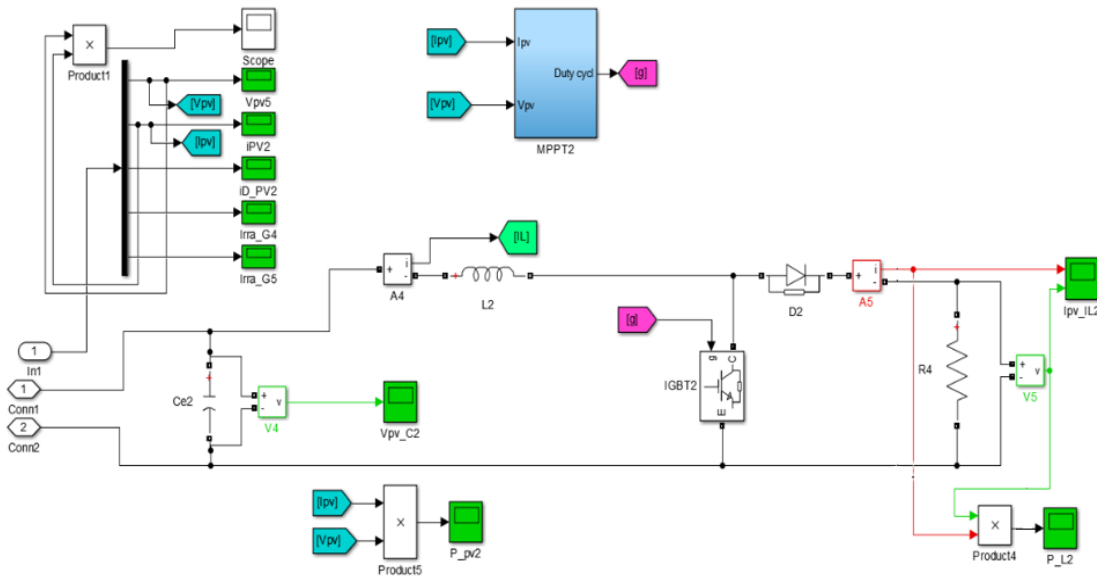
Le schéma illustré dans la figure III.1 est constitué d'un panneau photovoltaïque, un hacheur élévateur (Boost) contrôlé par MPPT, et la charge. Les deux paramètres essentiels du module photovoltaïque (courant  $I_{pv}$  et tension  $V_{pv}$ ), sont introduits dans les ports du bloc de la commande MPPT. La commutation sur le circuit du convertisseur est effectuée à travers IGBT. La cadence de ce dernier est optimisée à l'aide d'un algorithme qui génère le rapport cyclique adéquat ( $\alpha$ ). De plus, la tension de sortie est ajustée en fonction de ce rapport cyclique.

Le régulateur MPPT permet d'optimiser le rendement des panneaux solaires jusqu'à 30 %. Alors, les batteries recevront 30 % d'électricité en plus par rapport à un régulateur solaire classique [29].

### III. 2. 1. Blocs de simulation du système photovoltaïque associé au convertisseur commandé par MPPT

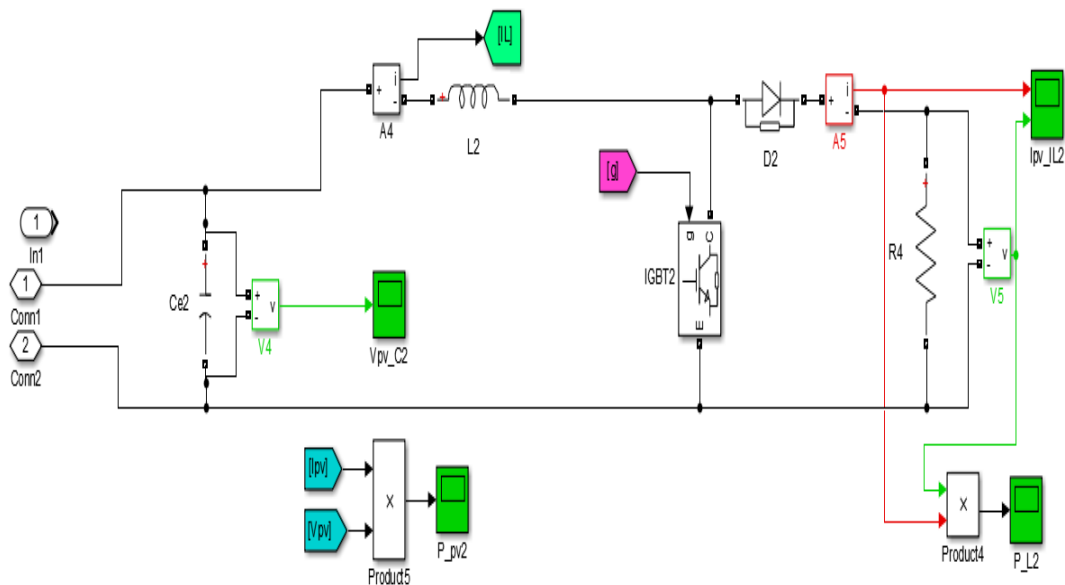
La figure ci-dessous représente le modèle de démonstration produit sous Matlab Simulink, pour le système photovoltaïque associé au convertisseur élévateur DC/DC et contrôlé par MPPT.





**Figure III. 2.** Schéma de block d'un panneau associé au convertisseur commandé par MPPT

Comme présenté sur la figure III.3, nous avons met les mesures des grandeurs de sortie du panneau photovoltaïque ( $V_{pv}$ ,  $I_{pv}$ ,  $P_{pv}$ ...), ces grandeurs sont des entrées pour le convertisseur du type hacheur volteur (élévateur) ainsi que pour sa commande MPPT. La tension, courant et la puissance sont également mesurées à la sortie du convertisseur.



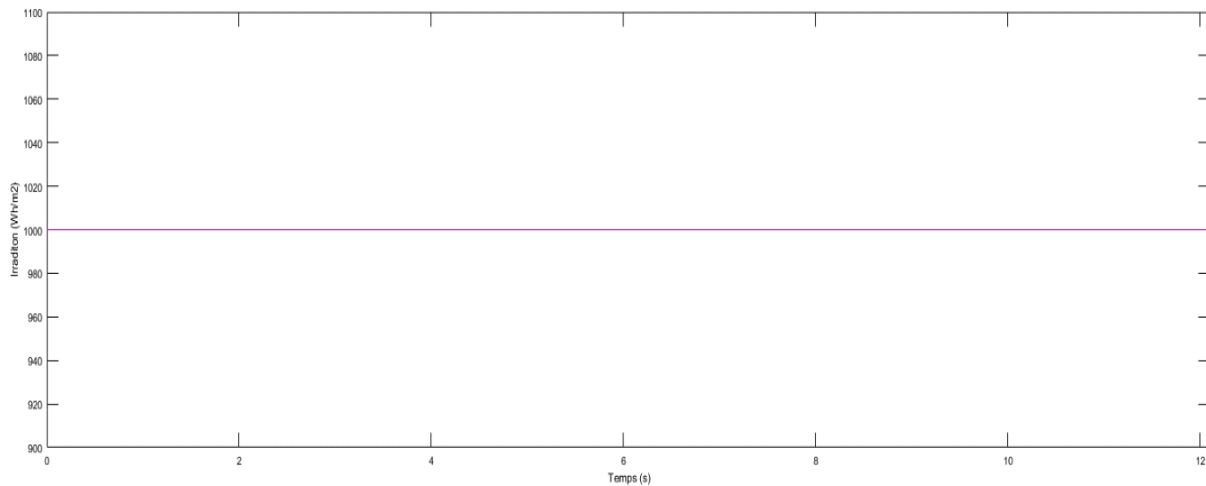
**Figure III.3** Schéma block du convertisseur Boost sous Simulink

### III.3. Résultat de simulation des sous-champs pour les types de PVs en STC

Dans cette partie, nous allons présenter les différents résultats de simulation obtenus pour chaque sous-champ en prenant en compte la commande MPPT ainsi que les quatre technologies des panneaux photovoltaïques de la station d'Oued Necho.

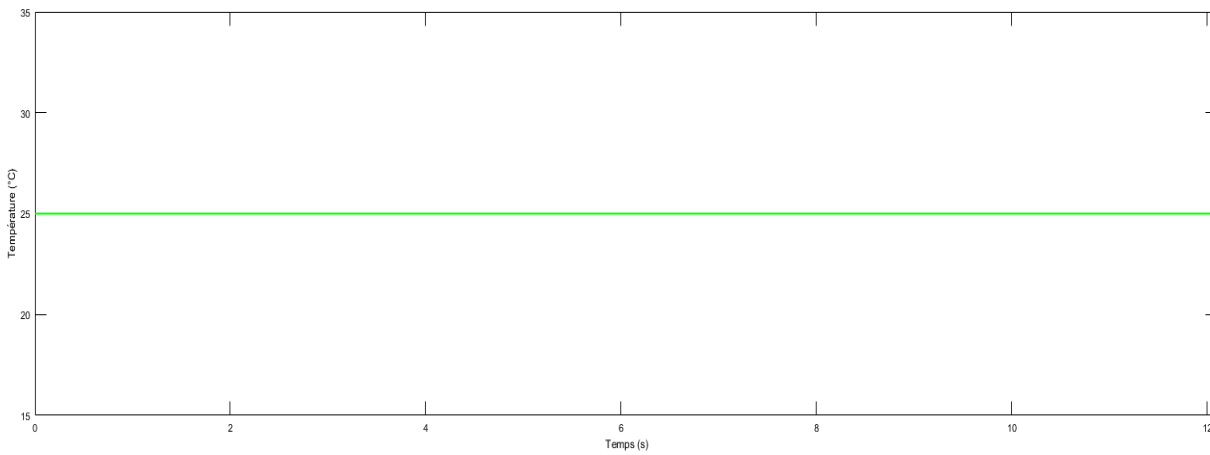
Nous allons simuler les différents champs de la station afin d'analyser les différentes caractéristiques de la tension  $V$ , le courant  $I$  et la puissance  $P$  délivrées par panneau photovoltaïque et l'ensemble qui construit les sous-champs. Le processus se fera en deux étapes; avant le convertisseur (à la sortie d'un panneau photovoltaïques) et après le convertisseur (à la sortie des sous-champs).

Dans cette phase, nous étudierons et effectuons les simulations du système sous conditions STC, ( $E= 1000 \text{ W/m}^2$ ,  $T= 25 \text{ °C}$ ), comme montré sur les figures suivantes.



**Figure III. 4.** Irradiation en fonction du temps

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou



**Figure III.5.** Température en fonction du temps

### III.3.1. Panneau photovoltaïque monocristallin 250 W<sub>c</sub>

Les panneaux photovoltaïques monocristallin installés à Oued Necho sont de 250 W<sub>c</sub>, dont les caractéristiques suivantes :

**Tableau III.1** Caractéristique du panneau au silicium monocristallin

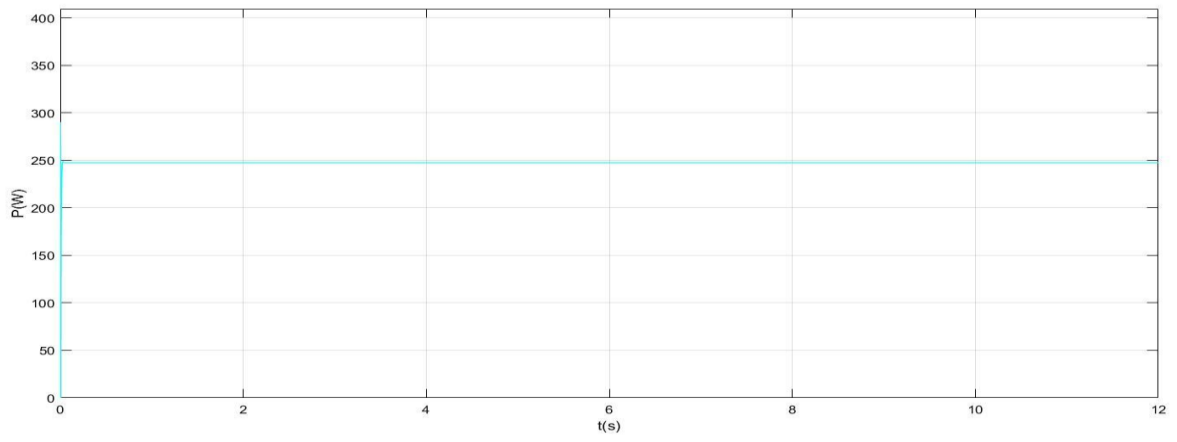
<b>Type</b>	<b>ATERSA A-250M</b>
<b>Pays d'origine</b>	<b>Espagne</b>
<b>Puissance de crête</b>	<b>250 W<sub>c</sub></b>
<b>Tolérance de la puissance de crête</b>	<b>0/+5W<sub>c</sub></b>
<b>Rendement du module</b>	<b>15.35%</b>
<b>Tension max (V<sub>mpp</sub>)</b>	<b>30.35V</b>
<b>Intensité max (I<sub>mpp</sub>)</b>	<b>8.24A</b>
<b>Tension circuit ouvert</b>	<b>37.62V</b>

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

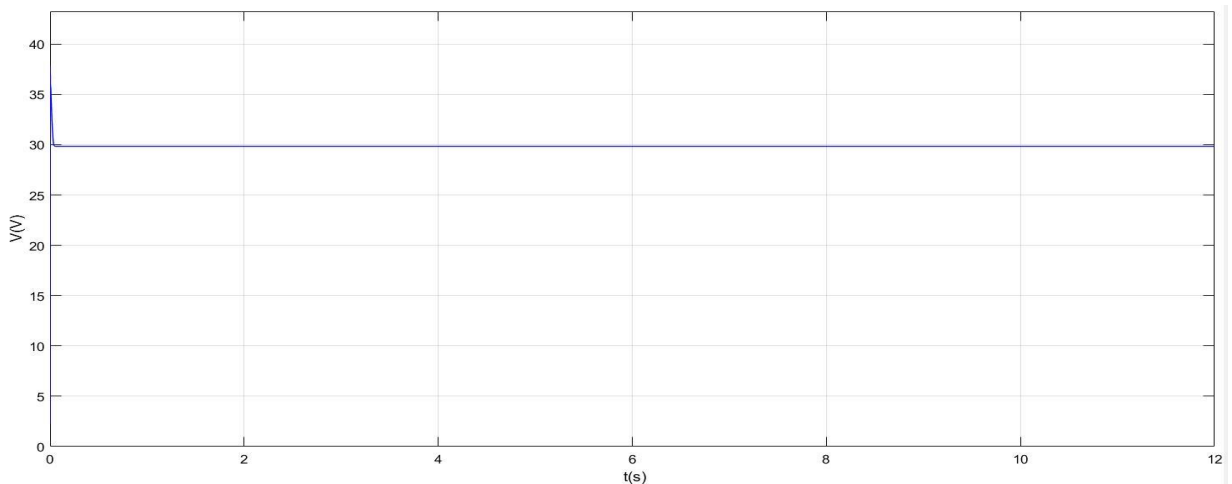
<b>Courant de court-circuit</b>	<b>8.79A</b>
<b>Tension max du système</b>	<b>1000V</b>
<b>Normes de référence</b>	<b>IEC 61730-1,IEC 61730-2 ,I</b>

### III.3.1.1. Résultats d'un panneau monocristallin 250W (avant le convertisseur)

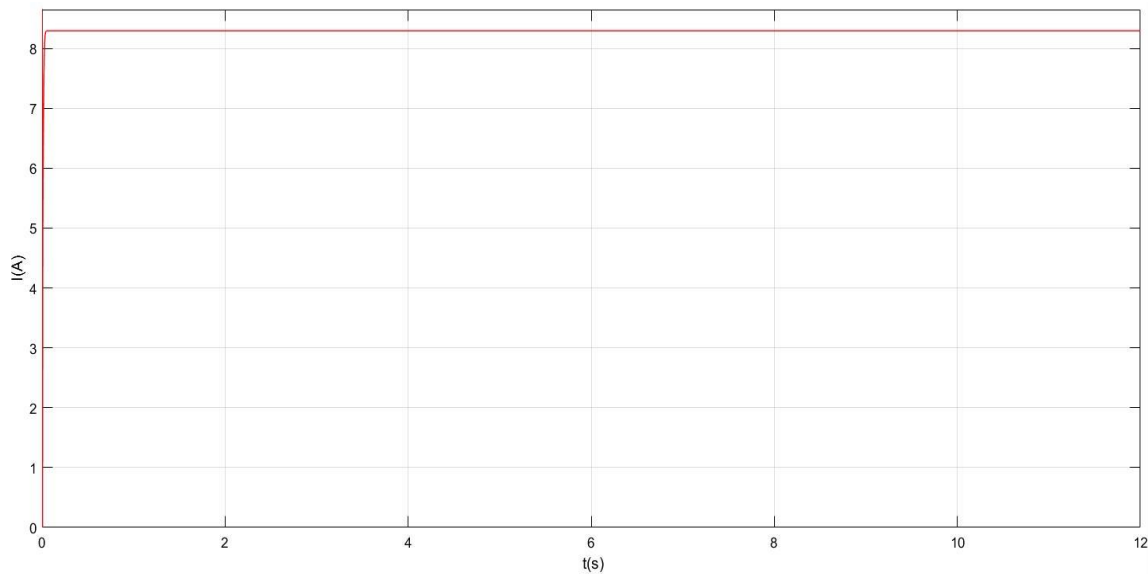
Les résultats de simulation du panneau monocristallin de 250W dans les conditions standards sont représentés dans les figures III. 5, 6 et 7.



**Figure III.6.** Puissance de sortie d'un panneau monocristallin 250 W



**Figure III.7.** Tension (V\_PV) du panneau monocristallin 250W



**Figure III. 8.** Courant ( $I_{PV}$ ) du panneau photovoltaïque monocristallin 250W

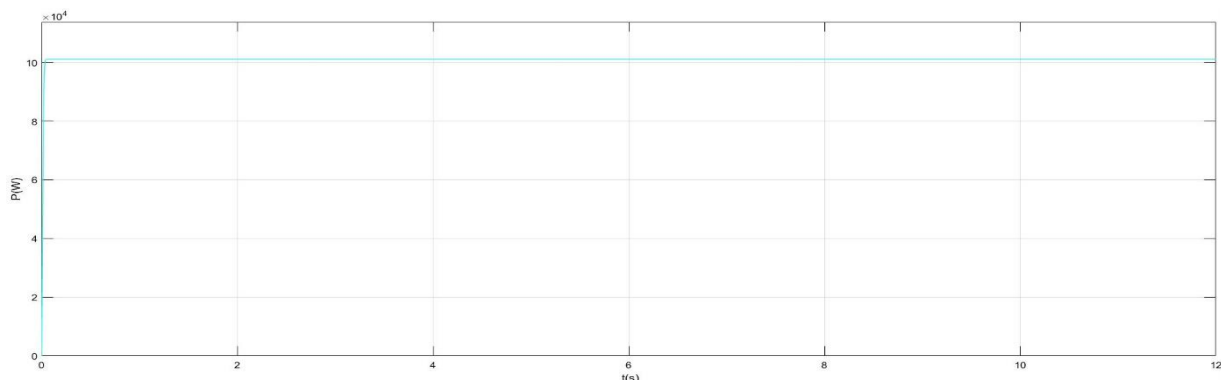
Les trois figures respectivement montre les performances de la puissance de sortie, de la tension et du courant. Nous avons constaté que les paramètres de simulation restaient à des valeurs constantes maximale ( $P = 250$  W,  $I_{mp} = 8.24$  A,  $V_{mp} = 30.35$  V) à différents moments, ce qui indique que la commande MPPT fonctionne bien.

### III. 3. 1. 2. Résultats des sous-champs des panneaux monocristallins (après le convertisseur DC/DC élévateur de tension)

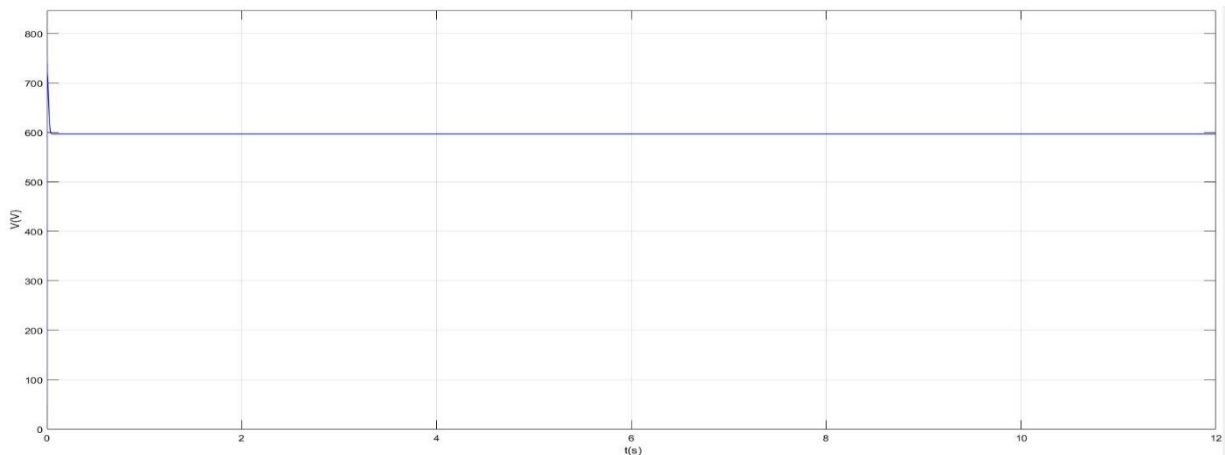
Dans la station d'Oued Nechou, on distingue deux sous-champs qui contiennent le type monocristallin, à savoir celui motorisé et l'autre non motorisé.

#### A. Sous champ N°1 monocristallin motorisé 105 kW<sub>e</sub>

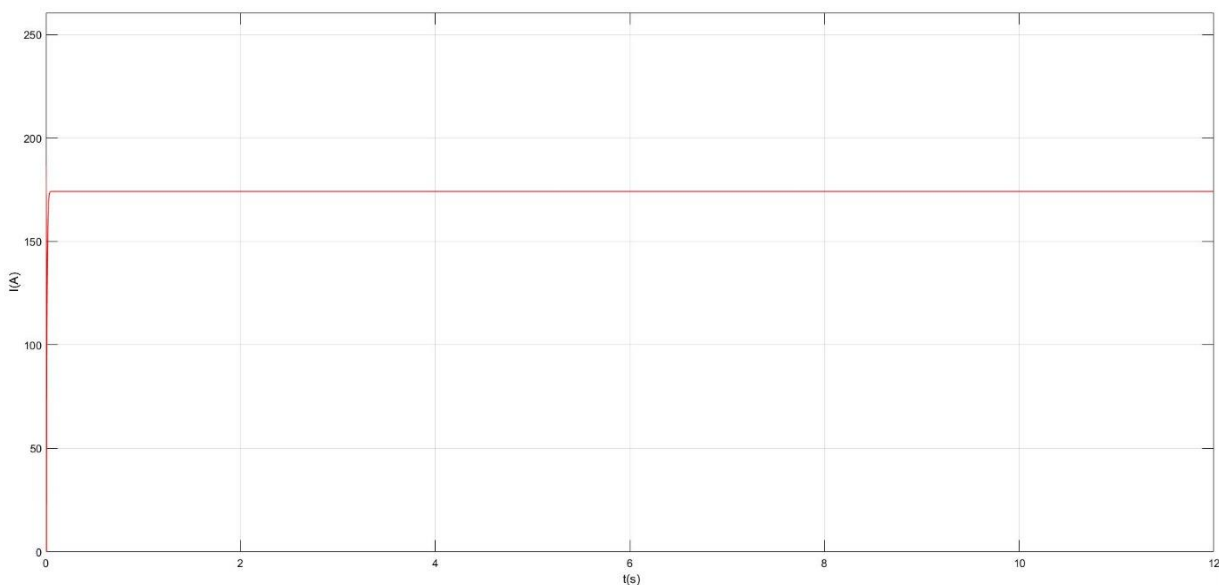
Les résultats de simulation de ce sous champs sont représentés ci-après.



**Figure III.9** Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°1 (PV monocristallinmotorisé)



**Figure III.10.** Tension du sous champ N°1 après le convertisseur



**Figure III.11.** Courant du sous champ N°1 après le convertisseur

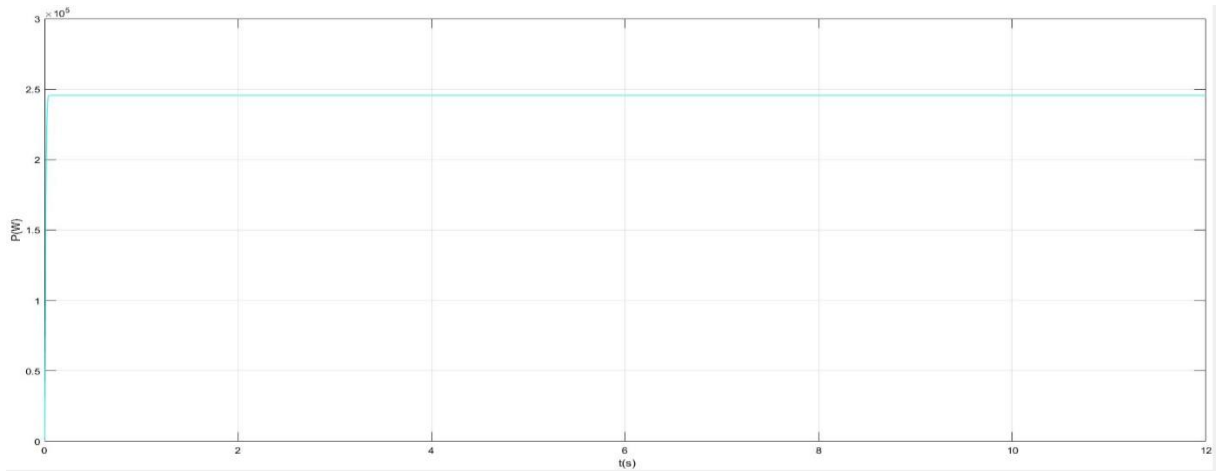
D'après le résultat que nous avons obtenu, nous remarquons que la puissance obtenue égale à la puissance nominale du sous champs grâce à la commande MPPT appliquée au convertisseur DC-DC. Les valeurs de la tension et courant sont élevées et multiples des valeurs d'un seul panneau de même type, c'est grâce à l'association hybride qui permet d'adapter la tension à la tension du convertisseur et d'augmenter la puissance de sortie à la puissance nominale.

### **B. Sous champ N°7 monocristallin fixe 255 kW<sub>c</sub>**

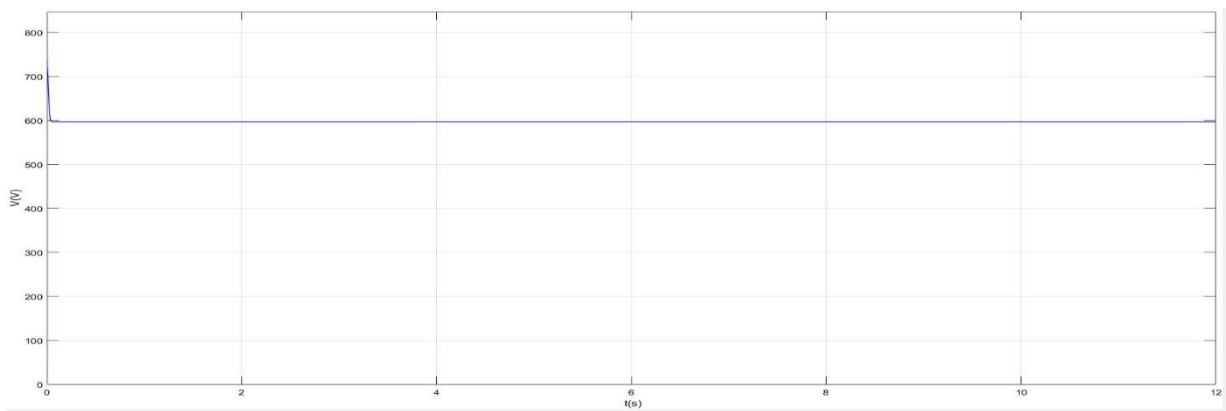
Les résultats de simulation de ce sous champs sont représentés ci-dessous.

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

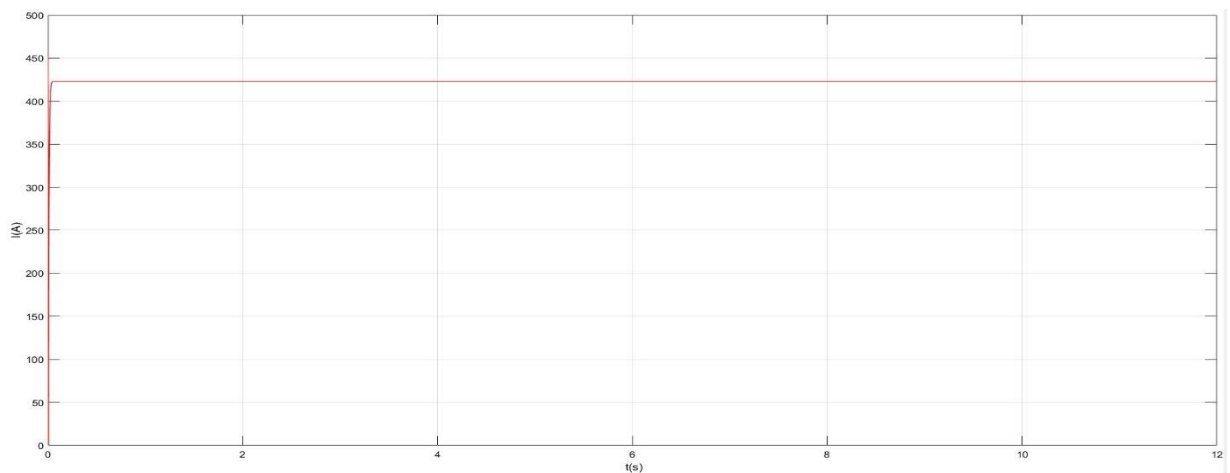
---



**Figure III.12.** Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°7 (PV monocristallin fixe)



**Figure III.13.** Tension du sous champ N°7 après le convertisseur



**Figure III.14.** Courant du sous champ N°7 après le convertisseur

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

---

---

Après l'application de la simulation sur le champ N°7 de 255 kWc construit des panneaux monocristallin, des résultats ont été extraits dont on note l'augmentation de la tension après le convertisseur DC-DC et également l'augmentation du courant.

La puissance de sortie est presque égale la valeur nominale des sous-champs dus au fonctionnement de command MPPT. Elle est légèrement inférieure à cause des pertes du convertisseur, commutation, effet de Joule et de câblage.

### III.3.2. Panneau photovoltaïque polycristallin 235 W

Les caractéristiques de ce type sont représentées sur le tableau suivant :

**Tableau III. 2.** Caractéristique du panneau au silicium polycristallin

<b>Type</b>	<b>ATERSA A-235P</b>
<b>Pays d'origine</b>	<b>Espagne</b>
<b>Puissance de crête</b>	<b>235 Wc</b>
<b>Tolérance de la puissance de crête</b>	<b>0/+5Wc</b>
<b>Rendement du module</b>	<b>14.43%</b>
<b>Tension max (Vmpp)</b>	<b>29.04V</b>
<b>Intensité max (Impp)</b>	<b>8.10A</b>
<b>Tension circuit ouvert</b>	<b>36.94V</b>
<b>Courant de court-circuit</b>	<b>8.64A</b>



## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

Tension max du système	1000V
Normes de référence	IEC 61730-1, IEC 61730-2 , IEC 61215

### III.3.2.1. Résultats du panneau photovoltaïque polycristallin 235 W

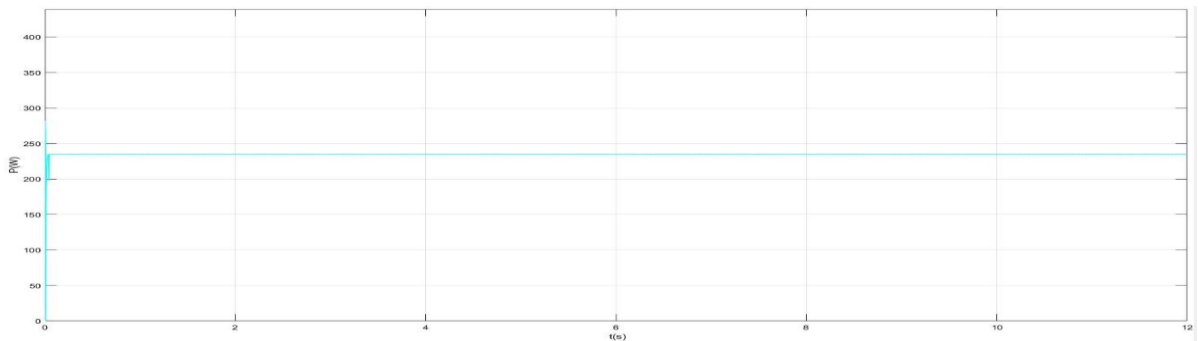


Figure III.15. Puissance de sortie d'un panneau polycristallin 235W

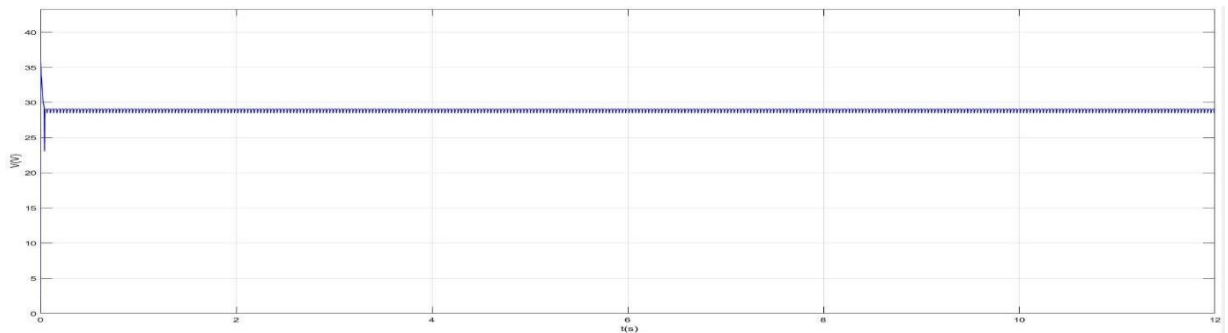


Figure III.16. Tension ( $V_{PV}$ ) du panneau polycristallin 235W

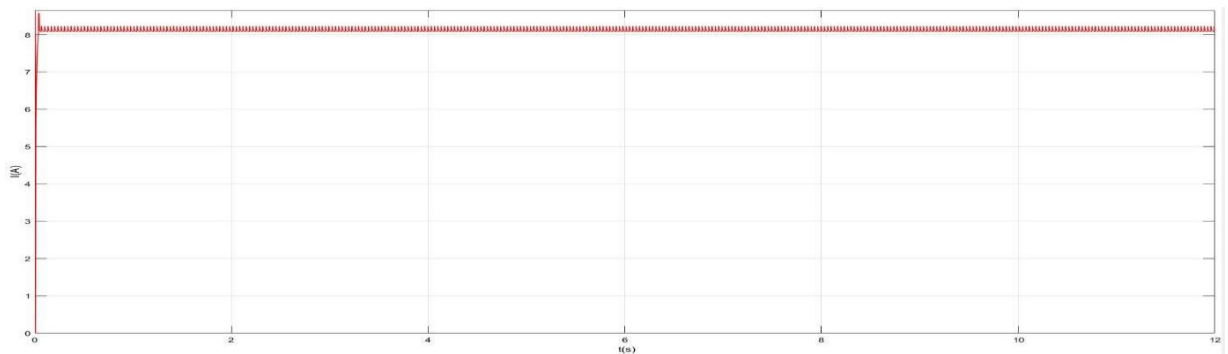


Figure III.17. Courant ( $I_{PV}$ ) du panneau photovoltaïque polycristallin 235W

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

---

---

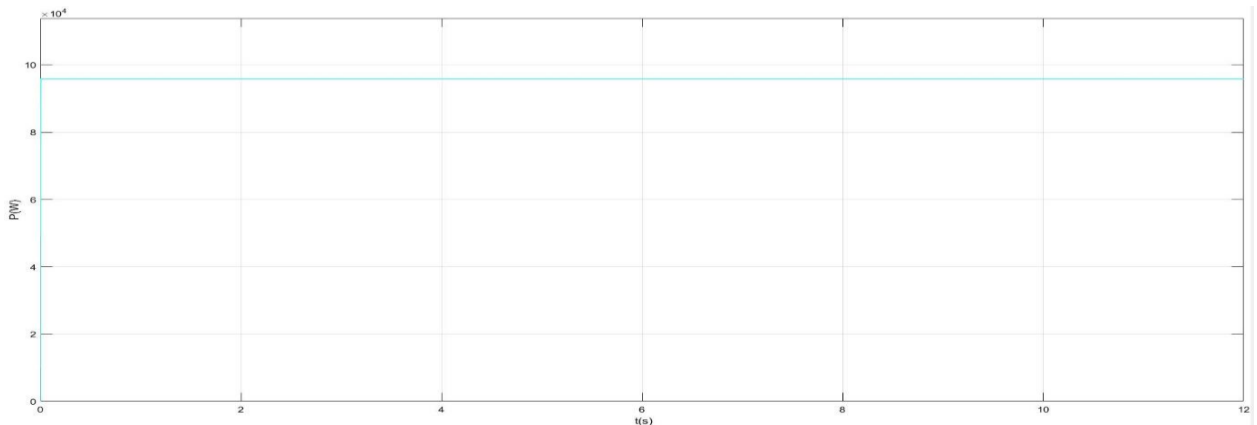
Dans les résultats de la simulation du deuxième type des cellules polycristallin nous remarquons, que les valeurs de tension et de courant ainsi que la puissance de sortie avant le convertisseur égalent les valeurs indiquées dans les caractéristiques de panneau sur le tableau III. 2 où nous expliquons la stabilité des valeurs dans leur limite maximale par le travail du command MPPT.

### III.3.2.2. Résultats des sous-champs après le convertisseur DC/DC

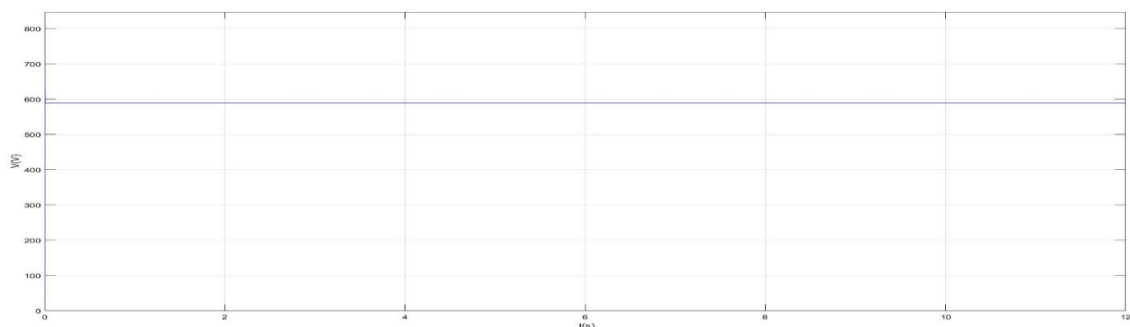
Pour ce type également il existe deux sous-champs : motorisé et non motorisé.

#### A. Sous champ N°2 polycristallin motorisé 98.7 kWc

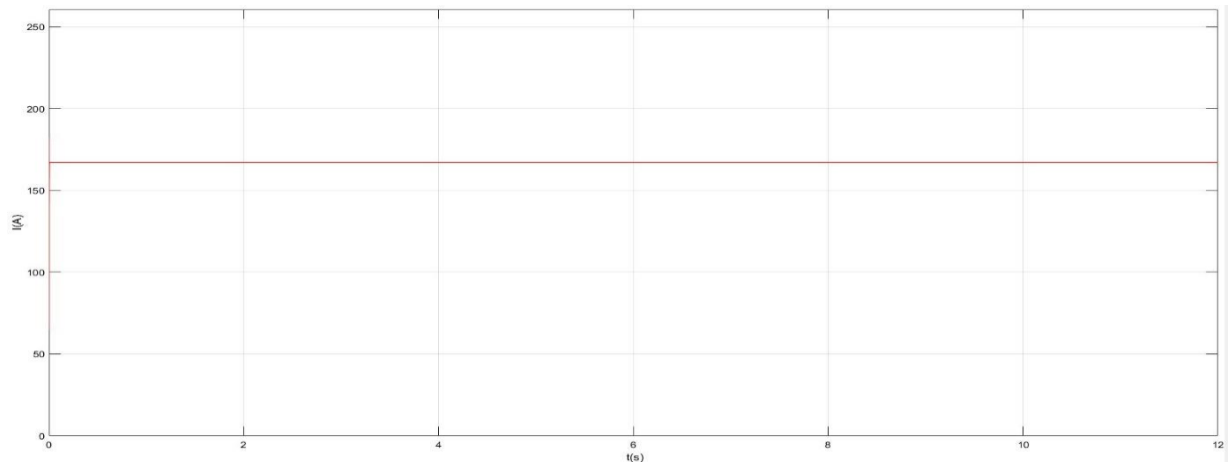
Les résultats sont représentés ci-après



**Figure III.18.** Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°2 (PV polycristallin motorisé)



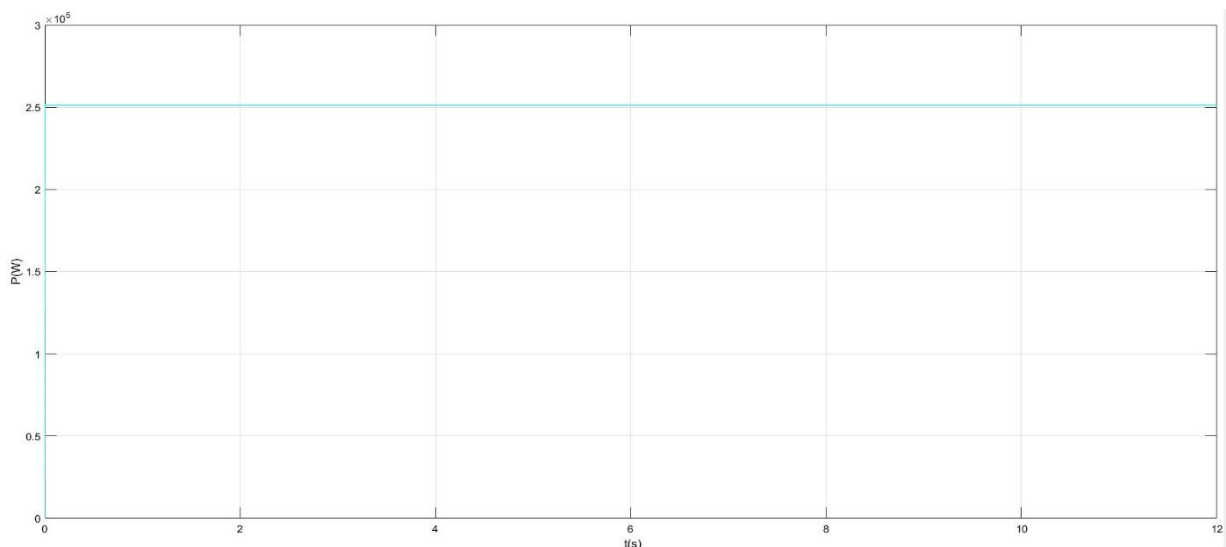
**Figure III.19.** Tension du sous champ N°2 après le convertisseur



**Figure III.120.** Courant du sous champ N°2 après le convertisseur

Après l'application de la simulation sur le sous champ N°2, nous avons extrait les résultats à travers lesquels, nous remarquons les valeurs maximales pour la tension, courant et puissance et leur stabilité lorsque la puissance a atteint une valeur de  $95.7 \text{ kW}_c$ , ce qui explique le succès de la commande MPPT. Cependant la différence de la puissance obtenue par rapport celle nominale du sous champs est dû aux pertes.

### A. Sous champ N°8 polycristallin fixe $258.5 \text{ kW}_c$

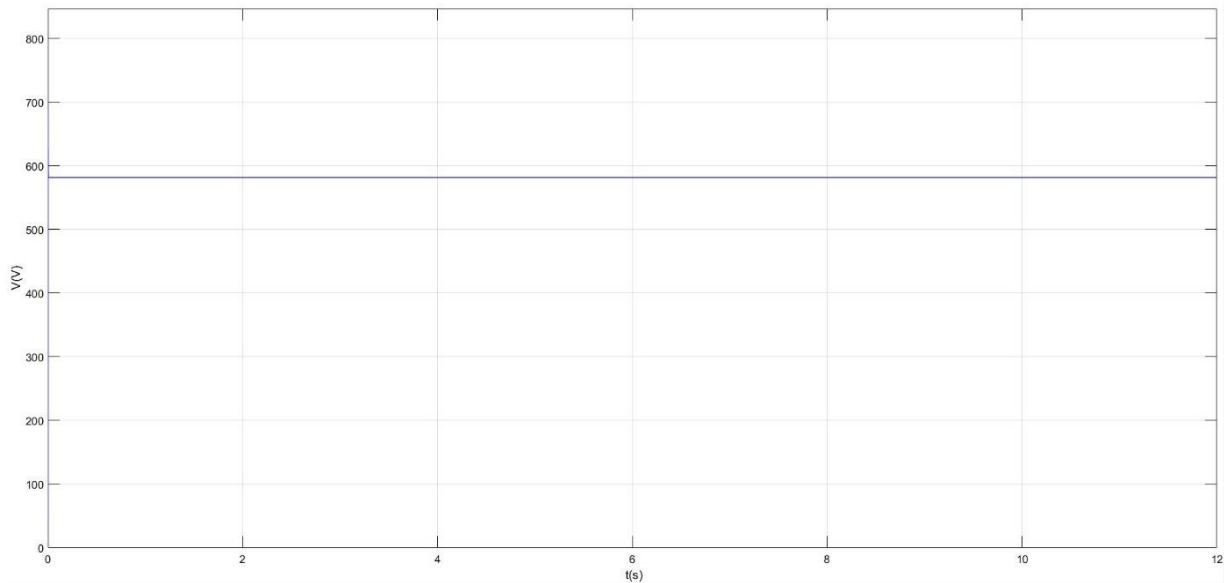


**Figure III.21.** Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°8 (PV polycristallin fixe)

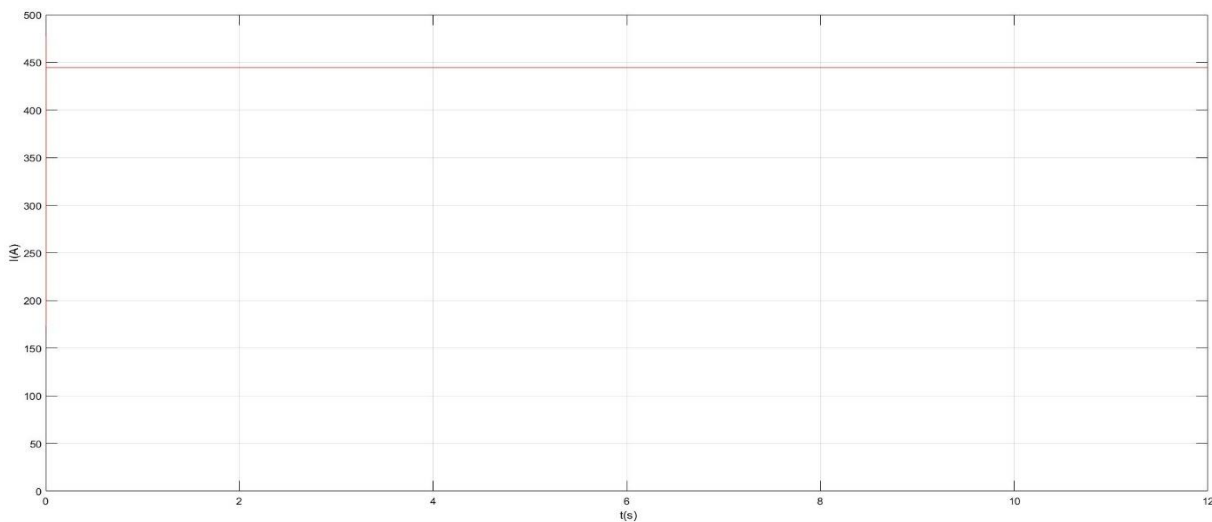
### Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

---

---



**Figure III.22.** Tension du sous champ N°8 après le convertisseur



**Figure III.23.** Courant du sous champ N°8 après le convertisseur

Dans ce résultat de simulation appliqué sur le sous champ N°8, nous avons obtenu les valeurs comme prévu, où la puissance a atteint sa valeur maximale approximativement de 258.5 kW<sub>c</sub> et la tension était de 580.8 V et est restée constante à sa valeur maximale, ce qui montre l'effet du travail du convertisseur et du command MPPT.

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

---

---

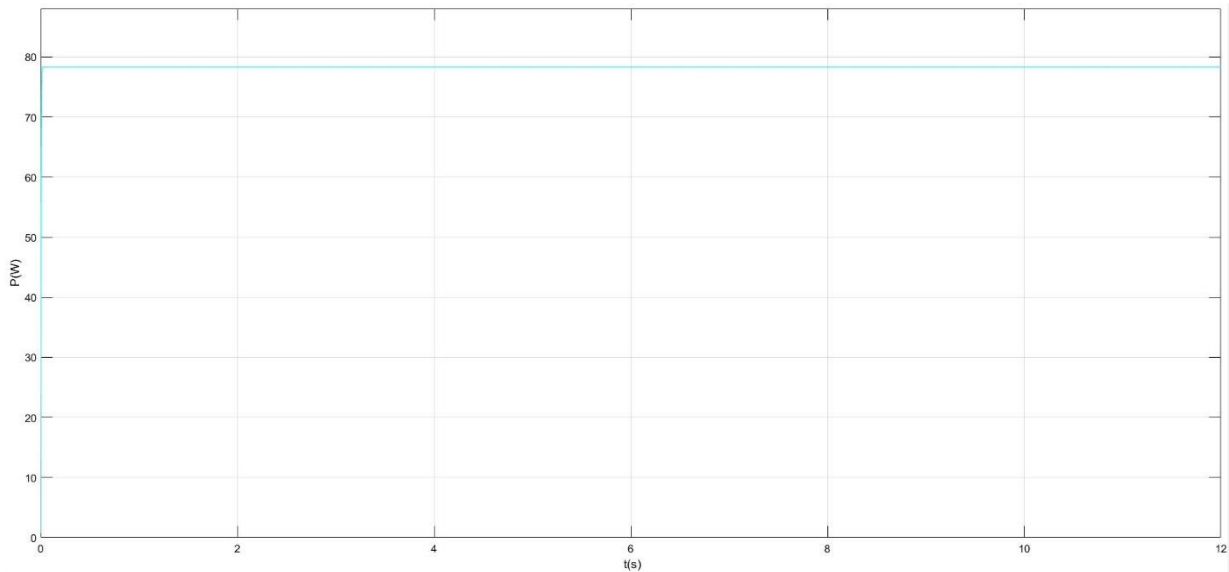
### III.3.3. Panneau photovoltaïque couche mince 80 W

Les caractéristiques des panneaux photovoltaïques couche mince sont représentées sur TAB III.3 :

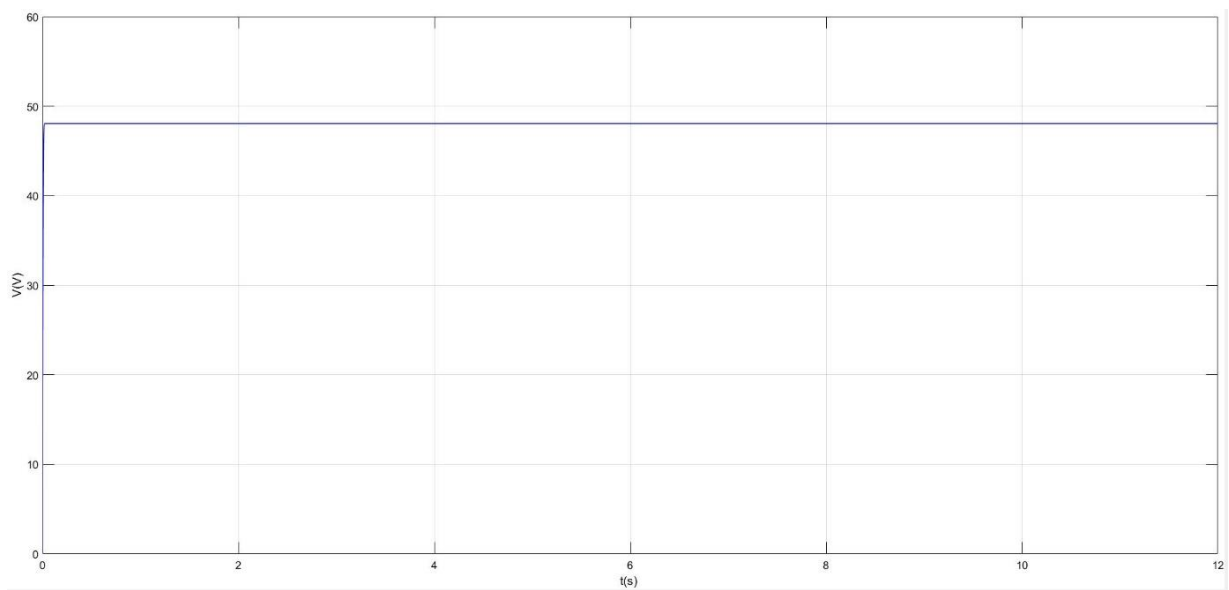
**Tableau III. 3.** Caractéristique du panneau a couche mince

<b>Type</b>	<b>FIRST SOLAR FS-380</b>
<b>Pays d'origine</b>	<b>Allemagne</b>
<b>Puissance de crête</b>	<b>80 Wc</b>
<b>Tolérance de la puissance de crête</b>	<b>0/+5%<sup>1</sup></b>
<b>Rendement du module</b>	<b>11.1%</b>
<b>Tension max (Vmpp)</b>	<b>48.5V</b>
<b>Intensité max (Impp)</b>	<b>1.65A</b>
<b>Tension circuit ouvert</b>	<b>60.8V</b>
<b>Courant de court-circuit</b>	<b>1.88A</b>
<b>Tension max du système</b>	<b>1000V</b>
<b>Normes de référence</b>	<b>IEC 61730,IEC 61646</b>

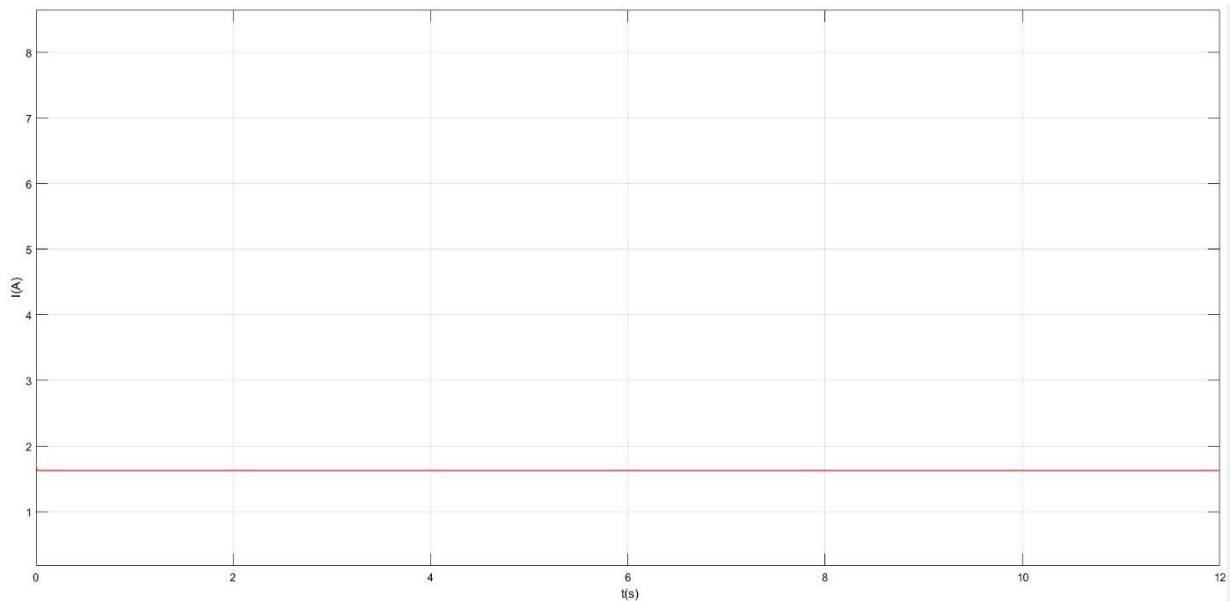
### III.3.3.1. Résultats des panneaux couches minces (avant le convertisseur DC/DC)



**Figure III.24.** Puissance de sortie d'un panneau couche mince 80 W



**Figure III.25.** Tension ( $V_{PV}$ ) du panneau couche mince 80W

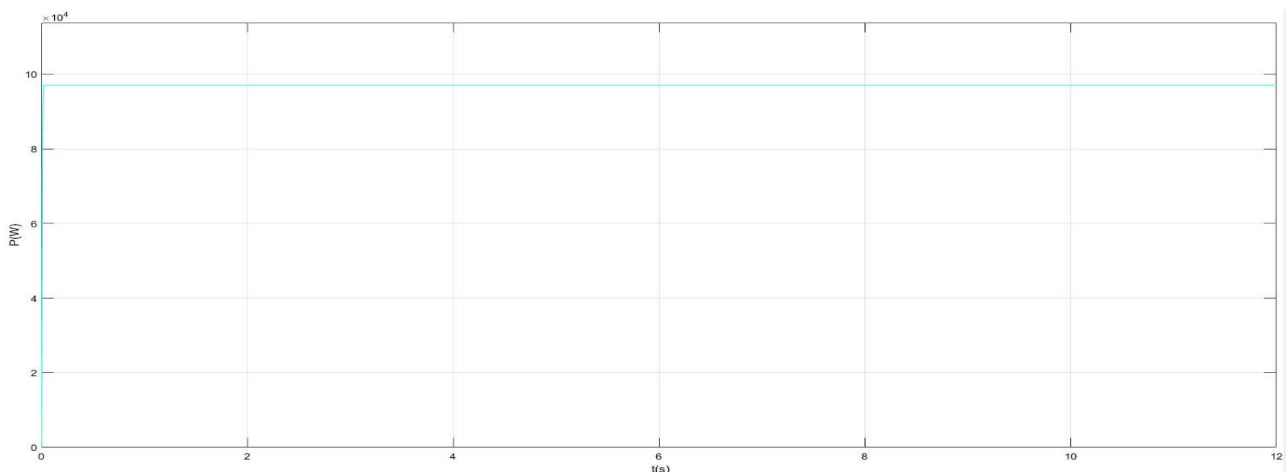


**Figure III.26.** Courant ( $I_{PV}$ ) du panneau 80 W

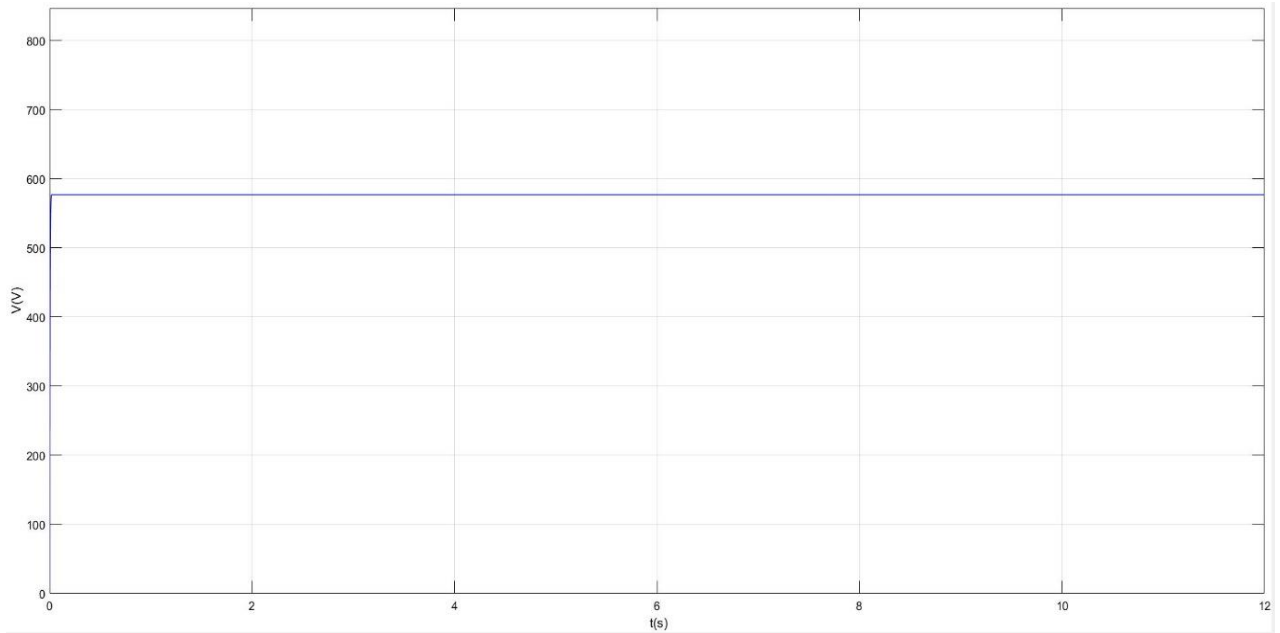
Nous avons simulé le panneau de type couche mince dans les conditions STC, comme nous avons fait dans les autres types, et nous avons extrait les résultats présentés dans les figures (III. 28. 29. 30), où nous avons obtenu les mêmes valeurs prévues. Ce qui indique le succès de la simulation et la commande utilisées.

### III.3.3.1. Résultats du sous-champ (après le convertisseur DC/DC)

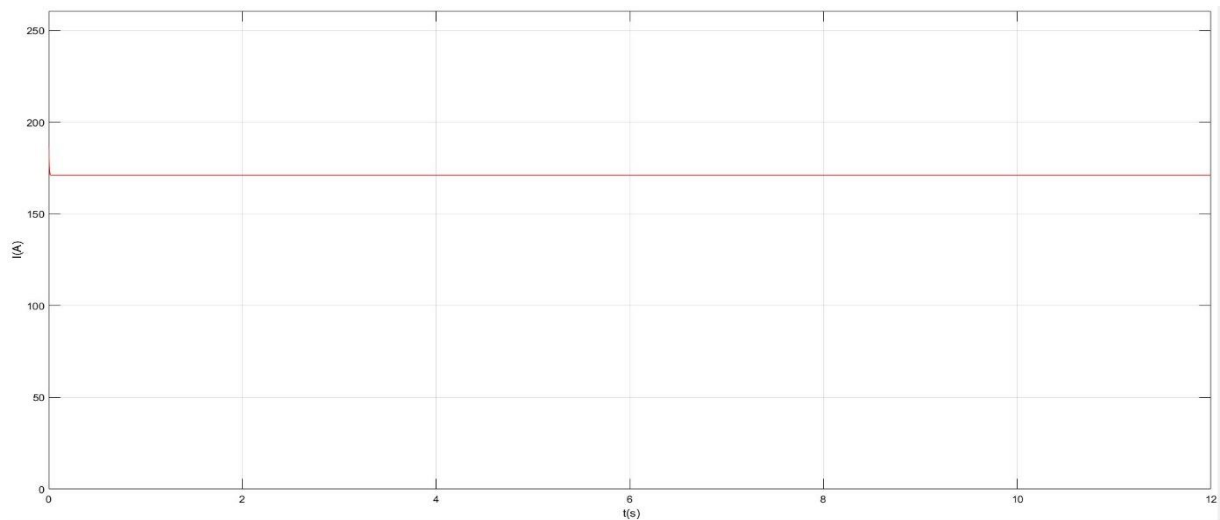
#### A. Sous champ N°3 CdTe fixe 100.8 kW<sub>c</sub>



**Figure III.27.** Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°3(PV CDTe 100.8 kW<sub>c</sub>)



**Figure III.28.** Tension du sous champ N°3 après le convertisseur



**Figure III.29.** Courant du sous champ N°3 après le convertisseur

Résultats de simulation après le convertisseur appliqué au champ N°3, dans lequel nous avons augmenté le nombre de panneaux par chaîne et de chaînes ce qui a entraîné une augmentation des valeurs de tension, de courant et de puissance.



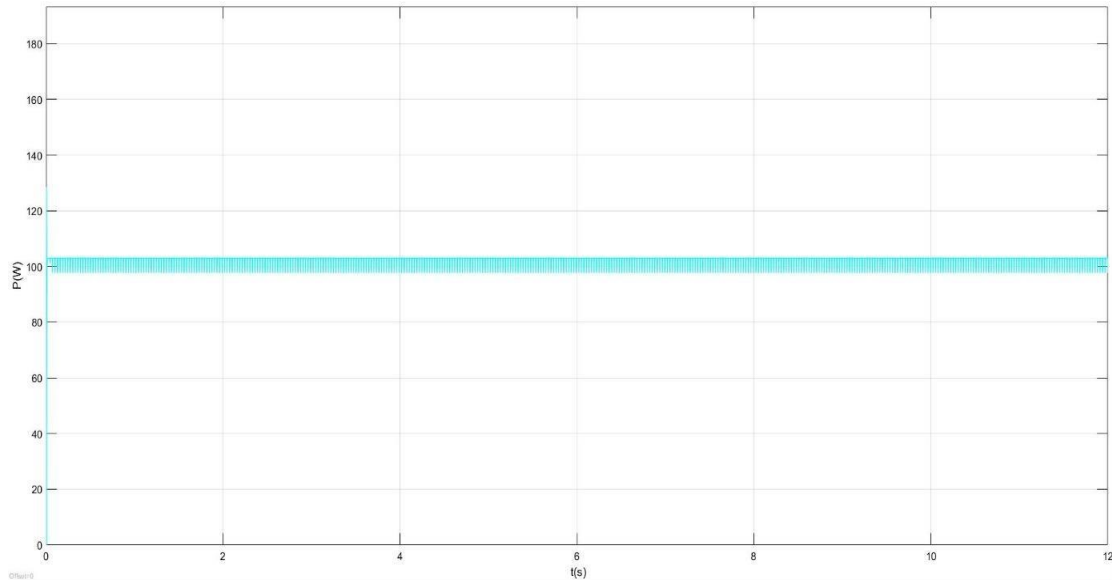
### III.3.4. Panneau photovoltaïque au silicium amorphe 103 Wc

Les caractéristiques de ces types sont indiquées sur Tab.III.4

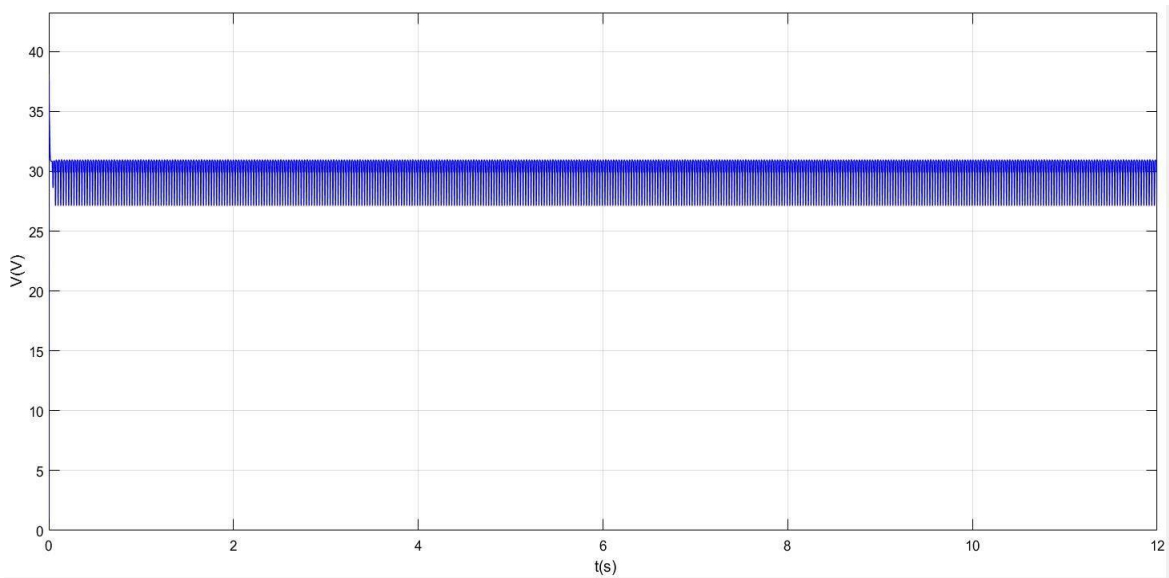
**Tableau III.4** Caractéristique du panneau au silicium amorphe

<b>Type</b>	<b>SCHOTT PROTECT ASI-103</b>
<b>Pays d'origine</b>	<b>Allemagne</b>
<b>Puissance de crête</b>	<b>103Wc</b>
<b>Rendement du module</b>	<b>7.1%</b>
<b>Tension max (Vmpp)</b>	<b>30.4V (valeur stabilisée)</b>
<b>Intensité max (Impp)</b>	<b>3.39A</b>
<b>Tension circuit ouvert</b>	<b>41.1V</b>
<b>Courant de court-circuit</b>	<b>4.00A</b>
<b>Tension max du système</b>	<b>1000V</b>
<b>Normes de référence</b>	<b>IEC 61730,IEC 61646</b>

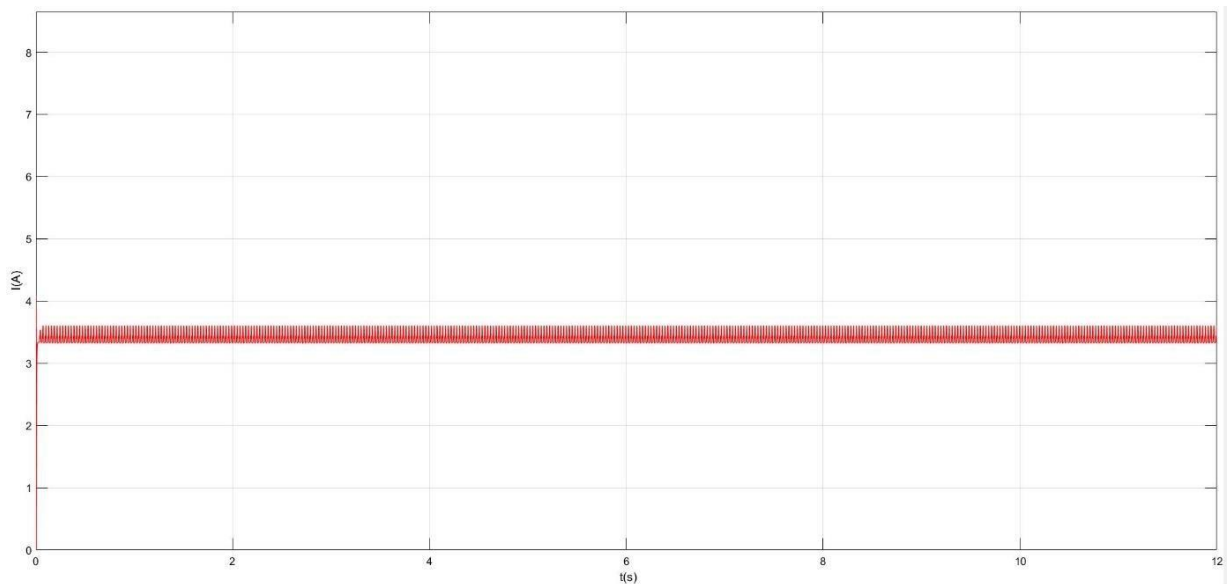
### III.3.4.1. Résultats avant le convertisseur DC/DC élévateur



**Figure III.30.** Puissance de sortie d'un panneau amorphe 103W



**Figure III.31.** Tension ( $V_{PV}$ ) du panneau amorphe 103W

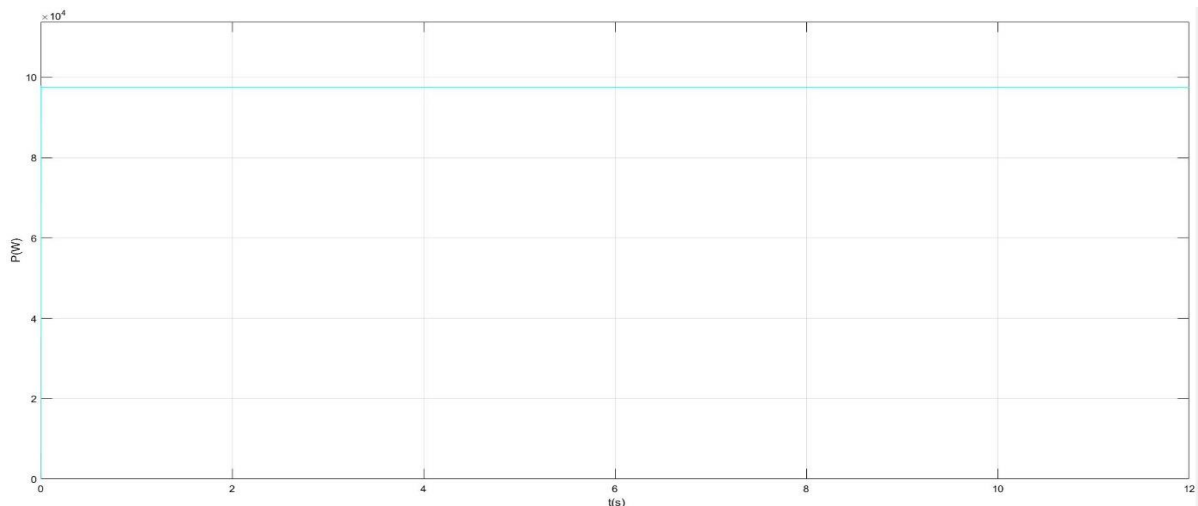


**Figure III.32.** Courant ( $I_{PV}$ ) du panneau amorphe 103W

Nous avons simulé le panneau de type amorphe selon les conditions STC, comme nous avons fait dans les autres types. Nous avons obtenu les valeurs suivantes : tension de 30.4 V, courant de 3.39 A, et puissance de 103  $W_c$ , avec sa comparaison avec la caractéristique de Tab.III.4. L'égalité des résultats a été montrée, ce qui indique l'exactitude de la simulation.

### III.3.4.2. Résultats après le convertisseur DC/DC

#### A. Sous champ N°4 fixe a-si 100.116 $kW_c$

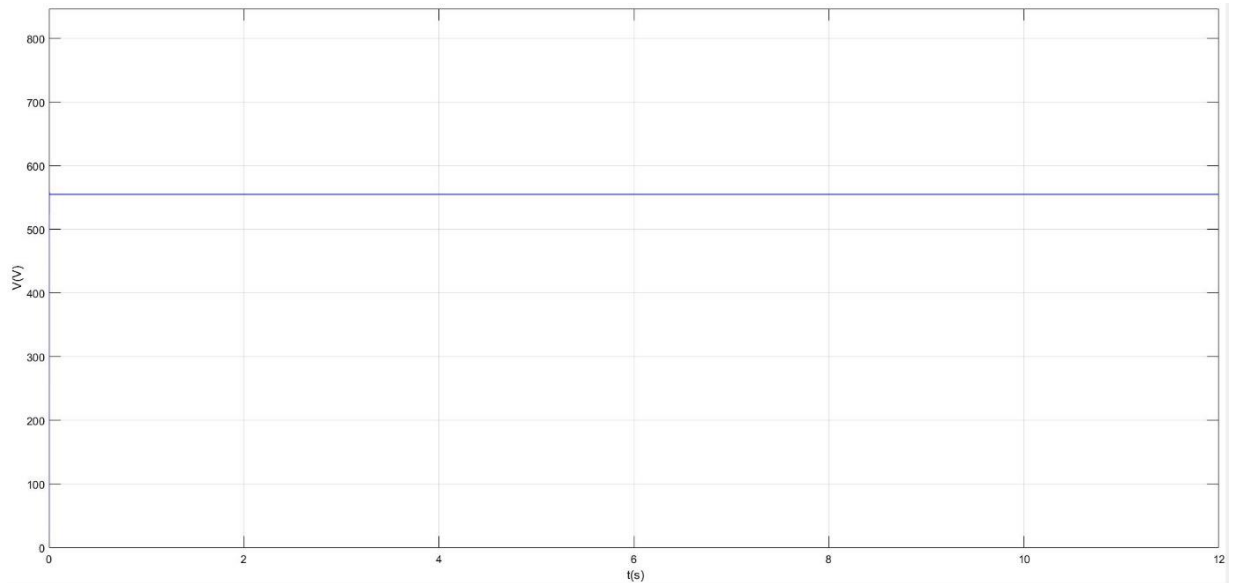


**Figure III.33.** Puissance au niveau de la sortie du sous champs N°4 (PV amorphe 100.8  $kW_c$ )

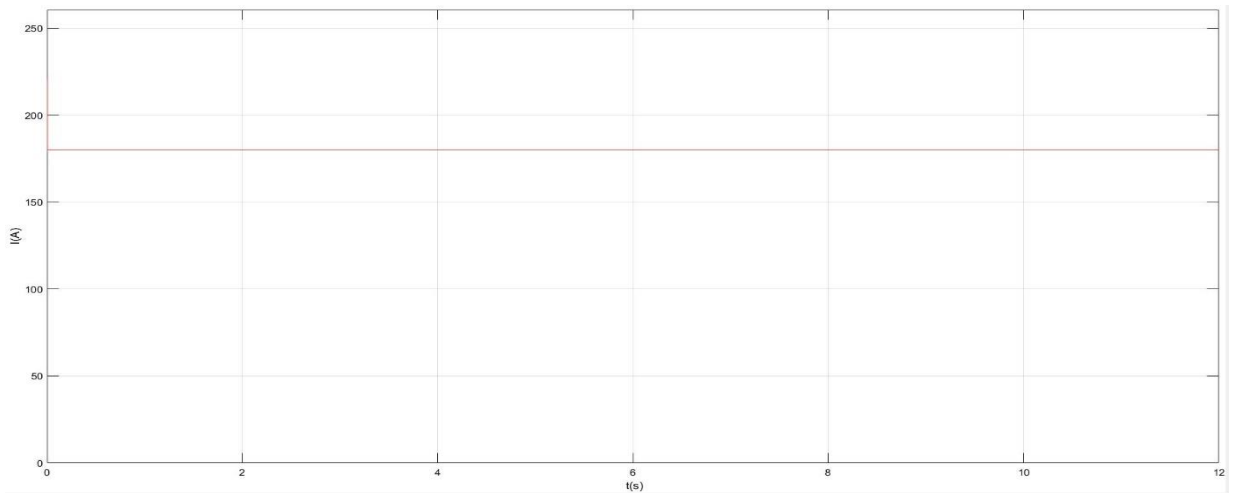
### Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

---

---



**Figure III.34.** Tension du sous champ N°4 après le convertisseur

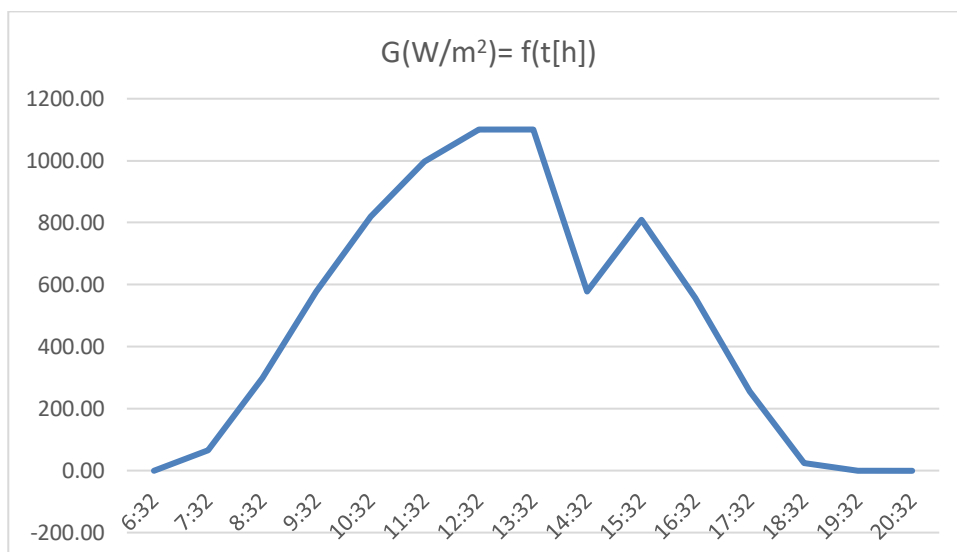


**Figure III.35.** Courant du sous champ N°4 après le convertisseur

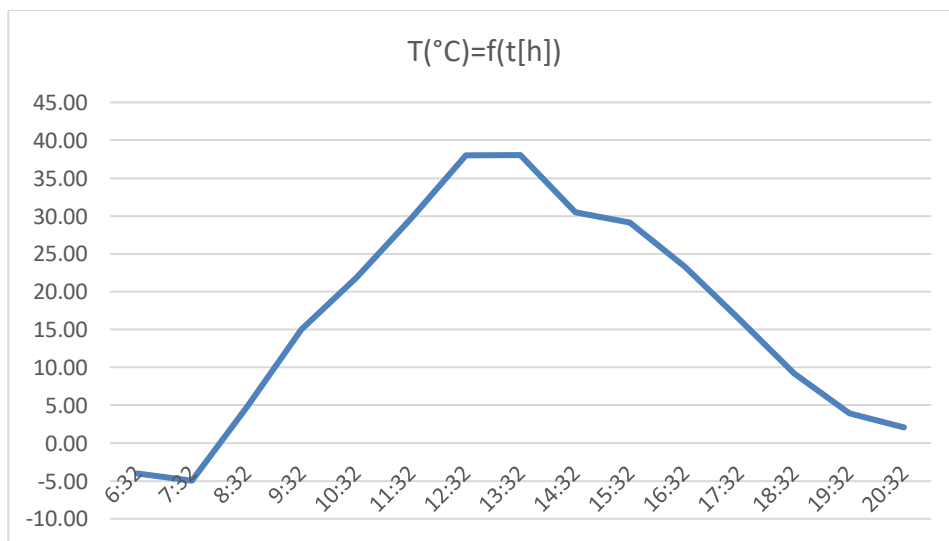
Dans ce résultat de simulation qu'appliquer sur le sous champ N°4, nous avons obtenu les valeurs comme prévu, où la puissance a atteint sa valeur maximale de 80.57 kW<sub>c</sub> où elle a légèrement diminué en raison des pertes, et la tension était de 547.2V et est restée constante à sa valeur maximale, ce qui montre l'effet du travail du convertisseur et du command MPPT.

### III. 4. Simulation de la station d'Oued Nechou en quatre saisons en utilisant les données réelles

Afin de prédire le comportement et la performance de la station d'Oued Nechou durant une année entière, nous avons choisis de simuler le fonctionnement de la station dans le 15<sup>ème</sup> jour d'un mois prédéfini de chaque saison, ce choix est effectué selon la disponibilité des données réelles récupérées de la station. Toutes les mesures réelles ont été tracées pendant les heures de la journée à partir du 06:32h jusqu'au 20:32 h, comme il est illustré sur l'exemple ci-après en utilisant les données réelles sur Excel (Figure.III.34):



**Figure.III.36.** Variation de l'éclairement en fonction du temps (15 Mars 2016)



## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

---

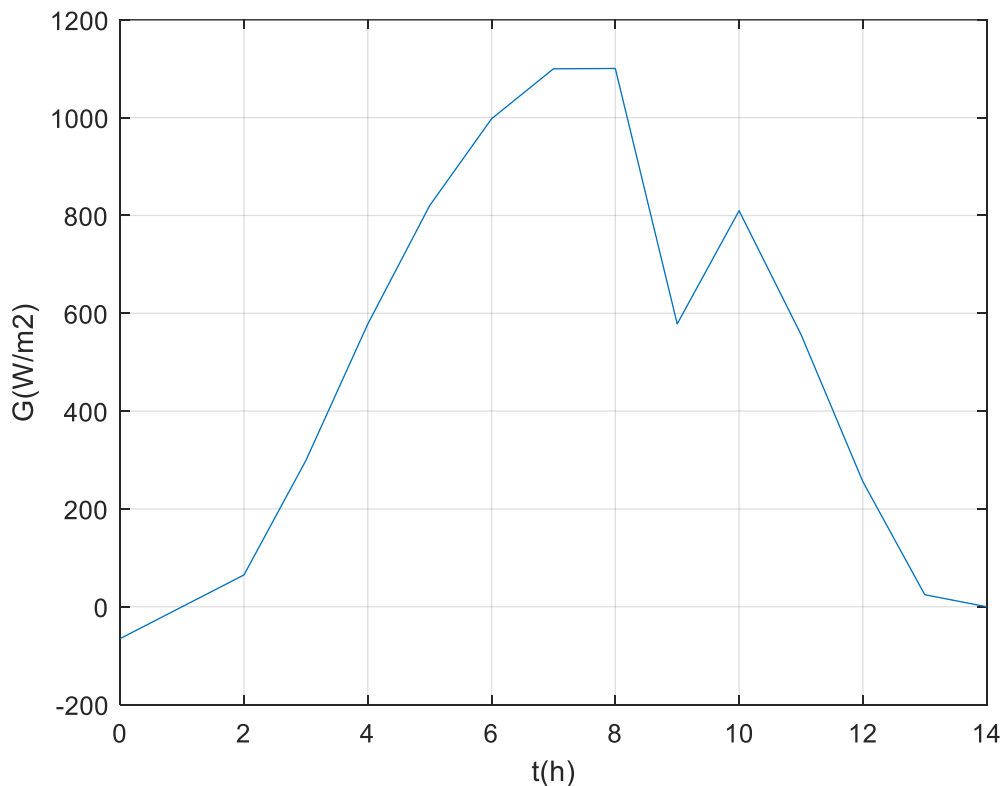
**Figure.III.37.** Variation de la température en fonction du temps (15 Mars 2016)

Il est à remarquer que le niveau de la température est proportionnel à celui de l'éclairement. Les deux grandeurs augmentent de la levée du soleil jusqu'à une valeur limite maximale qui simule la période de la moitié de journée (midi), à partir de laquelle la caractéristique décroît jusqu'au zéro au moment du coucher total du soleil.

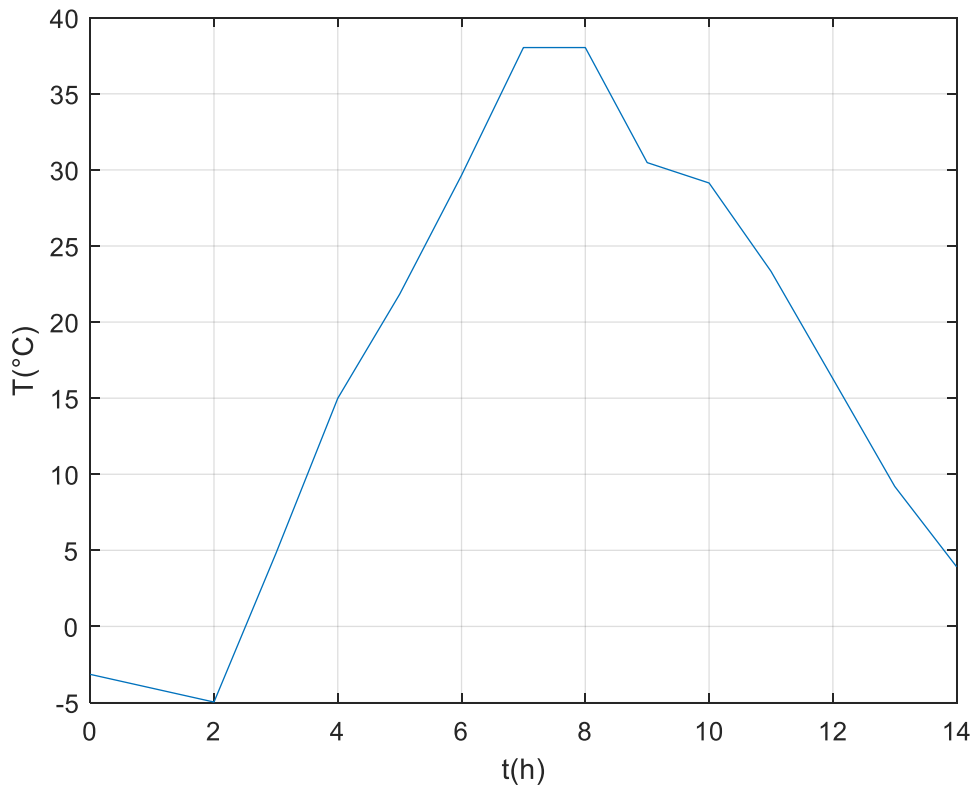
Afin de prendre une idée sur la caractéristique de la puissance délivrée par la station sous étude, nous avons utilisé l'interface Simulink sous Matlab et par l'exploitation des données réelles nous nous sommes arrivés à avoir les résultats présentés ci-dessous.

### III.4.1. Performance de la station durant le printemps (données réelles 15/03/2016)

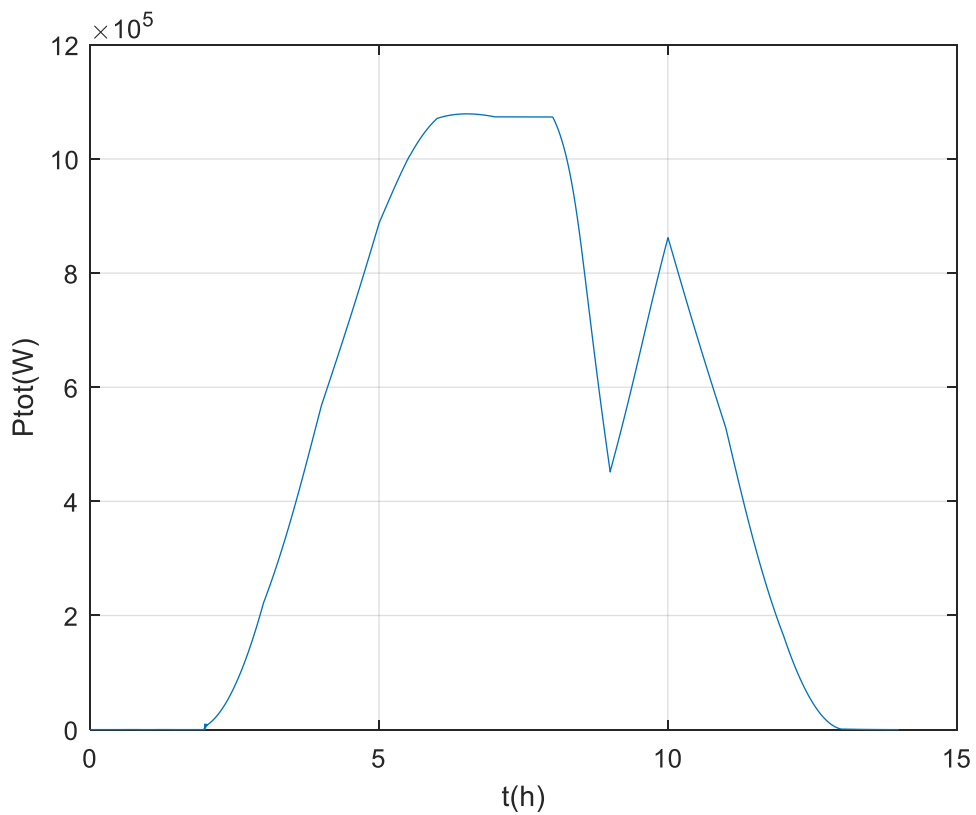
Les figures suivantes (figures.III.37.38.39) représentent les résultats de simulation de la station dans un jour de printemps, nous avons pris les données de la journée 15/03/2016.



**Figure.III.38.** Variation de l'éclairement en fonction du temps (15/03/2016)



**Figure.III.39.** Variation de la température en fonction du temps (15/03/2016)



**Figure.III.40.** Variation de la puissance globale en fonction du temps (15/03/2016)

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

---

---

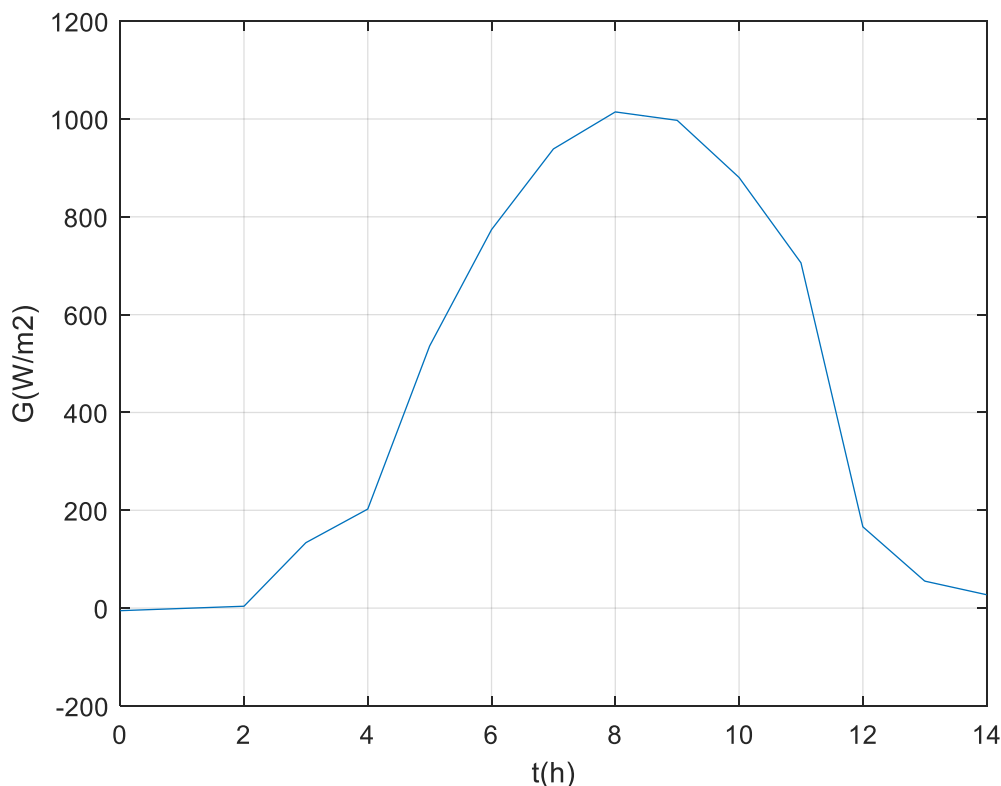
Il est à signaler qu'en 15/03/2016, l'éclairement arrive à des valeurs très élevées de l'ordre de ( $1100\text{W/m}^2$ ). Cependant, par coïncidence quelques noyages causent sa décroissance au neuvième heur de la journée (soit à 15 :32). Ensuite, il reprend sa valeur normale en ciel dégagé.

Généralement, pendant le printemps, le climat est équilibré. Alors que la température des panneaux augmente jusqu'au  $37^\circ\text{C}$  pendant la journée puis elle décroît relativement durant la nuit froide.

Dans ce cas la puissance prend un profile similaire à celui de l'éclairement. Grace aux conditions qui sont plus proche aux conditions standards STC, représentées par le niveau très élevé de l'éclairement et à la température moyenne équilibrée relativement, la puissance totale de la station arrive environ midi à des valeurs de l'ordre de ( $1,079000\text{MW}$ ), celles-ci sont plus proches à la valeur maximale délivrée par la station vers le réseau électrique ( $1,1\text{MW}$ ).

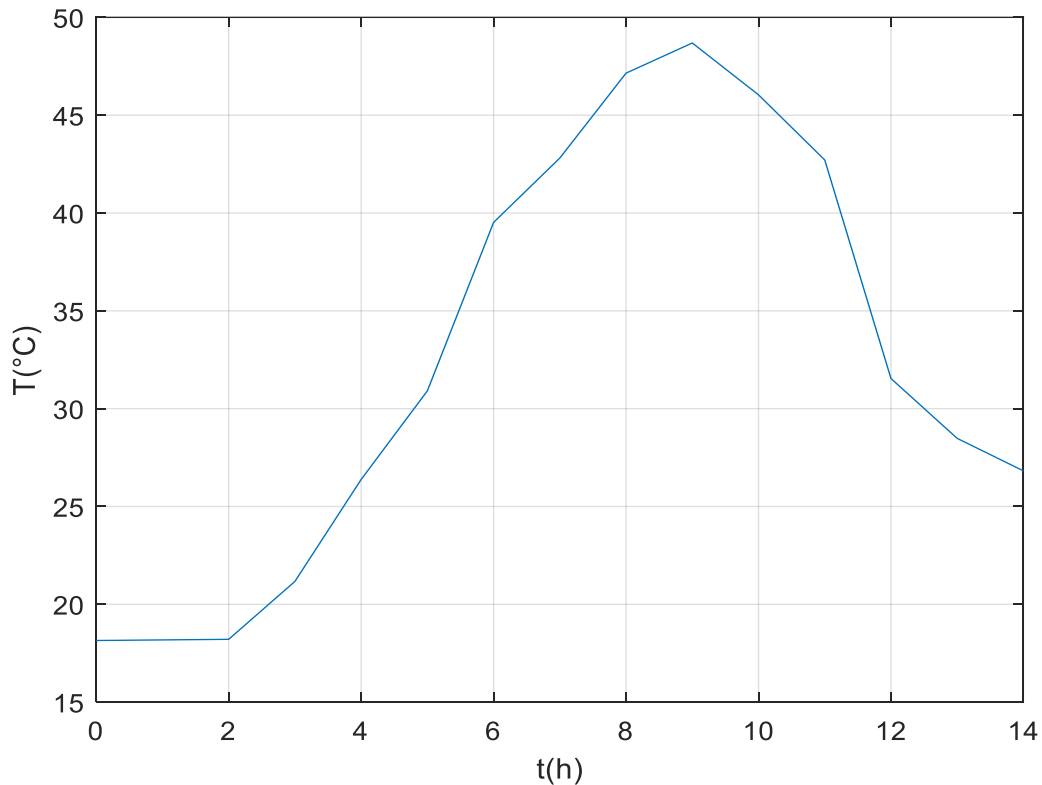
### III.4.2. Performance de la station durant l'été (données réelles 15/09/2016)

Les figures (III.40.41.42) illustrent les résultats de simulation de la station dans l'un des journées à la fin de l'été, nous avons simulé les données de la journée 15/09/2016.

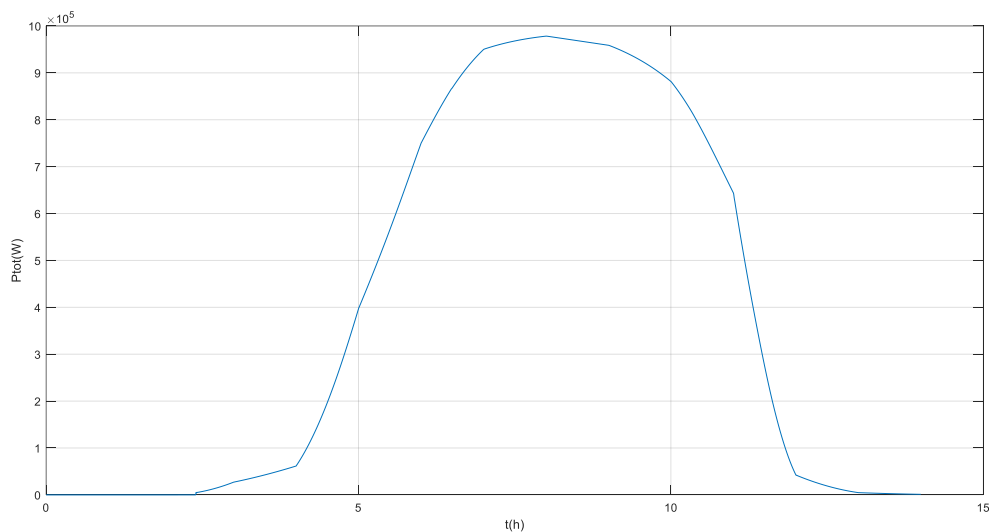


**Figure.III.41.** Variation de l'éclairement en fonction du temps (15/09/2016)





**Figure.III.42.** Variation de la température en fonction du temps (15/09/2016)



**Figure.III.43.** Variation de la puissance globale en fonction du temps (15/09/2016)

Comme il est connu, durant les mois de l'été dans la région saharienne, le ciel est toujours dégagé, et c'est rare où nous remarquons la présence des nuages. Cela est confirmé par le taux d'éclairement qui est continu durant la journée et peut même dépasser la valeur ( $1000\text{W}/\text{m}^2$ ).

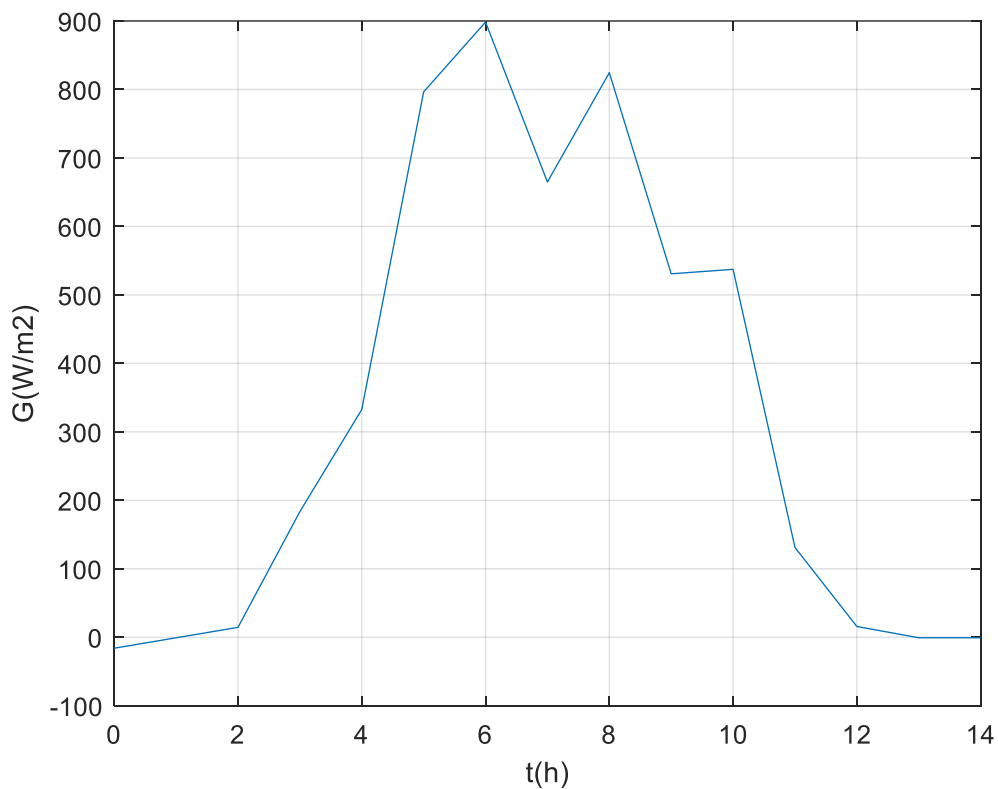
## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

---

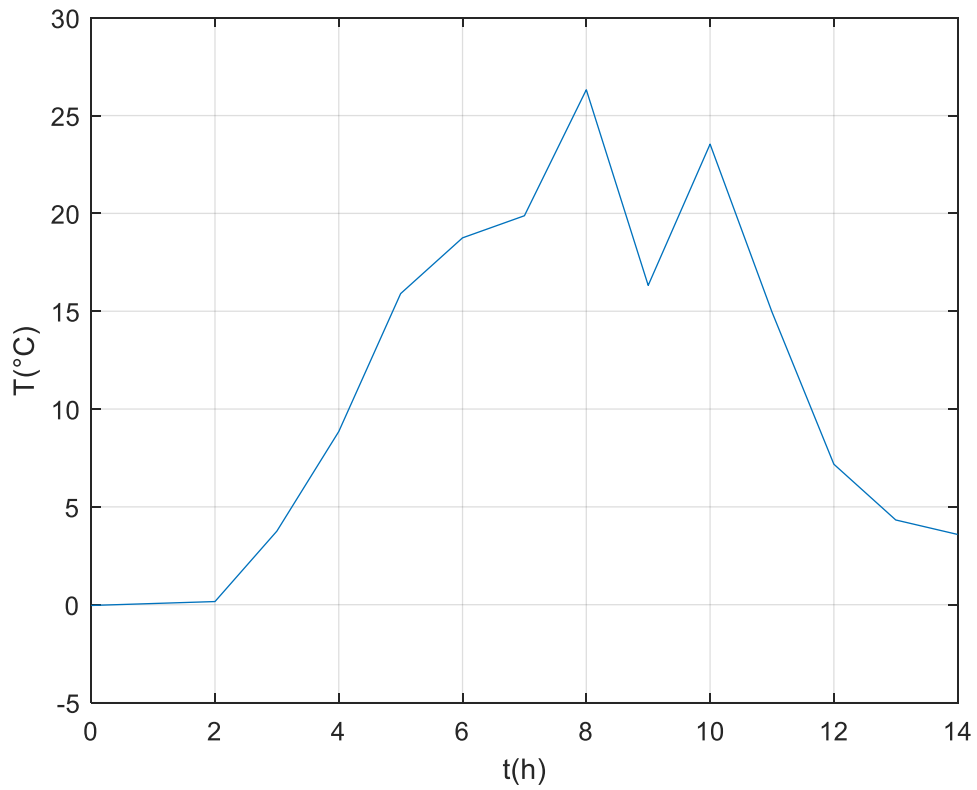
Il est clair que dans ce mois le niveau de la température est inférieur à celui des premiers mois de l'été, mais on remarque que la température des panneaux photovoltaïques augmente de 16°C jusqu'à 48°C, puis elle décroît jusqu'à 27°C. Ce qui influe négativement le niveau de la puissance produite qui arrive à (0,977823MW).

### III.4.3. Performance de la station durant l'automne (données réelles 15/11/2016)

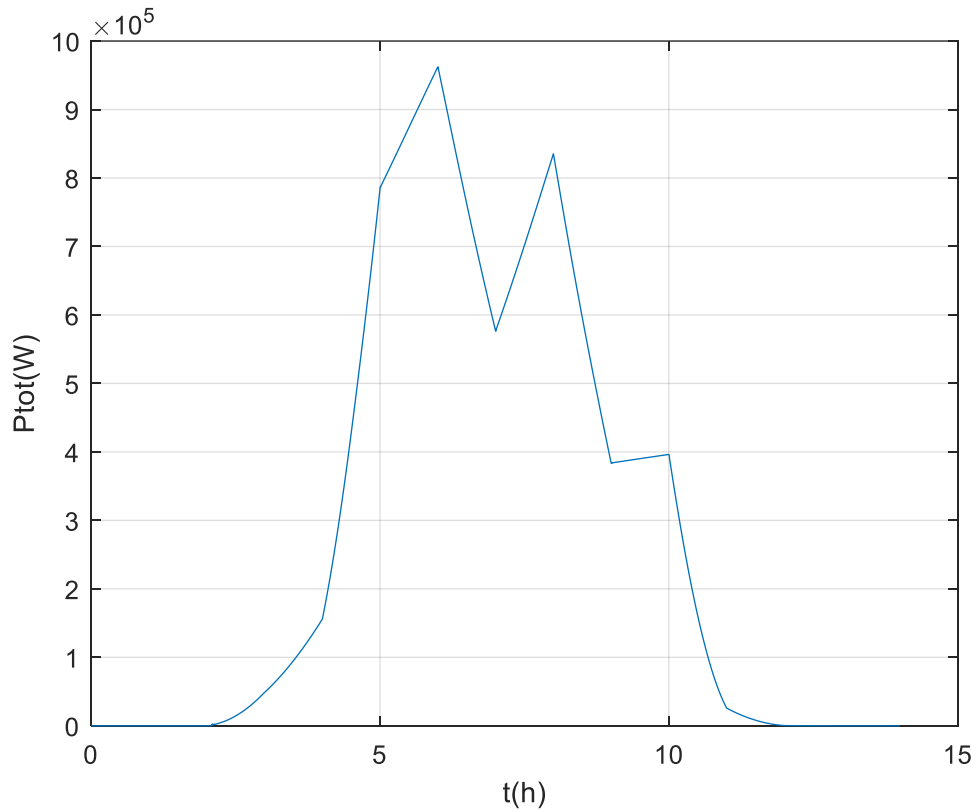
Les figures(III.43.44.45) représentent les résultats de simulation de la station dans l'un des jours durant la saison d'automne (15/11/2016).



**Figure.III.44.** Variation de l'éclairement en fonction du temps (15/11/2016)



**Figure.III.45.** Variation de la température en fonction du temps (15/11/2016)



**Figure.III.46.** Variation de la puissance globale en fonction du temps (15/11/2016)

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

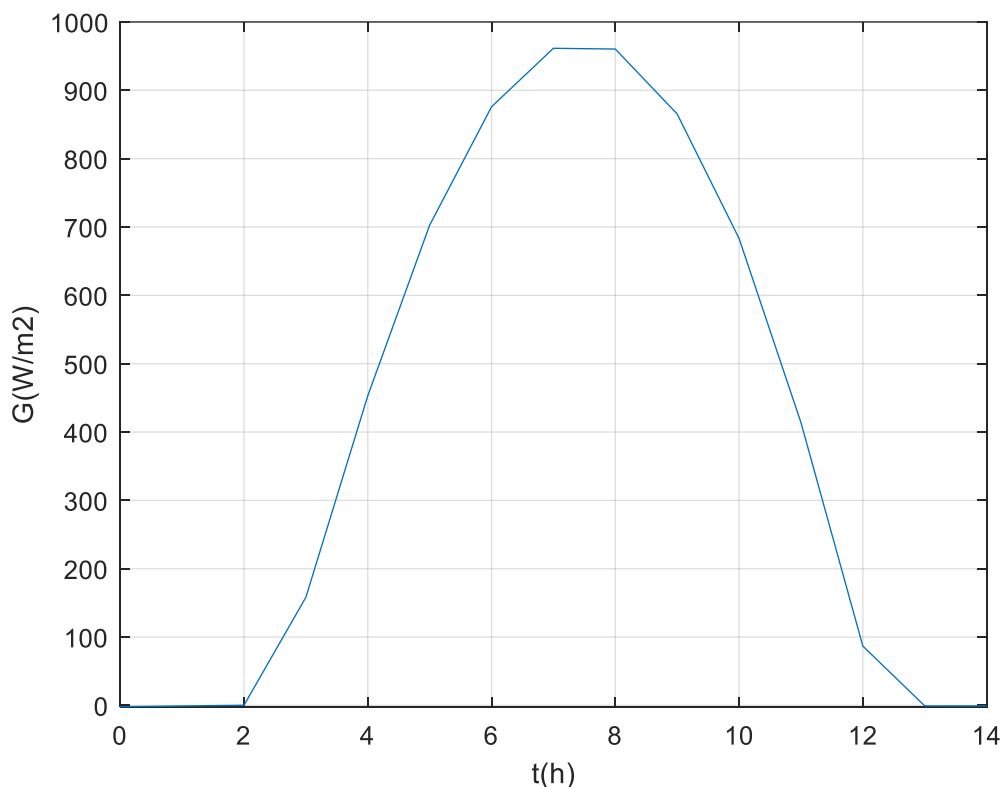
---

---

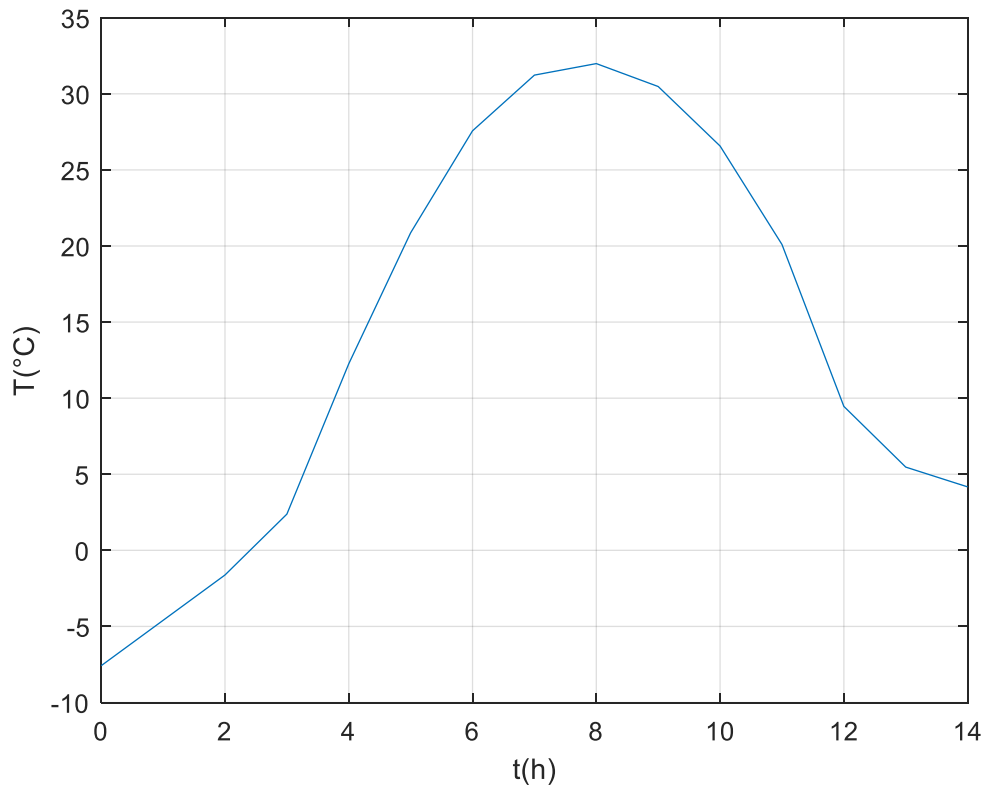
Il est à constater que dans la journée du 15/09/2016, le taux d'éclairement est très perturbé à cause des passages partiels des noyages. Le niveau de celui-ci n'atteint même pas la valeur ( $1000\text{W/m}^2$ ). Par conséquent, la température prend le même profile, elle arrive jusqu'à  $26^\circ\text{C}$  donc elle est plus proche aux STC. Dans ce cas de figure, la puissance produite atteint une valeur maximale égale à ( $0,962370\text{MW}$ ), ou elle est plus faible que les cas simulés précédents. Ce qui veut dire que l'effet de la décroissance de l'éclairement sur la puissance produite est plus important que l'effet de l'augmentation de la température.

### III.4.4. Performance de la station durant l'hiver (données réelles 15/01/2016)

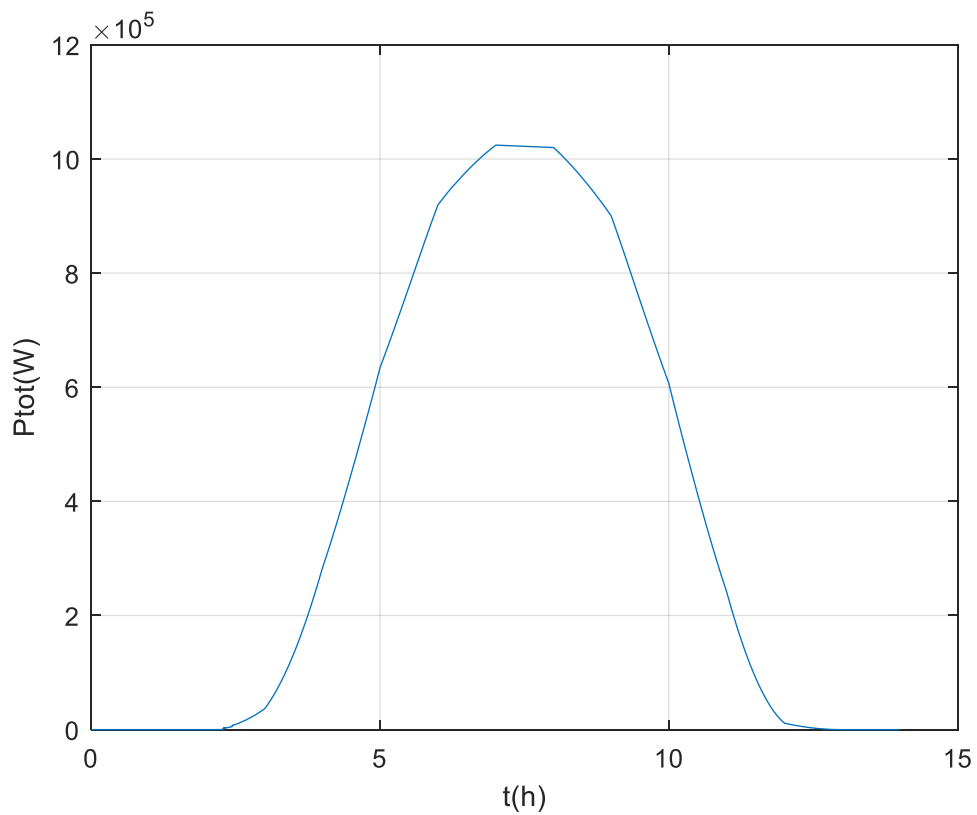
Dans ce qui suit, nous allons analyser les résultats de simulation du fonctionnement de la station sous étude durant la saison d'hiver, les figures (III.46.47.48) montrent les résultats de simulation des données réelles de la journée 15/01/2016.



**Figure.III.47.** Variation de l'éclairement en fonction du temps (15/01/2016)



**Figure.III.48.** Variation de la température en fonction du temps (15/01/2016)



**Figure.III.49.** Variation de la puissance globale en fonction du temps (15/01/2016)

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

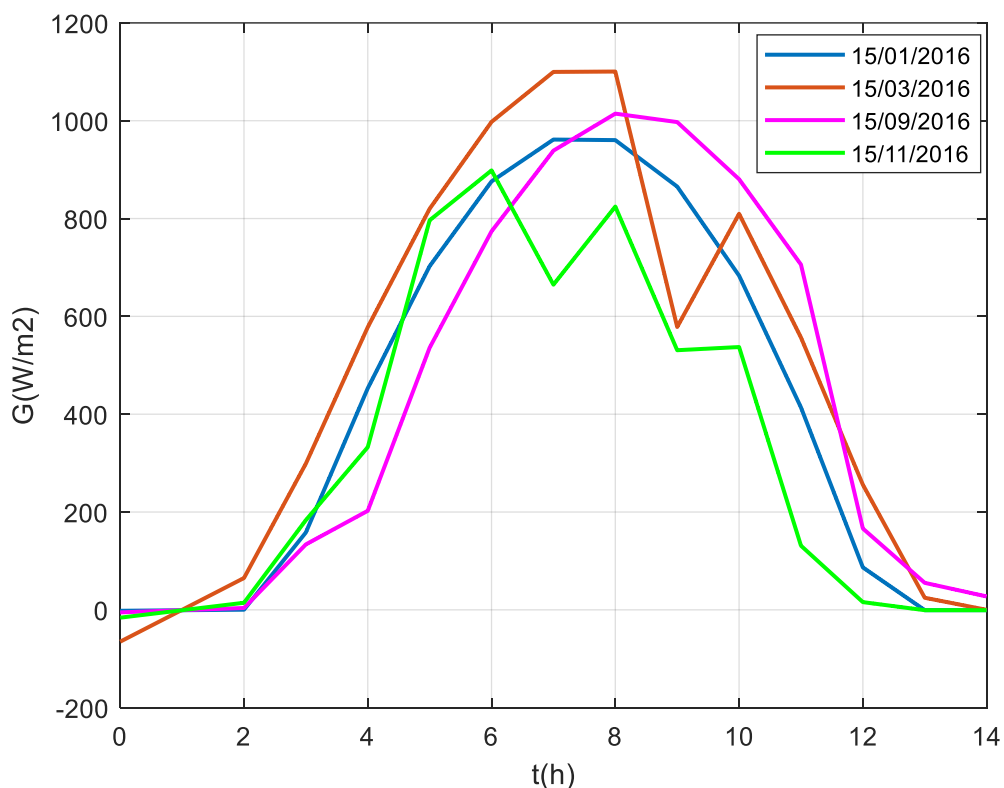
Il est à mentionner que le ciel est dégagé dans cette période de l'année (15/01/2016), donc l'éclairement prend sa forme de dôme continue pendant un intervalle plus élevé que le mois de Novembre, où il atteint une valeur maximale de l'ordre de ( $960\text{W}/\text{m}^2$ ).

Par contre, pendant la nuit froide de ce jour de l'hiver, la température des panneaux décroît jusqu'à ( $-7^\circ\text{C}$ ). Ensuite, elle augmente jusqu'à  $37^\circ\text{C}$  durant la journée puis elle commence à baisser de nouveau.

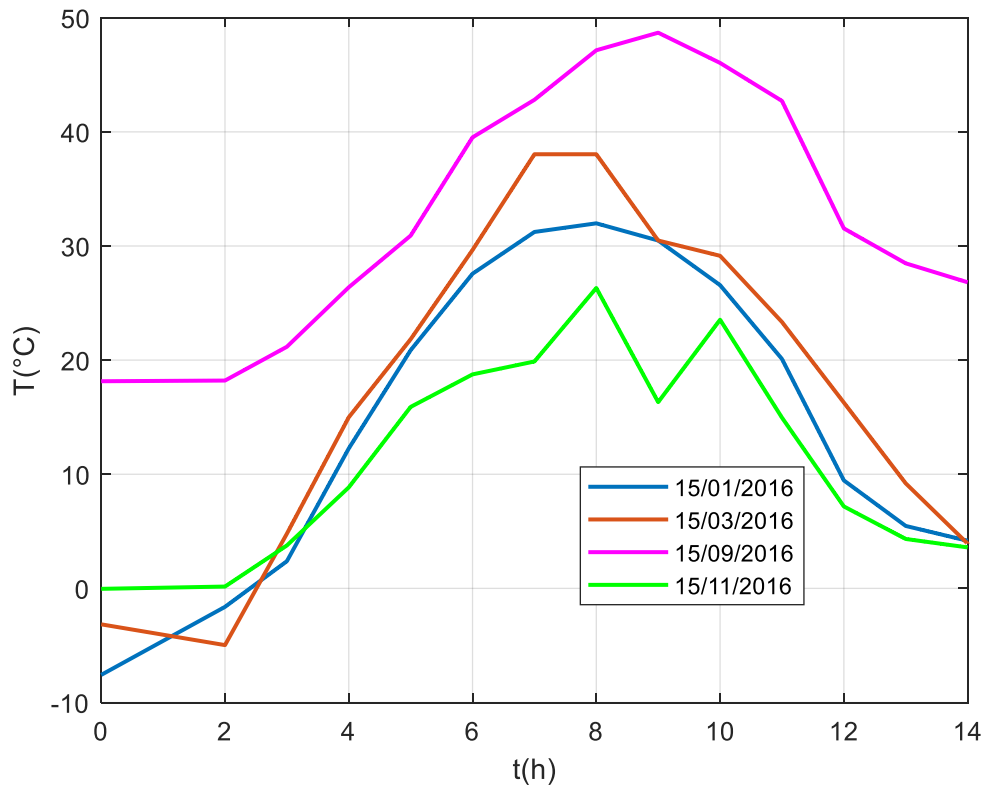
Dans ce cas le niveau de puissance prend le même profil que celui de l'éclairement. Grâce à ces conditions climatiques relativement proche aux conditions standards STC, et avec un ciel dégagé, la puissance totale de la station peut atteindre les environs de midi une valeur maximale importante ( $1,024200\text{MW}$ ).

### III.4.5. Comparaison des résultats de la performance de la station dans les quatre saisons

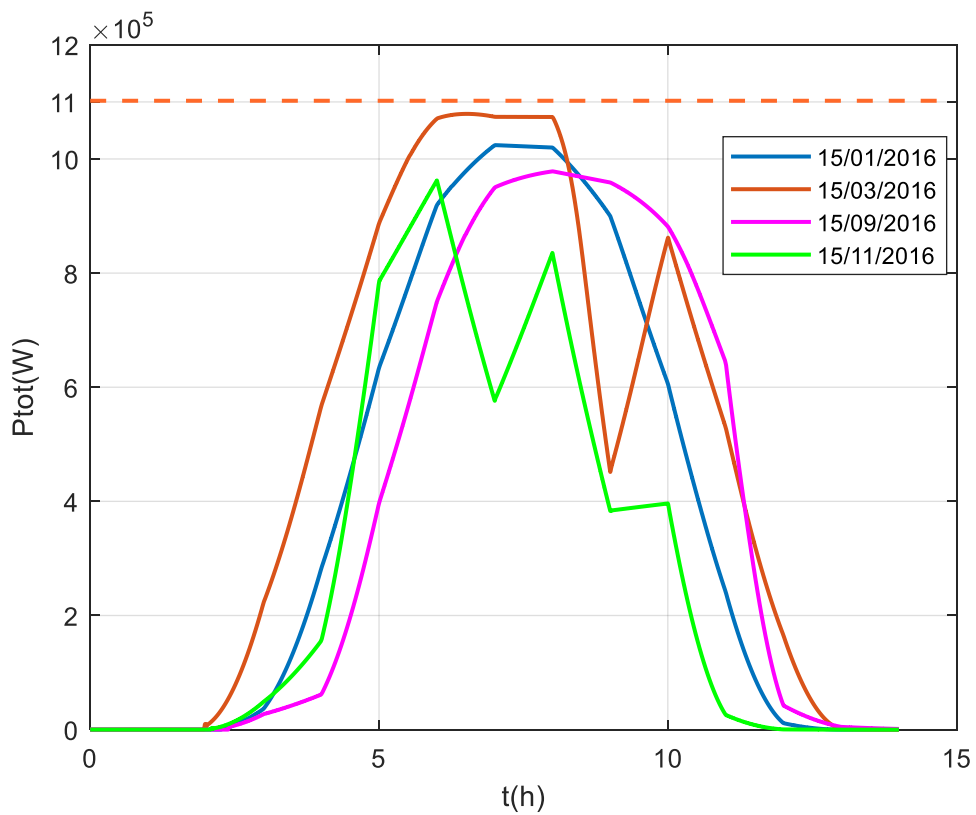
Les figures (III.49.50.51) représentent les résultats de simulation de la station pendant les quatre saisons de l'année 2016.



**Figure.III.50.** Variation réelle de l'éclairement en fonction du temps dans l'année 2016



**Figure.III.51.** Variation réelle de la température en fonction du temps dans l'année 2016



**Figure.III.52.** Puissance globale de la station en fonction du temps dans l'année 2016

## Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou

---

---

D'après les allures des puissances pour les quatre saisons de l'année 2016, Nous constatons que l'éclairement est plus intense en printemps (15/03/2016) où il arrive à des valeurs très élevées de l'ordre de ( $1100\text{W}/\text{m}^2$ ). Cependant, les noyages causent sa décroissance dans d'autres saisons. L'effet des noyages est plus significatif dans le cas d'automne où le niveau de l'éclairement est un peu perturbé, il décroît et augmente plusieurs fois (15/11/2016).

Pour le mois de Novembre, la durée de l'ensoleillement est très courte avec une production perturbée et l'obtention d'une quantité d'énergie plus faible; Il est à noter que la durée d'ensoleillement est très élevée durant deux saisons de l'année à savoir, le printemps et l'été, ce qui donne plus de quantité d'énergie que d'habitude.

De plus, il est à signaler que la température et la puissance sont proportionnelles à l'éclairement. La station d'Oued Nechou a donné une puissance maximale pendant le mois de Mars puisque l'éclairement et la température sont plus proches aux conditions STC où les panneaux délivrent leurs puissances nominales dans ce cas.

### III.5. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'étude des performances électriques de la station d'Oued Nechou à Ghardaïa sous plusieurs scénarios et avec l'utilisation des données réelles.

Dans le but de simuler le comportement réel de la station, l'analyse a été subdivisée en deux parties : en premier lieu, nous avons associé les panneaux photovoltaïques aux convertisseurs DC/DC du type hacheur élévateur de tension. La commande MPPT a été appliquée sur ce dernier. Ensuite, nous avons simulé les quatre technologies (Monocristallin, polycristallin, couche mince et amorphe) et les huit sous-champs de la station dans les conditions standards de température et d'éclairement (STC). Des comparaisons de résultats de puissance avec les données et les caractéristiques réelles de la station d'Oued Nechou, ainsi que entre la tension et courant avant et après le hacheur ont été effectuées pour un seul panneau et pour chaque sous-champ.

D'un autre côté, nous avons simulé le fonctionnement global de la station qui contient huit sous champs durant une année complète, par l'intégration des données réelles de la température et d'éclairement dans le modèle de Simulink, puis nous avons calculé et comparé entre les puissances obtenues par la station de chaque saison.

D'après les résultats obtenus, nous pouvons dire que l'application de la commande MPPT assure correctement son rôle, et confirme le fort appel à son utilisation pour assurer une amélioration importante du rendement d'un champ photovoltaïque. De plus, le modèle construit donne des



### **Chapitre III : Performance de la station photovoltaïque d'Oued Nechou**

---

---

résultats très efficaces et se comporte comme la station réelle.

Également, dans les cas examinés pour la station photovoltaïque d'Oued Nechou sous conditions du climat désertique, l'effet de la décroissance de l'éclairement sur la puissance produite est accentué que l'effet de l'augmentation de la température. Donc, les performances des cellules photovoltaïques sont plus élevées en termes de puissance et énergie en mois de Mars en premier lieu, puis Janvier en deuxième position, par la suite nous avons le mois de Septembre et à la fin le mois de Novembre, ceci est peut-être expliqué par le fait de la présence des nuages et la courte durée de la journée (nombre minimal des heures).

# Conclusion Générale

---

---

L'énergie photovoltaïque présente de nombreux avantages importants, le premier est qu'elle est renouvelable et non polluante, ce qui contribue à réduire les émissions de gaz et le réchauffement climatique, et que ses coûts de production ont diminué au fil des années.

Les performances d'un champ photovoltaïque dans un climat désertique peuvent varier en fonction des saisons en raison des conditions météorologiques spécifiques à cette région.

Il est important de noter que les performances d'un champ photovoltaïque dans un climat désertique peuvent se varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la localisation géographique, l'angle d'inclinaison et d'orientation des panneaux solaires, la qualité des équipements, la maintenance et la propreté des panneaux, ainsi que les éventuels effets de l'accumulation de sable ou de poussière sur les panneaux.

Afin de mieux comprendre la validité et les contraintes de l'exploitation d'un système photovoltaïque dans une zone saharienne, dans notre étude, nous avons commandé, modélisé et simulé comme exemple les champs de la station photovoltaïque placée au niveau de la wilaya de Ghardaïa qui délivre une puissance de l'ordre de 1.1 MW. De plus, nous avons pensé à l'examinations de l'efficacité des cellules photovoltaïques de différentes natures sous conditions climatique saharienne pendant les quatre saisons de l'année.

D'après l'analyse des résultats obtenus, nous pouvons dire que nous avons arrivé à obtenir une meilleure conception d'un convertisseur DC-DC boost. Celui-ci est capable de rechercher le point maximal de la puissance pour différentes variations d'éclairement et de température au moyen de sa commande MPPT. La performance de ce convertisseur a été testée d'une part sous conditions STC et d'autre part sous des conditions réelles. Il en ressort que le convertisseur boost simulé peut améliorer considérablement les performances de l'état dynamique d'un champ photovoltaïque.

Il est à noter également que le niveau de la puissance d'un système photovoltaïque sous condition climatique saharien, est affecté beaucoup plus par la diminution du taux d'ensoleillement que par l'élévation de la température. Cela a été confirmé par le meilleur rendement des panneaux photovoltaïques obtenu en mois de Mars indépendamment de la technologie utilisée, puisque le printemps est une saison de transition et proche aux conditions standards, où les performances du champ photovoltaïque augmentent progressivement à mesure que les jours s'allongent. Les panneaux solaires commencent à capter d'avantage d'énergie solaire à mesure que les conditions météorologiques se réchauffent et que le temps devient plus ensoleillé. Puis, le rendement est un peu moins en mois de Janvier où le climat désertique peut être froid en hiver, mais cela ne signifie

# Conclusion Générale

---

---

pas nécessairement une baisse drastique de la performance des panneaux photovoltaïques. Dans les régions désertiques, même pendant l'hiver, il peut y avoir un ensoleillement considérable et sans nuages, bien que les journées soient plus courtes. Les températures froides peuvent même être bénéfiques pour les panneaux solaires, car les performances des cellules photovoltaïques peuvent augmenter légèrement à des températures plus basses. Par la suite le mois de Septembre, et en dernier lieu le mois de Novembre. Au début de l'automne, les performances peuvent rester élevées car le temps est généralement ensoleillé. Cependant, à mesure que la saison progresse, les journées deviennent plus courtes, ce qui réduit légèrement la quantité d'énergie solaire captée par les panneaux photovoltaïques.

Vers la fin, l'objectif tracé de simuler le comportement réel de la station photovoltaïques d'Oued Nechou a été abouti. Il est à signaler que le champ photovoltaïque examiné offre un potentiel solaire considérable tout au long de l'année, ce qui peut permettre une production d'électricité solaire relativement stable et significative.

Comme perspective de ce travail, nous pouvons exploiter le modèle construit pour l'estimation de la production d'énergie photovoltaïque de la station, ainsi que dans la détection des défauts

# Référence Bibliographique

---

---

- [1] A. Bilbao Ibarreta, “ Réalisation de commandes MPPT Numériques ”, Rapport de stage Projet Fin d’Etudes, Université Rovira Virgili, 2006.
- [2] E. Amy de la breteque, “Etude du comportement thermique de modules photovoltaïque en vue de la prédiction de leur production électrique sur site”, Thèse de Doctorat, Université de Provence, 2006.
- [3] M.N. Mchaliikh et CH. Hmada “Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau” Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla 2013.
- [4] C. Delorme, « le rayonnement solaire utilisable », Université d’Avignon publication-France.
- [5] M. Faiza, (2008), « Détermination du gisement solaire par traitement d’images MSG », Thèse Magister, Université Tizi-Ouzou.
- [6] A. BOUDJADA, « Modélisation et simulation d’un système pompage Photovoltaïque », Mémoire de Master, Université Constantine1, Juin 2011.
- [7] M. Capderou, (1985), « Atlas Solaire de l’Algérie, O.P.U, Alger ».
- [8] A. Mefti, MY. Bouroubi, A. Khellaf, (1999), « Analyse Critique du Modèle de l’Atlas de l’Algérie », Revue des Energies Renouvelables, 2(2), 69 - 85.
- [9] Portail Ministère de l’Energie, [www.energy.gov.dz](http://www.energy.gov.dz), Consulté en Février 2018.
- [10] A. Mefti., MY. Bouroubi, Mimouni H., (2002), « Evaluation du potentiel énergétique solaire », Bulletin des Energies Renouvelables, N° 2, pp.12, Décembre 2002.
- [11] K. Helali “Modélisation d’une cellule photovoltaïque Etude comparative ” Mémoire de Magister Université Mouloud Mammeri de Tizi –Ouzou 25/06/2012.
- [12] M. Blhadj’ ’Modélisation d’un système de captage photovoltaïque autonome ” Mémoire de Magister Centre Universitaire de Bechar 2007-2008.
- [13] M.L. Louazane “Etude technico-économique d’un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla ”Mémoire de Magister Université El Hadj Lakhdar-Batna 16/06/2008.
- [14] F. Hananou, A. Rouabah, “Modélisation et simulation d’un système photovoltaïque” Mémoire de Master Université Kasdi Merbah Ouargla, 09 /06/2014.
- [15] S. Lahrech, M. Kebbar, “ Étude et estimation de la production d’énergie électrique d'une station photovoltaïque ” Mémoire de Master Université de Ghardaïa, 2022.
- [16] I. Bendjamaa “Modélisation et commande d’un système de stockage photovoltaïque” Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2011/2012.

# Référence Bibliographique

---

---

- [17] "Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers", second edition. Earthscan. 2008.
- [18] I. Benkouar, A. Bengaid, M. N. Berrighaid, L'étude des générateurs photovoltaïques de la centrale photovoltaïque d'Oued Nechou-Ghardaïa (SKTM), mémoire de licence, Université Ghardaïa, 2020.
- [19] Vighetti S, Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau : Choix et dimensionnement des étages de conversion, 11/10/2010.
- [20] I. Benkouar, A. Bengaid, M. N. Berrighaid, "L'étude Des Générateurs Photovoltaïques De La Centrale Photovoltaïque D'oued Nechou- Ghardaïa (SKTM)", Mémoire de Licence, Université Ghardaïa, 2020.
- [21], "Historique de Sonelgaz", SONELGAZ-2020,  
<https://www.sonelgaz.dz/fr/category/historique>. Mise à jour en 2020.
- [22] S. Lahreche, M. Kebbar, "Étude et estimation de la production d'énergie électrique d'une station photovoltaïque", Mémoire de Master, Université Ghardaïa, 2022.
- [23] S. M. SZE, Physics of semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1981".
- [24] Nichiporuk Oleksiy." Simulation, fabrication et analyse de cellules photovoltaïques à Contacts arrière interdigités". Thèse de Doctorat, N° d'ordre ISAL0028. Université de Lyon, France, 2005
- [25] M. Djedid, "Étude expérimentale de l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement d'une cellule PV", Mémoire de Master, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI ,2019
- [26] D. Amiri, M. Bouabdellah, "Modélisation et simulation d'un panneau solaire photovoltaïque", Mémoire de Master, Université Saad Dahlab de Blida 1, 2020.
- [27] [En ligne]. Available: <https://lesolairepourtous.fr/branchement-serie-ou-parallele/>, **Le Solaire Pour Tous !**
- [28] F. Kharef, "Commande MPPT les panneaux photovoltaïques en ombrage" 'mémoire de master, Université Ahmed Draïa-Adrar, 2020.