

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Djilali Bounaama –Khemis Miliana-

Faculté: « Science et Technologie »

MEMOIRE DE Master

Filière : « Électrotechnique industriel »

Thème

Modélisation et analyse des défauts du générateur photovoltaïque

Présenté par :
DAOUDI Ishak
HAMMANE Hatem

Dirigé par :
Mme KARA MOSTEFA KHELIL.C

Année universitaire : 2020 /2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

*Je dédie ce travail aux deux plus chères personnes au monde
qui*

*Sont mes parents, pour tous leurs amours, encouragements,
Conseil, sacrifices, patiences et confiance.*

*à mes frères et mes sœurs. A toute ma famille sans oublier mes
Chère amis*

Remerciement

Je remercie tout d'abord « Allah » qui m'a donné la force et la Patience nécessaire pour réaliser ce modeste travail.

- *Je Remercie aussi, mon Encadreuse Mme kara mostefa khalil*

*Je Remercie également tous les enseignants du Département
D'Electrotechnique.*

Mes collègues et tous les étudiants de Promotion.

*En fin je remercie tous ceux qui m'ont aidé De Près ou de loin à
Réaliser ce travail.*

Résumé:

Dans ce mémoire nous avons étudié la modélisation et l'analyse des défauts du générateur photovoltaïque basée sur des données réelles récoltées de la station CDER à Alger. Notre étude était basée sur la simulation d'un générateur PV de trente modules contenant deux panneaux en parallèle composés de quinze modules chacun en utilisant Matlab Simulink 2016a. Puis créer des défauts sur ce générateur afin d'analyser la caractéristique I-V, P-V

Mots clés : Générateur photovoltaïque, Vmpp , Impp , Modélisation, Analyse,

Abstract:

In this thesis we modeled and analyzed faults of the photovoltaic generator based on real data collected from CDER station plan in Algiers. Our study is based on the simulation of PV generator composed by thirty modules divided in two parallel panels that each one contains fifteen modules in series employing Matlab Simulink 2016a. Then created faults in this generator in the aim to analyze the I-V, P-V characteristics.

Keywords: Photovoltaic generator, Vmpp, Impp, Modeling, Analysis.

الملخص:

في هذه الأطروحة قمنا بنمذجة وتحليل أخطاء المولد الكهروضوئي بناءً على بيانات حقيقية تم جمعها من خطة محطة في الجزائر العاصمة. تعتمد دراستنا على محاكاة المولد الكهروضوئي المكون من ثلاثين وحدة مقسمة إلى CDER ثم تم Matlab Simulink 2016a لوحين متوازيين تحتوي كل واحدة على خمسة عشر وحدة في سلسلة تستخدم I-V و P-V إنشاء أخطاء في هذا المولد بهدف تحليل خصائص

الكلمات الرئيسية: النمذجة، Impp، Vmpp، مولد الطاقة الضوئية.

Liste des symboles

E: L'éclairement absorbé par la cellule.

E_{ref}: L'éclairement de référence (1000 W/m²).

I₀ : courant de saturation inverse de la diode.

q : Charge de l'électron (1.6. 10⁻¹⁹C).

V_D : tension de la diode.

K : Constant de Boltzmann (1.38. 10⁻²³J/K).

T : température.

V_t [V]: Tension thermique.

N : Facteur d'idéalité de la photopile.

I_{ph} : courant photonique ou de l'éclairement.

I_d : courant de saturation traversant la diode.

D : diode caractérisant la jonction PN.

V_{cell} : tension délivrée par le panneau.

I_{cell}: courant délivré par le panneau.

I_{sc} [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.

T_n [K] : Température de référence (298 K).

G_{ref} [W/m²] : Irradiation de référence (1000 W/m²).

G [W/m²] : Irradiation sur la surface de la cellule.

E_g [eV] : Énergie de gap du semi-conducteur (1.1 eV pour le silicium poly cristallin 25°C).

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

q [°C] : Charge de l'électron (1.602. 10⁻¹⁹ °c).

N_s : Nombre de cellules connectées en série.

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

K [J/K] : Constante de Boltzmann (1.3805 .10⁻²³ J/K).

V_T : représente le potentiel thermique.

N_S : nombre de cellules connectées en série.

I_{sc} : le courant de court-circuit standard (aux conditions standards)

K_i : le coefficient de référence (1000W/m²).

G : l'ensoleillement (Watt).

I_{sc} = le courant de court-circuit de la cellule.

E_g = énergie de seuil.

q : Charge de l'électron ($1.6 \cdot 10^{-19}C$).

K : Constant de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}J/K$).

n : facteur d'idéalité de la diode = 1,6.

G_{ref} : l'ensoleillement.

Liste des abréviations

FF : Facteur de forme.

GPV : Générateur photovoltaïque.

I_{mpp} : courant de point de puissance maximal.

PV : photovoltaïque.

V_{mpp} : tension de point de puissance maximal.

V_{co} : Tension de circuit ouvert.

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

c-c : court-circuit.

c-o : circuit ouvert.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur le système photovoltaïque	
I.1. Introduction.....	1
I.2. Le solaire thermique	1
I.3. L'énergie éolienne	2
I.4. L'hydraulique	3
I.5. La biomasse	3
I.6. La géothermie	4
I.7. Les centrales solaires ou photovoltaïques	4
I.8. Conclusion	5
Chapitre II : Généralités sur le système photovoltaïque	
II.1. Introduction	6
II.2. Différentes technologies solaires	6
II.2.1. Energie solaire thermique	6
II.2.2. Energie solaire thermodynamique	6
II.2.3. Solaire photovoltaïque	7
II.3. Historique	7
II.4. Conception du générateur photovoltaïque	8
II.5. Type de cellule de photovoltaïque	9
• Les avantages	10
• Les inconvénients	11
II.6. Comparatif des différentes technologies	14
II.7. Caractéristique électrique	15
II.8. Défauts dans générateur photovoltaïque	21

II.9.	Conclusion	24
Chapitre III : modélisation d'un system photovoltaïque		
III.1	INTRODUCTION	25
III.2	Caractéristique de cellule photovoltaïque	25
III.2.1	Circuit idéale	25
III.2.2	Circuit réel	26
III.3	Simulation de la cellule de photovoltaïque	29
III.3.1	Les caractéristiques de la cellule	29
III.3.2	Caractéristiques I(V) et P(V).....	30
III.3.3	Changement de la température sur la cellule photovoltaïque.....	31
III.3.4	Influence de l'éclairement sur cellule PV.....	32
III.3.5	Influence de l'association parallèle de la cellule PV	33
III.3.6	Influence de l'association série des cellules PV.....	34
III.3.7	Influence de l'association parallèle / série des cellules PV.....	35
III.4	Simulation d'un module photovoltaïque	36
III.4.1	Caractéristique I(V) P(V) du module photovoltaïque	37
III.4.2	Influence de l'éclairement sur module PV	38
III.4.3	Influence de la température sur le module PV	39
III.5	Simulation Générateur photovoltaïque	40
III.5.1	Caractéristiques I(V) et P(V)	41
III.6	Conclusion	42
Chapitre IV: modélisation et analyse d'un default d'un générateur P.V		
IV.1	Introduction :	43
IV.2	Simulation du générateur photovoltaïque	43
IV.2.1.	Caractéristiques I(V) et P(V).....	:43
IV.3	simulation des défauts dans le générateur photovoltaïque	45
IV.3.1	Défaut 01 : court-circuit	45

IV.3.2 Default 02 : circuit-ouvert	49
IV.3.3 Default 3: Diode by-pass inverse	50
IV.3.4 Défaut 04 : vieillissement.....	54
IV.3.5 Défaut 05 : Prise de Terre.....	60
IV.3.6 Default 06 : l'ombrage	63
IV.4 Conclusion	68
Conclusion générale.....	69

List de figure

Figure I- 1:Conversion de l'énergie cinétique du vent.	2
Figure I- 2:Principaux organes du système de conversion éolien	2
Figure I- 3:Central hydraulique.....	3
Figure I- 4:Les centrales solaires ou photovoltaïques.	5
Figure II -1:Constitution d'un générateur photovoltaïque.	9
Figure II-2:silicium.	9
Figure II-3:Cellule en silicium monocristallin.	10
Figure II-4:Cellule photovoltaïque poly cristalline.	11
Figure II-5:silicium amorphe.	12
Figure II-6:Cellule photovoltaïque amorphe.....	13
Figure II-7:schéma de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.	15
Figure II-8: dopage n type.....	16
Figure II-9:dopage p type.....	17
Figure II-10: schéma de jonction pn.	17
Figure II-11: Schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque Modèle à une diode.....	18
Figure II-12: Les courbes I-V et P-V pour différentes valeurs de R_s	20
Figure II-13:Les courbes I-V et P-V pour différentes valeurs de R_{sh}	21
Figure II-14: défaut de point chaud.....	22
Figure III-1:Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque idéale.....	25
Figure III-2:Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réel.	27
Figure III-3:Modèle électrique équivalent à deux diodes de la cellule photovoltaïque.	29
Figure III-4: Schéma bloc de Cellule PV en MATLAB-SIMULINK.....	30
Figure III-5: la caractéristique (I /V) d'une cellule PV.	30
Figure III-6: caractéristique (P /V) d'une cellule PV.	31
Figure III-7représente changement de la température (courant /tension).	31
Figure III-8:représente changement de la température (Puissance /tension).....	32
Figure III-9:Changement de l'éclairement sur la caractéristique (Courant(I)\Tension(V)).	32
Figure III-10: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (Puissance (W)\Tension(V))......	33
Figure III-11: Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en parallèle.....	33
Figure III-12:Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en parallèle.....	34
Figure III-13: Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en Série.	34

Figure III-14: Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en Série.	35
Figure III-15:Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en (parallèle / Série).....	35
Figure III-16:Caractéristique I(V) pour différentes nombre de cellule en (parallèle / Série).....	36
Figure III17:Schéma bloc de module photovoltaïque en MATLAB-SIMULINK.....	36
Figure III-18: Caractéristique I(V) d'un module PV.....	37
Figure III-19: Caractéristique P(V) d'un module PV.....	38
Figure III-20: changement de l'éclairement sur la caractéristique (Courant(I)\voltage(V)).	39
Figure III-21: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (Puissance (W) \ Voltage (V)).	39
Figure III-22: Caractéristique I(V) pour différentes températures.	40
Figure III-23: Caractéristique P(V) pour différentes températures.	40
Figure III-24: Schéma bloc de générateur photovoltaïque en MATLAB-SIMULINK.....	41
Figure III-25: Caractéristique P(V) d'un générateur.	41
Figure III-26: Caractéristique I(V) d'un générateur.....	42
Figure IV- 1 : Schéma bloc de générateur PV en MATLAB-SIMULINK.....	44
Figure IV- 2: caractéristique I-V de générateur.	44
Figure IV- 3: caractéristique P-V de générateur.	44
Figure IV- 4: schéma bloc de court-circuit 2 module en sérié.	45
Figure IV- 5: caractéristique P-V model sain avec model C.C 2 module en sérié.....	45
Figure IV- 6: caractéristique I-V model sain avec model C.C 2 module en sérié.....	46
Figure IV- 7: schéma bloc de court-circuit 2 module en parallèle.....	46
Figure IV- 8: Caractéristique P-V model sain avec 2 modules C.C en parallèle.....	47
Figure IV- 9: Caractéristique I-V model sain avec 2 modules C.C en parallèle.....	47
Figure IV- 10: Caractéristique P-V model sain avec 2 module C.C en parallèle et 2 module C.C en sérié.....	48
Figure IV- 11 : caractéristique I-V model sain avec 2 modules C.C en parallèle et 2 module C.C en sérié.....	48
Figure IV- 12: schéma bloc cocuit-ouvert.....	49
Figure IV- 13: caractéristique I-V model sain avec module circuit-ouvert.....	49
Figure IV- 14: caractéristique P-V model sain avec module circuit-ouvert.....	50
Figure IV- 15: schema bloc diode by-pass inverse.	51
Figure IV- 16: caractéristique P-V model sain avec module à la diode by-pass inverse.....	51
Figure IV- 17: caractéristique I-V model sain avec module à la diode by-pass inverse.....	51
Figure IV- 18 : schéma bloc diode by-pass inverse on parallèle.....	52
Figure IV- 19: caractéristique P-V model sain avec module a la diode by-pass inverse on parallèle.....	52

Figure IV- 20: caractéristique I-V model sain avec module a la diode by-pass inverse on parallèle.	53
Figure IV- 21: caractéristique P-V model sain avec module à la diode by-pass inverse on parallèle et model diode by-pass inverse.	53
Figure IV- 22: caractéristique I-V model sain avec module a la diode by-pass inverse on parallèle et model diode by-pass inverse.	54
Figure IV- 23: schéma bloc vieillissement avec $R=2 \Omega$	55
Figure IV- 24: caractéristique P-V model sain avec module vieillissement et $R=2\Omega$	55
Figure IV- 25: caractéristique I-V model sain avec modules vieillissement et $R=2\Omega$	55
Figure IV- 26 : schéma bloc vieillissement avec $R=4 \Omega$	56
Figure IV- 27: caractéristique P-V model sain avec modules vieillissement et $R=4\Omega$	56
Figure IV- 28: caractéristique I-V model sain avec modules vieillissement et $R=4\Omega$	57
Figure IV- 29:schéma bloc vieillissement avec $R=6 \Omega$	57
Figure IV- 30: caractéristique P-V model sain avec modules vieillissement et $R=6\Omega$	58
Figure IV- 31: caractéristique I-V model sain avec modules vieillissement et $R=6\Omega$	58
Figure IV- 32 : caractéristique P-V model sain avec modules vieillissement et $R=2\Omega$, $R=4\Omega$, $R=6\Omega$	59
Figure IV- 33: caractéristique I-V model sain avec modules vieillissement et $R=2\Omega$, $R=4\Omega$, $R=6\Omega$	59
Figure IV- 34: schémas bloc de prise de terre.....	60
Figure IV- 35: caractéristique P-V model sain avec un module prise de terre.....	60
Figure IV- 36: caractéristique I-V model sain avec un module prise de terre.....	61
Figure IV- 37: schémas bloc de prise de terre.....	61
Figure IV- 38: caractéristique P-V model sain avec modules prise de terre.	62
Figure IV- 39: caractéristique I-V model sain avec modules prise de terre.	62
Figure IV- 40: caractéristique P-V model sain avec modules prise de terre.	62
Figure IV- 41: caractéristique I-V model sain avec modules prise de terre.	63
Figure IV- 42: Schéma bloc ombrage partiel.	64
Figure IV- 43: caractéristique P-V model sain avec modules ombrage partiel.....	64
Figure IV- 44: caractéristique I-V model sain avec modules ombrage partiel.....	65
Figure IV- 45: caractéristique P-V model sain avec modules ombrage partiel.....	65
Figure IV- 46: caractéristique I-V model sain avec modules ombrage partiel.....	66
Figure IV- 47: caractéristique P-V model sain avec modules ombrage partiel.....	66
Figure IV- 48: caractéristique I-V model sain avec modules ombrage partiel.....	67
Figure IV- 49: caractéristique P-V model sain avec tous les modules ombrage partiel.....	67
Figure IV- 50: caractéristique I-V model sain avec tous les modules ombrage partiel.....	68

List de tableau

Tableau (II.1): comparatif des différents matériaux PV.....	14
Tableau(III.1) : Caractéristique électrique de cellule dans les conditions standards.....	29
Tableau(III.2) : Caractéristique électrique du module ISO Foton 106-12V dans les conditions standards.....	36
Tableau(III.3) : Caractéristique électrique de générateur dans les conditions standards.....	37
Tableau(IV.1) : Caractéristique électrique de générateur.....	41
Tableau(IV.2) : Caractéristique électrique de M sain et les autres model de C.C.....	43
Tableau(IV.3) : Caractéristique électrique de générateur.....	49
Tableau(IV.4) : Caractéristique électrique M sain , un diode by-pass inverse et deux diode by-pass inverse en parallele	50
Tableau(IV.5) : caractéristique de model sain avec modules vieillissement et $R=2\Omega$, $R=4\Omega$, $R=6\Omega$	54
Tableau(IV.6) : caractéristique model sain avec modules prise de terre.....	59
Tableau(IV.7) : caractéristique model sain avec tous les modules ombrage partiel.....	68

Introduction

générale

Introduction générale

Aujourd'hui, le défi mondial est tourné vers les énergies renouvelables, notamment le solaire, l'éolien, l'hydraulique,, etc. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais il est aussi très propre pour l'environnement.

A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies liées Aux cycles du soleil et de la terre et elles sont de plus en plus utilisées de nos jours à Cause de l'augmentation du coût et la limitation de la disponibilité des énergies classique [1].

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Elle peut même se transformer en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques qui ont la capacité de transformer les photons en électrons Lorsqu'un photon frappe la zone de transition d'une cellule PV, il arrache un électron à l'atome de silicium en y laissant un trou lequel électron, sous l'effet du champ électrique se déplace du côté N tandis que le trou migre du coté P. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable [2].

Ce travail est organisé en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, on fait une généralité sur énergie renouvelables.

- Dans le deuxième chapitre, on fait une généralité sur les générateurs photovoltaïques. On présente le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV et ses paramètres. Ensuite on fait un rappel sur les générateurs PV et leurs performances.

- Dans le 3eme chapitre nous allons étudier la modélisation de la cellule et module et à la fin le générateur photovoltaïque Le module est (composé de 36 cellules connectées en série) dans les conditions Standard ($E=1000\text{W}/\text{m}^2$, $T=25^\circ\text{c}$), Notre générateur (composée de 30module en parallèle) nous allons traiter l'effet de la température et l'éclairement sur l'énergie de la cellule PV, module PV générateur PV et on utilise l'outil MATLAB -SIMULINK pour faire la simulation de comportement de la cellule PV, module PV et du générateur PV.

➤ Dans le dernier chapitre, on utilise l'outil MATLAB -SIMULINK pour faire la simulation du générateur photovoltaïque (composé de 30 Module en parallèle chaque module est composée de 36 cellules) Après nous avons créé des défauts dans notre générateur et l'analyse par rapport au modèle sain, et nous avons terminé notre travail par une conclusion.

Chapitre I :

Généralités sur énergie renouvelable

Chapitre I : généralités sur Énergie renouvelable

I.1. Introduction :

Énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à échelle humaine de temps. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement, cycle d'évaporation photosynthèse, biocarburants...) [3].

Les énergies renouvelables sont issues de l'activité du soleil, sous forme de rayonnement direct (énergie solaire), et par les cycles renouvelés de l'eau (énergie hydraulique), du vent (énergie éolienne) ou de la biomasse (bois, biogaz, biocarburants...) [3].

Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :

- l'énergie solaire.
- l'énergie éolienne.
- l'énergie hydraulique (hydroélectricité).
- la biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...).
- la géothermie [4].

I.2. Le solaire thermique :

L'énergie solaire est l'une des ressources renouvelables les plus abondantes sur Terre, le flux d'énergie solaire reçu annuellement sur la surface de la terre représente environ 15000 fois la consommation d'énergie [5].

L'énergie solaire est actuellement exploitée selon deux techniques :

➤ La conversion du rayonnement solaire en chaleur par des capteurs thermiques c'est le solaire thermique Il est utilisé dans les chauffe-eau solaires qui sont très répandus en Europe, plus de 600.000 familles ont équipé leurs habitations. Il est aussi utilisé dans les planchers thermiques.

➤ La conversion directe du rayonnement lumineux en électricité par des capteurs (cellule photovoltaïque) c'est le solaire photovoltaïque.

Les panneaux photovoltaïques composés de cellules à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons [6].

Chapitre I : généralités sur Énergie renouvelable

I.3. L'énergie éolienne :

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice [7].

Le couplage mécanique peut être soit direct si la turbine et la génératrice ont des vitesses du même ordre de grandeur, soit réalisé par l'intermédiaire d'un multiplicateur dans le cas contraire [8].

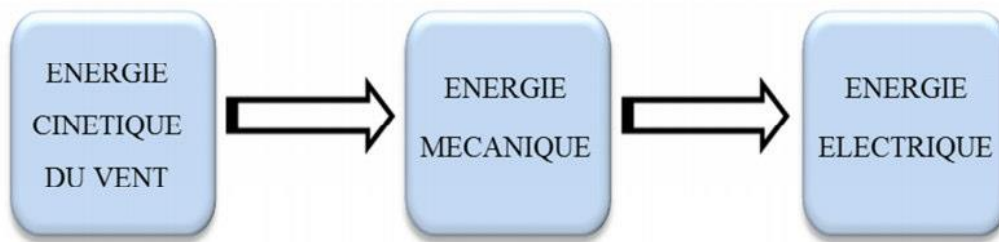


Figure I- 1:Conversion de l'énergie cinétique du vent.

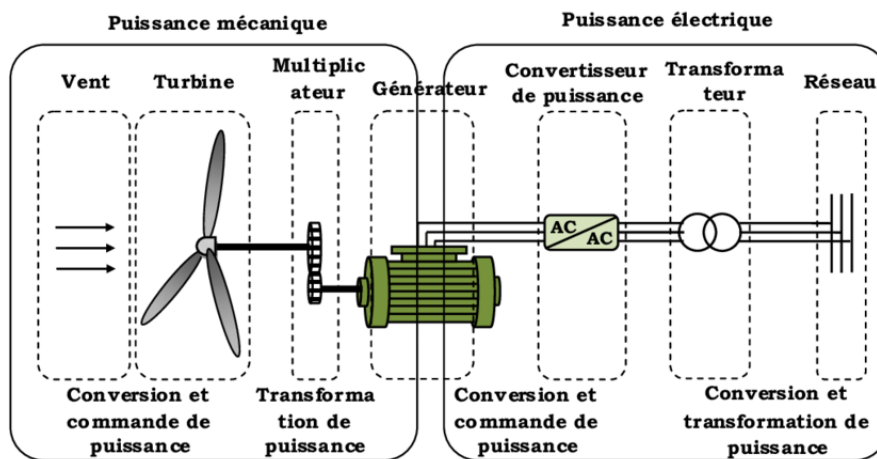


Figure I- 2:Principaux organes du système de conversion éolien .

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable «on dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée). De plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes d turbulences [9].

Chapitre I : généralités sur Énergie renouvelable

I.4. L'hydraulique :

L'hydraulique première des énergies renouvelables au monde, se distingue par sa souplesse d'utilisation, ses atouts écologiques et économiques. Comme les ancestrales roues entraînées par le débit d'un cours d'eau, les turbines des centrales hydrauliques sont activées par la force de l'eau passant d'un niveau supérieur à un niveau inférieur. Plus la hauteur de la chute d'eau et le débit sont importants plus la puissance électrique développée sera élevée. Chaque ouvrage hydraulique est donc adapté à la typologie des lieux pour atteindre un rendement optimal. Notons aussi dans le domaine de l'énergie hydraulique, les ressources Marémotrices de la houle et celles des courants marins qui sont très importants, de nombreux travaux dans le monde ont montré la faisabilité de l'exploitation des ressources de la houle. La plus grande usine marémotrice au monde se trouve en France (la Rance) avec une puissance de 240 MW [6].

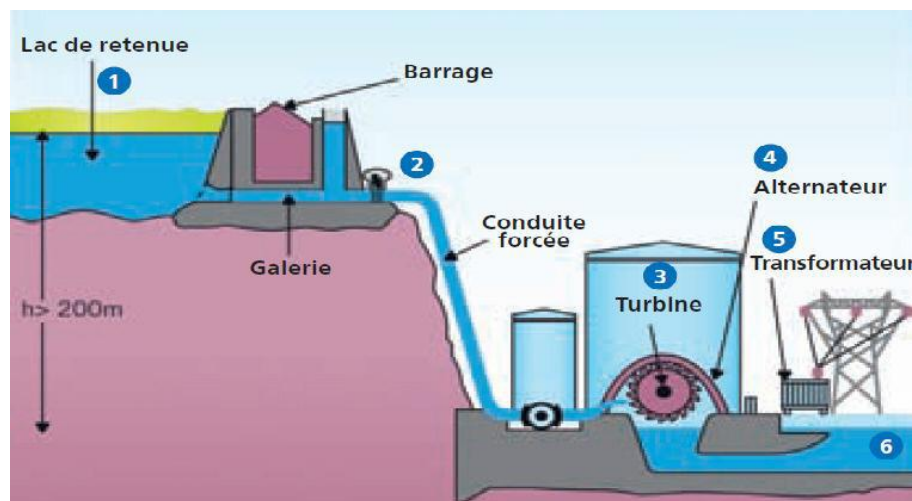


Figure I- 3:Central hydraulique.

I.5. La biomasse :

La biomasse représente l'ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine végétale ou animale. Elle peut être issue de forêts, milieux marins et aquatiques, haies, parcs et jardins, industries générant des co-produits, des déchets organiques ou des effluents d'élevage. Elle est la source d'énergie principale pour cuisiner et se chauffer. Cette biomasse qui comprend tous les produits obtenus à partir de plantes ou de résidus de plantes, secs ou déshydratés comme le bois, la paille, les grignons d'olives, la bagasse de la canne à sucre, est exploitée par combustion ou métabolisation. Mais pour être une réelle énergie renouvelable, les quantités brûlées ne doivent pas excéder les quantités produites.

Chapitre I : généralités sur Énergie renouvelable

En fonction des besoins, elle permet une production de chaleur ou d'électricité. De ce fait, sa participation à la production d'énergie mondiale est énorme par rapport aux autres énergies [10].

I.6. La géothermie :

La chaleur naturellement présente dans le sous-sol de notre planète représente une formidable source d'énergie. Plus on creuse profondément, plus on atteint des températures élevées. La géothermie utilise cette chaleur pour le chauffage et la production d'électricité [5]. Selon la température des différentes couches du sol, on qualifie la géothermie de « haute énergie » (150 °C), « moyenne énergie » (entre 90 et 150 °C), « basse énergie » (entre 30 et 90 °C) et de « très basse énergie » (moins de 30 °C). Ainsi, plus on s'enfonce dans la terre, plus la température y est élevée et on pourra en faire des usages différents

- L'énergie géothermique est une puissance développée par l'exploitation de la chaleur sous la surface de la terre.
- Des puits sont utilisés pour transporter la vapeur et l'eau chaude dans les profondeurs de la terre, jusqu'à la surface. L'eau chaude utilisée fait tourner les turbines afin de produire l'énergie électrique ou chauffer des locaux [11].

I.7. Les centrales solaires ou photovoltaïques :

Cet autre moyen de fabriquer de l'électricité avec l'énergie solaire utilise les rayonnements lumineux du soleil, qui sont directement transformés en un courant électrique par des cellules à base de silicium ou autre matériau ayant des propriétés de conversion lumière/électricité. Chaque cellule délivrant une faible tension, les cellules sont assemblées en panneaux [12].

Chapitre I : généralités sur Énergie renouvelable



Figure I- 4:Les centrales solaires ou photovoltaïques.

I.8. Conclusion :

Les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. Il existe plusieurs types de sources d'énergies renouvelables parmi eux : l'énergie hydroélectrique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque. Les sources d'énergies renouvelables proviennent directement ou indirectement du soleil. Elles sont donc disponibles indéfiniment tant que celui-ci brillera.

Chapitre II :

Généralités sur le système photovoltaïque

Chapitre II : Généralités sur le système photovoltaïque

II.1. Introduction :

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir largement notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque. [12]

Cette source d'énergie est disponible sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 10 000 w/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 14 000 W/m² lorsque l'atmosphère est faiblement polluée [13].

II.2. Différentes technologies solaires :

Il existe principalement trois modes de conversion de l'énergie solaire : la conversion Thermique, la conversion thermodynamique et la conversion photovoltaïque.

II.2.1 Energie solaire thermique :

Il consiste à transformer les rayonnements solaires en chaleur et à la récupérer pour chauffer l'eau. Son utilisation se fait principalement pour produire l'eau chaude sanitaire, mais elle peut être utilisée comme complément pour le chauffage de l'habitat. Il existe différents types de capteurs solaires à basse température utiles pour ce type de conversion de l'énergie solaire [14], tels que :

- Capteurs plans vitrés : ce sont les capteurs les plus répandus avec un bon rendement

Et un prix abordable. Ils sont utilisés pour la production de l'eau chaude sanitaire.

- Capteurs sous vide : ce sont des capteurs qui permettent d'atteindre de très hautes Températures pour le refroidissement et la climatisation.

L'énergie solaire thermique se trouve dans nombreuses applications :

- La production de l'eau de chaude,
- La réfrigération par absorption pour les bâtiments, ...etc.

II.2.2. Energie solaire thermodynamique :

L'énergie thermodynamique désigne l'énergie solaire récupérée par des capteurs cylindre-paraboliques, des centrales à tour ou des capteurs paraboliques pour produire

Chapitre II : Généralités sur le système photovoltaïque

l'énergie électrique. Le flux solaire concentré réchauffe un fluide caloporteur (l'huile thermique, des sels fondus, l'huile synthétique, ... etc.) dans une gamme de température allant de 250 °C à 1000 °C selon les techniques utilisées. Ces fluides viennent ensuite chauffer de l'eau dont la vapeur entraîne un turboalternateur à l'instar d'une centrale thermique classique [14].

Il existe un large éventail de technologies de concentration et chacune d'elles est capable de générer des températures élevées mais elles se différencient dans la façon dont elles suivent le soleil et concentrent la lumière [15].

II.2.3. Solaire photovoltaïque :

Le terme photovoltaïque désigne le processus physique qui consiste à transformer une partie du rayonnement solaire en une énergie électrique par le biais des cellules photovoltaïques. Le phénomène a été découvert par le physicien français A. Edmond Becquerel en 1839 et expliqué par Albert Einstein en 1905 [16].

Le mot photovoltaïque vient du Grec qui veut dire : - Photo : lumière, - Volt : unité de tension électrique du nom du physicien Alessandro Volta.

II.3. Historique :

IL est important de citer les dates les plus importantes dans l'histoire du photovoltaïque qui Noté :

1893: Le physicien français [Edmond becquerel] découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

1875: Werner Von siemens expose devant l'académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet Photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le Phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

1954: Trois chercheurs américains, chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule Photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des Solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

1958: Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973: La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université De Delaware.

Chapitre II : Généralités sur le système photovoltaïque

1983: La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000km en Australie [17].

Pour bien comprendre le Principe fonctionnement de cette source d'énergie et optimiser son utilisation, nous effectuons dans ce chapitre un bref rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque, la cellule photovoltaïque et ses performances ainsi quel générateur photovoltaïque (panneau solaire) et leurs performances.

II.4. Conception du générateur photovoltaïque :

La cellule PV fait à peu près 150 cm², produit 2,3 Watt-crête (WC) sous approximativement 0,5 Volt. Cette faible puissance est généralement insuffisante pour la majorité des applications PV domestiques ou industrielles. Afin de fournir au récepteur extérieur une tension et une puissance adéquates, plusieurs cellules PV doivent être connectées entre elles en série, pour former ce qu'on appelle : « un module ». Les modules peuvent être assemblés en série et/ou en parallèle pour former des panneaux (Figure II-1), eux-mêmes interconnectés pour former un champ PV [18].

On utilise généralement des modules PV de 12 V [19]. Composé normalement de 28 à 40 cellules. Un mètre carré de panneaux solaires peut produire jusqu'à 150 W, sans entretien pendant une trentaine d'années. La puissance que peut fournir un module est fonction de sa surface, de sa température et de l'ensoleillement incident. Elle s'exprime en Watt-crête et représente la puissance maximale du module pour les conditions normalisées de l'ensoleillement maximal de référence (1000 W/m²) et de température de référence (25°C). La tension délivrée par un module dépend du nombre de cellules connectées en séries. Pour les modules de petite puissance (< 75 WC), la tension d'usage est généralement comprise entre 12 et 15 V. Des modules de puissance plus importante sont obtenus par une augmentation du nombre de cellules en série (augmentation de la tension) et augmentation du nombre de branches de cellules en parallèle (augmentation de la valeur du courant). La tension d'usage peut alors être de 24 V ou plus selon la configuration du système à alimenter. La surface des modules est variable selon les fabricants et est généralement comprise entre 0,5 et 1 m². Elle peut atteindre 3 m² pour des fabrications spéciales et si l'importance de la commande le permet. L'assemblage des modules en série et/ou en parallèle permettra de fixer différentes tensions et puissances [19].

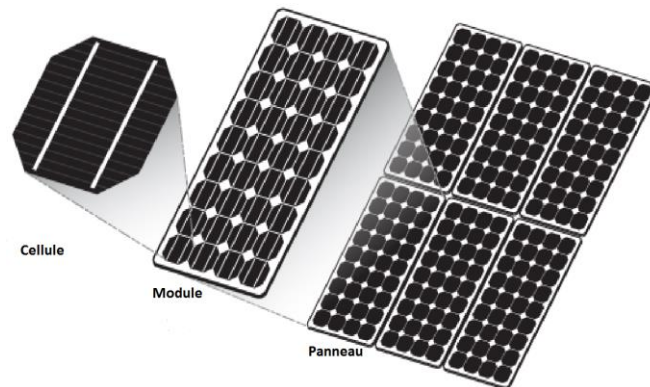


Figure II 1: Constitution d'un générateur photovoltaïque.

Dans un groupe de modules connectés en parallèle, les modules sont affectés par la même tension, les courants s'ajoutent. La propriété obtenue en ajoutant du courant à une certaine tension est obtenue. Dans un groupe en série, le module passe avec le même courant et les propriétés du groupe sont obtenues en série en ajoutant une tension à un certain courant. La plupart des modules sur le marché sont constitués de 36 cellules en silicium cristallin connectées en série pour des applications 12V.

II.5. Type de cellule de photovoltaïque :

II.5.1 Silicium :

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer des cellules. Les cellules photovoltaïques sont disponibles à l'échelle industrielle. Le silicium est fait de sable Quartz (dioxyde de silicium).



Figure II 2:silicium.

Certains matériaux composent les cellules solaires telles que le silicium cristallin et Silicium amorphe.

On peut distinguer deux grandes familles de matériaux PV :

- les matériaux solides cristallisés.

Chapitre II : Généralités sur le système photovoltaïque

- les couches minces.

Ces couches minces sont également solides, mais d'épaisseur nettement plus faible (de l'ordre du micron et en deca) et déposées sur un support. Alors que les photos piles cristallines sont massives et épaisses de 0,15-0,4 mm.

II.5.2 La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin :

Les cellules monocristallines sont la première génération de cellules solaires fabriquées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Fabriquées à partir d'un bloc.

Le processus de fabrication est long et consomme beaucoup d'énergie ; plus cher par contre plus efficace que le silicium poly cristallin. Le silicium brut est fondu pour créer une bobine de ruban.

Lorsque le refroidissement du silicium est lent et contrôlé, un monocristal est obtenu. Ensuite, la plaquette (plaque de silicium) est découpée dans la bande de silicium. Dimensions différentes, traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction PN, dépôt couche antireflet, complexes de montage), la puce devient une cellule. Les cellules sont rondes ou semi-carrées et, lorsqu'elles sont vues de près, elles sont de couleur uniforme. Elles ont un rendement de 12-18%, mais la méthode de production est laborieuse.



Figure II 3: Cellule en silicium monocristallin.

Les avantages :

- Panneau monocristallin: un haut rendement
- Un matériau pur
- Le monocristallin est le plus puissant
- Une longue durée de vie
- L'esthétique du monocristallin
- Meilleur rendement que le poly cristallin (environ 150 Wc/m²)

- Durée de vie importante (+/- 30 ans)

Les inconvénients :

- Un prix élevé
- Un poids important
- Impact environnemental
- Rendement faible sous un faible éclairement

II.5.3 La cellule photovoltaïque en silicium poly cristallin :

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.

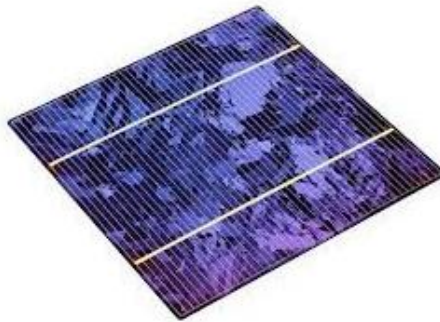


Figure II 4:Cellule photovoltaïque poly cristalline.

Les Avantages :

- Bon rendement (environ 100 WC/m²).
- Durée de vie importante (+/- 30 ans).
- Moins cher que le monocristallin.
- cellule carrée (à coins arrondis dans le cas du Si monocristallin) permettant un meilleur foisonnement dans un module

les Inconvénients :

- Rendement faible sous un faible éclairement.
- moins bon rendement qu'une cellule monocristalline : 11 à 15%
- ratio WC/m² moins bon que pour le monocristallin (environ 100 WC/m²)
- rendement faible sous un faible éclairement.

II.5.4 La cellule au silicium amorphe :

La cellule photovoltaïque au silicium amorphe est composée d'une couche fine de silicium, bien plus fine que les monocristallines ou les poly cristallines. On la trouve essentiellement pour alimenter les appareils de faible puissance, comme les montres solaires, les éclairages de jardin ou encore les calculatrices solaires.



Figure II 5:silicium amorphe.

Les Avantages :

- Moins coûteux que la première génération puisqu'elle consomme moins de matériau semi-conducteur.
- Moins polluant à la fabrication (Ne nécessite pas de passer par l'étape de transformation du silicium en "wafers" (moins énergivores)).
- Fonctionnent avec éclairage faible.
- Moins sensible à l'ombrage et aux élévations de température.
- Possibilité de créer des panneaux souples.
- Panneaux légers.

Les Inconvénients :

- Rendement global plus faible.
- Rendement moindre sous éclairage direct.
- Diminution de performance avec le temps plus importante.

II.5.5 La cellule en couche mince de tellure de cadmium :

Au fur et à mesure que le silicium se transforme, il produit un gaz qui tombe sur une plaque de verre. La cellule est gris très foncé ou brune. C'est une cellule de calculatrices et d'horloges appelée "solaire".



Figure II 6: Cellule photovoltaïque amorphe.

Les Avantages :

- Fonctionnent avec un éclairage faible
- Bon marché par rapport aux autres types de cellules
- Moins sensible aux températures élevées
- Souple

Les Inconvénients :

- Rendement faible en plein soleil (environ 60 WC/m^2), les cellules en couche mince nécessite une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses
- Durée de vie courte (+/- 10 ans), performances qui diminuent sensiblement avec le temps

Chapitre II : Généralités sur le système photovoltaïque

II.6. Comparatif des différentes technologies :

Tableau (II.1): comparatif des différents matériaux PV.

Matériau	Rendement	Longévité	caractéristiques	Principales utilisations
Silicium mono Cristallin	12 à 18% (24,7% <i>en laboratoire</i>)	20 à 30 ans	* Très performant * Stabilité de production d'W * Méthode de production coûteuse et laborieuse.	Aérospatiale, modules pour toits, façades,...
Silicium poly Cristallin	11 à 15% (19,8% <i>en laboratoire</i>)	20 à 30 ans	* Adapté à la production à grande échelle. * Stabilité de production d'W. Plus de 50% du marché mondial.	Modules pour toits, façades, générateurs...
Amorphe	5 à 8% (13% <i>en laboratoire</i>)		* Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. * Fonctionnement si faible luminosité. * Fonctionnement par temps couvert. * Fonctionnement si ombrage partiel * La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment
Composite mono cristallin (GaAs)	18 à 20% (27.5% <i>en laboratoire</i>)		* Lourd, fissure facilement	Systèmes de concentrateurs Aérospatiale (satellites)
Composite poly cristallin (CdS, CdTe, CuInGaSe₂, etc.)	8% (16% <i>en laboratoire</i>)		Nécessite peu de matériaux mais certains contiennent des substances polluantes	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment

Chapitre II : Généralités sur le système photovoltaïque

II.7. Caractéristique électrique :

II.7.1 L'effet photovoltaïque :

L'effet photo-électrique est un phénomène physique propre à certains matériaux qui sont classés dans la famille de semi-conducteurs, ils produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés au rayonnement solaire. La plus connue est le silicium cristallin qui est utilisé dans la production des panneaux solaires dans le monde par 90%, mais il existe de autres technologies qui ont déjà été fabriquées comme les couches minces ou qui sont en phase de recherche.

II.7.2 La cellule photovoltaïque :

Nous allons ici exposer les principes de fonctionnement principaux de cette technique. L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi un pair électron - trou. 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 le courant électrique circule. [20].

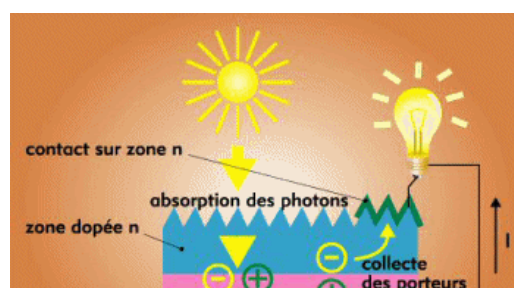


Figure II 7:schéma de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

II.7.3 Semi-conducteur :

Les semi-conducteurs sont des matériaux non conducteurs qui sont dopé avec d'autres atomes pour devenir des semi-conducteurs

II.7.4 Dopage du silicium :

Pour augmenter la conductivité de silicium on y introduit des impuretés. Ce procédé est appelé dopage.

II.7.4.1 Dopage de type N :

On remplace un atome de silicium par un atome pentavalent. Quatre d'entre eux assurent les liaisons avec les atomes voisins de silicium et le cinquième resté disponible va être excité vers la bande de conduction très facilement par l'agitation thermique. D'où le nombre d'électron libre qui va fortement augmenter : dans ce cas le nombre de trou est très inférieur au nombre d'électron libre. On obtient ainsi un cristal dopé N (négatif), les impuretés utilisées sont souvent du phosphore [21].

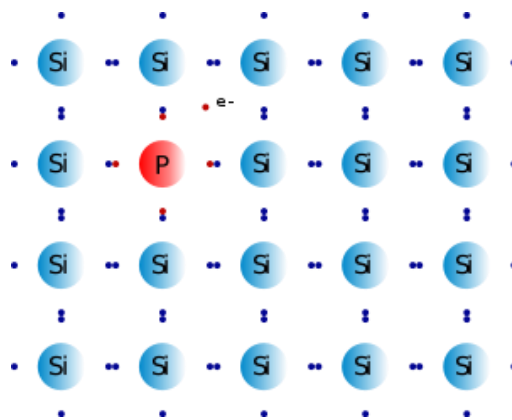


Figure II 8: dopage n type.

II.7.4.2 Dopage de type P :

De la même façon on introduit des atomes trivalents, ses trois électrons vont assurer les liaisons covalentes avec trois atomes voisins mais laisser un trou au quatrième. Ce trou se déplace de proche en proche dans le cristal pour créer un courant. Ici le nombre de trous est très supérieur au nombre d'électrons libres du cristal intrinsèque, on obtient donc un cristal dopé P (positif), les impuretés utilisées sont souvent du Bore [21].

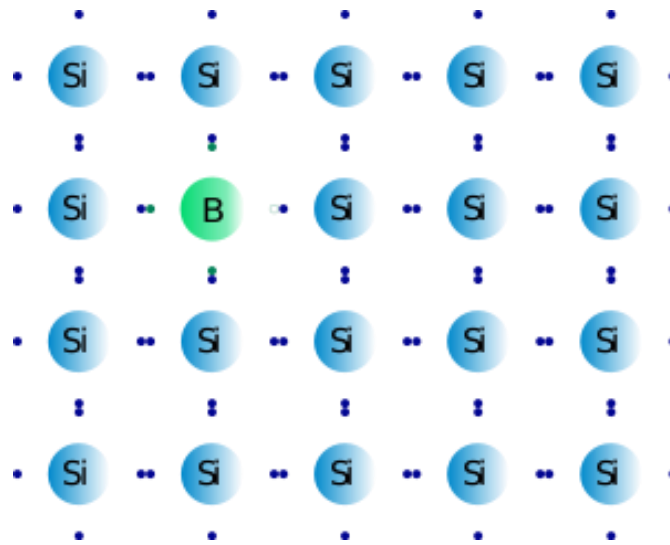


Figure II 9:dopage p type.

II.7.5 La jonction p-n :

La mise en contact d'un semi-conducteur dopé «N» et un semi-conducteur dopé «P», permet d'obtenir ce que l'on appelle une jonction " PN " figure (II-10). La transition de la zone P à la zone N se fait brutalement. Lorsque les deux semi-conducteurs de type N et de type P sont assemblés, la différence de concentration entre les porteurs des régions P et N va provoquer la circulation d'un courant de diffusion. Les trous de la région P, vont diffuser vers la région N, laissant derrière eux des atomes ionisés, qui constituent autant de charges négatives fixes. Il en est de même pour les électrons de la région N qui diffusent vers la région P laissant derrière eux des charges positives. Il apparaît au niveau de la jonction une zone contenant des charges fixes positives et négatives. Ces charges vont créer un champ électrique qui va s'opposer à la diffusion des porteurs pour créer une situation d'équilibre électrique. La région dépeuplée de porteurs mobiles est appelée zone de charge d'espace [22].

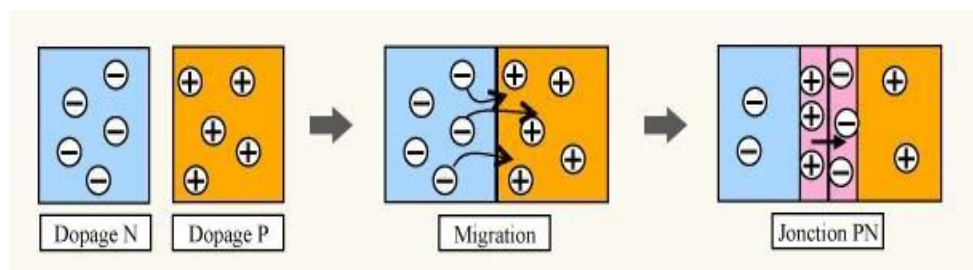


Figure II 10: schéma de jonction pn.

II.7.6 Modélisation de la cellule solaire :

La caractéristique I– V du générateur PV est basée sur celle d'une cellule élémentaire modélisée par un circuit équivalent. Il existe plusieurs modèles électriques de la cellule photovoltaïque, mais dans cette étude, nous utilisons le modèle schématisé dans par figure (II- 11) Ce circuit introduit une source de courant et une diode en parallèle, ainsi que des résistances série (R_s) et parallèle (R_p) pour tenir compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule [23].

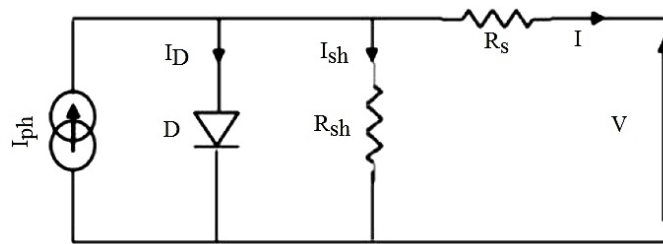


Figure II 11: Schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque Modèle à une diode.

La figure (II-11) représente la cellule photovoltaïque comme source de courant. Qui convertit le flux lumineux en énergie électrique. La résistance série (R_s) représente la résistance de contact et de connexion, une autre résistance en parallèle (R_{sh}) représente le courant de fuite. Une diode D en parallèle qui modélise la jonction PN. Ce circuit peut être utilisé aussi bien pour une cellule élémentaire, que pour un module ou un panneau constitué de plusieurs modules.

Avec un tel circuit électrique équivalent, on peut écrire :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_d - I_{Rsh}$$

Avec :

I_{cell} : Courant délivré par la photopile.

I_{ph} : Photo courant.

I_d : Courant de la diode.

I_{Rsh} : Courant shunt.

On a la résistance (R_{sh}) plus élevée donc on peut négliger le courant I_{Rsh} donc l'équation s'écrit :

$$I_{cell} = I_{ph} - I_d$$

II.7.7 Courant de court-circuit ICC :

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant $V=0$ dans le schéma équivalent). 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.

II.7.8 Tension à circuit ouvert, V_{co} :

La tension à circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule 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.

$$V_{co} = \frac{kt}{e} \ln \left(\frac{I_{cc}}{I_s} + 1 \right)$$

II.7.9 Facteur de forme (FF) :

Un paramètre important est souvent utilisé à partir de la caractéristique $I(V)$ pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur PV : c'est le facteur de remplissage ou fill factor (FF).

Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_{max} et la puissance formée par le rectangle ($I_{cc} \cdot V_{oc}$). Plus la valeur de ce facteur ne sera grande, plus la puissance exploitable le sera également. Les meilleures cellules auront donc fait l'objet de compromis technologiques pour atteindre le plus possible les Caractéristiques idéales.

Il est défini par la relation suivante :

$$FF = P_{max} / V_{oc} \times I_{cc}$$

II.7.10 Résistance shunt (R_{sh}) :

R_{sh} est une résistance shunt liée aux effets de bord et aux recombinaisons volumiques. La Pente de la courbe courant-tension au point I_{cc} représente l'inverse de la résistance shunt ($1/R_{sh}$).

En général, la valeur de R_{sh} est plus grande que R_s d'au moins un ordre de grandeur.

II.7.11 Rendement énergétique :

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule P_{max} (I_{opt} , V_{opt}) et la puissance solaire incidente.

Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{opt}V_{opt}}{P_{inc}}$$

II.7.12 Effet de la variation de la résistance série :

La valeur de la résistance série est très faible, et dans certains cas, elle peut être négligée [24]. Cependant, pour rendre le modèle approprié pour n'importe quel module photovoltaïque donné, il est possible de faire varier cette résistance et prédire l'influence de sa variation sur les sorties du module PV. Comme on le voit dans la figure (II- 12), la variation de R_s affecte l'angle de la courbe I-V en résultant une déviation de la pente du point de puissance maximale [25].

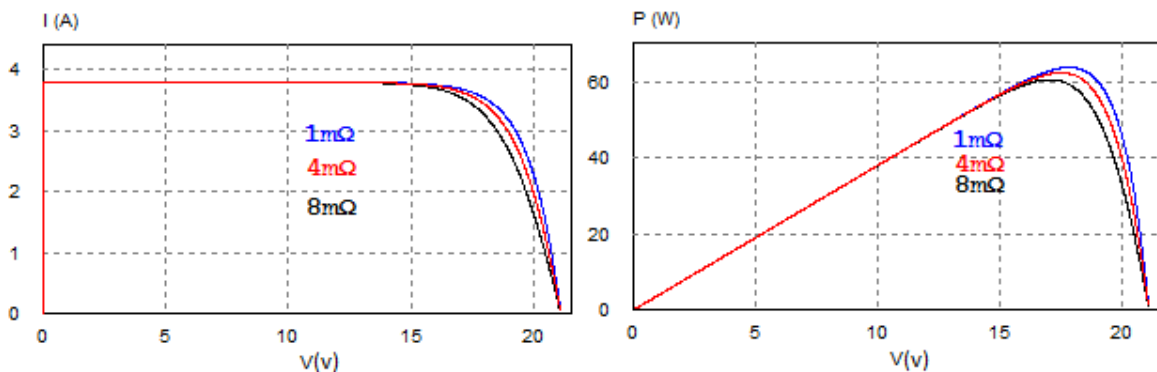


Figure II 12: Les courbes I-V et P-V pour différentes valeurs de R_s .

II.7.13 Effet de la variation de la résistance shunt :

R_{sh} doit être suffisamment grande pour une meilleure puissance de sortie et un bon facteur de remplissage. En effet, pour une faible R_{sh} , le courant s'effondre plus fortement ce qui signifie que la perte puissance est élevée et le facteur de remplissage est faible (figure II-13)[25].

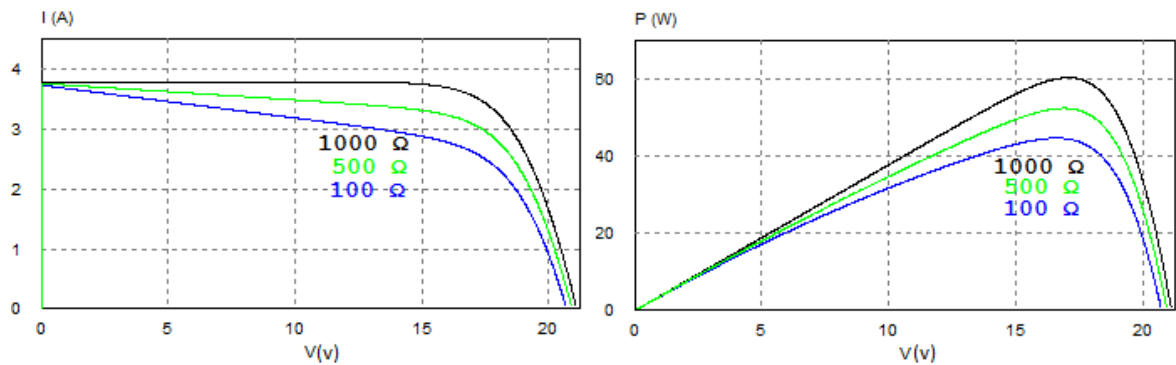


Figure II 13: Les courbes I-V et P-V pour différentes valeurs de Rsh.

II.8. Défauts dans générateur photovoltaïque :

Dans le générateur PV On peut distinguer deux types de défaut :

II.8.1 Défaut périodique :

On a analysé deux défauts :

II.8.1.1 Points chauds (Hot spots):

Un point chaud est une zone d'un module PV qui a une température très élevée et qui pourrait endommager la cellule ou n'importe quel autre élément du module. Le point chaud pourrait être la cause de plusieurs défauts de la cellule, y compris l'ombrage partiel, la différence entre cellules. Car les constructeurs garantissent une différence de caractéristiques I(V) de +/-3 % entre deux cellules PV [26], et par conséquent la mise en série de ces cellules créera donc d'importantes pertes. Une autre cause ou conséquence est la mauvaise connexion entre les cellules [27].

Lorsqu'une cellule est ombrée, elle peut fonctionner en mode inverse et au lieu de fonctionner comme génératrice elle fonctionne comme consommatrice.

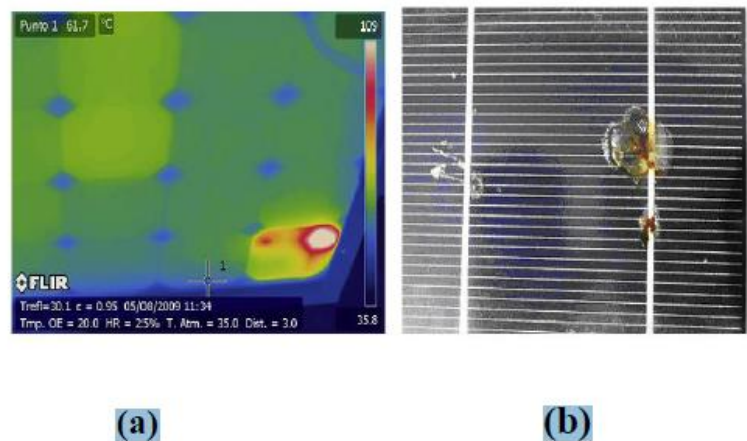


Figure II 14: défaut de point chaud.

Si le point chaud est causé par un shunt (court-circuit d'une cellule) ou une erreur dans l'interconnexion entre les cellules générant également un shunt. Le point chaud est directement lié à une erreur de fabrication de la cellule ou du module PV. En outre, si une cellule génère un courant plus faible que le reste des cellules (appelée mésappariement) Un point chaud apparaît sous la forme d'une cellule entière fonctionnant à une température plus élevée que le reste des cellules (Figure II.14.a) elle peut être considérée aussi comme une erreur de fabrication du module photovoltaïque. Le hot spot (Figure II.14.b) pourrait causer des dommages à la cellule ou l'encapsulant dans un court laps de temps de fonctionnement [28].

II.8.1.2 Defaults d'ombrage :

On peut distinguer deux types d'ombrages :

- l'ombrage total : on appelle ombrage total ou complet ce qui vient couvrir le panneau (couverture, branche cassée, saleté de toute nature, etc.).
- l'ombrage partiel : c'est un ombrage qui laisse passer en partie les rayons du soleil.

Les panneaux solaires photovoltaïques sont très sensibles à l'ombre. Les conditions d'ombrage totales ou partielles ont un impact important sur la capacité de production d'énergie et peuvent entraîner des pertes. Les cellules d'un panneau solaire sont généralement connectées en série pour obtenir plus de puissance, et donc une production convenable d'électricité. Mais lorsqu'un ombrage se produit, cette structure présente certaine limite [29].

L'énergie produite par une chaîne de cellules est déterminée par celle qui produit le moins. Lorsqu'une cellule est ombragée, l'ensemble de la série est impacté. Pour éviter les

perdes d'énergie, l'installation comprend généralement des diodes de dérivation câblées en parallèle aux cellules solaires. Lorsqu'une cellule solaire est ombragée, la diode de dérivation permet de « contourner » une partie des cellules et les autres cellules peuvent ainsi générer de l'énergie à tension réduite [30].

➤ **Les différents types d'ombrages :**

- **Ombre temporaire :**

L'ombrage temporaire résulte de nuages, de déjections d'oiseaux, de poussières ou de feuilles mortes.

- **Ombre proche :**

Les ombres causées par les obstacles proches sont directes. Les cheminées, supports d'éclairage, antennes paraboliques, saillies de toit et de façade, structures de bâtiment décalées, superstructures de toit, pour ne citer que quelques exemples.

- **Ombre lointain :**

L'ombrage lointain provient de l'environnement du bâtiment. Des montagnes, des arbres, des câbles passant au-dessus des bâtiments, des bâtiments voisins ou des bâtiments distants pourraient également être source d'ombre.

- **Auto-ombrage :**

Avec les systèmes de montage en tables, une rangée de modules peut entraîner un ombrage sur la rangée voisine. Dans ce cas de figure, il est nécessaire d'optimiser l'inclinaison et l'espacement entre les rangées de modules.

- **Ombre direct :**

L'ombrage direct peut entraîner de grandes pertes d'énergie, car la proximité de l'objet provoquant l'ombre empêche le panneau solaire photovoltaïque de capter la lumière.

II.8.2 Défaut permanents :

II.8.2.1 Vieillessement :

Le Phénomène de vieillissement se produit pour des systèmes hors équilibre qui évoluent au cours du temps pour atteindre leurs états d'équilibre plus stables. Le vieillissement se caractérise par un ralentissement de la dynamique interne du système au cours du temps [31].

Chapitre II : Généralités sur le système photovoltaïque

Des études de la dynamique interne basées sur la rhéologie et la diffusion de la lumière ont permis d'apporter de nombreuses informations sur les comportements de ces systèmes comme le ralentissement de la relaxation [31].

II.8.2.2 Court-circuit :

Le court-circuit est le problème le plus courant dans les générateurs PV, et il a causé de gros dégâts dans les installations photovoltaïques.

II.8.2.3 Circuit ouvert :

Un circuit ouvert est un terme utilisé en électronique pour désigner une portion d'un circuit électrique qui n'est reliée à aucune résistance ou aucun élément électrique, et par conséquent où aucun courant ne passe.

II.9. Conclusion :

Ce chapitre est consacré à la présentation des principales caractéristiques et des technologies des éléments constitutifs d'un système photovoltaïque, on a parlé sur les différentes technologies solaires, historique, la conception du générateur photovoltaïque et présenter les types de cellule photovoltaïque, à la fin nous avons étudié le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque et présenté leurs caractéristiques.

Dans le chapitre prochain, on présentera une simulation d'un système photovoltaïque on utilise l'outil MATLAB 2016a –SIMULINK.

Chapitre III :

modélisation d'un system photovoltaïque

III.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on présentera une simulation d'un système photovoltaïque (cellule, générateur) dans les conditions standard ($E=1000W/m^2$, $T=25^\circ c$). On utilise l'outil MATLAB 2016a -SIMULINK pour faire la simulation de la cellule et du générateur PV.

- **SIMULINK :**

Simulink est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation de systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal. Simulink est intégré à MATLAB, fournissant ainsi un accès immédiat aux nombreux outils de développement algorithmique, de visualisation et d'analyse de données de MATLAB [32].

III.2 Caractéristique de cellule photovoltaïque :

III.2.1 Circuit idéale :

Dans le cas idéal, une cellule peut être schématisée par un circuit électrique équivalent contenant un générateur de courant(I_{ph}) en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la Figure (III-1) qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire idéale [33].

- circuit équivalent d'une cellule solaire idéale :

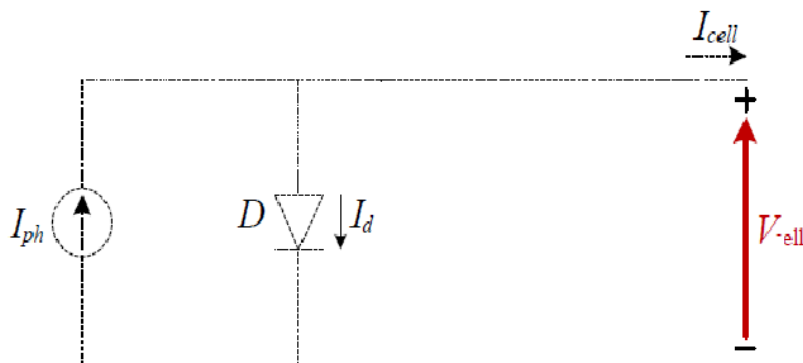


Figure III 1:Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque idéale.

Chapitre III : modélisation d'un system photovoltaïque

Avec :

I_{ph} : courant photonique ou de l'éclairement,

I_D : courant de saturation traversant la diode,

D : diode caractérisant la jonction PN,

V_{cell} : tension délivrée par le panneau,

I_{cell} : courant délivré par le panneau

Les équations représentant ce modèle sont :

- **Equation 1 :** $I_{Ph} = I_{cell} - I_D$ et $I_{cell} = \frac{E}{E_{ref}}$
- **Equation 2:** $I_D = I_0 (e^{\frac{V_d}{V_t}} - 1)$ et $V_t = \frac{N q t}{q}$

Avec:

E : L'éclairement absorbé par la cellule

E_{ref} : L'éclairement de référence (1000 W/m²)

I_0 : courant de saturation inverse de la diode,

q : Charge de l'électron (1.6. 10⁻¹⁹C)

V_D : tension de la diode,

K : Constant de Boltzmann (1.38. 10⁻²³J/K)

T : température.

V_t : Tension thermique [V]

N : Facteur d'idéalité de la photopile

En remplacé équation (2) dans (1) :

$$I_{PV} = I_{cell} - I_0 (e^{\frac{q V_d}{\alpha K T}} - 1)$$

III.2.2 Circuit réel :

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte des effets résistifs résistance shunt (R_{sh}) et Résistance série (R_s).

Dans ce cas, la résistance shunt notée R_{sh} modélise les courants de fuite et la résistance série notée R_s modélise les pertes en tension à la sortie de la cellule.

Il Y a deux model de cellule photovoltaïque réelle :

a) Modèle à une seule diode :

La performance d'une cellule solaire est limitée par l'influence de deux phénomènes Physiques assimilables à deux résistances série et résistances shunt [34].

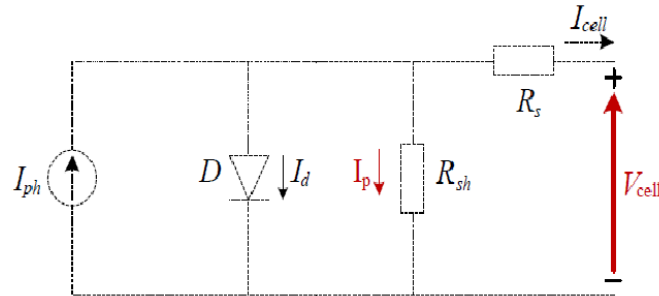


Figure III 2:Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque réel.

Rs : La résistance série est due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et des contacts face avant et arrière.

Rsh : Résistance shunt provient des pertes par recombinaisons dues essentiellement à l'épaisseur, aux effets de surface, ainsi qu'au non idéalité de la jonction PN [34].

Les équations représentant cette modèle sont :

- Photo courant :

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} (I_{sc} + K_i(T - T_n))$$

Isc [A] : Courant de court-circuit du panneau (donné par le constructeur).

Ki [A/K] : Courant de court-circuit divisé par le coefficient de température du panneau.

T [K] : Température ambiante.

Tn [K] : Température de référence (298 K).

Gref [W/m²] : Irradiation de référence (1000 W/m²).

G [W/m²] : Irradiation sur la surface de la cellule.

- Saturation courant:

$$I_0 = I_{rs} \left(\frac{T}{T_n} \right)^3 e^{\frac{q \cdot E_g}{A \cdot k} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right)}$$

Eg [eV] : Énergie de gap du semi-conducteur (1.1 eV pour le silicium poly cristallin à 25°C).

- Reserve Saturation courant :

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{q \cdot V_{oc}}{N_s \cdot K \cdot n \cdot T}\right) - 1}$$

Chapitre III : modélisation d'un system photovoltaïque

V_{co} [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.

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

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

Courant travers résistance shunt :

$$I_{sh} = \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}}$$

Production de courant :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot N_s \cdot T}\right) - 1 \right) - I_{sh}$$

V_T : représente le potentiel thermique,

N_S : nombre de cellules connectées en série.

I_{sc} : le courant de court-circuit standard (aux conditions standards)

T_n : la température de référence (298,15 K)

K_i : le coefficient de référence (1000 W/m^2)

G : l'ensoleillement (Watt)

I_{sc} : le courant de court-circuit de la cellule

E_g = énergie de seuil

q : Charge de l'électron ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

K : Constant de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$)

n = facteur d'idéalité de la diode = 1,6

I_{sc} : De température du courant du court-circuit (A/K)

G_{ref} : l'ensoleillement

b) Modèle à deux diodes :

Dans ce modèle une diode supplémentaire est mise en parallèle au circuit précédent, comme le montre la figure (III-3). C'est un circuit réalisé par une connexion en parallèle de deux diodes ayant chacune d'elles un courant de saturation [35].

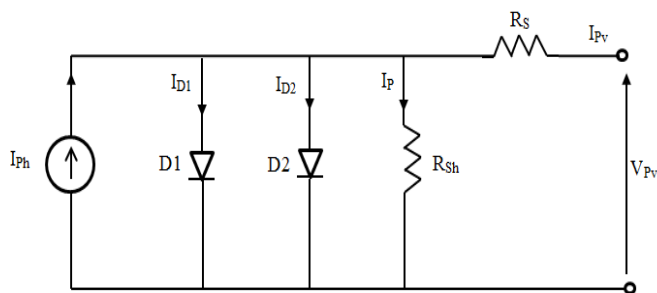


Figure III 3:Modèle électrique équivalent à deux diodes de la cellule photovoltaïque.

Avec :

- ID1 : courant de saturation traversant la diode D1.
- ID2 : courant de saturation traversant la diode D2.

Le courant généré par cette schématisation est donné par l' expression suivante :

$$I_{PV} = I_{Ph} - I_{D1} - I_{D2} - I_P$$

$$I_{PV} = I_{Ph} - I_{01} \left[\left(e^{\frac{q V_d}{\alpha_1 V_T}} - 1 \right) - I_{02} \left(e^{\frac{q V_d}{\alpha_2 V_T}} - 1 \right) \right] - \frac{V + R_s I}{R_p}$$

Et comme :

$$I_{D2} = I_{D1} = I_0$$

$$V_{T1} = V_{T2} = V_T$$

$$I_{PV} = I_{Ph} - I_0 \left[\left(e^{\frac{q V_d}{\alpha_1 V_T}} - 1 \right) + \left(e^{\frac{q V_d}{\alpha_2 V_T}} - 1 \right) \right] - \frac{V + R_s I}{R_p}$$

III.3 Simulation de la cellule de photovoltaïque :

Nous avons prendre une cellule depuis le module ISOFoton 106-12V

III.3.1 Les caractéristiques de la cellule:

Tableau (III.1) : Caractéristique électrique de cellule dans les conditions standards.

Paramètres	Valeur
Température standard	25°C
Eclairement standard	G=1000 W/m ²
Facteur d'idéalité A	1.6
Isc (A)	6.54
Vco (V)	0.6
Energie de la bande interdite Eg	Eg ≈ 1.1eV

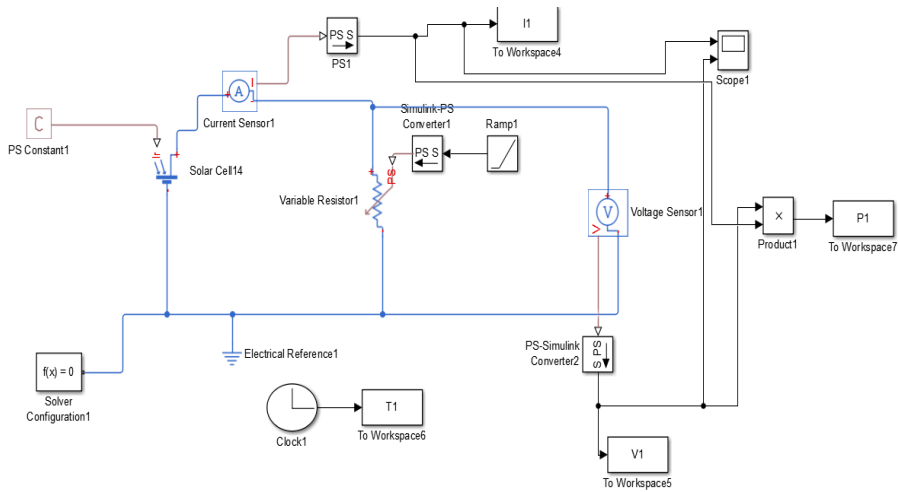


Figure III 4: Schéma bloc de Cellule PV en MATLAB-SIMULINK.

III.3.2 Caractéristiques I(V) et P(V) :

Les résultats de la simulation module de photovoltaïque (utilisant le logiciel MATLAB R2016a) d'un Caractéristiques (courant (I) /tension (V)) est représentés dans les figures (III-5) et (III-6) (puissance (p) /tension (V)) de la cellule PV dans les conditions standards ($T=25^{\circ}\text{c}$. $E=1000 \text{ W/m}^2$).

La figure (III-5), (III-6) représente la caractéristique (courant (I) /tension (V)), (Puissance(W)\ Tension (V)) d'une cellule PV ($E=1000 \text{ W/m}^2$) et ($T=25^{\circ}\text{c}$). Le courant de court-circuit est égale 6.54 A et V_{co} égale 0.6 v.

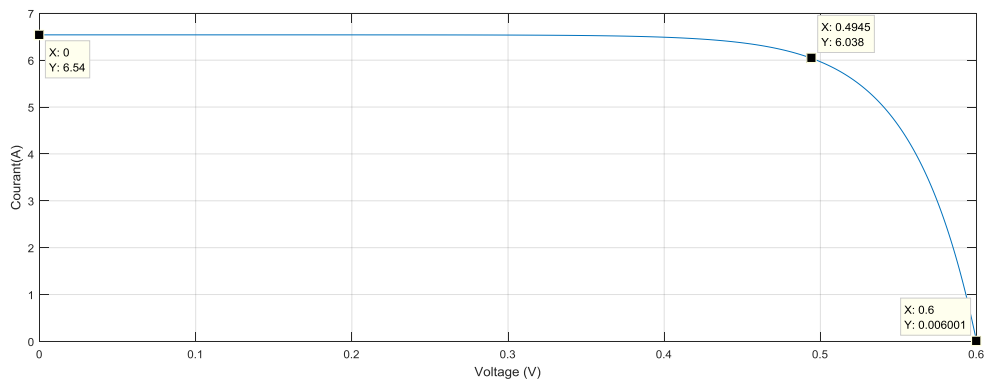


Figure III 5: la caractéristique (I/V) d'une cellule PV.

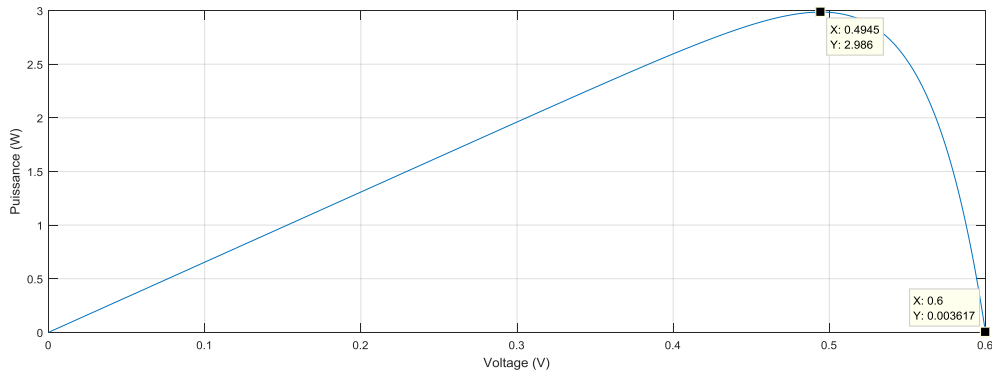


Figure III 6: caractéristique (P /V) d'une cellule PV.

III.3.3 Changement de la température sur la cellule photovoltaïque :

La figure ci-dessus (III-7) représente changement de la température (courant (I) /tension (V)) ET (III-8) représente changement de la température (Puissance (W) /tension (V)).

Dans même condition de l'éclairement ($E=1000 \text{ W/m}^2$) et différents température ($T=20, 40, 60, 80$) on observe que le courant de court-circuit augmenté avec l'augmentation de la température par contre La tension de circuit ouvert est diminué.

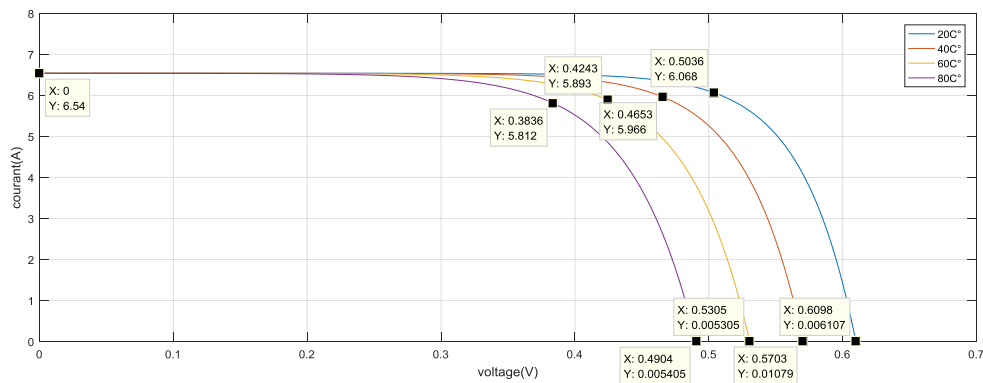


Figure III 7représente changement de la température (courant /tension).

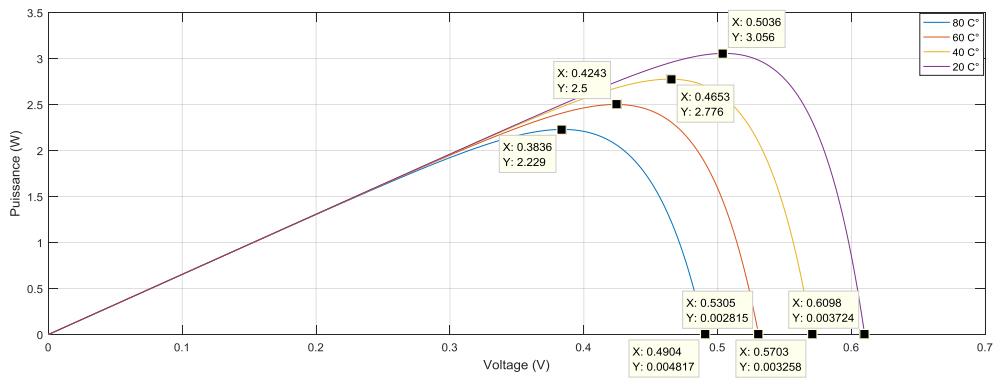


Figure III 8:représente changement de la température (Puissance /tension).

On peut distinguer la conclusion suivante : les cellules PV donné sont meilleure performance dans un environnement froid avec ciel net.

III.3.4 Influence de l'éclairement sur cellule PV :

Cette deux figures (III-9) et (III-10) représentent la caractéristique (courant (I)-Tension (V)) et (Puissance (P)-Tension (V)) d'une cellule photovoltaïque en fonction de variation de l'éclairement (E) entre ($E=400w /m^2$ et $E=1000w /m^2$) avec un pas de ($E=200w /m^2$) avec une température constant ($T=25^{\circ}C$).

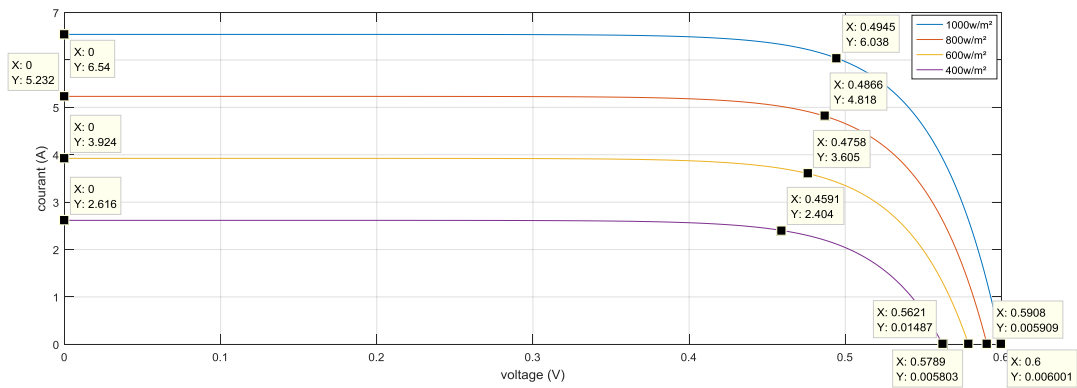


Figure III 9:Changement de l'éclairement sur la caractéristique (Courant(I)\Tension(V)).

On observe que le courant de court-circuit est diminué rapidement par rapport de la tension du circuit ouvert avec les diminutions l'éclairement (E). Ce qui prouve que le courant de court-circuit (I_{cc}) de la cellule dépend de l'éclairement, par contre la tension de circuit ouverte (V_{co}).

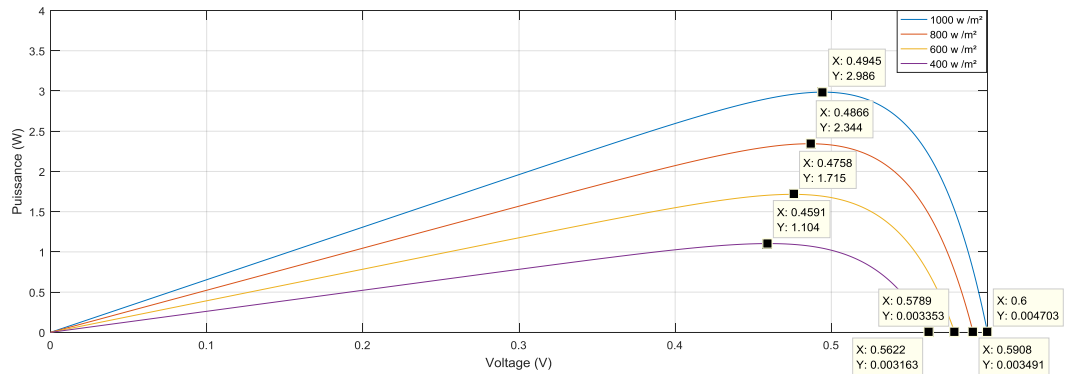


Figure III 10: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (Puissance (W)\Tension(V)).

On observe d'après la figure (III-10) que la variation de l'éclairement influe sur la puissance de la cellule, plus l'éclairement (E) augmente plus la puissance (W) augmente.

III.3.5 Influence de l'association parallèle de la cellule PV :

Les figures (III-11) et (III-12) représentent la caractéristique (Puissance(P)-Tension(V)), (courant(I)-Tension(V)) d'une association de cellule en parallèle :

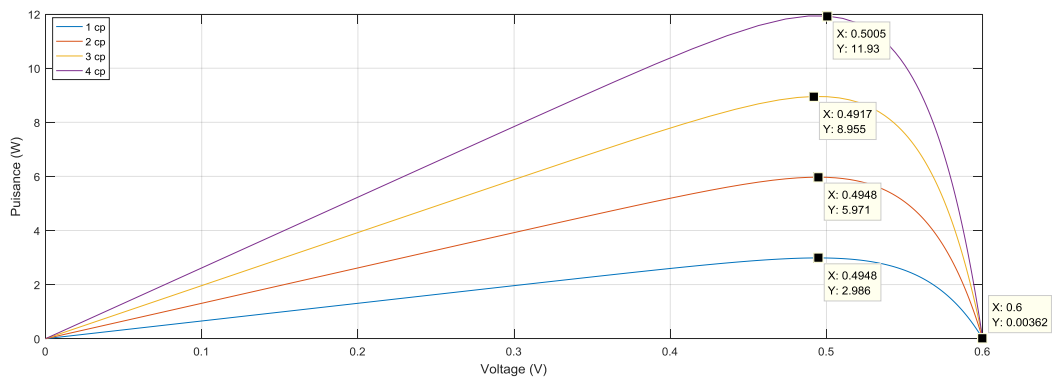


Figure III 11: Caractéristique P(V) pour différentes nombre de cellule en parallèle.

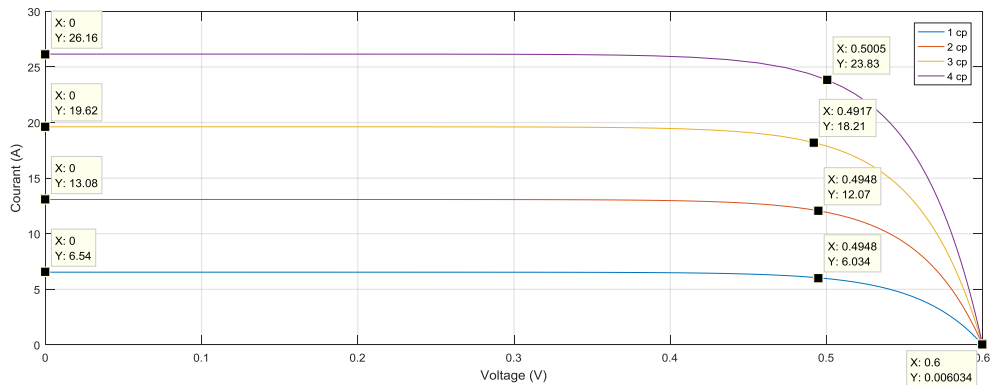


Figure III 12:Caractéristique I(V) pour différents nombre de cellule en parallèle.

On remarque que la tension de circuit ouvert V_{oc} ne augmente pas quand le nombre de cellule en parallèle (N_{cp}) augmente, et par contre le courant de court-circuit (I_{cc}) est influé par l'augmentation du nombre de cellule en parallèle. Alors que la puissance augmente (P).

III.3.6 Influence de l'association série des cellules PV :

Les figures (III-13), (III-14) est représentent les caractéristique I(V), P(V) d'une association de Cellule photovoltaïque en série :

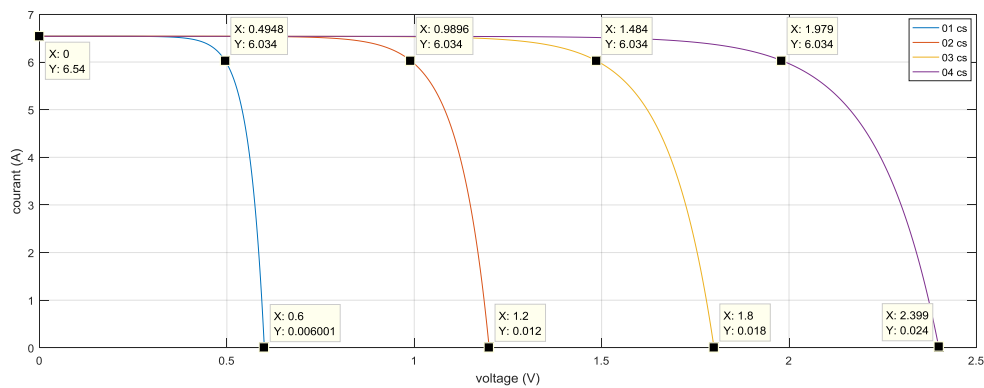


Figure III 13: Caractéristique I(V) pour différents nombre de cellule en Série.

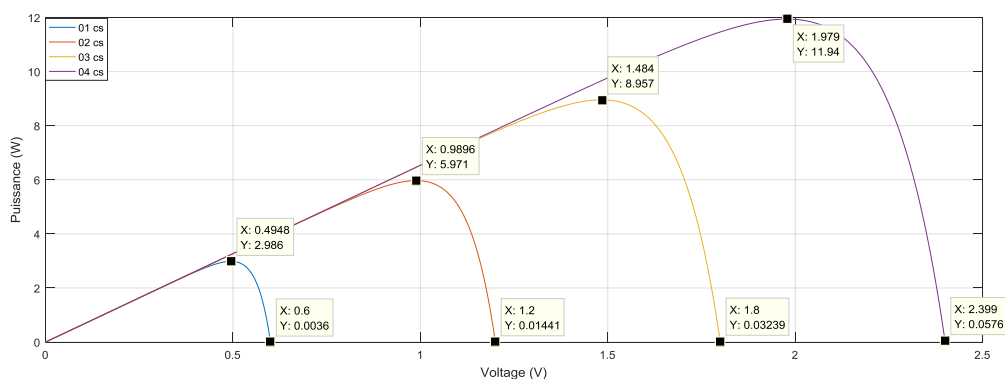


Figure III 14: Caractéristique P(V) pour différents nombre de cellule en Série.

On remarque que la tension de circuit ouvert (V_{co}) augmente quand le nombre de cellule en série (N_{cs}) augmente, et par contre le courant de court-circuit (I_{cc}) n'influe pas par l'augmentation du nombre de cellule en série (N_{cs}). Alors que la puissance augmente (P).

III.3.7 Influence de l'association parallèle / série des cellules PV :

Les figures (III-15) et (III-16) représentent la caractéristique P(V), I(V) d'une association de Cellule en parallèle / série :

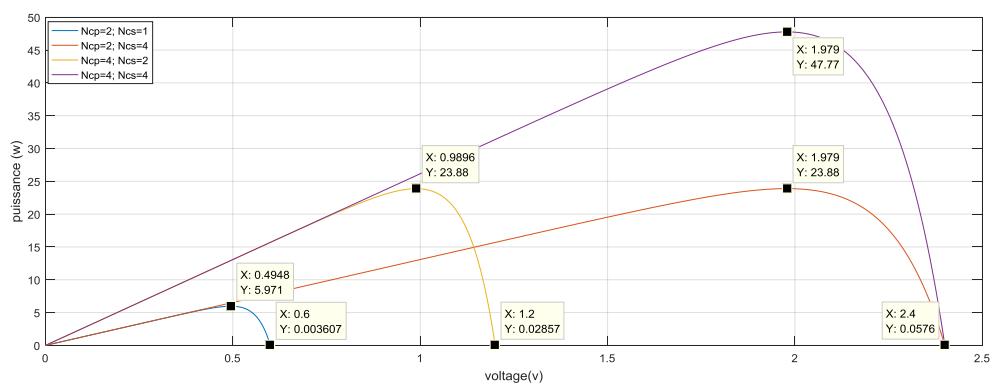


Figure III 15:Caractéristique P(V) pour différents nombre de cellule en (parallèle / Série).

Chapitre III : modélisation d'un system photovoltaïque

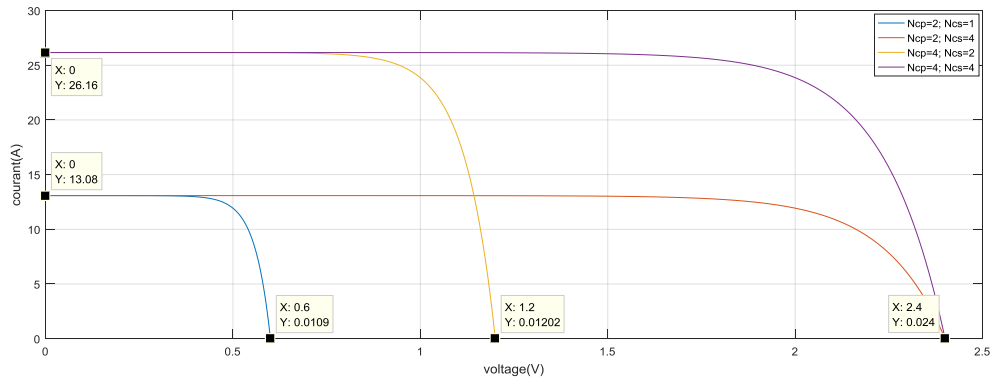


Figure III 16:Caractéristique I(V) pour différents nombre de cellule en (parallèle / Série).

On remarque que le courant de court-circuit (I_{cc}) et La tension de circuit ouvert(V_{co}) augmente relativement quand le nombre de cellule en série/parallèle augmente, alors la puissance (P) augmente aussi.

III.4 Simulation d'un module photovoltaïque :

Nous avons fait la simulation du module ISO Foton 106-12V.

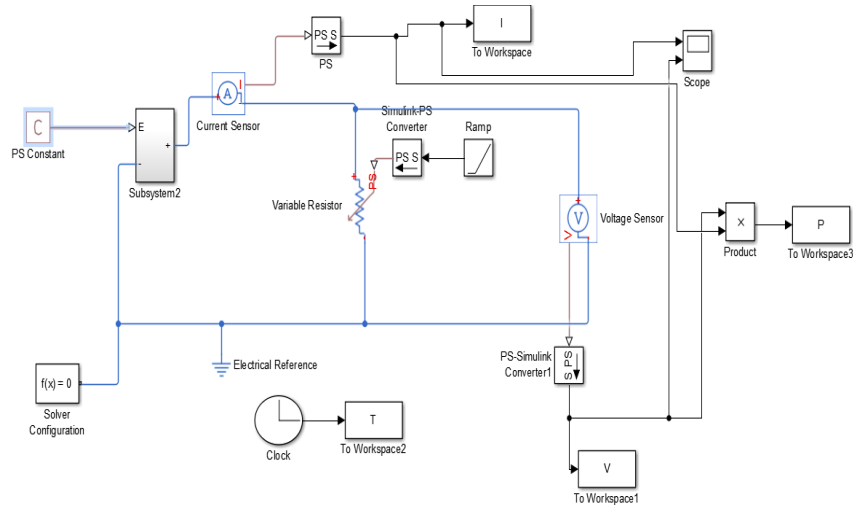


Figure III 17:Schéma bloc de module photovoltaïque en MATLAB-SIMULINK.

Chapitre III : modélisation d'un system photovoltaïque

Tableau (III.2) : Caractéristique électrique du module ISO Foton 106-12V dans les conditions standards.

Paramètres	Valeur
Température standard	25°C
Eclairement standard	E=1000 W/m ²
Facteur d'idéalité A	1.6
Isc (A)	6.54
Vco (V)	21.6
Energie de la bande interdite Eg	Eg ≈ 1.1eV

Les figures suivantes (III-18, III-19, III-20, III-21 et III-22, III-23) représente les résultats D'une simulation de module photovoltaïque en MATLAB-SIMILINK en tenant compte l'influence de la température et l'éclairement.

III.4.1 Caractéristique I(V) P(V) du module photovoltaïque:

Nous avons prendre un module composé de (36) cellules connectées en série et considéré dans les conditions standards. T=25°C, E=1000W/m².

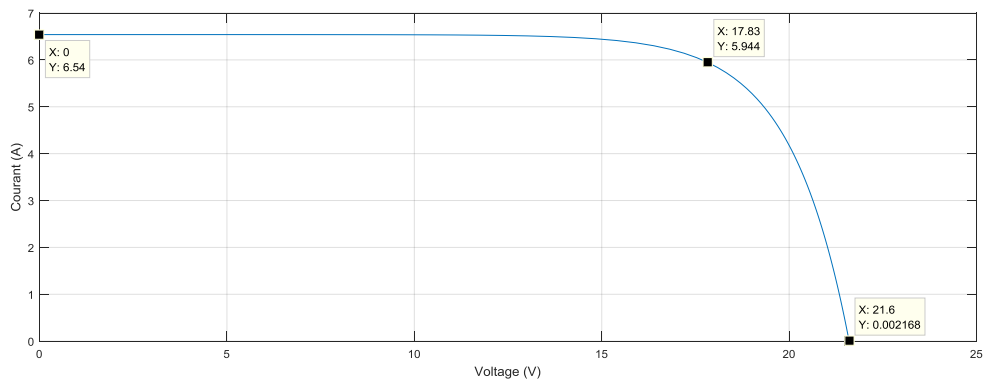


Figure III 18: Caractéristique I(V) d'un module PV.

Chapitre III : modélisation d'un system photovoltaïque

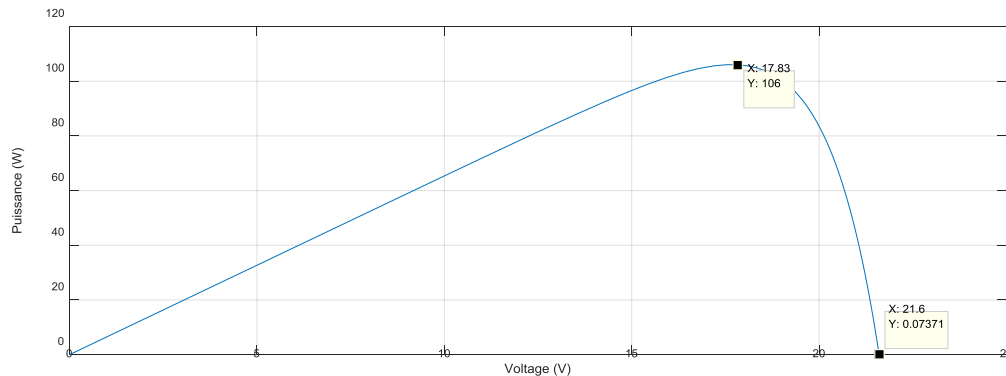


Figure III 19: Caractéristique P(V) d'un module PV.

Le courant de court-circuit est $I_{cc}=6.54A$, la tension de circuit ouvert est $V_{oc}=21.6V$ (Figure III-18). Ce résultat peut être expliqué par le fait que le module est composé de 36 Cellules connectées en série ce qui donne :

$$V_{coNcs}=36*0.6=21.6V$$

La puissance débitée par le module PV dépende du point de fonctionnement du générateur PV comme il a monté par la (figure III-19). Le point max représente la puissance Maximale débitée par le générateur.

A ce point $P_{max}=105.8W$, ce qui est vérifiée par :

$$P_{max}=17.54 * 6.047 =106W.$$

III.4.2 Influence de l'éclairement sur module PV :

L'éclairement est le paramètre le plus influant sur la cellule photovoltaïque, Les figures (III-20, III-21) illustre respectivement les caractéristiques I-V et P-V de module photovoltaïque simulée sous température de référence de ($T=25\text{ }^{\circ}C$) et sous divers niveaux d'éclairements.

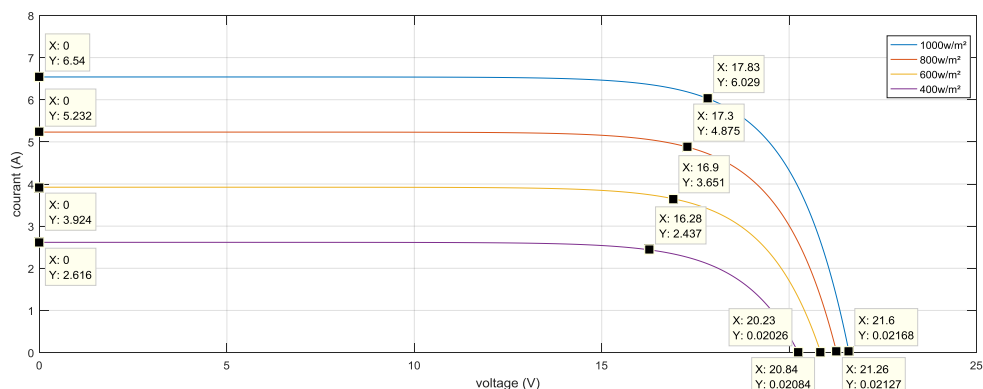


Figure III 20: changement de l'éclairement sur la caractéristique (Courant(I)\voltage(V)).

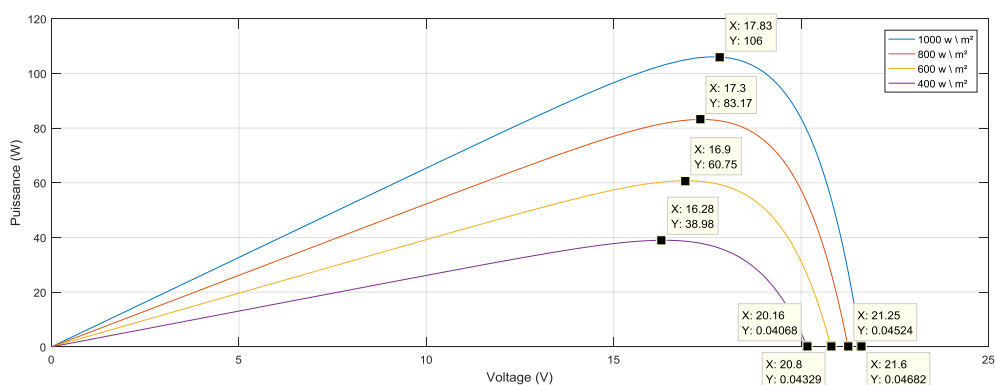


Figure III 21: Influence de l'éclairement sur la caractéristique (Puissance (W) \ Voltage (V)).

On remarque que la tension du circuit ouvert (V_{co}) reste très peu changée en faisant varier l'éclairement (E), par contre le courant du court-circuit (I_{cc}) varie beaucoup en augmentant l'éclairement (E) ce qui engendre une augmentation de la puissance du module photovoltaïque.

III.4.3 Influence de la température sur le module PV :

La température est le second paramètre le plus important dans le comportement du module photovoltaïque.

Les figures (III-22, III-23) représentent respectivement les caractéristiques I-V et P-V de module photovoltaïque simulée sous de d'éclairements. Référence de ($E=1000w/m^2$) et sous divers niveaux température.

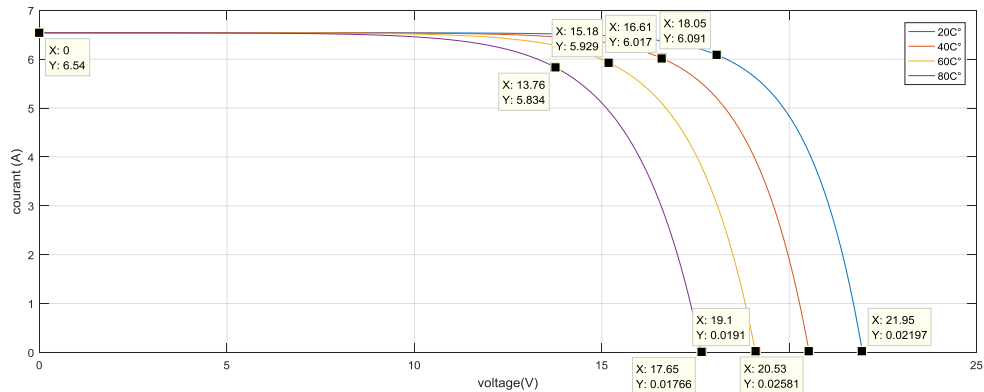


Figure III 22: Caractéristique I(V) pour différentes températures.

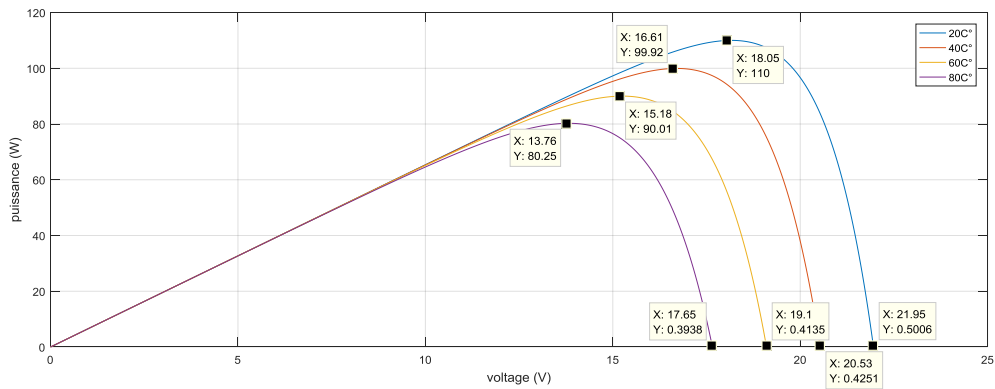


Figure III 23: Caractéristique P(V) pour différentes températures.

On remarque que le courant du court-circuit (I_{cc}) très peu changée en faisant varier la température (T), par contre la tension du circuit ouvert (V_{co}) augment quand la diminution de température (T) ce qui engendre une augmentation de la puissance du module photovoltaïque.

III.5 Simulation Générateur photovoltaïque :

Ce générateur est composé de deux panneaux placé en parallèle, chaque panneau contient (15 module ISO Foton 106-12V), chaque module contient (36 cellules).

Chapitre III : modélisation d'un system photovoltaïque

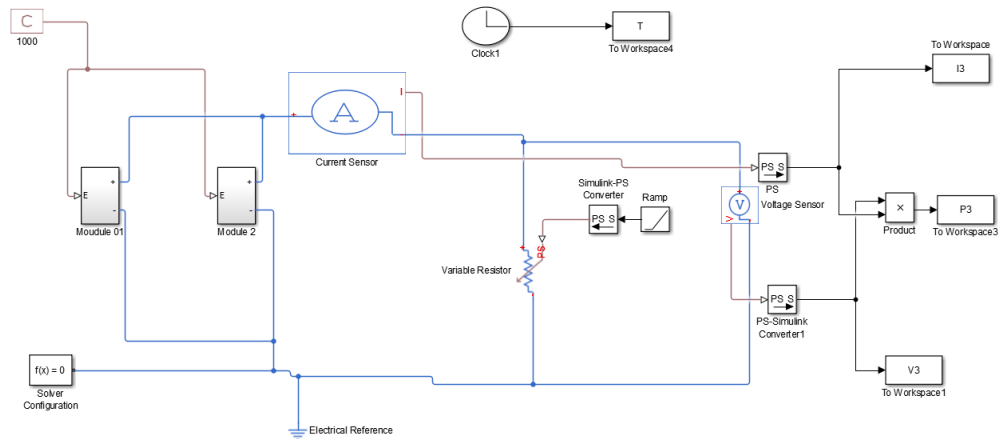


Figure III 24: Schéma bloc de générateur photovoltaïque en MATLAB-SIMULINK.

Tableau (III.3) : Caractéristique électrique de générateur dans les conditions standards.

Paramètres	Valeur
Température standard	25°C
Eclairement standard	$E=1000 \text{ W/m}^2$
Facteur d'idéalité A	1.6
Isc (A)	13.08
Vco (V)	324v
Energie de la bande interdite E_g	$E_g \approx 1.1 \text{ eV}$

III.5.1 Caractéristiques I(V) et P(V) :

Les figures suivantes (III-25, III-26) représentent les résultats de caractéristiques I-V et P-V de générateur photovoltaïque simulé sous les conditions standards. ($T=25^\circ\text{C}$, $E=1000\text{W/m}^2$).

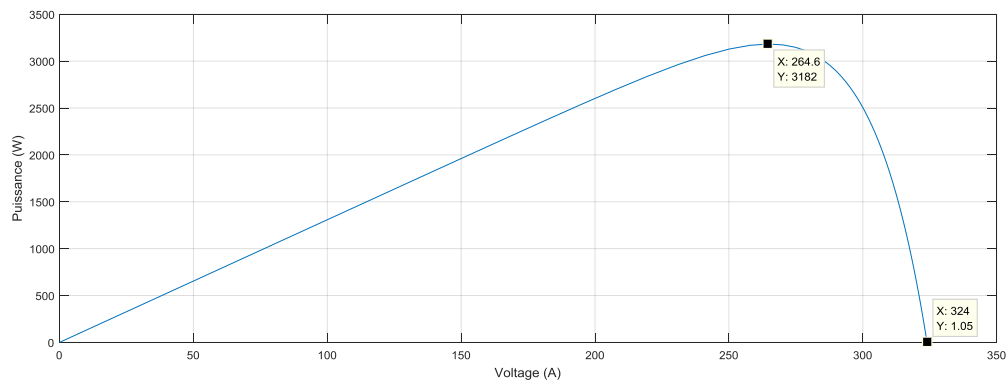


Figure III 25: Caractéristique P(V) d'un générateur.

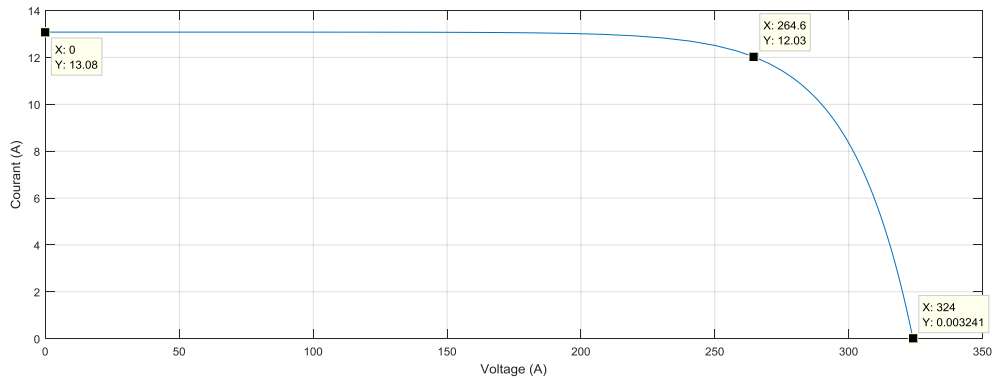


Figure III 26: Caractéristique I(V) d'un générateur.

III.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la modélisation mathématique de la cellule, module et générateur photovoltaïque. En suite nous avons utilisé le (MATLAB 2016a) pour étudier dans premier temps, le comportement d'une cellule PV et du module PV (composé de 36 cellules connectées en série) dans les conditions standard ($E=1000 \text{ W/m}^2$, $T=25^\circ\text{C}$). Puis un générateur PV (composé de deux panneaux placé en parallèle, chaque panneau contient 15 module, chaque module contient 36 cellules) Nous avons étudié aussi l'influence de L'éclairement et de la température (changement climatique) sur l'énergie produite par la cellule PV, module PV et le générateur PV, ainsi l'influence de l'association de Cellule (série, parallèle et série / parallèle) sur l'énergie produite.

Dans le chapitre prochain chapitre, nous avons présentera les defaults dans le générateur photovoltaïque.

Chapitre IV :

modélisation et analyse d'un default d'un
générateur P.V

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous avons faire la simulation par MATLAB-SIMULINK d'un modèle de générateur réelle, ce générateur est composée de 2 panneau placé en parallèle et chaque panneau contient 15 module connecté en série et chaque module composée de 36 cellule en série.

Nous allons créer des défauts puis les analyser dans le générateur photovoltaïque.

IV.2 Simulation du générateur photovoltaïque :

Les caractéristiques du générateur réel :

Tableau (IV.1) : Caractéristique électrique de générateur.

Paramètres	Valeur
Température standard	24.66°C
Eclairement standard	E=467.74 W/m ²
Facteur d'idéalité A	1.5
Isc (A)	5.35A
Vco (V)	254.6 v
Energie de la bande interdite Eg	Eg ≈ 1.1eV

IV.2.1. Caractéristiques I(V) et P(V) :

Les résultats de la simulation du générateur photovoltaïque (en utilisant le logiciel MATLAB R2016a) Caractéristiques (courant (I) /tension (V)) est représentés dans la figure (IV-2) et (puissance (p) /tension (V)) est représentés dans la figure (IV-3) de générateur PV dans les conditions (T=24.66°C. E= 467.74 W/m²).

Chapitre IV : modélisation et analyse d'un défaut d'un générateur P.V

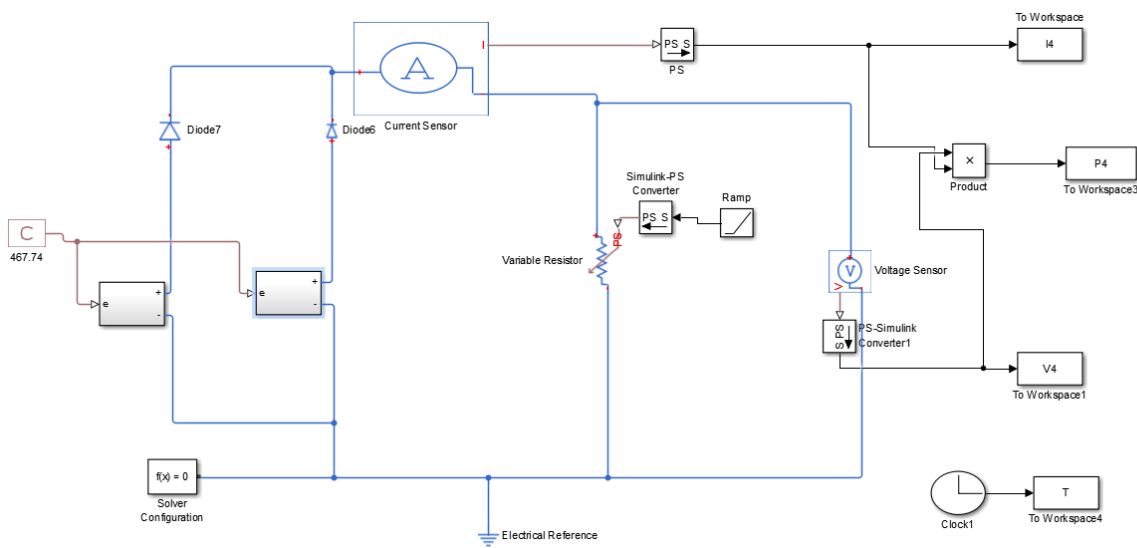


Figure IV- 1 : Schéma bloc de générateur PV en MATLAB-SIMULINK.

La figure (IV-2) , (IV-3) représente les caractéristique (courant (I) /tension (V) , (Puissance(W)\ Tension (V)) du générateur PV ($E=467.74 \text{ W/m}^2$ et $T=24.66^\circ\text{C}$). Le courant du court-circuit $I_{cc}=5.35 \text{ A}$ et tension de circuit ouvert $V_{co}=254.6 \text{ v}$.

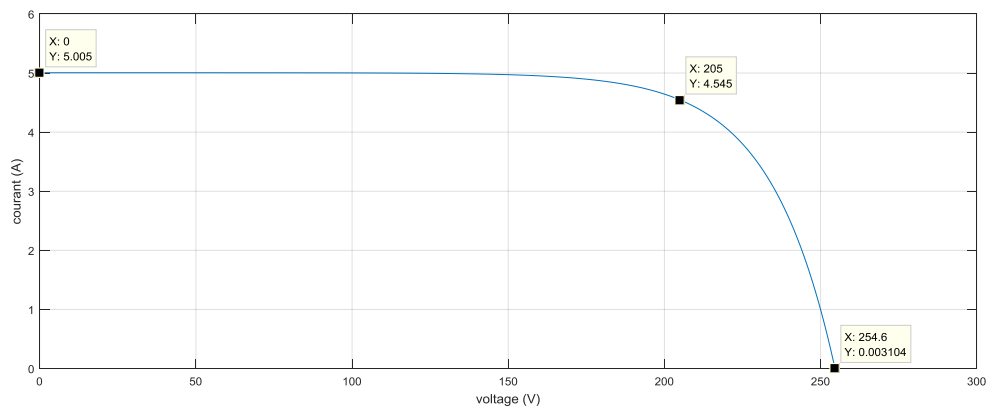


Figure IV- 2: caractéristique I-V de générateur.

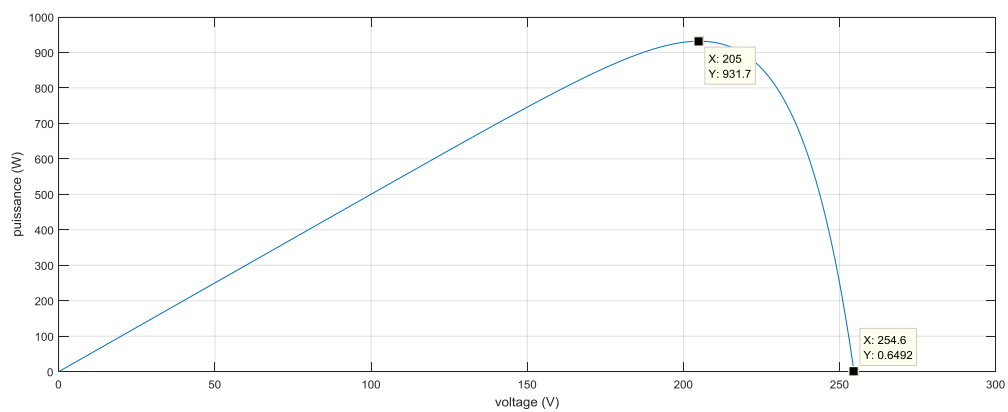


Figure IV- 3: caractéristique P-V de générateur.

IV.3 simulation des défauts dans le générateur photovoltaïque :

IV.3.1 Défaut 01 : court-circuit

A) court-circuit entre deux modules en série :

Nous avons créé un court-circuit entre deux modules en série dans les conditions ($E=467.74 \text{ W/m}^2$, $T=24.66\text{C}^\circ$).

La figure (IV-4) représente le schéma bloc du court-circuit de deux module en sérié.

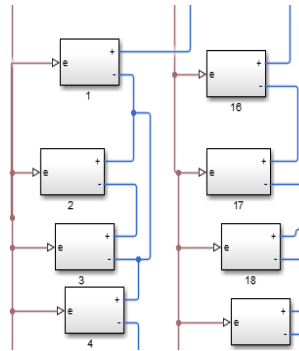


Figure IV- 4: schéma bloc de court-circuit 2 module en sérié.

Les figures (IV-5) (IV-6) représentent les caractéristique (P-V et I-V) de model sain avec le model de court-circuit.

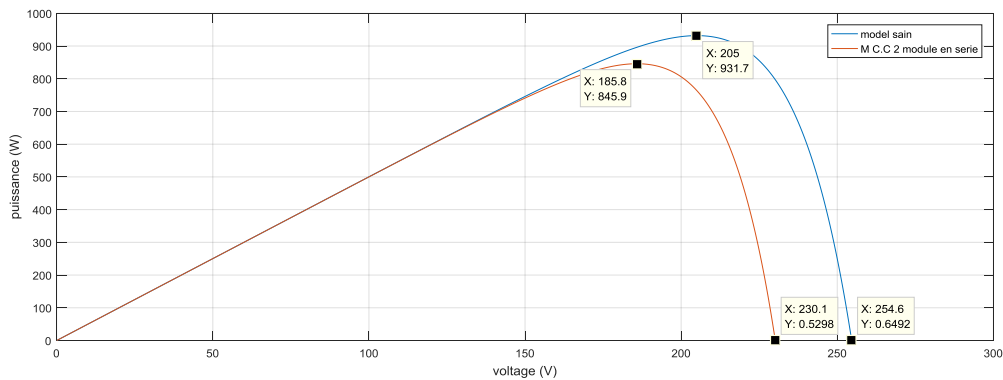


Figure IV- 5: caractéristique P-V model sain avec model C.C 2 module en sérié.

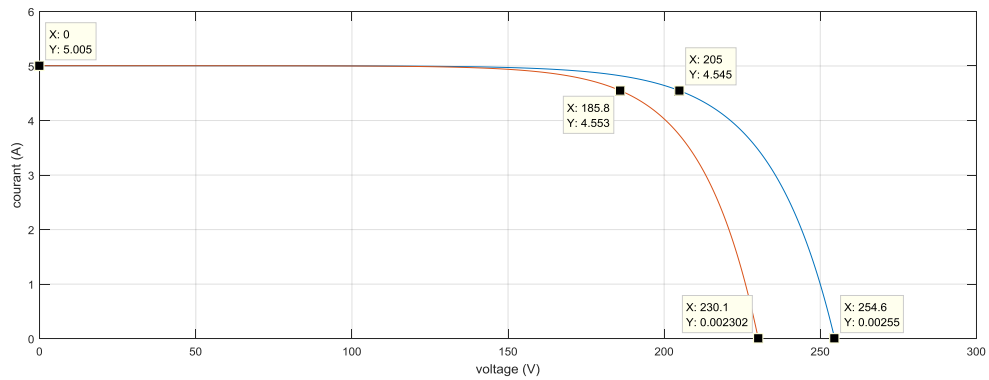


Figure IV- 6: caractéristique I-V model sain avec model C.C 2 module en sérié.

D'après les graphes on remarque que $(V_{co}, V_{mpp}, P_{mpp})$ diminue par rapport au model sain. Mais le (I_{cc}) et le (I_{mpp}) reste-le même.

$$V_{co} = 254.6 - 230.1 = 24.6V / V_{mpp} = 205 - 185.8 = 19.2V / P_{mpp} = 931.7 - 845.8 = 85.9 W$$

B) Court-circuit 2 module en parallèle :

Nous avons créé un court-circuit entre deux module en parallèle dans les conditions $(E=467.74 W/m^2, T=24.66C^{\circ})$.

La figure (IV-7) représente le schéma bloc de court-circuit 2 module en parallèle.

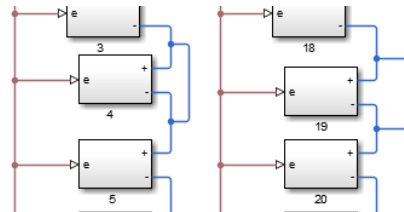


Figure IV- 7: schéma bloc de court-circuit 2 module en parallèle.

Les figures (IV-8) (IV-9) représenter les caractéristique (P-V et I-V) de model sain avec le model de court-circuit (module 4et 19 qui ont placé en parallèle).

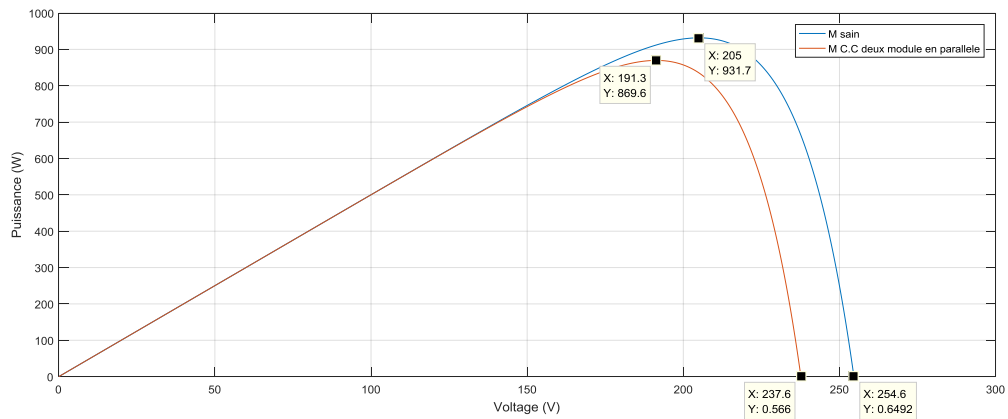


Figure IV- 8: Caractéristique P-V model sain avec 2 modules C.C en parallèle.

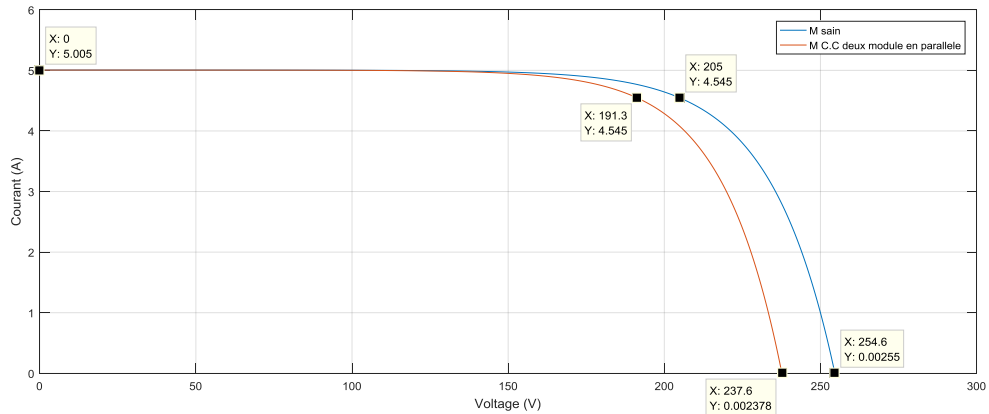


Figure IV- 9: Caractéristique I-V model sain avec 2 modules C.C en parallèle.

D'après les graphes on remarque que $(V_{co}, V_{mpp}, P_{mpp})$ diminue par rapport au model sain. Mais le $(I_{cc}), (I_{mpp})$ reste-le même.

$$V_{co} = 254.6 - 237.6 = 17V / V_{mpp} = 205 - 191.3 = 13.7V / P_{mpp} = 931.7 - 869.6 = 62.1W$$

- **Comparaison entre le model sain et les autre model de C.C :**

Figure (IV-10) et figure (IV-11) représenté les caractéristique (P-V et I-V) de model sain avec 2 module C.C en parallèle et 2 module C.C en sérié.

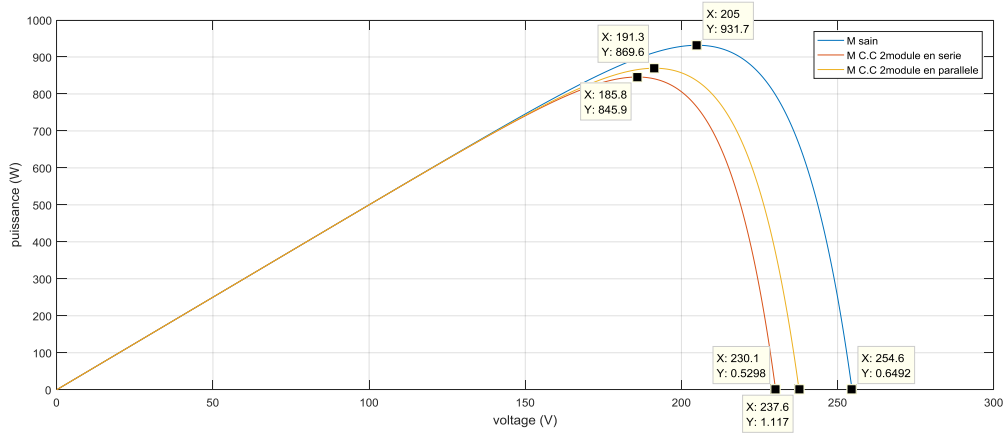


Figure IV- 10: Caractéristique P-V model sain avec 2 module C.C en parallèle et 2 module C.C en sérié.

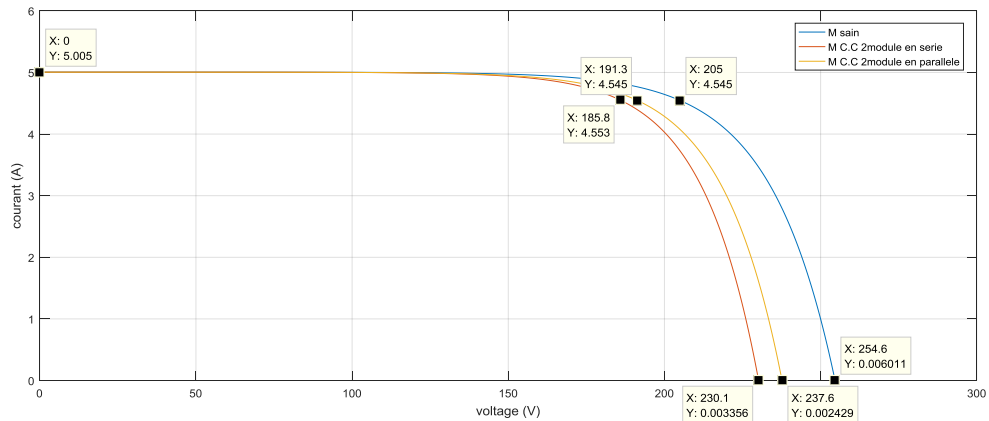


Figure IV- 11 : caractéristique I-V model sain avec 2 modules C.C en parallèle et 2 module C.C en sérié.

D'après les figure (IV-10), (IV-11) .nous conclurons que le (I_{cc}) et le (I_{mpp}) dans les trois cas (Model sain, C.C parallèle, C.C sérié) reste le même. mais par contre le (V_{co}) et (V_{mpp}) dans les deux cas (C.C parallèle, C.C sérié) est diminué par rapport au model sain , malgré que on a deux module en C.C dans les deux cas mais le model de C.C en série diminue plus que le model de C.C en parallèle parce que dans le premier cas (C.C en série) on a 13module dans le premier panneaux en parallèle avec(15module de deuxième panneau),mais dans le deuxième cas (C.C en parallèle) on a (14cellule en parallèle dans les deux panneau).

$$V_{co} = 254.6 = 17V / V_{mpp} = 205 = 13.7V / P_{mpp} = 931.7 = 62.1W$$

$$V_{co} = 254.6 = 24.6V / V_{mpp} = 205 = 19.2V / P_{mpp} = 931.7 = 85.9 W$$

Tableau (IV.2) : Caractéristique électrique de M sain et les autres model de C.C.

Paramètres	M sain	M C.C 2 module en serie	M C.C 2 module en parallèle
Pmpp (W)	931.5	845.8	869.6
Imp(A)	4.454 A	4.454 A	4.454 A
Isc (A)	5.35 A	5.35 A	5.35 A
Vco (V)	254.6 v	230.1	237.6
Vmpp(V)	205	185.8	191.3

IV.3.2 Default 02 : circuit-ouvert

Pour réalise la simulation de circuit ouvert nous avons placé un interrupteur ou milieu avec les conditions ($E=467.74 \text{ W/m}^2$, $T=24.66\text{C}^\circ$).

La figure (IV-12) représente schéma bloc de circuit ouvert.

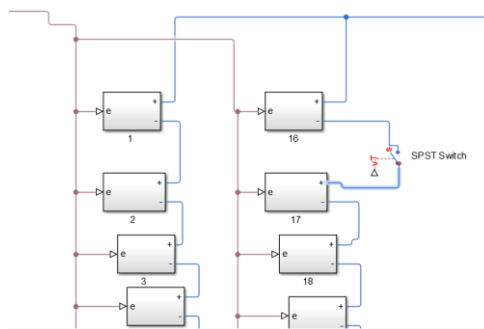


Figure IV- 12: schéma bloc cocuit-ouvert.

Les figures (IV-13) (IV-14) représenter les caractéristique (I-V et P-V) de model sain avec le model de circuit-ouvert.

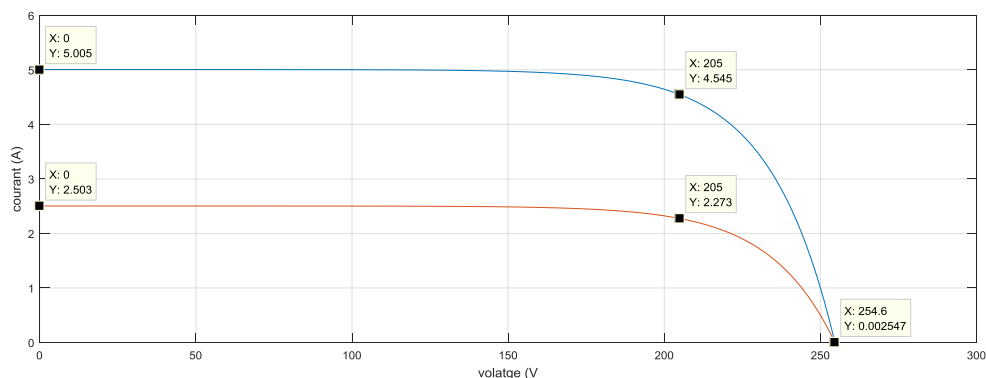


Figure IV- 13: caractéristique I-V model sain avec module circuit-ouvert.

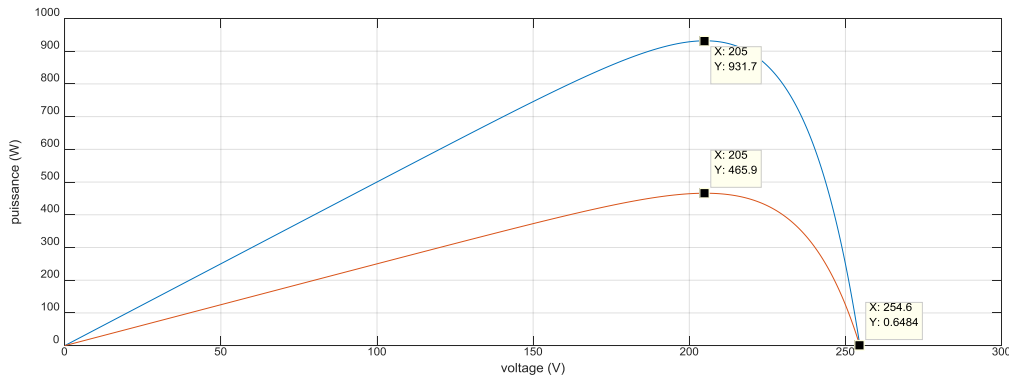


Figure IV- 14: caractéristique P-V model sain avec module circuit-ouvert.

on observe que V_{co} change dans (V_{co}) et V_{mpp} mais le (I_{cc}, P_{mpp}, V_{mpp}) diminue à la moitié de model sain cause le deuxième panneau est déconnecter.

$$I_{cc}=5.00-2.50 =2.50 \text{ A} / I_{mpp}=4.54-2.27 =2.27 \text{ A} / P_{mpp}=931.7-465.9=465.8\text{W}$$

D'après les simulations observe que les résultats dès les deux simulations et identique, donc nous concluons que si il y a un circuit ouvert dans n'importe quel module le panneau est déconnecter.

Tableau (IV.3) : Caractéristique électrique de générateur.

Paramètres	M sain	M C.O
P_{mpp} (W)	931.5	465.9
I_{mpp} (A)	4.454 A	2.27
I_{sc} (A)	5.35 A	2.50
V_{co} (V)	254.6 v	254.6 v
V_{mpp} (V)	205	205

IV.3.3 Default 3: Diode by-pass inverse

A) Diode by-pass inverse (une seule diode) :

Nous avons inversé la diode by-pass de premier module dans les conditions ($E=467.74 \text{ W/m}^2, T=24.66\text{C}^\circ$).

La figure (IV-15) représente le schéma bloc de diode by-pass inversé.

Chapitre IV : modélisation et analyse d'un défaut d'un générateur P.V

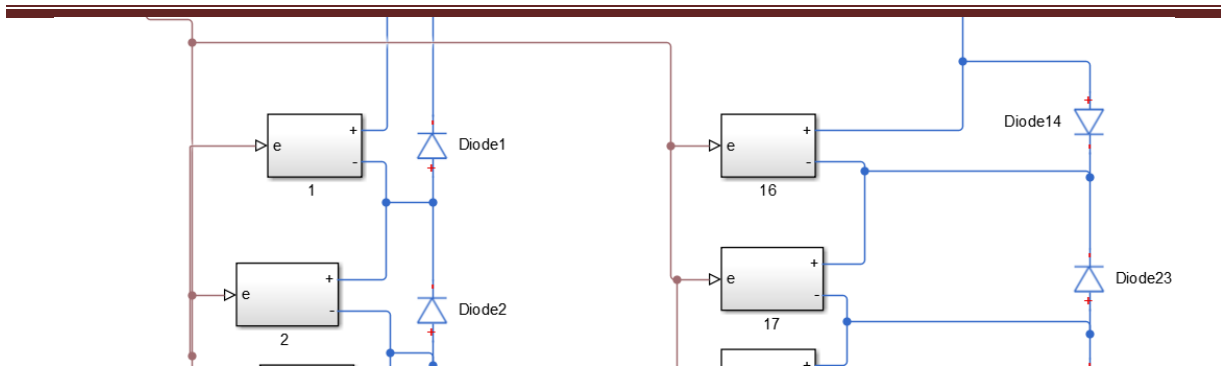


Figure IV- 15: schema bloc diode by-pass inverse.

Les figures (IV-16) (IV-17) représentent les caractéristiques (P-V et I-V) de modèle sain avec le modèle de diode by-pass inversé.

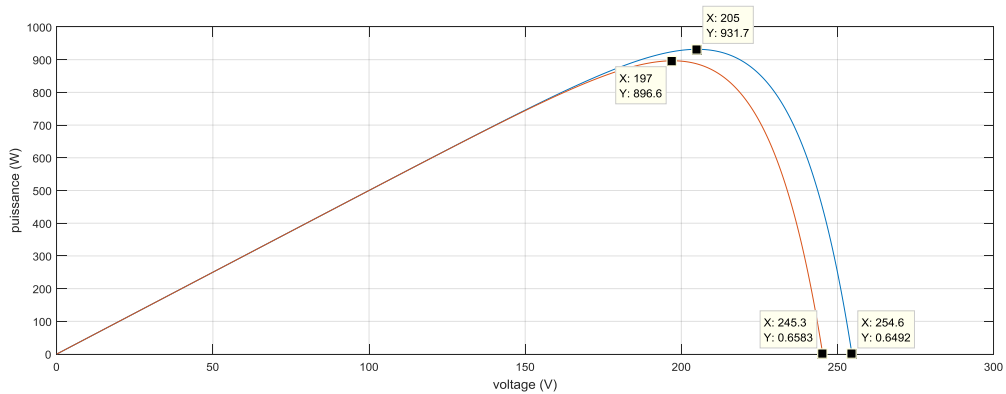


Figure IV- 16: caractéristique P-V model sain avec module à la diode by-pass inverse.

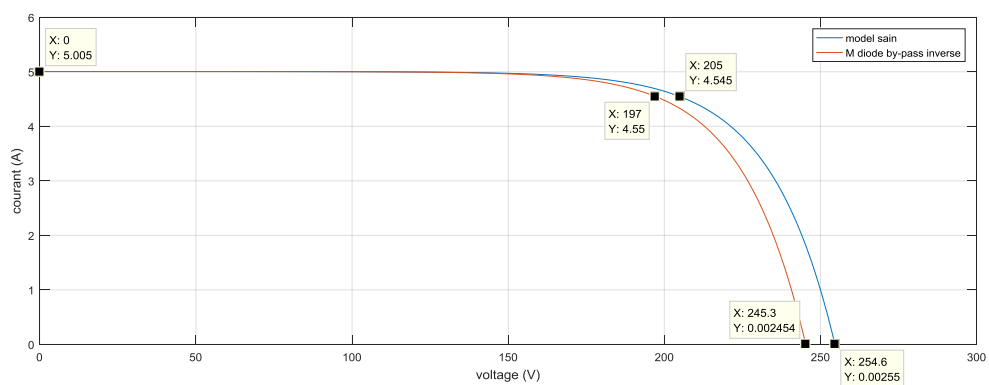


Figure IV- 17: caractéristique I-V model sain avec module à la diode by-pass inverse.

D'après les figures (IV-6), (IV-17) on observe que I_{cc} et I_{mpp} changent, mais le $(P_{mpp}, V_{mpp}, V_{co})$ diminue par rapport au modèle sain.

$$V_{co} = 254.6 - 245.3 = 9.3V \quad / \quad V_{mpp} = 205 - 197 = 8V \quad / \quad P_{mpp} = 931.7 - 896.6 = 35.1W$$

B) Diode by-pass inverse pour deux modules en parallèle :

Nous avons inversé la diode by-pass de deux modules en parallèle dans les conditions ($E=467.74 \text{ W/m}^2$, $T=24.66\text{C}^\circ$).

La figure (IV-18) représente le schéma bloc de diode by-pass inversé deux modules en parallèle.

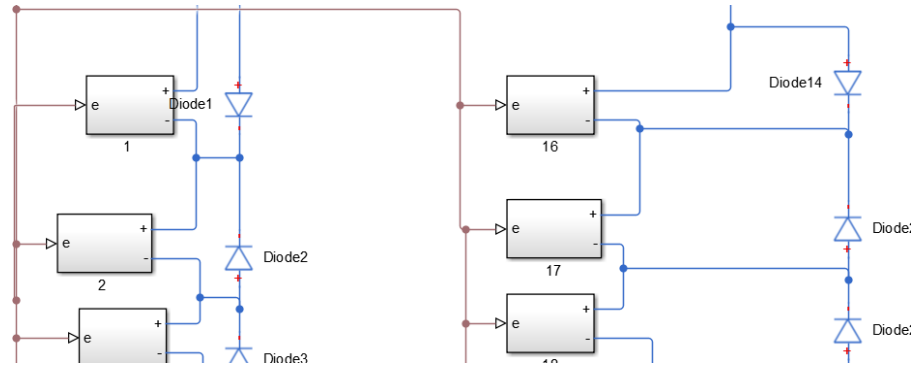


Figure IV- 18 : schéma bloc diode by-pass inverse on parallèle.

Les figures (IV-19) (IV-20) représentent les caractéristique (P-V et I-V) de model sain avec le model de diode by-pass inversé.

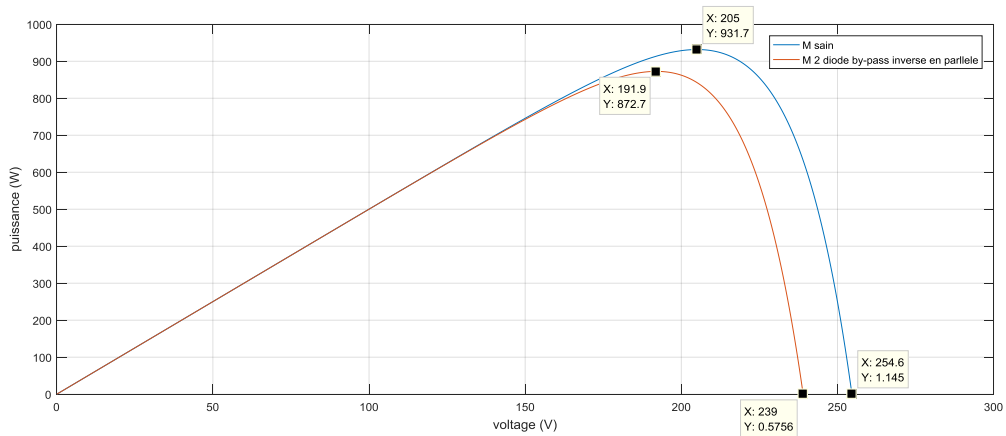


Figure IV- 19: caractéristique P-V model sain avec module a la diode by-pass inverse on parallèle.

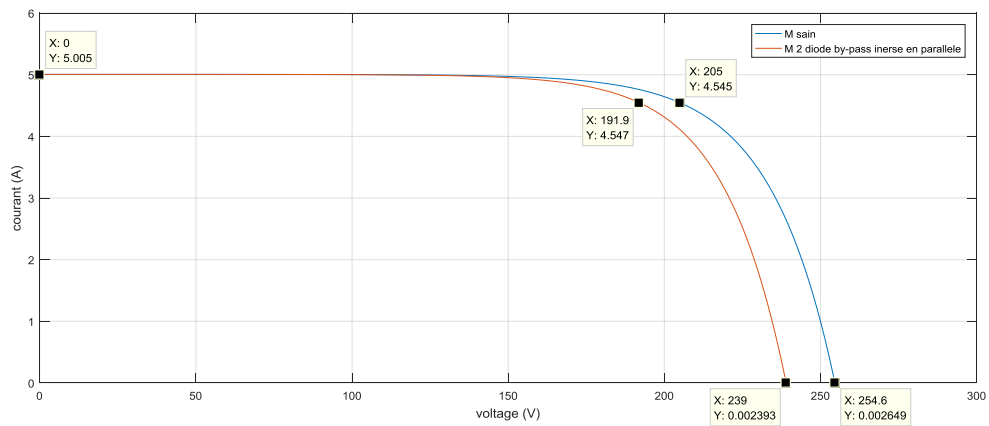


Figure IV- 20: caractéristique I-V model sain avec module a la diode by-pass inerse on parallèle.

D 'apre les figure (IV-19),(IV-20) on observe que rein a changer dans (I_{cc}, I_{mpp}) mais le (P_{mpp}, V_{mpp}, V_{co}) diminue par rapport au model sain.

$$V_{co} = 254.6 - 239 = 15.6V / V_{mpp} = 205 - 191.9 = 13.1V / P_{mpp} = 931.7 - 872.7 = 59W$$

• **Comparison :**

A la fin de cette defaut nous avons faire la comparaison entre les model (sain et diode by-pass inerse ,diode by-pass inerse en parallele) .

Les figures (IV-21) (IV-22) représenté les caractéristiques (P-V et I-V) de model (sain et diode by-pass inerse, diode by-pass inerse en parallele) .

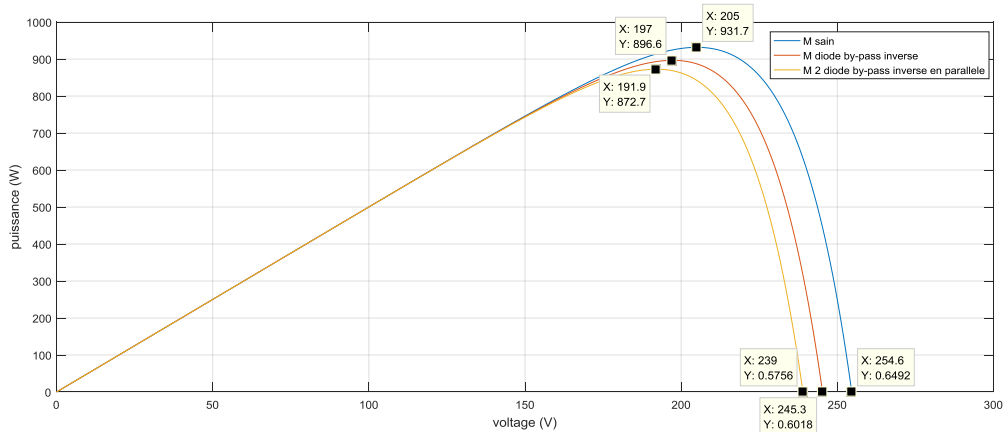


Figure IV- 21: caractéristique P-V model sain avec module à la diode by-pass inerse on parallèle et model diode by-pass inerse.

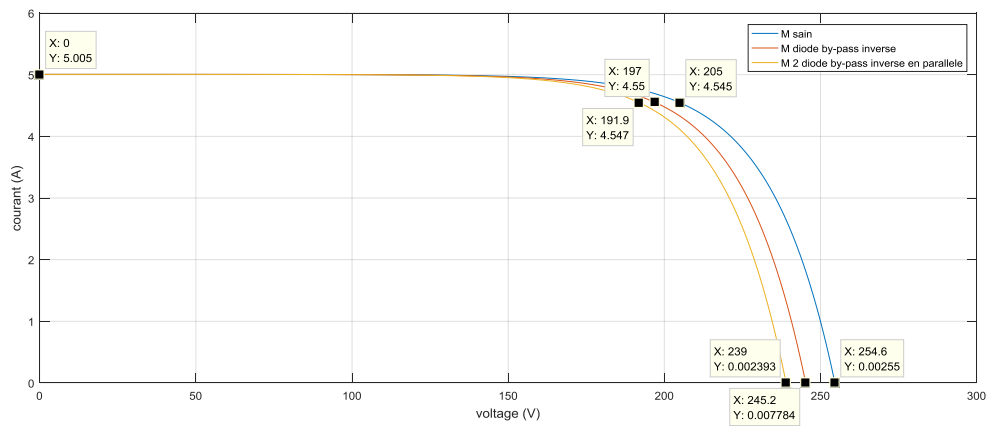


Figure IV- 22: caractéristique I-V model sain avec module a la diode by-pass inverse on parallèle et model diode by-pass inverse.

D’après les figures (IV-21, IV-22) on observe que I_{sc} a changé dans le (I_{cc} , I_{mpp}) mais le (V_{co} , V_{mpp}) diminue plus beaucoup dans le cas de deux diodes by-pass en parallèle par rapport au une seul diode by-pass en série, donc on conclure si on a deux by-pass inverse en parallèle le rendement de générateur sera plus faible que une seul diode by-pass inverse.

Tableau (IV.4) : Caractéristique électrique M sain , un diode by-pass inverse et deux diode by-pass inverse en parallele .

Paramètres	M sain	un diode by-pass inverse	deux diode by-pass inverse en parallele .
Pmpp (W)	931.5	896.6	872.7
Impp(A)	4.454 A	4.454 A	4.454 A
Isc (A)	5.35 A	5.35 A	5.35 A
Vco (V)	254.6 v	245.3	239
Vmpp(V)	205	197	191.9

IV.3.4 Défaut 04 : vieillissement

A) vieillissement avec $R=2 \Omega$

Nous avons ajouté 3 résistances en parallèle avec les modules, chaque résistance est de valeur $R=2\Omega$, dans les conditions ($E=467.74 \text{ W/m}^2$, $T=24.66\text{C}^\circ$).

La figure (IV-23) représente le schéma bloc de Vieillissement $R=2 \Omega$.

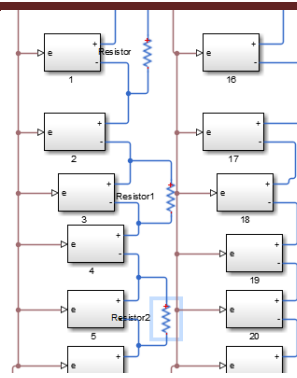


Figure IV- 23: schéma bloc vieillissement avec $R=2 \Omega$.

Les figures (IV-24) (IV-25) représenté les caractéristiques (P-V et I-V) de model sain avec modules vieillissement $R=2\Omega$.

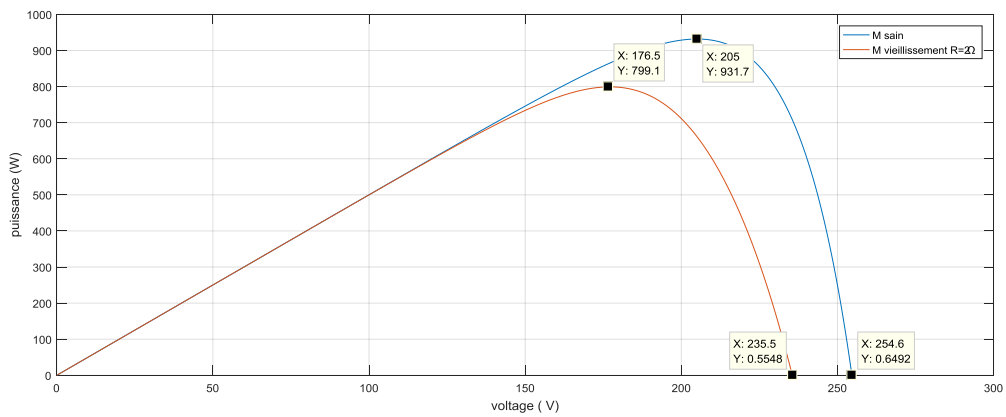


Figure IV- 24: caractéristique P-V model sain avec module vieillissement et $R=2\Omega$.

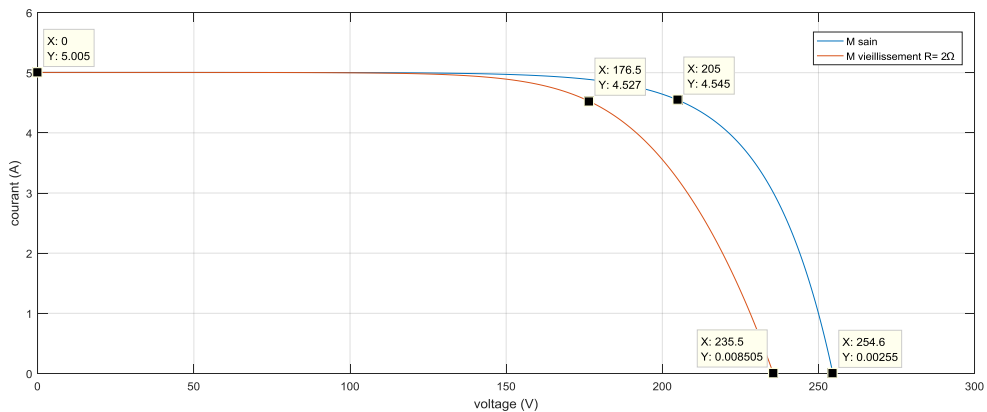


Figure IV- 25: caractéristique I-V model sain avec modules vieillissement et $R=2\Omega$.

D 'apre les figure (IV-24),(IV-25) on observe que rein a changer dans (I_{cc}) mais le (P_{mpp} , V_{mpp} , V_{co} , I_{mpp}) diminue par rapport au model sain .

$$V_{co}=254.6-235.5=19.1V / V_{mpp}=205-176.5= 28.5 / I_{mpp}=4.545-4.527=0.018A$$

$$P_{mpp}=931.7-799.1=132.6W$$

B) vieillissement avec R=4 Ω :

Nous avons changé la résistance est de la valeur R=4Ω, dans les conditions (E=467.74 W/m², T=24.66C°).

La figure (IV-26) représente le schéma bloc de Vieillissement R=4Ω.

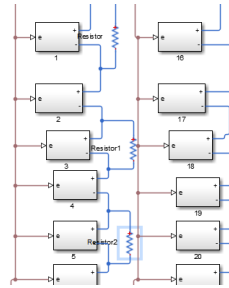


Figure IV- 26 : schéma bloc vieillissement avec R=4Ω.

Les figures (IV2-7) (IV-28) représenté les caractéristiques (P-V et I-V) de model sain avec modules vieillissement R=4Ω.

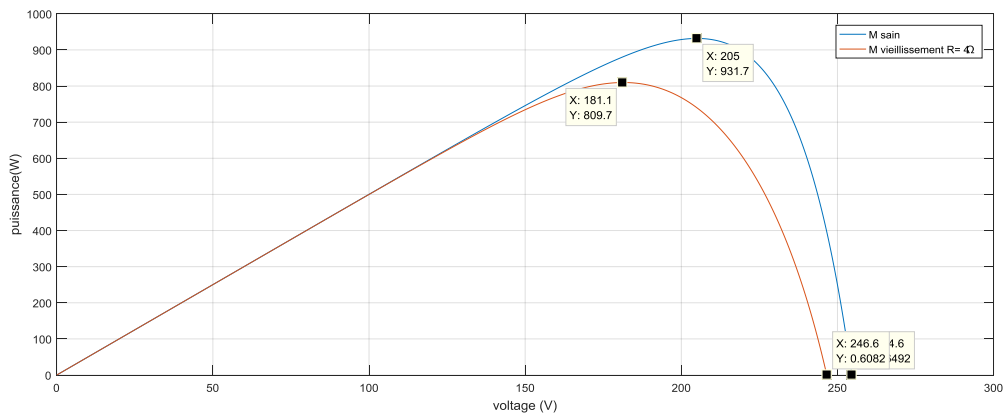


Figure IV- 27: caractéristique P-V model sain avec modules vieillissement et R=4Ω.

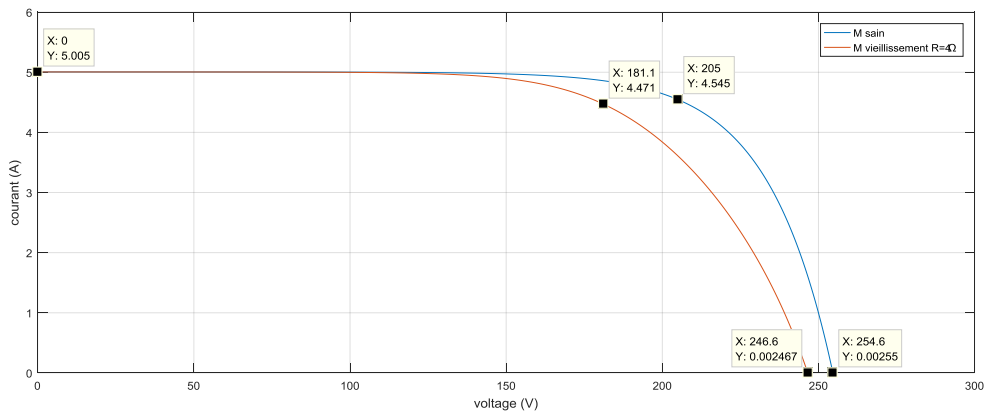


Figure IV- 28: caractéristique I-V model sain avec modules vieillissement et $R=4\Omega$.

$$V_{co}=254.6-246.6=8V / V_{mpp}=205-181.1= 23.2V / I_{mpp}=4.545-4.471=0.074A$$

$$P_{mpp}=931.7-809.7=122W$$

C) vieillissement avec $R=6\Omega$:

Nous avons changé la résistance est de la valeur $R=6\Omega$, dans les conditions ($E=467.74 W/m^2$, $T=24.66C^\circ$).

La figure (IV-29) représente le schéma bloc de Vieillissement $R=6\Omega$.

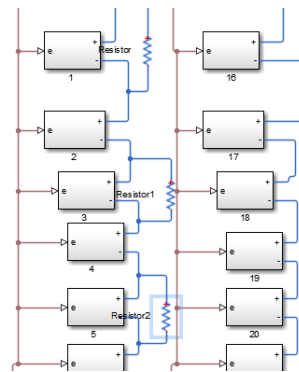


Figure IV- 29:schéma bloc vieillissement avec $R=6\Omega$.

Les figures (IV-30) (IV-31) représenté les caractéristiques (P-V et I-V) de model sain avec modules vieillissement $R=4\Omega$.

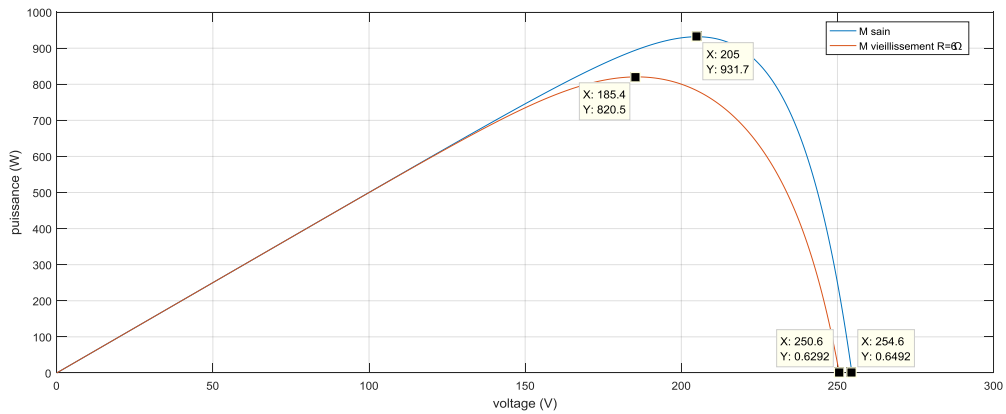


Figure IV- 30: caractéristique P-V model sain avec modules vieillissement et $R=6\Omega$.

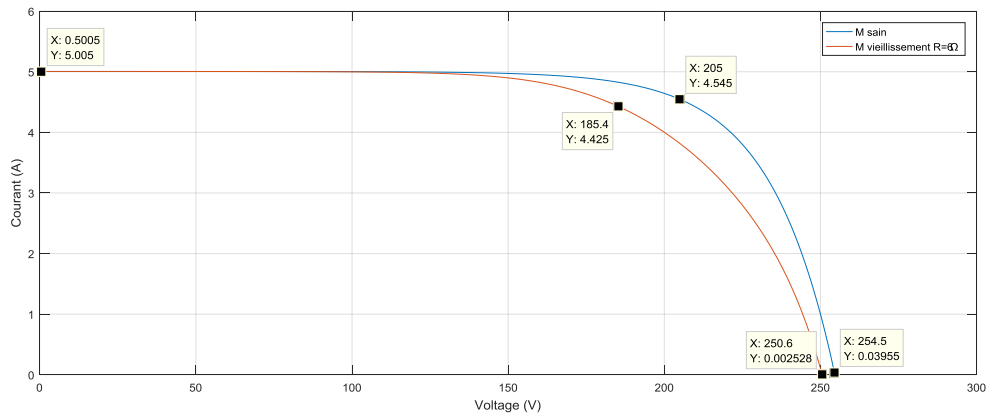


Figure IV- 31: caractéristique I-V model sain avec modules vieillissement et $R=6\Omega$.

$$V_{co}=254.6-250.6=4V / V_{mpp}=205-185.4=19.6V / I_{mpp}=4.545-4.425=0.12A$$

$$P_{mpp}=931.7-820.5=111.2W.$$

• **Comparaison :**

Nous avons faire une comparaison entre le model sain et vieillissement ($R=2 \Omega$, $R=4 \Omega$, $R=6 \Omega$).

Les figures (IV-32) (IV-33) représenté les caractéristiques (P-V et I-V) de model sain avec les modules vieillissement ($R=2 \Omega$, $R=4 \Omega$, $R=6 \Omega$).

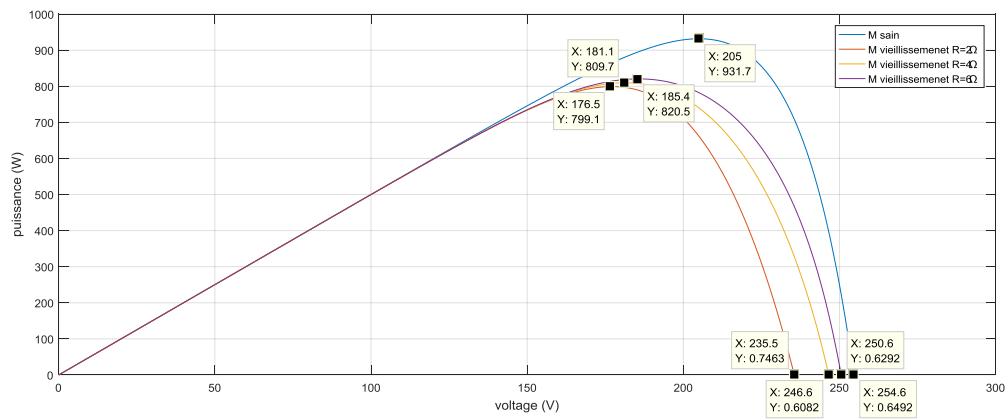


Figure IV- 32 : caractéristique P-V model sain avec modules vieillissement et $R=2\Omega$, $R=4\Omega$, $R=6\Omega$.

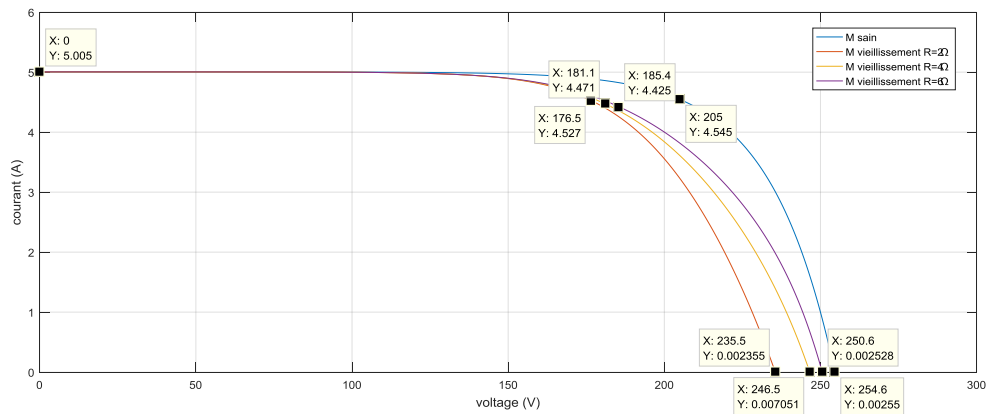


Figure IV- 33: caractéristique I-V model sain avec modules vieillissement et $R=2\Omega$, $R=4\Omega$, $R=6\Omega$.

Nous remarquons que quand la résistance est plus petite, elle agit plus sur (V_{co}, V_{mpp}) et par contre quand la résistance est plus grande, elle agit plus sur (I_{mpp}) .

Tableau (IV.5) : caractéristique de model sain avec modules vieillissement et $R=2\Omega$, $R=4\Omega$, $R=6\Omega$.

Paramètres	M sain	$R= 2$	$R= 4$	$R= 6$
P_{mpp} (W)	931.5	799.1	809.7	820.5
I_{mpp} (A)	4.454 A	4.527	4.471	4.425
I_{sc} (A)	5.35 A	5.35	5.35	5.35
V_{co} (V)	254.6 v	235.5	246.6	250.6
V_{mpp} (V)	205	176.5	181.1	185.4

IV.3.5 Défaut 05 : Prise de Terre

A) Prise de terre connecte avec premier module :

Nous avons branche une prise de terre avec premier module à droit, dans les conditions ($E=467.74 \text{ W/m}^2$, $T=24.66\text{C}^\circ$).

Les figures (IV-34) schémas bloc de prise de terre.

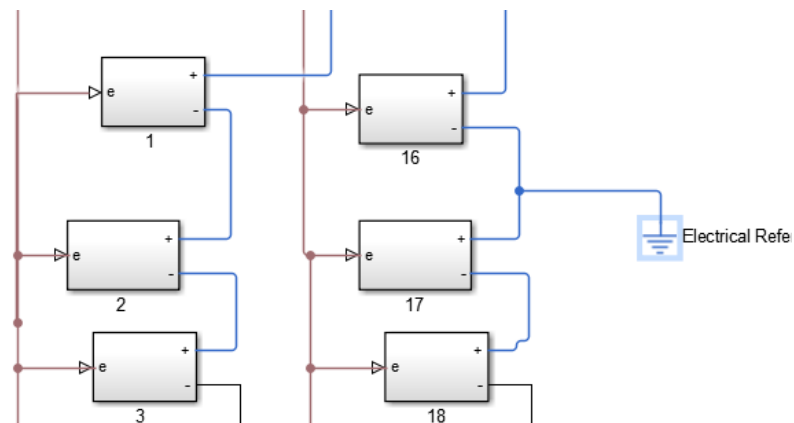


Figure IV- 34: schémas bloc de prise de terre.

Les figures (IV-35) (IV-36) représenté les caractéristiques (P-V et I-V) de model sain avec prise de terre.

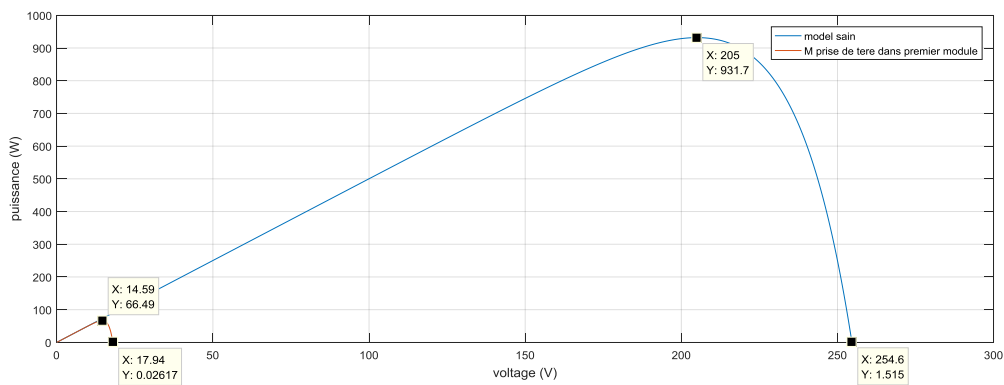


Figure IV- 35: caractéristique P-V model sain avec un module prise de terre.

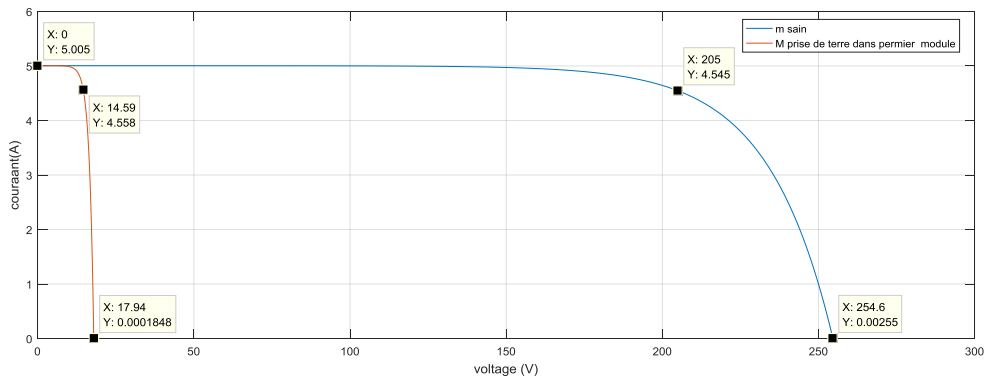


Figure IV- 36: caractéristique I-V model sain avec un module prise de terre.

On remarque que I_{cc} reste le même mais on a chute de tension et chute de puissance par rapport au modèle sain. Ce résultat montre que les modules 17 jusqu'à 30 sont déconnectés, et on a le I_{mpp} augmenté un peu

$$V_{co} = 254.6 - 17.94 = 236.66V \quad / \quad V_{mpp} = 205 - 14.95 = 190.5V \quad / \quad P_{mpp} = 931.7 - 66.49 = 865.21W$$

$$/I_{mpp} = 4.558 - 4.545 = 0.013 A$$

B) Prise de terre connectée avec deux modules en série :

Nous avons branché une prise de terre avec le deuxième module, dans les conditions ($E=467.74 W/m^2$, $T=24.66C^\circ$).

Les figures (IV-37) schémas bloc de prise de terre.

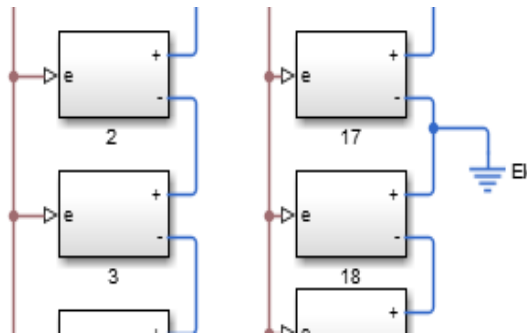


Figure IV- 37: schémas bloc de prise de terre.

Les figures (IV-38) (IV-39) représentent les caractéristiques (P-V et I-V) de modèle sain avec prise de terre.

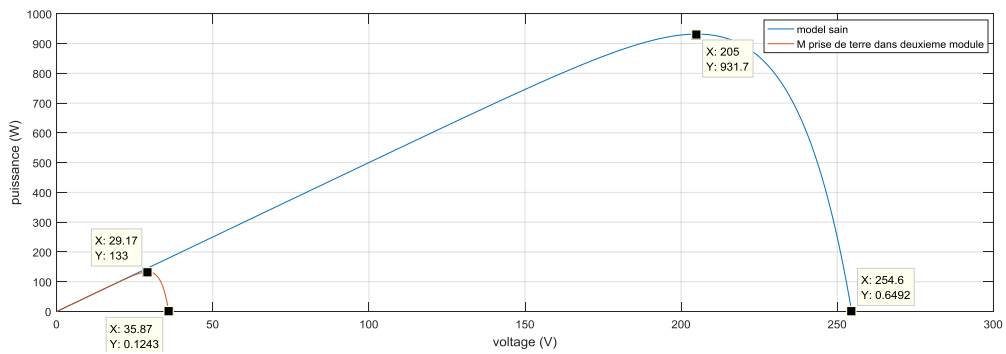


Figure IV- 38: caractéristique P-V model sain avec modules prise de terre.

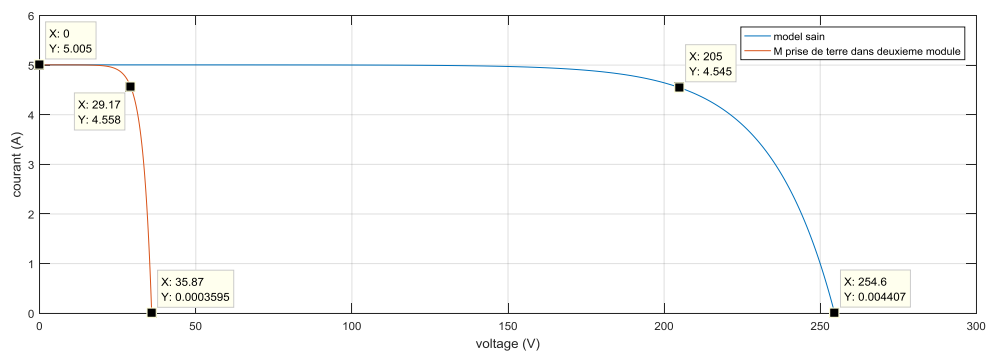


Figure IV- 39: caractéristique I-V model sain avec modules prise de terre.

On remarque que I_{cc} reste le même mais on a chute de tension et chute de puissance par rapport au model sain. Ce résultat montre que les modules 18 jusqu'à 30 sont déconnectés, et on a le I_{mpp} augmenté un peu.

$$V_{co} = 254.6 - 35.87 = 218.73V \quad / \quad V_{mpp} = 205 - 29.17 = 175.83V \quad / \quad P_{mpp} = 931.7 - 133 = 798.7$$

$$/ I_{mpp} = 4.558 - 4.545 = 0.013 A$$

- **Comparaison :**

On a fait la comparaison entre le model sain et les deux models prise de terre (prise place avec premier module, prise place avec deuxième module).

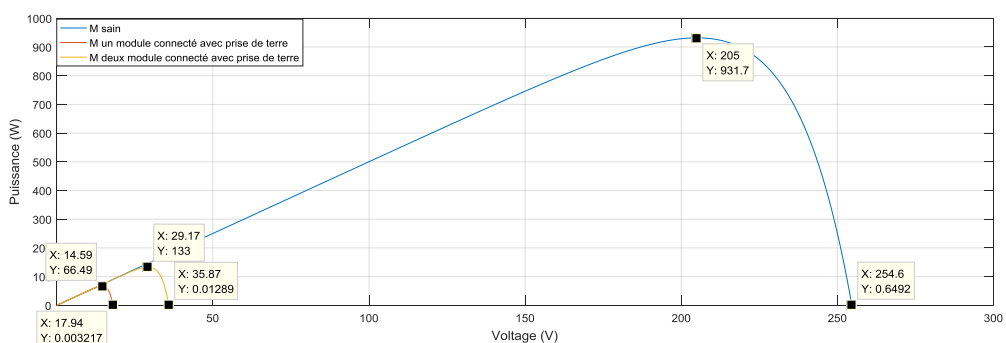


Figure IV- 40: caractéristique P-V model sain avec modules prise de terre.

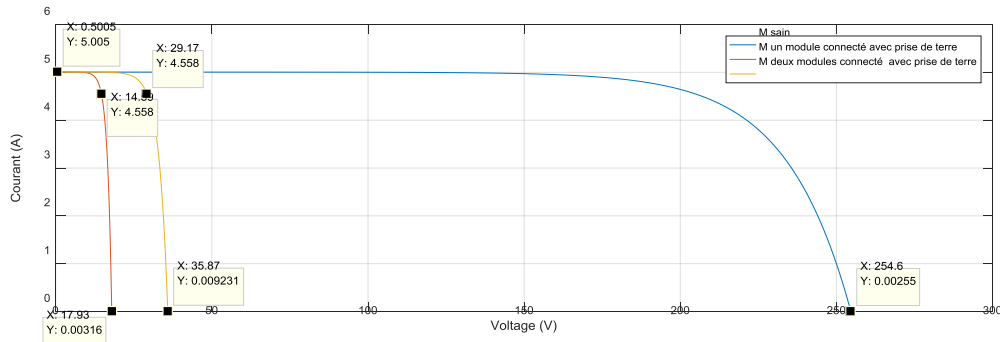


Figure IV- 41: caractéristique I-V model sain avec modules prise de terre.

D’après les figures (IV-40) (IV-41) nous observons qu’on a une chute de puissance et de tension parce que tous les modules sous la prise de terre sont déconnecte.

Tableau (IV.6) : caractéristique model sain avec modules prise de terre.

Paramètres	M sain	Prise de terre avec 1 module	Prise de terre avec 2 modules
Pmpp (W)	931.5	66.49	133
Impp(A)	4.454 A	4.558	4.558
Isc (A)	5.35 A	5.35 A	5.35 A
Vco (V)	254.6 v	17.94	35.87
Vmpp(V)	205	14.95	29.17

IV.3.6 Default 06 : l’ombrage

Nous avons pris 6 modules en ombrage partiel (change de l’éclairement) mais autre modules reste en ombrage ($E=467.74 \text{ w/m}^2$) et la température de tous les module ($T=24.66\text{C}^\circ$).

La figure (IV-42) représente le Schéma bloc ombrage partiel.

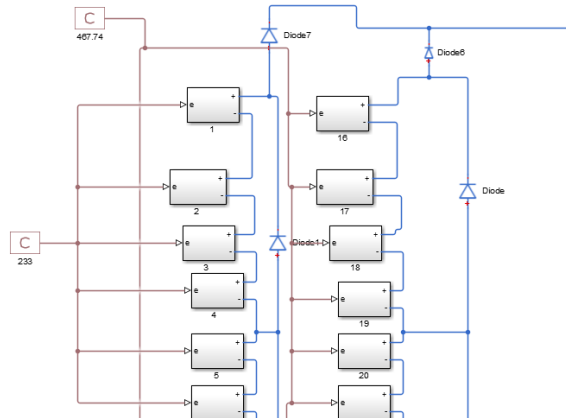


Figure IV- 42: Schéma bloc ombrage partiel.

A) Default d'ombrage l'ombrage partiel $E=233 \text{ w/m}^2$:

Nous avons changé l'éclairement de 6 modules ($E=233 \text{ w/m}^2$) et rien a changé sur la température $T=24.66\text{C}^\circ$.

Les figures (IV-43) (IV-44) représentent les caractéristiques (P-V et I-V) du model sain avec modules ombrage partiel.

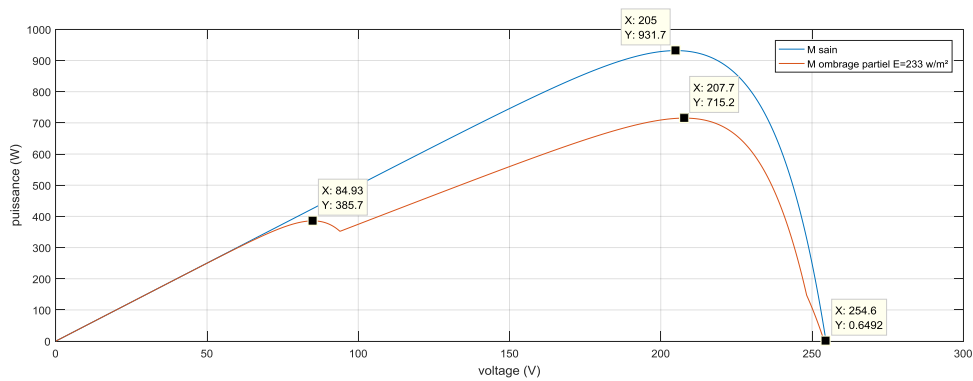


Figure IV- 43: caractéristique P-V model sain avec modules ombrage partiel.

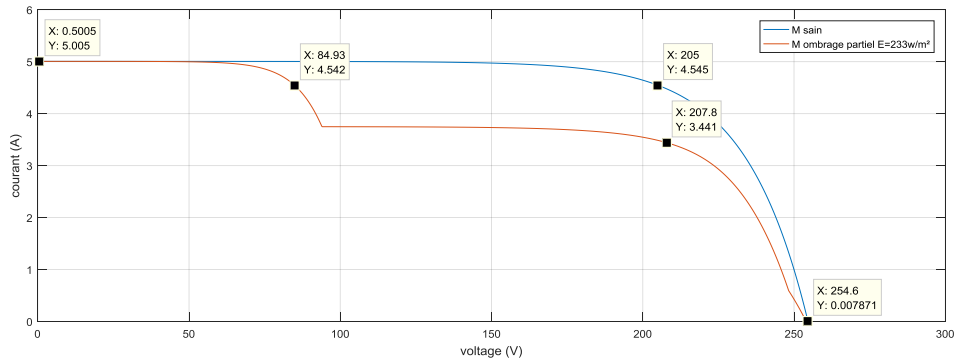


Figure IV- 44: caractéristique I-V model sain avec modules ombrage partiel.

D’après les figure (IV-43) (IV-44) en observe que on a deux valeur maximums (P_{mpp} , I_{mpp} , V_{mpp}) et rien a changé de (I_{cc} , V_{co}).

$$P_{mpp} (max1) = 385.7 \text{ W}; I_{mpp} (max1) = 4.542 \text{ A}; V_{mpp} (max1) = 84.93 \text{ V}$$

$$P_{mpp} (max2) = 715.2 \text{ W}; I_{mpp} (max2) = 3.441 \text{ A}; V_{mpp} (max2) = 207.8 \text{ V}$$

B) default d’ombrage l’ombrage partiel $E=116.935 \text{ w/m}^2$:

Nous avons changé l’éclairement de 6 modules ($E=116.935 \text{ w/m}^2$) et rien a changé sur la température $T=24.66\text{C}^\circ$.

Les figures (IV-45) (IV-46) représentent les caractéristiques (P-V et I-V) du model sain avec modules ombrage partiel.

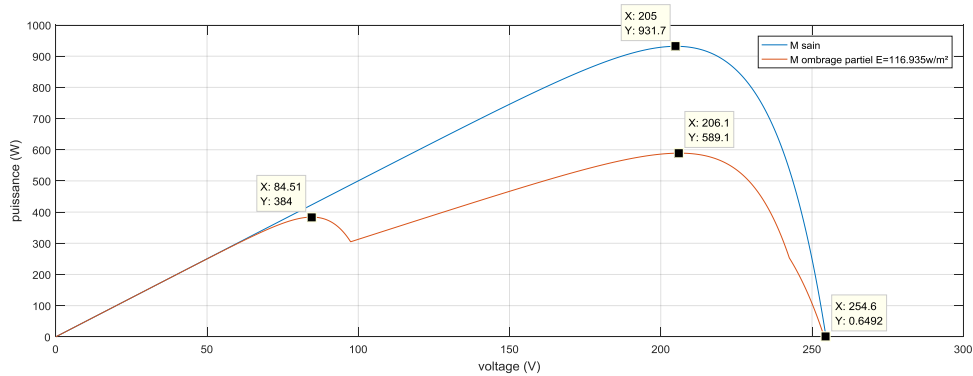


Figure IV- 45: caractéristique P-V model sain avec modules ombrage partiel.

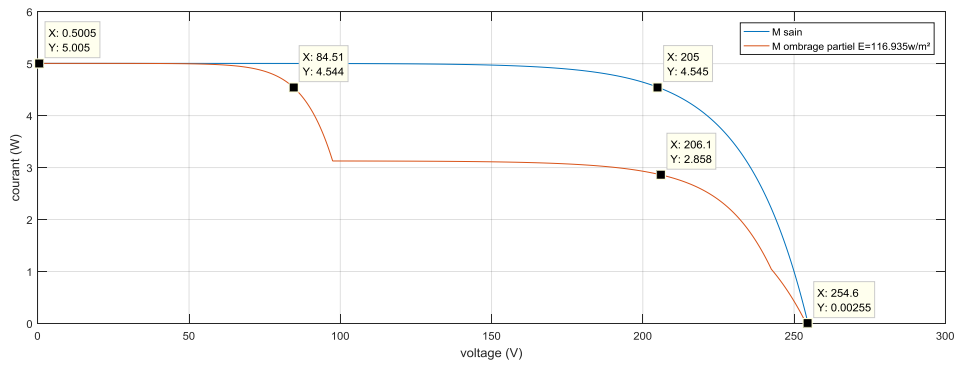


Figure IV- 46: caractéristique I-V model sain avec modules ombrage partiel.

D’après les figure (IV-45) (IV-46) en observe que on a deux valeur maximums (P_{mpp} , I_{mpp} , V_{mpp}) et rien a changé de (I_{cc} , V_{co}).

$$P_{mpp} (\max1) = 384W; I_{mpp} (\max1) = 4.544A; V_{mpp} (\max1) = 84.51 V$$

$$P_{mpp} (\max2) = 589.1W; I_{mpp} (\max2) = 2.858 A; V_{mpp} (\max2) = 206.1V$$

C) défaut d’ombrage l’ombrage partiel $E=58.4675 w/m^2$:

Nous avons changé l’éclairement de 6 modules ($E=58.4675 w/m^2$) et rien a changé sur la température $T=24.66C^{\circ}$.

Les figures (IV-47) (IV-48) représentent les caractéristiques (P-V et I-V) du model sain avec modules ombrage partiel

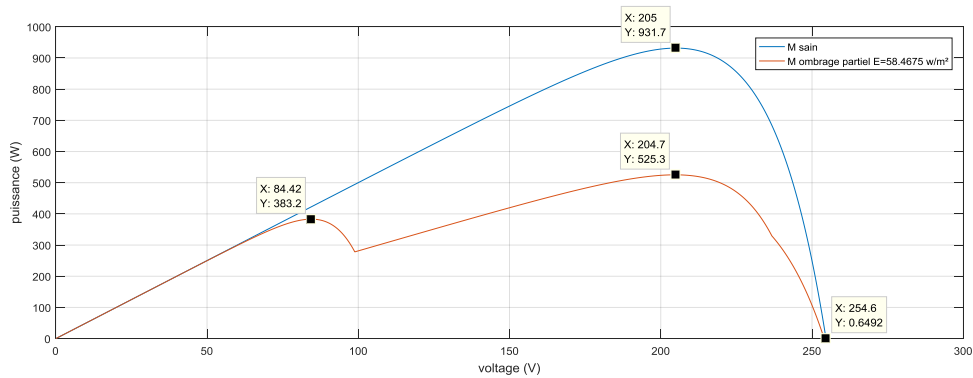


Figure IV- 47: caractéristique P-V model sain avec modules ombrage partiel.

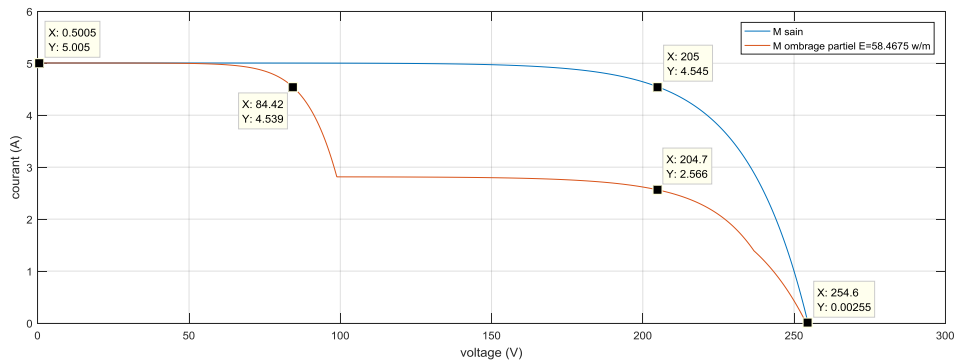


Figure IV- 48: caractéristique I-V model sain avec modules ombrage partiel.

D’après les figure (IV-47)(IV-48) en observe que on a deux valeur maximums (P_{mpp} , I_{mpp} , V_{mpp}) et rien a changé de (I_{cc} , V_{co}).

$$P_{mpp} (\max1) = 383.2W; I_{mpp} (\max1)=4.539A; V_{mpp} (\max1) =84.42 V$$

$$P_{mpp} (\max2) = 525.2W; I_{mpp} (\max2)=2.566 A; V_{mpp} (\max2) =204.7V$$

• **Comparaison :**

Nous avons faire une comparaison entre les trois cas et le model sain.

Les figures (IV-49) (IV-50) représentent les caractéristiques (P-V et I-V) du model sain avec modules ombrage partiel.

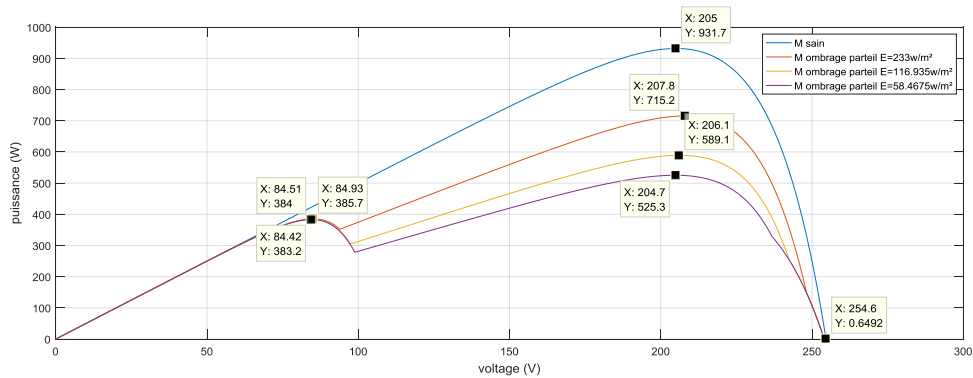


Figure IV- 49: caractéristique P-V model sain avec tous les modules ombrage partiel.

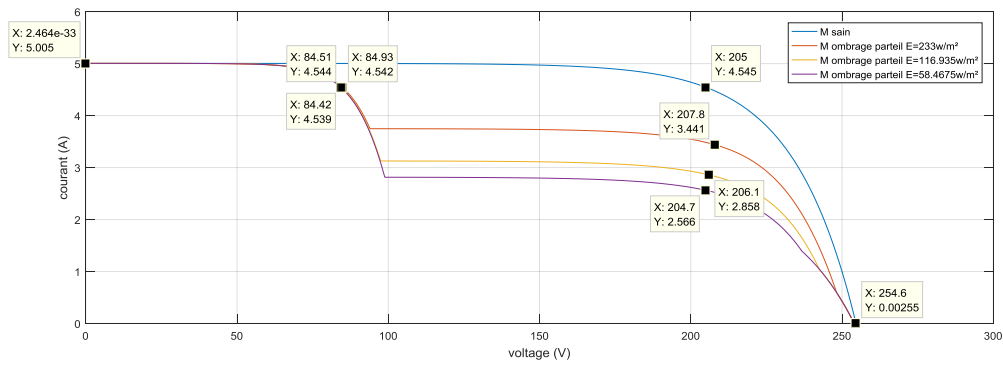


Figure IV- 50: caractéristique I-V model sain avec tous les modules ombrage partiel.

D’après les figures (IV-49) (IV-50) on conclure que à chaque fois l’éclairement est déminé le I_{mpp} diminue donc le puissance diminue mais l’ombrage n’influe pas sur le V_{co} et I_{cc} .

Tableau (IV.7) : caractéristique model sain avec tous les modules ombrage partiel.

Paramètres	M sain	E=233 w/m ²		E=116.935 w/m ²		E=58.4675 w/m ²	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Pmpp (W)	931.5	385.7	715.2	384W	589.1	383.2W	525.2W
Impp(A)	4.454 A	4.542	3.441	4.544	2.858	4.539	2.566
Isc (A)	5.35 A	5.35 A	5.35 A	5.35 A	5.35 A	5.35 A	5.35 A
Vco (V)	254.6 v	254.6 v	254.6 v	254.6 v	254.6 v	254.6 v	254.6 v
Vmpp(V)	205	84.93	207.8	84.51	206.1	84.42	204.7

IV.4 Conclusion :

Ce chapitre est consacré à étudier la modélisation et l'analyse des défauts du générateur photovoltaïque, nous avons parlé des types de défauts (périodique, permanent), puis nous avons fait la simulation de notre générateur basé sur des données réelles. À la fin, nous avons utilisé MATLAB 2016a pour faire la modélisation des défauts de notre générateur PV et l'analyse.

Conclusion

générale

Conclusion générale

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que le gaz et le pétrole l'Uranium, charbon, diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières décennies. Pour couvrir les besoins en énergie, les chercheurs sont conduits à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie silencieuse, propre, gratuite et disponible. C'est d'ailleurs ce qui explique que son utilisation connaît une croissance significative dans le monde. Cette demande exige des études dans le but d'améliorer le rendement de cette énergie ce qui fait l'objectif de ce travail.

Au premier lieu nous avons vu des notions sur l'énergie solaire, le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque ainsi que le générateur (GPV), nous avons abordé aussi les différents groupements possibles des cellules et définir son rendement ainsi que son Facteur de forme.

Ensuite, nous avons présenté la modélisation mathématique de la cellule, module et le générateur photovoltaïque, Nous avons utilisé le logiciel MATLAB-Simulink 2016a pour étudier dans un premier temps le comportement d'une cellule PV, ensuite module PV (composé de 36 cellules connectées en série) puis un générateur PV (composé de 2 panneaux en parallèle chaque panneau contient 15 modules en série) dans les conditions standard ($E=1000 \text{ W/m}^2$ $T=25^\circ\text{C}$). Nous avons étudié aussi l'influence de la température et de l'éclairement sur l'énergie produite par la cellule PV, le module PV et le générateur PV, ainsi l'influence de l'association de cellule (série, parallèle et série / parallèle) sur l'énergie produite.

Finalement, nous avons présenté les différents types de défauts dans le générateur PV et faire la simulation du générateur PV et après on a créé des défauts sur le GPV et analyser chaque cas de défaut sur la caractéristique I_V , P_V et à la fin on a fait une étude comparative entre le model sain (GPV parfaits) avec le model contenant des défauts.

Reference :

- [1] Xueyang Jiang "étude comparative de structures de convertisseurs pour les systèmes photovoltaïques connectés à un réseau électrique moyenne tension " 'L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES août 2019.
- [2] Benblidia Med Karim , Henni Abdelhadi " Modélisation d'un générateur PV par logique floue" mémoire master Université Djilali Bounaama Khemis Miliana Année universitaire 2019/2020.
- [3] B. BELTRAN," Contribution à la commande robuste des éoliennes à base de génératrices asynchrones double alimentation", thèse de doctorat de l'université de Bretagne occidentale, Juin 2011, France. (BELTRAN, 2011)
- [4]- KHADRAOUI ZAKARIA « Etude d'une centrale solaire thermique » MASTER GENIE MECANIQUE-UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA-2017.
- [5] A. Mirecki, "Etude comparative des chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance," Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, France, Avril 2005.
- [6] ABDELHAMID LILIA 'Contribution à l'Amélioration des Performances des Générateurs Eoliens - Evaluation de l'Impact des Energies Renouvelables sur L'Environnement 'THESE DOCTORAT EN SCIENCES En Electrotechnique Université Hadj Lakhdar de Batna
- [7] CHERIF, Bennour. Simulation de la commande vectorielle par régulateurs à mode glissant d'une chaîne éolienne à base d'une machine asynchrone à double alimentation. 2012. Thèse de doctorat. Université de Biskra-Mohamed Khider.
- [8] M. KASDI Rafik M. HANTAT Brahim (Commande d'une génératrice asynchrone intégrée dans un système éolien connectée au réseau) 2011/2012 Mémoire de master.
- [9] F. POITIERS «Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne-Machine asynchrone à cage autonome-Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau» Thèse de Doctorat Université de Nantes, 2003.
- [10] Energie-Renouvelable.tv.htm.
- [11] BIDI Manel « Conception d'une centrale photovoltaïque pour recharge de voitures» Thèse de master Université de M'sila 2019.
- [12] Zerguine Bilal « modélisation d'un système de production électrique par la cellule photovoltaïque, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA Mémoire de magister ,2010.

- [13] S. M. Ait-Cheikh, «Etude, Investigation et conception d’algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques», Thèse de Doctorat d’état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.
- [14] Skouri Safa, « Contribution à l’étude des concentrateurs solaires », Thèse de Doctorat, Université Monastir, Maroc, 2016.
- [15] J. Abdul Aziz, « Concentrateurs solaires et production électrique », Rapport, Institut National des Sciences Appliquées de Rouen, France, 2014.
- [16] Helali Kamelia, « Modélisation d’une cellule photovoltaïque : Etude comparative », Mémoire de Magistère, UMMTO, 2012.
- [17] I. Bendjamaa. « Modélisation et commande d’un système de stockage Photovoltaïque ». Mémoire de magister, Université Abou-Baker Belkaid- Telemcen, 2011/2012.
- [18] S. Petibon, " Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l’énergie pour les applications photovoltaïques", Thèse Doctorat de l’Université Toulouse 3 Paul Sabatier, France, 2009.
- [19] A. Djerdir, K. El Kadri, A. Miraoui, « Maquette pédagogique associant un générateur photovoltaïque et des super condensateurs dans une application transport», *rapport L2ES* Belfort Cedex- France, 2002.
- [20] - Tarek Bouguerra’’ Optimisation d’un système photovoltaïque : Application en continu et en alternatif ’’mémoire de magister UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE 1 30/06/2014.
- [21] HARAOUBIA Mohamed ’’ Etude simulation d’un générateur de panneau Photovoltaïque’’ MEMOIRE de MASTER UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2019.
- [22] HARAOUBIA Brahim `la jonction pn ’
- [23] S. Liu And R.A. Dougal, “dynamic multiphysics model for solar array”, IEEE transactions on energy conversion, vol. 17, n°2, pp. 285 – 294, june 2002.
- [24] Nema, S., Nema, R. K., & Agnihotri, G. (2010). Matlab/simulink based study of photovoltaic cells/modules/array and their experimental verification. International journal of Energy and Environment, 1(3), 487-500.
- [25] Saad Motahhir, Abdelaziz Ghzizal, Aziz Derouich. Modélisation et commande d’un panneau photo- voltaïque dans l’environnement PSIM. Congrès International de Génie Industriel et Management des Systèmes, May 2015, fès, Maroc. hal-01351493.

- [26] W. Herrmann, W. Wiesner, and W. Vaassen, "Hot spot investigations on PV modules-new concepts for a test standard and consequences for module design with respect to bypass diodes," in *Photovoltaic Specialists Conference, 1997., Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE*, 1997, pp. 1129–1132.
- [27] Molenbroek, D. W. Waddington, and K. A. Emery, "Hot spot susceptibility and testing of PV modules," in *Photovoltaic Specialists Conference, 1991., Conference Record of the Twenty Second IEEE*, 1991, pp. 547–552 vol.1.
- [28] W. Herrmann, W. Wiesner, and W. Vaassen, "Hot spot investigations on PV modules-new concepts for a test standard and consequences for module design with respect to bypass diodes," in *Photovoltaic Specialists Conference, 1997., Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE*, 1997, pp. 1129–1132.
- [29] E. Molenbroek, D. W. Waddington, and K. A. Emery, "Hot spot susceptibility and testing of PV modules," in *Photovoltaic Specialists Conference, 1991., Conference Record of the Twenty Second IEEE*, 1991, pp. 547–552 vol.1.
- [30]<https://www.trace-software.com/fr/les-effets-dombrage-sur-la-performance-des-panneaux-solaires/>
- [31] DOUMANE Radhia mémoire magister 'modélisation du vieillissement d'un module photovoltaïque' université M'Hamed bougara boumerdes juin 2011.
- [32] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Simulink>.
- [33] M. Angel, Cid Pastor. « Conception et Réalisation de Modules Photovoltaïques Electroniques ». Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [34] Bencherif Mohammed. « Modélisation de système énergétique photovoltaïque et Éoliens intégration dans système hybride base tension ». Thèse de Doctorat en Physique, Université de Abou Bekr Belkaid-Tlemcen, 2014.
- [35] Lynda DEBIT 'Modélisation et commande pour la poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque en tenant compte de la variation de la température' mémoire de mater UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 04/07/2018.

