

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA de Bejaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique



Mémoire de fin d'étude

***En vue de l'obtention du diplôme de Master en
Electrotechnique***

Option : Energies Renouvelables

Thème

***Gestion de masquage d'un générateur
photovoltaïque en fonctionnement autonome***

Réaliser par :

- **BOUKHENIFRA Asma**
- **RABOUHI Melissa**

Encadré par:

- **MOHAMMEDI Ahmed**

Année universitaire 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, nous aimerions remercier dieu le tout- puissant, de nous avoir donné la force et la patience de pouvoir mener ce travail à terme.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à Monsieur

A. MOHAMMEDI Professeur à l'Université de Bejaïa d'avoir accepté et pris le temps d'être rapporteur de ce travail, Et nous tenons à lui exprimer toute nos gratitude pour l'intérêt, la confiance et son soutien dans les moments les plus difficiles, qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance, sans lui ce travail n'aurait pas été possible.

Nos vifs remerciements aux membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

On remercie nos très chers parents, qui ont toujours été là pour nous. On remercie, nos frères et sœurs, pour leurs encouragements.

Merci.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère que dieu me la garde et mon père lah yarhmou pour leur sacrifices, et qui n'ont jamais cessé de m'encourager

Mon très cher frère: Walid

Ma sœur : Yassmin

Bien sur ma copine et ma binôme : Boukhenifra Asma

R.Mélissa

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*Mes très chères parents, pour leur sacrifices, et qui n'ont jamais cessé
de m'encourager que dieu me les garde*

Mes très chers frères : Issam, Zakaria, Ouail et Mohamed

Ma très chère sœur : Wissam et son mari : soulayman

Mon neveu : Ishak

Bien sur ma copine et ma binôme : Rabouhi mélissa

B. Asma

Résumé :

Les énergies renouvelables, en mettant particulièrement l'accent sur l'énergie solaire photovoltaïque. Elle présente la meilleure pour produire d'électricité. Les générateurs photovoltaïques peuvent être configurés de différentes manières, notamment en série ou en parallèle. En cas d'ombrage, sont discutées en termes de puissance et des caractéristiques électriques. La reconfiguration des générateurs dans les installations autonomes est cruciale pour maximiser l'efficacité et garantir un fonctionnement optimal.

Enfin, le document met en lumière l'importance croissante de la reconfiguration du générateur photovoltaïque sur les coûts de production d'énergie et encourage un mode de vie plus durable.

ملخص :

الطاقة المتجددة، مع التركيز بشكل خاص على الطاقة الشمسية الفوتو فولطائية تعتبر الخيار الأفضل لإنتاج الكهرباء. يمكن تركيب مولدات الطاقة الشمسية بطرق مختلفة، بما في ذلك التوصيل على التوالي أو التوصيل بالتوازي. في حالة وجود الظلال، يتم مناقشة ذلك من حيث الطاقة والخصائص الكهربائية. إعادة تركيب المولدات في التثبيتات المستقلة أمر حيوي لتعظيم وأخي راء، يسלט المستند الضوء على أهمية زيادة إعادة تركيب مولدات الطاقة الشمسية على الكفاءة وضمان عملية تشغيل مثالية تكاليف إنتاج الطاقة وتشجيع نمط حياة أكثر استدامة.

Abstract :

Renewable energies, with a special focus on solar photovoltaics. It offers the best way to produce electricity Photovoltaic generators can be configured in different ways, especially series or parallel. In the case of shading, they are discussed in terms of power and electrical properties. Generator reconfiguration in stand-alone facilities is critical to increasing efficiency and ensuring optimal operation.

Finally, the paper highlights the increasing importance of PV array reconfiguration on energy production costs and encourages a more sustainable lifestyle.

Sommaire

Liste des figures	i
Liste des tableaux.....	ii
Liste des symboles et d'abréviations.....	iii
Introduction générale.....	1

Chapitre I

Généralité sur les énergies renouvelables

Introduction	3
1. Les types des énergies renouvelables	3
1.1. La biomasse	3
1.2. Energie de la géothermie	4
1.3. Energie hydraulique.....	4
2.4. Energie éolienne.....	5
1.5. Energie solaire	5
2. Energie solaire photovoltaïque	6
2.1. Historique	6
2.2. L'effet photovoltaïque	6
2.3. Constitution des cellules photovoltaïques.....	7
2.4. Type des cellules photovoltaïques.....	8
2. 4. 1. Cellules en silicium poly cristallin.....	8
2. 4. 2. Cellules en silicium monocristallin.....	8
2. 4. 3. Cellules sans silicium en couche mince.....	8
2. 4. 4. Cellules multi jonction.....	8
2. 4. 5. Cellules à hétérojonction.....	8
2. 4. 6. Cellules organiques.....	9
2. 4. 7. Cellules à concentration.....	9
2. 5. Caractéristiques des cellules photovoltaïques	9
2. 5. 1. Courant de court-circuit I_{cc}	9
2. 5. 2. Tension de circuit ouvert V_{co}	10
2. 5. 3. Facteur de forme FF	10
2. 5. 3. Rendement de la cellule photovoltaïque η_{pv}	10
2.6. Association des cellules (panneaux).....	10

Sommaire

2. 6. 1. association en série	10
2. 6. 2. Association en parallèle	11
2. 7. Les différents systèmes photovoltaïques	11
2. 7. 1. Les systèmes autonomes	11
2. 7. 2. Les systèmes couplés au réseau.....	12
Conclusion.....	13

Chapitre II

Etude de l'effet de masque sur un générateur photovoltaïque

Introduction	14
1. Problèmes liés aux systèmes photovoltaïques	14
1.1. Problèmes matériels	14
1.1.1. Modules photovoltaïques.....	14
1.1.2. Onduleurs	14
1.1.3. Câblage et connexions	15
1.1.4. Structures et support	15
1.1.5. Protections électriques.....	15
1.1.6. Systèmes de supervision.....	15
Conséquences	15
1. 2. Problèmes liés aux facteurs.....	16
1. 2. 1. Conditions météorologiques	16
1. 2. 2. Encrassement	16
1. 2. 3. Ombrages (Masque).....	17
1.2.4. Risques naturels	17
Conséquences	17
1. Types des rayonnements solaires.....	17
1.1. Rayonnement direct.....	17
1.2. Rayonnement diffus.....	18
1.3. Rayonnement circumpolaire.....	18
1.4. Rayonnement réfléchi (albédo)	18

Sommaire

1.5. Rayonnement infrarouge.....	18
1.6. Rayonnement ultraviolet	18
2. Polarisation direct et inverse.....	18
2.1. Polarisation directe	18
3.2. Polarisation inverse.....	18
3. Perturbation sur l'orientation et l'inclinaison des panneaux PV	19
3.1. Orientation par rapport au sud (hémisphère nord).....	19
3.2. Angle d'inclinaison	19
3.3. Ombrage.....	19
3.4. Suivi solaire.....	19
4. L'ombrage sur le générateur photovoltaïque.....	20
4.1. Types d'ombrage	20
5.1. 1. Ombrage total	20
5.1. 2. Ombrage partiel	20
5. 1. 3. Ombrage aléatoire.....	21
5. 2. Solutions techniques de protection.....	21
5. 2. 1. Diode by-pass	21
5. 2. 2. la diode anti-retour.....	22
5.3. Solutions d'atténuation des effets d'ombrage	22
5. 3. 1. Reconfiguration du générateur photovoltaïque.....	22
a) Configuration série parallèle (SP).....	22
b) Configuration honey Comb (HB).....	23
c) Configuration Totale-Cross-Tied (TCT)	23
d) Configuration bridge linked (BL).....	23
e) Configurations hybridées (TCT-BL, TCT-HC).....	24
5.3.2. Nettoyage des panneaux photovoltaïque	24
a) Nettoyage naturel.....	24
b) Nettoyage artificiel	25
Conclusion.....	26

Chapitre III

Simulation et validation des résultats sur un générateur en fonctionnement autonome

Introduction	27
--------------------	----

Sommaire

1. Modalisation du générateur photovoltaïque	27
1.1. Modèles à une diode.....	27
2. Méthodologie de travail	28
2.1. Configurations étudiées.....	28
2.1.1. La configuration de type série-parallèle (SP)	28
2.1. 2. La configuration en forme H.....	28
2.1. 3. La configuration en forme de I (H inversé)	29
2.2. Position et étendue du masque.....	30
2. 2. 1. Masque transversal	30
2. 2. 2. Masque longitudinal	33
2. 3. Comparaison des différents résultats.....	35
2. 4. Discussion des résultats.....	40
Conclusion.....	40

Chapitre I

Fig I.1 : les sources de l'énergie de la biomasse3

Fig I.2 : Principe de fonctionnement de la centrale géothermique4

Fig I.3 : Centrale d'énergie hydraulique.....4

Fig I.4 : fonctionnement d'énergie éolienne.....5

Fig I.5 : Installation photovoltaïque5

Fig I.6 : Principe de l'effet photovoltaïque6

Fig I.7 : Constitution de la cellule photovoltaïque.....7

Fig I.8 : Caractéristiques électriques d'une cellule PV9

Fig I.9: Caractéristique courant – tension d'une mise en série de n_s cellules..... 10

Fig I.10: Caractéristique courant – tension d'une mise en parallèle de n_p cellules 11

Fig I.11: Exemple d'un système photovoltaïque autonome..... 11

Fig I.12: Exemple d'un système photovoltaïque couplé au réseau 12

Chapitre II

Fig II.1: cellules photovoltaïques défectueuses 14

Fig II.2: apparition des points chauds dans les cellules 15

Fig II.3: Neige et verglas sur les modules photovoltaïques..... 16

Fig II.4: Ejections sur les panneaux photovoltaïques 16

Fig II.5: Types des rayonnements solaires 17

Fig II.6: Orientation et Inclinaison des panneaux PV 19

Fig II.7: Cas d'ombre partielle 21

Fig II.8: Fonctionnement de la diode by-pass 21

Fig II.9: Protection par diodes anti-retour 22

Fig II.10: Configuration série parallèle des modules PV 22

Fig II.11: Configuration honey comb (HB) 23

Fig II.12: Configuration Totale-Cross-Tied (TCT) 23

Fig II.13: Configuration Bridge linked (BL)..... 24

Fig II.14: Exemple de la configuration TCT-HC 24

Fig II.15: Nettoyage manuel 25

Fig II.16: nettoyage mécanique 25

Fig II.17: Nettoyage robotique 26

Chapitre III

Fig. III.1: Schéma équivalent du modèle à une seule diode d'un GPV27

Fig. III.2 : Configuration28

Fig. III.3 : Configuration en forme de H29

Fig. III.4 : Configuration en forme de I.....29

Fig.III.5 : Caractéristiques électriques (I(V) et P(V)) aux conditions STC30

Fig. III.6 : Masque transversal sur 1 mètre.....31

Fig. III.7 : Caractéristiques électriques pour un masque transversal sur 1 mètre32

Fig. III.8 : Masque transversal sur 2 et 3 mètres respectivement32

Fig. III.9 : Caractéristiques P(V) pour un masque transversal sur 2 et 3 mètres33

Fig. III.10 : Masque longitudinal sur 1, 2 et 3 mètres respectivement34

Fig. III.11 : Caractéristiques P(V) pour un masque longitudinal sur 1, 2 et 3 mètres.....35

Fig. III.12 : Comparaison des caractéristiques électriques entre différentes configurations pour différents position de masque36

Fig. III.13 : Puissances PV généré par les différentes configurations étudiés37

Fig.III.14 : Puissances PV généré pour différentes étendues et même position du masque sur le générateur38

Fig. III.15 : Pertes de puissances pour différentes étendues du masque sur le générateur38

Fig. III.16 : Pertes de puissances engendrées par les cas de masquage envisagés39

Fig. III.17 : Facteur de forme en fonction de l'étendue de masque pour la même position de l'ombre39

Fig. III.18 : Comparaison du facteur de forme entre les différentes positions du masque en fonction des configurations adoptées.....4

Tabl. III.1 : Paramètres du générateur utilisé.....29

DC/AC : Convertisseur Continu/ Alternatif

DC/DC : Convertisseur Continu/ Continu

FF : Facteur de forme.

I : Courant.

I_0 : le courant de saturation de la diode.

I_{cc} : Courant de court-circuit.

I_{ph} : Photo courant.

P : Puissance

P_{max} : Puissance maximale.

PV : Photovoltaïque.

q : la charge de l'électron.

R_s : Résistance série.

R_{sh} : Résistance shunt.

S : Surface du panneau.

V : Tension.

V_{co} : Tension en circuit ouvert.

η : Rendement.



***Introduction
Générale***

Introduction général

L'énergie est un élément essentiel dans la vie humaine et l'un des moteurs du développement des sociétés. Depuis des milliers d'années l'homme utilise l'énergie pour satisfaire ses besoins vitaux. Les énergies peuvent être classées en deux grandes catégories : les énergies renouvelables (fossiles) et les énergies non renouvelables [1-3]. Les énergies fossiles représentent plus de 85% de l'énergie consommée dans le monde [2]. Cependant, leur utilisation massive conduit à l'épuisement de ces réserves et a un impact négatif sur l'environnement, notamment via les émissions de gaz à effet de serre [4].

Les énergies renouvelables, quant à elles, proviennent de sources inépuisables qui se renouvellent naturellement en un temps court [1-4]. On distingue notamment : l'énergie éolienne, hydraulique, la géothermie, la biomasse, l'énergie solaire mais leur part reste encore faible dans le mix énergétique mondial [2]. Le développement des énergies renouvelables est un enjeu majeur pour répondre à la croissance de la demande énergétique tout en préservant l'environnement. Cela passe par l'amélioration continue des technologies et l'intégration intelligente de ces énergies dans les systèmes électriques [3-4].

Alors que le monde s'engage de plus en plus vers des sources d'énergie propres et renouvelables, l'énergie solaire se positionne comme l'une des solutions les plus prometteuses pour répondre à nos besoins énergétiques croissants grâce aux différents facteurs stimulants : réduction des coûts de production et politiques de soutien. Donc utiliser des panneaux solaires, c'est opter pour une solution à la fois économique et respectueuse de l'environnement. Si elles nécessitent peu d'entretien, elles ne sont pas entièrement à l'abri de tout dysfonctionnement notamment en présence d'un masquage sur une partie du générateur généralement causé par les nuages, les obstacles environnementaux tels que les arbres ou les bâtiments à proximité.

Le masquage (l'ombrage) représente un défi majeur à considérer lors de l'installation de panneaux solaires photovoltaïques. Face à ce constat, intégrer des solutions à ce phénomène dès la conception et l'installation d'un système photovoltaïque devient essentiel pour optimiser sa performance, parmi lesquelles on trouve la reconfiguration du générateur photovoltaïque.

A la lumière de ce que nous venons d'avancer et afin de présenter une analyse concrète, nous présentons ce mémoire réparti en trois chapitres dont chacun dispose d'un but bien déterminé :

Le premier est consacré à une approche générale sur les énergies, il comprend les définitions et rappels nécessaires, les types des énergies renouvelables en mettant l'accent sur l'énergie solaire photovoltaïque.

Au deuxième chapitre nous allons aborder les différentes anomalies rencontrées dans les systèmes photovoltaïques ; un intérêt particulier est porté pour le masquage d'une portion du générateur photovoltaïque.

Le troisième chapitre fera l'objet d'une étude des différentes configurations proposées afin de remédier au problème du masquage qui survient dans plusieurs directions.

On termine par une conclusion générale



Chapitre I

Introduction

L'énergie est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un système à modifier un état et à produire un travail, de la chaleur, ou de l'électricité afin d'alimenter nos appareils et véhicules. On peut classer trois types d'énergies sur notre planète ; énergie fossile, fissile et énergie renouvelable.

Les énergies fossiles sont ces combustibles: le gaz, pétrole et le charbon), ils fournissent 80% de l'énergie mondiale entre production d'électricité et carburant dans les moteurs thermiques [1, 2]. Les énergies fissiles, dites nucléaire c'est le résultat de la fission de l'uranium ou du plutonium [3].

Les énergies renouvelables se sont des sources d'énergie qui peuvent être renouvelées naturellement (non limité), contrairement aux énergies fossiles et fissiles. Elles garantissent une production d'énergie d'une manier propre et assure un avenir plus durable pour notre planète.

Dans cette partie nous allons étudier les déférentes sources d'énergies renouvelables, en se basant sur l'énergie solaire photovoltaïque.

1. Les types des énergies renouvelables

1.1. La biomasse

La forme d'énergie la plus ancienne utiliser par l'humanité depuis la découverte du feu, cette énergie permet de fabrique de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de bois végétale ou animale. Il y a deux types de la biomasse (la biomasse lignocellulosique et la biomasse oléagineuse) [4].

Cette énergie a des avantages et des inconvénients, parmi ses avantages la valorisation des déchets et son inconvénient le chauffage à bois dégage du CO₂ dans l'atmosphère qui cause des effets néfastes sur la santé.

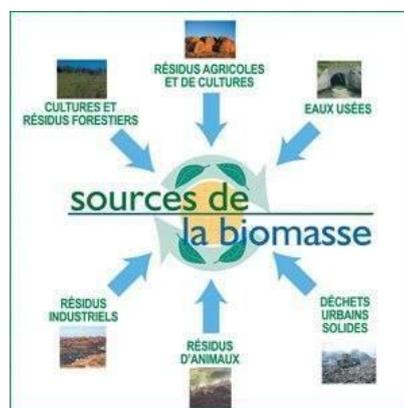


Figure I_01 :les sources de l'énergie de la biomasse.

1.2. Energie de la géothermie

L'énergie créée et emmagasiné dans la terre sous forme thermique, fabrique de l'électricité dans les centrale géothermique grâce a l'eau chaude qui dépasse 150°C dans les nappes sous-sol de la terre. Elle est indépendante de la météo et aucun rejet de CO₂ à l'atmosphère par contre sont rendement électrique est faible (5 à 15%) avec un cout d'investissement important [5].

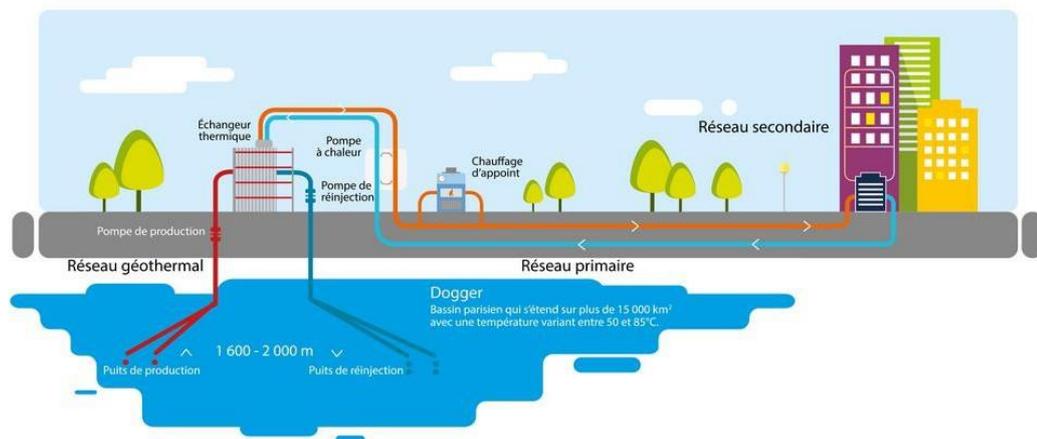


Figure I_02 : Principe de fonctionnement de la centrale géothermique.

1.3. Energie hydraulique

Elle représente l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes (chut d'eau, cours d'eau, courant marin marée et vagues) [6].

Les roues aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique, tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité, elle a un bon rendement et la durabilité de son installation. Cependant, elle dépend des conditions météorologiques et nécessite l'installation des barrages.

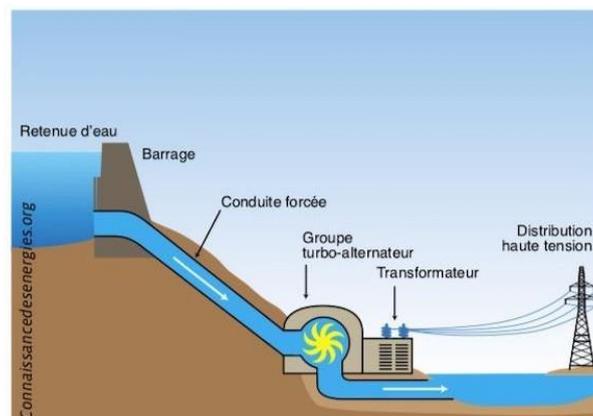


Figure I_03 : Centrale d'énergie hydraulique.

2.4. Energie éolienne

C'est l'énergie de vent (cinétique) l'installation des éoliennes démontables ce qui permet une certaine flexibilité [7], de plus la technologie éolienne est bien maîtrisée, tout fois il y a quelques inconvénients c'est que son rendement est moyen (20-60%), ce qui signifie qu'il peut y avoir des pertes d'efficacité puisqu'elle fonctionne seulement si le vent souffle.

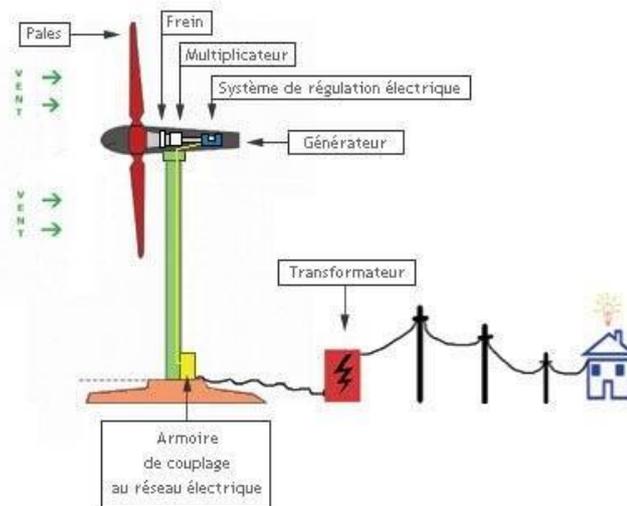


Figure I_04 : fonctionnement d'énergie éolienne.

1.5. Energie solaire

L'énergie fournie par les rayons du soleil permet de fabriquer de l'électricité à partir de la lumière captée par les panneaux photovoltaïques [8]. L'un des avantages de l'énergie solaire est qu'elle est facile à installer, de plus, leur technologie évolue rapidement ce qui permet des améliorations constantes mais elle contient un : rendement faible (15%) et une fabrication et recyclage des panneaux peu écologiques [9].

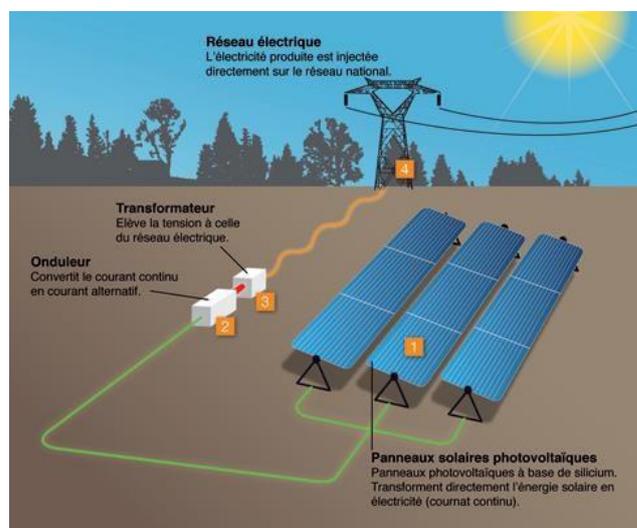


Figure I_05 : Installation photovoltaïque.

2. Energie solaire photovoltaïque

2.1. Historique

La conversion photovoltaïque a été découverte en 1839 par le français Antoine Becquerel mais c'est seulement en 1883 que Charles Frits met en évidence les premières photopiles au sélénium. Après 1913 naissent les premières cellules photovoltaïques, mais ce n'est que en 1916 que Robert Millikan parvient à produire un courant continu.

Le premier véritable panneau solaire, avec un rendement de 6%, est développé en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell [10]. Les panneaux solaires ont ensuite été utilisés dans l'espace pour fournir une énergie durable aux satellites, puis se sont progressivement développés pour une utilisation terrestre, alimentant même la première maison en 1973. Entre 1995 et 2001, les progrès technologiques ont permis une amélioration significative des panneaux photovoltaïques qui sont mis en vente dans le commerce [11].

2.2. L'effet photovoltaïque

C'est un phénomène physique qui permet de convertir l'énergie lumineuse en électricité, il a été mis en évidence par Antoine Becquerel en 1839 mais c'est seulement à partir de la 2^{ème} moitié du 20^{ème} siècle que l'on a réellement commencé à développer cette découverte. Il repose sur la capacité de certains matériaux, comme les semi-conducteurs, à transformer directement la lumière solaire en courant électrique [12].

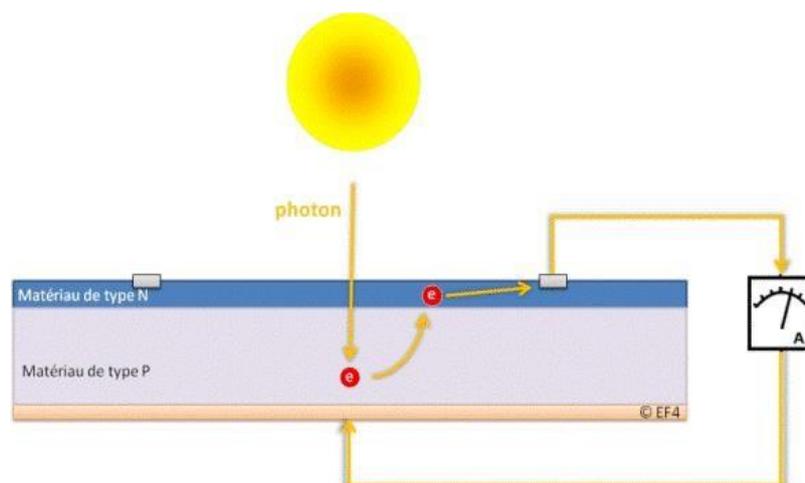


Figure I_06 : Principe de l'effet photovoltaïque

Lorsque la lumière du soleil atteint une cellule solaire, elle est absorbée par des matériaux semi-conducteurs spéciaux. Ces matériaux, tels que le silicium, sont dotés de propriétés

qui permettent aux électrons de se libérer de leurs atomes d'origine. Cette libération crée un courant électrique. Les électrons libres sont ensuite guidés par des champs électriques à l'intérieur de la cellule solaire, générant ainsi de l'électricité. Cette électricité peut ensuite être utilisée pour alimenter des appareils ou être stockée dans des batteries.

2.3. Constitution des cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont l'élément de base des panneaux solaires. Elles convertissent directement l'énergie lumineuse de soleil en électricité par effet photovoltaïque. Leur constitution est la suivante :

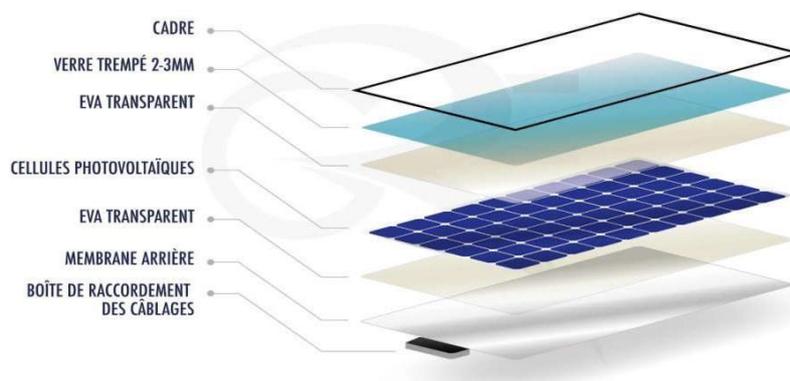


Figure I_07 : Constitution de la cellule photovoltaïque

A. Substrat : C'est généralement du silicium monocristallin ou polycristallin, qui est le matériau semi-conducteur le plus utilisé pour les cellules photovoltaïques.

B. Jonction PN : C'est la partie active de la cellule. Elle est formée par la jonction entre une couche de silicium dopée n (négativement) et une couche dopée p (positivement).

C. Electrodes : Une électrode métallique sur la face supérieure (grille de collecte) permet de collecter les électrons. Une électrode métallique sur la face arrière (contact arrière) sert de référence pour le circuit électrique.

D. Couche antireflet : Une fine couche diélectrique déposée sur la face avant améliore l'absorption de la lumière.

E. Encapsulation : les cellules sont généralement protégées par un verre à l'avant et un film polymère à l'arrière. Lorsque la lumière du soleil frappe la cellule photovoltaïque, les photons sont absorbés par le silicium (semi-conductrices) créant des paires électron-trou. le champ électrique interne à la jonction p-n sépare ces charges, générant ainsi un courant électrique qui peut être collecté par les contacts métalliques [13].

2. 4. Type des cellules photovoltaïques

Il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques, qui se distinguent par leur composition et leur mode de fabrication. Les principaux types sont :

⇒ 2. 4. 1. Cellules en silicium poly cristallin

Elles sont composées de silicium poly cristallin, qui est formé par le refroidissement du silicium fondu dans des creusets parallélépipédiques. Les cristaux sont orientés de manière irrégulière, ce qui donne à la cellule une apparence bleutée avec des motifs générés par les cristaux. Ces cellules ont un bon rendement (environ 100 Wc/m²) et une durée de vie importante (~ 30 ans), mais leur rendement est faible sous un faible éclaircissement. Leur rendement commercial est de 11 à 15%, et leur rendement record en laboratoire est d'environ 20%.

⇒ 2. 4. 2. Cellules en silicium monocristallin

Elles sont composées de silicium monocristallin, qui est formé par le refroidissement du silicium fondu en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. Ces cellules ont un rendement plus élevé que les cellules poly cristallines, mais leur fabrication est plus coûteuse. Leur rendement commercial est de 9 à 11%, et leur rendement record en laboratoire est d'environ 19,3%.

⇒ 2. 4. 3. Cellules sans silicium en couche mince

Elles sont composées de matériaux autres que le silicium, tels que le sulfure de cadmium (CdS), le tellure de cadmium (CdTe), des alliages de cuivre, indium et sélénium (CIS), ou la pérovskite. Ces cellules sont plus fines et plus légères que les cellules en silicium, mais leur rendement est généralement plus faible. Leur rendement commercial est d'environ 10%, et leur rendement record en laboratoire est d'environ 20%.

⇒ 2. 4. 4. Cellules multi jonction

Elles sont composées de plusieurs couches de matériaux semi-conducteurs de compositions différentes, ce qui leur permet de convertir différentes parties du spectre solaire. Ces cellules ont un rendement inégalé, mais elles ne sont pas encore commercialisées pour des applications autres que spatiales.

⇒ 2. 4. 5. Cellules à hétérojonction

Ce sont des cellules photovoltaïques qui utilisent une jonction p-n entre deux matériaux différents pour convertir l'énergie lumineuse en électricité. Elles sont

considérées comme une technologie prometteuse pour atteindre des rendements supérieurs à 30% à faible coût et avec une durée de vie de 25 ans.

⇒ 2. 4. 6. Cellules organiques

Elles sont composées de matériaux organiques, tels que des polymères conducteurs ou des molécules pi-conjuguées. Ces cellules sont encore en développement et présentent des défis en termes de stabilité et de rendement.

⇒ 2. 4. 7. Cellules à concentration

Elles utilisent des lentilles ou des miroirs pour concentrer la lumière solaire sur une petite surface de cellule photovoltaïque, ce qui permet d'augmenter le rendement. Ces cellules sont généralement plus coûteuses et nécessitent un suivi solaire pour maintenir la concentration de la lumière [14].

2. 5. Caractéristiques des cellules photovoltaïques

La cellule solaire est caractérisée par le rendement de conversion, une tension à circuit ouvert V_{co} , un courant à court-circuit I_{cc} et un facteur de forme FF. Ces paramètres sont déterminés à partir des caractéristiques courant-tension.

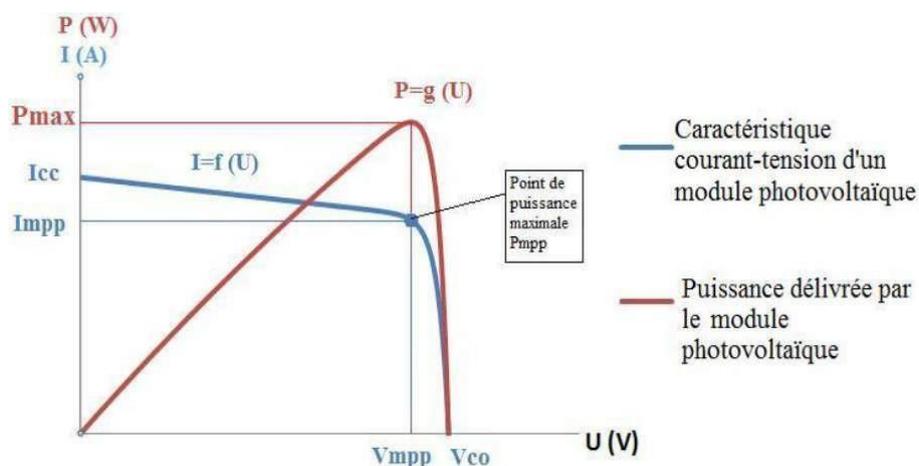


Figure I_08: Caractéristiques électriques d'une cellule PV.

2. 5. 1. Courant de court-circuit I_{cc} :

Le courant de court-circuit I_{cc} est la plus grande valeur du courant généré par une cellule. Le courant obtenu quand les bornes de cellules sont peu circuitées ($V=0$). Il augmente linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et relie la surface éclairée avec le spectre du rayonnement solaire et la température.

2. 5. 2. Tension de circuit ouvert V_{co} :

Elle représente la tension aux bornes de la photodiode, elle est obtenue quand le courant de cellules est nul. Sa valeur diminue avec la température et change peu avec l'insolation.

2. 5. 3. Facteur de forme FF : Le facteur de forme d'une cellule solaire est défini comme le rapport d'une puissance maximale sur la puissance calculée (donner par le constructeur) [15].

$$FF = \frac{\text{puissance maximale Fournie par les Cellules}}{\text{produit du Courant de Court-Circuit*tension de Circuit ouvert}} = \frac{I_{max} * V_{max}}{V_{co} * I_{CC}}$$

2. 5. 3. Rendement de la cellule photovoltaïque η_{pv}

Le rendement d'une cellule solaire est défini comme le rapport de la puissance maximale fournie par la cellule à la puissance lumineuse incidente sur le module photovoltaïque. La puissance incidente est le produit du rayonnement par la surface du module. Si E_s est l'éclairement en W/m^2 et S la surface du module, le rendement énergétique est calculé par :

$$\eta = \frac{\text{puissance électrique générée}}{\text{puissance lumineuse reçue par le photogénérateur}} = \frac{P_{max}}{E_s * S}$$

2.6. Association des cellules (panneaux)

2. 6. 1. association en série :

Par association en série (appelée "String"), les cellules sont traversées par le même courant et la tension résultante correspond à la somme des tensions générées par chacune des cellules.

La caractéristique résultante est représentée sur la figure ci-dessous :

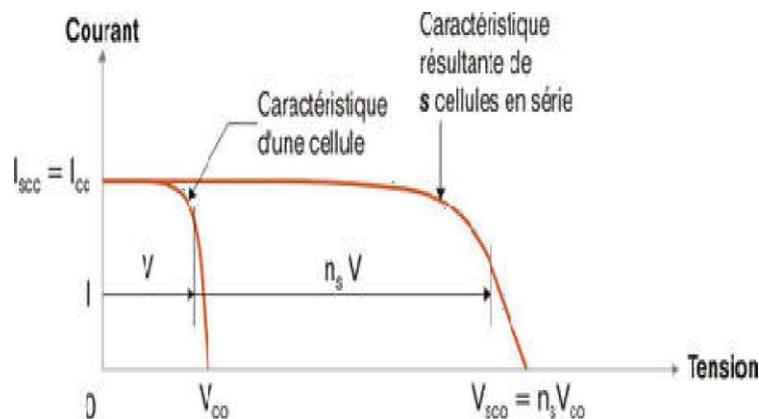


Figure I_09 : Caractéristique courant – tension d'une mise en série de n_s cellules.

2. 6. 2. Association en parallèle

Par association en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et le courant résultant correspond à la somme des courants générés par chacune des cellules.

Les caractéristiques globales lors de la mise en parallèle se déduisent comme suite [16] :

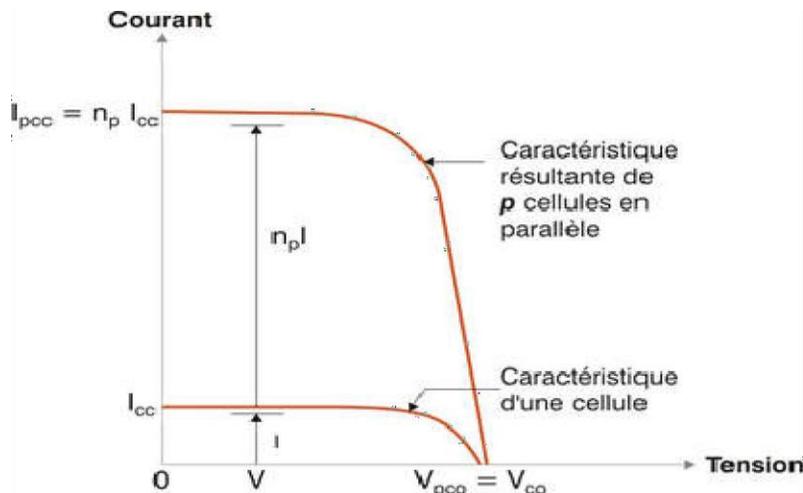


Figure I_10 : Caractéristique courant – tension d’une mise en parallèle de n_p cellules.

2. 7. Les différents systèmes photovoltaïques :

Il existe deux principaux types de systèmes photovoltaïques qui sont :

- Systèmes photovoltaïques autonomes (stand alone).
- Système photovoltaïques couplés au réseau électrique (grid-connected).

2. 7. 1. Les systèmes autonomes

Le système autonome est un type d’installation photovoltaïque qui n’est pas connecté au réseau électrique, mais qui est généralement connecté à un système de stockage d’énergie (batteries polo acide) et la restitue aux utilisateurs au moment où ils en ont besoin.

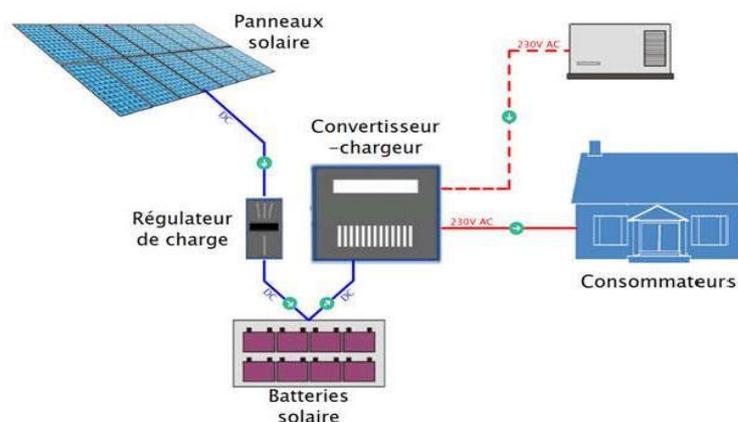


Figure I_11 : Exemple d'un système photovoltaïque autonome

✓ Les éléments constituant d'un système couplé au réseau

- Champ photovoltaïque.
- Onduleur.
- Compteur.
- Utilisateur.
- Réseau électrique.

✓ Le fonctionnement d'une installation photovoltaïque couplée au réseau

Le générateur photovoltaïque capte le rayonnement solaire et le transforme en courant continue. Ensuite, l'onduleur convertit cette énergie continue en énergie alternative. L'énergie produit peut être utilisée instantanément par l'utilisateur si besoin, ou elle peut être injectée dans le réseau électrique.

L'installation photovoltaïque couplée au réseau peut être vraiment bénéfique, tout en réduisant considérablement le cout de votre production propre énergie [17].

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons rappelé en générale les différentes sources d'énergie d'origine renouvelables en particulier, nous nous somme focaliser sur les notions de base de l'énergie solaire photovoltaïque.



Chapitre II

Introduction :

Un générateur photovoltaïque, aussi appelé générateur solaire électrique, est un groupe électrogène qui capte les rayons du soleil par des cellules solaire et transforme cette énergie solaire en courant électrique utilisable [19].

Un system photovoltaïque peut rencontrer divers problèmes et anomalies conduisant qui peuvent réduire sa performance ou le rendre indisponible. Il peut y avoir des soucis techniques, des pannes de composants ou même des problèmes liés à la condition météorologique [20].

Dans ce chapitre nous allons étudier les différents problèmes ou obstacles qui influent sur le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque et sa production.

1. Problèmes liés aux systèmes photovoltaïques

1.1. Problèmes matériels

Les principaux problèmes liés à la dégradation des composants d'un système photovoltaïque peuvent être résumés ci-après :

1.1.1. Modules photovoltaïques

- ✓ Défauts de fabrication (cellules défectueuses, défauts d'encapsulation).
- ✓ Dégradation prématurée (corrosion, fissures, points chauds).
- ✓ Encrassement excessif (poussières, pollutions, salissures).
- ✓ Ombrages partiels causés par des obstacles environnants. [21]



Figure II_01: cellules photovoltaïques défectueuses

1.1. 2. Onduleurs :

- ✓ Pannes électroniques (surtensions, surchauffes, vieillissement).
- ✓ Dysfonctionnements dans la conversion DC/AC.
- ✓ Problèmes de synchronisation avec le réseau électrique.

- ✓ Problèmes des systèmes de refroidissement (ventilateurs) [22]

1.1. 3. Câblage et connexions

- ✓ Coupures ou défauts d'isolation des câbles.
- ✓ Corrosion des connexions électriques [22].
- ✓ Résistances électriques parasites générant des pertes par effet Joule
- ✓ Connexions mal serrées ou dégradées (corrosion, défauts de contact)
- ✓ Sections de câbles sous-dimensionnées [24]

1.1. 4. Structures et support

- ✓ Organisation irrégulière de la structure de support.
- ✓ Corrosion ou défauts structurels des supports fixes.
- ✓ Problèmes de fixation au sol ou sur la toiture [22].

1.1. 5. Protections électriques

- ✓ Panne des parafoudres, sectionneurs, disjoncteurs.
- ✓ Dysfonctionnements des systèmes Anti-îlotage [22].

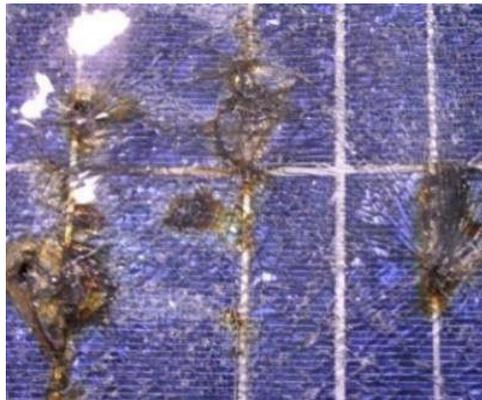


Figure II_02: apparition des points chauds dans les cellules

1.1. 6. Systèmes de supervision

- ✓ Pannes des capteurs de mesures (pyranomètres, anémomètres).
- ✓ Défaillances des systèmes de monitoring [22].

Conséquences

- ✓ Destruction en cas de foudre.
- ✓ Diminution des performances voir le dysfonctionnement de l'installation.
- ✓ Échauffement.
- ✓ claquage des diodes anti-retour.
- ✓ Vieillessement et dégradation des modules avec le temps (encrassement de l'encapsulant, Délamination, etc.) [23]

1. 2. Problèmes liés aux facteurs externes

Les principaux problèmes liés au mauvais fonctionnement d'un système photovoltaïque causé par des facteurs externes peuvent être résumés ci-après :

1. 2. 1. Conditions météorologiques

- ❖ Ensoleillement réduit en cas de météo nuageuse ou pluvieuse.
- ❖ Accumulation de neige ou de glace sur les modules.
- ❖ Diminution des performances en cas de températures extrêmes (chaud ou froid).
- ❖ Exposition à des environnements humides.
- ❖ Corrosion accrue en milieu salin ou industriel pollué.
- ❖ Conditions de haute altitude, rayonnement UV intense. [25]

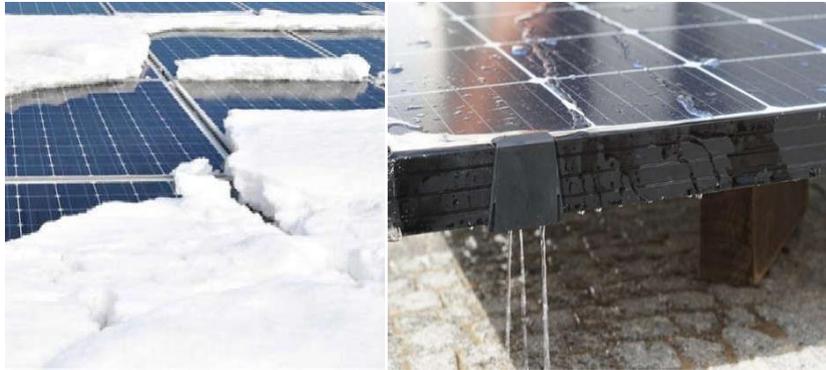


Figure II_03: Neige et verglas sur les modules photovoltaïques.

1. 2. 2. Encrassement

- ❖ Accumulation de poussières, pollutions, débris sur les modules.
- ❖ Salissures organiques (pollens, fientes d'oiseaux, mousses...).
- ❖ Projections de boue, de sable en milieu aride. [25]
- ❖ Conditions désertiques provoquant ensablement.



Figure II_04: Ejections sur les panneaux photovoltaïques

1. 2. 3. Ombrages (Masque)

- ❖ Ombres portées par des bâtiments, végétations environnantes.
- ❖ Ombrages partiels selon les passages nuageux dans la journée.
- ❖ Obstacles projetés par des courants d'air.

1.2.4. Risques naturels

- ❖ Foudre pouvant endommager les composants électriques.
- ❖ Secousses sismiques pour les régions à risque.
- ❖ Incendies de végétation en zones sensibles. [25]
- ❖ Dommages potentiels causés par la grêle ou les vents violents.

Conséquences

- ❖ Pertes de rendement des modules photovoltaïques.
- ❖ Vieillesse prématuré de composants internes.
- ❖ Hot spot, augmentation du courant de fuite, corrosion, perte d'adhérence et d'isolation.
- ❖ Echauffement, détérioration des joints
- ❖ Corrosion des connexions, des diodes, des bornes, incendie [23]
- ❖ Fissuration, arrachement des modules

2. Types des rayonnements solaires

Il existe plusieurs types de rayonnements solaires qui atteignent la surface de la Terre [26]:

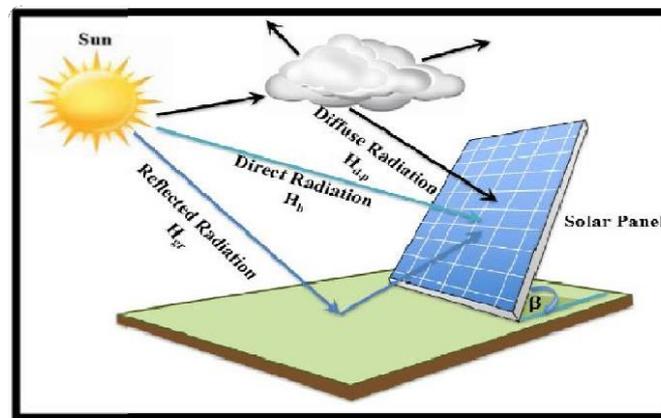


Figure II_05 : Types des rayonnements solaires.

2.1. Rayonnement direct

C'est le rayonnement provenant directement du disque solaire sans avoir subi de changement de direction. Il représente la composante principale du rayonnement solaire reçu.

2.2. Rayonnement diffus

Ce rayonnement est issu de la diffusion des rayons solaires par les molécules de l'atmosphère (vapeur d'eau, poussières, etc.). Il provient de toutes les directions et donne un ciel lumineux.

2.3. Rayonnement circumpolaire

C'est le rayonnement diffusé à proximité immédiate du disque solaire, provoqué par les petites particules en suspension dans l'air.

2.4. Rayonnement réfléchi (albédo)

Il s'agit du rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres comme le sol, les bâtiments, l'eau, etc.

2.5. Rayonnement infrarouge

Partie du spectre solaire correspondant aux grandes longueurs d'onde infrarouges. Il est responsable de l'échauffement des surfaces terrestres.

2.6. Rayonnement ultraviolet

Partie à courtes longueurs d'onde du spectre solaire, non visible mais très énergétique. Une partie est filtrée par la couche d'ozone.

3. Polarisation direct et inverse

Dans une diode semi-conductrice, on distingue effectivement deux types de polarisation :

3.1. Polarisation directe

Lorsqu'on applique une tension positive sur l'anode (zone p) par rapport à la cathode (zone n), on dit que la diode est polarisée en direct ou en sens direct. Dans ce cas :

- ⇒ La barrière de potentiel de la jonction p-n est diminuée
 - ⇒ Les porteurs majoritaires (électrons et trous) sont attirés de part et d'autre de la jonction
 - ⇒ Un courant électrique peut alors circuler relativement facilement à travers la diode
- [27]

3.2. Polarisation inverse

Lorsqu'on applique une tension négative sur l'anode par rapport à la cathode, on dit que la diode est polarisée en inverse ou en sens inverse. Dans ce cas :

- ⇒ La barrière de potentiel de la jonction p-n est augmentée

⇒ Les porteurs majoritaires sont repoussés de part et d'autre de la jonction

⇒ Très peu de courant peut circuler, la diode est bloquée dans ce sens

C'est cette propriété de conduction préférentielle dans un seul sens qui permet d'utiliser les diodes pour la conversion AC/DC, le redressement, etc.

Donc en résumé, la polarisation directe permet le passage du courant tandis que la polarisation inverse bloque le courant dans une diode semi-conductrice. [27]

4. Perturbation sur l'orientation et l'inclinaison des panneaux PV:

Les panneaux solaires doivent être orientés de manière optimale pour capter un maximum d'énergie solaire. Voici quelques points clés concernant l'orientation des panneaux solaires :

4.1. Orientation par rapport au sud (hémisphère nord)

Pour une production annuelle maximale, les panneaux solaires doivent idéalement être orientés plein sud. Une orientation légèrement décalée vers l'est ou l'ouest entraîne une perte mineure. [28]

4.2. Angle d'inclinaison

L'angle d'inclinaison optimal dépend de la latitude du lieu d'installation. En règle générale, l'angle recommandé est proche de la latitude du site, plus ou moins 15 degrés [28].

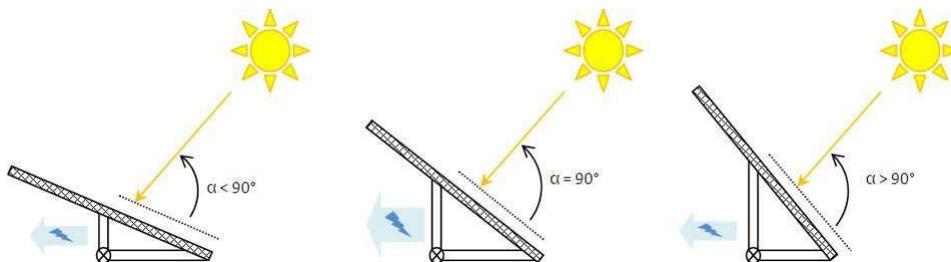


Figure II_06: Orientation et Inclinaison des panneaux PV

4.3. Ombrage

Les panneaux doivent être exempts d'ombrage tout au long de la journée. Un ombrage même partiel peut considérablement réduire la production électrique. [28]

4.4. Suivi solaire

Les systèmes à suivi solaire (trackers) permettent d'optimiser l'orientation des panneaux tout au long de la journée pour capter les rayons perpendiculaires. Cela augmente la production mais avec un coût d'installation plus élevé.

Un bon positionnement est crucial pour maximiser la performance et la rentabilité d'une installation solaire photovoltaïque.

Une orientation non optimale des panneaux solaires entraîne une baisse de rendement pouvant atteindre 30% par rapport à une orientation idéale.

Les mauvaises inclinaisons des panneaux solaires peuvent effectivement avoir un impact négatif significatif sur leur rendement et leur production d'énergie. Les points clés de ce sujet :

- ⇒ L'angle d'inclinaison optimal des panneaux solaires varie selon la latitude du lieu d'installation. En règle générale, il est recommandé d'incliner les panneaux à un angle équivalent à la latitude du site, plus ou moins 15 degrés selon la saison.
- ⇒ Un angle d'inclinaison trop faible fait que les panneaux ne captent pas suffisamment les rayons du soleil lorsqu'il est haut dans le ciel, en été notamment. Cela réduit la production.
- ⇒ Un angle trop élevé diminue le rendement en hiver quand le soleil est bas sur l'horizon. Les panneaux reçoivent alors moins de lumière directe.
- ⇒ Au-delà de l'inclinaison, l'orientation globale des panneaux (sud dans l'hémisphère nord, nord dans l'hémisphère sud) est aussi cruciale pour une exposition optimale au soleil.
- ⇒ Des études ont montré que des écarts même légers d'angle, de 5 à 10 degrés par rapport à l'inclinaison idéale, peuvent faire baisser la production annuelle de 5 à 10%.

L'installation et le réglage précis de l'inclinaison et de l'orientation sont donc des étapes importantes pour maximiser la performance des systèmes solaires photovoltaïques sur le long terme [28].

5. L'ombrage sur le générateur photovoltaïque

L'ombrage est l'ensemble des ombres entre les rayonnements solaires et les panneaux qui bloquant une partie ou totalité des rayonnements solaires .il est un problème très important qui peut réduire la production d'électricité [29].

5.1. Types d'ombrage

5.1.1. Ombrage total : Autrement dit complet ; c'est masqué totalement les rayonnements solaires, donc les panneaux ne reçoit aucun rayonnement direct. Ce qui arrête complètement la production d'énergie [30].

5.1.2. Ombrage partiel: une partie des cellules photovoltaïque d'un module solaire est recouverte d'une ombre projetée par un obstacle environnant (bâtiment, arbre, ligne électrique

...) c'est laisser une partie des rayons de soleil passe ou panneaux [31]. Le reste du module reçoit toujours le rayonnement solaire direct.



Figure II_07: Cas d'ombre partielle

5. 1. 3. Ombrage aléatoire: (ou l'ombrage intermittent) se définit comme une situation où les modules photovoltaïques sont exposés à des cycles d'ombrage et d'ensoleillement de manière imprévisible et non-contrôlé aléatoire et variable dans le temps. Ombrage comme les passages des nuages cet [32]

5. 2. Solutions techniques de protection

5. 2. 1. Diode by-pass

La diode by-pass est une des solutions pour protéger les cellules à l'ombrage partiel. Cette diode se place, en général, en parallèle avec une branche de dix-huit cellules. On peut constater plusieurs défauts de cette dernière, ces défauts sont en général des défauts de fabrication. Donc dans un panneau photovoltaïque on peut trouver une diode déconnectée, une diode équivalente à une impédance quelconque, une diode court-circuitée et une diode inversée. [33]

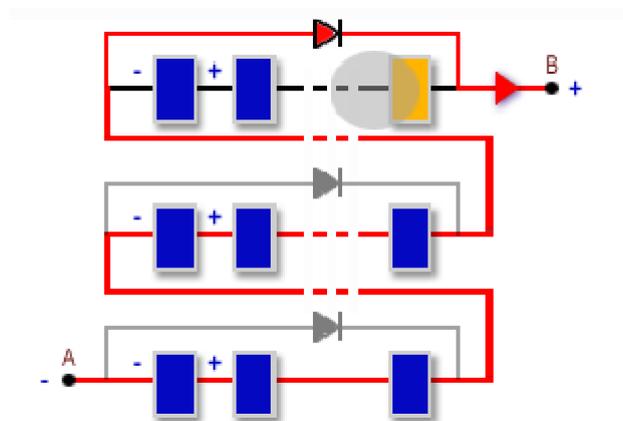


Figure II_08: Fonctionnement de la diode by-pass

5. 2. 2. la diode anti-retour

Les diodes anti-retour, également connue sous le nom de diode de protection inverse et un composant utilisés pour empêcher les courants inverses dans les circuits électriques, protégeant ainsi les composants sensibles contre les dommages. Elles sont essentielles pour éviter les effets néfastes du courant inverse et maintenir l'intégrité des circuits électrique. [34]

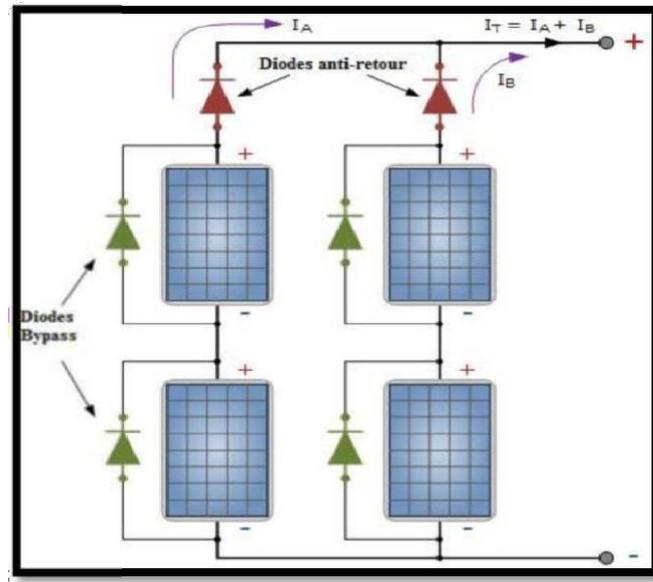


Figure II_09 : Protection par diodes anti-retour.

5.3. Solutions d'atténuation des effets d'ombrage

5. 3. 1. Reconfiguration du générateur photovoltaïque

a) **Configuration série parallèle (SP)** : c'est une hybridation combinant série et parallèle. Les cellules sont d'abord mises en série pour former des chaînes, puis ces chaînes sont connectées en parallèle. Cela augmente la tolérance aux ombres.

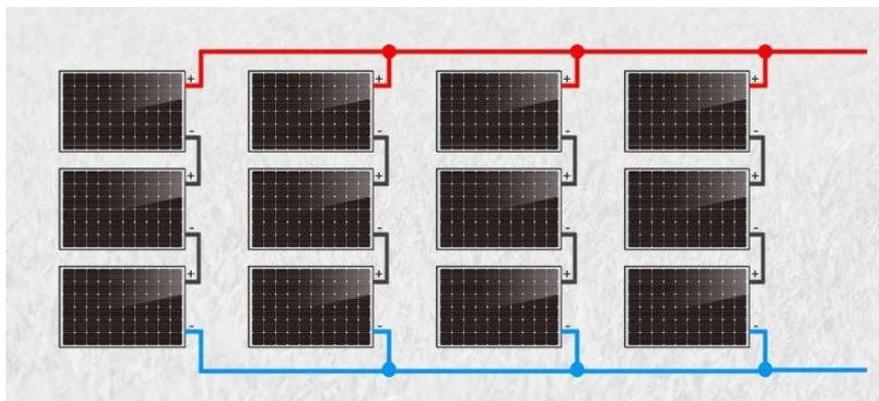


Figure II_10: Configuration série parallèle des modules PV.

b) Configuration honey Comb (HB) : C'est une structure où les panneaux sont connectés en nid d'abeille, avec des liens transversaux entre eux qui permettent de rediriger le courant autour des zones ombragées. Cette structure est facile à ajouter et retire des panneaux solaires sans affecter tout le système [36].

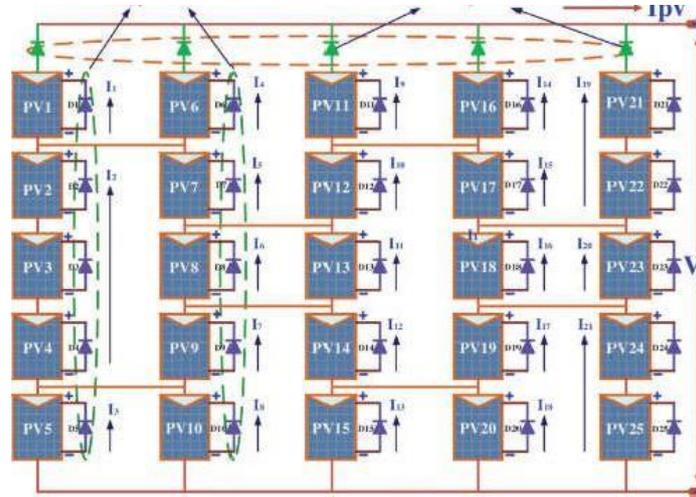


Figure II_11: Configuration honey comb (HB)

c) Configuration Totale-Cross-Tied (TCT) : C'est une méthode d'interconnexion utilisée dans le système PV pour réduire les pertes de puissance dues en distribuer le courant autour des cellules moins efficaces [37].

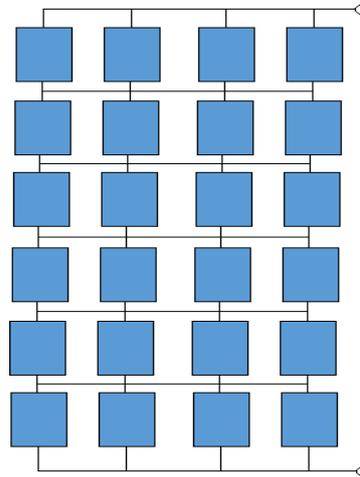


Figure II_12: Configuration Totale-Cross-Tied (TCT)

d) Configuration bridge linked (BL) : en français c'est la configuration « pont lié ». Cette technique permet d'améliorer le rendement global du générateur photovoltaïque [35].

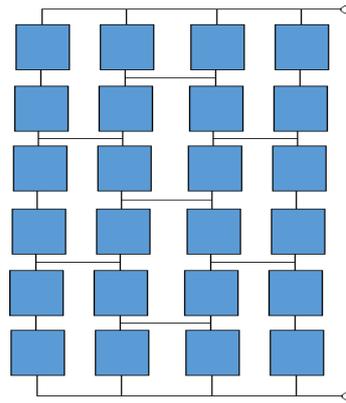


Figure II_13: Configuration Bridge linked (BL).

e) *Configurations hybridées (TCT-BL, TCT-HC,...)* : C'est une combinaison de deux configurations. Elles présentent la meilleure performance que les configurations individuelles. Ces méthodes permettent d'obtenir à la fois une tension et un courant élevé a la sortie du générateur pour maximiser la puissance en condition d'ombrage partiel [38].

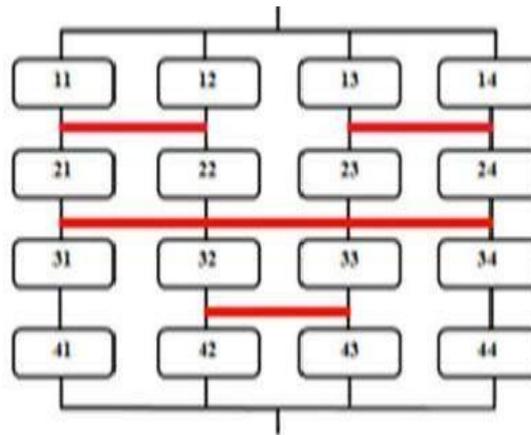


Figure II_14 : Exemple de la configuration TCT-HC

5.3.2. Nettoyage des panneaux photovoltaïque

Le nettoyage des panneaux photovoltaïque est une opération importante pour maintenir leur efficacité est principalement divisé en deux catégories le nettoyage naturel (par le vent, la pluie, la neige, etc.) et le nettoyage artificiel (qui se subdivise en nettoyage manuel et automatique).

a) Nettoyage naturel

- *Nettoyage par la pluie*: c'est la méthode de nettoyage naturelle la plus courante. Lorsqu'il pleut, les gouttes d'eau ruissellent sur les panneaux et des saletés accumulées. L'efficacité dépend de l'intensité des précipitations. [39]

- **Nettoyage par le vent** : le vent peut contribuer à déloger et évacuer les particules accumulées sur les panneaux solaires.

Ce type de nettoyage peut être insuffisant dans les régions plus polluantes. [39]

b) Nettoyage artificiel

- **Méthodes de nettoyage manuel** : est une méthode simple, économique et écologique pour maintenir l'efficacité optimale des panneaux photovoltaïque. Elle nécessite une main d'œuvre qualifiée, de l'eau et des brosses ou un chiffon doux de bonne qualité. [40]



Figure II_15: Nettoyage manuel.

- **Méthodes de nettoyage mécanique** : cette méthode de nettoyage fait partie des solutions développées par les professionnels pour maintenir une production optimale des installations PV, elle est réalisée à l'aide d'un robot de nettoyage. Elle est couplée avec un système d'eau de toutes les impuretés [41].



Figure 17: nettoyage mécanique.

- **Méthodes de nettoyage électrodynamique** : est une méthode qui utilise une électrode pour attirer les particules de poussière sur les panneaux solaires, sans utiliser d'eau.

Cette méthode repose sur la répulsion électrostatique, ou une charge électrique est appliquée au panneau solaire lui-même. Le système peut fonctionner automatiquement avec un petit moteur électrique et des rails de guidage, ce qui permet de nettoyer les panneaux sans utiliser d'eau ou de brosses. [41]

- **Méthode de nettoyage robotique** : un robot de nettoyage des panneaux photovoltaïques est un dispositif automatisé conçu pour nettoyer efficacement et régulièrement les surfaces des panneaux solaires.



Figure II_16: Nettoyage robotique.

Ces robots utilisent des brosses, de l'eau, et parfois des produits spécifiques pour éliminer la saleté, la poussière, et d'autres impuretés qui pourraient réduire l'efficacité des panneaux. Ils peuvent fonctionner de manière autonome, planifier leurs opérations, et offrir des capacités de nettoyage supérieures, contribuant ainsi à maintenir la productivité des installations solaires. Selon les études, le nettoyage régulier des panneaux solaires par un robot peut augmenter leur productivité de 5% à 15%. Le robot permet aussi d'accéder plus facilement aux zones difficiles d'accès et réduire la fatigue des opérateurs. [42]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étalé tous les types des problèmes aux quels on peut être conforté dans un générateur photovoltaïque. Des solutions ont été proposées pour chaque obstacle notamment le phénomène d'ombrage qui provoque des dégradations de production plus importante.



Chapitre III

Introduction

La modélisation mathématique d'un générateur photovoltaïque est très importante. Elle consiste à utiliser des modèles mathématiques pour caractériser les propriétés électriques du générateur, notamment en approximant sa sortie en fonction de différentes variables d'entrée telles que l'ensoleillement, la température et les caractéristiques électriques des cellules solaires [1,2]. Cela permet d'optimiser le rendement du générateur photovoltaïque et à détecter des problèmes éventuels. De plus, la modélisation permet d'analyser l'impact de divers paramètres tels que l'efficacité des panneaux solaires et l'impact de la conception globale du système sur la production d'énergie du générateur photovoltaïque [3].

Dans ce chapitre nous allons étudier et simuler les différents types de configurations d'un générateur photovoltaïques en fonctionnement perturbé.

1. Modalisation du générateur photovoltaïque

1.1. Modèles à une diode

La modélisation de la diode dans un générateur photovoltaïque est un processus complexe qui nécessite une compréhension approfondie des caractéristiques électriques des diodes et des simplifications nécessaires pour les représenter de manière simplifiée dans des circuits électroniques.

Le modèle à une diode est le plus simple et le plus couramment utilisé. Il représente une cellule photovoltaïque par un circuit équivalent composé d'une source de courant, d'une diode, d'une résistance série et d'une résistance shunt [4,5 ,6].

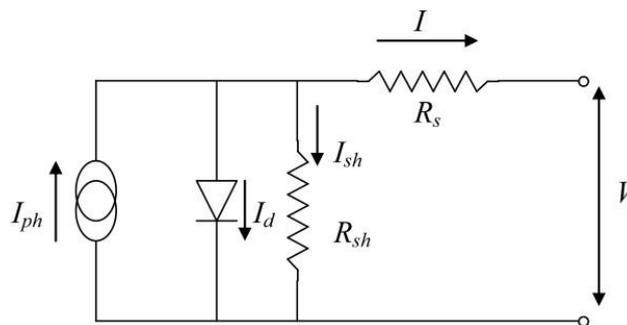


Figure III_1: Schéma équivalent du modèle à une seule diode d'un GPV

Le courant généré par la cellule est donné par l'équation suivante [4] :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\frac{V + I R_s}{g} \right)^{-1} - \left(\frac{V + I R_s}{R_{sh}} \right) \quad (1)$$

Où :

- ✓ I_{ph} : est le photo-courant,
- ✓ I_0 : le courant de saturation inverse de la diode,
- ✓ q : la charge de l'électron,
- ✓ V : la tension PV,
- ✓ I : le courant PV,
- ✓ R_s : la résistance série
- ✓ R_{sh} : la résistance shunt

2. Méthodologie de travail

Notre travail consiste à étudier et simuler les différentes configurations d'un générateur photovoltaïque (5x3) en fonctionnement autonome en présence d'un masque sur une portion du générateur. Trois configurations seront envisagées à savoir : la configuration série-parallèle (SP), la configuration en forme de H et celle en forme de I. Trois étendues du masque (ombre) seront provoquer (1 mètre, 2 mètres et 3 mètres)

2.1. Configurations étudiées

1.1. 1. La configuration de type série-parallèle (SP)

Dans cette configuration nous allons connecter 3 branches en parallèle, chaque branche sera constituée de 5 panneaux en série. La figure suivante illustre la configuration SP

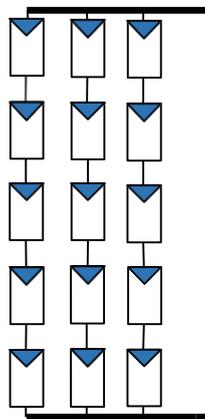


Figure III_2 : Configuration SP

1.1. 2. La configuration en forme H

Pour la configuration de type H, une branche horizontale est installée entre deux branches verticales, chacune est composée de 5 panneaux en série. Les trois branches sont ensuite connectées en parallèle pour garder la matrice à l'origine du générateur (5x3). La figure ci-dessous représente la configuration en forme de H :

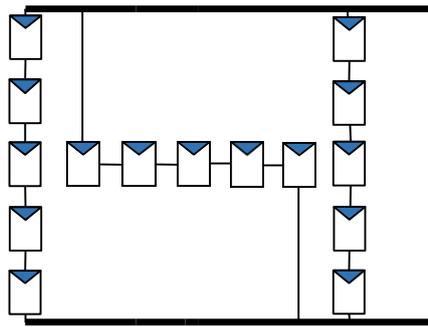


Figure III_3 : Configuration en forme de H

2.1. 3. La configuration en forme de I (H inversé)

Dans cette configuration le générateur prends la forme de la lettre « I », tel qu’il est apparu dans la figure ci-après :

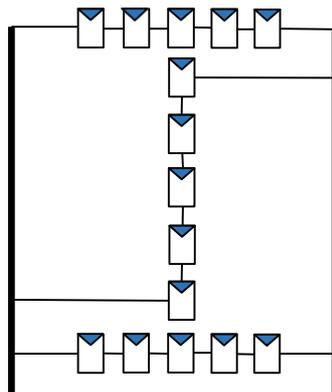


Figure III_4 : Configuration en forme de I

Le tableau ci-dessous représente la plaque signalétique du générateur utilisé ; une simulation du générateur photovoltaïque sous conditions STC (1000 W/m², 25°C) a donnée les résultats portés sur la figure III_5 :

Paramètre	Valeur
<i>P_{max}</i>	375W
<i>V_{pm}</i>	240V
<i>I_{pm}</i>	23.4A
<i>V_{co}</i>	288V
<i>I_{cc}</i>	24.75A

Tableau III_1 : Paramètres du générateur utilisé

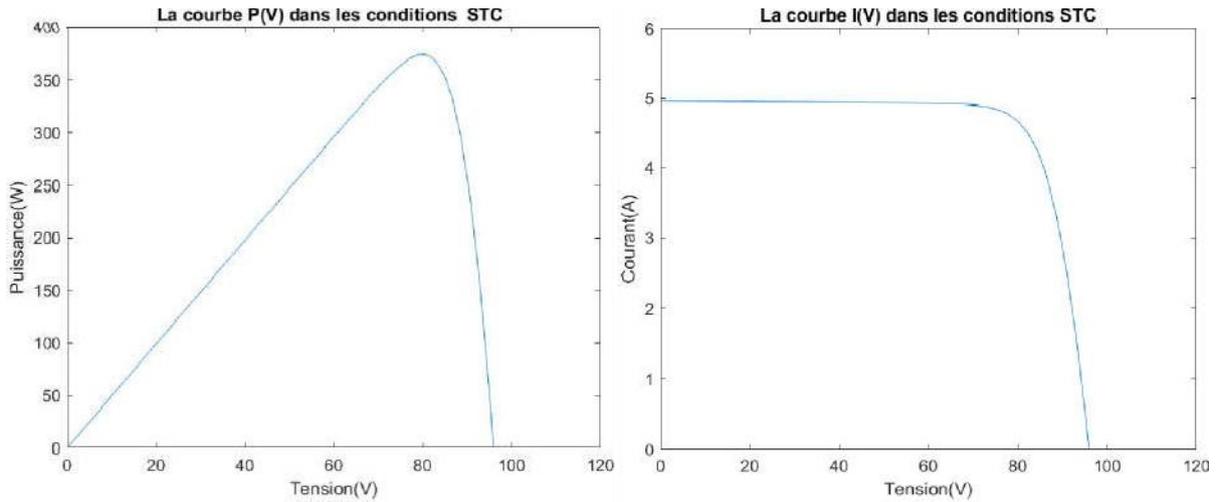


Figure III_5 : Caractéristiques électriques (I(V) et P(V)) aux conditions STC

1.2. Position et étendue du masque

2. 2. 1. Masque transversal

Dans ce cas on réalise des tests du masquage d'une portion du générateur d'une manière transversale sur des étendues différentes (1, 2 et 3 mètres) ; l'ombre envisagé dans ce cas va réduire l'ensoleillement de (400W/m^2) sur les panneaux concernés à savoir 600 W/m^2 pour les panneaux touché et les reste du générateur sera exposé à 1000 W/m^2 .

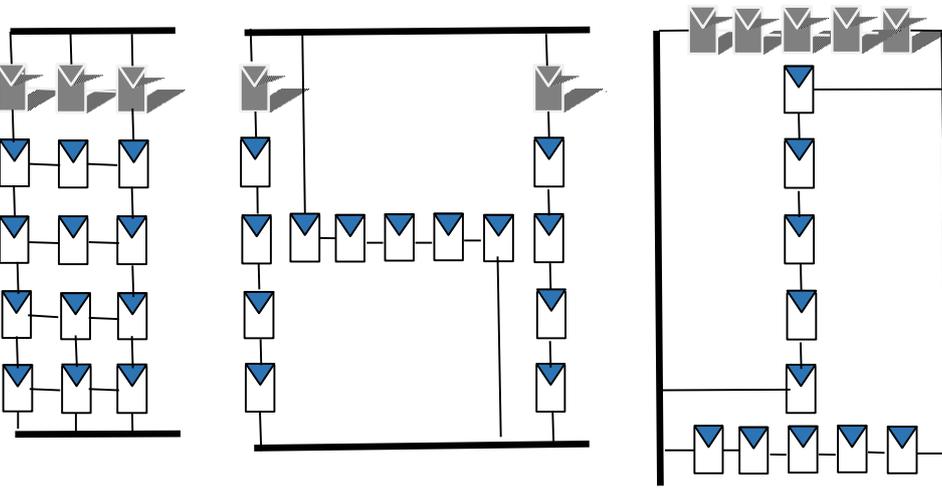


Figure III_6 : Masque transversal sur 1 mètre

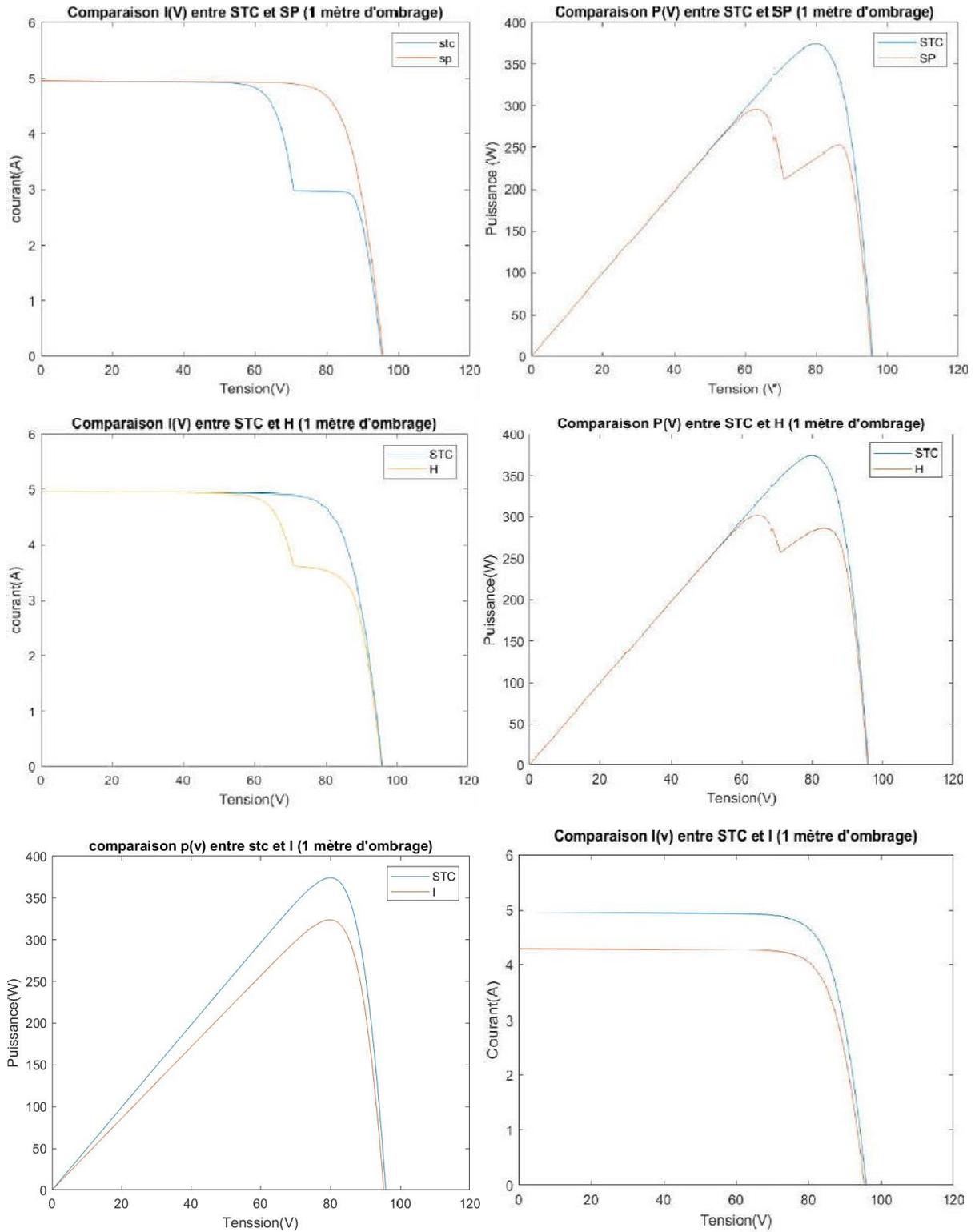


Figure III_7 : Caractéristiques électriques pour un masque transversal sur 1 mètre

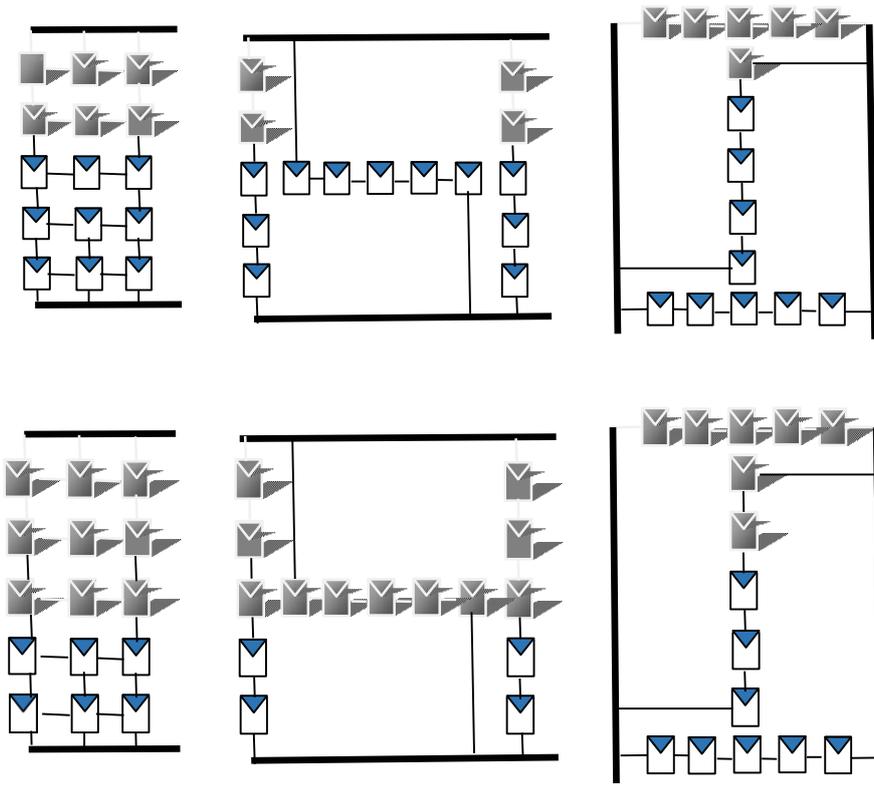
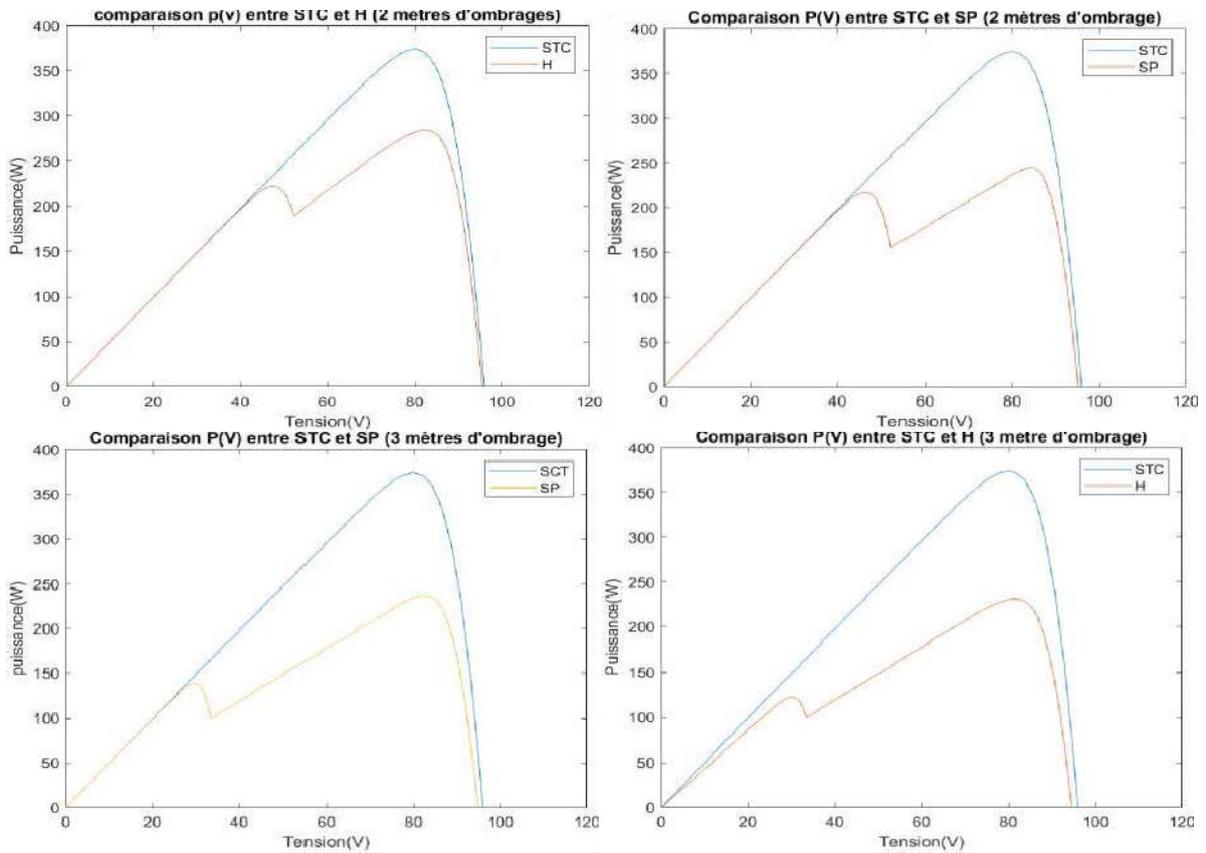


Figure III_8 : Masque transversal sur 2 et 3 mètres respectivement



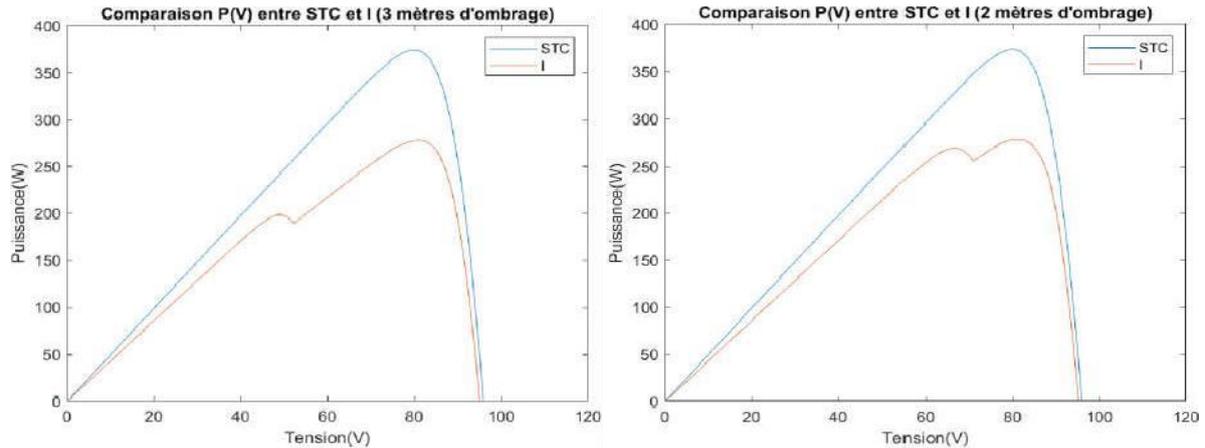


Figure III_9 : Caractéristiques P(V) pour un masque transversal sur 2 et 3 mètres

2. 2. 2. Masque longitudinal

Dans ce cas on réalise des tests du masquage d'une portion du générateur d'une manière longitudinal sur des étendues différentes (1, 2 et 3 mètres) ; l'ombre envisagé dans ce cas va réduire l'ensoleillement de (400W/m^2) sur les panneaux concernés à savoir 600 W/m^2 pour les panneaux touché et les reste du générateur sera exposé à 1000 W/m^2 .

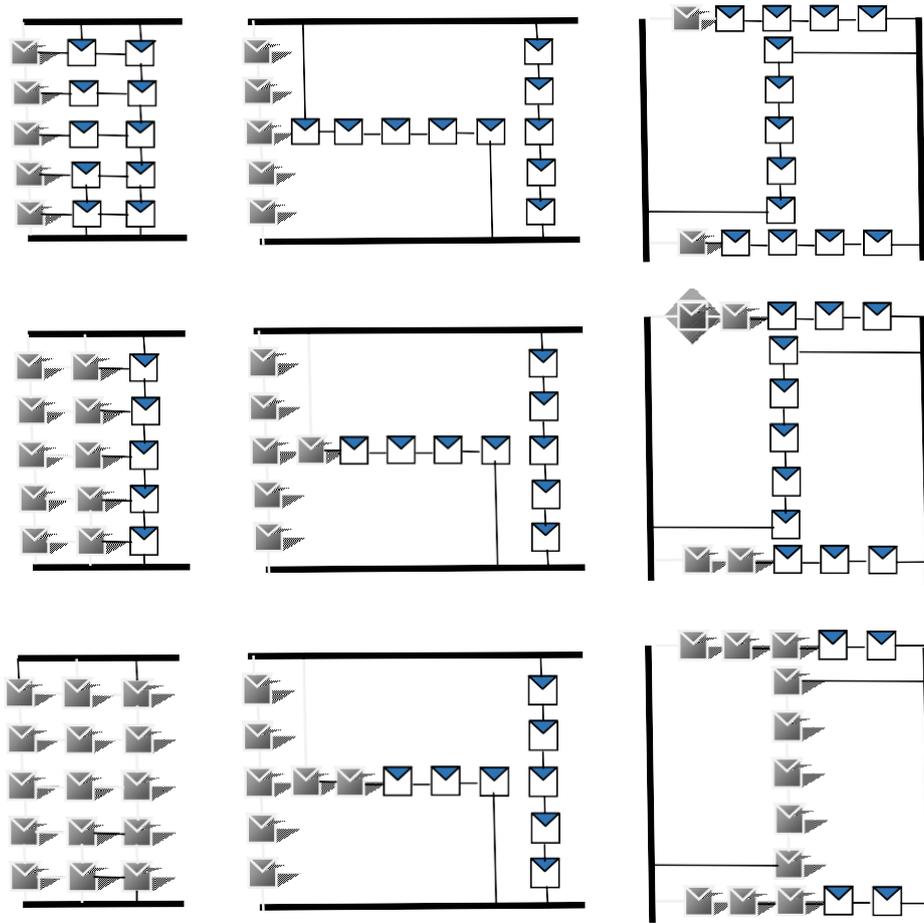


Figure III_10 : Masque longitudinal sur 1, 2 et 3 mètres respectivement

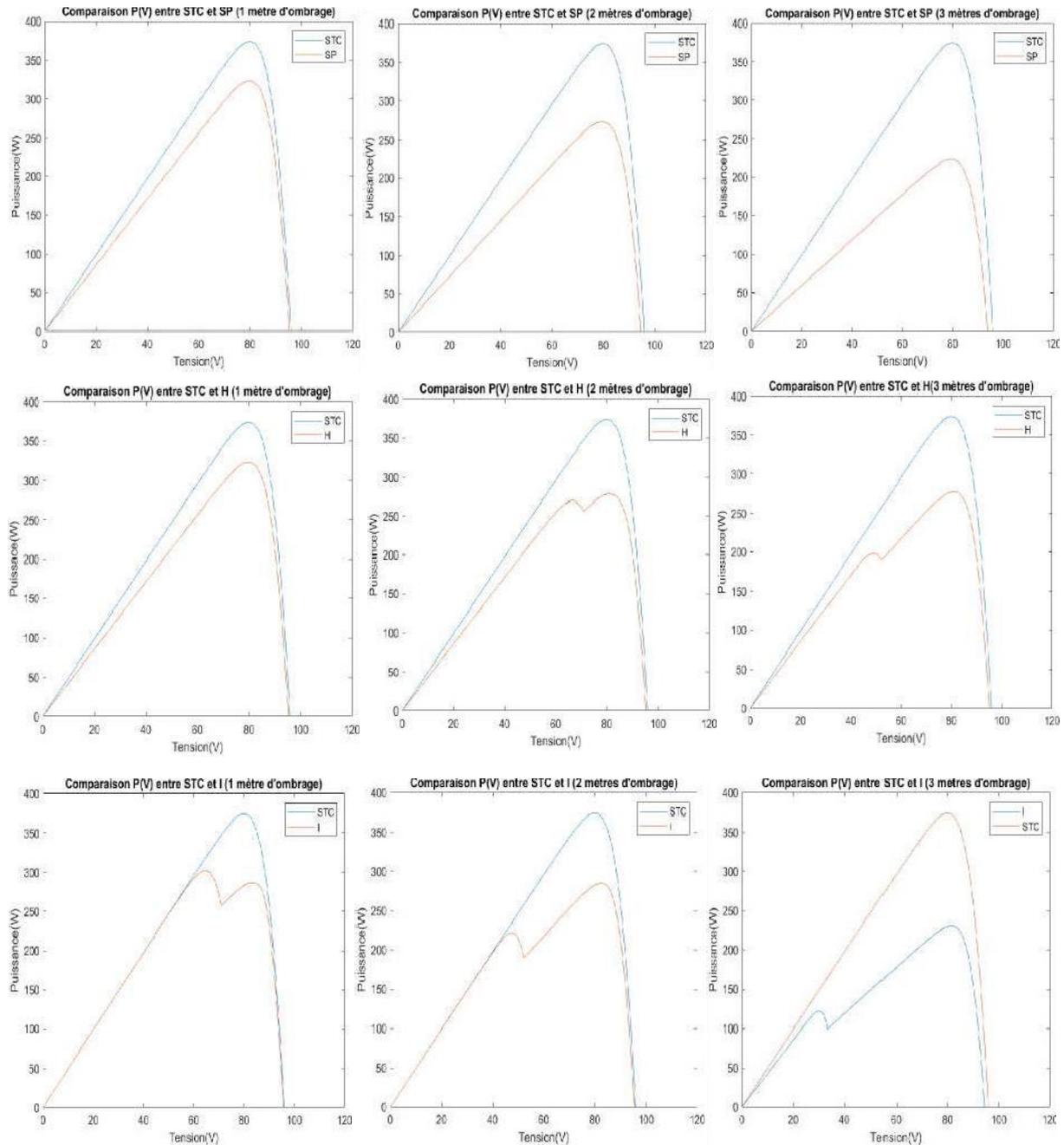


Figure III_11 : Caractéristiques P(V) pour un masque longitudinal sur 1, 2 et 3 mètres

2. 3. Comparaison des différents résultats

Dans cette partie nous allons comparer les différentes configurations étudiées, tout en prenant en compte des différentes positions et étendue de masque.

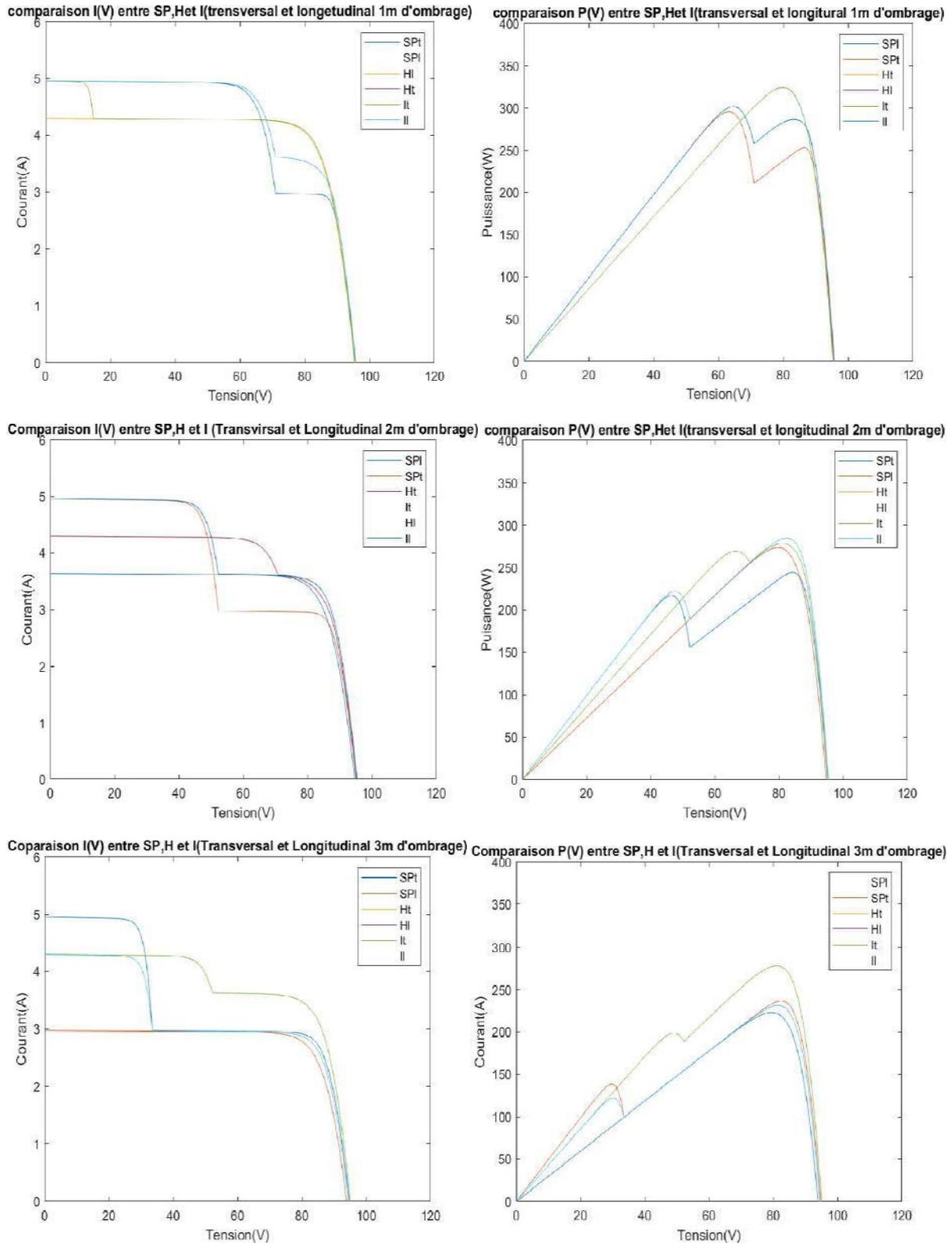


Figure III_12 : Comparaison des caractéristiques électriques entre différentes configurations pour différents position de masque

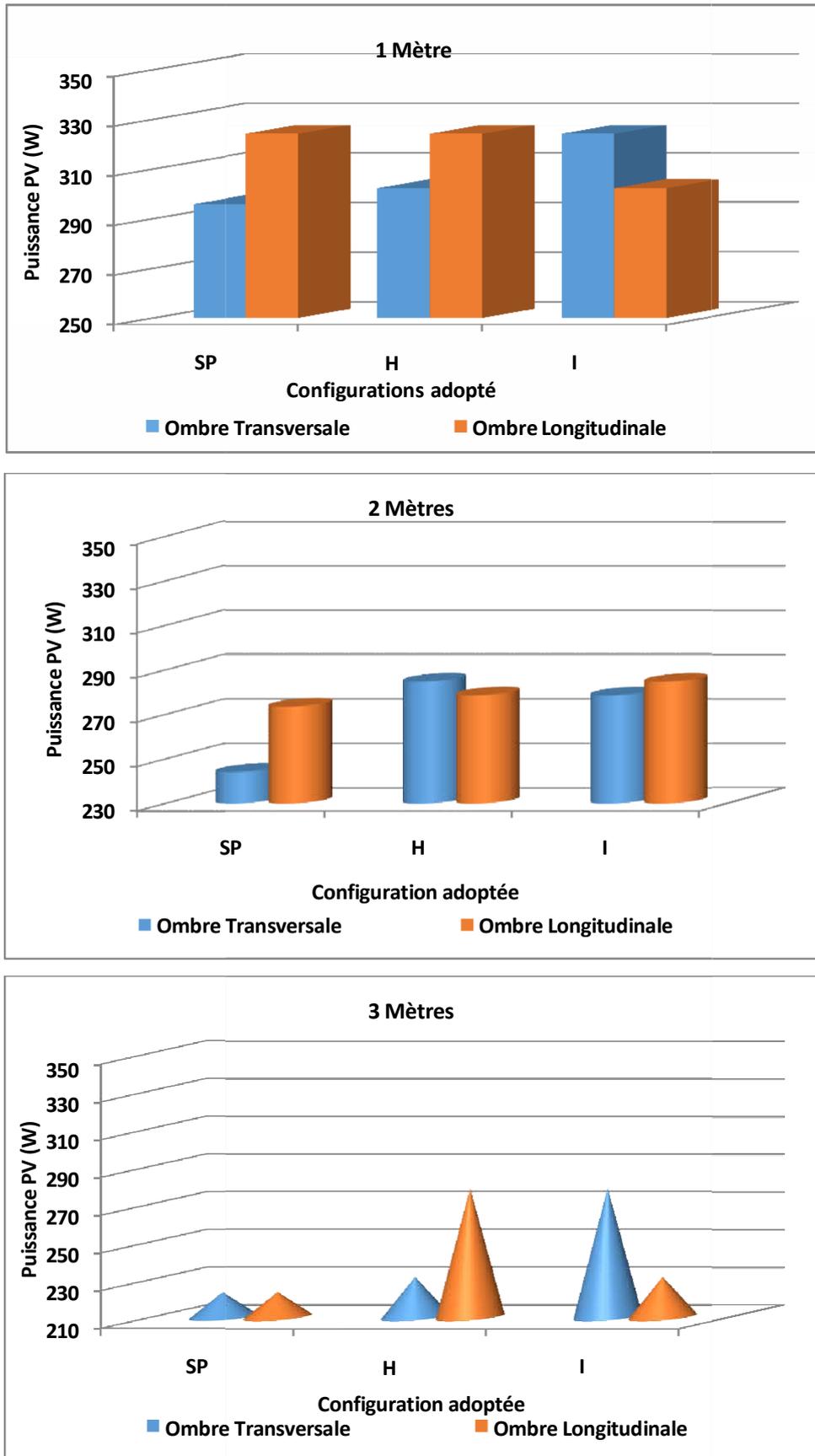


Figure III_13 : Puissances PV générées par les différentes configurations étudiées

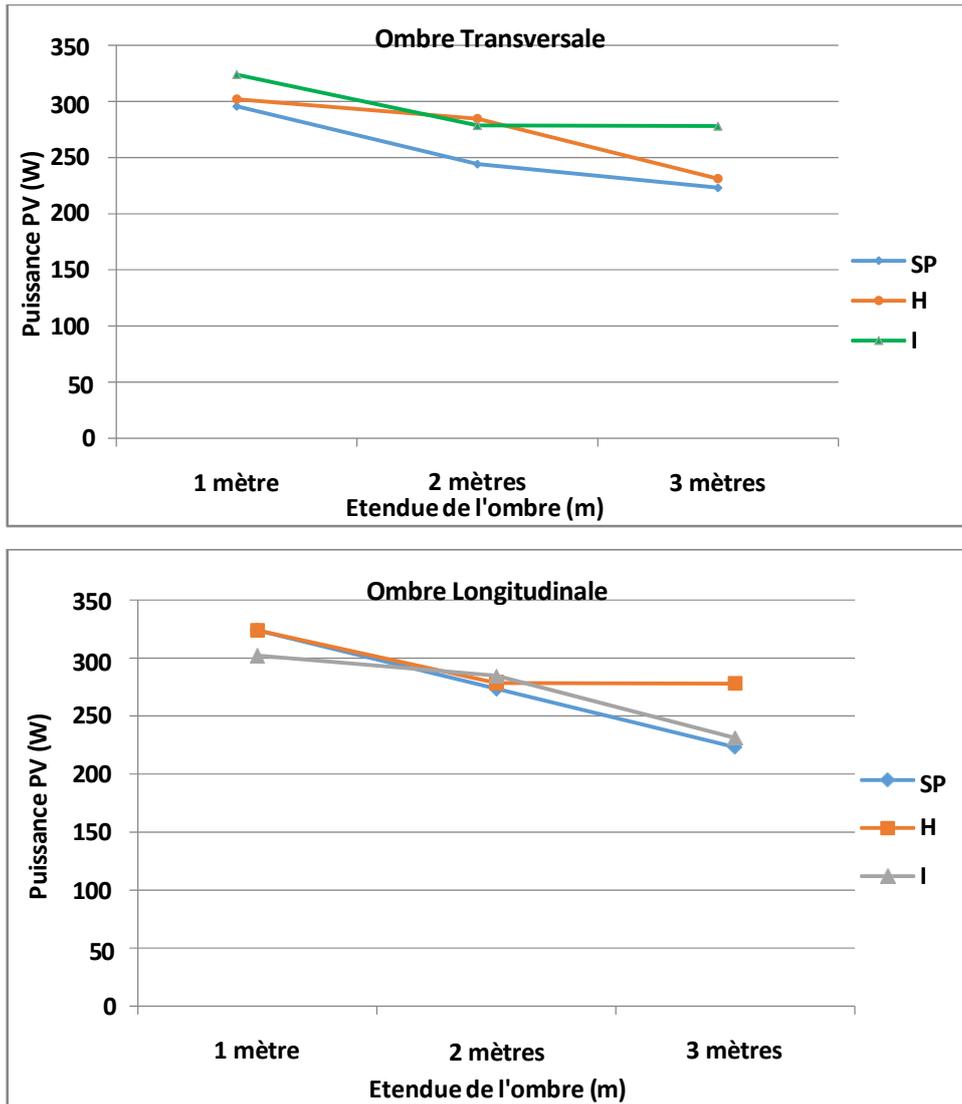


Figure III_14 : Puissances PV générées pour différentes étendues et même position du masque sur le générateur

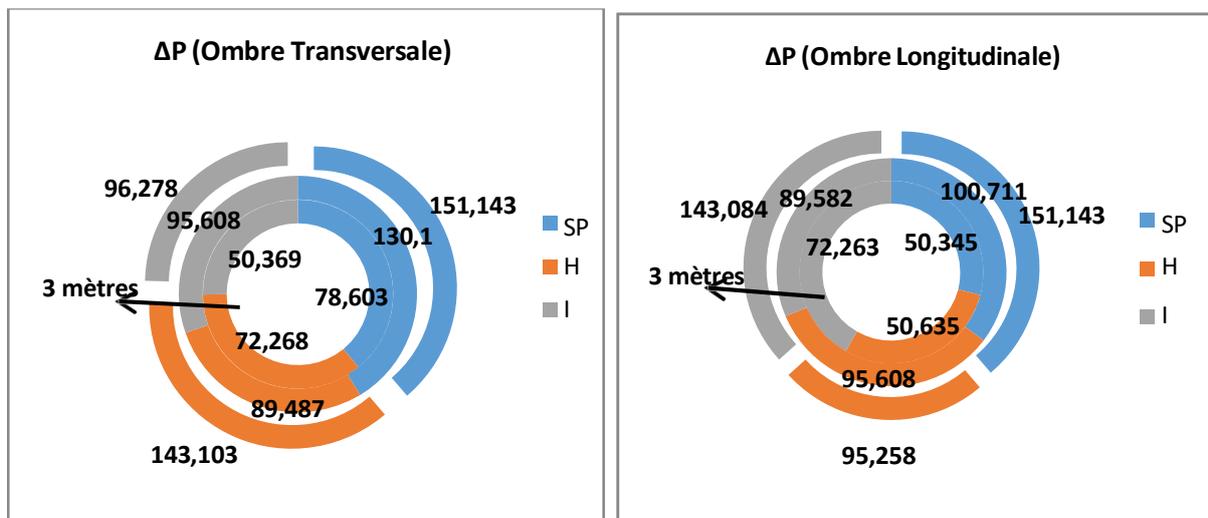


Figure III_15 : Pertes de puissances pour différentes étendues du masque sur le générateur

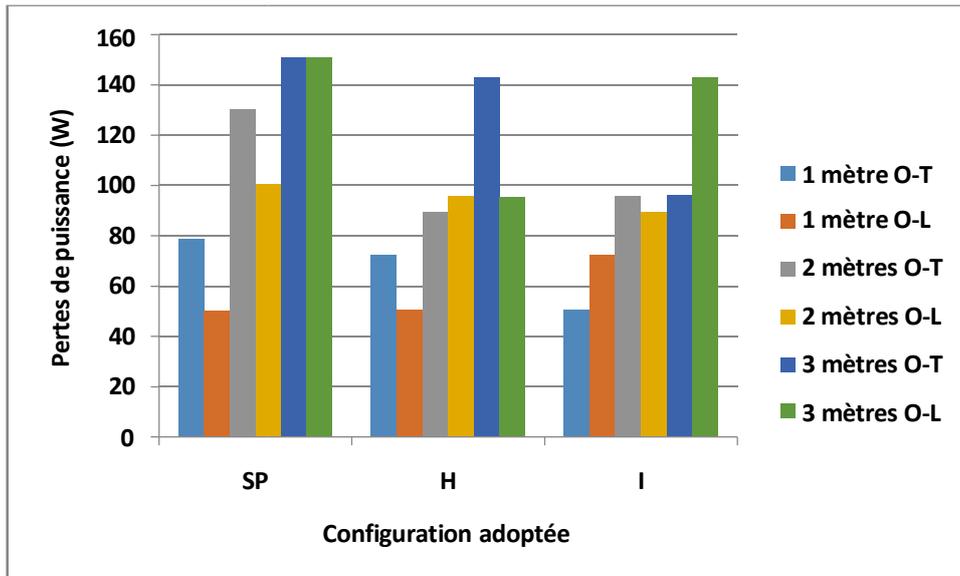


Figure III_16 : Pertes de puissances engendrées par les cas de masquage envisagés

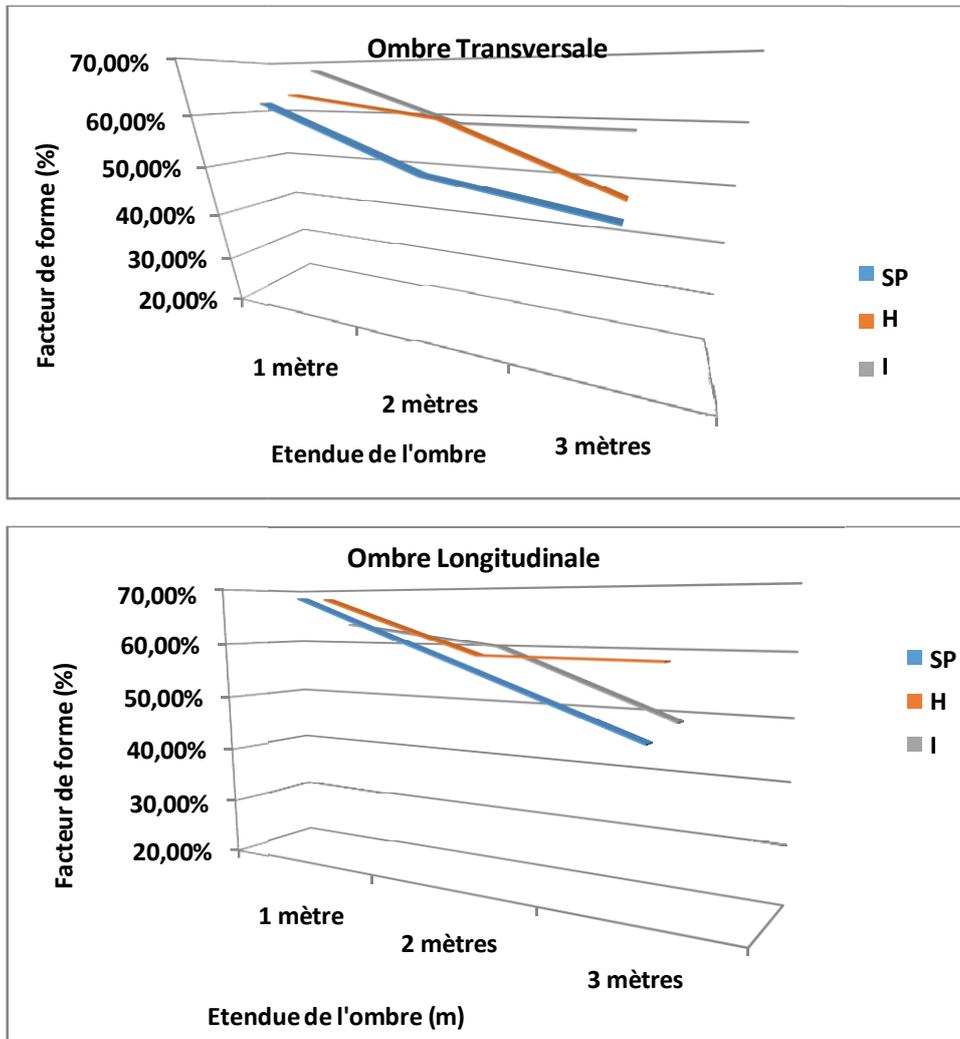


Figure III_17 : Facteur de forme en fonction de l'étendue de masque pour la même position de l'ombre

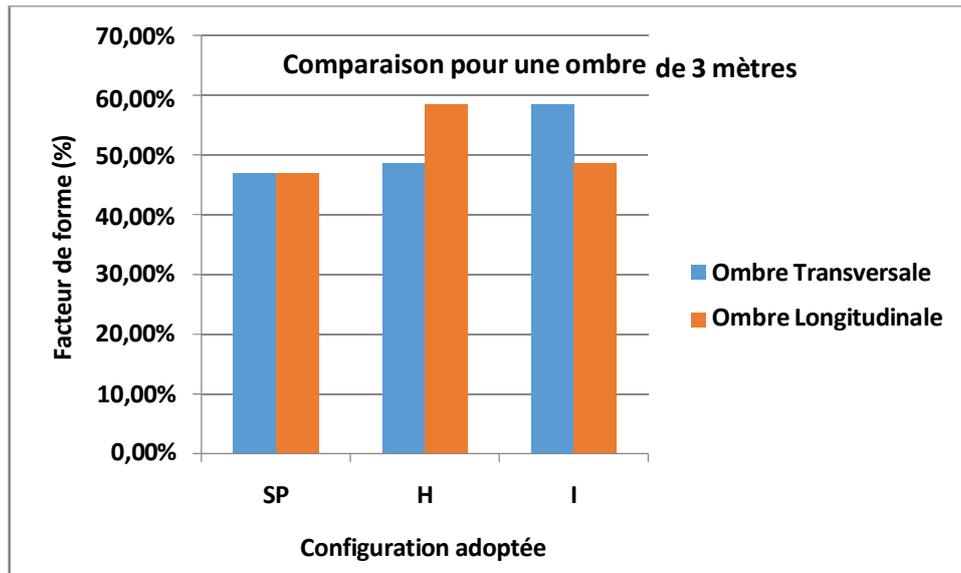


Figure III_18 : Comparaison du facteur de forme entre les différentes positions du masque en fonction des configurations adoptées

2. 4. Discussion des résultats :

On constate d'après les résultats (Figures III_7 à III_12) que 2 points de puissance maximale différents apparaissent, où la puissance au PPM local est significativement inférieure à celle au PPM global. On remarque que les puissances PV générées par les trois configurations évoluent en pente décroissante (Figure III_14) par rapport à l'étendue de l'ombre ce qui montre que l'impacte du masquage sur notre générateur est important et induit dans certains des pertes qui peuvent atteindre les 40 % (151 W, configuration SP).

Les Figure III_15 et III_16 montrent que ; lorsque l'ombre se matérialise d'une manière à favoriser un masque en série des pertes seront de plus en plus moins importantes et ce tenant compte de nombre de panneaux masqués ; contrairement au cas où l'ombre se manifeste pour des masquages en parallèle (les pertes seront de plus en plus significatives) exemple pour une ombre de 1 mètre la configuration SP permet de minimiser les pertes de 22W entre une position de masque longitudinale (série) et transversale (parallèle), et jusqu'à 30 W à 2 mètres d'ombre.

Vu le facteur de forme représenté sur les figures III_17 et III_18, on peut dire que les forme des courbes caractéristiques se déforme de plus dans le cas des configurations SP et H en présence d'ombre transversale et concernant la configuration I, la déformation et ressenti dans le cas d'ombrage longitudinale.

Au final pour minimiser les pertes du à l'ombrage, trois paramètres sont à prendre très au sérieux lors de l'installation des panneaux photovoltaïques : la configuration du générateur, la position du masque et l'étendue de l'ombre.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons analysé trois formes de configuration des générateurs photovoltaïque (5*3) en présence d'un masque de positions différentes. L'ombrage ou le masquage est un facteur crucial dans le fonctionnement des générateurs photovoltaïques, il peut avoir un impact significatif sur la production d'énergie électrique, en particulier dans les configurations en parallèle. Il est essentiel de prendre en compte la configuration des panneaux solaires et la direction ou le positionnement de l'ombrage pour optimiser la performance globale du système photovoltaïque.



Conclusion
générale

Conclusion générale

Les énergies renouvelables, telles que l'énergie éolienne, hydraulique, géothermique, biomasse et solaire, offrent des sources inépuisables et sont essentielles pour répondre à la demande énergétique croissante tout en préservant notre environnement. L'énergie solaire, en particulier, se distingue par sa promesse économique et environnementale croissante.

Les panneaux solaires sont depuis longtemps une solution populaire pour produire de l'électricité propre et renouvelable. Cependant, son utilisation peut être affectée par des inconvénients tels que le caractère intermittent en fonction des conditions météorologiques et l'ombrage des qui peut surgir à tout moment. Pour ne pas risquer de compromettre la rentabilité d'une installation photovoltaïque à l'ombre, une analyse de l'évolution de l'ombrage est toujours effectuée au début de la conception d'une installation pour minimiser les pertes de rendement dues aux conditions de masquage.

Ce mémoire explore en trois chapitres les fondements énergétiques, les défis de masquage rencontrés par les systèmes photovoltaïques et traite les caractéristiques importantes d'une installation photovoltaïque partiellement ombragée à savoir : La proportion de modules photovoltaïques à l'ombre par rapport au générateur total, l'évolution de l'ombrage au cours du temps (position de l'ombre) ajouter a cela le raccordement du générateur photovoltaïque qui influence nettement le rendement énergétique que l'on peut escompter.

Après notre étude les recommandations les plus importantes pour la gestion d'installations photovoltaïques partiellement masquées sont :

En cas d'ombrage longitudinal de quelques modules ou d'une faible proportion des modules photovoltaïques, l'ombre est répartie en série de manière homogène sur une branche, dans ce cas une configuration en SP et en H est la mieux adaptée. Si non la configuration en I sera avantagée.

On a proposé cette simulation visant à identifier les solutions pour surmonter le masquage (ombrage), en recommandant les configurations optimales pour assurer un fonctionnement efficace des systèmes solaires en présence d'ombrage inévitable. L'objectif est de promouvoir l'utilisation efficace de l'énergie solaire et d'optimiser ses performances, contribuant ainsi à un avenir énergétique durable et fiable.