

3.1 Introduction

Ce troisième chapitre est consacré à la présentation et la discussion des résultats obtenus. La procédure consiste à mesurer les caractéristiques courant-tension, en fonction de la superficie ombragée du module PV ou du générateur PV, pour différentes configurations d'ombrage sous un éclairement constant. L'objectif est l'étude de l'influence du taux d'ombrage sur les différentes performances d'un dispositif photovoltaïque.

3.2 Phénomène d'ombrage sur les modules photovoltaïques

Additionner les tensions dans le cas d'un assemblage série de cellules PV est aisé, si toutes les cellules sont identiques et qu'elles travaillent sous les mêmes conditions d'ensoleillement et de température. Mais, comme nous l'avons précisé précédemment, dans les conditions réelles de fonctionnement, si les cellules sont légèrement différentes ou ne sont pas uniformément éclairées, le comportement électrique n'est pas facilement prévisible et dépend des caractéristiques de chaque cellule et des conditions d'éclairement. Plusieurs études ont présenté des modèles mathématiques afin de calculer les effets de cellules non identiques dans un module. La figure 3.1 montre la caractéristique I-V d'une cellule PV dans toute sa gamme de tension. On constate que si, pour un éclairement solaire et une température ambiante donnés, le courant traversant une cellule est supérieur à son courant de court-circuit, alors la cellule fonctionnera en mode inverse (*reverse-bias conditions*) avec une tension négative. Dans ce cas, la puissance excessive sera dissipée, sous forme de chaleur dans la cellule ombragée et la cellule ou l'encapsulation de la cellule peuvent être irrémédiablement endommagée. Cet effet est appelé '*hot spot*' ou « *point chaud* » [9.10].

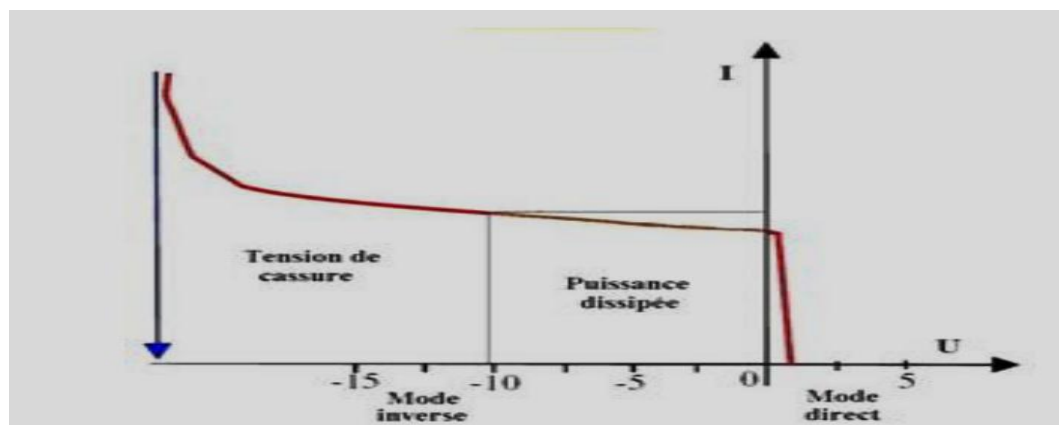


Figure 3.1: Caractéristique $I - V$ d'une cellule PV.

Dans le domaine en sens direct (*mode normal de fonctionnement*), la tension de circuit ouvert de la cellule est de l'ordre de 0,6 V pour les cellules cristallines alors que dans le sens inverse (*polarisation inverse*), les tensions peuvent atteindre plus de -20 V pour le cas du silicium. Dans un assemblage série, le courant est le même dans toutes les cellules. Si le courant de la rangée est plus grand que le photo-courant de la cellule ombragée (*courant de court-circuit*), ce qui se produit dans la plupart des cas, cette cellule ombragée se met à fonctionner en mode inversé et dissipe de la puissance. Une telle situation est illustrée sur la figure 3.2 dans le cas de trois cellules connectées en série.

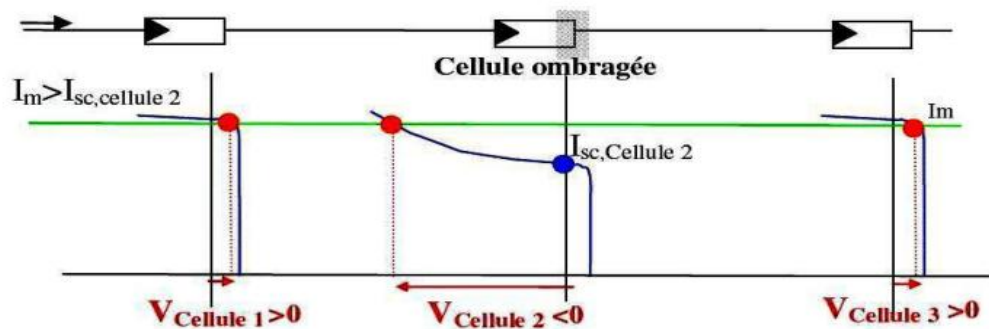


Figure 3.2 les Caractéristiques $I-V$ de 3 cellules connectées en série.

Si la rangée de cellules travaille à un point de fonctionnement correspondant à un courant I_m au-delà du courant de court-circuit de la cellule ombragée (*cellule 2*), le point de fonctionnement du module correspond à une tension négative aux bornes de la cellule ombragée (*cellule 2*), ce qui permet de dissiper de l'énergie. Pour résoudre ce problème, on utilise une *diode de dérivation* (*by-pass diode*) connectée en parallèle sur chaque connexion série des multiples cellules PV. Si une telle diode by-pass était connectée dans chaque cellule alors le problème induit par l'ombrage serait fortement réduit. Cependant, ce n'est pas une solution envisageable d'un point de vue commercial.

3.2.1 Le taux d'ombrage

Le taux d'ombrage tient compte de la couverture partielle de la surface de la cellule par une partie opaque correspondant à la surface des contacts métalliques de la face avant. Il doit être minimal puisqu'il réduit proportionnellement le courant d'éclairement, car il empêche une partie du rayonnement incident d'atteindre la cellule. Il faut en outre que la collecte du courant par cette étroite surface métallisée s'accompagne de pertes minimales,

deux données qu'il paraît difficile de satisfaire simultanément. Le taux d'ombre des photopiles se situe en principe entre 5 et 10% de la surface totale.

3.2.2 Effet du taux d'ombrage sur la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ du module PV

Le profil des caractéristiques courant-tension $I(V)$ et puissance-tension $P(V)$ du module PV est présenté. En tenant compte du nombre de cellules ombragées, la configuration d'ombrage (*occultation d'une seule cellule et de plusieurs cellules*) et la variation du taux d'ombrage, l'influence sur le comportement du module sera déduite.

3.3 Système photovoltaïque proposé

Le schéma synoptique du système PV proposé dans notre étude et qui alimente une charge résistive est représenté par la figure (3.3). Le générateur PV comporte plusieurs modules PV. Chaque un des modules PV constituant le générateur PV est constitué de 36 cellules élémentaires connectées en série et protégées par l'utilisation de deux diodes by-pass. Il peut délivrer dans les conditions standards (STC) de test une puissance de 122.3 W et un courant de 7.34 A sous une tension optimale de 16.66V.

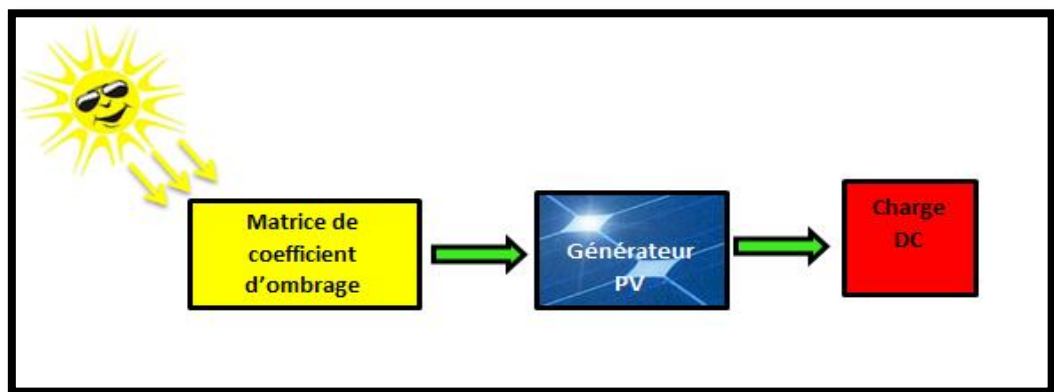


Figure (3.3) : Schéma synoptique du système PV proposé

Le schéma bloc du module photovoltaïque utilisé dans les simulations de notre travail sous l'environnement Matlab-Simulink-Simscape est représenté par la figure (3.4). Les paramètres de ce module dans les conductions standards de température $T=25^{\circ}\text{C}$ et de rayonnement $G=1000\text{W/m}^2$ ainsi que les caractéristiques $I-V$ et $P-V$ sont représentés par les figures (3.5) et 3.6 respectivement.

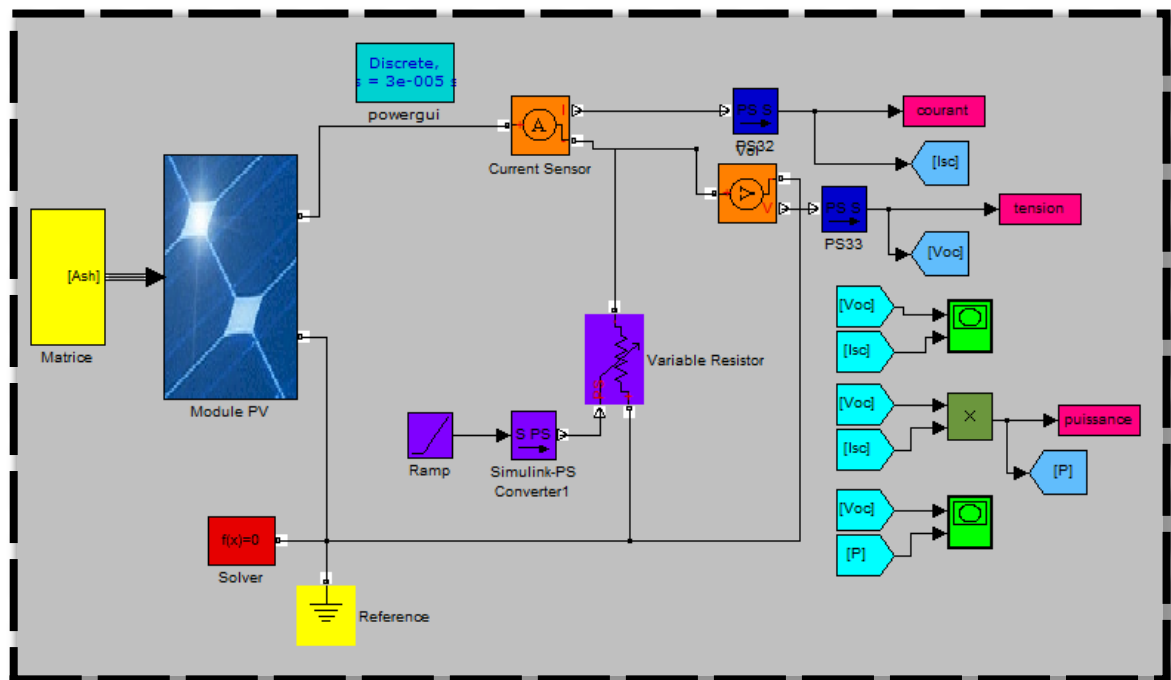


Figure (3.4) : Schéma block du module PV sous l'environnement Simulink Matlab.

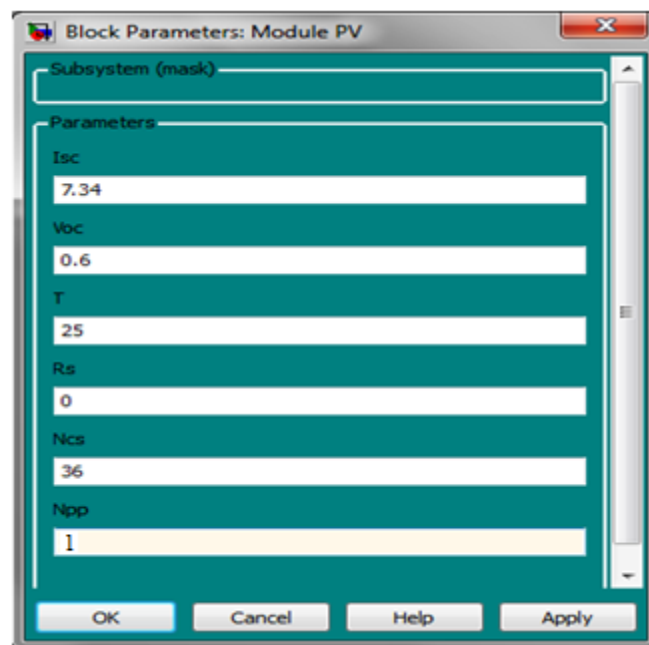


Figure (3.5) : Paramètres du module PV dans les conditions STC 1

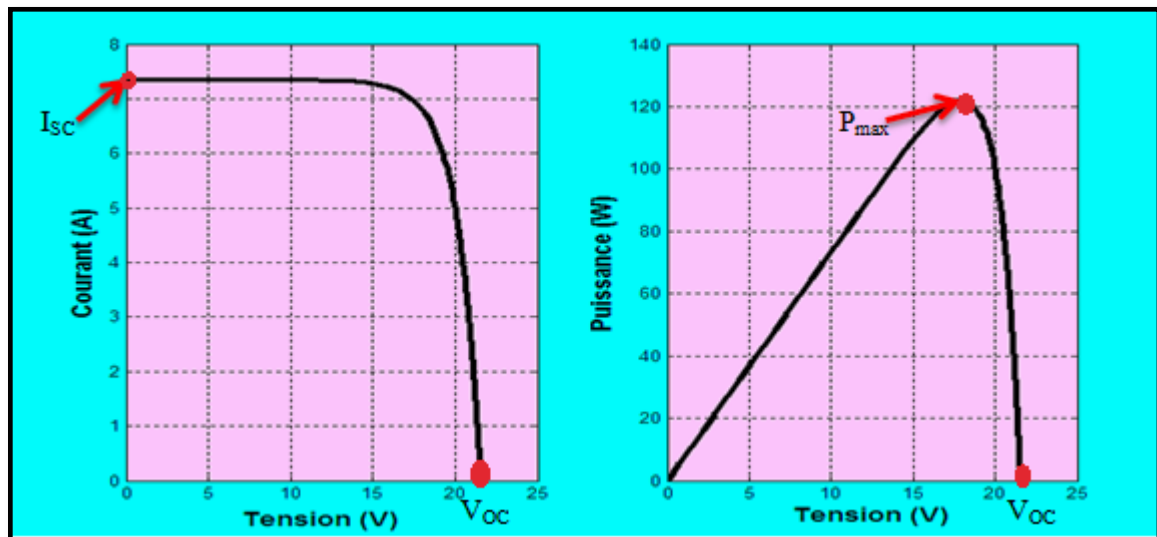


Figure (3.6) : Les caractéristiques I-V et P-V du module PV dans les conditions standards

3.4 Ombrage d'une cellule du module PV

3.4.1 Ombrage d'une seule cellule du module PV sans utilisation des diodes by-pass

La procédure adoptée assure l'occultation d'une seule cellule solaire du module en question. La partie cachée de la cellule représente le taux d'ombrage (figure 3.8). Ce dernier a été varié de 0% (toute la cellule est illuminée) à 100% (toute la cellule est ombragée).

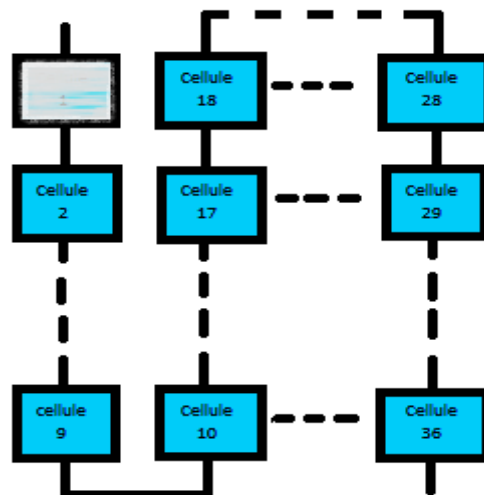


Figure (3.7): Procédure d'occultation d'une seule cellule, sur le module PV.

Le module PV en question ne possède pas des diodes de dérivation. Ce type de diode limite le flux de courant à travers les cellules ombrées. Les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ du module PV, dont une seule cellule solaire avait été ombragée, pour différents taux d'ombrage sont représentés sur la figure (3.8).

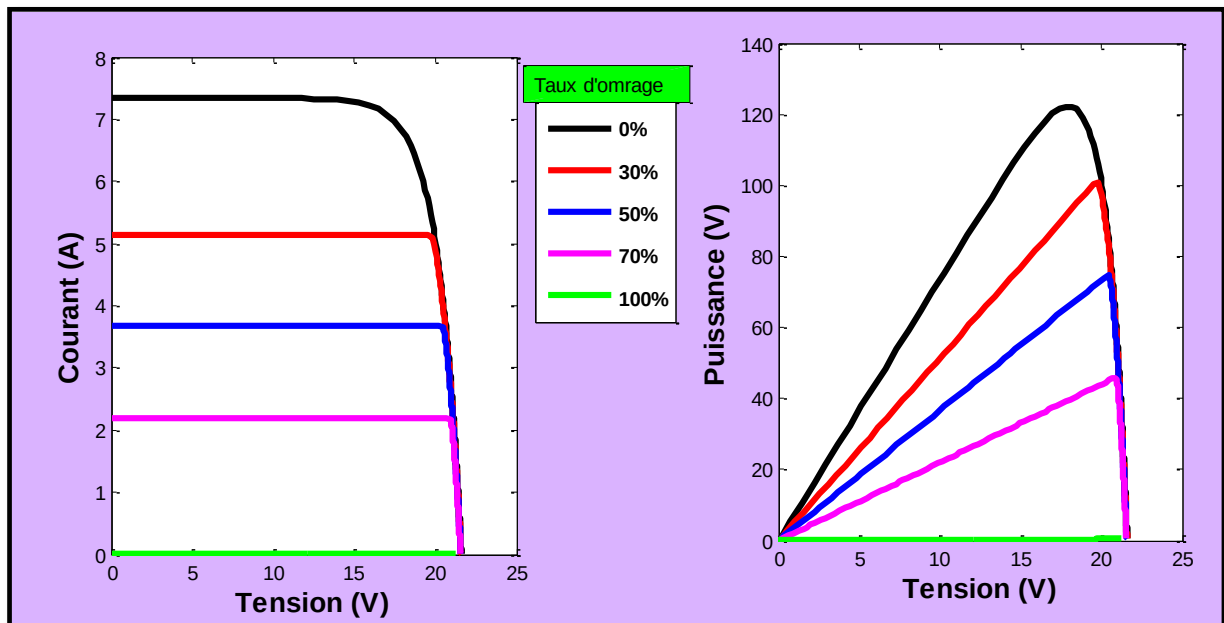


Figure (3.8) : Caractéristiques I-V et P-V du module PV sans DBP pour différent taux d'ombrage d'une cellule

Le Tableau (3.1) regroupe les valeurs de la tension en circuit ouvert (V_{co}), le courant de court-circuit (I_{sc}), la puissance maximale (P_{max}), les pertes en puissance, du facteur de forme (FF) et les pertes de puissance (ΔP) d'un module, dont une seule cellule occultée et sans l'utilisation des diodes by-pass (DBP).

Taux d'ombrage	0%	30%	50%	70%	100%
I_{SC} (A)	7.34	5.13	3.67	2.02	0
V_{OC} (V)	21.6	21.58	21.54	21.5	21.24
P_{max} (W)	122.3	99.66	73.28	45.14	0
ΔP (%)	0	18.51	40.8	63.09	100
FF (%)	77.13	89.56	92.69	95.43	0

Tableau 3.1: Valeurs des paramètres du module sans DBP en fonction du taux d'ombrage d'une seule cellule

A partir des courbes de la figure (3.8) et des valeurs des paramètres du modules du tableau 3.1 on remarque que :

- ✓ Le courant de court-circuit baisse en fonction de la diminution de la zone éclairée de la cellule (*augmentation du taux d'ombrage*), en raison de l'introduction d'un ombrage ayant de différentes surfaces, pour la même température de fonctionnement. Le I_{SC} diminue,

passant de 7.34 à 0 A, donc il a subi une réduction dans sa valeur initiale. Par conséquence, le courant du module serait directement influencé par l'augmentation du taux d'ombrage. Celui-ci influe sur le photo-courant de la cellule occultée, où le taux de génération des porteurs de charge est réduit. Puisque le module en question est constitué de cellules en série, ces dernières seront forcées de fonctionner au même courant (*courant de branche*), ce qui conduit à la polarisation inverse de la cellule ombrée.

- ✓ La tension en circuit ouvert V_{OC} est presque constant dans tous les cas des taux d'ombrage pour la même température.
- ✓ Les caractéristiques $P(V)$ de la figure 3.8 ont subi un décalage important, où la puissance maximal décroît rapidement avec l'augmentation du taux d'ombrage. Un ombrage de taux 100 % sur une cellule provoque une perte totale de la puissance du module. Par conséquent, la puissance générée par les cellules éclairées aura dissipé à travers celle occultée, ce qui provoque la diminution de la puissance maximale (P_{max}).
- ✓ Les pertes de puissance ΔP augmentent avec l'augmentation du taux d'ombrage de la cellule.
- ✓ Le facteur de forme est augmenté, cette augmentation dans le cas d'une cellule ombragé dans un module PV sans utilisation des diodes by-pass est dû à la diminution du courant de court-circuit qui imposé par cette cellule.

3.4.1 Ombrage d'une seule cellule du module PV avec utilisation des diodes by-pass

La figure (3.9) représente les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ du module PV avec l'utilisation des diodes by-pass (DBP), dont une seule cellule solaire avait été ombragée, pour différent taux d'ombrage.

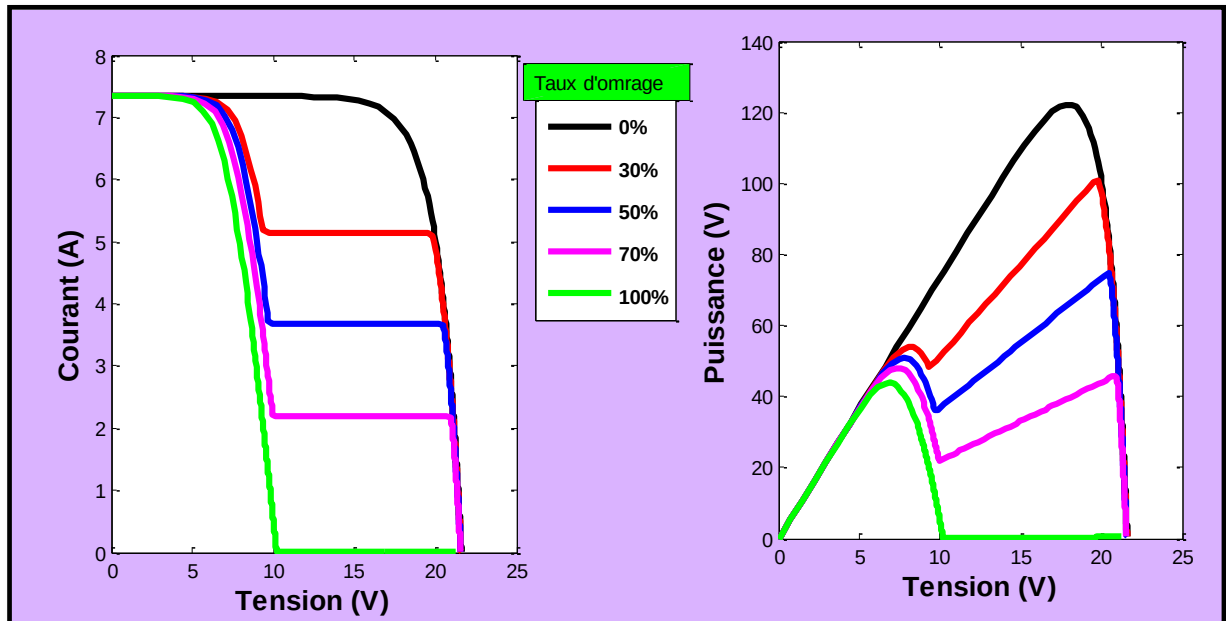


Figure (3.9) : Caractéristiques I-V et P-V du module PV avec DBP en différents taux d'ombrage d'une cellule

Le tableau (3.2) regroupe les valeurs de la tension en circuit ouvert (V_{oc}), le courant de court-circuit (I_{sc}), la puissance maximale (P_{max}), le facteur de forme (FF) et les pertes de puissance (ΔP) d'un module dont une seule cellule occultée avec l'utilisation des diodes by-pass (DBP).

Taux d'ombrage	0%	30%	50%	70%	100%
I_{sc} (A)	7.34	7.34	7.34	7.34	7.34
V_{oc} (V)	21.6	21.58	21.57	21.55	21.24
P_{max} (W)	122.3	99.65	73.86	47.75	43.76
ΔP (%)	0	18.52	39.6	60.09	62.21
FF (%)	77.13	62.91	46.65	30.18	28.15

Tableau (3.2): Valeurs des paramètres du module avec DBP en fonction du taux d'ombrage d'une seule cellule

A partir des courbes de la figure (3.9) et des valeurs des paramètres du modules du tableau 3.2 on remarque que :

- ✓ Le courant de court-circuit est constant en fonction de la diminution de la zone éclairée de la cellule (*augmentation du taux d'ombrage*), en raison de l'introduction d'un ombrage ayant de différentes surfaces, pour la même température de fonctionnement (effet des diodes by-pass).

- ✓ La valeur de la tension de circuit ouvert V_{OC} est presque constante dans tous les cas des taux d'ombrage pour la même température.
- ✓ les caractéristiques $P(V)$ ont subi un décalage important, où la puissance maximale décroît rapidement avec l'augmentation du taux d'ombrage, mais pour un taux d'ombrage de 100% sur une cellule ne provoque pas une perte totale de puissance du module.
- ✓ Les pertes de puissance ΔP augmentent en fonction de l'augmentation du taux d'ombrage.
- ✓ Le facteur de forme décroît avec l'augmentation du taux d'ombrage. Cette décroissance est due essentiellement à la diminution aussi bien du terme $V_{MX}I_M$, qui représente le produit entre les valeurs de la tension et du courant du point de puissance maximale.

3.5 Ombrage de plus d'une cellule selon la direction des lignes/colonnes du module PV

3.5.1 Ombrage de plus d'une cellule selon la direction des colonnes du module PV

Dans ce cas l'ombrage se déplace dans la direction des colonnes du module PV (figure 3.10). Dans cette étude nous avons traité le cas de deux cellules occultées, 9 cellules occultées (une colonne de cellules) et on se termine par l'ombrage de 18 cellules (deux colonnes de cellules).

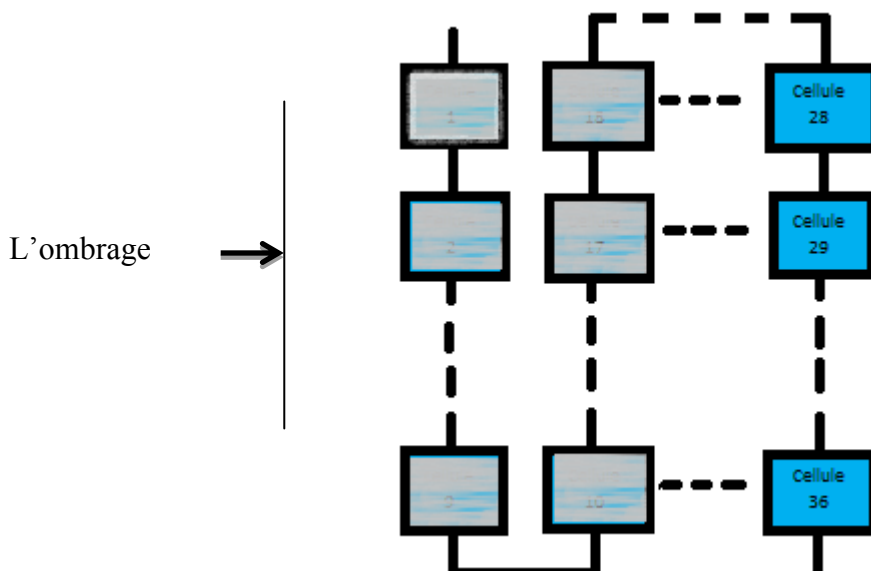


Figure (3.10): Déplacement de l'ombrage selon les colonnes du module PV

a) Ombrage de plus d'une cellule sans diode by-pass

La figure (3.11) représente les caractéristiques $I(V)$ du module PV dont plus d'une cellule solaire avaient été ombragées sans utilisation des diodes by-pass pour différent taux d'ombrage.

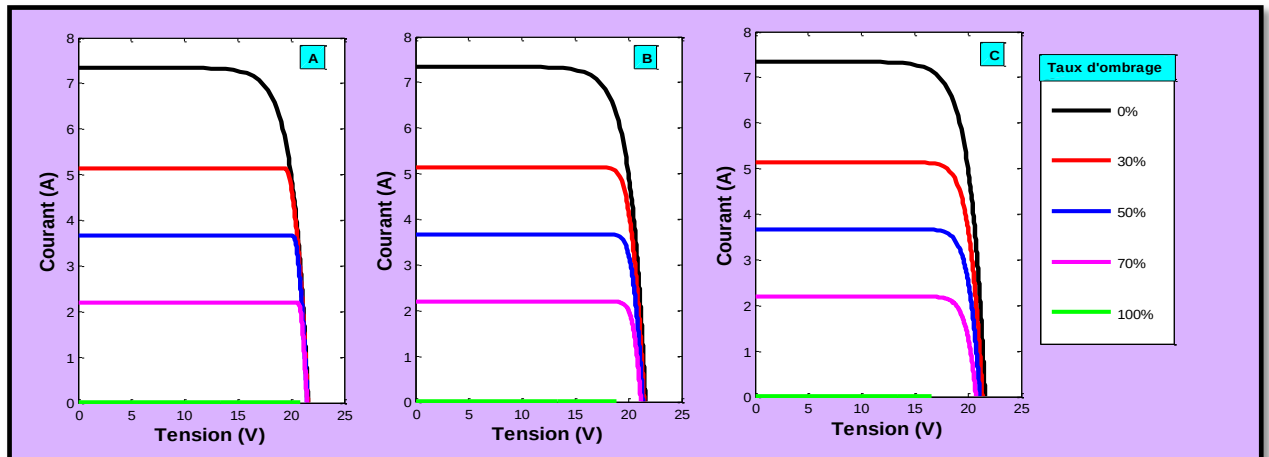


Figure (3.11) : les caractéristiques $I-V$ d'un module PV avec DBP pour différents taux d'ombrage

- (A) 2 cellules ombragées (B) 9 cellules ombragées – (C) 18 cellules ombragées

La figure (3.12) représente les caractéristiques $P(V)$ du module PV sans utilisation des diodes by-pass, dont plus d'une cellule solaire avaient été ombragées pour différent taux d'ombrage.

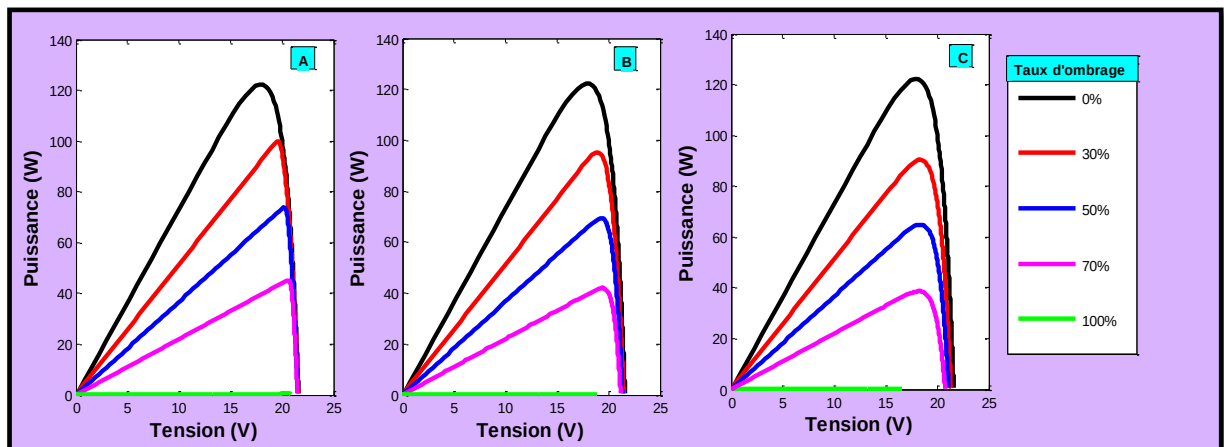


Figure (3.12) : les caractéristiques $P-V$ d'un module PV avec DBP pour différents taux d'ombrage

- (A) 2cellules ombragées (B) 9cellules ombragées – (C) 18 cellules ombragées

Le tableau (3.3) regroupe les valeurs de la tension en circuit ouvert (V_{co}), le courant de court-circuit (I_{sc}), la puissance maximale (P_{max}), le facteur de forme (FF) et les pertes de puissance (ΔP) d'un module dont plus d'une cellule occultée selon la direction des colonnes et sans l'utilisation des diodes by-pass.

Paramètre	Taux d'ombrage	0%	30%	50%	70%	100%
I_{SC} (A)	2 cellules	7.34	5.13	3.67	2.02	0
	9 cellules	7.34	5.13	3.67	2.02	0
	18 cellules	7.34	5.13	3.67	2.02	0
V_{OC} (V)	2 cellules	21.6	21.58	21.56	21.55	20.92
	9 cellules	21.6	21.47	21.35	21.18	18.9
	18 cellules	21.6	21.35	21.11	20.76	16.61
P_{max} (W)	2 cellules	122.3	100.6	73.87	45.78	0
	9 cellules	122.3	95.35	69.35	41.95	0
	18 cellules	122.3	90.46	64.83	38.64	0
ΔP(%)	2 cellules	0	17.74	39.59	62.56	100
	9 cellules	0	22.03	43.29	65.69	100
	18 cellules	0	26.03	46.99	68.41	100
FF (%)	2 cellules	77.13	90.87	93.35	99.46	0
	9 cellules	77.13	86.57	88.51	90.02	0
	18 cellules	77.13	82.59	83.68	94.14	0

Tableau (3.3): Valeurs des paramètres du module avec DBP en fonction du taux d'ombrage de plus d'une cellule selon la direction des colonnes

A partir des courbes des figures (3.11) et (3.12) et des valeurs des paramètres du modules du tableau 3.3 on remarque que :

- ✓ Le courant de court-circuit **I_{SC}** est constant en fonction du nombre du nombre de cellules ombragées et diminue en fonction de l'augmentation du taux d'ombrage. Le courant de court-circuit décroît avec le croissement de l'ombrage. Cet effet est justifié par la restriction de la partie éclairée du module, qui reçoit de l'énergie lumineuse, ce qui influe directement sur le photo-courant généré, car le taux de création des paires électron-trou décroît avec la diminution de la zone exposée au rayonnement.
- ✓ La tension de circuit-ouvert et la puissance maximale sont diminuées en fonction du nombre des cellules ombragées. Les pertes de puissance augment avec l'augmentation du nombre des cellules ombragées. Alors qu'en générale les valeurs du facteur de forme

diminuent en fonction du nombre de cellules ombragées et augmentent en fonction du taux d'ombrage.

b) Ombrage de plus d'une cellule avec diode by-pass

La figure (3.13) représente les caractéristiques $I(V)$ du module PV avec utilisation des diodes by-pass, dont plus d'une cellule solaire avaient été ombragées par différents taux d'ombrage.

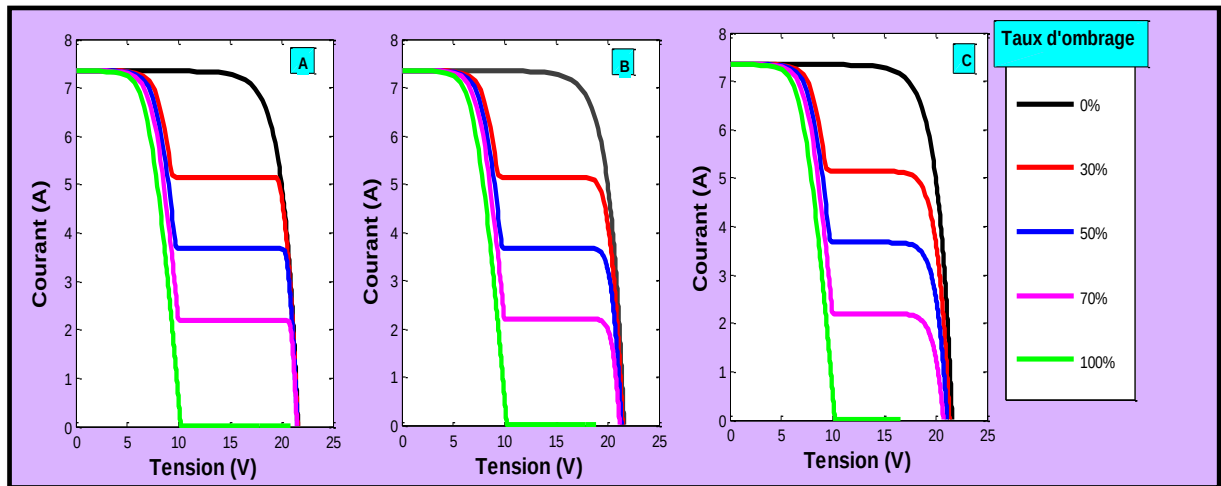


Figure (3.13) : Les caractéristiques $I-V$ d'un module PV avec DBP pour différents taux d'ombrage

- (A) 2cellules ombragées (B) 9cellules ombragées – (C) 18 cellules ombragées

La figure (3.14) représente les caractéristiques $P(V)$ du module PV sans utilisation des diodes by-pass, dont plus d'une cellule solaire avaient été ombragées par différents taux d'ombrage.

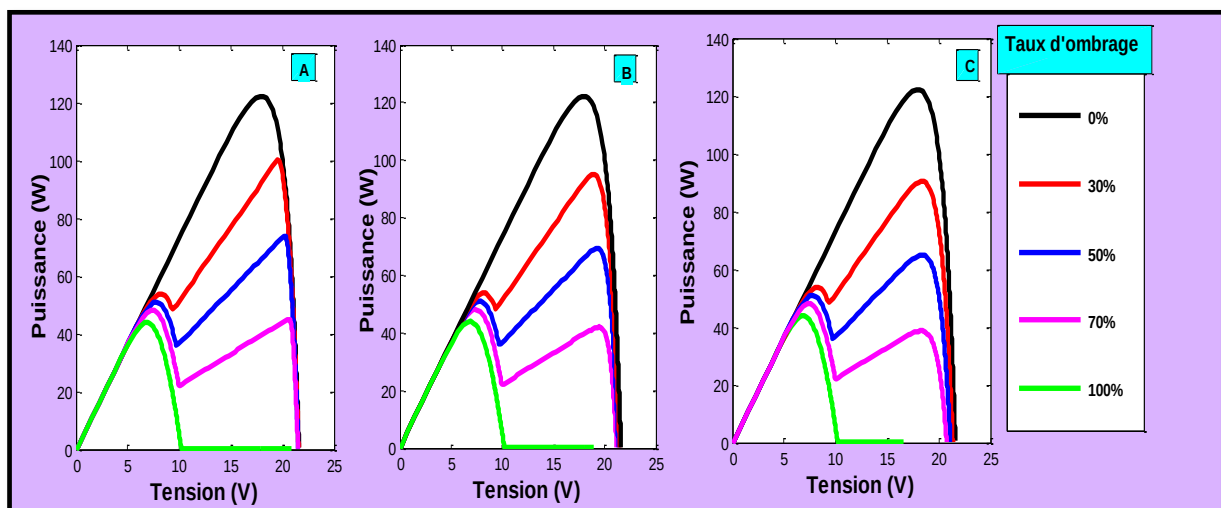


Figure (3.14) : Les caractéristiques $P(V)$ d'un module PV avec DBP pour différents taux d'ombrage

- (A) 2cellules ombragées (B) 9cellules ombragées – (C) 18 cellules ombragées

Le tableau (3.4) regroupe les valeurs de la tension en circuit ouvert (V_{oc}), le courant de court-circuit (I_{sc}), la puissance maximale (P_{max}), le facteur de forme (FF) et les pertes de puissance (ΔP) d'un module dont plus d'une cellule occultée selon la direction des colonnes et avec utilisation des diodes by-pass.

Paramètre	Taux d'ombrage	0%	30%	50%	70%	100%
I_{sc} (A)	2 cellules	7.34	7.34	7.34	7.34	7.34
	9 cellules	7.34	7.34	7.34	7.34	7.34
	18 cellules	7.34	7.34	7.34	7.34	7.34
V_{oc} (V)	2 cellules	21.6	21.57	21.54	21.5	20.92
	9 cellules	21.6	21.47	21.35	21.18	18.9
	18 cellules	21.6	21.5	20.76	20.76	16.6
P_{max} (W)	2 cellules	122.3	99.11	73.3	47.75	43.76
	9 cellules	122.3	94.89	69.21	47.75	43.76
	18 cellules	122.3	89.63	47.75	47.75	43.76
ΔP (%)	2 cellules	0	18.96	40.04	60.09	62.21
	9 cellules	0	22.47	43.41	60.09	62.21
	18 cellules	0	26.71	60.09	60.09	62.21
FF (%)	2 cellules	77.13	62.59	46.36	30.25	28.49
	9 cellules	77.13	60.21	44.16	30.71	31.54
	18 cellules	77.13	56.8	31.33	31.33	35.91

Tableau (3.4): Valeurs des paramètres du module avec DBP en fonction du taux d'ombrage de plus d'une cellule selon la direction des colonnes

A partir des résultats de simulation (figures (3.13), (3.14) et les valeurs du tableau 3.4) de l'ombrage de différent nombre de cellules du module PV avec l'utilisation des diodes by-pass et pour différents taux d'ombrage on a remarqué que :

- ✓ Le courant de court-circuit reste constant avec l'augmentation du nombre de cellules ombragées et du taux d'ombrage.
- ✓ La tension de circuit-ouvert diminue légèrement
- ✓ La puissance maximale et pertes en puissance augmentent en fonction du nombre de cellules ombragées pour les taux d'ombrage inférieurs à 70%, mais elles restent constantes pour les taux d'ombrage supérieurs à 70%.

✓ les valeurs de FF est variable dans tous les cas.

La déformation des caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ s'intensifie avec l'augmentation du nombre de cellules ombragées. En effet, pour le cas de l'ombrage de 9 cellules, provoque une perte en puissance d'environ 60.09%, qui est dissipée sous forme de chaleur.

3.5.2 Ombrage de plus d'une cellule suivant la direction des lignes du module PV

La procédure consiste à occulter les cellules du module par un cache qui a une surface qui se déplace suivant la direction des lignes du module PV (figure 3.15).

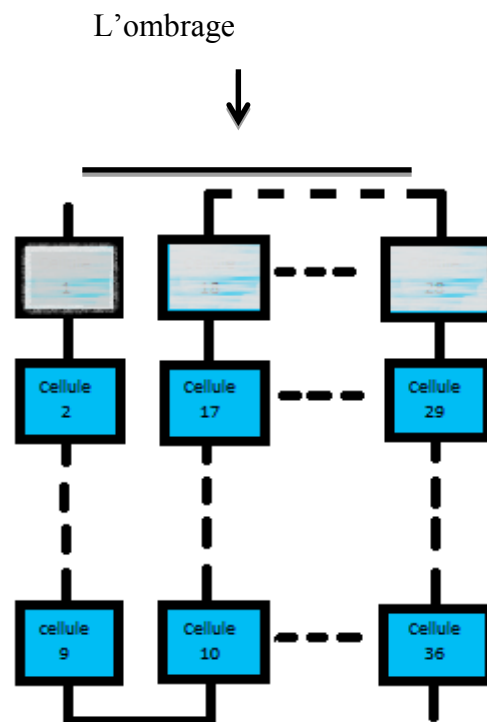


Figure (3.15): ombrage selon la direction des lignes du module PV

a) Ombrage d'une ligne sans diode by-pass

La figure (3.16) représente les caractéristiques I-V et P-V d'un module PV dont 4 cellules solaires (une ligne du module PV) avaient été ombragées sans utilisation des diodes by-pass, pour différents taux d'ombrage.

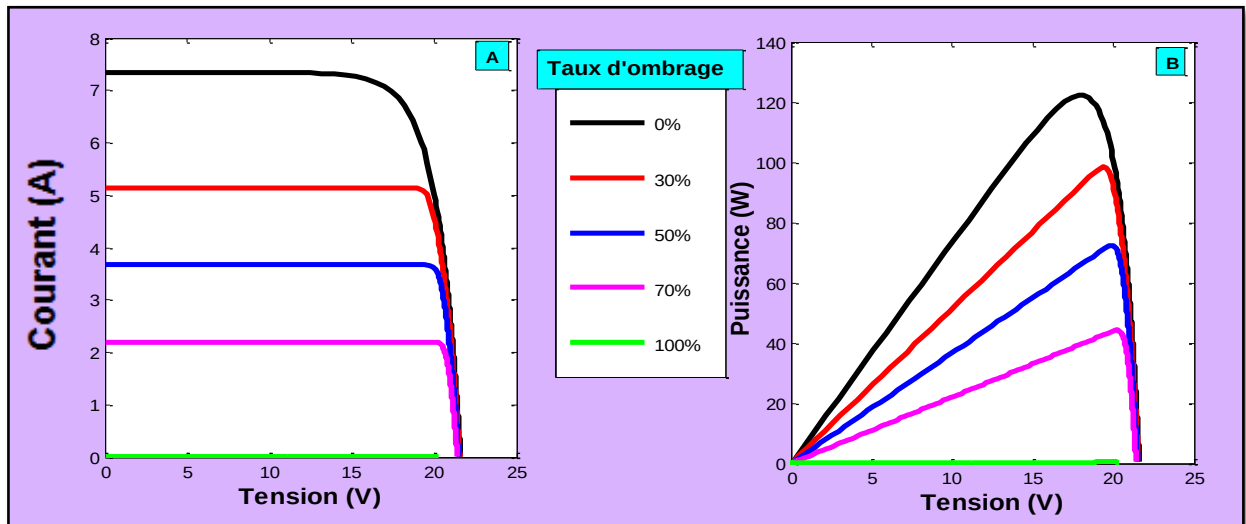


Figure (3.16) : Caractéristiques d'un module PV sans DBP à différents taux d'ombrage d'une ligne

–(A) caractéristique (I-V) –(B) caractéristique (P-V)

Le tableau (3.5) regroupe les valeurs de la tension de circuit ouvert (V_{co}), le courant de court-circuit (I_{sc}), la puissance maximale (P_{max}), le facteur de forme (FF) et les pertes de puissance (ΔP) d'un module dont 4 cellules solaires sont occultées suivant la direction des lignes sans l'utilisation des diodes by-pass.

Taux d'ombrage	0%	30%	50%	70%	100%
I_{sc} (A)	7.34	5.13	3.67	2.02	0
V_{oc} (V)	21.6	21.54	21.49	21.41	20.31
P_{max} (W)	122.3	98.57	72.43	44.19	0
ΔP (%)	0	19.04	40.77	63.86	100
FF (%)	77.13	89.41	91.83	93.81	0

Tableau (3.5): Valeurs des paramètres du module dont 4 cellules occultées selon la direction des lignes sans DBP en fonction du taux d'ombrage.

Dans le cas d'ombrage une ligne du cellules de module PV sans diode by-pass, le courant de court-circuit, la tension de circuit-ouvert et la puissance maximale diminuent avec l'augmentation du taux d'ombrage. Le facteur de forme et les pertes de puissance augmentent en fonction du taux d'ombrage.

b) Ombrage d'une ligne du module PV avec diode by-pass

La figure (3.17) représente les caractéristiques I-V et P-V d'un module PV dont 4 cellules solaires (une ligne du module PV) sont ombragées, pour différents taux d'ombrage.

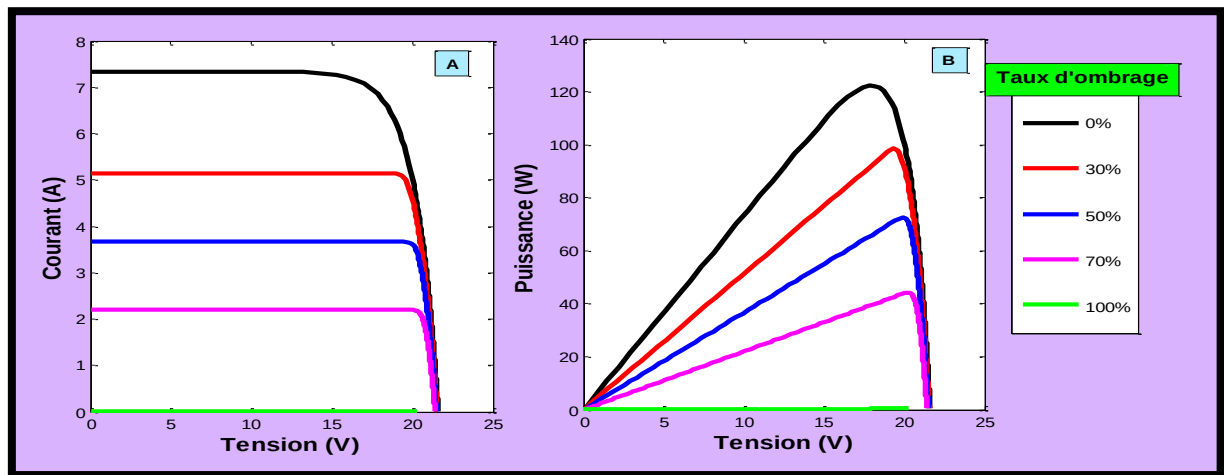


Figure (3.17) : Caractéristiques d'un module PV avec DBP à différents taux d'ombrage d'une ligne

–(A) caractéristique (I-V) –(B) caractéristique (P-V)

Le tableau (3.6) regroupe les valeurs de la tension de circuit ouvert (V_{oc}), le courant de court-circuit (I_{sc}), la puissance maximale (P_{max}), le facteur de forme (FF) et les pertes de puissance (ΔP) d'un module dont 4 cellules solaires sont occultées selon la direction des lignes.

Taux d'ombrage	0%	30%	50%	70%	100%
I_{sc} (A)	7.34	5.13	3.67	2.20	0
V_{oc} (V)	21.6	21.5	21.49	21.41	20.31
P_{max} (W)	122.3	98.46	72.46	44.2	0
ΔP (%)	0	19.49	40.75	63.09	100
FF (%)	77.13	89.6	91.87	93.83	0

Tableau (3.6): Valeurs des paramètres du module dont 4 cellules occultées selon la direction des lignes avec DBP en fonction du taux d'ombrage.

Dans le cas d'ombrage d'une ligne de cellules avec l'utilisation des diodes by-pass, le courant de court-circuit et la tension de circuit-ouvert et la puissance maximale diminuent en fonction du taux d'ombrage. Le facteur de forme et les pertes de puissance ces augmentent avec l'augmentation du taux d'ombrage.

c) Ombrage de deux lignes du module PV sans diode by-pass

La figure (3.18) représente les caractéristiques I-V et P-V d'un module PV sans DBP, dont 8 cellules solaires (deux lignes du module PV) avaient été ombragées selon un taux d'ombrage variable.

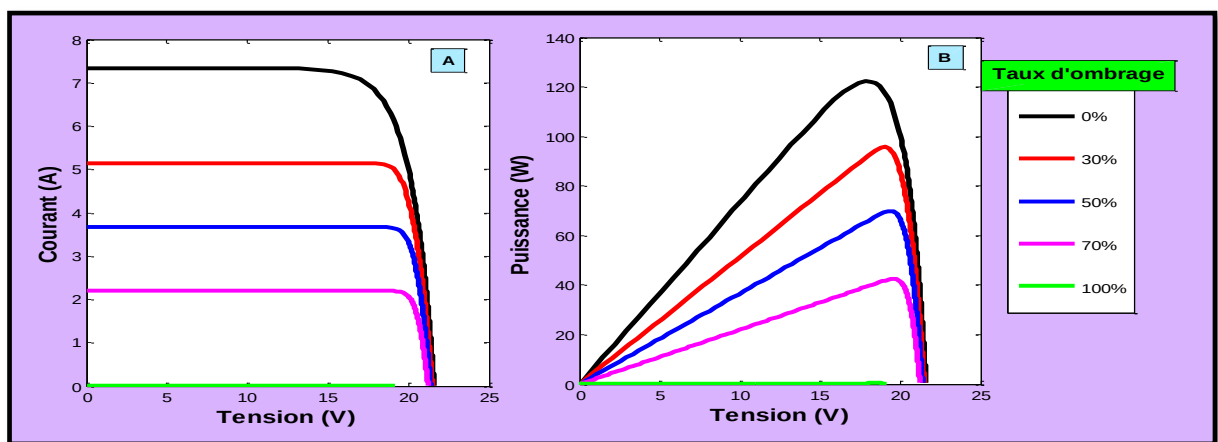


Figure (3.18) : Caractéristiques d'un module PV sans DBP à différents taux d'ombrage de deux lignes

–(A) caractéristique (I-V) –(B) caractéristique (P-V)

Le tableau (3.7) regroupe les valeurs de la tension de circuit ouvert (V_{oc}), le courant de court-circuit (I_{sc}), la puissance maximale (P_{max}), le facteur de forme (FF) et les pertes de puissance (ΔP) d'un module dont 8 cellules solaires sont occultées selon la direction des lignes sans utilisation des diodes by-pass.

Taux d'ombrage	0%	30%	50%	70%	100%
I_{sc} (A)	7.34	5.13	3.67	2.02	0
V_{oc} (V)	21.6	21.49	21.38	21.22	19.18
P_{max} (W)	122.3	95.8	69.98	42.41	0
ΔP (%)	0	21.66	42.78	65.32	100
FF (%)	77.13	86.89	89.18	90.84	0

Tableau (3.7): Valeurs des paramètres du module dont 8 cellules occultées selon la direction des lignes sans DBP en fonction du taux d'ombrage.

d) Ombrage de deux lignes des cellules solaires avec diodes by-pass

La figure (3.19) représente les caractéristiques I-V et P-V d'un module PV avec DBP, dont 8 cellules solaires (deux lignes du module PV) avaient été ombragées selon un taux d'ombrage variable.

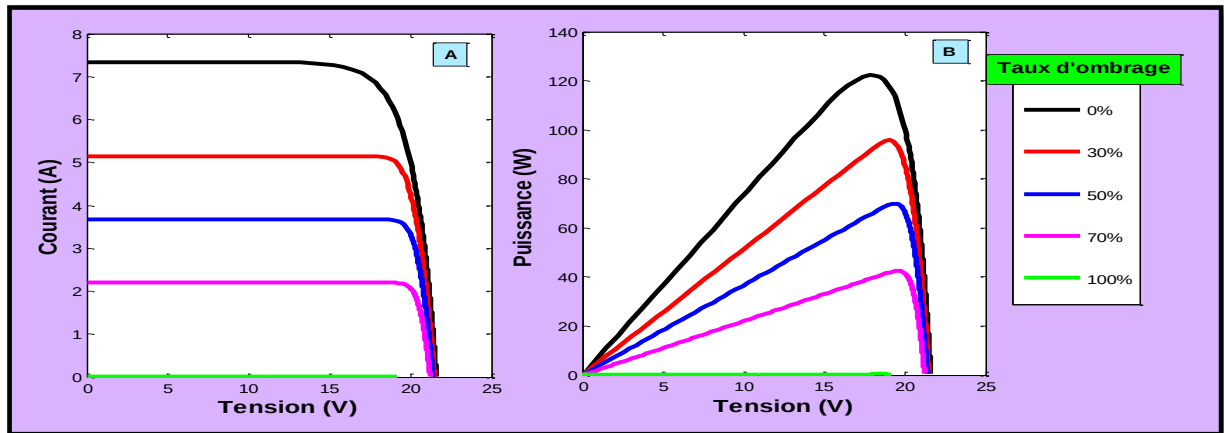


Figure (3.19) : Caractéristiques d'un PV module avec DBP à différents taux d'ombrage de deux lignes

–(A) caractéristique (I-V) –(B) caractéristique (P-V)

Le tableau (3.8) regroupe les valeurs de la tension de circuit ouvert (V_{co}), le courant de court-circuit (I_{sc}), la puissance maximale (P_{max}), le facteur de forme (FF) et les pertes de puissance (ΔP) d'un module dont 8 cellules solaires sont occultées selon la direction des lignes avec l'utilisation des diodes by-pass

Taux d'ombrage	0%	30%	50%	70%	100%
I_{sc} (A)	7.34	5.13	3.67	2.20	0
V_{oc} (V)	21.6	21.49	21.38	21.22	19.18
P_{max} (W)	122.3	95.8	69.98	42.41	0
ΔP (%)	0	21.66	42.78	65.32	100
FF (%)	77.13	86.89	89.18	90.84	0

Tableau (3.8): Valeurs des paramètres du module dont 8 cellules occultées selon la direction des lignes avec DBP en fonction du taux d'ombrage.

A partir des résultats de simulation de l'ombrage du module PV selon la direction des lignes on remarque que les valeurs des paramètres sont presque identiques dans les deux cas avec ou sans DBP. Donc le rôle de la diode by-pass reste juste pour la protection du module contre les points chauds.

Le même résultat aux les deux simulations avec et sans diode by-pass

3.6 Ombrage du générateur PV

Le générateur utilisé dans notre étude se compose de 6 modules PV (2 modules série, 3 branches parallèles). Chaque module contient 36 cellules associées en série avec deux diodes de protection by-pass. Ce générateur délivre dans les conditions standards une puissance crête de 671.4 Wc.

3.6.1 Les différentes structures de liaisons entre les modules PV

Pour notre étude de l'effet de l'ombrage sur le générateur PV, nous avons utilisé, deux structures différentes représentées respectivement par les figures (3.19) et (3.20).

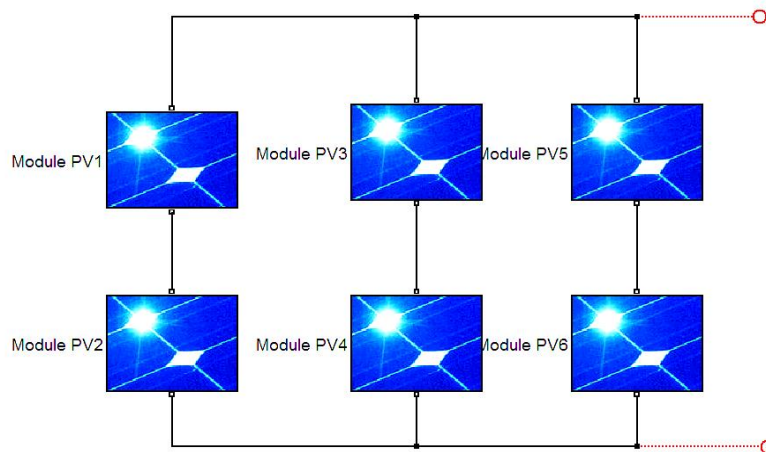


Figure (3.20) : Structure de liaison type 1 du générateur PV

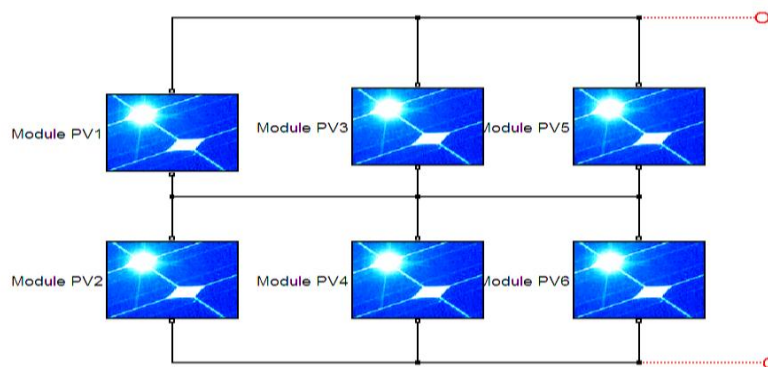


Figure (3.21) : Structure de liaison type 2 du générateur PV

3.6.2 Ombrage d'un seul module PV du générateur

La figure (3.22) représente les caractéristiques I-V et P-V d'un générateur PV pour les deux types de structures de liaison entre les modules.

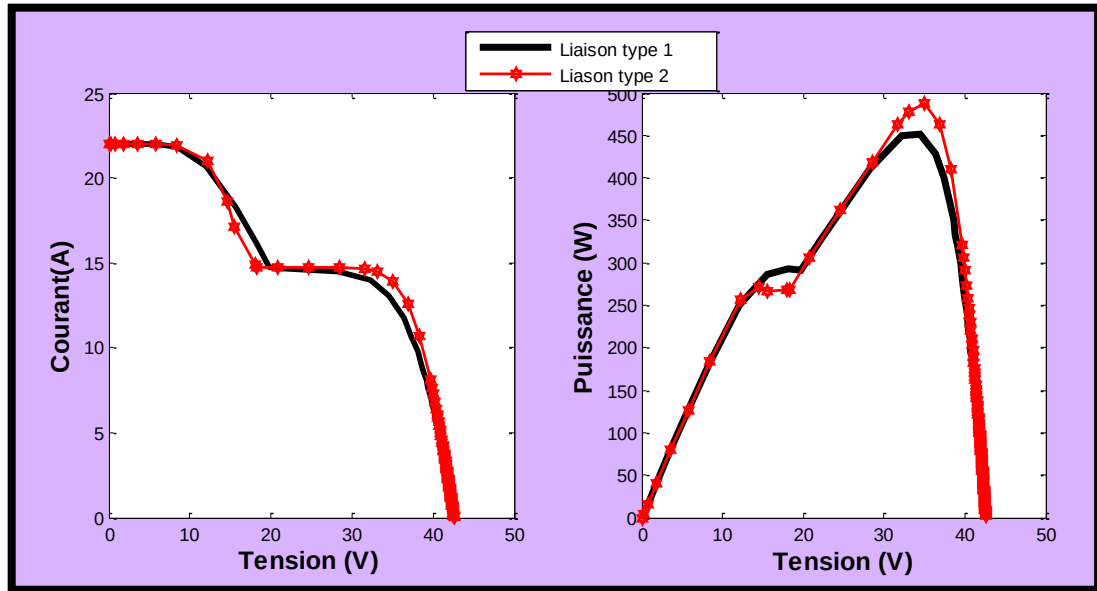


Figure (3.22) : Les caractéristiques A(I-V) et B (P-V) du générateur PV pour les deux types de liaison.

Le Tableau (3.9) regroupe les différentes valeurs de la tension du circuit ouvert (V_{oc}), du courant de court-circuit (I_{sc}) et de la puissance maximale (P_{max}) du générateur partiellement ombragé.

Paramètre	Liaison type 1	Liaison type 2
I_{sc} (A)	14.7	14.7
V_{oc} (V)	42.59	42.03
P_{max} (W)	449.9	446.2
ΔP (%)	32.99	33.54

Tableau (3.9): Paramètres du générateur PV dont un module ombragé pour les deux types de liaison

A partir des résultats obtenus par simulation de l'ombrage d'un seul module PV dans un générateur. On remarque que la valeur la plus grande de la puissance maximale est trouvée en utilisant la structure de liaison du type 1 du générateur PV (figure (3.19)).

3.6.3 Ombrage de plus d'un module du générateur PV

Dans notre travail nous avons utilisé quatre configurations pour l'étude de l'ombrage de plus d'un module dans le générateur PV.

a) Configuration 1

Dans ce cas la surface de l'ombrage qui occulte le générateur est représentée par la figure (3.23).

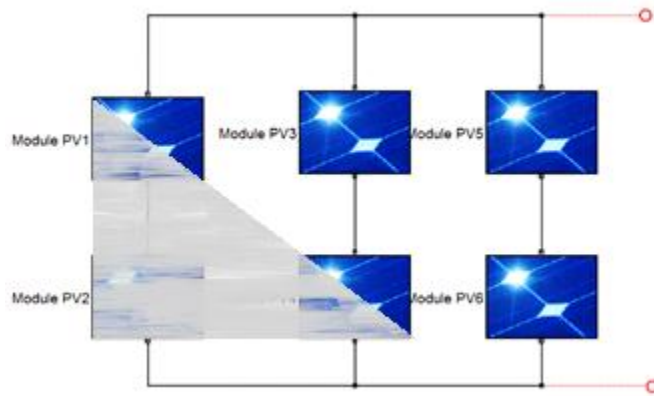


Figure (3.23) : Configuration1 d'ombrage du générateur PV

La figure (3.24) représente les caractéristiques I-V et P-V d'un générateur PV pour les deux types de structures de liaison entre les modules PV selon l'ombrage de la configuration 1.

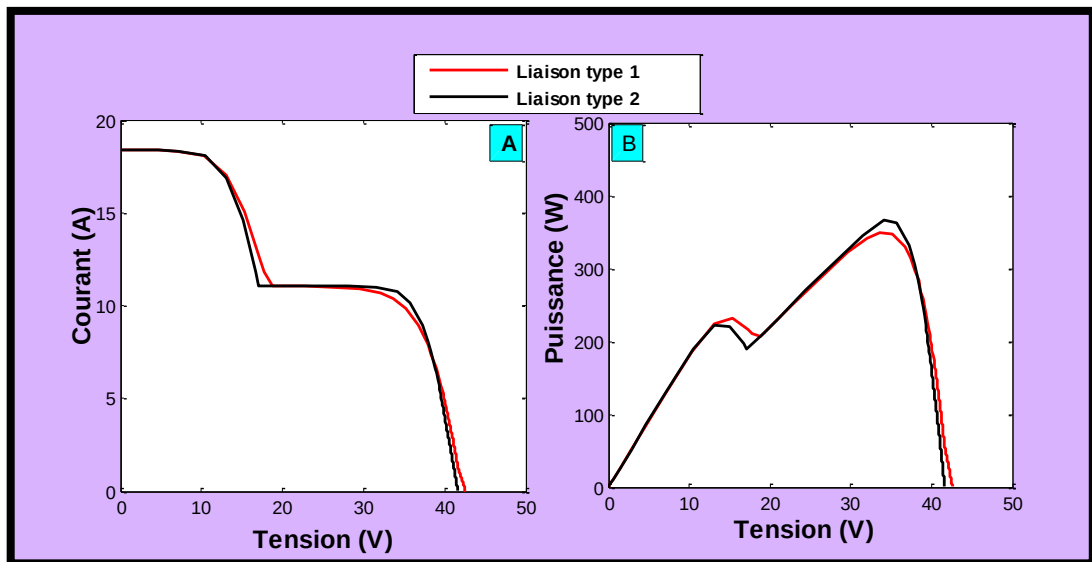


Figure (3.24) : Les caractéristiques : A(I-V) et B(P-V) du générateur PV pour les deux types de liaison pour le cas de l'ombrage de la configuration 1

Le Tableau (3.9) regroupe les différentes valeurs de la tension du circuit ouvert (V_{co}), du courant de court-circuit (I_{sc}) et de la puissance maximale (P_{max}) du générateur partiellement occulté par un ombrage selon la configuration 1.

Paramètre	Liaison Type1	Liaison Type 2
I_{sc} (A)	14.68	14.68
V_{oc} (V)	45.57	41.62
P_{max} (W)	346.8	357.6
$\Delta P(\%)$	48.34	46.73

Tableau (3.9): Paramètres du générateur PV pour un ombrage selon la configuration 1

A partir des résultats obtenus par simulation de l'ombrage du générateur selon la configuration 1. On remarque que la valeur la plus grande de la puissance maximale est trouvée en utilisant la structure de liaison du type 2 du générateur PV (figure (3.20)).

b) Configuration 2

Dans ce cas la surface de l'ombrage qui occulte le générateur est représentée par la figure (3.25).

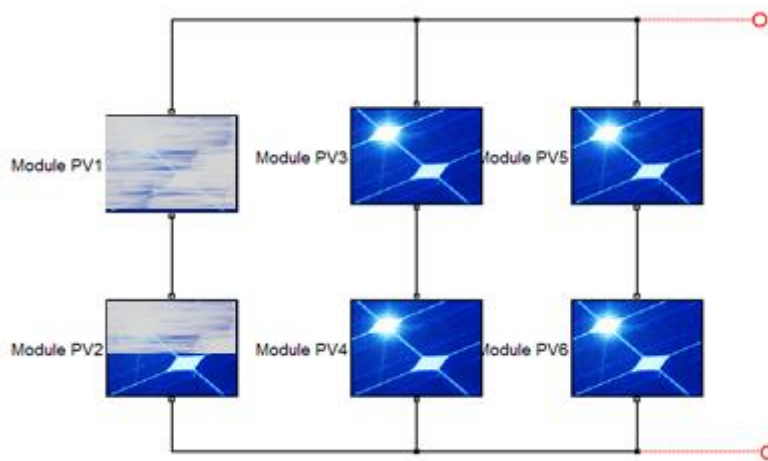


Figure (3.25) : Configuration 2 d'ombrage du générateur PV

La figure (3.26) représente les caractéristiques I-V et P-V d'un générateur PV pour les deux types de structures de liaison entre les modules PV selon l'ombrage de la configuration 2.

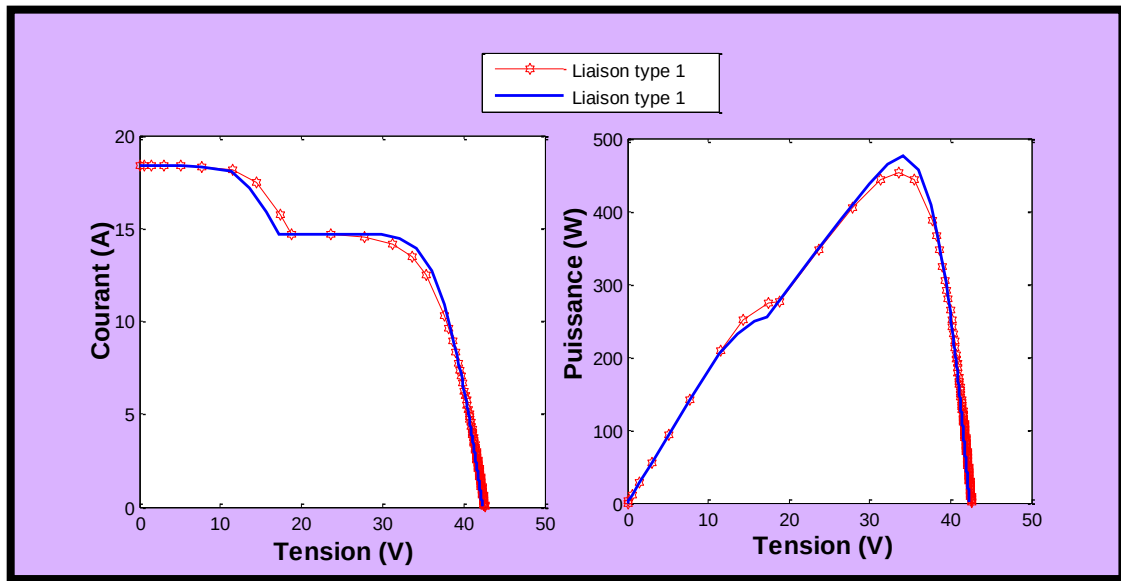


Figure (3.26) : Les caractéristiques-A : (I-V) et B : (P-V) du générateur PV pour les deux types de liaison pour le cas de l'ombrage de la configuration 2

Le Tableau (3.10) regroupe les différentes valeurs de la tension du circuit ouvert (V_{oc}), du courant de court-circuit (I_{sc}) et de la puissance maximale (P_{max}) du générateur partiellement occulté par un ombrage selon la configuration 2.

Paramètre	Liaison type 1	Liaison type 2
I_{sc} (A)	14.68	14.68
V_{oc} (V)	45.75	41.62
P_{max} (W)	346.8	357.6
$\Delta P(\%)$	48.34	46.73

Tableau (3.10): Paramètres du générateur PV pour un ombrage selon la configuration 2

A partir des résultats obtenus par simulation de l'ombrage du générateur selon la configuration 2. On remarque que la valeur la plus grande de la puissance maximale est trouvée en utilisant structure de liaison du type 2 du générateur PV (figure (3.20)).

c) Configuration 3

Dans ce cas la surface de l'ombrage qui occulte le générateur est représentée par la figure (3.27).

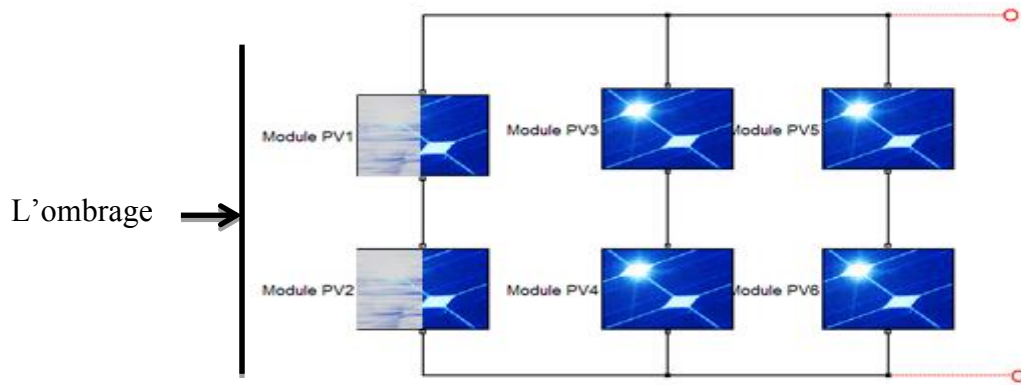


Figure (3.27) : Configuration 3 d'ombrage du générateur PV

La figure (3.28) représente les caractéristiques I-V et P-V d'un générateur PV pour les deux types de structures de liaison entre les modules PV selon l'ombrage de la configuration 3.

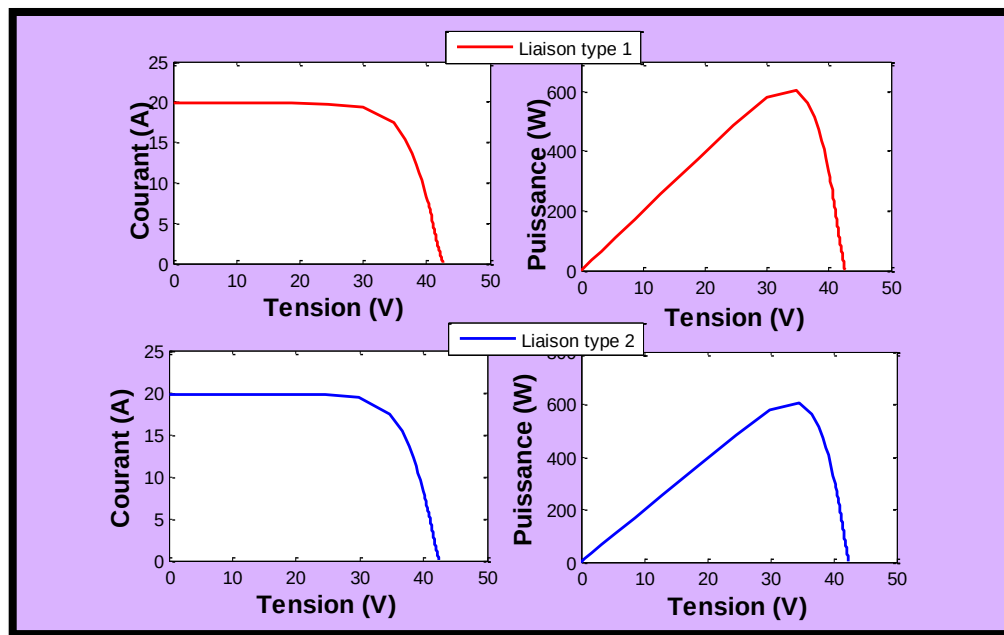


Figure (3.28) : Les caractéristiques : A(I-V) et B (P-V) du générateur PV pour les deux types de liaison pour le cas de l'ombrage de la configuration 3

Le Tableau (3.11) regroupe les différentes valeurs de la tension du circuit ouvert (V_{co}), du courant de court-circuit (I_{sc}) et de la puissance maximale (P_{max}) du générateur partiellement occulté par un ombrage selon la configuration 3.

Paramètre	Liaison type 1	Liaison type2
I_{sc} (A)	19.82	19.82
V_{oc} (V)	42.59	42.44
P_{max} (W)	603.6	604.3
ΔP (%)	10.09	9.99

Tableau (3.11): Paramètres du générateur PV pour un ombrage suivant la configuration 3

A partir des résultats obtenus par simulation de l'ombrage d'un générateur selon la configuration 3. On remarque que la valeur la plus grande de la puissance maximale est trouvée en utilisant la liaison du type 2 du générateur (figure (3.20)).

d) Configuration 4

Dans ce cas la surface de l'ombrage qui occulte le générateur est représentée par la figure (3.29).

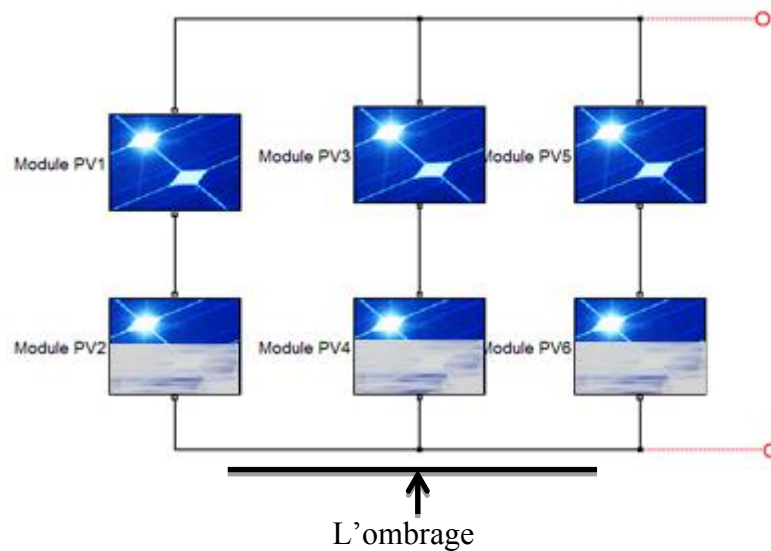


Figure (3.29) : C configuration 4 d'ombrage du générateur PV

La figure (3.30) représente les caractéristiques I-V et P-V d'un générateur PV pour les deux types de structures de liaison entre les modules PV selon l'ombrage de la configuration 4.

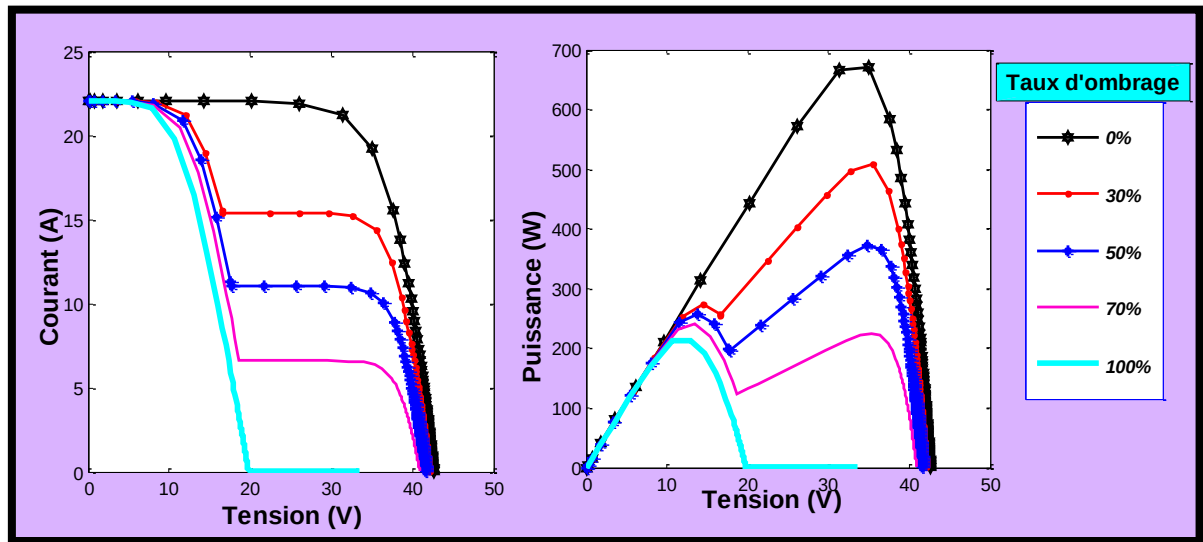


Figure (3.30) : Les caractéristiques : A(I-V) et B (P-V) du générateur PV pour les deux types de liaison pour le cas de l'ombrage de la configuration 4

Le Tableau (3.12) regroupe les différentes valeurs de la tension du circuit ouvert (V_{oc}), du courant de court-circuit (I_{sc}) et de la puissance maximale (P_{max}) du générateur partiellement occulté par un ombrage selon la configuration 4.

Taux d'ombrage	0%	30%	50%	70%	100%
I_{sc} (A)	22.02	22.02	22.02	22.02	22.02
V_{oc} (V)	48.59	42.09	41.63	40.91	33.55
P_{max} (W)	671.4	509.2	371.7	240	213.3
$\Delta P(\%)$	0	24.15	44.63	64.25	68.23
FF (%)	62.86	55.03	34.58	26.64	28.91

Tableau (3.11): Paramètres du générateur PV pour un ombrage selon la configuration 4

Dans le cas d'ombrage de la configuration 4 le courant de court-circuit, la tension du circuit-ouvert et la puissance maximale sont diminués avec l'augmentation du taux d'ombrage. le facteur de forme et les pertes de puissance ces augmentent aussi avec l'augmentation du taux d'ombrage pour les deux type de liaison..

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié l'effet des diodes by-pass dans un module PV partiellement ombragé et l'effet de la configuration de l'ombrage sur le générateur PV. A partir des résultats de simulation on a conclue :

- L'augmentation du taux d'ombrage sur une cellule produit plus de déformations de la caractéristique (I-V), en même temps le point de puissance maximale se déplace vers des valeurs plus basses de la tension.
- L'augmentation du nombre de cellules ombragées par chaîne provoque une déformation plus élevée dans la caractéristique I(V), le point de fonctionnement déplace à des tensions plus faibles et les pertes de puissance augmentent.
- Les pertes de puissance sont considérablement augmentées lorsque le nombre de cellules ombragées dans la même chaîne s'accroît, cependant, quand les cellules ombrées sont placées dans des chaînes différentes, le point de puissance maximale (PPM) ne serait pas affecté.
- A partir des résultats de simulation obtenus pour les différentes configurations d'ombrage du générateur PV nous pouvons dire que l'utilisation de la structure de liaison du type 2 entre les modules du générateur proposé est la plus performante.