



Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:**

MASTER

Filière : Génie Electrique
Option : Automatique

Thème

**Etude du comportement d'un micro-réseau électrique
radial avec une forte concentration des panneaux
photovoltaïque**

Soutenu publiquement le :23/06/2014 Devant le jury:

Président **Mme Tahi Wassila**
Rapporteur **Mr Ben Arroudj .M**
Examineurs **Mr Diaf Abdelaziz et Mme Aouabed**

Année Universitaire 2013/2014



Filière : Génie Electrique
Option : **Automatique**

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

Etude du comportement d'un micro-réseau électrique radial avec
une forte concentration des panneaux photovoltaïque

Présenté par :

Mezaache Antar Zakaria et Hamoudi Riyadh

Avis favorable de l'encadreur :

Ben Arroudj .M

Avis favorable du Président du Jury

Mme Tahi Wassila

Thème :

Etude du comportement d'un micro-réseau électrique radial avec une forte concentration des panneaux photovoltaïques

RESUME (bilingue)

Résumé:

L'utilisation de l'énergie solaire pour générer l'électricité se trouve en extensif, mais le raccordement de plusieurs panneaux ou plusieurs champs PV ou réseau de distribution provoque déstabilisation à augmentation de tension sur la tension admissible (5%), Surtout lorsque qu'il s'agit d'une forte source de panneaux PV.

Mots clés : Microgrid, Panneaux PV, Onduleur connecté au réseau, MATLAB, Réseau radial, puissance Réactive.

المخلص :

إن اللجوء إلى الطاقة الشمسية من أجل توليد الكهرباء صار أمرا واقعا وواسع الانتشار ولكن ربط العديد من الألواح الضوئية في شبكة التوزيع قد يسبب عدم ثبات الشبكة لارتفاع التوتر فوق النسبة المقبولة (5%)، خاصة في حالة تركيز عالي للألواح الشمسية أين تكون أشعة الشمس قصوى.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail;
A ma mère avec toute mon affection;
A mon père avec toute ma reconnaissance;
A mes frères et mes sœurs que dieu les gardes;
A ma famille ;
A tout mes amis ;
Sans oublier ceux qui m'ont aide.

Remerciements

- ❖ *Tous les Remerciements à Dieu le tout puissant qui nous a aidé à réaliser ce modeste travail.*
- ❖ *Nous Remercions notre chef de département d'électromécanique Monsieur : Kessal.*
- ❖ *Nous tenons à remercier tout les membres de jury*
- ❖ *Nous remercions tous collègues et amis et famille.*

Nous tenons à remercies toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce modeste projet de près ou de loin.

MEZAAHE ANTAR ZAKARIA / HAMOUDI RIYADH

Liste des tableaux :

III.1 Les charges et les distances

III.2 puissance générée par une station photovoltaïque (Mois de Juillet)

TABLEAU DE FIGURES

Figure	Titre	Page
Figure I.1	l'architecture MR.	15
Figure I.2	l'architecture de micro-réseau radial	18
Figure I.3	La puissance des nœuds dans le circuit radial	19
Figure II.1	Schéma synthétique de l'effet photovoltaïque	20
Figure II.2	Exemple de cellule et de module photovoltaïque en silicium a) Plaquettes sans connectique, b) Cellule PV élémentaire, c) Générateur photovoltaïque, d) Photo d'un générateur PV poly-cristallin commercial.	08
Figure II.3	Schéma électrique équivalent d'une cellule PV	08
Figure II.4	Caractéristiques d'une jonction PN sous éclairement	09
Figure II.5	Caractéristique courant-tension d'un panneau PV	10
Figure II.6	Caractéristique d'un panneau PV pour différents éclairements	10
Figure II.7	Caractéristique d'un panneau PV pour différentes températures	11
Figure II.8	Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules	12
Figure II.9	Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de n_p cellules identiques	12
Figure II.10	Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de n_p cellules identiques	12
Figure II.11	principe de centrales PV	13
Figure II.12	panneau PV connecté au réseau électrique	13
Figure II.13	principe de MPPT	
Figure II.14	l'étage de contrôle de la commande MPPT	14
Figure III.1	Mise en série de Plusieurs modules PV a un seul onduleur	19
Figure III.2	Bus à basse tension alternative	19
Figure III.3	Convertisseur de type forward alimentant le bus continu	20
Figure III.4	Structure avec un convertisseur de type fly-back	20
Figure III.5	Hacheur élévateur de tension avec onduleur centralisé	21
Figure III.6	micro-réseau radial sans champ photovoltaïque	22
Figure III.7	comportement du MRR sans PV	22
Figure III.8	comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 2 pendant le mois Février.	24
Figure III.9	comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 5 pendant le mois Février.	24
Figure III.10	comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 10 pendant le mois Février	25
Figure III.11	comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 2 pendant le	25

	mois Juillet.	
Figure III.12	comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 5 pendant le mois Juillet.	26
Figure III.13	comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 10 pendant le mois Juillet.	26
Figure IV.1	les pertes dans le réseau si PF=1	28
Figure IV.2	la tension dans le réseau si PF=1	28
Figure IV.3	les pertes dans le réseau si PF=0.9	29
Figure I.4	la tension dans le réseau si PF=0.9	30
Figure IV.5	les pertes dans le réseau si PF=0.8	30
Figure IV.6	la tension dans le réseau si PF=0.8	31
Figure IV.7	les pertes dans le réseau si PF=0.7	31
Figure IV.8	la tension dans le réseau si PF=0.7	32
Figure IV.9	les pertes dans le réseau si PF=0.6	32
Figure IV.10	la tension dans le réseau si PF=0.6	33
Figure IV.11	les pertes dans le réseau si PF=0.5	33
Figure IV.12	la tension dans le réseau si PF=0.5	34
Figure IV.13	les pertes globales	34

Liste de symboles

S: La puissance apparente (watt)

Q : puissance réactive (VA)

P : puissance active (watt)

E : Eclairage (W/m^2).)

I_{ph} : Le photo-courant (A).

I_{sat} : Courant de saturation (A).

R_p : Résistances parallèle shunt. (Ω) : Courant de saturation (A).

R_S : Résistance série (Ω).

T_c : Température de jonction ($^{\circ}\text{K}$).

G : L'éclairage de référence (1000 W/m^2).

T_{ref} : La température de référence ($298 \text{ }^{\circ}\text{K}$).

α : Le coefficient de courant en fonction de température ($\text{A}/^{\circ}\text{C}$). : La température de référence ($298 \text{ }^{\circ}\text{K}$).

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

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

FF : Facteur de forme.

N_s : Nombre de modules dans le panneau en série.

N_p : Nombre de modules dans le panneau en parallèle.

P_{max} : La puissance maximale produite PV (W).

V_{max} : Tension qui correspond à la puissance maximale (V).

I_{max}: Courant qui correspond à la puissance maximale (A).

V_{opt} : Tension optimale (V).

I_{opt} : Courant optimum (A).

V_{co} : Tension à circuit ouvert (V).

I_{cc} : Courant de court-circuit (A)

FP : Facteur de puissance

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 01	
I.1 Introduction :	2
I.2 Définition de micro-réseaux :	3
I.3 Classification des micro-réseaux	4
I.4 Avantages de Micro-réseaux :	5
I.5 Raisons d'être des Micro-réseaux	5
I.6 Architecture de micro-réseau radial:	5
I.7 Modélisation du réseau radial :	6
I.8 Conclusion :	7
CHAPITRE 02	
II.1. INTRODUCTION	8
II.2. Electricité photovoltaïque	8
II.2.1. L'Effet photovoltaïque	9
II.2.2. La cellule photovoltaïque	9
II.2.3 La Jonction PN utilisée comme Capteur	10
II.3 Le Générateur PV et ses performances	11
II.3.1 Caractéristique courant-tension	11
II.3.2 Influence de l'éclairement	12
II.3.3 Influence de la température	12
II.3.4 Association de cellules PV en série	13
II.3.5 Association de cellules PV en parallèle	13
II.4. Centrales photovoltaïques	14
II.4.1. Le mode connecté au réseau	14
II.5. Hacheurs (convertisseur continu-continu)	15
II.5.1. Point du maximum de puissance (MPPT)	15
II.5.1.1. Principe de l'MPPT	15
II.5.2. Onduleurs (convertisseur continu-alternative)	16
II.6. Avantages et inconvénients d'une installation PV	16
II.7. CONCLUSION	17
CHAPITRE 03	
Introduction :	19
III.1. Les structure de raccordement des systèmes photovoltaïques au réseau :	19
III.1. Les systèmes à connexion directe au réseau	19
III.1.1. Structure à convertisseur unique :	19
III.1.2. Structure avec bus à basse tension alternative :	20

III.2. Système a bus continu intermédiaire :	21
III.2.1. Structure avec convertisseur forward :	21
III.2.2. Structure avec un convertisseur de type fly-back :	21
III.2.3. Structure avec hacheur et onduleur :	22
III.3. La simulation	22
III.3.1. Les données et les résultats de simulation :	22
III.3.1.1. Simulation de micro-réseau sans insertion du champ PV	22
III.1.2. Simulation de micro-réseau avec insertion du champ PV	24
IV. Conclusion	29

CHAPITRE 04

IV. INTRODUCTION	30
IV.1 Influence de l'injection de la puissance réactive sur la tension du réseau	30
IV.2 simulation	30
IV. ANALYSE ET INTERPRETATION DE RESULTATS	37
V. CONCLUSION	38
CONCLUSION GENERALE	39
REFERENCES	39
ANNEX	41

Introduction Générale

L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement. Ainsi, pour avoir un équilibre entre la production et la consommation, il est à première vue nécessaire d'augmenter le nombre de centrales électriques, de lignes, de transformateurs etc., ce qui implique une augmentation de coût et une dégradation du milieu naturel. En conséquence, il est aujourd'hui important d'avoir des micro-réseaux et de travailler proche des limites de stabilité afin de satisfaire ces nouvelles exigences.

Durant les dernières années, l'industrie de l'énergie électrique est confrontée à des problèmes liés à de nouvelles contraintes qui touchent différents aspects de la production, du transport et de la distribution de l'énergie électrique. On peut citer entre autres les restrictions sur la construction de nouvelles lignes de transport ou une nouvelle type de réseau par le besoin, l'optimisation du transit dans les systèmes actuels, la Cogénération de l'énergie, les interconnexions avec d'autres compagnies d'électricité et le respect de l'environnement.

La production d'énergie reste stratégique sur le long terme, ainsi, la consommation énergétique mondiale augmente d'environ 2% par an alors que l'on est confronté à une réduction des ressources primaires fossiles. Par ailleurs, concernant les émissions de gaz à effet de serre, il est admis comme étant un risque majeur concernant l'avenir de notre planète. L'utilisation de quelques ressources conventionnelles comme le charbon, le pétrole, l'énergie nucléaire... seraient limitée ou découragée pour des raisons liées à l'environnement. Les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie hydroélectrique et la biomasse devront jouer un rôle de plus en plus important.

Par énergies renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. La filière étudiée dans cette thèse est l'énergie solaire photovoltaïque.

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est en forte croissance depuis quelques années car c'est une source inépuisable, non polluante pour l'environnement, silencieuse et non dérangeante pour les riverains. Le développement rapide de l'énergie solaire est apparu progressivement sous forme d'installations de petites puissances raccordées au réseau à Basse Tension (BT) et de fermes solaires connectées directement au réseau à Moyenne Tension (MT).

Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, rivalisant avec des énergies fossiles du point de vue coût et performance de production. Cependant, leurs systèmes de convention en électricité sont encore des systèmes trop chers, et présentent quelques déficiences importantes en rendement et en fiabilité de ces sources comme l'énergie photovoltaïque PV.

Cependant, le raccordement des systèmes PV au réseau de distribution peut avoir quelques impacts sur les réseaux électriques : impacts sur le changement des flux de puissance

(bidirectionnel), sur le plan de tension (surtensions), sur le plan de protection, sur la qualité de l'énergie ou sur la planification du réseau. Pour cette raison, il est nécessaire d'étudier, l'influence de l'insertion de sources photovoltaïques au réseau de distribution.

Notre objectif dans présent travail est l'étude de comportement de micro-réseau électrique radial avec l'insertion des panneaux photovoltaïques a fort concentration.

Le premier chapitre présente la définition de l'architecture de micro-réseau radial par la définition et la modélisation de différents éléments permettant le calcul des écoulements des puissances et la distribution de la tension au niveau de chaque nœud du réseau.

Le deuxième chapitre donne une généralité sur les panneaux photovoltaïque, leurs caractéristiques et leur modélisation.

Dans le troisième chapitre, nous étudions l'effet d'une forte pénétration des sources PV sur le réseau radial, et ce en fonction de son emplacement et dans plusieurs situations climatiques.

Dans le quatrième chapitre, nous essayons de réduire les effets indésirables causés la présence de la grande centrale PV par l'injection de la puissance réactive qui est actuellement interdite par la législation.

CHAPITRE .I

MICRO-RESEAU

I.1 Introduction :

La consommation énergétique mondiale augmente sans cesse associée à une réduction des ressources énergétiques fossiles. Avec l'ouverture des marchés de l'énergie électrique et les incitations étatiques, les productions décentralisées basées sur les énergies renouvelables se développent dans tous les pays. Les sources renouvelables comme les éoliennes et les systèmes photovoltaïques (PV) présentent de grands intérêts.

Dans ce chapitre, nous commençons par donner un aperçu sur les micro-réseaux (microgrids) et en particulier le micro réseau radial. Ensuite, nous donnons les différentes lois qui modélisent le comportement du micro-réseau radial.

I.2 Définition de micro-réseaux :

Le concept micro-réseaux (MR) ou bien Microgrids (MG) suppose un ensemble des charges et une micro-source fonctionnant comme un système contrôlable qui fournit à la fois de la puissance et de la tension. Ce concept offre un nouveau paradigme pour définir le fonctionnement de la production décentralisée de l'énergie [I.3], [I.4].

Les micro-sources sont des petites unités de production de l'énergie (<100 kW) avec des interfaces d'électronique de puissance. Ces sources sont placées sur les sites des clients. Elles sont à faible coût, basse tension et ayant une haute fiabilité avec de faibles émissions. Les interfaces d'électronique de puissance (les convertisseurs) permettent le contrôle et la flexibilité requise par le MG. Elles sont conçues pour qu'il assure la réponse aux besoins de ses clients ainsi que les services publics [I.1]. Les caractéristiques du MG sont définies comme suit :

- Non planifiée (par l'utilitaire)
- décentralisé.
- Inférieure à 50-100 MW.
- En général, relié au système de distribution.

La mise en œuvre d'une MR peut être aussi simple que l'installation d'un petit générateur d'électricité d'une alimentation de secours sur le site d'un consommateur d'électricité, ou il peut être un système plus complexe qui est hautement intégré avec le réseau électrique qui se compose de la production d'électricité et la stockage d'énergie, et les systèmes de gestion de l'alimentation.

Les centrales électriques ou les sources d'énergie qui alimentent ce réseau à un certain emplacement. Prenons l'exemple d'un véhicule automobile: il possède une source d'alimentation indépendante, un alternateur et un dispositif de stockage (une pile). Ces deux éléments sont contrôlés pour répondre à tous les besoins en énergie électrique de la voiture. Appliquer une situation similaire à celle d'un foyer ou d'une communauté qui a ses propres sources d'électricité. Un système de stockage d'énergie, et un système de commande de puissance qui coupe automatiquement les générateurs pour répondre à la demande de puissance. Un système qui ne dépend pas du réseau national ou régional. Un tel système de production distribuée et parallèle de l'énergie est appelé un micro-réseau.

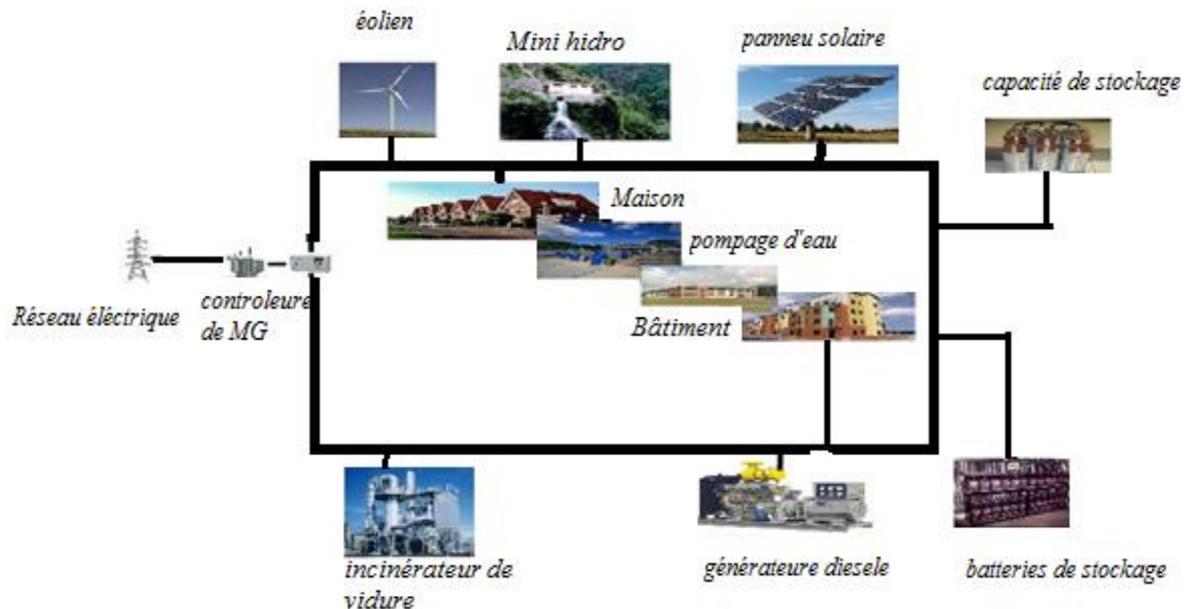


Fig (L1) : Architecture d'un MR.

Cette figure montre l'architecture d'un MG. Il s'agit d'un groupe de dispositifs d'alimentation et plusieurs charges successives connectées dans la même ligne. Il ya un seul point de connexion avec le réseau de distribution principal, appelé point de couplage commun (PCC).

I.3 Classification des micro-réseaux

Nous peut classer micro-réseaux globalement en quatre catégories.

- ✚ Réseaux à distance, qui sont nécessaires en raison des caractéristiques géographiques, comme les îles. Considérons un pays comme l'Indonésie qui a plus de vingt-trois mille îles. Il n'est tout simplement pas pratique pour connecter tous ces à un seul réseau national. Les sources d'énergie dans ces réseaux sont sur les mêmes lignes classiques utilisent des combustibles fossiles.
- ✚ Réseaux Militaire sont des réseaux nécessaires pour gérer les données et la sécurité au cours d'une catastrophe nationale. Les sources d'énergie dans ces réseaux sont également sur les mêmes lignes classiques utilisant des combustibles fossiles.
- ✚ Réseaux commerciaux ou industriels restauration à une communauté industrielle spécifique. Les sources d'énergie pourraient être à base de combustibles fossiles ou l'énergie récupérée pour le processus comme la chaleur des déchets, biocarburants, ou de déchets. Ce sont des systèmes d'énergie principalement en captivité.
- ✚ Réseaux communautaires qui optimisent et utilisent les ressources renouvelables régionales spécifiques pour donner rentable alimentation. L'utilisation de combustibles fossiles est seulement utilisée comme une sauvegarde d'urgence. C'est le micro-réseau vraiment efficace.

I-4 Avantages de Micro-réseaux :

Même si les Micro-réseaux ne remplacent pas le réseau national, elles permettent l'amélioration certains aspects liés à la qualité du réseau et à l'économie, en particulier pour les communautés et les régions qui ont des ressources renouvelables adéquates.

- Micro-réseaux ont des engagements financiers beaucoup plus petits.
- L'utilisation des ressources renouvelables est donc plus respectueuse à l'environnement.
- Exige moins de compétences techniques pour exploiter et s'appuyer davantage sur l'automatisation.
- Sont isolés de toute perturbation pouvant être causé par une panne du réseau central.

I-5 Raisons d'être des Micro-réseaux

La disposition classique d'un système moderne de grande puissance offre un certain nombre d'avantages. Les grandes unités de production peuvent être efficaces et fonctionnent avec seulement un nombre relativement restreint de personnel. Le réseau de transport à haute tension interconnecté permet la réserve de générateur.

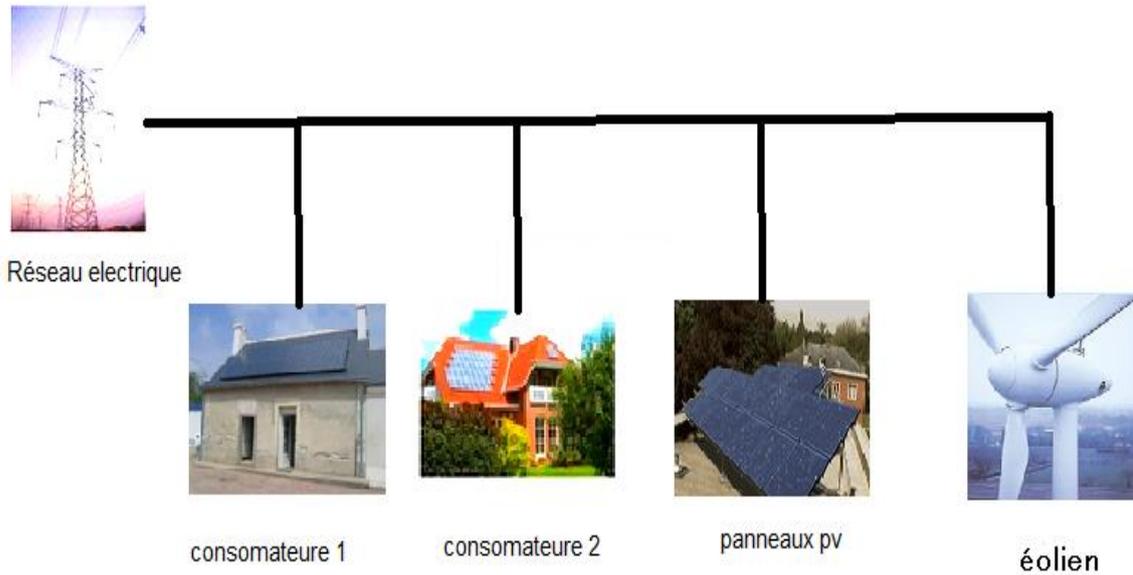
les raisons qui nous encourageons d'utiliser les micro-réseau sont:

- Réduction des émissions de gaz (principalement du CO₂).
- L'efficacité énergétique ou l'utilisation rationnelle de l'énergie.
- Déréglementation ou la politique de concurrence.
- Diversification des sources d'énergie.
- Demande de puissance nationale.
- Facilité de trouver des sites pour les petits générateurs.
- Délais de construction courts et des coûts en capital plus faibles de petites usines.
- Génération peut être placée plus près de la charge, ce qui peut réduire les coûts de transport.
- Impacts techniques de Micro-réseau sur le système de distribution.

Actuellement beaucoup de recherches sont lancés sur les MG. Bien que les éléments d'un MG soient assez bien compris, le système dans son ensemble ne l'est pas. Lorsque plusieurs sources sont connectées pour former un MG, le comportement du système est imprévisible. Ceci étant le cas, la modélisation du système et la simulation de son comportement est nécessaire pour le développement d'un système de contrôle approprié. Aujourd'hui plusieurs groupes de recherche dans le monde entier étudient la faisabilité et les avantages que les MG peuvent fournir.

I-6 Architecture de micro-réseau radial:

Le micro réseau radial est un ensemble des consommateurs éloignés connectés dans la même ligne. La figure ci-dessous présente l'architecture de ce micro-réseau :



Fig(I.2): l'architecture de micro-réseau radial

I-7 Modélisation du réseau radial :

Afin de calculer le flux des puissances et la tension au niveau de chaque nœud ainsi que les pertes Joule globales dans le micro-réseau, nous avons utilisé les équations distflow définies dans [I.5], [I.6], [I.7], qui correspondent au circuit radial illustré dans figure (3) , on peut écrire :

$$\forall j = 0, \dots, n:$$

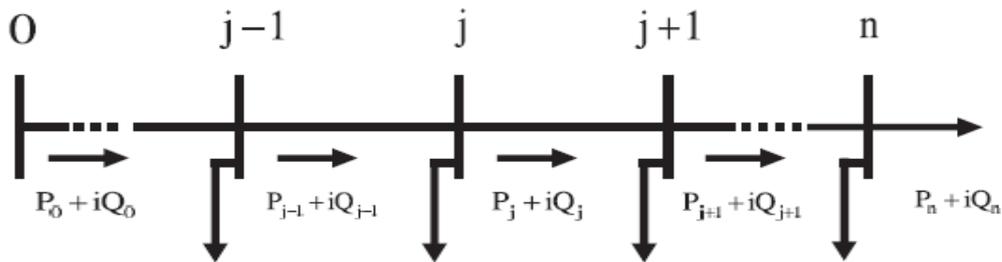
$$P_{j+1} = P_j - r_j \frac{P^2 + Q^2}{V^2} - p_{j+1}, \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_{j+1} = Q_j - x_j \frac{P^2 + Q^2}{V^2} - q_{j+1}, \dots \dots \dots (2)$$

$$V_{j+1} = V_j - (r_j P_j + x_j Q_j) / V(0) \dots \dots \dots (3)$$

Ou $P_j + iQ_j$ la puissance complexe qui circule du nœud j au nœud $J+1$

V_j est le voltage du nœud j , $r_j + ix_j$ l'impédance complexe de la ligne transport entre la nœud j et $j+1$.



Fig(I.3): la puissance des nœuds dans circuit radial

I-8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la déférente caractéristique des micro-réseaux, leurs architectures, avantages et classification, ainsi la modélisation de micro-réseau radial.

Cette modélisation permet de déduire le modèle équivalent dans le MATLAB ce qu'il nous l'utilise dans la suit de ce thèse.

CHAPITRE. II

Généralité sur les panneaux
Photovoltaïque

II.1. INTRODUCTION

L'électricité est une des formes d'énergie les plus versatiles et qui s'adapte au mieux à chaque nécessité. Son utilisation est si étendue, qu'aujourd'hui on pourrait difficilement concevoir une société techniquement avancée qui n'en fasse pas usage. Des milliers d'appareils sont dessinés pour fonctionner grâce à l'énergie électrique, soit sous forme de courant continu de faible tension, soit à partir d'un courant alternatif de tension plus élevée. Il est très intéressant de produire de l'électricité avec une source d'énergie sûre et pas polluante, comme l'énergie solaire. Il existe deux méthodes pour pouvoir convertir l'énergie solaire en électricité, selon qu'on utilise l'énergie cinétique comme forme intermédiaire du procès de conversion :

- Systèmes de conversion thermodynamique.
- Systèmes directs, fondés sur les interactions physiques entre les photons de la radiation incidente et les électrons du matériau, l'effet photovoltaïque.

II.2. Electricité photovoltaïque

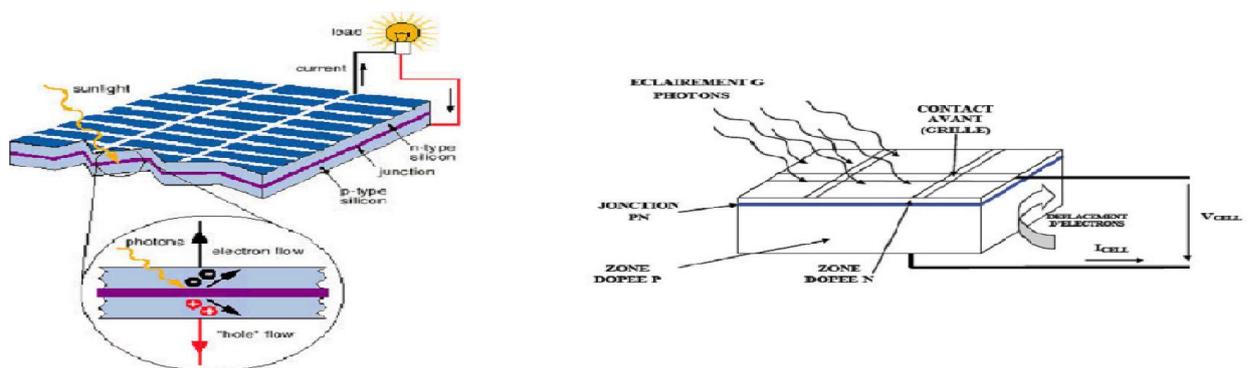
Bien que les bases théoriques de l'effet photovoltaïque fussent connues depuis le début du siècle, ce n'est qu'à partir de 1954, dans les laboratoires de la Bell Téléphone à New Jersey, que la première cellule ayant un rendement raisonnable a été mise au point. Depuis la deuxième moitié du siècle précédent, le processus de purification de monocristaux de silicium a émergé [II.1, II.2]. En 1956, Loferski publiait différentes tables de conversion de rendement photovoltaïque pour tous les matériaux semi-conducteurs. Puis, c'est au début des années 70 que l'on a pu obtenir en laboratoire un rendement de 20% en travaillant sur des cellules de monocristal d'arsenic de gallium (*Ga As*). Le rendement est sensiblement inférieur lorsque ces cellules se font à l'échelle industrielle [II.3]. Aussi, des expériences ont été faites avec des cellules composées de deux couches : une de sulfure de cadmium (*SCd*) et une autre de sulfure de cuivre (*SCu2*). Ces cellules présentent l'avantage d'utiliser très peu de matière active et permettent un processus de fabrication plus simple. Cependant, leur faible rendement ne permet pas de les utiliser à l'échelle industrielle. La commercialisation de cellules solaires photovoltaïques a commencé dès l'apparition du silicium monocristallin et elles occupent encore la première place du marché. Plus tard, apparurent les matériaux polycristalins, de fabrication plus économique, mais présentant encore de faibles rendements. Récemment se sont commercialisées des cellules de silicium amorphe, utilisées pour des dispositifs de très faible puissance : calculettes, montres, radio portable, etc...

Les premières applications pratiques de l'électricité photovoltaïque se firent dans les véhicules spatiaux, permettant l'alimentation des équipements de commande, de mesure, ou de retransmission de données. Ensuite, la production industrielle de premiers panneaux ayant des applications terrestres domestiques a débuté. Bien qu'au début des années 80 ces panneaux n'aient pas été suffisamment compétitifs pour la production à grande échelle, ils ont tout de même permis l'électrification de logements isolés. Les recherches pour faire des produits plus efficace set économiques continuent à bon rythme même s'il existe peu d'entreprise au niveau mondial ayant la capacité de supporter des coûts élevés de recherche.

II.2.1. L'Effet photovoltaïque

C'est la conversion de l'énergie que transportent les photons de la lumière lorsqu'ils rentrent en collision avec des matériaux semi-conducteurs convenablement traités, en énergie électrique capable de créer un courant d'électrons à travers un circuit extérieur, en réalisant un travail utile [II.3]. La clé pour produire un courant électrique utile est d'arriver à extraire les électrons libérés. Un procédé pour faire cela est d'introduire dans le matériau semi-conducteur des éléments chimiques qui contribuent à produire un excès d'électrons et de trous. Ces éléments, qui altèrent notablement les propriétés intrinsèques du semi-conducteur, s'appellent les dopants nets le matériau est dit dopé lorsque le processus d'incorporation au semi-conducteur est achevé. Un dopant approprié pour le silicium est le bore. La structure créée s'appelle un semi-conducteur de type P (positif).

Un autre dopant possible pour le silicium est le phosphore. Le semi-conducteur est dit de type N (négatif). Si les photons de la lumière incidente communiquent de l'énergie aux électrons du semi conducteur, quelques électrons peuvent traverser la barrière de potentiel, en étant expulsés hors du semi-conducteur dans un circuit extérieur. Ceci génère un courant électrique. Les électrons, après avoir parcouru le circuit externe, retournent dans le semi conducteur par la face opposée. Le matériau semi-conducteur ne stocke donc pas d'énergie électrique mais la génère, en transformant l'énergie incidente. La physique quantique prédit un rendement théorique pour la cellule de silicium de 26%, mais les cellules commerciales obtenues de manière industrielle ne montent pas au dessus de 17%. Ces valeurs, impliquant une limitation sur la puissance électrique pouvant être obtenue, montrent que seulement une petite partie de l'énergie solaire peut générer de l'électricité. La figure I.3 montre l'effet photovoltaïque d'une cellule PV typique.



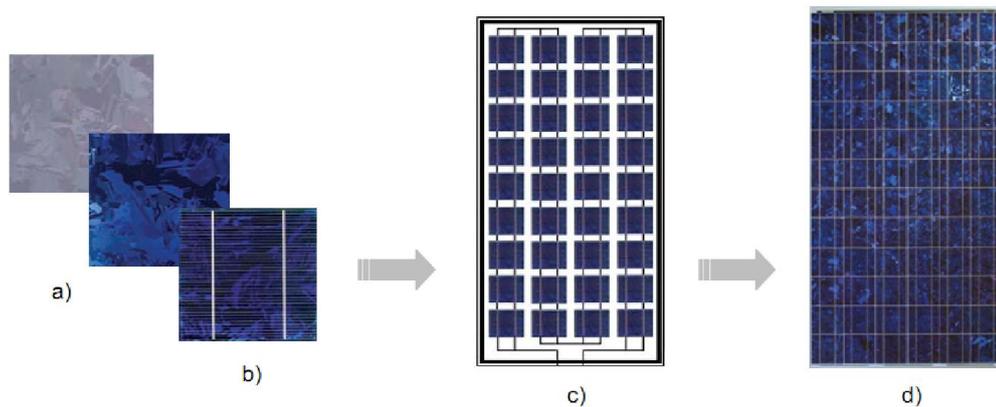
Fig(II.1) : Schéma synthétique de l'effet photovoltaïque

II.2.2. La cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est constituée par un matériau semi-conducteur de type P-N et fonctionne selon le phénomène physique appelé "effet photovoltaïque" établissant une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut

alors varier entre $0,3V$ et $0,7V$ en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule. La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu'à 100 cm^2 ou plus. Sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries. La figure I.2 illustre un exemple de cellule PV en silicium.

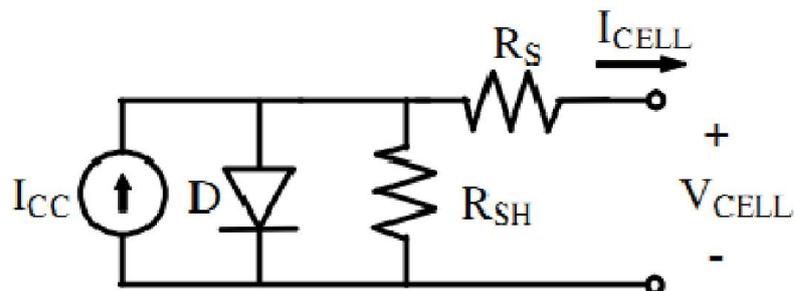
Si une cellule (sous éclairage) n'est pas connectée à un circuit extérieur elle présente une tension nommée tension de circuit ouvert (VOC) fortement dépendante de la température. D'autre part, le courant maximal PV est atteint lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. On parle alors de courant de court-circuit noté ICC dépendant fortement du niveau d'éclairage noté E .



Fig(II.2) : Exemple de cellule et de module photovoltaïque en silicium a) Plaquettes sans connectique, b) Cellule PV élémentaire, c) Générateur photovoltaïque, d) Photo d'un générateur PV poly-cristallin commercial.

Les cellules se branchent en série, ce qui permet aux électrons générés par une cellule d'être repris par la suivante. Le but est d'avoir une différence de potentiel normalement entre 6 et $24V$.

Chaque cellule peut être modélisée par le schéma électrique équivalent.



Fig(II.3) : Schéma électrique équivalent d'une cellule PV

Les résistances R_s et R_{sh} permettent de tenir en compte des pertes liées aux défauts de fabrication. R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion tandis que R_{sh} caractérise les courants de fuite dus à la diode et aux effets de bord de la jonction.

II.2.3 La Jonction PN utilisée comme Capteur

En polarisant électriquement une jonction PN classique à base de *Si*, on obtient les caractéristiques statiques d'une diode. La particularité du *Si* est que lorsque la jonction PN est éclairée, un courant proportionnel à l'éclairement apparaît. C'est cette particularité qui est employée dans les générateurs solaires photovoltaïques (figII.4).

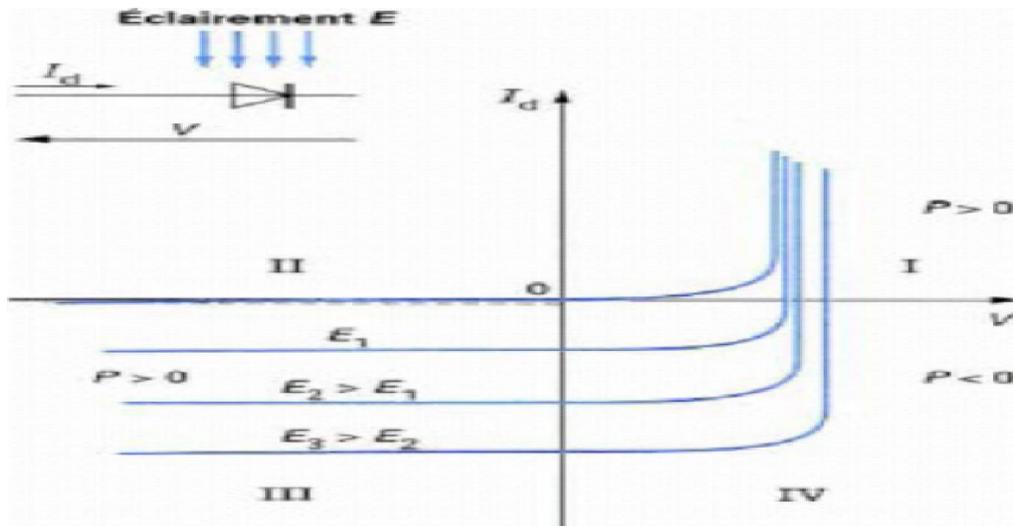


Fig (II.4) :

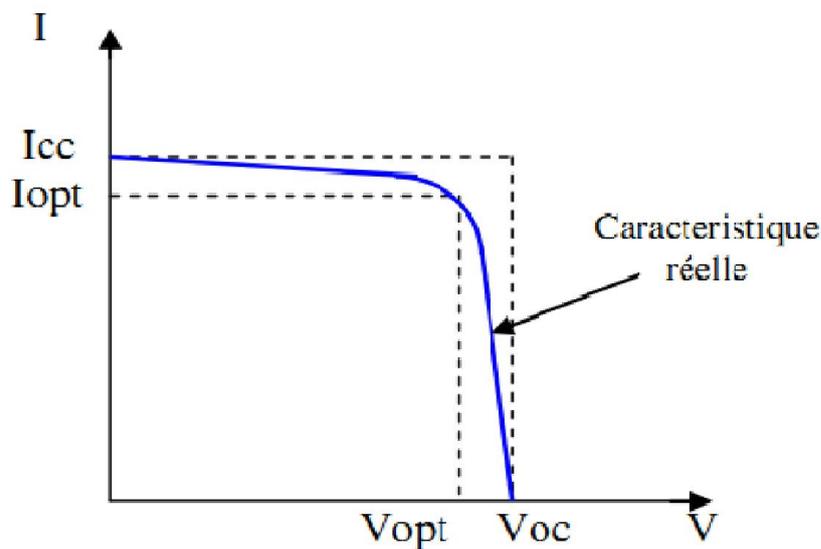
Caractéristiques d'une jonction PN sous éclairement

II.3 Le Générateur PV et ses performances

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et/ou parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit ou la tension en circuit ouvert.

II.3.1 Caractéristique courant-tension

La fig(II.5) représente la courbe $I = f(V)$ d'un panneau photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température :

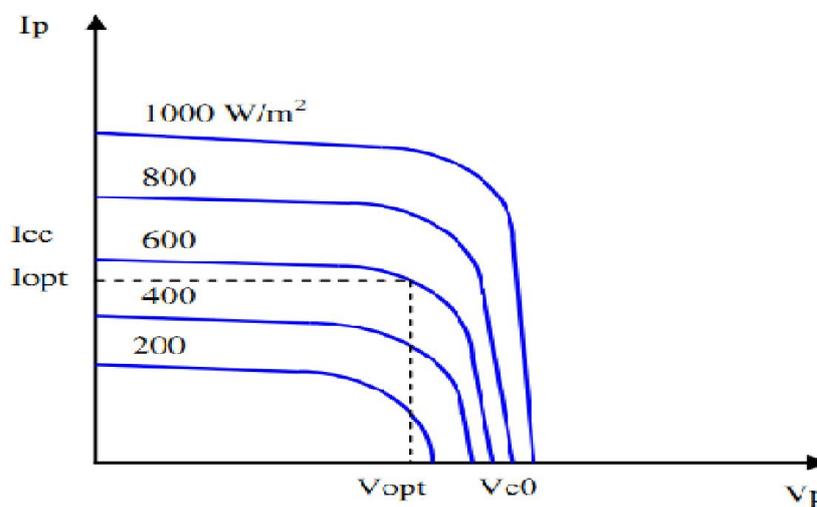


Fig(II.5) : *Caractéristique courant-tension d'un panneau PV*

Il est difficile de donner un caractère source de courant ou de tension à un panneau photovoltaïque sur toute l'étendue de la caractéristique courant-tension. Le panneau photovoltaïque est donc à considérer comme une source de puissance. On s'aperçoit alors l'existence d'un point P_{max} où la puissance se trouve être maximale. Il est sans aucun doute intéressant de se placer sur ce point pour tirer le maximum d'énergie et ainsi exploiter au mieux la puissance crête installée, seule une charge dont la caractéristique passe par le point P_{max} permettra d'extraire la puissance maximale. Certains régulateurs solaires réalisent donc une adaptation d'impédance pour qu'à chaque instant on se trouve proche de ce point de puissance maximale, c'est ce que l'on appelle le Maximum Power Point Tracking (MPPT). Nous reviendrons par la suite sur cette technique.

II.3.2 Influence de l'éclairement

La fig(II.6) présente un exemple des courbes pour différents niveaux de rayonnement :

**Fig(II.6) :** *Caractéristique d'un panneau PV pour différents éclairements*

On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement [II.4]. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement. L'irradiation standard, internationalement acceptée, pour mesurer la réponse des panneaux photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25°C .

II.3.3 Influence de la température

La fig(II.7) présente des courbes courant-tension pour différentes températures de fonctionnement de la cellule PV :

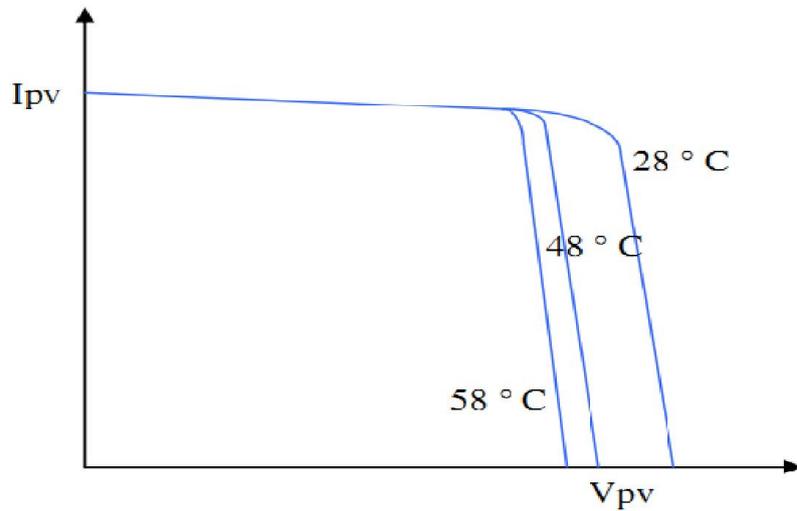


Fig (II.7): Caractéristique d'un panneau PV pour différentes températures

On remarque que la température à une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue [II.4]. Lors du dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site sera impérativement à prendre en compte.

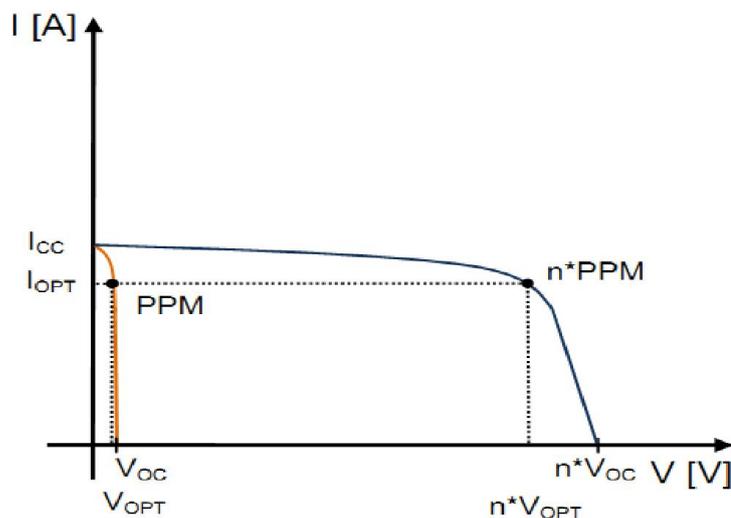
Il est important de savoir que la puissance du panneau diminue environ de 0,5% par chaque degré d'augmentation de la température de la cellule au-dessus de 25°C.

II.3.4 Association de cellules PV en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. La figure I.8 montre la caractéristique résultante (I_{sc} , V_{soc}) obtenue en associant en série n_s cellules identiques (I_{cc} , V_{oc}) [II.3] :

$$I_{sc} = I_{cc} \tag{II.1}$$

$$V_{soc} = n_s * V_{oc} \tag{II.2}$$



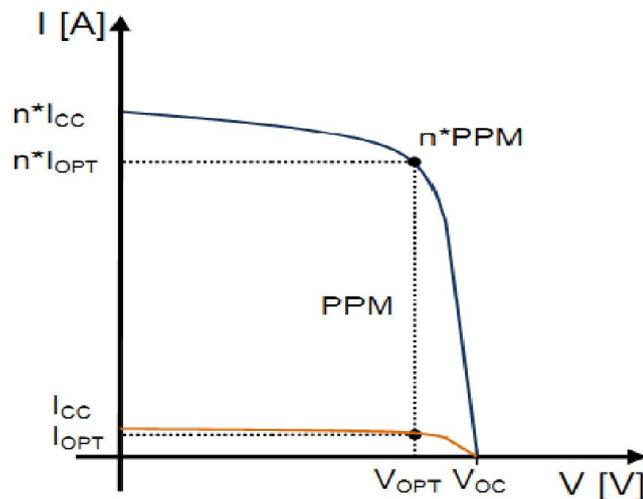
Fig(II.8) : Caractéristique résultante d'un groupement en série de n_s cellules

II.3.5 Association de cellules PV en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. La figure II.9 montre la caractéristique résultante (I_{pcc} , V_{poc}) obtenue en associant en parallèle n_p cellules identiques (I_{cc} , V_{oc}) [II.3] :

$$I_{cc} = n_p \cdot I_{cc} \quad (II.3)$$

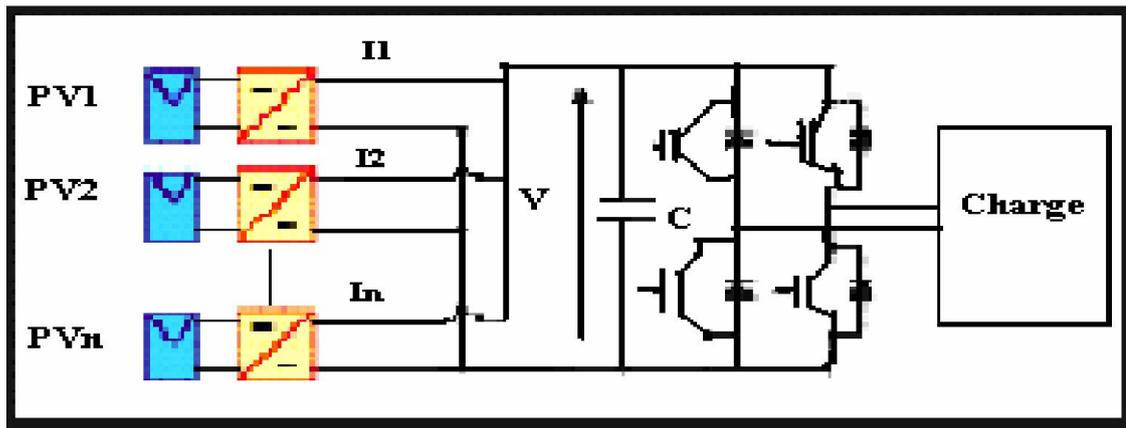
$$V_{poc} = V_{oc} \quad (II.4)$$

**Fig (II.9)**: Caractéristique résultante d'un groupement en parallèle de n_p cellules identiques

II.4. Centrales photovoltaïques

Une centrale photovoltaïque est un ensemble de panneaux photovoltaïques connectés en séries ou en parallèles en vue de délivrer une puissance élevée. Ce type de centrales est généralement utilisé pour l'électrification des régions éloignées du réseau et avec le minimum de coût. L'énergie offerte par les panneaux photovoltaïques passe par un étage hacheur et MPPT pour tirer le maximum d'énergie, un filtre et un onduleur ce qui garanti une énergie délivrée en continue et en alternatif.

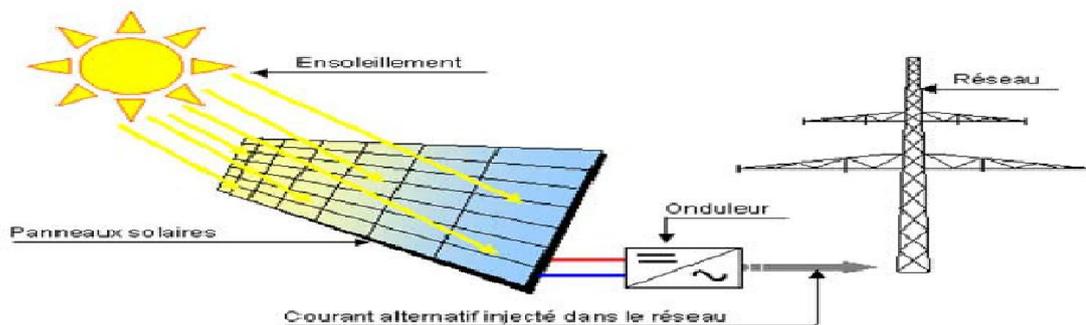
La fig(II.11) donne le principe de ces centrales.



fig(II.10) : principe de centrales PV

II.4.1. Le mode connecté au réseau

Dans ce mode, le panneau PV est connecté au réseau électrique. Le système photovoltaïque est muni de convertisseurs de puissance pour adapter l'énergie produite par les panneaux PV. Ces convertisseurs sont composés d'un hacheur muni d'un MPPT, d'un filtre, d'un onduleur et d'une électronique appropriée pour assurer l'adaptation en amplitude et en fréquence avec le réseau (accrochage au réseau) comme le montre la fig (II.12).



Fig(II.11) : panneau PV connecté au réseau électrique

II.5. Hacheurs (convertisseur continu-continu)

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximal.

Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT.

Son rendement se situe entre 90 et 95%.

Ce système présente deux inconvénients pour un PV de faible puissance :

- Prix élevé.

- Le gain énergétique annuel par rapport à un système moins complexe (cas d'une régulation de la tension) n'est pas important.

II.5.1.Point du maximum de puissance (MPPT)

II.5.1.1.Principe de l'MPPT

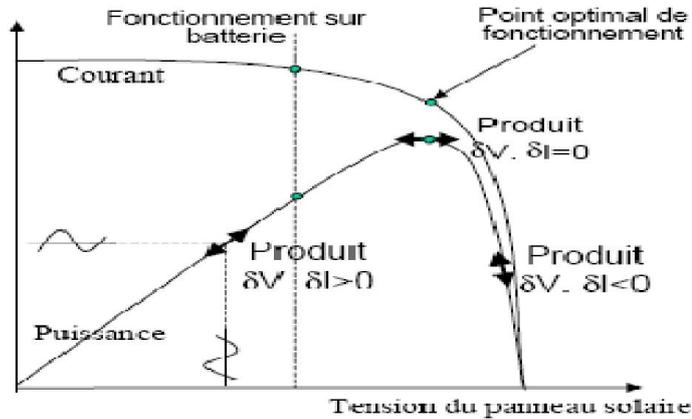


Fig (III.13) : principe de MPPT

Les cellules photovoltaïques sont utilisées pour fournir de l'énergie dans de nombreuses applications électriques. Pour obtenir la puissance maximale du panneau solaire, un Maximum Power Point Tracker (MPPT) est utilisé pour contrôler les variations sur la courbe courant voltage des cellules. Ainsi le système MPPT doit traquer le point de fonctionnement optimal du panneau. Le but du système MPPT est garantir que le système (PVP et charge) opère très près du point de fonctionnement optimal. Le principe de la recherche du point de puissance maximale consiste à voir si une petite variation de la tension ($dV > 0$) implique un dI positif ou négatif. Ainsi le système MPPT se divise en deux sous-systèmes.

Un régulateur de tension : sous forme de hacheur commandé par signal capable MLI.

Un étage de contrôle : c'est une boucle de commande qui permet de déterminer la tension du panneau à laquelle on atteint le maximum de puissance. La régulation se fera sur la tension à partir d'une recherche du maximum de puissance la fig (II.) représenter l'étage de contrôle

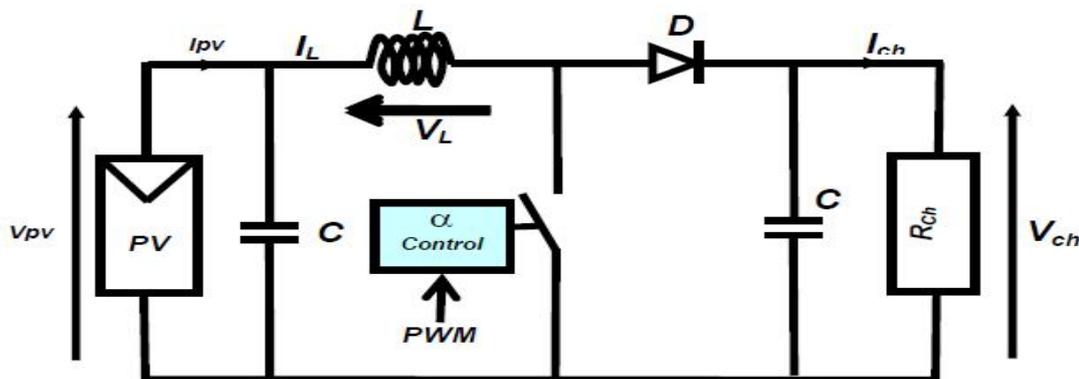


Fig (II.13) : l'étage de contrôle de la commande MPPT**II.5.2. Onduleurs (convertisseur continu-alternative)**

Un onduleur est un convertisseur statique, assurant la conversion de tension continue vers l'alternative. Pour obtenir une tension alternative à partir d'une tension continue, il faut découper la tension d'entrée et l'appliquer tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Il est donc possible de produire à la sortie du convertisseur une tension alternative de valeur moyenne nulle. Cette tension peut comporter un ou plusieurs créneaux par alternance suivant qu'il s'agit d'une commande à un créneau par alternance où d'une commande par modulation de largeur d'impulsion (M.L.I).

Les structures des convertisseurs nous conduit à distinguer deux types d'onduleurs :

_ Les onduleurs de tension

_ Les onduleurs de courant

Les premiers sont alimentés par une source de tension continue ; les seconds par une source de courant continu. Les onduleurs sont largement utilisés comme alimentation de, ou comme alimentation sous coupure (salle de l'opération en chirurgie, ordinateur individuel ou réseau interne d'ordinateurs).

II.6. Avantages et inconvénients d'une installation PV

a) Avantages [II.5]:

D'abord une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milli Watt au Méga Watt.

Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

b) Inconvénients [II.5]:

La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 % (soit entre 10 et 15 MW/km² par an pour le BENELUX) avec une limite théorique pour une cellule de 28%. · Les

générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

Tributaire des conditions météorologiques.

Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.

Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur.

II.7. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté l'énergie photovoltaïque, qui nous offre la possibilité de produire de l'électricité par conversion de l'énergie en provenance du soleil en un courant électrique, l'électricité produite par le module PV en fonction de l'éclairement et la température, ceci va nous permettre d'estimer la puissance fournie par une installation photovoltaïque. L'implémentation de ces caractéristiques dans un environnement de simulation adopté permettra d'étudier le comportement des composants en fonction de certains paramètres.

CHAPITRE. III

COMPORTEMENT D'UN MICRO-
RESEAU RADIAL

Introduction :

De nos jours, la consommation d'énergie électrique est une des plus grandes préoccupations.

Car elle est en augmentation et elle a un grand impact sur notre environnement. Les principales conséquences sont, la pollution atmosphérique causant une augmentation de l'effet de serre qui provoque un réchauffement climatique. Ce réchauffement climatique risque d'engendrer une fonte partielle des calottes polaires élevant ainsi le niveau des mers, inondant les zones côtières basses, certaines îles et les deltas. Les espèces animales sont particulièrement menacées, puisque environ 20% à 30% des espèces évaluées à ce jour sont sensible d'être exposées à un grand risque d'extinction. Pour cela un certain nombre de pays évoluant vers des sources renouvelables pour produire l'énergie dans lesquelles on trouve la source photovoltaïque. Mais est-ce qu'elle a des influences sur la sécurité et la stabilité de la tension du réseau de distribution ?

Dans ce chapitre nous allons répondre à cette question et voir l'influence de l'injection de l'énergie produite par une grande centrale photovoltaïque sur la tension au long d'un micro-réseau radial. Pour ceci, nous utilisons l'environnement de simulation Matlab-simulink.

III.1. Les structure de raccordement des systèmes photovoltaïques au réseau :

Deux types de structures de système photovoltaïque existent :

Les systèmes à connexion directe au réseau

Cette installation est constituée d'un générateur photovoltaïque qui est connecté au réseau électrique à l'aide d'un onduleur. Il existe dans la littérature de nombreux exemples [III.1].

Le système a bus continu intermédiaire :

Le générateur photovoltaïque est connecté à un bus continu par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu. Un onduleur délivre une tension modulée. Celle-ci est filtrée pour réduire le taux d'harmonique (THD) On obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable pouvant être injectée dans le réseau [III.2]. Il existe plusieurs architectures pour les dispositifs permettant de convertir la tension continue issue du générateur photovoltaïque en une tension sinusoïdale utilisable [III.3] [III.4].

III.1. Les systèmes à connexion directe au réseau

III.1.1. Structure à convertisseur unique :

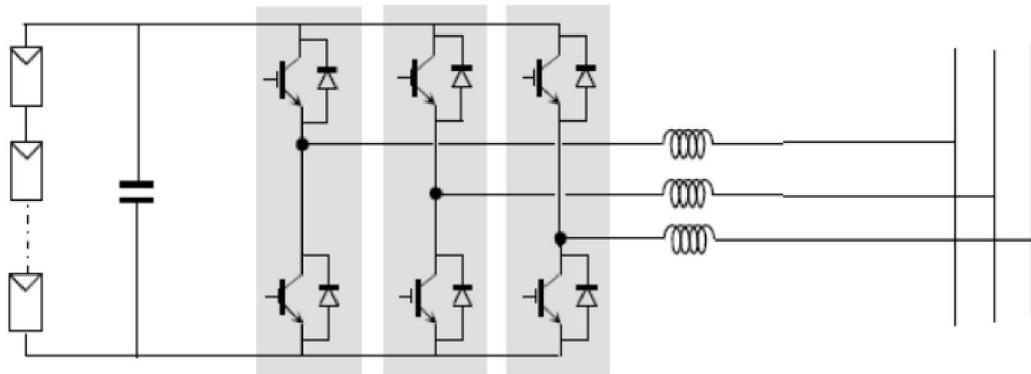


Fig (III.1) : Mise en série de Plusieurs modules PV a un seul onduleur

Le dispositif présenté est le plus simple, car il comporte le moins de composants possibles.

L'association de plusieurs modules photovoltaïques en série a pour but l'obtention d'une tension continue suffisamment grande. Cette solution est une alternative à un hacheur élévateur de tension. La tension continue obtenue alimente directement un onduleur central, qui fournit la tension sinusoïdale désirée. On pourra aussi insérer un transformateur pour isoler le système photovoltaïque du réseau.

III.1.2. Structure avec bus à basse tension alternative :

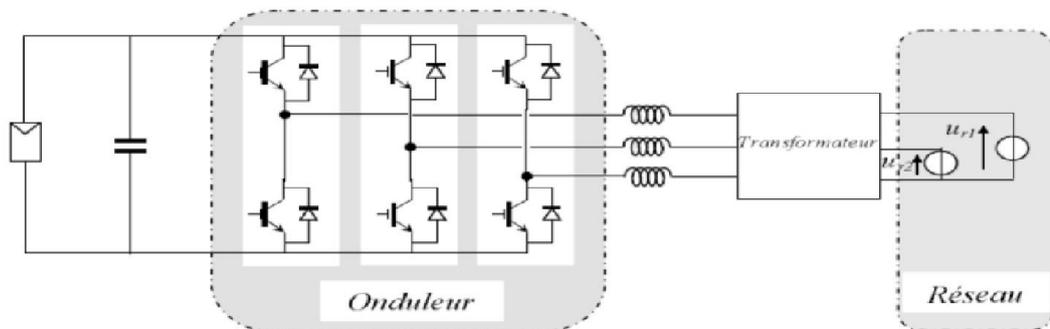


Fig (III.2) : Bus à basse tension alternative

La figure (III.2) montre un onduleur associé à un circuit de commande qui est directement connecté au module photovoltaïque. La tension en sortie de ce dernier est transformée en une tension alternative. Cette tension est transportée grâce à un bus alternatif vers un transformateur central qui l'élève au niveau désiré. Le faible niveau de tension dans le bus est l'avantage majeur de ce type de montage, puisqu'il assure la sécurité du personnel. Cependant, la distance entre le transformateur et le module doit être faible à cause du courant important qui traverse les câbles et qui génère des pertes Joules. Il y a un compromis à faire au niveau de la tension du bus alternatif. D'une part, il faut que sa valeur crête soit inférieure à celle délivrée par le module (même avec un faible ensoleillement).

III.2. Système a bus continu intermédiaire :

III.2.1. Structure avec convertisseur forward :

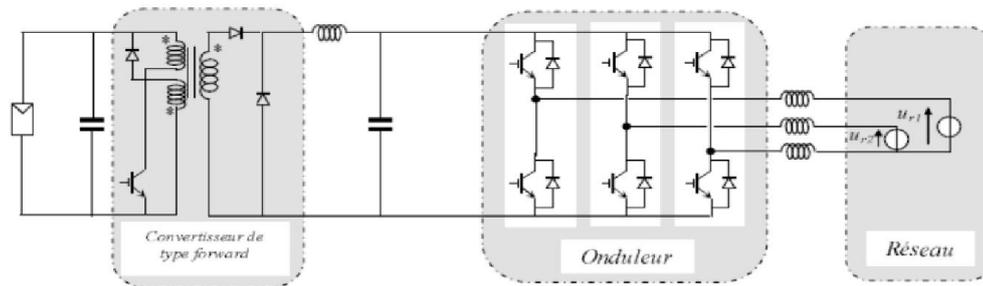


Fig (III.3) : *Convertisseur de type forward alimentant le bus continu*

La figure (III.3) présente un convertisseur forward qui est capable d'augmenter la tension en sortie du module photovoltaïque à la tension désirée. L'utilisation d'un transformateur pour la connexion au réseau n'est donc plus nécessaire, la conversion continue - alternative se fait de façon relativement simple, grâce à un onduleur centralisé. Les inconvénients majeurs de ce montage sont :

La capacité doit être relativement importante, à cause des ondulations du courant en sortie du module

Le bus continu supportera un signal en créneaux qui induira une grande émission d'ondes électromagnétiques et éventuellement des pertes de fuite ; l'induction du transformateur compris dans le convertisseur générera des pertes de fuite,

La tension élevée qui traverse le bus continu réduit la sécurité du personnel d'entretien.

III.2.2. Structure avec un convertisseur de type fly-back :

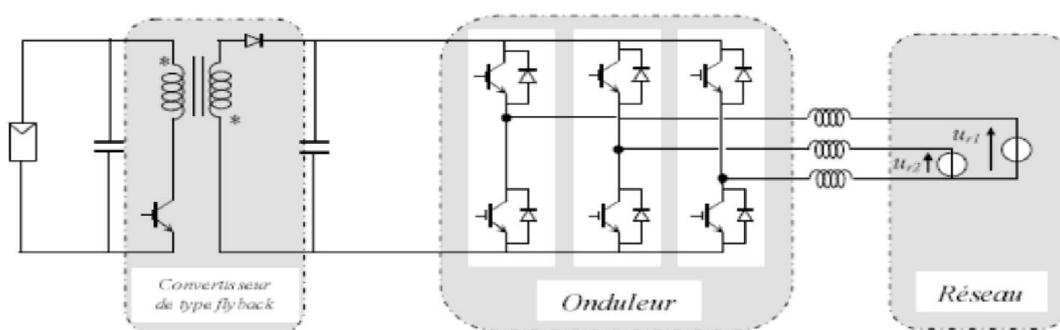


Fig (III.4) : *Structure avec un convertisseur de type fly-back*

La figure (III.4) montre une structure à base d'un convertisseur de type fly-back qui élève la tension de sortie du module photovoltaïque au niveau de tension désirée. La caractéristique principale du fly-back se situe au niveau du transformateur qui agit comme l'inducteur principal et qui assure l'isolation galvanique. Le hacheur est contrôlé pour obtenir un maximum d'énergie du module photovoltaïque et l'onduleur assure une tension constante V_{ac1} et le transfert de puissance vers le

réseau. L'inconvénient du transformateur est qu'il génère des pertes et qu'il augmente le coût de l'installation.

III.2.3. Structure avec hacheur et onduleur :

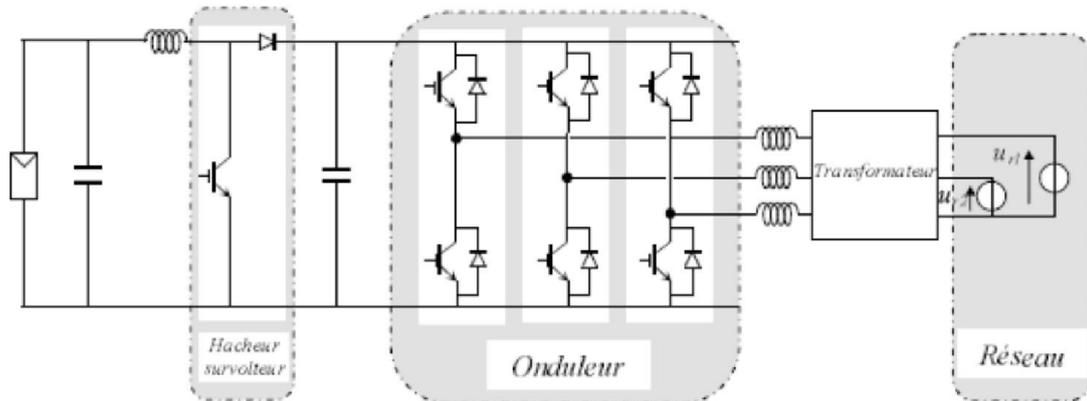


Fig (III.5) : Hacheur élévateur de tension avec onduleur centralisé

La figure (III.5) représente un hacheur qui élève la tension en sortie du module photovoltaïque. Avec le hacheur, il est difficile d'élever la tension de sortie des modules plus de 4 à 5 fois pour obtenir une tension continue suffisamment grande, en raison de la résistance de l'inductance. On adjoint un onduleur pour avoir une sortie sinusoïdale, puis un transformateur pour élever cette tension au niveau désiré (selon le réseau) et pour assurer l'isolation entre la partie " production " et la partie " utilisation ". L'avantage de ce système c'est que les batteries peuvent être facilement connectées au bus continu pour obtenir un système autonome.

III.3. La simulation

Nous avons créé un programme sous *MATLAB* qui calcule la tension, la puissance active et réactive pour chaque nœud dans le micro-réseau. Afin de voir l'influence de l'injection de l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques, nous allons exécuter la simulation en deux parties

Dans la première partie nous allons simuler un micro-réseau que nous connectons 9 consommateurs avec un certain profil de charge sans l'insertion de stations de générateurs photovoltaïques.

Dans la deuxième, nous allons simuler l'effet de la connexion un fort champ photovoltaïque au niveau de différents emplacements dans le réseau présenté ci-après.

III.3.1. Les données et les résultats de simulation :

III.3.1.1. Simulation de micro-réseau sans insertion du champ PV

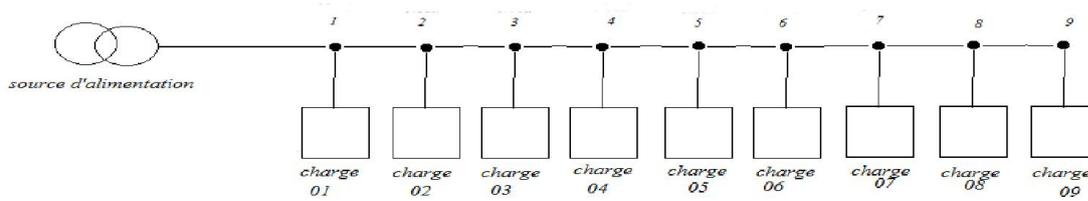


Fig (III.6) : *micro-réseau radial sans champ photovoltaïque*

Numéro Nœud	langueur entre deux Nœud (Km)	P (KW)	Q (VA)
1	30	1.000	250
2	40	1.700	110
3	35	2.300	180
4	55	0.700	57
5	53	2.200	200
6	25	2.500	140
7	10	1.500	100
8	12	1.100	120
9	15	1.800	260

Tableau (III.1) : *Les charges et les distances*

Dans cette partie, Nous effectuons une seule simulation dans laquelle nous utilisons les données de tableau (3.1) pour simuler le micro-réseau présenté par la figure (3.6).L'objectif de cette simulation est de voir le comportement du micro-réseau avant l'ajout du générateur PV afin de prendre les

CHAPITRE 03 COMPORTEMENT D'UN MICRO-RESEAU RADIAL

résultats de cette simulation comme données de référence dans les prochaines comparaisons.

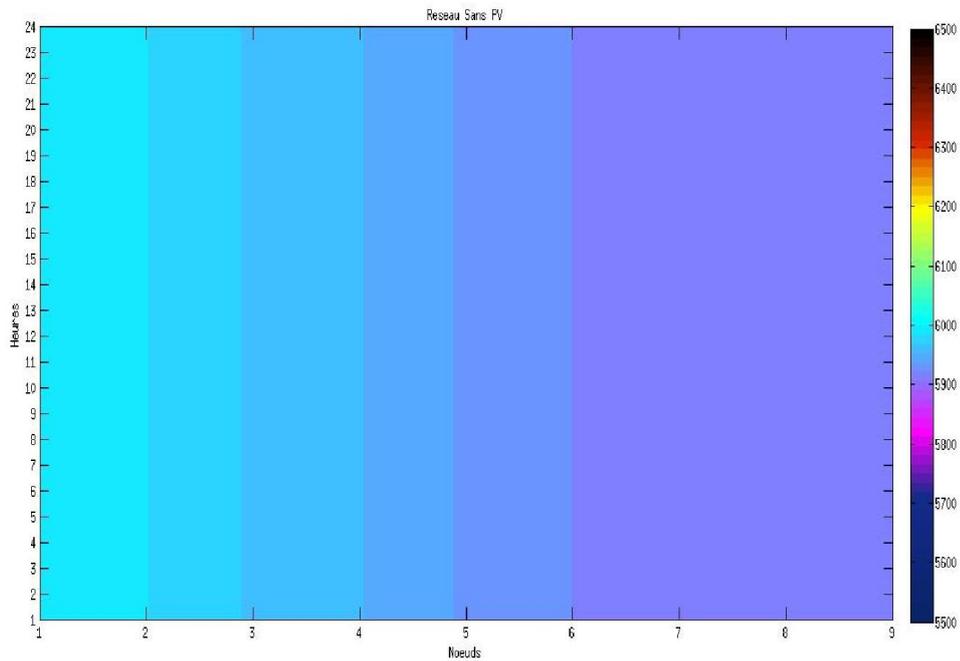


fig (III.7) : *comportement du MRR sans PV*

La figure (III.7) représente la résultat de simulation pour un micro-réseau radial sans l'ajout de la source photovoltaïque. Nous voyons clairement que la tension diminue plus ce que nous éloignons de la source de tension du réseau radial.

III.1.2. Simulation de micro-réseau avec insertion du champ PV

Heures	Puissance (mois de Février)	Puissance (mois de Juillet)
00-01	0	0
01-02	0	0
02-03	0	0
03-04	0	0
04-05	0	0
05-06	0	0

CHAPITRE 03 COMPORTEMENT D'UN MICRO-RESEAU RADIAL

06-07	0	4
07-08	0	78
08-09	0	400
09-10	230	1055
10-11	920	1700
11-12	1390	2110
12-13	1625	2405
13-14	2180	2550
14-15	2190	2975
15-16	2060	2400
16-17	1780	2100
17-18	1000	1525
18-19	100	905
19-20	0	150
20-21	0	15
21-22	0	0
22-23	0	0
23-00	0	0

Tableau (III.2) : *puissance générée par une station photovoltaïque (Mois de Juillet).*

Dans cette partie, nous allons insérer une grande station photovoltaïque dans le micro-réseau radial présenté par la figure (III.6) et allons effectuer la simulation du comportement de ce réseau en fonction de l'emplacement de la station PV. Cette simulation est répétée dans les deux situations suivantes: Février (hiver) et Juillet (été). Le tableau (III.2) présente la puissance générée par le champ PV en mois de Juillet pendant une journée avec un échantillonnage de période d'une heure.

Simulation n^o 1 : mois de Février et station PV au Nœud 2

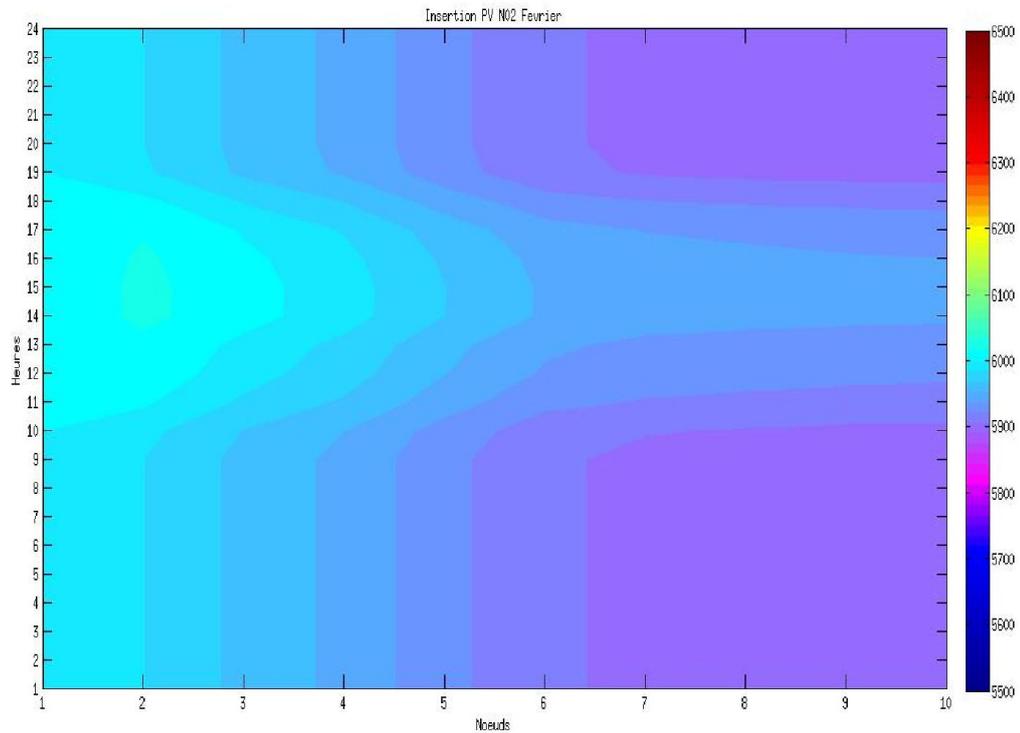


fig (III.8) : *comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 2 pendant le mois Février*

La figure (III.8) montre qu'il y a une petite augmentation de tension dans le micro-réseau dans la bande horaire : 10h à 19h.

Simulation n^o 2 : mois de Février et Nœud 5

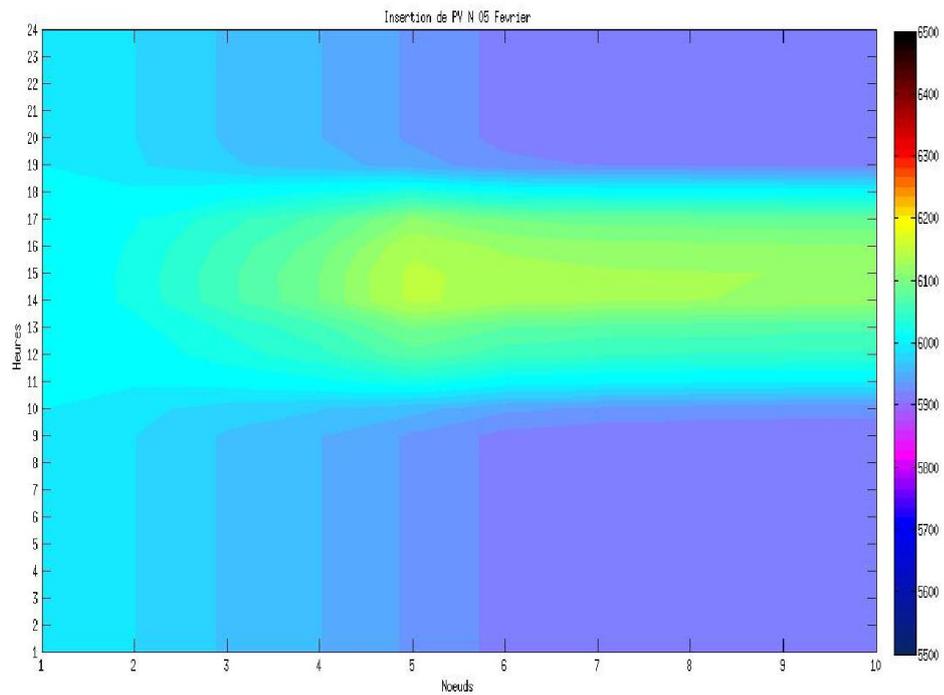
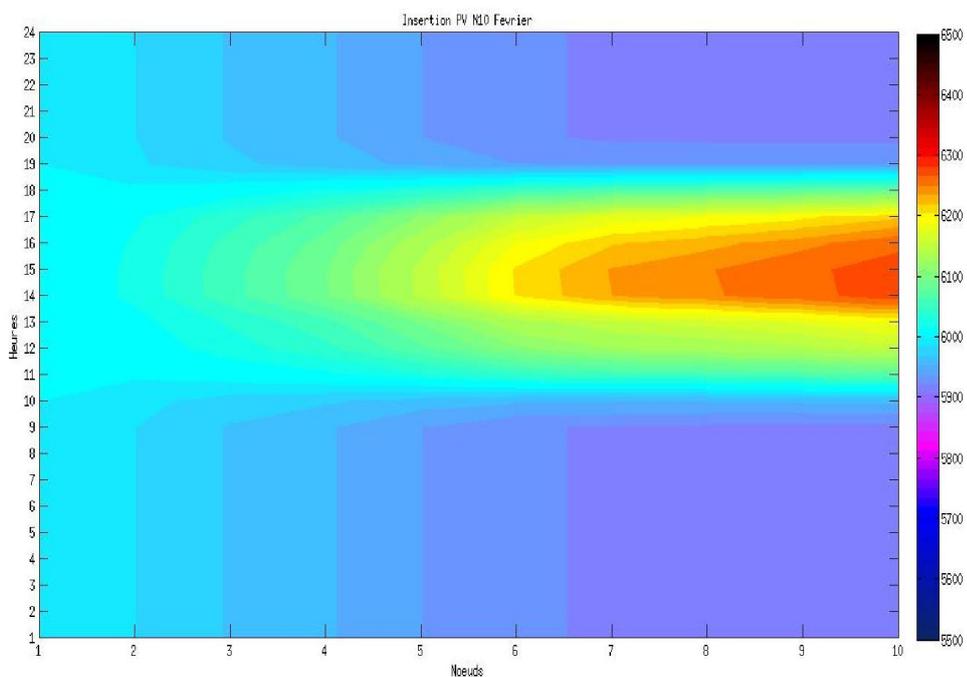


fig (III.9) : *comportement de MRR ou le champ PV est placé au nœud 5 au mois de Février.*

Nous remarquons dans cette figure (III.9) qu'il y a une augmentation importante de la tension mais toujours en dessous de la valeur maximale admissible.

Simulation n=° 3 : mois de Février et Nœud 10



CHAPITRE 03 COMPORTEMENT D'UN MICRO-RESEAU RADIAL

fig (III.10) : comportement de MRR ou le champ PV à l'emplacement du nœud 10 au mois de Février.

Dans cette figure (III.10) nous voyons une très faible augmentation de la tension du réseau au niveau des 4 premiers nœuds.

Simulation n=° 4 : Effet du placement de la station PV au niveau Nœud 2 au mois Juillet.

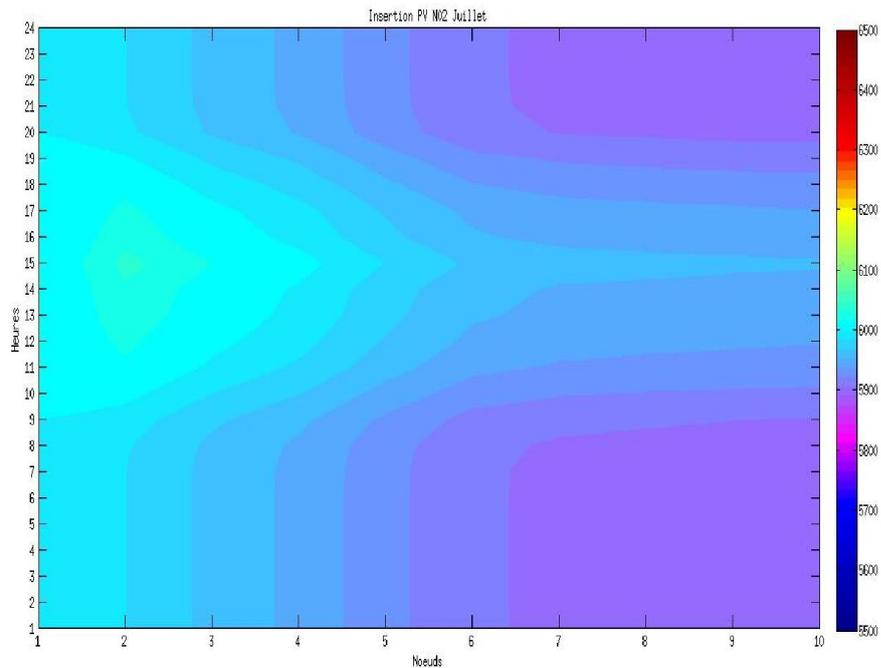


fig (III.11) : comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 2 au mois de Juillet.

Une augmentation significative de tension par rapport au mois de Février est remarquée dans la figure (III.11)

Simulation n=° 5 : mois de Juillet et Nœud 5

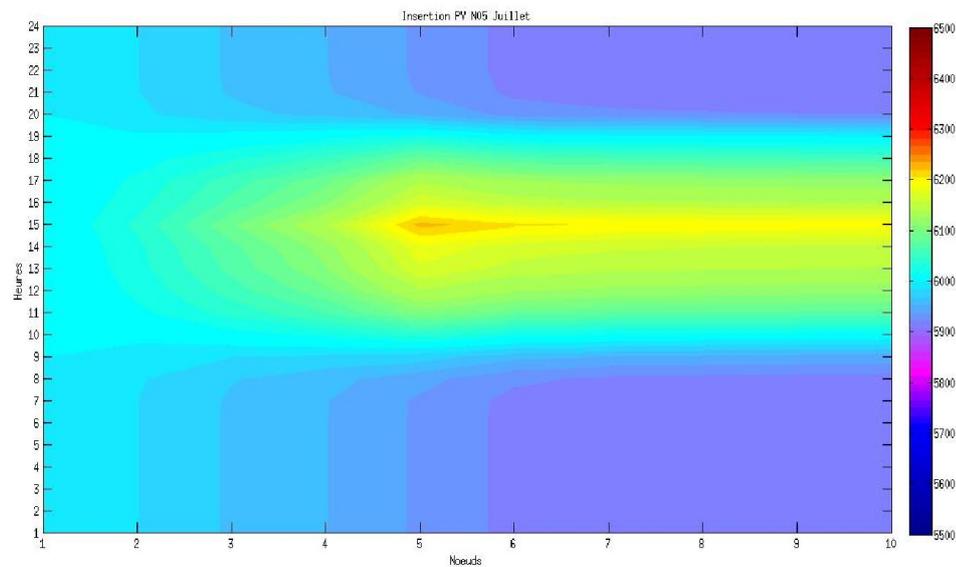


fig (III.12) : comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 5 pendant le mois Juillet.

Dans la figure (III.12) nous remarquons qu'il y a une grande augmentation de tension mais toujours dans les limites admissibles.

Simulation n=° 6 : mois de Juillet et Nœud 10

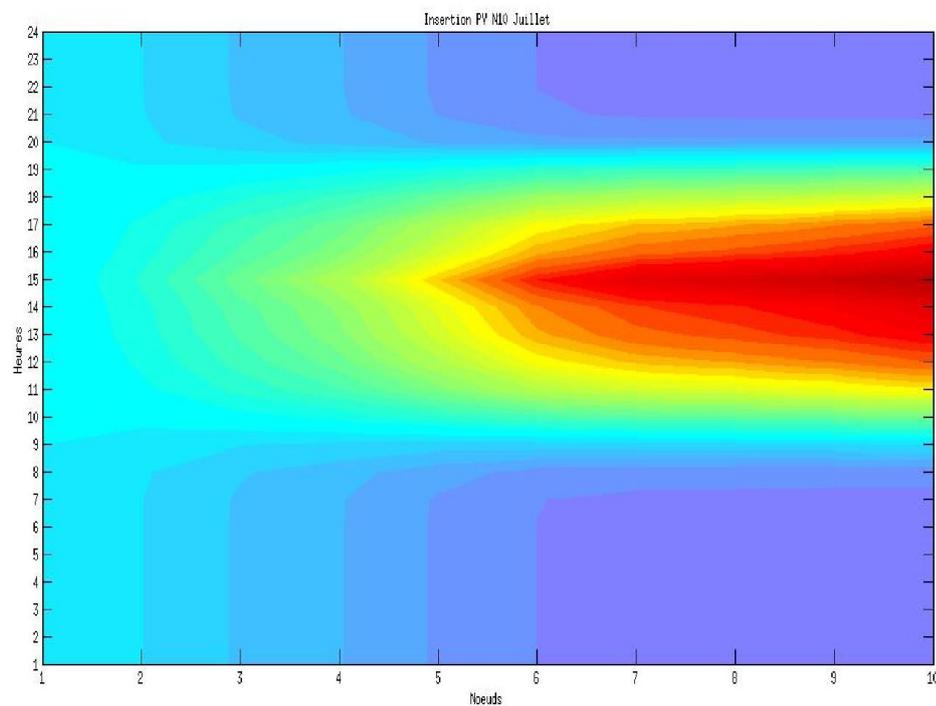


Fig (III.13) : *comportement de MRR ou le champ PV est place au nœud 10 pendant le mois Juillet.*

Dans la figure (3.13) le micro-réseau est très affecté par une surtension inadmissible.

On remarque aussi depuis les deux dernières figures que plus la source PV est lointaine de la source de tension du réseau, plus la tension de réseau au voisinage de la station PV augmentent jusqu'à dépassement des limites maximales fixée par les normes internationales sur la qualité du réseau électrique.

IV. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu clairement que la forte concentration des panneaux photovoltaïque menace la stabilité de réseau et surtout si le champ PV est inséré loin de la source de tension du réseau.

CHAPITRE.IV

INJECTION DE LA PUISSANCE
REACTIVE

IV. INTRODUCTION

D'après l'étude précédente nous avons trouvé que la présence d'une forte source photovoltaïque dans un réseau électrique radial provoque une surtension dans les demi-journées où l'insolation est à un niveau élevée.

Dans ce chapitre, nous allons essayer d'étudier l'effet de l'injection de la puissance réactive sur les pertes globales du réseau et aussi sur le niveau de la tension du réseau sur les différents nœuds.

IV.1 Influence de l'injection de la puissance réactive sur la tension du réseau

Nous savons que

$$S = P + Q.$$

$$P = S * FP.$$

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}.$$

A partir de ces équations et à base du principe de la conservation d'énergie, nous allons varier le facteur de puissance (FP) de la source photovoltaïque connectée sur le réseau radial et voir comment est affectée la tension au niveau des différents nœuds du réseau de distribution.

IV.2 simulation

Dans cette partie nous allons refaire le travail du chapitre précédant mais cette fois nous prenons le cas où il y a une surtension (mois de Juillet et le champ PV est positionné a fin de réseau 'Nœud 10').

Et pour chaque valeur de facteur de puissance FP nous traçons la tension dans chaque nœud et les pertes globales dissipées dans le réseau.

PF = 1 sur les pertes :

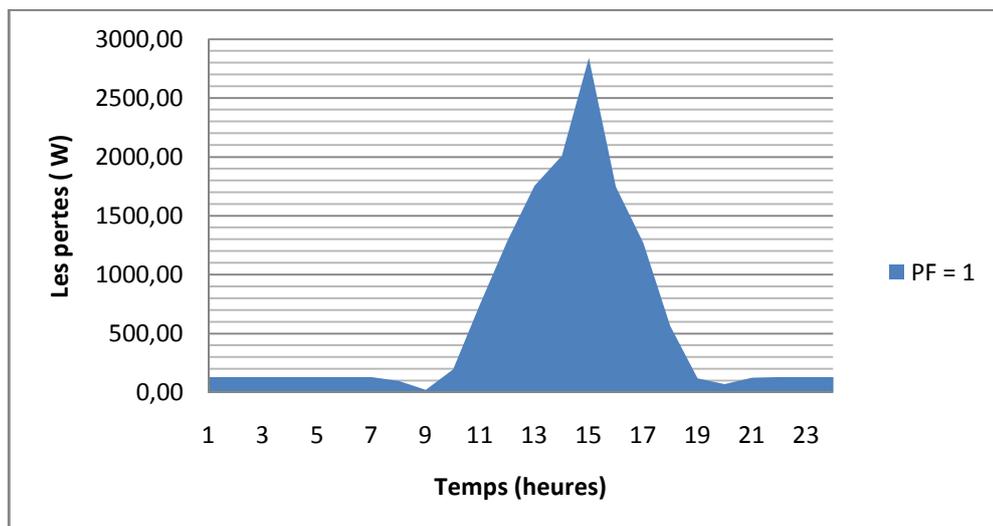


Fig (IV.1) : les pertes dans le réseau si $PF=1$

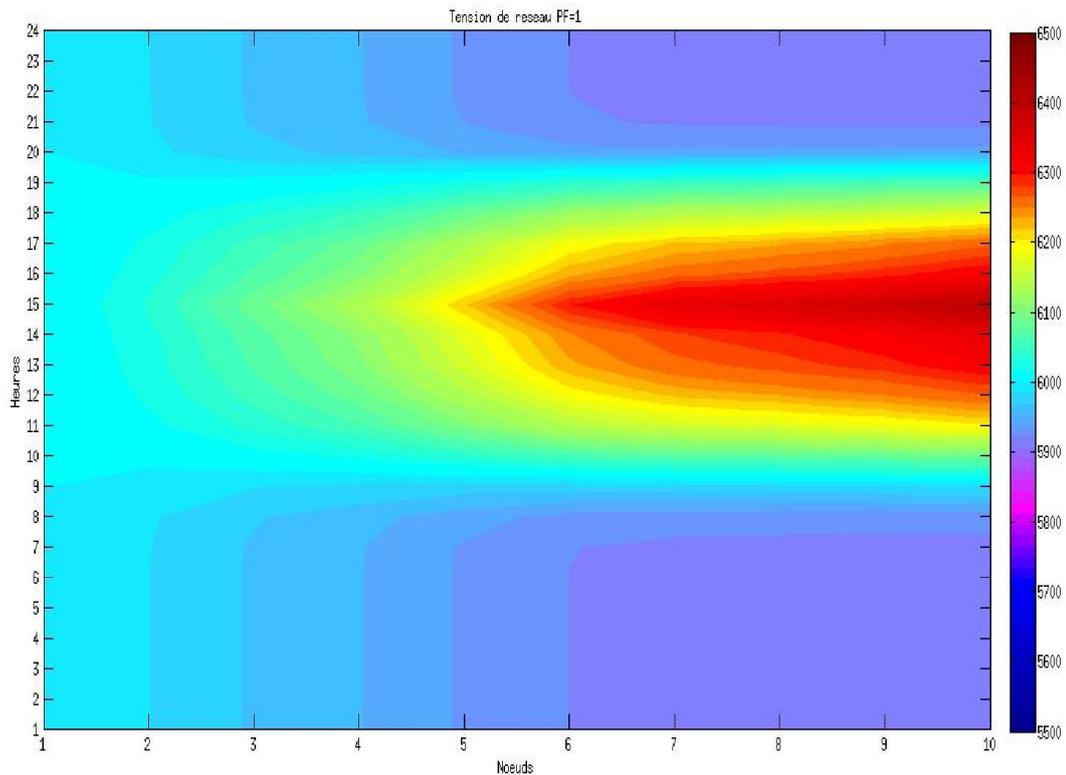


Fig (IV.2) : *la tension dans le réseau si PF=1*

Les figures, fig(IV.1 et IV.2) présentent l'état de la tension et les pertes globales dans le réseau avant l'injection de la puissance réactive, donc nous la prenons comme référence de comparaison.

Dans ce cas le champ PV est en forte concentration et la tension du réseau dépasse la valeur admissible de 5%. (Supérieur à 6,3kV)

Dans ce cas la puissance injectée est purement active en trouve que la tension ne change pas car ne injecte pas la puissance réactive.

PF = 0.9

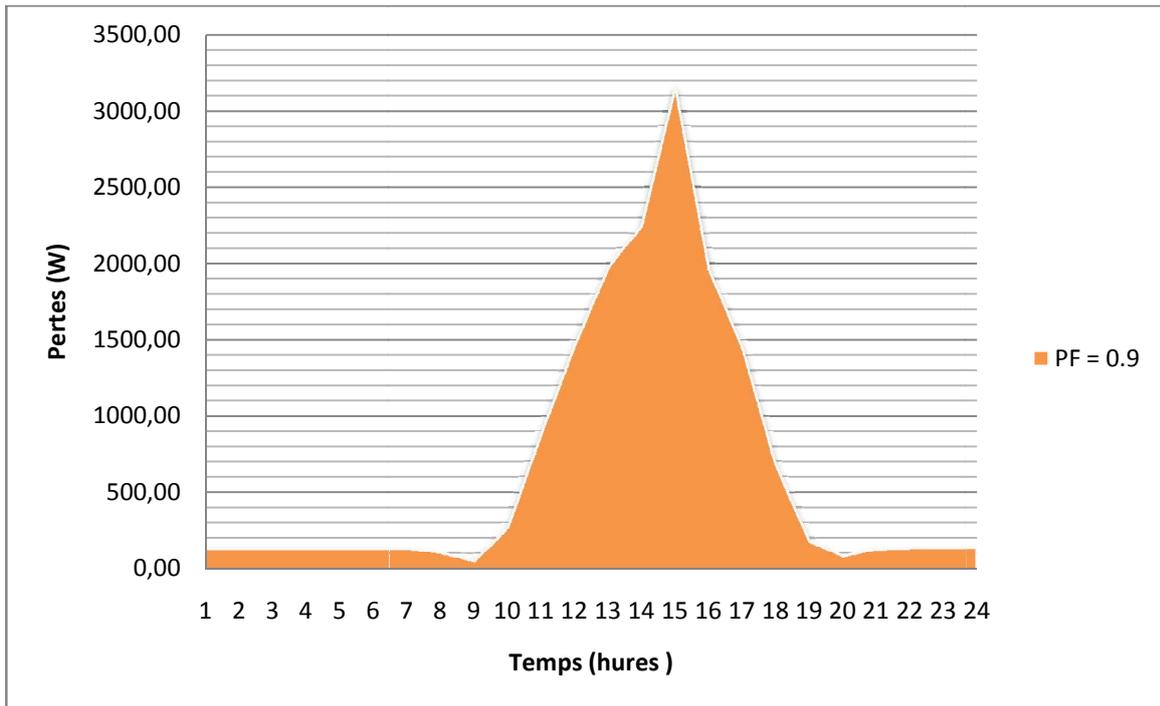


Fig (IV.3) : les pertes dans le réseau si PF=0.9

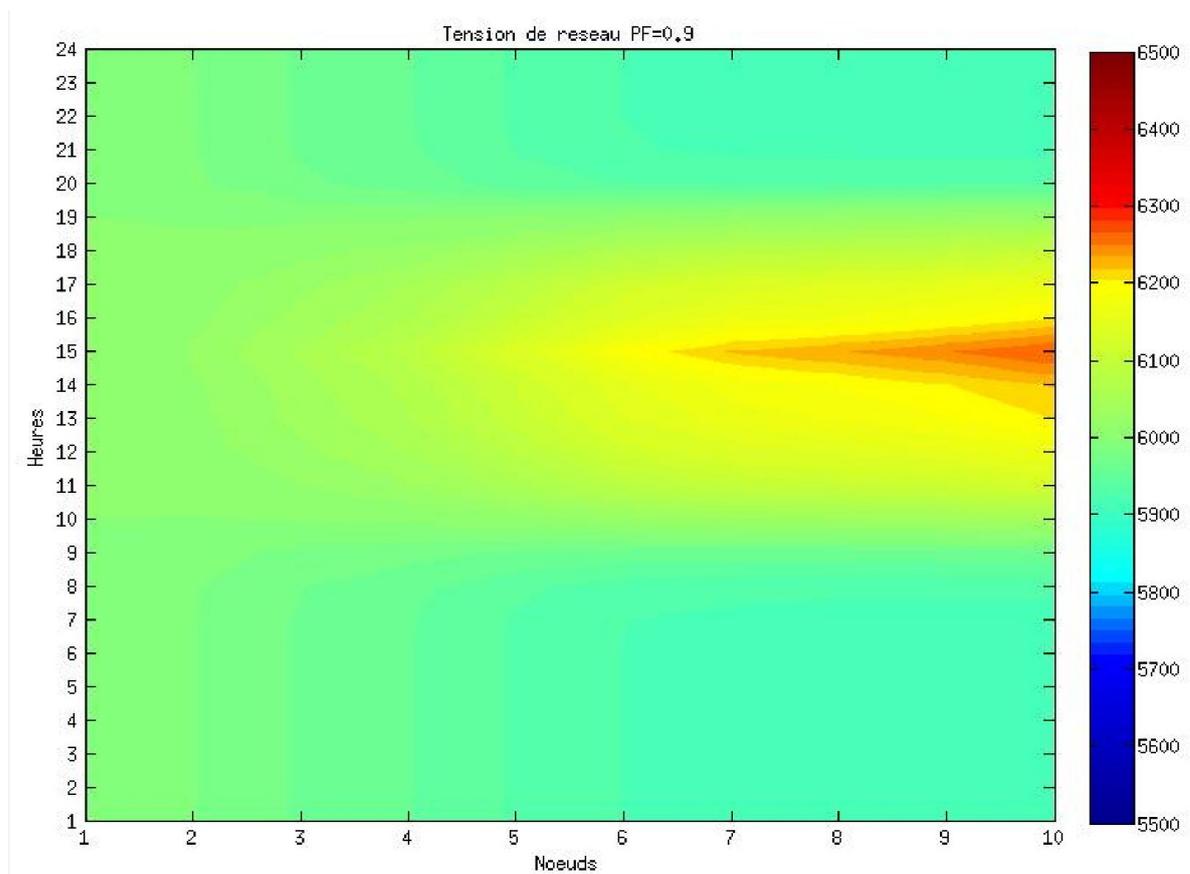


Fig (IV.4) : la tension dans le réseau si PF=0.9

Dans ce cas on observe que les pertes ont augmenté par rapport au cas précédent, et la tension a diminué en dessous de la valeur maximale admissible suite à l'injection de la puissance réactive.

PF = 0.8

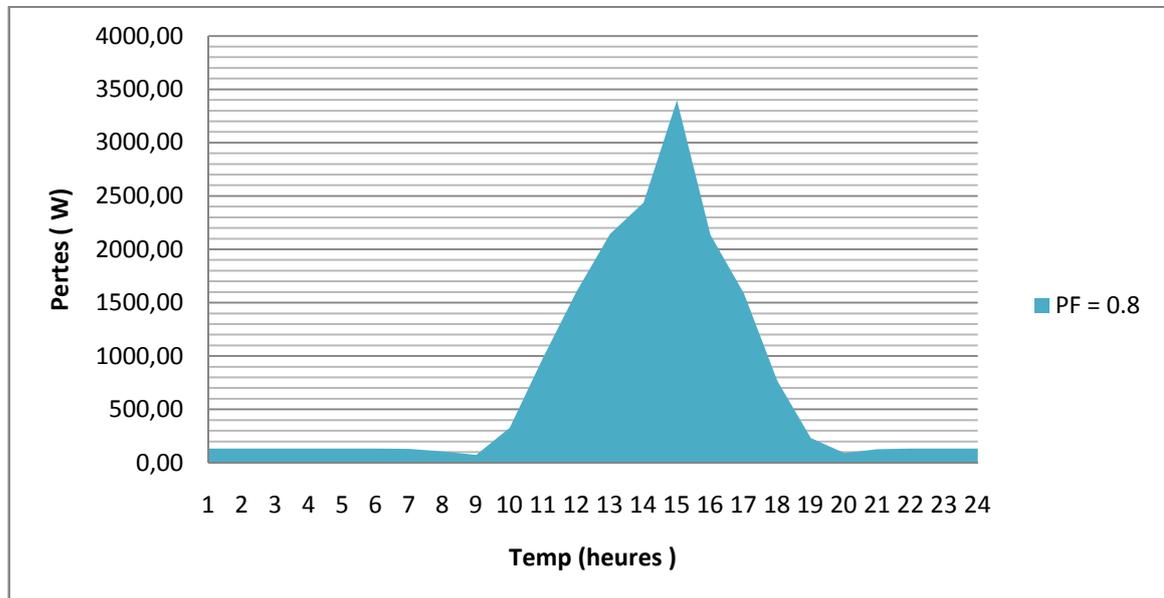


Fig (IV.5) : les pertes dans le réseau si PF=0.8

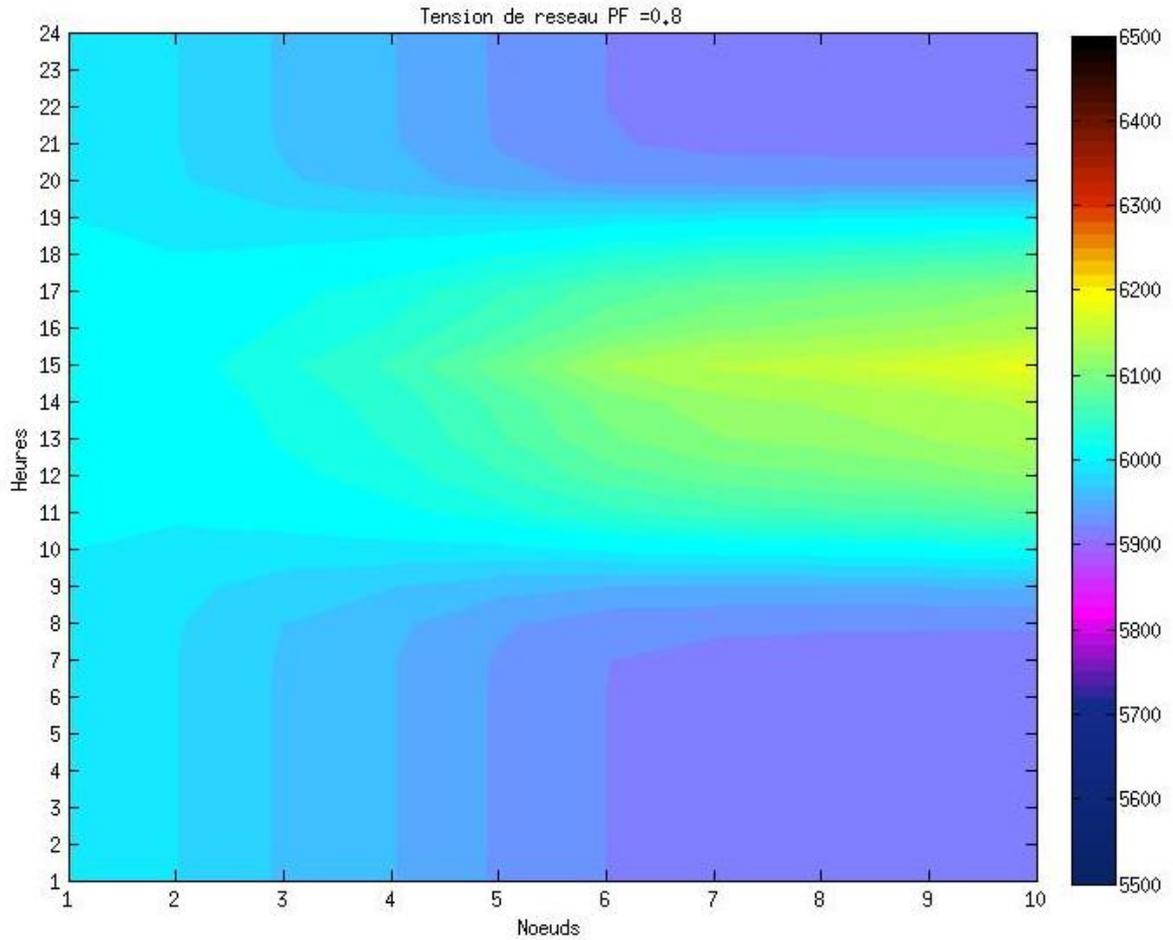


Fig (IV.6) : la tension dans le reseau si PF=0.8

PF = 0.7

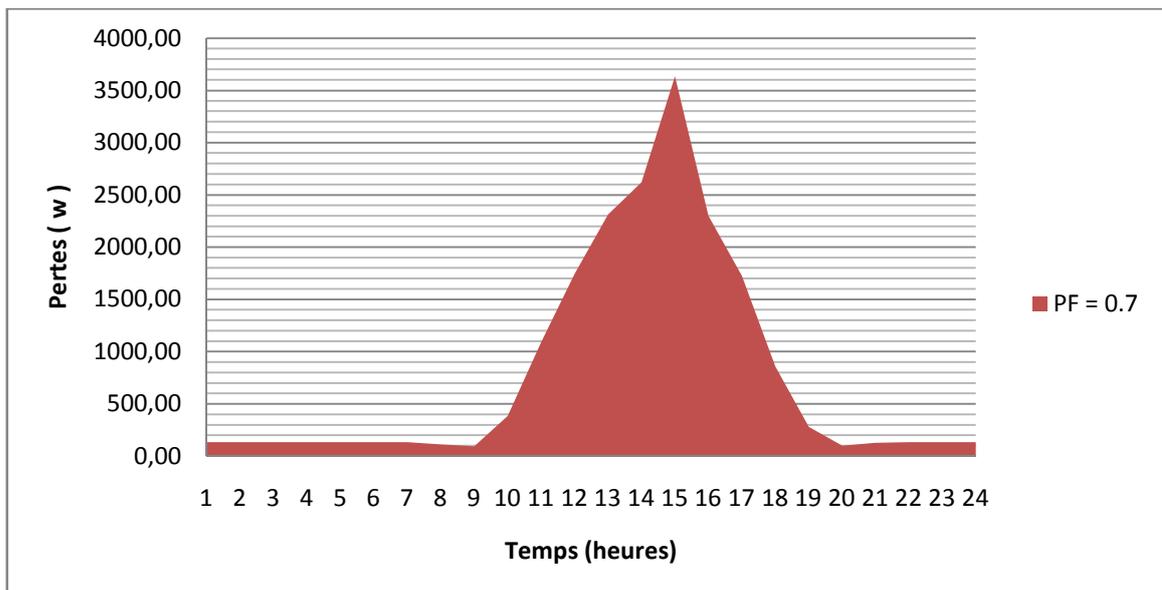
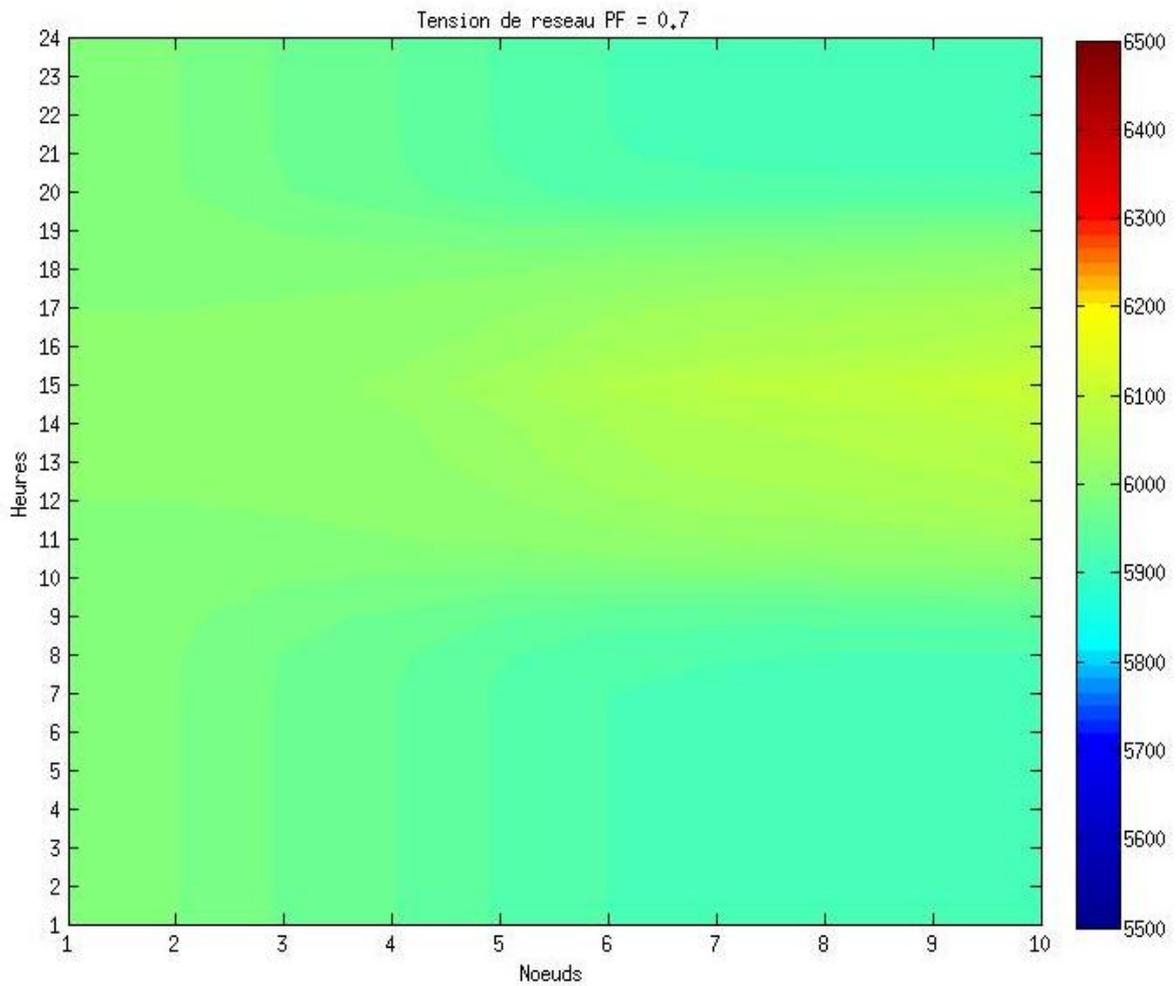


Fig (IV.7) : les pertes dans le réseau si $PF=0.7$ **Fig (IV.8) : la tension dans le réseau si $PF=0.7$** **PF = 0.6**

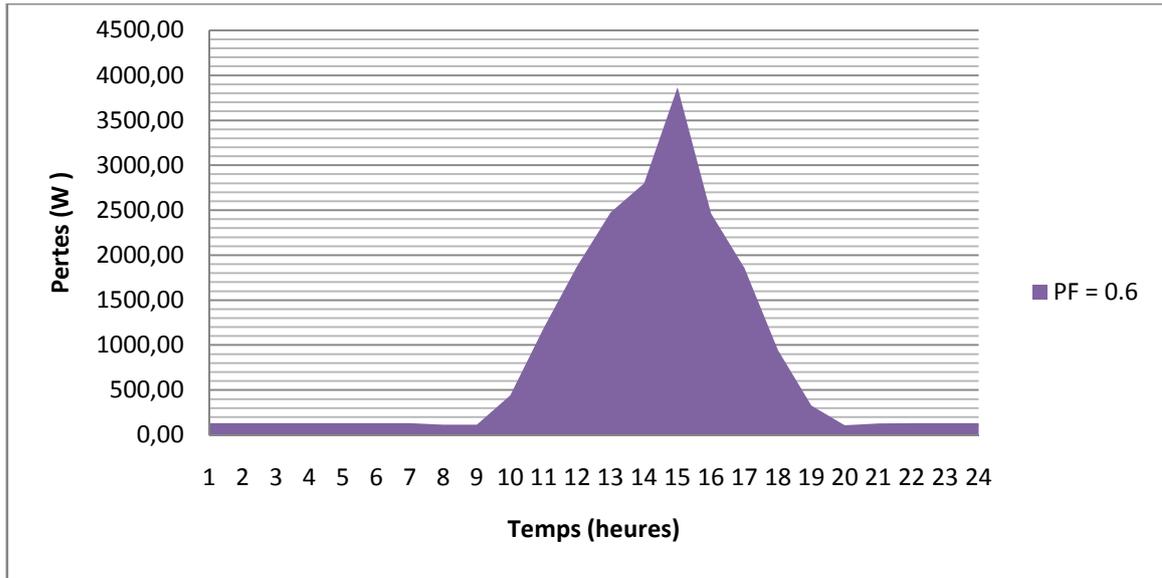


Fig (IV.9) : les pertes dans le réseau si PF=0.6

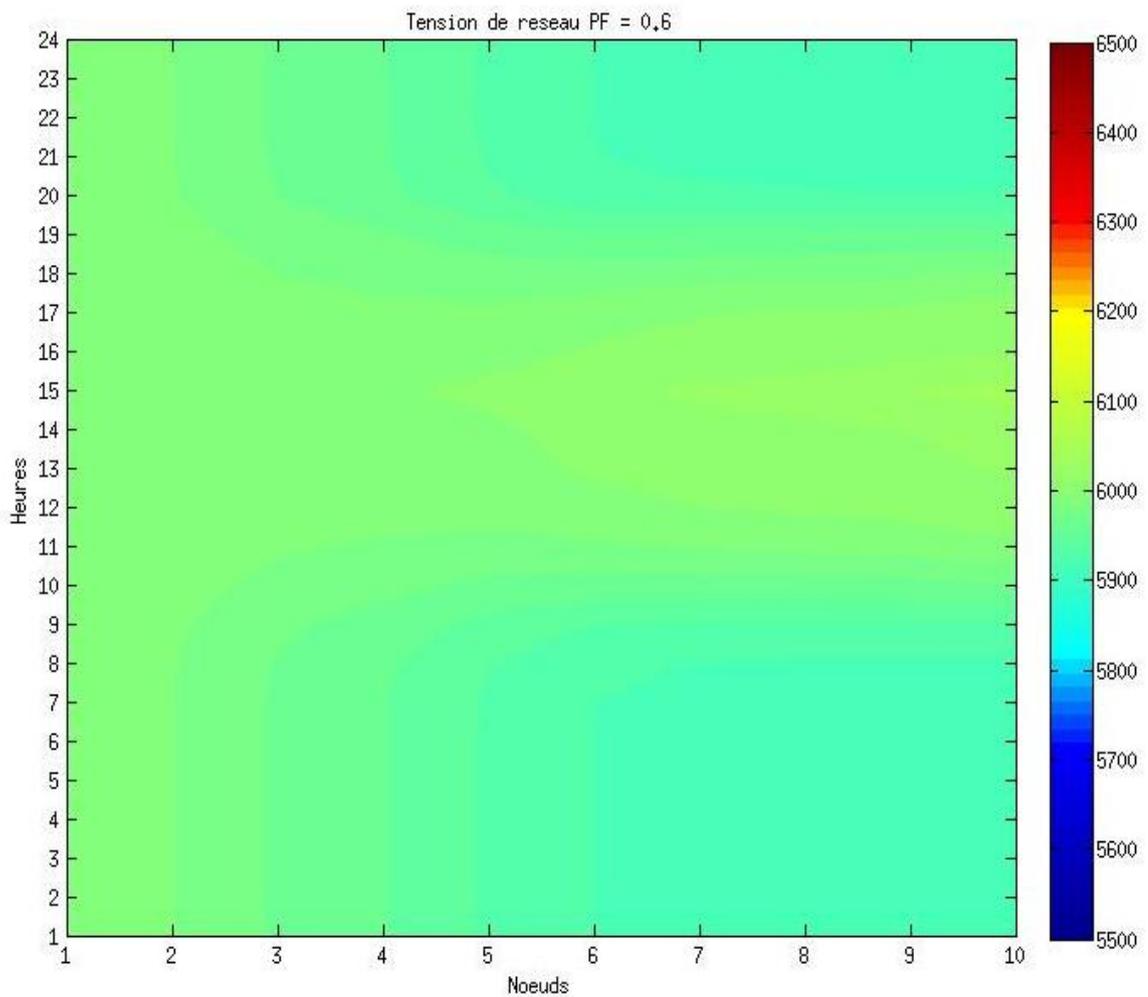
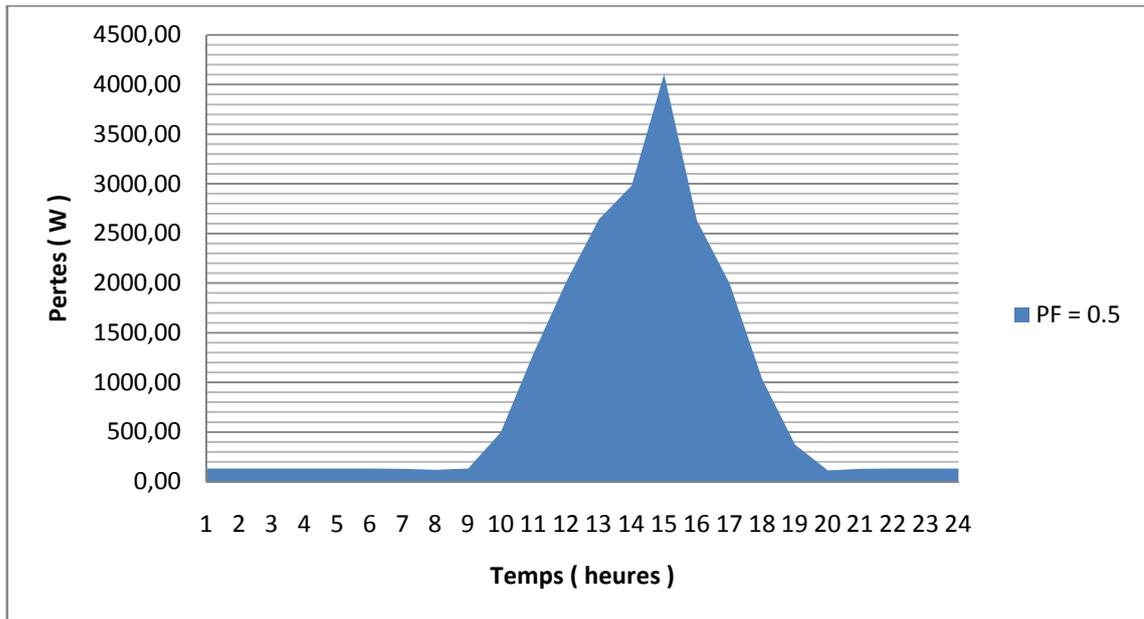


Fig (IV.10) : la tension dans le réseau si PF=0.6

PF = 0.5**Fig (IV.11) :** *les pertes dans le réseau si PF=0.5*

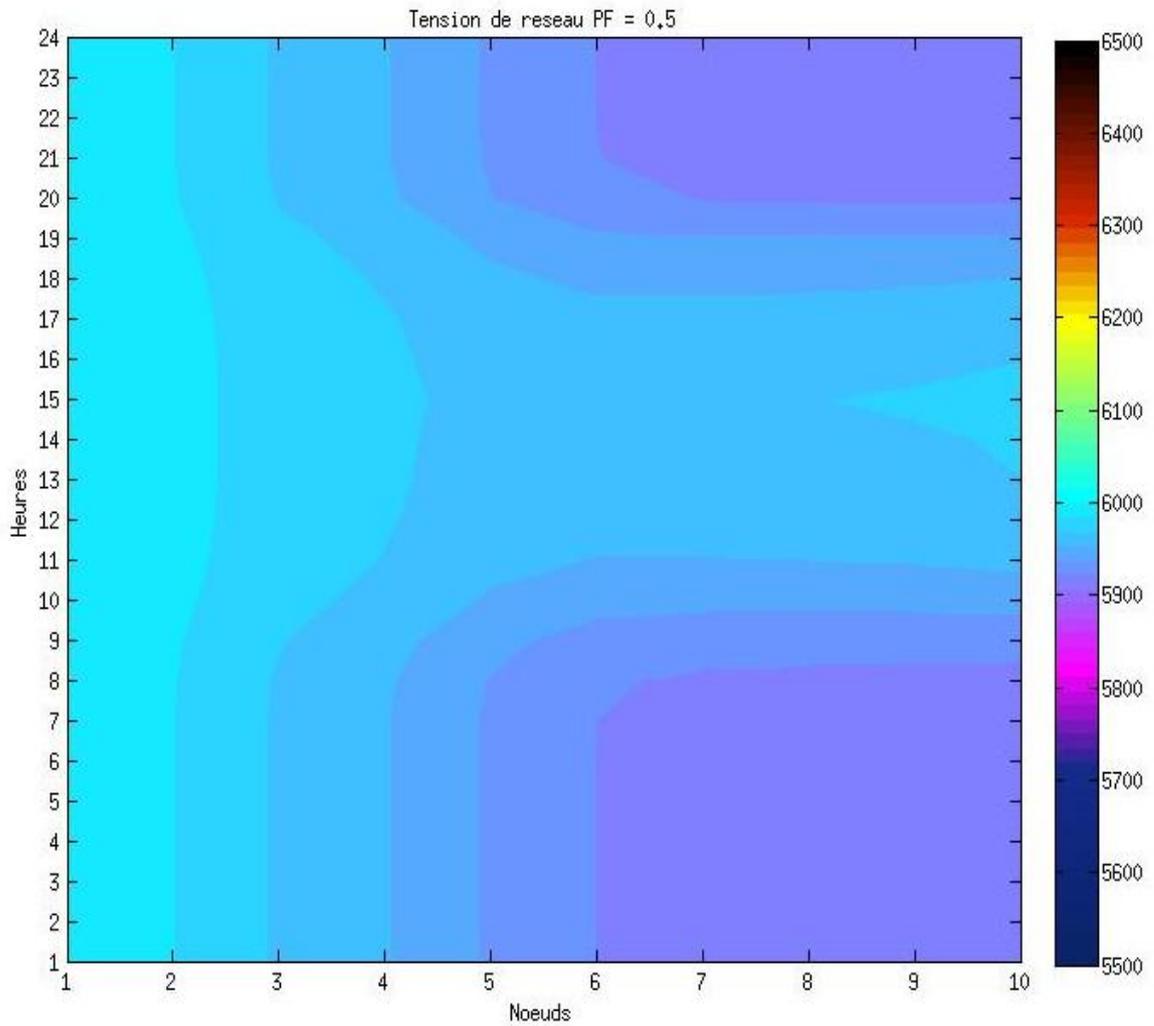


Fig (IV.12) : la tension dans le reseau si PF=0.5

IV. ANALYSE ET INTERPRETATION DE RESULTATS

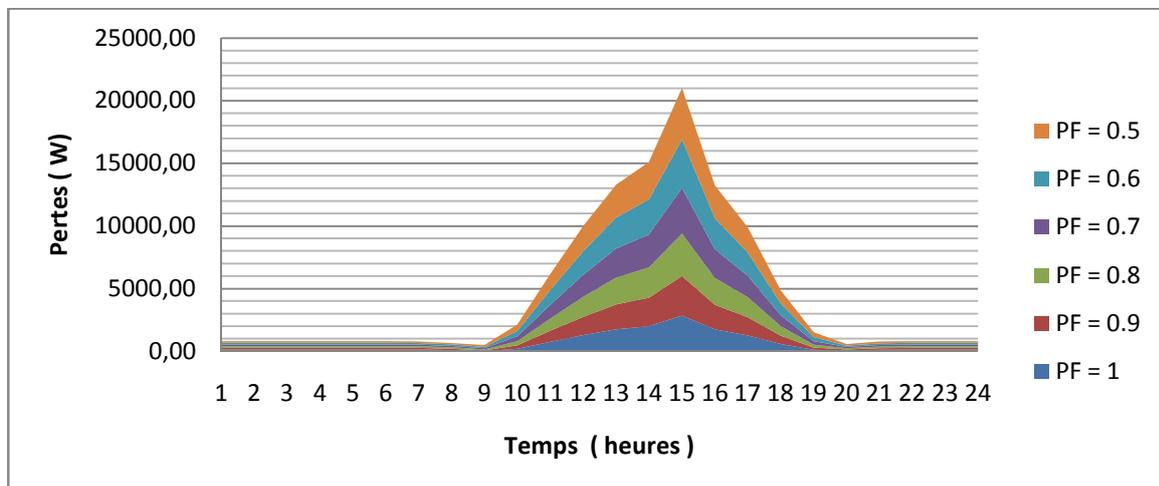


Fig (IV.13) : les pertes globales

La figure (IV.13) présente les pertes globales dans le réseau de distribution en fonction du facteur de puissance de la source PV connectée avec le réseau de distribution radial. Nous observons une augmentation des pertes dans le réseau si on fait diminuer le facteur de puissance FP , donc l'injection de la puissance réactive provoque une augmentation des pertes dans le réseau de distribution.

Donc la relation entre l'injection de la puissance réactive et les pertes dans le réseau à une relation proportionnelle.

Par contre, A partir les figures (IV. 2, 4, 6, 8, 10 et 12) la tension et diminue si nous diminuons la valeur du facteur de puissance.

V. CONCLUSION

L'injection de la puissance réactive par les sources PV de forte pénétration dans le réseau de distribution peut résoudre le problème de la surtension qu'elles causent, mais elles nt provoquent au même temps une augmentation considérable au niveau des pertes Joule globales du réseau.

Nous pouvons dire que l'injection de la puissance réactive peut être considérée comme un moyen parmi d'autres pour régulation de la tension de la tension du réseau, mais avec un prix à payer.

Conclusion Generale

Dans les zones isolées comme les zones rurales et militaires en trouvent architecture de réseau comme le micro-réseau radial, il y a toujours un manque ou bien une puissance insuffisante, dans la majorité de consommateurs de ce type de réseau liée sous forme radial.

Pour compenser la puissance on insère une source d'énergie renouvelable comme l'énergie solaire, qui n'est pas couteuse, ceci conduit à moyen terme à une situation où il y a une forte pénétration des panneaux PV dans le réseau. Cette situation peut selon l'étude que nous avons fait déstabiliser le réseau à cause des surtensions dans des cas où l'insolation est ses niveaux maximal.

Les résultats que nous avons obtenu par le développement d'un programme sous l'environnement de MATLAB, qui fait la calcule de puissance active et réactive et les tensions de chaque nœud de réseau. Ce programme est réalisé après d'avoir effectué :

La modélisation de micro-réseau radial qui nous avons représenté dans le chapitre 01.

La modélisation de panneau PV et leur caractéristiques, représenter dans le chapitre 02.

les structures de raccordement de champ PV dans le réseau de distribution dans le chapitre 03.

Et comme un travail de future, on cherche des solutions de ce problème soit par l'injection de la puissance réactive ou diminution du rendement des panneaux PV en utilisant le contrôleur MPPT dans le cas où il y a une surtension hors norme.

Reference

- [I.1] B. LASSETER. MICROGRIDS [DISTRIBUTED POWER GENERATION]. IN IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY WINTER MEETING, 2001., VOLUME 1, PAGES 146–149, COLUMBUS, OHIO, FEB 2001.
- [I.2] R. LASSETER. MICROGRIDS. IN IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY WINTER MEETING, 2002., VOLUME 1, PAGES 305–308, NEW YORK, NY, 2002.
- [I.3] N. JENKINS, R. ALLAN, P. CROSSLEY, D. KIRSCHEN, AND G. STRBAC. EMBEDDED GENERATION. THE INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, UK, 2000.
- [I.4] M. BARAN AND F. WU, “OPTIMAL SIZING OF CAPACITORS PLACED ON A RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM,” POWER DELIVERY, IEEE TRANSACTIONS ON, VOL. 4, NO. 1, PP. 735–743, JAN 1989.
- [I.5] Baran, M.E., “Optimal capacitor placement on radial distribution systems,” Power Delivery, IEEE Transactions ON, VOL. 4, NO. 1, PP. 725–734, JAN 1989.
- [I.6] Baran, M.E., “NETWORK RECONFIGURATION IN DISTRIBUTION SYSTEMS FOR LOSS REDUCTION AND LOAD BALANCING,” POWER DELIVERY, IEEE TRANSACTIONS ON, VOL. 4, NO. 2, PP. 1401–1407, APR 1989.
- [II.1] M.F. Shraif, "Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique", Thèse Université Paul Sabatier, 2002.
- [II.2] R. Pedrola, "Réalisation de convertisseurs statiques DC/DC avec MPPT de haut rendement et faible puissance spécifique d'énergie PV", Rapport interne LAAS-CNRS, 2002.
- [II.3] L. Protin, S. Astier, "Convertisseurs photovoltaïques", Techniques de l'ingénieur, Ref D3360 - Vol DAB, <http://ti.idm.fr>
- [II.4] F. Lasnier, T.G. Ang, "Photovoltaic Engineering Handbook", IOP Publishing Ltd. 1980. ISBN 0-85274-311-4
- [II.5] D. Turcotte, M. Ross and F. Sheriff. « Photovoltaic hybrid System Sizing and Simulation Tools » PV Horizon, Canada, 2001. ARTICLE PDF.
- [III.1] Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau Basse Tension. Application au générateur photovoltaïque, Y. PANKOW, Thèse doctorat, LEEPL, 2004
- [III.2] Residential photovoltaic energy storage system. IEEE Trans. on Industrial Electronics, S.J. Chiang, K.T. Chang, and C.Y. Yen. 1998.

[III.3] Rural south africa and photovoltaic weak grid interface systems.M.N. Mather, M. Malengret, and J.H Enslin. EPE Lausanne, 1999.

[III.4] Topology for decentralised solar energy inverters with a low voltage ac bus. B. Lindgren. EPE Lausanne, 1999.

Annex

LE PROGRAMME DE MATLAB

```
clear all;

clc;

format bank

PF = 1;

MPPT = 1;

N_Heures = 24;

N_Noeux = 9;

Err = 0.01;

r = 0.206;

x = 0.08;

D = [ 30 40 35 55 53 25 10 12 15 14 23];

%

Perte = zeros(N_Noeux,N_Heures);

P = zeros(N_Noeux+1,N_Heures);

Q = zeros(N_Noeux+1,N_Heures);

V = zeros(N_Noeux+1,N_Heures);

V(1,:) = 6000;
```

P(1,:) = 1000;

Q(1,:) = 100;

p5 = ones(1,N_Heures)*2200;

p7 = ones(1,N_Heures)*1500;

p3 = ones(1,N_Heures)*2300;

p4 = ones(1,N_Heures)*700;

p2 = ones(1,N_Heures)*1700;

p6 = ones(1,N_Heures)*2500;

p1 = ones(1,N_Heures)*1000;

p8 = ones(1,N_Heures)*1100;

p9 = ones(1,N_Heures)*1800;

%p2 = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 230 920 1390 1625 2180 2190 2060 1780 1000 100 0 0 0 0 0]*(-18);%fevrier

s10 = [0 0 0 0 0 0 4 78 400 1055 1700 2110 2405 2550 2975 2400 2100 1525 905 150 15 0 0 0]*(-18);%Juillet

q5 = ones(1,N_Heures)*200;

q7 = ones(1,N_Heures)*100;

q4 = ones(1,N_Heures)*57;

q1 = ones(1,N_Heures)*250;

%q10 = zeros(1,N_Heures);

```
q6 = ones(1,N_Heures)*140;
```

```
q3 = ones(1,N_Heures)*180;
```

```
q8 = ones(1,N_Heures)*120;
```

```
q9 = ones(1,N_Heures)*260;
```

```
q2 = ones(1,N_Heures)*110;
```

```
for t=1:N_Heures
```

```
    s10(t) = s10(t)*MPPT;
```

```
    p10(t) = s10(t)*PF;
```

```
    q10(t) = sqrt(s10(t)^2 - p10(t)^2);
```

```
end
```

```
p = [p1;p2;p3;p4;p5;p6;p7;p8;p9;p10]';
```

```
q = [q1;q2;q3;q4;q7;q6;q7;q8;q9;q10]';
```

```
%singledistflow
```

```
for i=1:N_Heures;
```

```
    for j = 1:N_Noeux;
```

```
        R(j) = r * D(j); % Resistance de la ligne entre les nœuds i et i+1
```

```
        X(j) = x * D(j); % Réactance de la ligne entre les nœuds i et i+1
```

```
        Perte(j,i) = R(j)*((P(j,i)^2 + Q(j,i)^2)/(V(j,i)^2)); % Pertes Joule
```

```

P(j+1,i) = P(j,i) - (R(j)*(P(j,i)^2 + Q(j,i)^2)/(V(j,i)^2)) - p(i,j+1);

Q(j+1,i) = Q(j,i) - (X(j)*(P(j,i)^2 + Q(j,i)^2)/(V(j,i)^2)) - q(i,j+1);

V(j+1,i) = V(j,i) - (R(j)*P(j,i) + X(j)*Q(j,i))/V(1);

end

end

for i=1:N_Heures;

while(abs(P(N_Noeux+1,i)) > Err) || (abs(Q(N_Noeux+1,i)) > Err)

if(abs(P(N_Noeux+1,i)) > Err)

P(1,i) = P(1,i) - P(N_Noeux+1,i)/2;

end

if(abs(Q(N_Noeux+1,i)) > Err)

Q(1,i) = Q(1,i) - Q(N_Noeux+1,i)/2;

end

end

for j = 1:N_Noeux;

R(j) = r * D(j); % Resistance de la ligne entre les noeux i et i+1

X(j) = x * D(j); % Réactance de la ligne entre les noeux i et i+1

Perte(j,i) = R(j)*((P(j,i)^2 + Q(j,i)^2)/(V(j,i)^2)); % Pertes Joule

P(j+1,i) = P(j,i) - (R(j)*(P(j,i)^2 + Q(j,i)^2)/(V(j,i)^2)) - p(i,j+1);

Q(j+1,i) = Q(j,i) - (X(j)*(P(j,i)^2 + Q(j,i)^2)/(V(j,i)^2)) - q(i,j+1);

V(j+1,i) = V(j,i) - (R(j)*P(j,i) + X(j)*Q(j,i))/V(1);

end

```

```
end  
  
end  
  
P = P'  
  
Q = Q'  
  
V = V'  
  
loss = zeros(N_Heures,1)  
  
Perte = Perte'  
  
for i =1:N_Heures  
  
    for j=1:N_Noeux  
  
        loss(i) = loss(i) + Perte(i,j)  
  
    end  
  
end  
  
end
```

Résumé :

L'utilisation de l'énergie solaire pour générer l'électricité se trouve en extensif, mais le raccordement de plusieurs panneaux ou plusieurs champs PV ou réseau de distribution provoque déstabilisation à augmentation de tension sur la tension admissible (5%), Surtout lorsque qu'il s'agit d'une forte source de panneaux PV.

Mots clés : Microgrid, Panneaux PV, Onduleur connecté au réseau, MATLAB, Réseau radial, puissance Réactive.

المخلص : إن اللجوء إلى الطاقة الشمسية من أجل توليد الكهرباء صار أمرا واقعا وواسع الانتشار ولكن ربط العديد من الألواح الضوئية في شبكة التوزيع قد يسبب عدم ثبات الشبكة لارتفاع التوتر فوق النسبة المقبولة (5%)، خاصة في حالة تركيز عالي للألواح الشمسية أين تكون أشعة الشمس قصوى.