



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
GINIE ELECTRIQUE
RESEAU ELECTRIQUE

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Mr. HELILOU AHMED & Mr. MAATALLAH SOHAIB

Le : mercredi 22 juin 2022

CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE INJECTEE AU RESEAU

Jury :

Pr	NAIMI DJEMAI	Grade	Université de Biskra	Président
Dr	MEHAMMEDI	Grade	Université de Biskra	Examineur
Dr	TERKI AMEL	Grade	Université de Biskra	Encadrent



Année universitaire : 2021/2022

Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Génie électrique
Réseau électrique

Réf. : Entrez la référence du document

CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE INJECTEE AU RESEAU

Le : mercredi 22 juin 2022

Présenté par :

- HELILOU AHMED
- MAATALLAH SOUHAIB

Avis favorable de l'encadreur :

**Signature Avis favorable du Président du Jury
Cachet et signature**



Remerciement

Au début on remercie le bon DIEU le tout puissant qui nous a donné la force, la volonté et la santé pour réaliser ce modeste travail.

On remercie l'ensemble des enseignants de département de Génie électrique de l'Université Mohamed Kheider de Biskra pour leurs efforts.

*Un profond remerciement va au Docteur **TERKI AMEL** pour accepter de nous avoir encadré tout au long la période de préparation de notre projet de fin d'étude et de nous avoir dirigé pour mener à bien ce travail.*

*On tient également à remercier nos **CHERS PARENTS** pour tous ce qu'ils ont faits pour nous, pour nous donner la chance d'être là où on est.*

Enfin, on remercie toute personne qui a participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*A mon père, celui qui a toujours sacrifié pour me voir
réussir, qui m'a soutenu et encouragé durant toute ma vie.*

A ma mère, l'être le plus chère de ma vie.

A mes chers frères

*A toute ma famille, mes amis et à toutes les mains qui
m'ont été tendues...*

AMMED

Je dédie ce modeste travail

*A mon père, celui qui a toujours sacrifié pour me voir
réussir, qui m'a soutenu et encouragé durant toute ma vie.*

A ma mère, l'être le plus chère de ma vie.

A mes chers frères

*A toute ma famille, mes amis et à toutes les mains qui
m'ont été tendues...*

SOUHAIB

Table des matières

Introduction générale	14
Chapitre I : Champs photovoltaïque	16
I.1 Introduction	17
I.2 Energie solaire	17
I.2.1 Energie solaire photovoltaïque.....	17
I.3 la chaîne de production photovoltaïque	17
I.3.1 Module photovoltaïque	18
I.3.2 Cellules photovoltaïques.....	19
I.4 Travaille Pratique :.....	26
I.4.1.Centrale Photovoltaïque SKTM d'ELHADJIRA :.....	26
I.4.2 Présentation Générale de la Centrale.....	27
I.4.3 Technologie utilisée à la centrale	28
I.4.4.Consistance du projet.....	28
I.5 Conclusion.....	30
Chapitre II : Onduleurs connectes au réseau.....	31
II.1 Introduction :	32
II.2 Centrale de production d'énergie photovoltaïque	32
II.2.1 L'ONDULEUR :.....	33
II.3 L'onduleur couplé au réseau	35
II.3.1. Convertisseur DC/AC couplé au réseau :.....	35
II.3.2. Les systèmes PV connectés au réseau sans batterie	37
II.3.3. Plage de tension MPPT d'un onduleur photovoltaïque.....	37
II.3.4. Avantages et inconvénients du système photovoltaïque connecté au réseau	39
II.4. Travail Pratique :	40
II.4.1. Les information technique de centrale :	40
II.5. Conclusion :	52
Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau	53
III.1 INTRODUCTION:.....	54
III.2 Principe de fonctionnement de la production photovoltaïque injecté au réseau :.....	54
III.3. Les Différentes types des injections système PV au réseau électrique :	54

III.4. Interaction entre le réseau de distribution et les systèmes PV :	56
III.5. Influence des systèmes photovoltaïques sur le réseau de distribution	56
III.5.1. Influence sur le plan de tension	57
III.5.3. Comportement des systèmes photovoltaïques face au creux de tension :.....	59
III.6. Protection classique d'un générateur photovoltaïque :.....	60
III.6.1 Stabilité des systèmes :	61
III.6.2 Stabilité de tension :.....	62
III.6.3. Stabilité de fréquence :.....	62
III.6.4. Stabilité angulaire :	63
III.6.5. Stabilité transitoire :.....	63
III.6.6. Stabilité dynamique :	64
III.7. Partie pratique :	64
III.7.1. Les information technique de centrale :.....	64
III.8 Conclusion	81
CONCLUSION GENERALE.....	82
Bibliographie.....	84

Liste des figures :

FIGURE 1 SYSTEME DE PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE.....	18
FIGURE 2 SCHEMA D'UN SYSTEME PV	19
FIGURE 3 LES DIFFERENTS TYPES DE CELLULES PV	21
FIGURE 4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PV	21
FIGURE 5 SCHEMA ELECTRIQUE EQUIVALENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE	22
FIGURE 6 CARACTERISTIQUE I-V D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE IDEAL ET REELLE	23
FIGURE 7 REGROUPEMENT EN SERIE	24
FIGURE 8 REGROUPEMENT EN PARALLELE	25
FIGURE 9 POSITION GEOGRAPHIQUE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE D'EL-HADJIRA OUARGLA	26
FIGURE 10 PLAN DE SITUATION DE LA CENTRALE	27
FIGURE 11 PLAN DE MASSE DE LA CENTRALE	27
FIGURE 12 PANNEAUX EN SILICIUM POLY-CRISTALLIN	28
FIGURE 13 CONFIGURATION D'UN SYSTEME PV AVEC UN ONDULEUR [19]	33
FIGURE 14 SCHEMA DE PRINCIPE DE L'ONDULEUR MONOPHASE	34
FIGURE 15 SCHEMA D'ONDULEUR DE TENSION TRIPHASE	35
FIGURE 16 CLASSIFICATION DES ONDULEURS PV CONNECTE AU RESEAU	36
FIGURE 17 ONDULEUR PowerOne PVI-10.0 OUTD.....	38
FIGURE 18 LA TENSION D'ENTREE DE L'ONDULEUR COTE CC EST INFERIEURE A LA TENSION MINIMALE MPPT	38
FIGURE 19 LA STATION DE METEO.....	40
FIGURE 20 LE MODULE PHOTOVOLTAÏQUE (EN AVANT ET ARRIERE)	41
FIGURE 21 BOITE DE JONCTION	42
FIGURE 22 BOITE PARALLELE	43
FIGURE 23 SCHEMA BOITE PARALLELE	44
FIGURE 24 BOITE GENERALE	45
FIGURE 25 SCHEMA DE BOITE GENERALE	45
FIGURE 26 DISPOSITION DE L'ONDULEUR	47
FIGURE 27 L'ONDULEUR ON INTERIEUR ET DEHORS	47
FIGURE 28 D'ECRAN DE COMMUNICATION ET AFFICHAGE DANS L'ONDULEUR DANS DEUX DATES DEFIRENT..	48
FIGURE 29 SYSTEME DE PROTECTION DANS L'ONDULEUR	48
FIGURE 30 LE TRANSFORMATEUR ELEVATEUR DE DEHORS LES DEUX COTES	50
FIGURE 31 L'INTERIEUR DE TRANSFORMATEUR LES DEUX COTES	50
FIGURE 32 DE CARACTERISTIQUE DE MODULE C ET F DANS LE TRANSFORMATEUR	51
FIGURE 33 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE AVEC AUTOCONSOMMATION SANS STOCKAGE	55
FIGURE 34 INJECTION DU SURPLUS DE PRODUCTION (AUTOCONSOMMATION)	56
FIGURE 35 GPV ELEMENTAIRE AVEC DIODES BY-PASS ET DIODE ANTI-RETOUR	61
FIGURE 36 SCHEMA SYNOPTIQUE POUR L'ANALYSE DE LA STABILITE DU RESEAU [1]	62
FIGURE 37 LES ARMOIRES DE POSTE D'EVACUATION MT DE LA CENTRALE EL-HEDJIRA OUARGLA	65
FIGURE 38 DE COMPTEUR DE SF6 GAS.....	65
FIGURE 39 LES CARACTERISTIQUES D'ARMOIRE DE POSTE EVACUATION MT	66
FIGURE 40 LE MATERIEL UTILISE DANS LE POSTE D'EVACUATION	66
FIGURE 41 LE SYSTEME DE COMMANDE DE POSTE D'EVACUATION	67
FIGURE 42 LE TRANSFORMATEUR AUXILIAIRE	67
FIGURE 43 DE CARACTERISTIQUES DE TRANSFORMATEUR AUXILIAIRE.....	68
FIGURE 44 LA SALLE DE COMMANDE AU CENTRALE PV EL-HEDJIRA	69
FIGURE 45 INTERFACE PRINCIPALE DE CONTROLE	70
FIGURE 46 SCHEMA UNIFILAIRE CENTRALE PV EL-HEDJIRA OUARGLA	70
FIGURE 47 SCHEMA DE POSTE D'EVACUATION 30 KV	71
FIGURE 48 SCHEMA DE TRANSFORMATEUR DE STATION	71
FIGURE 49 SURVEILLANCE D'UNITE D'ONDULEUR	72
FIGURE 50 SURVEILLANCE STATION METEOROLOGIQUE (11 JUIN 2022).....	72

FIGURE 51 SURVEILLANCE STATION METEOROLOGIQUE (3 AVRIL 2022)	73
FIGURE 52 L'UN INVERSEUR DE PUISSANCE	73
FIGURE 53 LES 4 CELLULES DES BATTERIES D'ACCUMULATEUR.....	75
FIGURE 54 LE GROUPE DIESEL DE CENTRALE	76
FIGURE 55 DE CELLULE DE DEPART.....	78
FIGURE 56 AFFICHAGE SUR LE COMPTEUR DE CELLULE DE DEPART	79
FIGURE 57 LE POINT DE DEPART VERS GRTE	80

Remarque : les figures de chapitre II et III la partie pratique ont été prises par : Mr. HELILOU AHMED & Mr. MAATALLAH SOUHAIB.

No table of figures entries found.

Liste des tableaux :

TABLEAU 1-DE L'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :.....	29
TABLEAU 2-DE L'ENERGIE PRODUITE (GWH) :.....	29
TABLEAU 3- SUR L'IMPACT SUR L'EMPLOI :.....	29
TABLEAU 4- CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DES PANNEAUX EN SILICIUM POLY-CRISTALLIN	42
TABLEAU 5-CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DE BOITE JONCTION	43
TABLEAU 6-CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DE LA BOITE PARALLELE.....	44
TABLEAU 7-CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DE LA BOITE GENERALE.....	46
TABLEAU 8-CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DE L'ONDULEUR.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
TABLEAU 9-CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DU TRANSFORMATEUR PRINCIPAL	51
TABLEAU 10-CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES DU GROUPE DE L'ALTERNATEUR DE DIESEL	76

Liste des équations :

ÉQUATION 1	$P = V_{opt} \times I_{pt}$	.....	23
ÉQUATION 2 :	$FF = P_{maxIcc} * V_{co} = I_{opt} * v_{optIcc} * V_{co}$	.....	23
ÉQUATION 3 :	$\eta = P_{maxPi} = I_{opt} * v_{opt\emptyset} * S$	.....	23
ÉQUATION 4 :	$V_{sco} = N_s \times V_{co}$	.....	24
ÉQUATION 5 :	$I_{cc} = I_c$	.....	24
ÉQUATION 6 :	$I_{pcc} = N_p \times I_{cc}$	.....	25
ÉQUATION 7 :	$V_{pco} = V_{co}$	.....	25

Liste des sigles et acronymes :

PV	<i>Photovoltaïque</i>
EnR	<i>Energies renouvelables</i>
IRENA	<i>Agence Internationale pour les Energies Renouvelables</i>
GIEC	<i>Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat</i>
STEP	<i>Principe des Stations de Transfert d'Energie par Pompage</i>
AC	<i>Courant alternatif</i>
DC	<i>Courant continue</i>
PNEREE	<i>Programme National de Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique Pulse-width modulation</i>
PWM	
MLI	<i>modulation de largeur d'impulsions</i>
MPPT	<i>Maximum power point tracker</i>
IEC	<i>International Electrotechnique Commîtes</i>

IPOA	<i>Rayonnement solaire arrivant à la surface</i>
MT	<i>Moyenne Tension</i>
BT	<i>Basse Tension</i>
HT	<i>Haut Tension</i>
P0	<i>Puissance nominale</i>
YA	<i>Rendement de réseau</i>
Yf	<i>Rendement final</i>
YR	<i>Rendement de Référence</i>
PR	<i>Rapport de performance</i>

Liste des symboles :

E	La tension continue d'entrée de l'onduleur (V)
D	La diode
E _g	L'énergie de bande gap (J)
E _m	Eclairement moyen (W/m ²)
FF	Facteur de forme
f	Fréquence du réseau (Hz)
f _m	Fréquence du signal de référence (Hz)
F _p	Fréquence du signal de la porteuse (Hz)
G	L'éclairement ou le flux incident (W/m ²)
G _r	L'éclairement de référence (1000W/m ²)
h	Constant de Planck (6,62 10 ⁻³⁴ j.s)
I _{ch}	Courant de charge (A)
I _m	Courant de point de Puissance maximale (A)
I _p	Courant de résistance parallèle (A)
I _{pv}	Courant délivré par une cellule photovoltaïque (A)
I _{ph}	Le photo-courant (A)
I _g	Courant du générateur photovoltaïque (A)
I _L	Courant traverse (A)
I _c	Courant de condensateur(A)
I _{cc}	Courant de court circuit (A)
T	Température de la cellule (°C)

Introduction générale

Au cours des dernières années, le soutien politique est dirigé vers les énergies renouvelable au niveau national et international, la plupart des savants conviennent maintenant que Moyen-Orient et l'Afrique du Nord dans une position idéale pour joue un rôle de premier plan dans les industries de l'énergie solaire et éolienne dans un avenir rentable. En raison de sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des plus grands gisements solaires au monde, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) (1).

Puisque l'Algérie dispose d'un gisement solaire très important. Le gouvernement prévoit le lancement de plusieurs projets solaires photovoltaïques d'une capacité totale d'environ 800 MWc d'ici 2022. D'autres projets d'une capacité de 200 MWc par an devraient être réalisés sur la période 2021-2030, actuellement on compte 23 centrales photovoltaïques sur le territoire national. Parmi ces centrales photovoltaïques on distingue la centrale photovoltaïque d'EL-Hedjira wilaya d'Ouargla Alegria.

L'objectif principal de ce travail est une étude de centrale photovoltaïques (PV) raccordées au réseau, afin de surveiller les performances de ces installations PV qui permettra de prédire les limites et les contraintes et devoir l'impact de l'environnement sur ce type d'installation ainsi que supporter le degré de pénétration des systèmes PV dans le réseau électrique national au sud d'Algérie.

Pour atteindre les objectifs susmentionnés et faciliter la présentation des résultats obtenus dans ce travail de recherche, le mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre présent le modèle : chaîne de production photovoltaïque, les différents éléments du système et les caractéristiques à chaque élément et système de conversion.

Dans le deuxième chapitre explication de l'onduleur connecté au réseau et le point de puissance maximal.

le troisième chapitre traite l'injection de l'énergie PV dans le réseau et la stabilité de réseau et en fin le mémoire est cloturé par une conclusion générale qui résumera le travail présente avec les perspectives envisagées.

Chapitre I : Champs photovoltaïque

Chapitre I : Champs photovoltaïque

I.1 Introduction

Aujourd'hui, le défi mondial est tourné vers les énergies renouvelables, en particulier le solaire, l'éolien, l'hydraulique, la géothermie, etc. Ce type d'énergie est non seulement gratuit et inépuisable, mais il est également très propre pour l'environnement. Contrairement aux énergies fossiles dont les ressources sont épuisées au fil des années et dont le prix est devenu très cher.

Dans ce chapitre, nous représenterons le modèle : chaîne de production photovoltaïque, les différents éléments du système et étudions tous équations mathématiques, caractéristique à chaque élément et système de conversion

I.2 Energie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KWc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année (1).

I.2.1 Energie solaire photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel, en effet le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique. Le terme « photovoltaïque » vient du grec « *fwz*, phos, photo » qui désigne la lumière et de « voltaïque », mot dérivé du nom du physicien italien Alessandro VOLTA, connu pour ses travaux sur l'électricité.

C'est en 1839 que le physicien français Edmond Becquerel découvre que certains matériaux délivraient une petite quantité d'électricité quand ils étaient exposés à la lumière (2), mais ce n'est qu'en 1954 que la première cellule photovoltaïque a été mise au point par des chercheurs du laboratoire Bell aux USA.

Cette première cellule photovoltaïque était en silicium (2). A partir de l'année 2000, suite à l'évolution technologique et les progrès dans le domaine de la recherche sur les semi-conducteur et l'électronique de puissance, l'énergie solaire photovoltaïque est devenue l'une des prometteuses ressources pour la production massive d'électricité ainsi que l'éolien qui était avant considérée comme la seule ressource renouvelable prometteuse pour la production d'électricité en vrac.

I.3 la chaîne de production photovoltaïque

Chaîne de production ou conversion PV c'est une série d'appareils ou composants qui se connectent GPV (générateur photovoltaïque) avec injectée au réseau.

Chapitre I : Champs photovoltaïque

Pour qu'il soit représenté d'appareils GPV, système de conversion PV et étage d'adaptation (hacheur, onduleur....etc.)

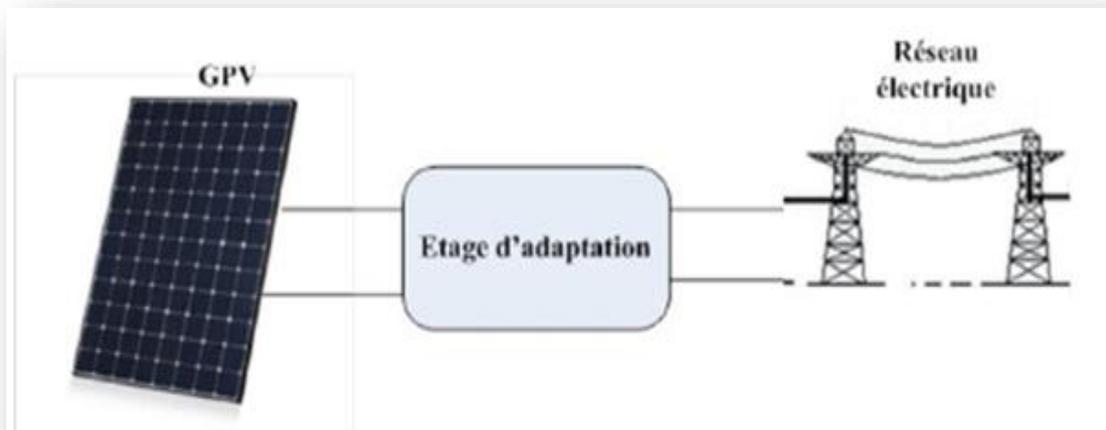


Figure 1 Système de production photovoltaïque (2)

I.3.1 Module photovoltaïque

Définitions :

- Module solaire photovoltaïque : le plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées complètement protégé contre l'environnement. Un module est caractérisé par sa puissance nominale que l'on désigne par puissance crête.

La puissance crête correspond à la puissance délivrée par le module dans des conditions spécifiques d'éclairement (un midi solaire en plein été) et de température (25°).

- Chaîne photovoltaïque : circuit dans lequel des modules PV sont connectés en série afin de former des ensembles de façon à générer la tension de sortie spécifiée.

- Groupe photovoltaïque : ensemble mécanique et électrique intégré de chaînes et d'autres composants pour constituer une unité de production d'énergie électrique en courant continu.

- Boîte de jonction de groupe photovoltaïque : enveloppe dans laquelle toutes les chaînes PV d'un groupe PV sont reliées électriquement et où peuvent être placés les dispositifs de protection éventuels.

- Générateur PV ou champ PV : ensemble de groupes PV, connectés en parallèle un onduleur.

(3)

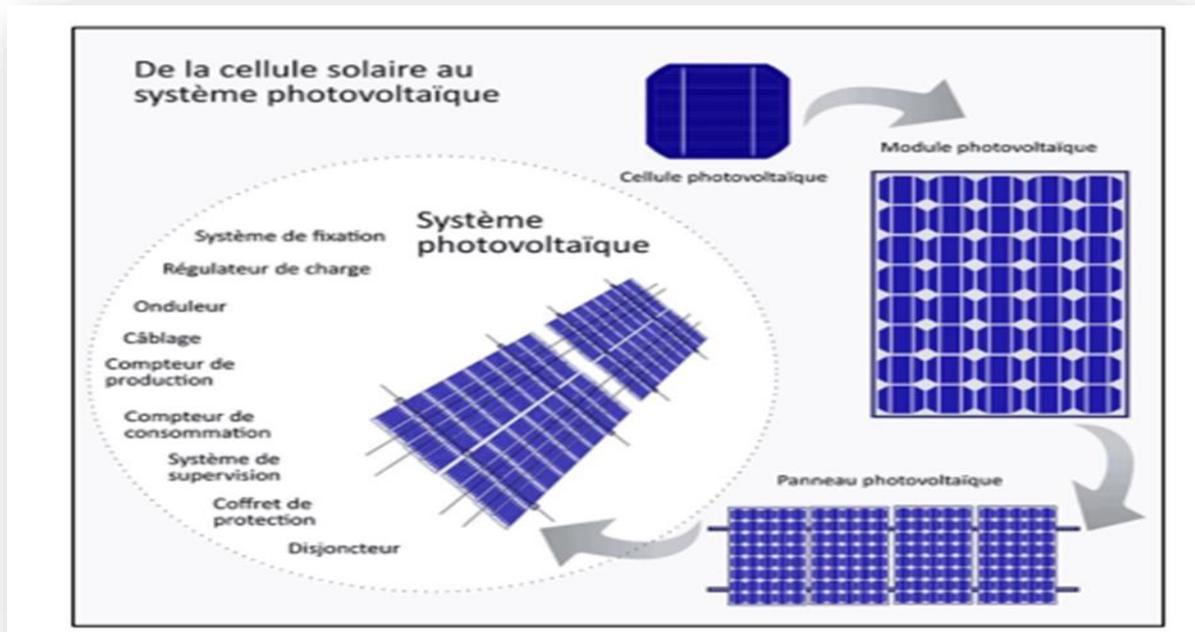


Figure 2 Schéma d'un système PV (3)

I.3.2 Cellules photovoltaïques

I.3.2.1. Montage de cellule photovoltaïque

1. Montage des cellules identiques:

➤ Mise en série de cellules identiques:

La puissance maximale de l'ensemble est égale au double de la puissance maximale d'une cellule. Pour le montage en série, le courant optimal est le même que pour une seule cellule et la tension optimale est le double de la tension optimale d'une cellule. (4)

➤ Mise en parallèle des cellules identiques:

La puissance maximale de l'ensemble est égale au double de la puissance maximale d'une cellule. La tension optimale de l'ensemble est la même que pour une seule cellule, alors que le courant optimal de l'ensemble est égal au double du courant optimal d'une seule cellule. (4)

2. Montage des cellules non identique :

En pratique, les cellules ne sont jamais tout à fait identiques. La fabrication des cellules et la différence dans le rayonnement solaire reçu (ombre) crée une différence de courant de court-circuit.

Chapitre I : Champs photovoltaïque

I.3.2.2 Les différents types de cellules :

Les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs principalement à base de silicium (Si) et plus rarement d'autres semi-conducteurs : de sulfure de cadmium (CDs), de tellure de cadmium (CdTe), de Germanium (Ge), de sélénium (Se) ou d'arséniure de gallium (GaAs). Le silicium est actuellement le semi-conducteur le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques, car il est très abondant dans la nature. En effet, il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques dont les plus importants sont les suivantes :

A) Les cellules à silicium monocristallin

Les cellules photovoltaïques en silicium monocristallin sont formées d'un seul cristal. Elles sont en général d'un bleu uniforme.

Avantage : elles permettent d'obtenir des rendements élevés (rendement entre 13a 17%).

Inconvénients : leur cout est très élevé et rendement faible sous un faible éclairnement.

B) Les cellules à silicium poly-cristallin

Elles sont constituées de plusieurs cristaux. La cellule à un aspect bleuté mosaïque (pas uniforme). Leur rendement est de 11 à 15%.

Avantage : un bon rendement, mais cependant moins bon que pour les cellules monocristallines.

Elles offrent actuellement un bon rapport qualité/prix.

Inconvénients : rendement faible sous un faible éclairnement.

C) Les cellules amorphes

Le silicium est utilisé en couche mince, il n'est pas cristallisé. Il est déposé sur une plaque de verre. Ce type de cellule on le trouve le plus souvent dans les petits produits de consommation (montre, calculatrice).

Avantage : moins cher que les autres et fonctionnement avec un éclairnement faible.

Inconvénients : rendement faible et performances qui diminuent avec le temps, durée de vie courte.

D) Les cellules multi-jonctions

Les cellules multi jonctions sont constituées de différentes couches qui permettent d'absorber la majorité de spectre solaire. Mais ces cellules ne sont pas commercialisées.

E) Les cellules organiques

Encore au stade de la recherche, cette nouvelle technologie permet à présent la production de cellules solaires organiques légères, flexibles sur une grande surface et moins chères à produire.

Les cellules PV organiques sont de trois types ; moléculaire, polymère et hybride (5).

Chapitre I : Champs photovoltaïque

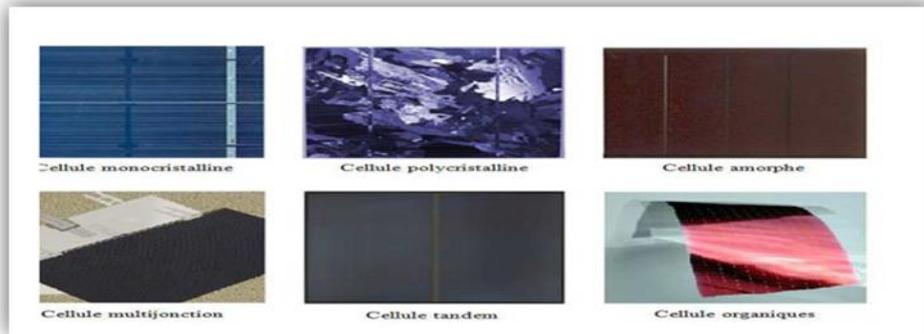


Figure 3 Les différents types de cellules PV (5)

I.3.2.3 Principe de fonctionnement d'une cellule :

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement à base silicium. Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel.

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches.

Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule (6).

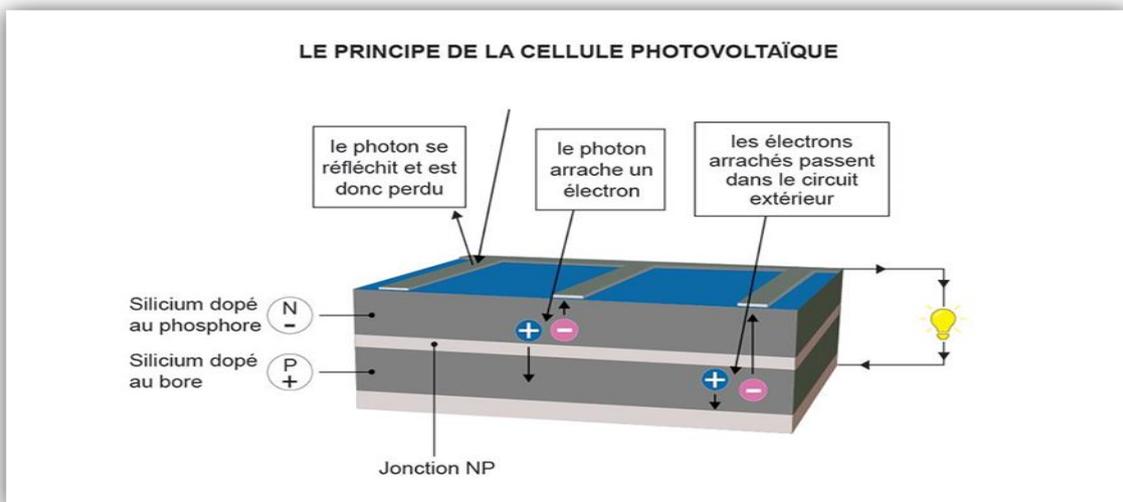


Figure 4 Principe de fonctionnement d'une cellule PV (6)

Chapitre I : Champs photovoltaïque

I.3.2.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Une cellule PV (figure (5)) fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule et deux résistances (série et shunt) pour les pertes.

Les résistances R_s et R_p permettent de tenir compte des pertes liées aux défauts de fabrication ; R_s représente les diverses résistances de contact et de connexion tandis que R_p caractérise les courants de fuite dus à la diode et aux effets de bord de la jonction (6)

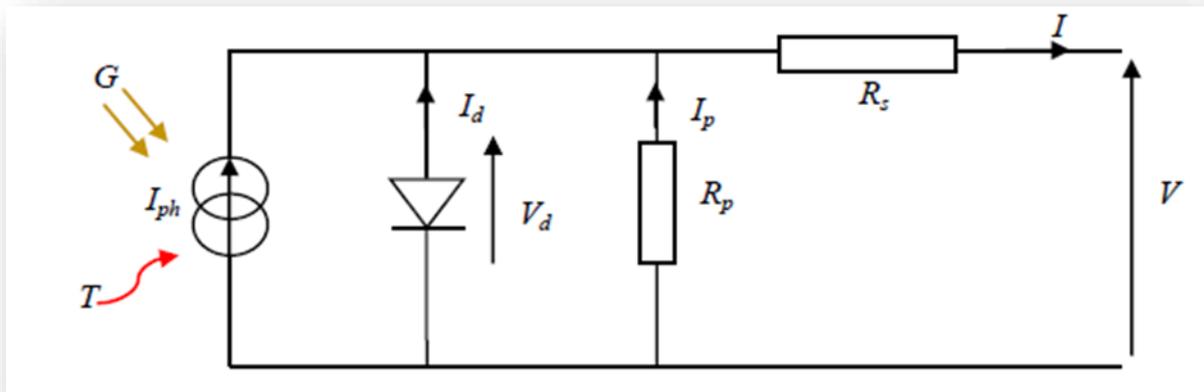


Figure 5 Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque (6)

I.3.2.5 Caractéristiques des cellules photovoltaïques

Il y a quatre grandeurs caractéristiques principales du fonctionnement des cellules solaires:

- *Le courant de court-circuit I_{cc} ;
- *La tension en circuit ouvert V_{oc} ;
- *Le facteur de forme ff ;
- *Le rendement de conversion d'énergie η (7).

Ces paramètres ne sont pas des quantités mesurables et ne sont pas généralement inclus dans les données des fabricants, par conséquent, ils doivent être déterminés à partir des systèmes des équations $I(V)$ pour différents points de fonctionnement (donnés par les fabricants).

En circuit ouvert ($R_c = \infty$, $I = 0$, $V = V_{oc}$) ou en court-circuit ($R_c = 0$, $I = I_{cc}$, $V = 0$), aucune énergie n'est transmise à l'extérieur. Entre ces deux extrêmes, il existe une valeur optimale R_{opt} de la résistance de charge R_c pour laquelle la puissance $P = V_{max} * I_{max}$ fournie par la cellule solaire à la résistance de charge est maximale, et vaut P_{max} (8).

Chapitre I : Champs photovoltaïque

La caractéristique réelle et le schéma équivalent de la cellule sont représentés sur la figure ci-dessous. Les valeurs respectives des divers éléments du schéma équivalent déterminent les performances de la cellule réelle.

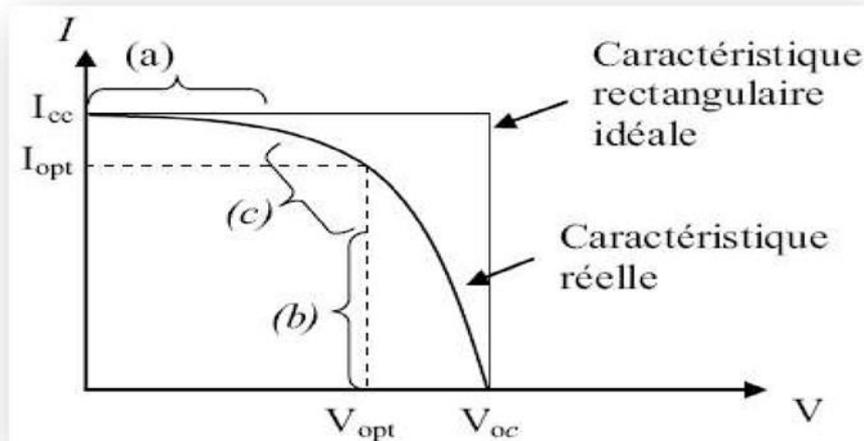


Figure 6 Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque idéal et réelle (8)

La caractéristique se divise en trois parties :

La zone (a) où la cellule se comporte comme un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'éclairement,

La zone (b) où la cellule se comporte comme un générateur de tension V_{co}.

La zone (c) où l'impédance interne du générateur varie rapidement .

- **la Puissance maximale P_{max}**

Dans cas optimale d'un générateur qui fonctionner une charge sous la tension maximale et à un courant maximal.

En effet, suivant la formule

Équation 1
$$P = V_{opt} \times I_{opt}$$

- **Facteur de forme FF**

C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir une cellule et la puissance idéal :

Équation 2 :
$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} \times V_{co}} = \frac{I_{opt} \times V_{opt}}{I_{cc} \times V_{co}}$$

- **Rendement énergétique η**

C'est le rapport de la puissance maximale fournie (P_{max}) sur la puissance du rayonnement solaire incident (P_i).

Équation 3 :
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_i} = \frac{I_{opt} \times V_{opt}}{\theta \times S}$$

Chapitre I : Champs photovoltaïque

S : Surface de la cellule solaire. F : Flux incident.(w/m²)

I.3.2.6 Paramètres d'une cellule photovoltaïque

Cinq paramètres influent sur le comportement électrique d'une cellule ou d'un générateur

Photovoltaïque, ces paramètres sont (9) :

- La résistance série R_s (Ω)
- La résistance shunt R_p (Ω)
- Le courant de saturation I_0 .(A)
- Le flux d'éclairement F (W/M²)

Pour un flux Φ égale à 1 kW/m², ces paramètres peuvent être considérés comme indépendants, excepte le courant de saturation I_0 qui dépend directement de la température T de la cellule. (10)

I.3.2.7 Association de cellule photovoltaïque

❖ Regroupement en série

Une association de (N_s) cellule en série figure permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristiques électriques d'une association série de (N_s) cellules (11)

Équation 4 $V_{sco} = N_s \times V_{co}$

Équation 5 $I_{cc} = I_c$

V_{sco} : la somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_c : courant de court-circuit de N_s cellules en série

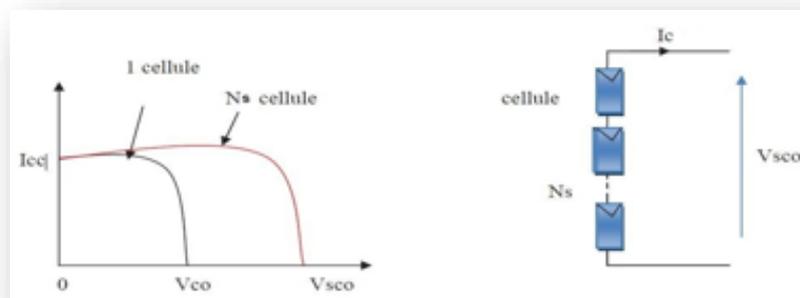


Figure 7 Regroupement en série (11)

Chapitre I : Champs photovoltaïque

❖ Regroupement en parallèle

Une association parallèle de (N_p) cellule figure(I.8) est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. (12)

Équation 6 $I_{pcc} = N_p \times I_{cc}$

Équation 7 $V_{pco} = V_{co}$

I_{pco} : La somme des courants de court circuit de (N_p) cellule en parallèle,

V_{pco} : Tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

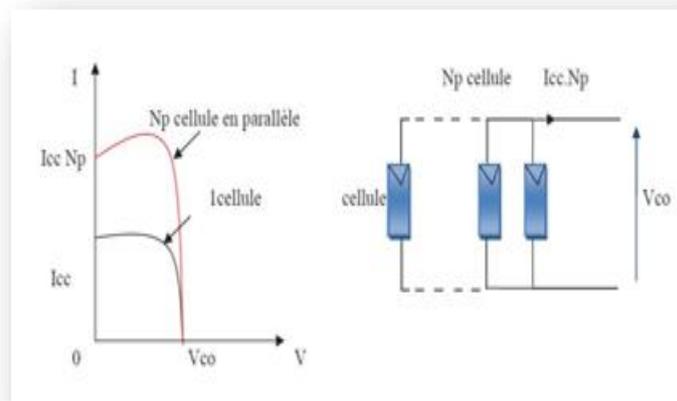


Figure 8 Regroupement en parallèle (13)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de N_s modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant.

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque. (13)

Chapitre I : Champs photovoltaïque

I.4 Travail Pratique :

I.4.1. Centrale Photovoltaïque SKTM d'ELHADJIRA :

De par sa position géographique, l'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus élevés au monde (05 milliards de GWH/an), avec une durée d'ensoleillement sur le Sahara et les hauts plateaux pouvant dépasser les 3000 heures/ an, selon les spécialistes.

Dans le cas de El-Hadjira / Ouargla 2800 heures/an.

La centrale solaire photovoltaïque de 30MW El-Hadjira, s'inscrit dans le cadre du programme national des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

Les attentes de la réalisation de cette centrale sont :

Diversification des sources de production de l'électricité et développement de moyens de production à partir des sources renouvelables.

Énergie annuelle produite par la centrale Photovoltaïque est de 52000 MWh / An.

Préservation des ressources primaires : économie des combustibles fossiles ; (environ de 9200 Tonnes/an de gaz).

Protection de l'environnement par la réduction des émissions des gaz à effet de serre (30000 Tonnes/an de réduction d'émissions de CO₂).

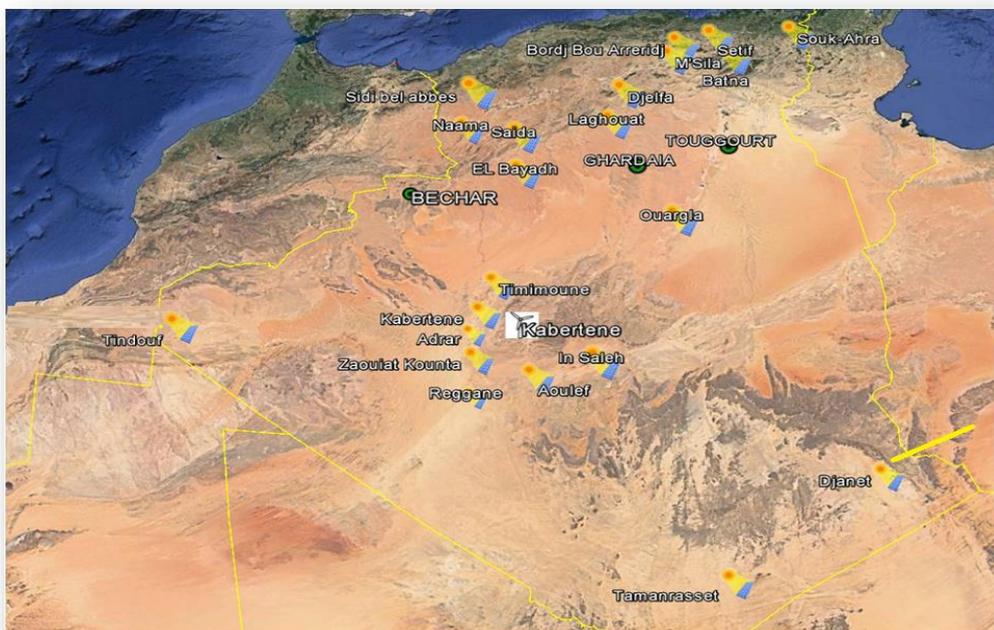


Figure 9 Position géographique Centrale Photovoltaïque d'EL-HADJIRA Ouargla

Chapitre I : Champs photovoltaïque

I.4.2 Présentation Générale de la Centrale

Pays : Algérie-wilaya de Ouargla –Localité : El Hedjira, Cordonnées géométrique : 32.35°N et 05.50° E, Superficie : soixante hectares, Puissance crête : 30000 KWc, Tension d'injection : 30kv, Maitre d'œuvre et d'ouvrage : SKTM shariket kahraba wa taket moutadjada

Constructeur : Groupement YINGLI/SINOHYDRO/HYDROCHINA

Génie civil : SARL HATEB Omar (Société Algérienne)

Organisme de contrôle : CTC. Sud

Délais de réalisation : huit(08) mois

- **Plan De situation De La Centrale :**



Figure 10 Plan De situation De La Centrale

- **Plan De Masse De La Centrale**



Figure 11 Plan de masse de la centrale

Chapitre I : Champs photovoltaïque

I.4.3 Technologie utilisée à la centrale

I.4.3.1. Panneaux en silicium poly-cristallin

- Les cellules poly-cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples.
- Avantage : Coût de fabrication moins

Rapport au coût de fabrication du Monocristallin.



Figure 12 Panneaux en silicium poly-cristallin

I.4.4. Consistance du projet

- ✓ La centrale El-Hadjira, est composée de Trente(30) sous-champs; de 1MWc.
- ✓ Dont les principaux équipements sont:
- ✓ Générateur Photovoltaïque (modules PV, supports, boîte de jonction, tableaux électriques, câblage)
- ✓ Poste de conversion DC/AC et transformation (onduleurs, transformateurs, cellules, tableaux électriques, câblage)
- ✓ Systèmes auxiliaires (groupe de secours, redresseurs chargeurs batteries, éclairage, télésurveillance et d'anti intrusion, Détection et lutte anti-incendie.)

Nombre du Sous-Champ	Type du module	Puissance du sous-champ	Nombre de modules/ sous-champ	Nombre de chaînes/ sous-champ	Nombre de modules/ chaîne	Puissance du module	Rendement du module
30	Poly cristallin	1MWc	4.004	91	44	250W	15%

Chapitre I : Champs photovoltaïque

Tableau 1-de l'impact sur l'environnement :

Production Estimée Par an	52 GWh
Émissions de CO2 Evitées Par an	30 600 Tonnes CO2
Gain en fuel	3,6 Millions de m3

Tableau 2-de l'énergie produite (GWh) :

Année	2017	2018
Energie	38,073	60

- **Montant Global Du Projet : 5 042 178 341,74DA**
- **Partie Devises : 52 814 027,74 Dollar**
- **Partie Dinars : 591 510 769,76 DA**
- **Date de mise en service : 15 Février 2017**

Tableau 3- sur l'impact sur l'emploi :

Effectif Exploitant				
Cadres	2			
Maîtrises	05			
Exécutions	10			
Effectif de Gardiennage	Chef de site	Chefs de groupe	Agents	Total
	1	4	24	29

Chapitre I : Champs photovoltaïque

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, Introduction sur énergie solaire et on étudie modélisation mathématiques de système d'énergie photovoltaïque.

On passe après à caractéristiques des cellules photovoltaïques. Nous avons étudié dans ce chapitre le système photovoltaïque, qui se caractérise par des équipements et des techniques spéciaux, qui contient les panneaux PV connectés les uns aux autres formant un générateur PV de sorte qu'il doit raccorder les panneaux PV en série si nous voulons collecter les tensions produites à partir de chaque panneau. Ensuite Travail Pratique, on étudie central Photovoltaïque d'EL-HADJIRA (position géographique, plan de situation, plan de masse et Technologie utilisée à la centrale). On finit par la puissance totale produite d'une centrale et tous les Consistance du projet.

Chapitre II : Onduleurs connectes au réseau

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

II.1 Introduction :

Il existe deux types d'installations raccordées au réseau :

- Installation centralisée : production d'énergie photovoltaïque à grande échelle Centralisée y-a dans les centrales photovoltaïques.
- Installation décentralisée : une alternative à la production d'électricité décentralisée dans l'unité située directement chez le consommateur. Un système photovoltaïque se compose de trois éléments de base :
 - Modules photovoltaïques.
 - Onduleur synchrone qui convertit le courant pour le rendre compatible avec les propriétés du réseau.
 - Compteur.

Dans ce chapitre, nous aborderons, dans une première partie centrale de production d'énergie photovoltaïque et l'onduleur couplé au réseau.

Dans la seconde partie nous présenterons les fonctionnalités de champs PV connectés au réseau de distribution.

Enfin, dans la dernière partie, le travail pratique au centrale photovoltaïque de el-Hedjira Ouargla et la conclusion.

II.2 Centrale de production d'énergie photovoltaïque

Un système de puissance PV qui génère la puissance instantanément alimente le réseau à travers un ou plusieurs onduleurs et transformateurs. La plupart des systèmes utilisent des redresseurs qui fonctionnent en régime onduleur équipés par un poursuiveur de point de puissance maximale. Aux extrémités d'un réseau, la qualité de la puissance se détériore lorsque la demande en électricité augmente. Une centrale photovoltaïque placée en bout de ligne permet de redresser la tension et d'améliorer la puissance. **(14)**

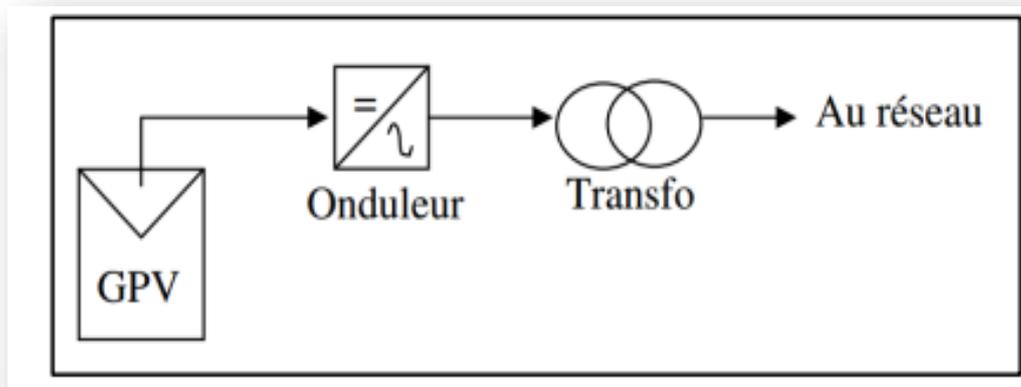


Figure 13 Configuration d'un système PV avec un onduleur (14)

II.2.1 L'ONDULEUR :

Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant en une tension continue différente ou une tension alternative. (15)

II.2.1.1 Classification des onduleurs

La classification peut être distingué par :

- **onduleur non autonome** : un onduleur est dit non autonome si l'énergie nécessaire pour la commutation des thyristors est fournie par le réseau alternatif qui est donc un réseau actif. C'est le cas du fonctionnement en onduleur des redresseurs. La fréquence et la forme d'onde de la tension sont imposées par le réseau alternatif ;
- **onduleur autonome** : un onduleur autonome est un convertisseur statique assurant la conversion continu- alternatif. Alimenté en continu, il modifie de façon périodique les connexions entre l'entrée et la sortie et permet d'obtenir de l'alternatif à la sortie. (15)

II.2.1.2 Types d'onduleur :

A. Onduleur monophasé :

Pour obtenir une tension alternative à partir d'une tension continue en utilisant deux interrupteurs, il faut un point milieu, soit du côté de la sortie alternative, soit du côté de l'entrée continue, cela correspond à :

- l'onduleur monophasé avec transformateur de sortie à point milieu appelé onduleur push- pull.
- l'onduleur monophasé avec diviseur capacitif à l'entrée appelé onduleur en demi pont. Si on veut varier la largeur relative des créneaux formant les alternances de

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

la tension de sortie, il faut quatre interrupteurs c'est : l'onduleur monophasé en pont (figure (14)). (15)

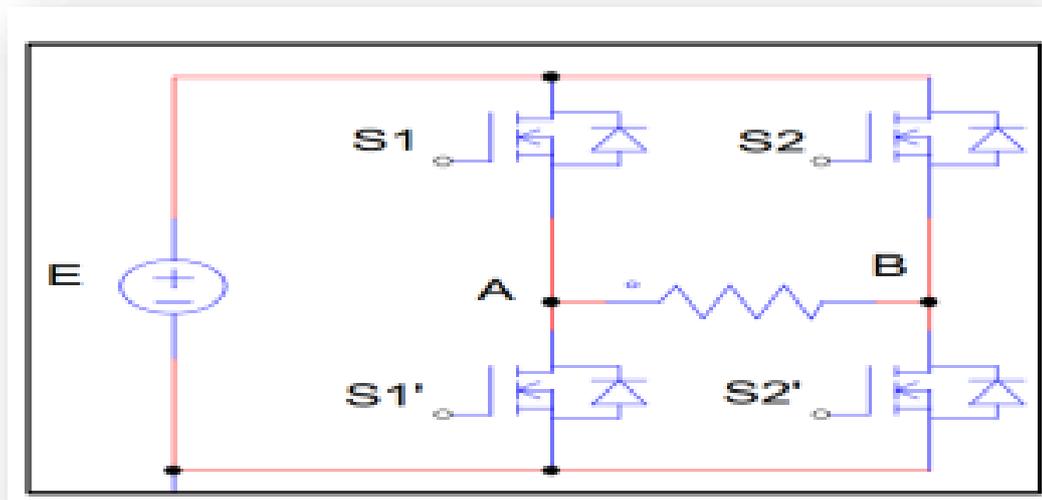


Figure 14 Schéma de principe de l'onduleur monophasé (15)

B. Onduleur triphasé :

L'onduleur de tension triphasé est composé de trois bras. Chaque bras a deux interrupteurs bidirectionnels, qui fonctionnent de manière complémentaire pour éviter le court-circuit de la source de tension continue à l'entrée de l'onduleur, ou l'ouverture de la charge de l'onduleur considérée comme une source de courant (figure (15)).

L'interrupteur bidirectionnel peut être réalisé par un transistor de puissance en antiparallèle avec une diode de puissance. La source de tension continue à l'entrée de l'onduleur peut être obtenue à la sortie d'un redresseur lié à un réseau alternatif, en passant par un filtre capacitif. La charge de l'onduleur est un moteur asynchrone (16)

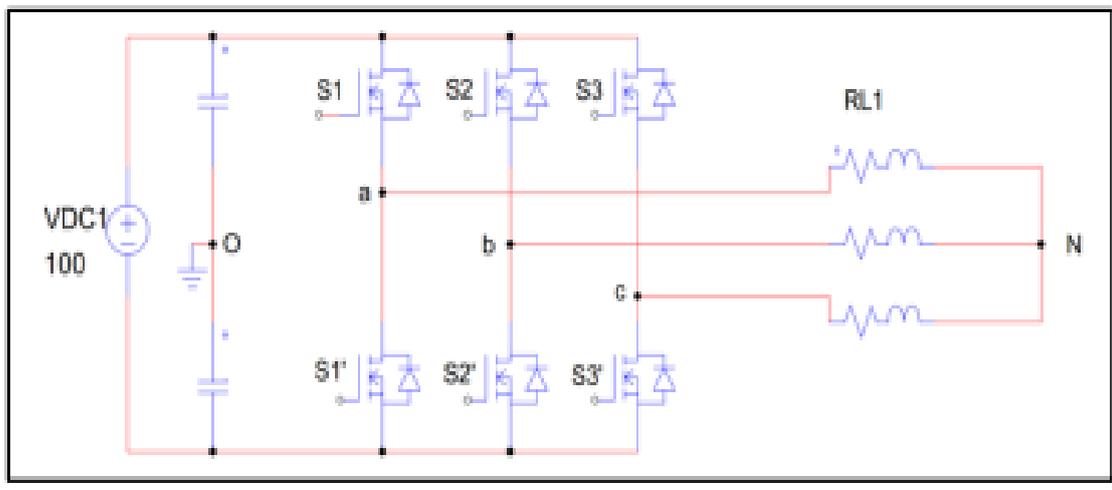


Figure 15 Schéma d'onduleur de tension triphasé (16)

II.3 L'onduleur couplé au réseau

Un onduleur est un convertisseur statique qui permet la transformation de l'énergie de type continue, produit par les modules solaires en une énergie alternative conforme à celui du réseau. [19]

II.3.1. Convertisseur DC/AC couplé au réseau :

Le convertisseur est alimenté par la puissance DC du générateur photovoltaïque ou la batterie. A la sortie, on récupère la puissance AC qui sera utilisée pour les charges alternatives ou injectée dans le réseau. (14)

La majorité des onduleurs, pour les applications photovoltaïques, peuvent être classifiés en trois catégories :

- **onduleurs à fréquence variable** : qui sont utilisés pour les systèmes autonomes surtout dans les systèmes photovoltaïques de pompage,
- **onduleurs auto- commutatif à fréquence fixe.**
- **onduleurs à fréquence fixe (redresseurs qui fonctionne en régime onduleurs).**

L'onduleur assume une fonction de liaison directe avec le réseau électrique et il est susceptible de causer de graves dommages. De ce fait, il doit donc répondre à des impératifs concernant la qualité du courant (tension, fréquence, déphasage), la sécurité (risque de production sur le réseau lorsque ce dernier est coupé) et de fiabilité (les performances ne doivent pas diminuer dans le temps). (14)

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

II.3.1.1. Technologie de couplage des onduleurs au réseau :

L'installation d'un onduleur couplé au réseau électrique se fait soit en :

- onduleurs modulaires (module inverter),
- onduleurs centralisé (central inverter),
- onduleurs « String » ou « de Rangée ». (17)

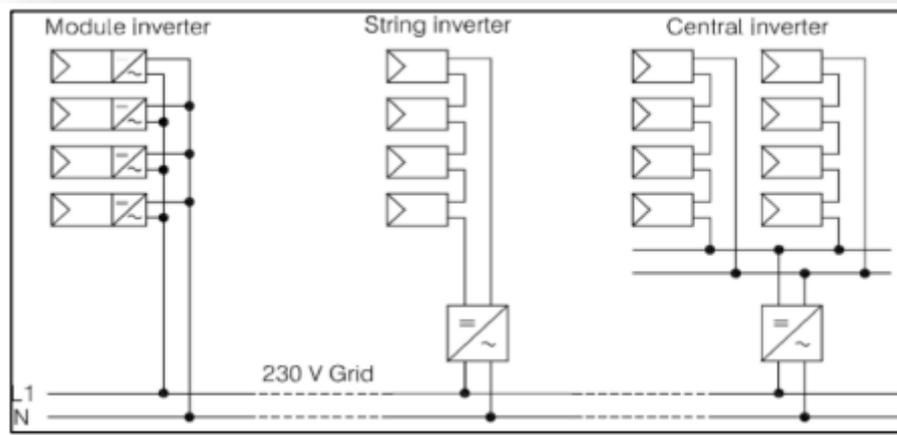


Figure 16 Classification des onduleurs PV connecté au réseau (17)

II.3.1.1.1- Onduleurs modulaires

Suivant ce concept, chaque module solaire dispose d'un onduleur individuel. Pour les installations plus importantes, tous les onduleurs sont connectés en parallèle côté courant alternatif. Les onduleurs modulaires sont montés à proximité immédiate du module solaire correspondant.

II.3.1.1.2- Onduleurs centralisés

Le champ de cellules solaires est en règle générale constitué de plusieurs rangées connectées en parallèle. Chaque rangée est elle-même constituée de plusieurs modules solaires connectés en série. Pour éviter les pertes dans les câbles et obtenir un rendement élevé, on connecte le plus possible de modules en série.

II.3.1.1.3- Onduleurs « String » ou de « Rangée »

L'onduleur String est le plus utilisé. Le plus souvent, huit (ou plus) de modules solaires sont connectés en série. Comme une seule connexion série est nécessaire, les coûts d'installation sont réduits. Il est important de noter qu'en cas d'ombrage partiel des modules solaires, il n'y a

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

pas de perte, l'emploi de diodes de by-pass est fortement recommandé. (17)

Pour une puissance plus élevée, il est possible de connecter plusieurs onduleurs String en parallèle, côté courant alternatif. L'intérêt dans ce concept est d'utiliser un plus grand nombre d'onduleurs du même type. Cela réduit les coûts de production et apporte un intérêt supplémentaire : si un onduleur tombe en panne, seule la production de la rangée concernée est défaillante. (17)

II.3.2. Les systèmes PV connectés au réseau sans batterie

Ces systèmes sont ainsi conçus pour fonctionner en parallèle et en interconnexion avec le réseau public d'électricité. Le principale composant de ce type de système est l'onduleur. (17) Il convertit la puissance continue obtenue à partir des modules PV en puissances alternatif en respectant les conditions de qualité de la tension et de la puissance exigées par le réseau. Une interface bidirectionnelle est placée entre la sortie du système PV et le réseau constitué par un panneau de distribution. Cela permet de produire une puissance alternative à partir du système PV soit en alimentant directement toutes les charges électriques, soit en injectant le surplus d'électricité dans le réseau électrique lorsque les besoins sont plus importants la nuit ou par faible ensoleillement durant les périodes où les besoins des consommateurs sont supérieurs à la production, l'équilibre énergétique peut être ainsi obtenue.

Lorsque le réseau est à l'arrêt, le système PV est automatiquement coupé et déconnecté du réseau à partir du panneau de distribution. Ce facteur de sécurité supplémentaire est exigé pour s'assurer que la centrale PV est coupée du réseau lorsque celui-ci est hors service pour raison de maintenance ou autre (cette fonction est appelée îlotage ou islanding). (17)

II.3.3. Plage de tension MPPT d'un onduleur photovoltaïque

Les onduleurs photovoltaïques disposent d'un système intégré permettant de détecter et de se caler sur le point de puissance maximum du groupe photovoltaïque. Ce système s'appelle le MPPT (Maximale Power Point Tracking). Le MPPT force donc le générateur à travailler à son Maximum Power Point (MPP), induisant une amélioration globale du rendement du système de conversion électrique. (18)

Cependant, le système MPPT ne fonctionne que pour une plage de tension d'entrée d'onduleur définie par le fabricant.

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

Dans la figure ci-dessous (onduleur PowerOne PVI-10.0 OUTD), la plage de tension MPPT est [300 V ; 750 V] :

CARACTÉRISTIQUES	PVI-10.0-OUTD	PVI-12.5-OUTD
PARAMÈTRES D'ENTRÉE		
Puissance nominale DC (Kw)	10,3	12,8
Puissance DC maxi conseillée (Kw)	11,4	14,3
Plage de tension d'entrée (V)	0,7x tension d'entrée - 850 (580 nominal)	
Plage de tension d'entrée pour pleine puissance (V)	300-750	360-750
Tension d'entrée pleine puissance asymétrique (V)	360-750 (@ 6,5kW) / 216-750 (@ 3,9kW)	445-750 (@ 8kW) / 278-750 (@ 5kW)
Tension d'entrée maximum (V)	900	
Tension d'activation VSTART (V)	360 nominal (ajustable entre 250Vdc-500Vdc, indépendamment /chaque entrée)	
Nombre de MPPT indépendant	2	
Puissance maximum d'entrée sur chaque MPPT	6,5	8
Nombre d'entrées DC	4/6 (2/3 sur chaque MPPT, fusibles optionnels)	
Courant maximum Dc sur chaque MPPT (A)	18 (22 court circuit)	
Connection DC	8/12 x MultiContact Ø 4mm (4/6 males - entrée positive + 4/6 femelles - entrée négative) Contre connecteurs de montage inclus section des câbles conducteur: Solid / Stranded 4-6mm ² /AWG12-10 - Câble Ø w/insulator: 3-6mm	

Figure 17 Onduleur PowerOne PVI-10.0 OUTD (18)

Lorsque la tension d'entrée de l'onduleur côté CC est inférieure à la tension minimale MPPT, l'onduleur continue de fonctionner mais fournit au réseau la puissance correspondante à la tension minimale MPPT.

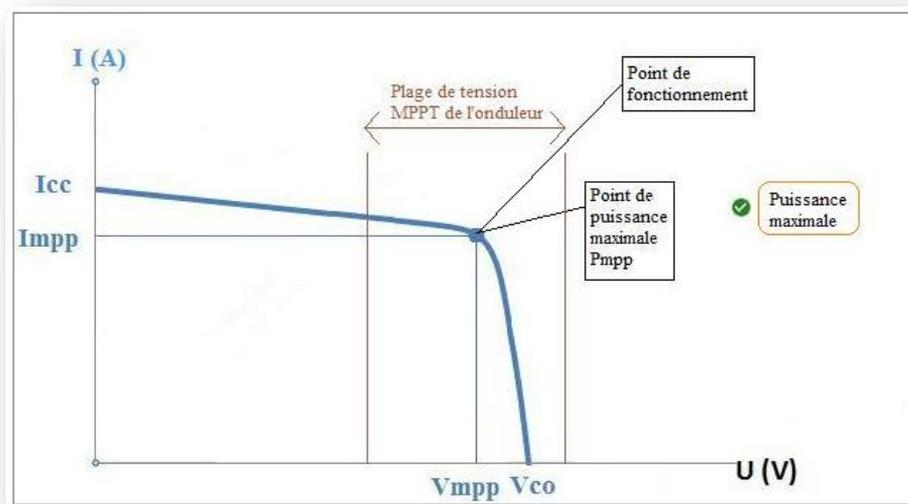


Figure 18 la tension d'entrée de l'onduleur côté CC est inférieure à la tension minimale MPPT (18)

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

Lors du dimensionnement des onduleurs, il faudra tenir compte de cette plage de tension MPPT, au risque de provoquer une perte de production du groupe photovoltaïque. (18)

II.3.4. Avantages et inconvénients du système photovoltaïque connecté au réseau

II.3.4.1 Avantages

- Ils n'ont pas besoin de stockage d'énergie et éliminent donc le maillon le plus problématique (et plus cher) d'une installation autonome. C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie.
- Il n'y a pas de gaspillage, tout excédent est livré au réseau, particulièrement intéressant pendant les périodes d'absence de son domicile, pendant le week-end, pendant les vacances quand les modules continuent à travailler. On évite les pertes d'énergie associées au stockage en batterie lorsque la batterie est complètement chargée par exemple.
- On n'est pas obligé de calculer méticuleusement ses besoins en électricité, et de prévoir des niveaux de demande exceptionnellement très élevés, même si très rares.
- On peut commencer petit et agrandir par la suite sans problèmes de dimensionnement compliqués.
- On peut satisfaire à une partie ou à la totalité de ses besoins. (19)

II.3.4.2 Inconvénients

- La consommation risque de redevenir relativement invisible et on pourrait retomber dans le piège de la consommation irréfléchie.
- Les contraintes électriques imposées par les sociétés d'électricité peuvent être rigoureuses, et les onduleurs synchrones doivent répondre aux exigences techniques des compagnies de production et de transport d'énergie.

II.3.4.3. Protections d'onduleur

En amont :

- coffret de raccordement ininflammable contenant les diodes anti-retour, les dispositifs de protection contre les surtensions, les parafoudres et le sectionneur

En aval :

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

- coffret de raccordement ininflammable contenant les dispositifs de protection contre les surtensions, les parafoudres et le sectionneur. (20)

II.4. Travail Pratique :

II.4.1. Les information technique de centrale :

Le sous-champ à 30 matrices, chaque matrice se compose de 44 panneaux divisés en 2 chaînes, chaque chaîne se compose de 22 panneaux raccordés en série.

Toutes les 8 chaînes sont connectées à une boîte de jonction, chaque 3 boîte de jonction sont connectées à une boîte parallèle et toutes les 4 boîtes parallèles sont connectées à une boîte générale située dans un onduleur.

II.4.1.1. Station de météo :

La station de météo sert à mesurer les paramètres météorologiques typiques tels que la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent, la pression atmosphérique, le rayonnement solaire et les précipitations.



Figure 19 la station de météo

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

II.4.1.2. Panneaux solaires photovoltaïques :

Les panneaux sont composés de silicium, d'une surface de verre, d'un cadre en aluminium et d'une boîte câble.



Figure 20 Le module photovoltaïque (en avant et arrière)

Les panneaux sont en silicium poly cristallin, orientés vers le plein sud, et d'une inclinaison de 27°C.

Le module photovoltaïque est mesuré à un spectre solaire AM1.5G, une irradiation 1000 W/m^2 et une température cellule de 25°C (conditions standards).

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

Caractéristique :

Tableau 4- Caractéristiques électriques des panneaux en silicium poly-cristallin

Marque	YINGLI SOLAR
Type de module	YL245P-29b
Classe d'application	A
Puissance mesurée (W)	245
Tension mesurée (V)	29,6
Courant mesuré (A)	8,28
Fusible série Max (A)	15
Tension à circuit ouvert (V)	37,5
Courant de court-circuit (A)	8,83
Tension système max (V)	1000

II.4.1.3. Câblage :

II.4.1.3.1. Boîte de raccordement :

Les boîtes jonctions et les boîtes parallèles sont organisées en sous-champs.

Leurs fonctions sont les suivantes :

- Connecter les chaînes du panneau entre elles
- Protéger les chaînes du panneau et les travailleurs des risques électriques et atmosphériques
- S'assurer que la puissance générée est livrée à la station de conversion.

a. La boîte jonction :



Figure 21 La boîte de jonction

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

Tableau 5–Caractéristiques électriques de boîte jonction

Marque	SUNGROW
Model	PVS-8M
N/S	A1411040513
Date de fabrication	2014/11/04
Tension maximum	1000V
Max. No° de l'entree DC	8
Fusible	15A
Max. courant de sortie	125A
Max. courant continu de sortie	106A
Protection IP	IP65
Temperature ambiante	-25°C to +60°C

b. La boîte parallèle :



Figure 22 La boîte parallèle

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

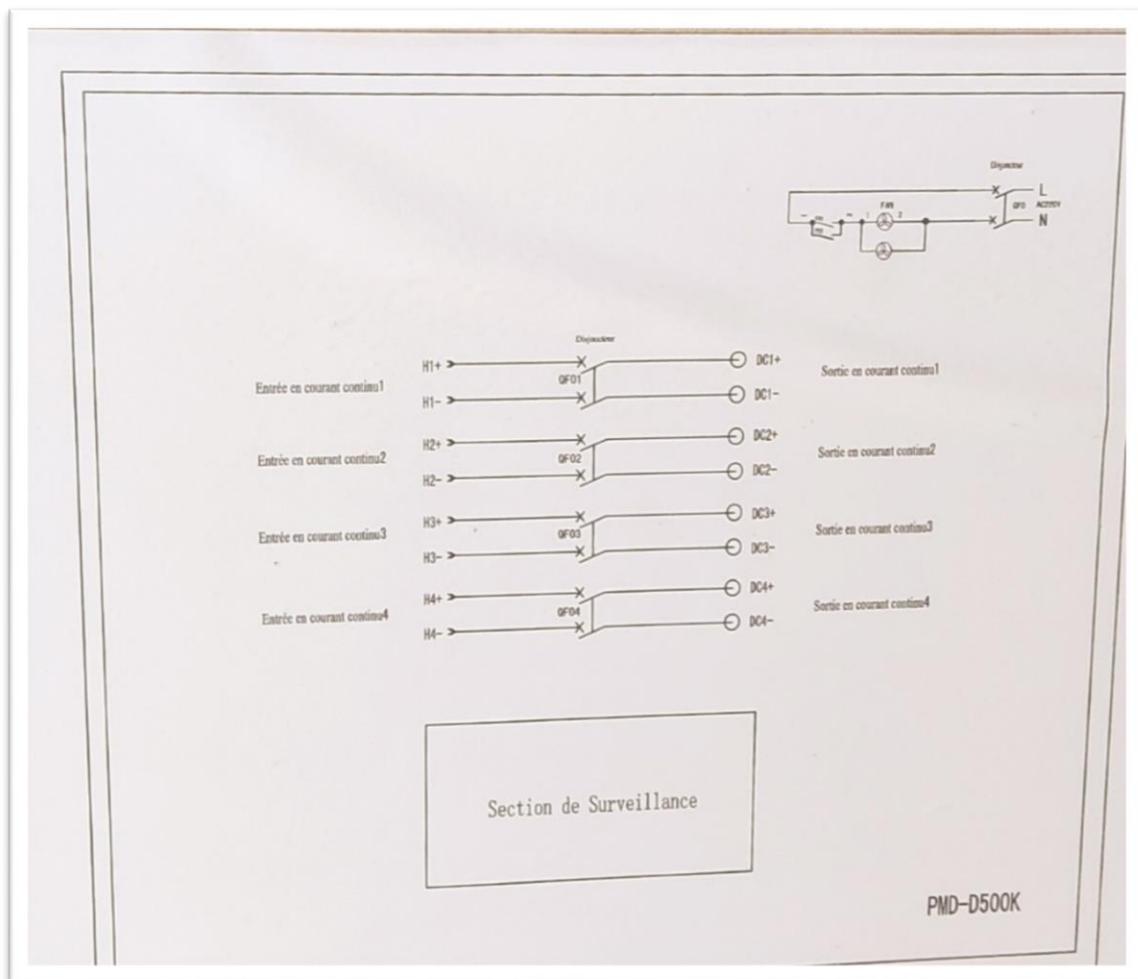


Figure 23 Schéma de la boîte parallèle

Tableau 6–Caractéristiques électriques de la boîte parallèle

Marque	SUNGROW
Modèle	PMD-D125K
Puissance nominale	125 Kw
Tension maximum DC	1000 V
Max. No de l'entrée DC	4
Protection IP	IP 65
Température ambiante	-25°C à +60°C

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

c. La boîte générale :



Figure 24 La boîte générale

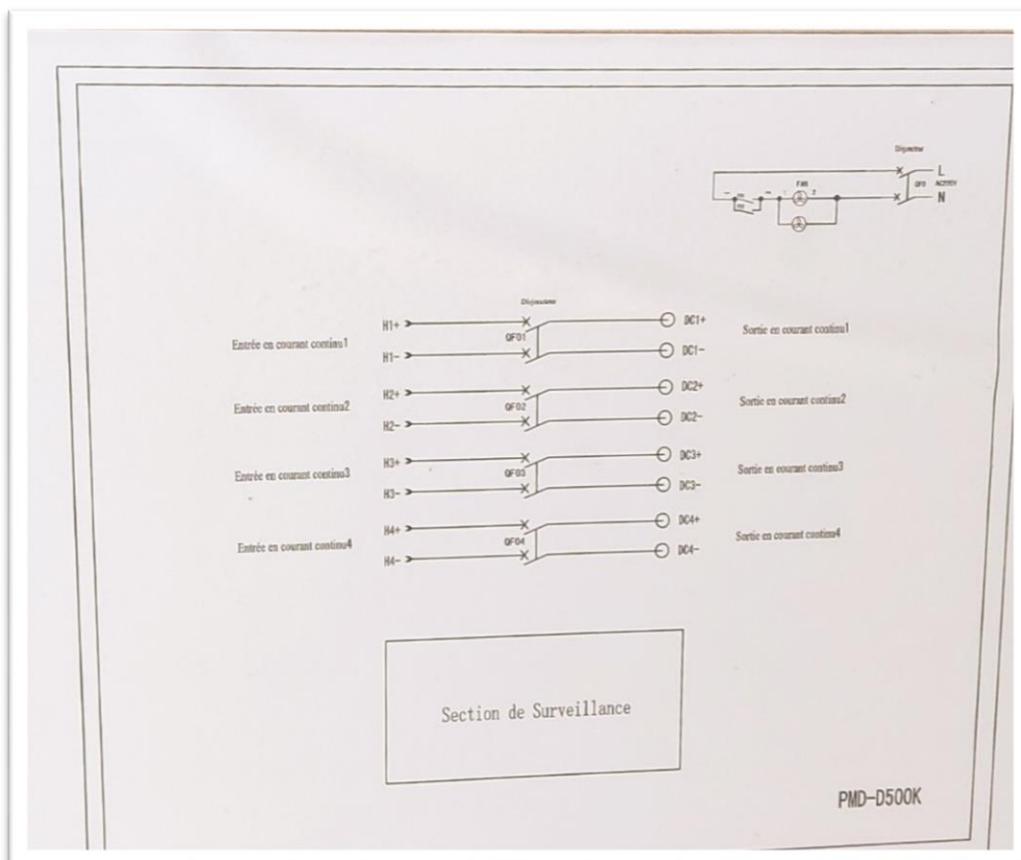


Figure 25 Schéma de la boîte générale

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

Tableau 7- Caractéristiques électriques de la boîte générale

Marque	SUNGROW
Modèle	PMD-D500K
N/S	A1409024534
Date de fabrication	08/09/2014
Puissance nominale	500 kW
Tension maximum DC	1000 V
Max. No de l'entrée DC	4
Protection IP	IP 20
Température ambiante	-25°C à +60°C
Poids net	230 kg

II.4.1.4. Poste de conversion (onduleur/transformateur élévateur) :

Ce poste joue un rôle essentiel dans le fonctionnement de centrale et se caractérise par :

- Convertir le courant continu en courant alternatif.
- Protéger les circuits de distribution de courant continu et les travailleurs contre les risques électriques et atmosphériques.
- Générer un courant alternatif de haute qualité puissance.
- Convertir la basse tension en moyenne tension.

II.4.1.4.1 Onduleur :

Plusieurs composants sont implantés au sein de l'abri pour assurer une mise en réseau et un fonctionnement fiable, sûr et permanent. Ces composants sont : 2 onduleurs, 2 boîtes générales, contrôleur de sous-champ local, unité de distribution. La boîte générale est en bas et la boîte de distribution est en haut de l'onduleur A, l'unité de commande est au-dessus de l'onduleur B. (figure II.14)

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

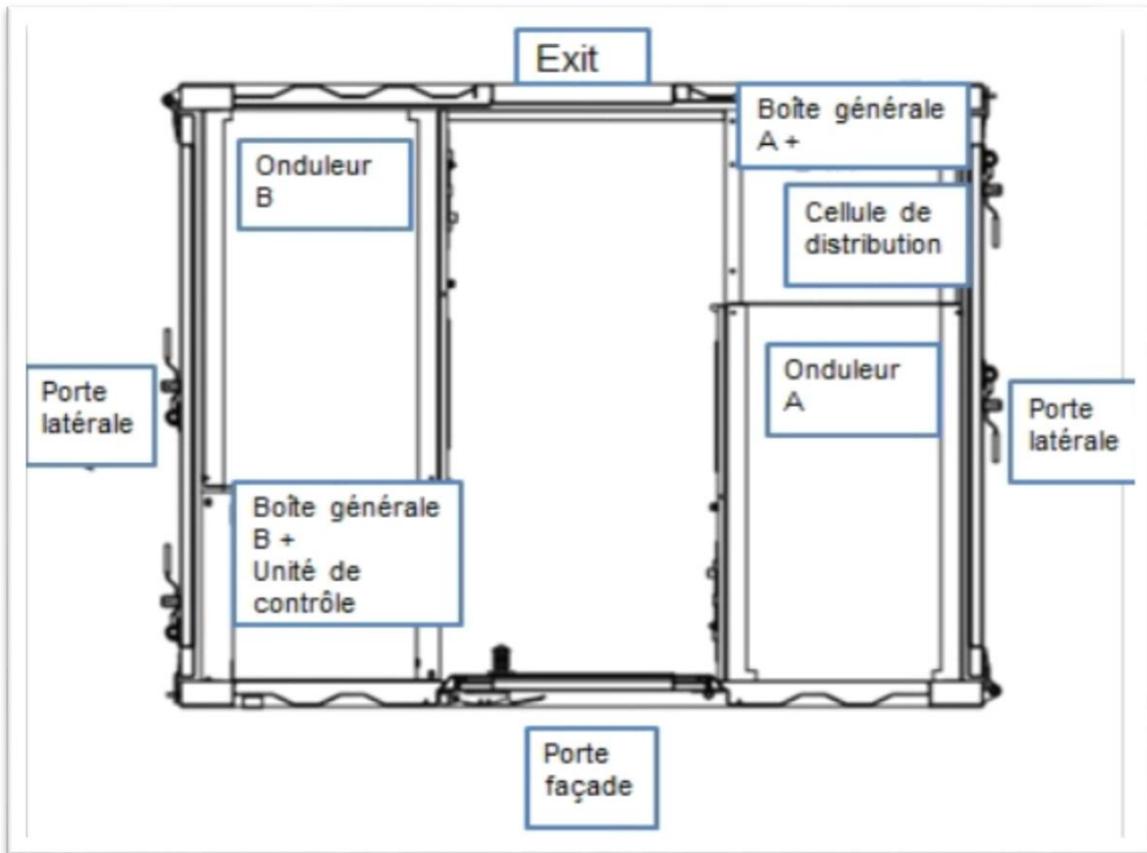


Figure 26 Disposition de l'onduleur



Figure 27 l'onduleur on intérieur et dehors

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau



Figure 28 d'écran de communication et affichage dans l'onduleur dans deux dates déferent



Figure 29 Système de protection dans l'onduleur

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

Tableau 8 –Caractéristiques électriques de l'onduleur

Marque	SUNGROW
Type	SG500MX
Classe de protection	I
Protection IP	IP21
Température de fonctionnement	-30°C à +55°C
Entrée – DC	
Tension max. (V)	1000
ISC (A)	1344
Tension VMPPmin. (V)	500
Tension VMPPmax. (V)	850
Courant d'entrée max. (A)	1120
Catégorie de surtension	II
Sortie – AC	
Puissance de sortie nominale (kW)	500
Tension de sortie nominale (V)	3 315
Fréquence de sortie nominale (Hz)	50
Courant de sortie max. (A)	1008
Facteur de puissance	[-0,9 -1] [0,9 1]
Catégorie de surtension	III
Classe de protection	I
Protection IP	IP21
Température de fonctionnement	-30°C à +55°C

II.4.1.4.2. Transformateur (élévateur) :

Un équipement électrique important dans le système de transformation et de transport d'échange. Il convertit la base tension BT en haute tension HT.

L'appareil est entouré l'enceinte de l'abri est équipée de ventilateurs à jet thermique sur les quatre côtés fonctionne la température (radiation de chaleurs). Le transformateur placé avant et après on trouve boucle et une unité de distribution (cellule).

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau



Figure 30 Le Transformateur élévateur de dehors les deux côtés



Figure 31 l'intérieur de transformateur les deux côtés

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

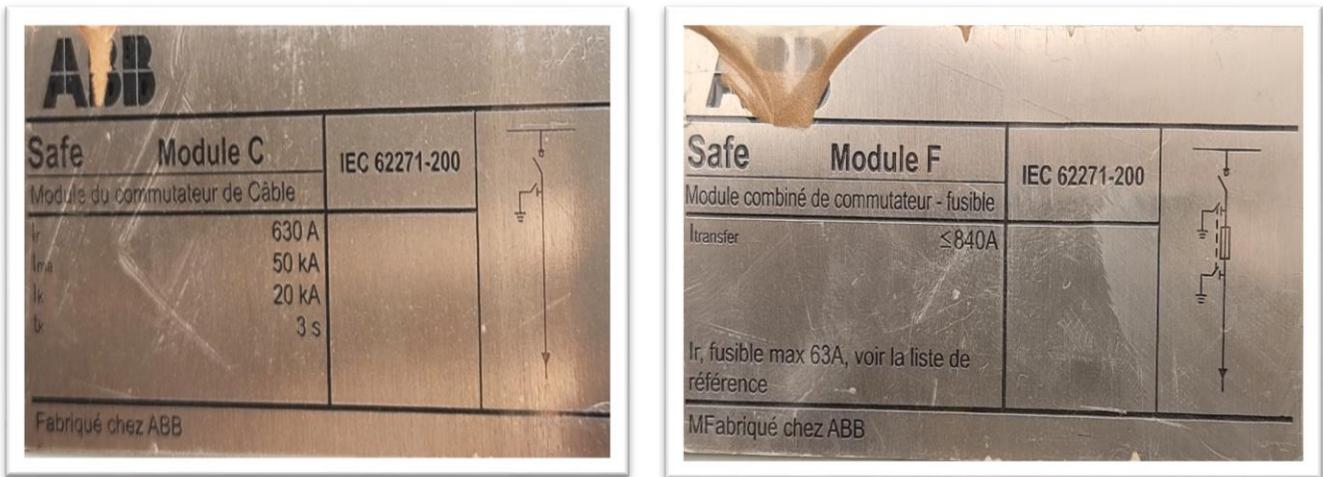


Figure 32 de caractéristique de module C et F dans le transformateur

Tableau 9–Caractéristiques électriques du transformateur principal

Marque	SUNTEN
Type	SCLB10-1250/30/2 × 0, 315
No de série	D173
Code du produit	ASEB2452-6D
Classe thermique	F
Normes	IEC60076-11
Repère du group d'accouplement	Dy11y11
Valeur limité d'augmentation de température	100K
Capacité nominale	1250kVA
Fréquence nominale	50Hz / 3Phare
Indice de protection	IP 00
Mode de refroidissement	AN/AF
Condition d'utilisation	Type intérieur
Poids total	4960kg
Date de fabrication	10/2014
Classe climatique	C2
Niveau environnemental	E2
Classe de performance de combustion	F1
Coté primaire	
Tension nominale (V)	30000
Courant nominale (A)	24,1
Impédance de court-circuit (%)	6,28
Coté secondaire	
Tension nominale (V)	315/315
Courant nominale (A)	1146/1146
Niveau d'isolation	
Borne de ligne HT LI/AC 170/70kV	Borne de ligne BT LI/AC 20/10kV

Chapitre II : Onduleurs connectés au réseau

II.5. Conclusion :

Nous avons étudié les systèmes photovoltaïques dans ce chapitre, qui se caractérisent par des dispositifs et des techniques spéciaux dans lesquels les modules photovoltaïques sont connectés ensemble pour former des générateurs photovoltaïques, donc lorsque nous mesurons la tension générée, les modules photovoltaïques doivent être collectés de chaque panneau en série.

Le courant généré par chaque panneau, il a un onduleur qui convertit le courant continu en courant alternatif. En plus du transformateur élévateur qui relie le système photovoltaïque au réseau.

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

III.1 INTRODUCTION:

Au niveau mondial, le marché des systèmes photovoltaïques connaît, depuis maintenant plus de 10 ans, un taux de croissance très élevé, de l'ordre de 30 à 40% par an. Cette croissance exceptionnelle, due principalement aux systèmes photovoltaïques raccordés au réseau de distribution d'électricité, se traduit bien évidemment par des innovations technologiques et une baisse de coûts des modules photovoltaïques mais aussi à des efforts importants de recherche et développement dans le domaine de l'électronique de puissance. L'objectif dans ce chapitre est de mieux faire connaître ces appareils d'électronique de puissance en présentant leur principe de fonctionnement, leur commande.

III.2 Principe de fonctionnement de la production photovoltaïque injecté au réseau :

L'installation photovoltaïque prévue pour un raccordement réseau se compose des éléments suivants :

- Un champ de panneaux
- Une structure pour le recevoir, (sauf dans le cas de tuiles solaires sur un toit).
- Un onduleur.
- Des boîtiers de protection en amont et en aval de l'onduleur.(voir la figure 2.1)

Les panneaux solaires produisent de l'électricité en courant continu. Pour pouvoir être injectée sur le réseau, cette électricité doit être transformée en courant alternatif. Cette fonction est assurée par l'onduleur : il convertit le courant continu des modules en courant alternatif correspondant parfaitement au courant du réseau. Les boîtiers placés de part et d'autre de l'onduleur assurent la protection de l'installation : le coffret DC côté courant continu, le boîtier AC côté courant alternatif.

L'onduleur est une micro-centrale de production. Il vérifie que le réseau est aux normes (en Algérie 50 Hz +- 0.2 Hz, et 220 V +- 10%) et injecte dès que c'est le cas. Il aligne alors son courant sur le courant du réseau (la tension du courant alternatif varie en suivant une courbe sinusoïdale, l'onduleur aligne la courbe de son courant sur cette courbe), et il augmente la tension de production jusqu'à ce que la totalité de ce qu'il produit s'écoule dans le réseau. A noter : en injection réseau classique si le courant du réseau est coupé, l'onduleur ne produit pas. (21)

III.3. Les Différentes types des injections système PV au réseau électrique :

Le courant produit est injecté sur le réseau (en totalité ou en partie après que vous ayez prélevé votre consommation instantanée, voir ci-dessous, options de raccordement). On parle donc de revente totale ou de revente partielle dans les contrats qui sont proposés aux particuliers. (20)

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

- **Injection de la totalité de la production :** Vente de la totalité de l'électricité produite. Lorsque l'énergie produite par les modules est directement injectée sur le réseau électrique. Les périodes d'injections sur le réseau correspondent aux périodes de production photovoltaïque.

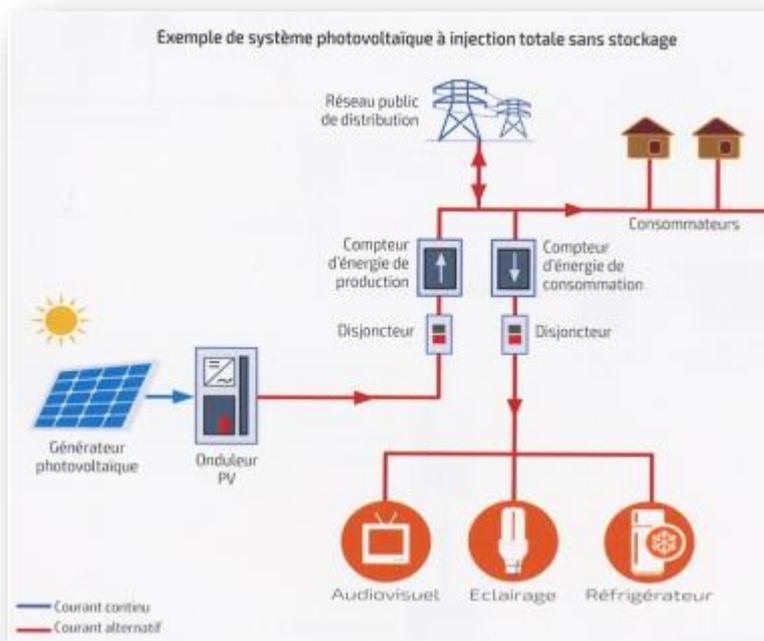


Figure 33 Système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage (20)

- **Injection du surplus de production (Autoconsommation)** L'énergie produite par les modules est directement consommée sur place par les charges. L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation instantanée est injecté sur le réseau (la figure 2). (20)

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

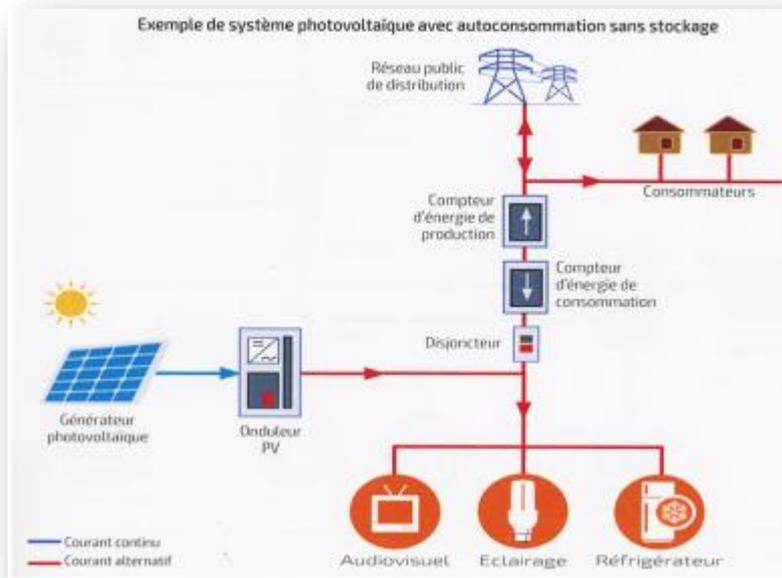


Figure 34 Injection du surplus de production (Autoconsommation) (20)

III.4. Interaction entre le réseau de distribution et les systèmes PV :

La filière photovoltaïque, dont le développement est soutenu par les pouvoirs publics (lutte contre le changement climatique, augmentation de la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique, soutien de la filière industrielle, ...) possède des caractéristiques spécifiques :

- La puissance de production des installations varie de quelques kW à plusieurs MW.
- Le nombre de producteurs peut devenir à terme très important,
- La plupart des raccordements sont réalisés sur la partie basse-tension du réseau public de distribution
- Les installations comportent des convertisseurs statiques (pas de machines tournantes)
- Les équipements (onduleurs et modules) disponibles sur le marché sont variés,
- La production d'énergie est naturellement intermittente. (13)

III.5. Influence des systèmes photovoltaïques sur le réseau de distribution :

Dans le passé, les réseaux de distribution se comportaient comme des éléments passifs dans lesquels les flux de puissance s'écoulaient de manière unidirectionnelle du poste source vers les consommateurs finaux. Du fait de l'insertion des productions décentralisées, les flux de puissance et les tensions sont impactés non seulement par les charges mais aussi par les sources. Par suite de ces spécificités techniques des installations photovoltaïques, le raccordement des systèmes PV au réseau peut avoir des impacts importants sur son fonctionnement. Les influences les plus significatives des systèmes PV sur le réseau de distribution sont les suivantes :

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

III.5.1. Influence sur le plan de tension

La présence de générateurs PV a une influence sur le plan de tension et sur les dispositifs de réglage du réseau. La tension varie en fonction des injections de puissances active et réactive sur le réseau. En particulier pendant une période de fort ensoleillement et de faible consommation, la tension de certains nœuds du réseau peut dépasser le seuil admissible. Une étude de l'université d'agriculture et technologie de Tokyo montre que, dans la localité d'Ota City qui concentre quelques 550 installations PV, l'injection d'énergie sur le réseau fait croître la tension jusqu'à un seuil provoquant le découplage de certains systèmes, notamment en fin de semaine lorsque la consommation est faible. (15)

III.5.1.1. Influence sur le plan de protection :

La contribution des systèmes PV au courant de défaut dans le réseau de distribution a des conséquences faibles sur le plan de protection. Mais la sélectivité et la sensibilité des protections du réseau peuvent être affectées et provoquer le déclenchement intempestif du départ sain ou l'aveuglement de la protection du départ en défaut. (15)

III.5.1.2. Injection d'harmoniques de courant :

La présence d'interfaces électronique de puissance peut injecter des harmoniques de découpage au réseau si les onduleurs ne sont pas munis de filtres efficaces. Les onduleurs actuels contribuent tout de même à l'augmentation des harmoniques de courant car ils fonctionnent le plus souvent à puissance réduite (un appareil fonctionnant à puissance réduite ne peut fournir la même qualité de courant qu'à puissance nominale), ainsi les THD sont plus importants. Les conséquences de ces harmoniques peuvent être instantanées sur certains appareils électroniques : troubles fonctionnels (synchronisation, commutation), disjonctions intempestives, erreurs de mesure sur des compteurs d'énergie. (15)

III.5.1.3. Injection de courant continu au réseau :

Une étude montre que les onduleurs actuels (avec transformateur haute fréquence et avec ou sans transformateur basse fréquence) injectent une composante continue dans le réseau.

La présence de courants DC dans les réseaux de distribution peut affecter le bon fonctionnement des dispositifs de coupure différentiels, créer des erreurs sur les compteurs d'énergie, affecter la durée de vie des composants du réseau, notamment à travers une augmentation de leur corrosion et enfin contribuer à une saturation des transformateurs. (15)

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

III.5.1.4. Déséquilibre entre phase :

L'insertion des systèmes PV engendre un déséquilibre entre phases en cas d'utilisation d'onduleurs monophasés. Si la puissance produite n'est pas correctement répartie entre les 3 phases d'un même système PV triphasé, alors ce système va contribuer à déséquilibrer le réseau BT. Ce phénomène a été mis en évidence dans plusieurs études. Donc, toutes les influences citées ci-dessus nuisent gravement à la qualité de service fournie. (15)

III.5.1.4.1 Influence sur les pertes dans les réseaux de distribution :

Une étude a montré que les fermes PV de plusieurs MW, généralement raccordées sur des départs HTA, conduiraient à une augmentation des pertes et que les installations PV de type résidentiel, plus proches des lieux de consommation, permettraient de l'est réduire. (15)

III.5.1.4.2 Influence du réseau de distribution sur le fonctionnement des installations photovoltaïques :

Les caractéristiques, le fonctionnement et les perturbations des réseaux de distribution peuvent influencer le fonctionnement normal des systèmes PV. Ceci provient généralement, soit des caractéristiques intrinsèques des réseaux de distribution, soit de la qualité de tension dégradée par d'autres utilisateurs du réseau, soit d'une association de ces deux causes. Ces effets entraînent généralement des découplages injustifiés des onduleurs. Les influences du réseau de distribution sur le fonctionnement des installations photovoltaïques peuvent se résumer comme suit. (15)

III.5.2.1. Régime de neutre et courants de fuite :

Le régime de neutre utilisé en basse tension est de type TT. Avec ce régime de neutre, la protection des personnes s'effectue à l'aide de disjoncteurs ou d'interrupteurs différentiels qui ont pour fonction de s'ouvrir en cas de fuite de courant. Les installations PV peuvent produire des courants de fuite du fait des caractéristiques capacitatives des panneaux, et des onduleurs (capacités des filtres EMC) Ces capacités en présence d'une composante alternative sur le circuit à courant continu engendrent des courants de fuite dans la liaison de mise à la terre. Ces courants de fuite peuvent être d'amplitude importante et devenir potentiellement dangereux pour les personnes en cas de contact direct avec le fil de terre. De plus, ils peuvent provoquer le déclenchement intempestif des disjoncteurs différentiels. (15)

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

III.5.2.2 Niveau de tension du réseau :

Le niveau initial (hors PV) de tension du réseau est un paramètre clé vis-à-vis du dimensionnement et du fonctionnement des installations PV et les types de protection de découplage. (15)

III.5.2.3. Creux de tension et tenue des systèmes PV :

Les creux de tension sont considérés comme les plus graves perturbations de la qualité de service en raison de leurs effets sur les processus sensibles. Il s'agit d'une baisse brutale de la tension en un point d'un réseau électrique, à une valeur comprise entre 10% et 90% suivie d'un rétablissement de la tension après un court laps de temps allant de 10ms à quelques secondes .

III.5.2.4 Présence de composante continue et d'harmoniques de tension :

Les onduleurs pour systèmes photovoltaïques hachent le courant continu issu des modules photovoltaïques en modulation à largeur d'impulsion (MLI ou PWM pour "Pulse Width Modulation") pour le convertir en courant alternatif sinusoïdal. Le fonctionnement des onduleurs sans transformateur peut être affecté par une asymétrie des tensions du réseau (déformation de la sinusoïde par addition d'harmoniques paires), par exemple en présence d'harmoniques issues de charges non-linéaires, qui se traduirait par l'ajout d'une composante DC dans la tension injectée par l'onduleur.

III.5.2.5. Inter harmoniques :

Les inter-harmoniques (fréquences qui ne sont pas un multiple entier de la fréquence du réseau) sont produits par des variations rapides des charges, ou la saturation des transformateurs. (15)

III.5.3. Comportement des systèmes photovoltaïques face au creux de tension :

Les installations PV raccordées aux réseaux de distribution peuvent causer les interactions, les impacts et les effets sur le réseau public de distribution. D'autre part, les caractéristiques intrinsèques des réseaux de distribution ainsi que les perturbations causées par les défauts sont l'origine de fonctionnements incorrects et de déconnexions intempestives des systèmes PV. C'est pourquoi, plusieurs études sont effectuées dans les différents laboratoires pour bien analyser ces impacts et proposer des solutions efficaces, susceptibles d'améliorer leur raccordement au réseau. Dans un réseau électrique, la tension peut varier temporairement sous l'effet des fluctuations de charge ou d'un court-circuit. Une augmentation brutale de la charge ou un court-circuit provoque un creux de tension dont la profondeur et la durée varient en fonction des caractéristiques du réseau et des groupes de production concernés. Actuellement, le comportement des systèmes PV face aux creux de

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

tension et la tenue des systèmes PV aux perturbations sous condition de défaut ont attirés plusieurs études dans le monde. Ces études montrent une grande sensibilité des onduleurs PV face au creux de tension, entraînant leurs déconnexions qui peut être intempestive. Pourtant, ces études n'ont pas systématiquement pris en compte tous les facteurs influençant le comportement d'un système PV. En effet, l'analyse du comportement des systèmes PV raccordés au réseau de distribution face au creux de tension causé par un court-circuit est très compliquée car elle dépend de la topologie de l'onduleur associé. Son système de contrôle/commande (ex : PLL courant limite de son système de contrôle).

- des types et de la position des défauts (triphase à la terre, triphasé au neutre, biphasé à la terre, biphasé au neutre, monophasé à la terre, monophasé neutre) ;
- de la topologie du réseau (BT/HTA urbain ou rural), des systèmes de protection (les fusibles ou disjoncteurs, avec ou sans système de ré-enclenchement)
- des systèmes de protection de découplage. (15)

III.6. Protection classique d'un générateur photovoltaïque :

La protection d'une installation photovoltaïque garantit la durée de vie d'une cellule photovoltaïque en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leurs fonctionnements. Pour cela, deux types de protection sont classiquement utilisés dans les installations photovoltaïques :

- la diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les GPV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit :
- les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant l'échauffement de la cellule, ce qui est susceptible de la détruire par claquage. Il convient donc de limiter la tension inverse maximale susceptible de se développer aux bornes d'une cellule en plaçant une diode parallèle (by-pass) au niveau de chaque

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

module, la diode parallèle limite la tension

inverse par sa tension directe puisqu'elle devient passante (22)

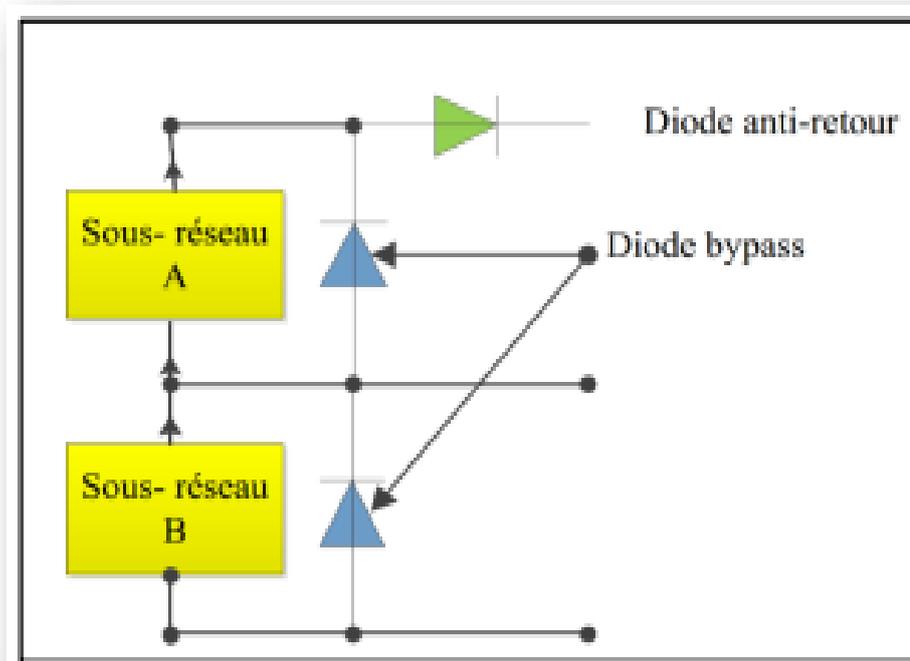


Figure 35 GPV élémentaire avec diodes by-pass et diode anti-retour (22)

III.6.1 Stabilité des systèmes :

La stabilité d'un système de puissance est la capacité d'un système d'énergie électrique, pour une condition de fonctionnement initiale donnée, de retrouver le même état ou un autre état d'équilibre proche après avoir subi une perturbation physique, en gardant la plupart des variables de système dans leurs limites, de sorte que le système entier reste pratiquement intact.

On dit qu'un système d'énergie électrique est stable si à la suite d'une perturbation, il peut passer d'un état ou régime stationnaire à un autre régime stationnaire en passant par le régime transitoire sans la perte du synchronisme suivant la nature et l'amplitude de la perturbation (23)

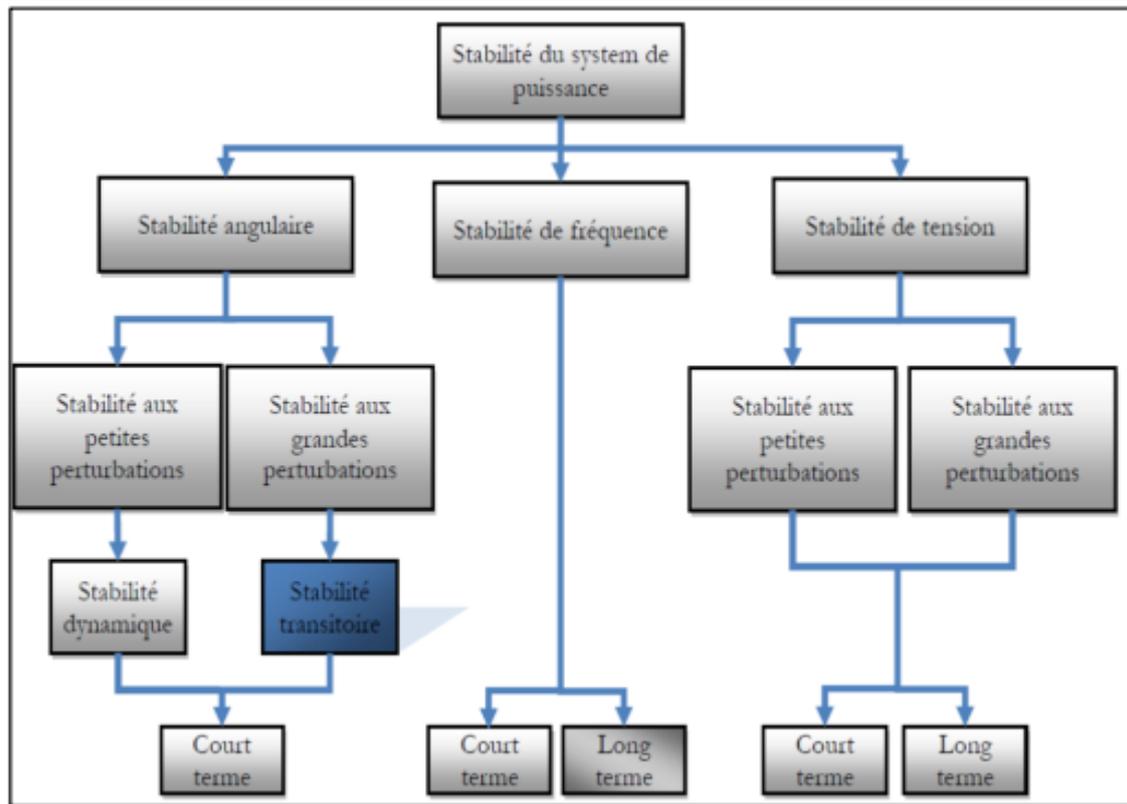


Figure 36 Schéma synoptique pour l'analyse de la stabilité du réseau (23)

III.6.2 Stabilité de tension :

La stabilité de tension est la capacité d'un réseau électrique à garder la tension de fonctionnement normal dans les limites admissibles à tous les jeux de barres, après avoir été soumis à une perturbation, pour une condition de fonctionnement initiale donnée. (23)

Le facteur principal qui cause l'instabilité est l'inaptitude du système électrique de satisfaire la demande de la puissance réactive. L'instabilité résultante peut se produire sous forme de chute progressive ou élévation de la tension de quelques jeux de barres.

Les résultats possibles de l'instabilité de tension sont la perte de la charge dans un secteur,

ou déclenchement des lignes de transmission et même d'autres éléments, par leurs systèmes de protection à des pannes en cascades. (24)

III.6.3. Stabilité de fréquence :

La stabilité de fréquence est la capacité d'un système à maintenir sa fréquence proche de

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

sa valeur nominale suite à une perturbation sévère dans le réseau. Cette perturbation résulte d'un déséquilibre significatif entre la production et la charge. (23)

Cette stabilité dépend des capacités de maintenir ou restaurer l'équilibre entre la production et la charge, avec une perte minimale involontaire de la charge.

L'instabilité

Résultante se produit sous forme d'oscillations de la fréquence soutenue, menant au déclenchement des unités de production et/ou des charges pendant les variations de la fréquence. (24)

III.6.4. Stabilité angulaire :

La stabilité angulaire est la capacité d'interconnecter sur un réseau plusieurs sources tout

en garantissant le synchronisme. C'est un problème propre aux machines synchrones

alimentant les réseaux. (23)

Quand le système est perturbé, la puissance électrique de la machine varie rapidement, mais la variation de puissance mécanique fournie à la machine est relativement lente. En raison de cette différence de vitesse de réponse, un écart temporaire d'équilibre de puissance a lieu, Par conséquent, ce déséquilibre de puissance entraîne une variation des couples agissant sur le rotor, Ceci entraîne une accélération ou décélération du rotor selon le sens du déséquilibre, en entraînant une perte de synchronisme du générateur avec le reste du système. La stabilité angulaire, ou stabilité d'angle rétorque, se rapporte aux capacités des machines synchrones d'un réseau électrique interconnecté à rester dans le

synchronisme après avoir été soumis à une perturbation. (24)

III.6.5. Stabilité transitoire :

La stabilité transitoire d'un réseau d'énergie électrique est son aptitude à retrouver une

position d'équilibre stable après une perturbation brusque et de forte amplitude. Il s'agit

de déterminer le degré de sévérité de la perturbation au-delà duquel le retour au synchronisme n'est plus assuré. (23)

Les grandes perturbations qui peuvent affecter la stabilité transitoire du réseau sont :

- les court-circuit affectant un élément du réseau, notamment aux bornes des machines.
- la perte d'ouvrages.
- la perte de groupes de production.

III.6.6. Stabilité dynamique :

La stabilité dynamique est l'étude de l'évolution dynamique du système suite à une perturbation quelconque. L'oscillation en basse fréquence est causée par la dynamique de transmission de puissance entre les alternateurs et les réseaux de transport d'énergie électrique ainsi que par le manque d'amortissement du mode mécanique de réseaux électriques

interconnectés. Cette oscillation se produit quand la puissance transférée est relativement élevée par rapport à la capacité de transmission des lignes électriques. Elle se maintient pendant quelques minutes jusqu'à la séparation du réseau électrique interconnecté. (23)

III.7. Partie pratique :

III.7.1. Les information technique de centrale :

A. Poste d'évacuation MT :

Le dispositif de mesure et de contrôle assure la mesure de la production d'énergie. Ce sont des batteries métalliques scellées dans du gaz SF6 (figure III.6) et comprennent :

- Isolation SF6
- autobus fermé
- Système de contrôle BT
- Câblage étanche

Fonction matérielle :

- Convertir la moyenne tension en haute tension
- Protège les circuits de distribution AC et les opérateurs contre les risques électriques
- Connecter le système au réseau de distribution

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau



Figure 37 les armoires de poste d'évacuation MT de la centrale El-Hedjira Ouargla



Figure 38 de compteur de SF6 Gas

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

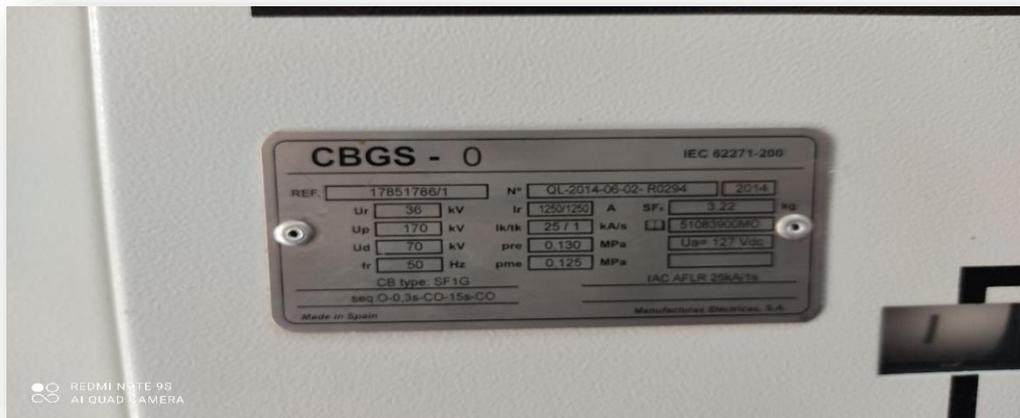


Figure 39 les caractéristiques d'armoire de poste évacuation MT



Figure 40 le matériel utilisé dans le poste d'évacuation

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau



Figure 41 le Système de commande de poste d'évacuation

Transformateur auxiliaire :



Figure 42 le transformateur auxiliaire



Figure 43 de caractéristiques de transformateur auxiliaire

A. La salle de contrôle :

La centrale photovoltaïque est équipée d'une salle de commande et de contrôle, qui est équipée du système de surveillance informatique de la centrale électrique sur la figure(III.12), et est le centre de la production, de l'exploitation et de la gestion de centrale. Le système surveille également tous les équipements de la centrale photovoltaïque (onduleurs, transformateurs, batteries moyenne tension, batteries de disjoncteurs, boîtes de jonctions, stations météorologiques, transformateurs auxiliaires).

Le système de contrôle est le composant principal de l'automatisation de centrale, avec des fonctions telles que la mesure de contrôle, la communication longue distance et la protection.



Figure 44 la salle de commande au centrale PV EL-Hedjira

B. Système de surveillance :

Au niveau du poste de commande et de contrôle, tous les équipements installés dans la centrale (onduleurs, transformateurs, batteries moyenne tension MT, disjoncteurs, boîtes de jonction, stations météorologiques, transformateurs auxiliaires) sont assurés. Le système de contrôle est la partie principale de l'automatisation. Le centre dispose de fonctions de contrôle et de mesure, de communication à distance et de protection. Le système adopte le logiciel SCADA NC2000 de la société chinoise Nari

C. Fonction matérielle :

- Surveille le fonctionnement et les performances de l'installation
- Permet une production optimisée (détection d'anomalies).

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

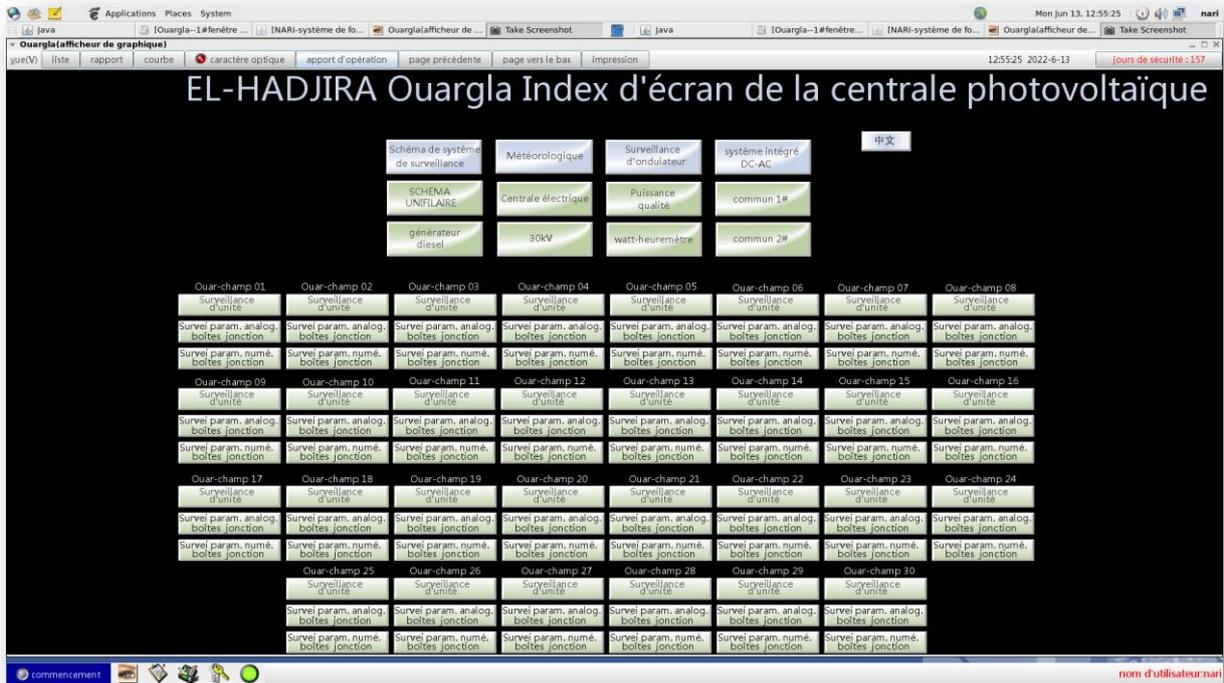


Figure 45 Interface principale de contrôle

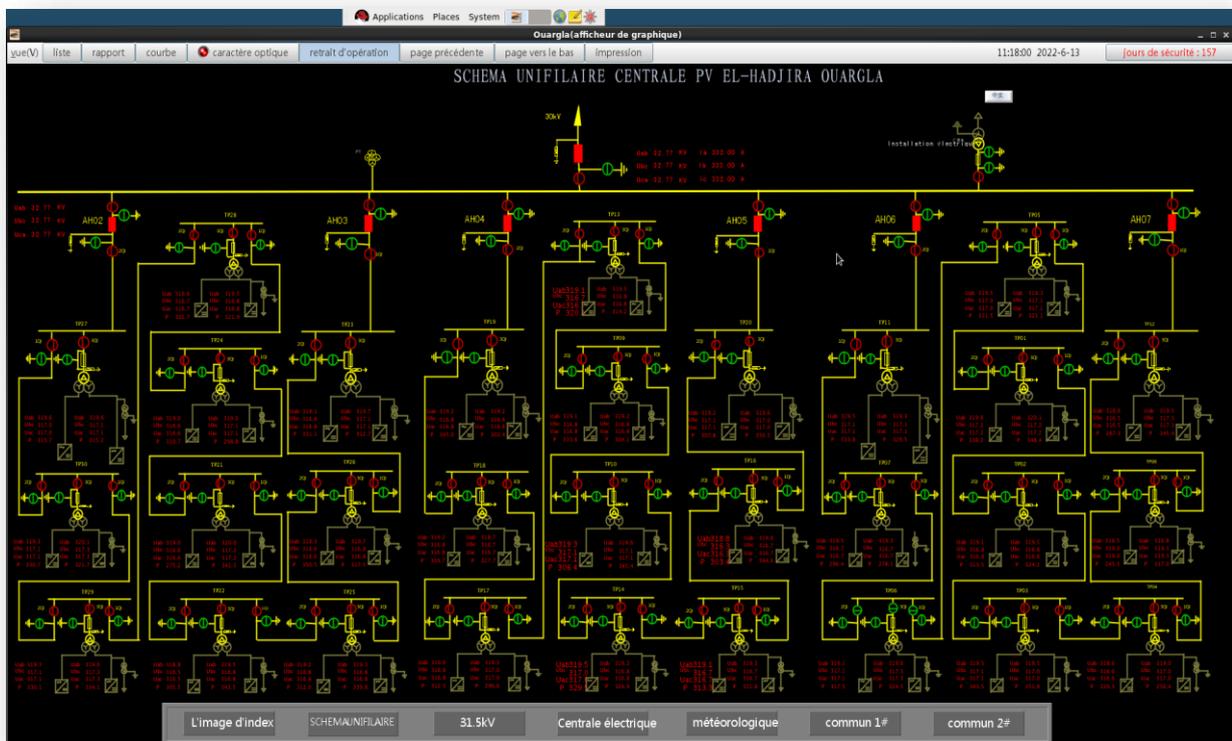


Figure 46 schéma unifilaire centrale PV El-Hedjira Ouargla

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

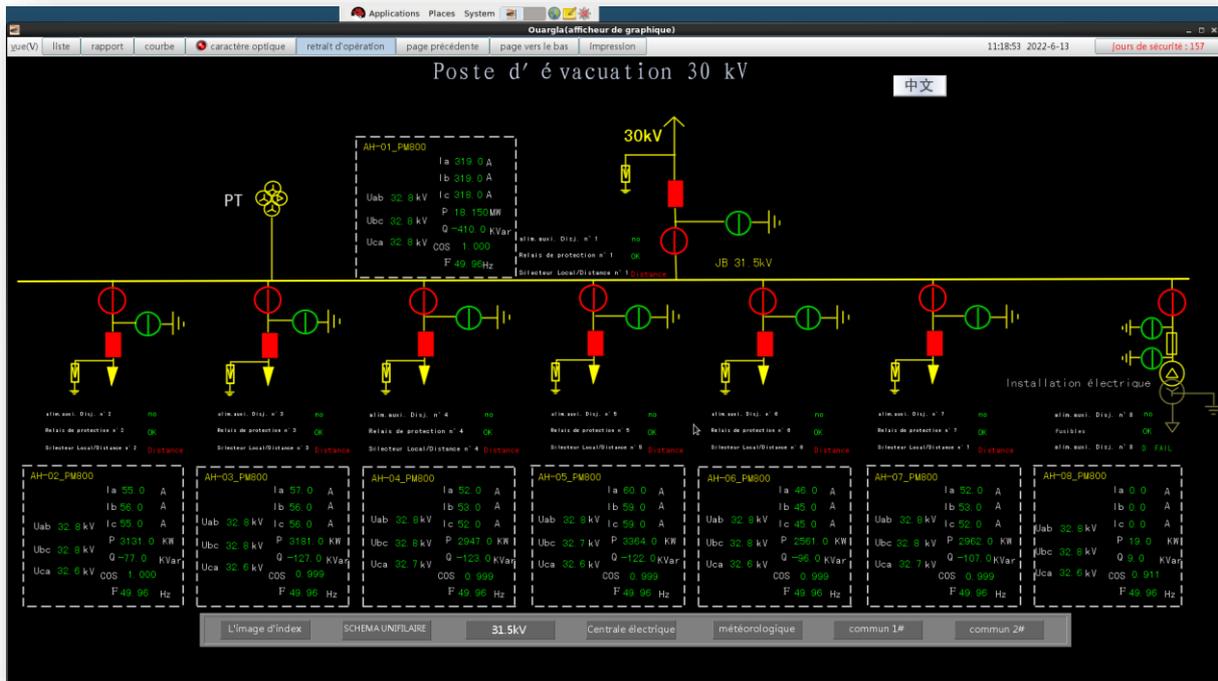


Figure 47 Schéma de poste d'évacuation 30 KV

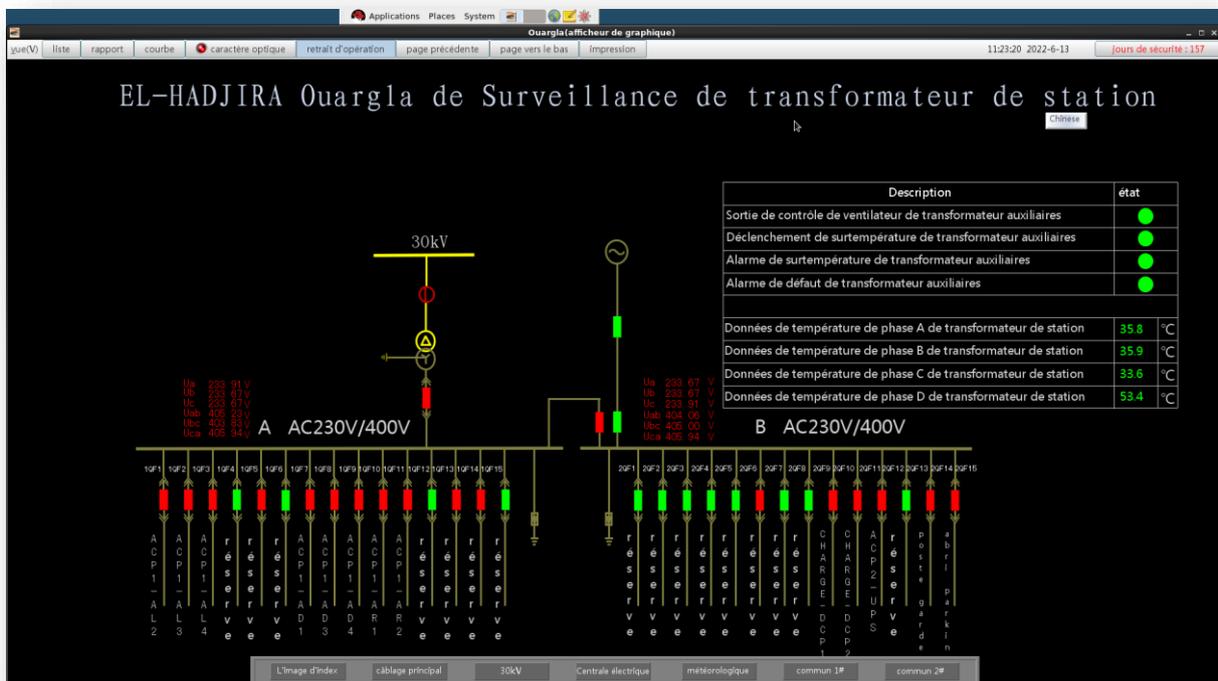


Figure 48 Schéma de transformateur de station

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau



Figure 49 Surveillance d'unité d'onduleur

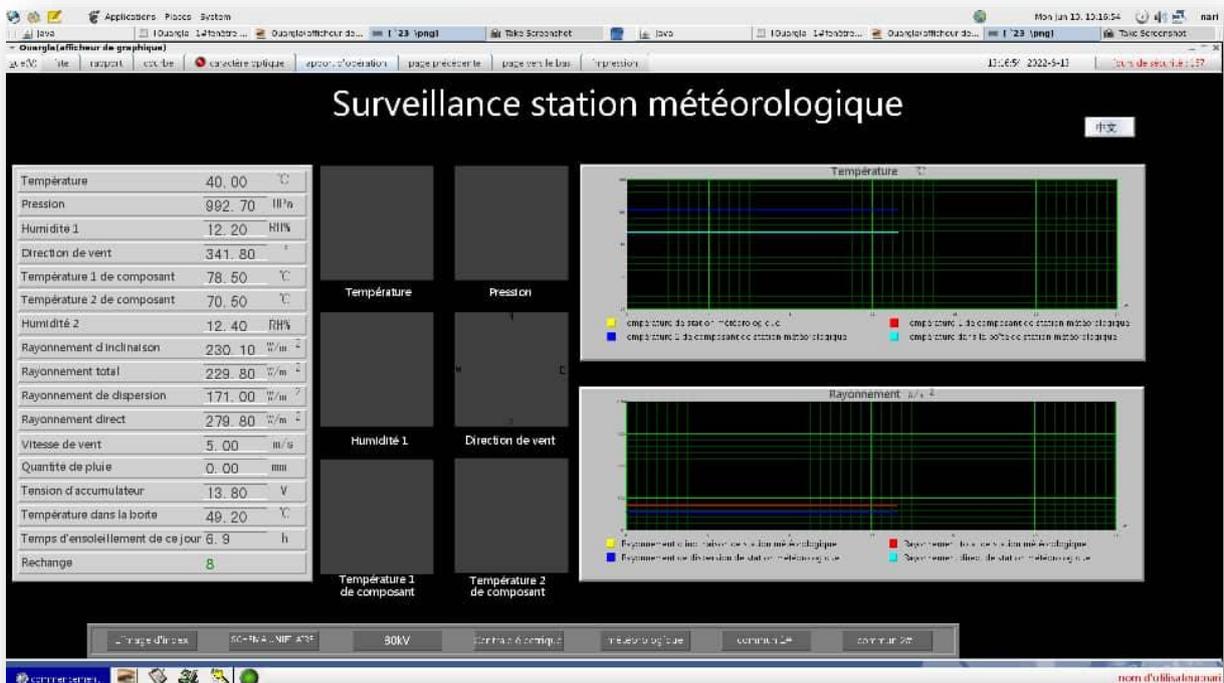


Figure 50 Surveillance station météorologique (11 Juin 2022)

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

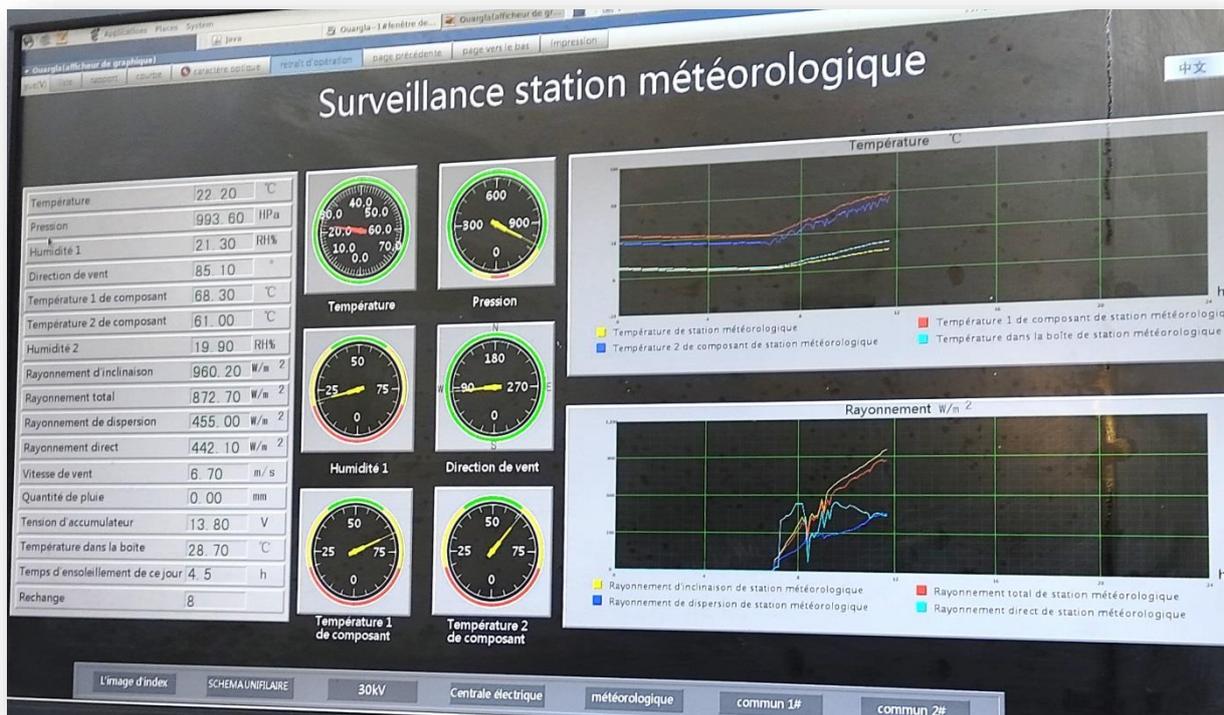


Figure 51 surveillance station météorologique (3 Avril 2022)

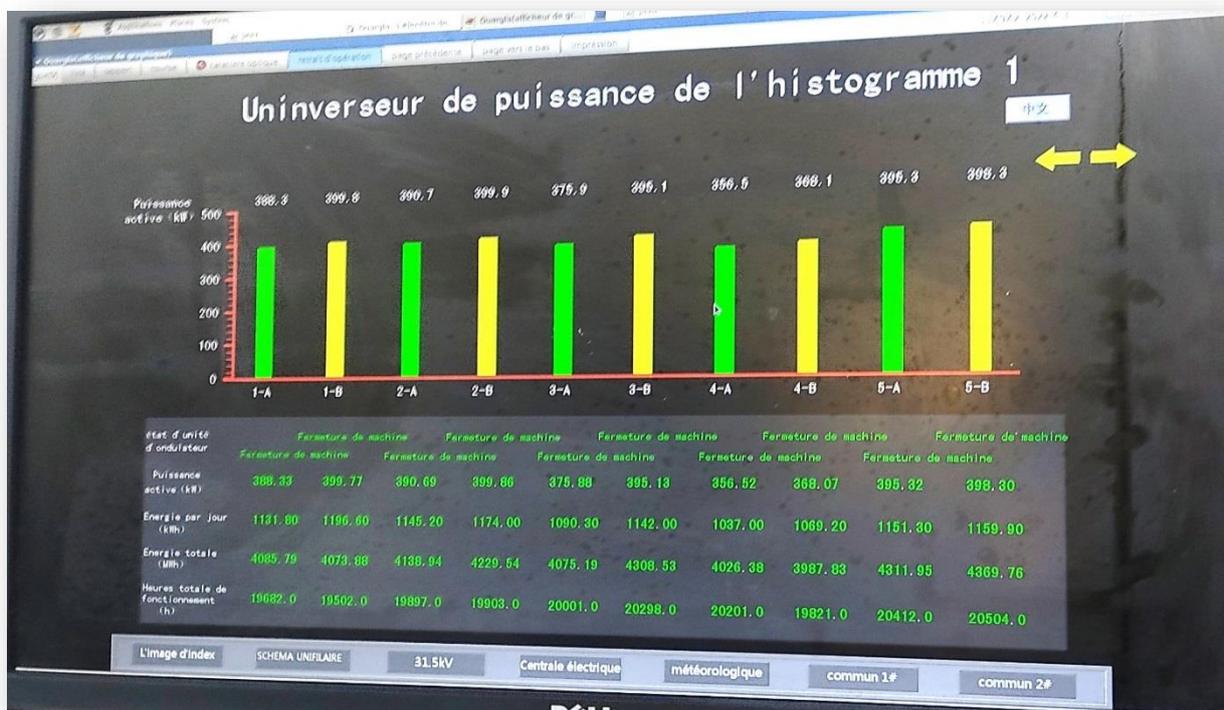


Figure 52 l'un inverseur de puissance

D. Stockage :

Problème d'arrêt en cas de coupure de courant donc il n'existe pas en cas de coupure de courant, l'usine fournit des générateurs diesel pour éclairer des sentinelles pour alimenter la salle de contrôle (serveur) et des batteries 4 cellules (figure 21) au cas où il y en aurait c'est un problème avec groupe diesel (figure 22).

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau



Figure 53 les 4 cellules des batteries d'accumulateur



Figure 54 Le groupe diesel de centrale

Tableau 10- Caractéristiques électriques du groupe de l'alternateur de diesel

Marque	Xingguang Jiangsu
Type de groupe	XG-50GF
Code de fabrication	SKTM-15F0
Date de fabrication	07/2014
Phase	3
Poids de groupe	200 kg
Facteur de puissance	0,8 hystérèse
Puissance nominale	50 Kw
Tension nominale	400 V
Courant nominal	90 A
Fréquence nominale	50 Hz
Vitesse nominale de rotation	1500 in

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

E. Maintenance préventive :

Un programme détaillé de maintenance est fournis par le constructeur YSH (Yingly Solar/Sinohydro/Hydro China), contenant les horaires de la vérification préventive des équipements. Le constructeur YSH a fournis pour le nettoyage, un camion avec des kitcher manuels et une station de traitement d'eau composée d'un système d'eau adoucie, d'un système d'alimentation d'eau et d'un système de contrôle.

1. Matrice des panneaux :

Vérifier les connexions des panneaux, les boulons de fixation des panneaux et la propreté des panneaux.

Période : une fois par jour.

2. Boîte de raccordement

Vérifier les boulons de connexion dans la boîte de raccordement, la température de conducteur, la propreté dans la boîte.

Période : une fois par semaine.

3. Transformateur :

Vérifier la température et le bruit de transformateur et le fonctionnement des ventilateurs.

Période : deux fois par jour.

4. Onduleur, boîte générale DC :

Vérifier la température, le bruit et le courant électrique de l'onduleur et boîte générale DC.

Période : deux fois par jour.

5. Les armoires :

Vérifier la température, le bruit et le courant électrique de l'armoire.

Période : deux fois par jour.

6. Interrupteur BT et MT, Transformateur, tête de câble :

Vérifier le nettoyage de l'interrupteur BT et MT, et du transformateur, le serrage pour les têtes de câble.

Période : deux fois par an.

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

Le Point de Départ vers GRTE :

A. L'affichage au compteur de cellule de départ :



Figure 55 cellule de départ

On a dans le compteur de cellule de départ :

- La tension entre les trois phases ($U_{21}= 32.9$ KV)
- Le courant entre les trois phases ($I_1=310$ A)
- La production E Active + (E active=260632.8 MWh)
- Le courant maximal entre les trois phases ($I_{max}=506$ A)
- La puissance réactive tjrs 0 pour éviter les perturbations et les harmoniques dans le réseau ($P=17.5$ MW/S=17.5 MW)
- La fréquence 50 aussi pour les harmoniques et les perturbations au réseau (figure 56).

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau



Figure 56 Affichage sur le compteur de cellule de départ

La tension : $U_{21}= 32.9 \text{ KV} / U_{32}=32.7 / U_{13}=32.6$

Le courant : $I_1=310 \text{ A} / I_2=310 \text{ A} / I_3=309 \text{ A}$

La production E Active+=260632.8 MWh

Le courant maximal : $I_{\max}=506 \text{ A} / I_{\max}=506 \text{ A} / I_{\max}=506 \text{ A}$

La puissance réactive tjrs 0 pour éviter les perturbations et les harmoniques dans le réseau $P=17.5 \text{ MW} / S=17.5 \text{ MW} / Q=0$

La fréquence 50 Hz aussi pour les harmoniques et les perturbations au réseau (figure 56).

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

B. Le point de départ vers le GRTE :



Figure 57 le point de départ vers GRTE

Chapitre III: Injection de l'énergie PV dans le réseau

III.8 Conclusion

Dans ce chapitre on est basé sur des données réelles obtenues lors d'un stage à la centrale solaire El-Hedjira Ouargla (SKTM) du 3 au 9 avril 2022. L'emplacement de la centrale a été choisi en raison de son assise foncière, de la disponibilité et de l'accessibilité de la connexion points. Après l'étude, la centrale a été choisie pour avoir une capacité de 30 MW en raison de sa proximité avec une grande source de consommation.

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire traite des études pratique d'un système photovoltaïque connecte au réseau.

L'objectif de notre travail consiste à étudier une installation photovoltaïque injectée au réseau **d'EL-HADJIRA Ouargla**, qui se compose d'un champ photovoltaïque, un dispositif de stockage par batteries électrochimique comme source de secoure et d'appoint.

L'injection de la puissance générée par les centrales photovoltaïques dans le réseau est essentielle à la compréhension du réseau. Sachant que l'électricité que produisent ces usines est du DC, et pour l'injecter dans le réseau, il faut la convertir en AC, donc on va utiliser des onduleurs.

Nous avons présenté les composants de ce système et leur principe de fonctionnement. Ensuite, Pour comprendre notre système PV injectée sur réseau **d'EL-HADJIRA Ouargla**, Connaître la puissance totale extraite de la station d'une chaine de conversion photovoltaïque et aussi savoir ce qu'il accepte de puissance est une introduction au réseau, afin une définition complète des équipements pour conduire le système à fonctionner avec une efficacité maximale, quelles que soient les conditions météorologiques affectant la puissance.

D'un côté, nous espérons que nos travaux de recherche et de dimensionnement se feront par des tests de validation terrain afin de comprendre les performances réelles de nos systèmes PV connectés au réseau et d'enrichir les recherches que nous menons.

Enfin, on peut proposer quelques solutions pour assurer le meilleur avancement de travail tels que : l'amélioration de centrale, refroidissement de panneau, nano fluide, l'utilisation des drones programmé par des algorithmes pour détecter les points chaud.

Résumé :

La demande croissante d'énergie électrique et l'inévitable épuisement des sources d'énergie traditionnelles à l'avenir nécessitent la recherche de sources d'énergie alternatives telles que les énergies renouvelables, dont l'énergie solaire est la source d'énergie la plus utilisée en raison de ses nombreuses applications. L'Algérie possède un vaste territoire et est riche en ressources d'énergie solaire, ce qui en fait une source importante d'énergie photovoltaïque. L'objet de ce mémoire est d'étudier la centrale photovoltaïque connectée au réseau. Durant la semaine du 1er au 8 avril 2022, nous avons effectué un stage pratique dans la centrale photovoltaïque SKTM EL-HADHIRA OURAGLA. Le problème de l'évaluation des systèmes solaires photovoltaïques raccordés au réseau est complexe. Parfois les chercheurs leurent les énergies renouvelables car elles attirent de grands le problème de l'implantation de ces installations en milieu saharien.

Bibliographie

1. **JIANG**, [1] **XUEYANG**. *Étude de comparative de structures de convertisseur pour les systèmes photovoltaïques connecte à un réseau électrique moyenne tension*. Qubec : s.n., 2009.
2. **Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric schiller, Bocarsadasy** . *le pompage photovoltaïque*. Université d'Ottawa : s.n., 1998 .
3. **Mahafenohasina Virginie Lara**. *Integration d'une puissance moyennesolaire photovoltaïque sans stockage au reseau: application au reseau électrique de Tulear*. s.l. : Master 2, ESPA,, 2017.
4. **BouزيدAllal El Moubarek et Azizi Mohammed**. *Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme étude de l'onduleur triphasé lié*. s.l. : Ingénieur d'état, Université Mohamed Boudiaf,, 2008.
5. **Nadia, Ben ahmed Ben abdallah**. *Propriétés physique des semi-conducteurs (Si monocristallin et Ge) et simulation des cellules a base de Si*. Tlemcen : s.n., Thèse de Magister, 2006, Université Abou Bekr Belkaïd.
6. **Moller, H. J.** *Semi conductors for solar cells*. Artech House, Inc. Norwood MA : s.n., 1993.
7. **M ,Zakaria**. «*Contribution à la Modélisation D'une cellule solaire*». bechar : Mémoire de magistère, Université de Bechar, 2009.
8. **M. Belhadj**, «*Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque*», . «*Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque*», . bechar : s.n., 2008.
9. **A, Zerga**. «*Optimisation du rendement d'une cellule solaire à base de silicium monocristallin de type n+p*». Tlemcen : Mémoire de Magistère Tlemcen, -1998.
10. **Ricaud, Alain**. “ *Modules et systèmes photovoltaïques,* ”. s.l. : Edition Presses polytechniques et universitaires romandes, Sept, 2008.
11. **L.ABBASSEN**, ‘ *Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque* ’. Tizi Ouzo, : Mémoire de magister, université mouloud Mammeri .
12. **Poignant, Serge**. – *L'énergie photovoltaïque, Rapport D'information, 2009, Assemblée Nationale Constitution du 4 Octobre 1958 Treizième Législature*.
13. **H. BELGHITRI** ‘ *Modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque* ’. s.l. : mémoire de magister, , 2009.
14. **Tkouti Nacira**. *Optimisation des Systèmes Photovoltaïques Connectés au Réseau, par la Logique Floue*. biskra : Master, Université Mohamed Khider Biskra,, 2004.

-
15. **MESBAHL., Sofiane FELLOUAH Siham.** *Etude d'un système photovoltaïque connectée au réseau.* Tizi Ouzou,. : Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou., 2015.
16. **Lalili, Dj.** « *MLI Vectorielle et Commande Non Linéaire du Bus Continu des Onduleurs Multiniveaux.* alger : ecole nationale Polytechnique, 2009.
17. **Khelif Mahdi etBendali Braham Mounir.** *Etude et simulation d'unechaîne de production photovoltaïque.* annaba : , Master, Universite Badji Monkhta, , 2018.
18. **Le guide des énergies renouvelables. GuidEnR. [En ligne] 2022.**
http://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/onduleur-photovoltaïque/plage-tension-mppt.php.
19. **Rasoanaivo Zoliana Nantenaina. pr Andrianaharison Yvon.** *injection de puissances par un système photovoltaïque au nœud de contrôle sur un réseau radial de la cote ouest de madagascar.* Antananarivo : universite d'antananarivo ecole supérieure polytechnique,, 27 NOVEMBRE 2020.
20. **Alain Ricaud, [.** *Systèmes photovoltaïques.* s.l. : Polytech' Savoie 5eme année école d'ingénieur, 2011.
21. **NAIRI Radhwane et RABHI Mohammed Oussama.Université Ahmed Draya d'ADRAR . année 2017.** *Analyse et Simulation de Performance d'un Central Photovoltaïque Raccordé au Réseau.* adrar : Université Ahmed Draya d'ADRAR, 2021.
22. **Dr. Belaid Lalouni Sofia.** *Cours Energie Solaire Photovoltaïque.* Bejia : Université A.Mira, 2015.
23. **Mahafenoahasina Virginie Lara.** *Integration d'une puissance moyenne solaire photovoltaïque sans stockage au réseau.* s.l. : master 2 . ESPA, 2017.
24. **Mebarek Chouabbi et Moussa Djebabla. ,** *Etude de la stabilité transitoire du réseau Est algérien avec l'extension du poste Berrahal 400kV.* annaba : Master.univ Badji Mokhtar, 2017.
25. **Dr. BelaidLalouni Sofia.** *CoursEnergieSolairePhotovoltaïque.* bejia : , Université ,A.Mira, , 2015.
26. **SlamaFateh, Modélisation d'un système multi générateursphotovoltaïques et interconnectés au réseauélectrique.** *Modélisation d'un système multi générateursphotovoltaïques; interconnectés au réseauélectrique,.* setif : , Magister, UniversitéFerhat Abbas,.
27. **Lyes,M .ABBASEN.** *Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque.* tizi ouzou : université Mammeri, 2011.
28. <https://www.edfenr.com/lexique/rayonnement-diffus/>, [4]. [En ligne]

-
29. **MANJU, M. SONAM** « *Modeling & simulation of a photovoltaic energy system*»,.. Trans Stellar, International Journal of Electrical and Electronics, Vol. 3, Issue 1,61-66, : s.n., 2013, Trans Stellar, International Journal of Electrical and Electronics,, pp. Vol. 3, Issue 1,61-66,.
30. **ANTHONY, W. M.** , « *modeling and analysis of a photovoltaic system with a distributed energy storage system* ». San Luis Obispo Faculty of California Polytechnic State University, : , Thèse de doctorat, San Luis Obispo Faculty of California Polytechnic State University,, , 2012.
31. **S, PETIBON.** ‘ *Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l’énergie pour les applications photovoltaïques*’. toulouse : , université de Toulouse., 2009.
32. **Cheron, Alain.** *Le rayonnement solaire dans l’environnement terrestre.* 2014.
- 33 **A. Lobouret, M. Villoz,.** *Energie solaire photovoltaïque.* Edition Dunod : s.n., 2006.
34. **FARID BERREZZEK.** « *Etude des Différentes Techniques de Commande des Onduleurs à MLI Associés à une Machine Asynchrone* ». annaba : Mémoire de MAGISTER, Université Badji Mokhter Annaba, 2006.

ANNEXE 1:

Présentation de Sonelgaz:

Sonelgaz, opérateur historique dans le domaine de :

- Production, Transport et Distribution de l'électricité
- Transport et Distribution de gaz par canalisation

a été restructurée d'une société verticalement intégrée en une holding pilotant un groupe industriel composé de plusieurs sociétés de différents métiers.

- Ces entreprises réalisent toutes les activités opérationnelles.
- La holding assure le pilotage à travers la définition et le contrôle de la mise en œuvre de la stratégie par ses filiales ainsi qu'à travers les organes de gestion.

Tableau 11-Evolution des principaux paramètres des réseaux de l'électricité et du gaz

Année 2000	paramètre	Année 2017	Evolution 2000-2017 (%)
5907	Capacité installée (MW)	19 471	330 %
12285	Réseau de transport de l'électricité (km)	29 379	240 %
4250	Réseau de transport du gaz (km)	20 722	490 %
192 481	Réseau de distribution de l'électricité (km)	329 782	170 %
1 6571	Réseau de distribution du gaz (km)	99 136	600 %
4 544 289	Nombre de clients électricité (unité)	9 164 334	200 %
1 394 159	Nombre de clients gaz (unité)	5 248 788	380 %

A. Réseau Algérien d'électricité (2016) :

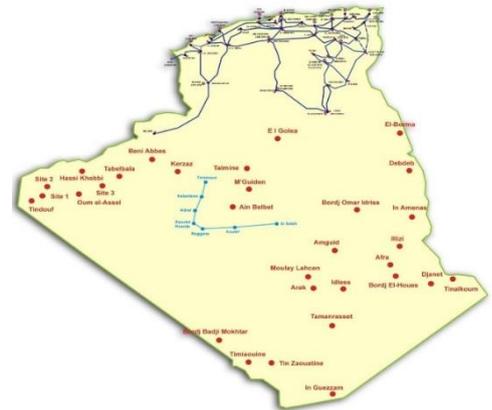
Capacité installée de production

Réseau Interconnecté : 17 477 MW

Réseaux Isolés : 786 MW

Réseau région Adrar : 719 MW

Taux d'électrification: 99



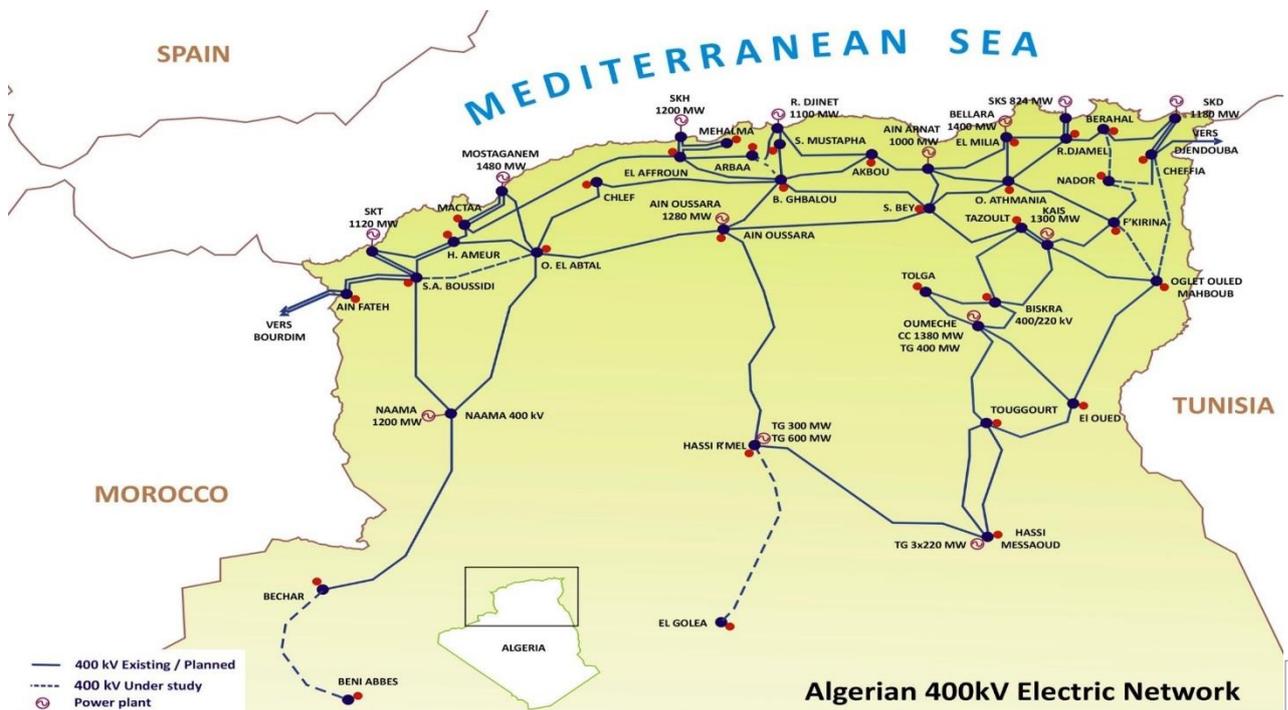
Production

Réseau Interconnecté : 64.1TWh

Réseaux Isolés : 1.0 TWh

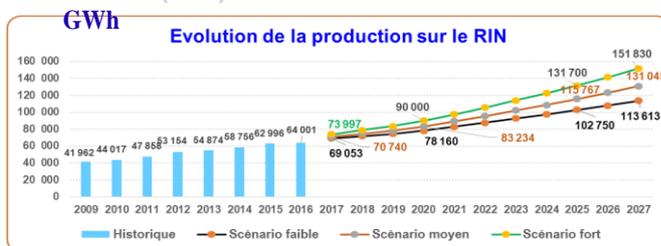
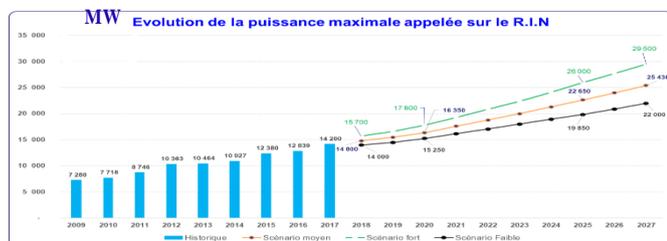
Réseau Région Adrar : 1.1 TWh

B. Le réseau 400 kV :

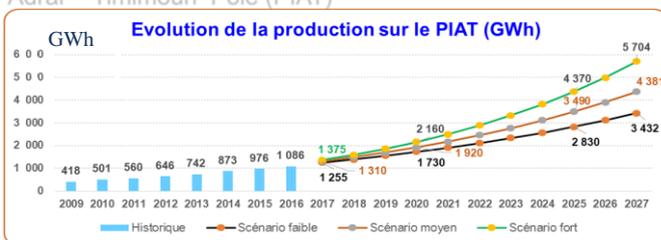
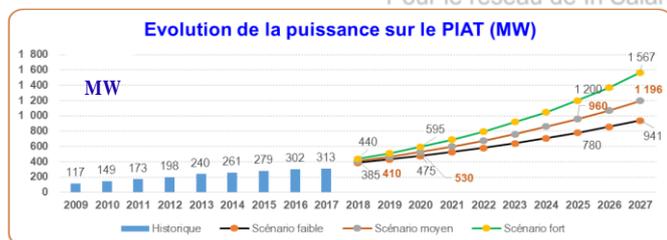


C. Prévision de la demande en électricité à l'horizon 2027 :

Pour le réseau interconnecté (RIN)



Pour le réseau de In Salah - Adrar - Timimoun Pole (PIAT)



D. Perspectives de développement

Le système d'approvisionnement en énergie a connu une croissance importante tirée par la demande d'électricité et de gaz naturel, Nouveaux besoins d'infrastructure d'ici 2027 :

- 17 210 MW en capacité additionnelle de production de l'électricité
- 32 890 km de réseau additionnel de transport de l'électricité HT etTHT
- 128 500 km de réseau de distribution de l'électricité et environ 4.2 Millions de clients additionnels.

La source: www.sonalgaz.com

ANNEXE 2 :

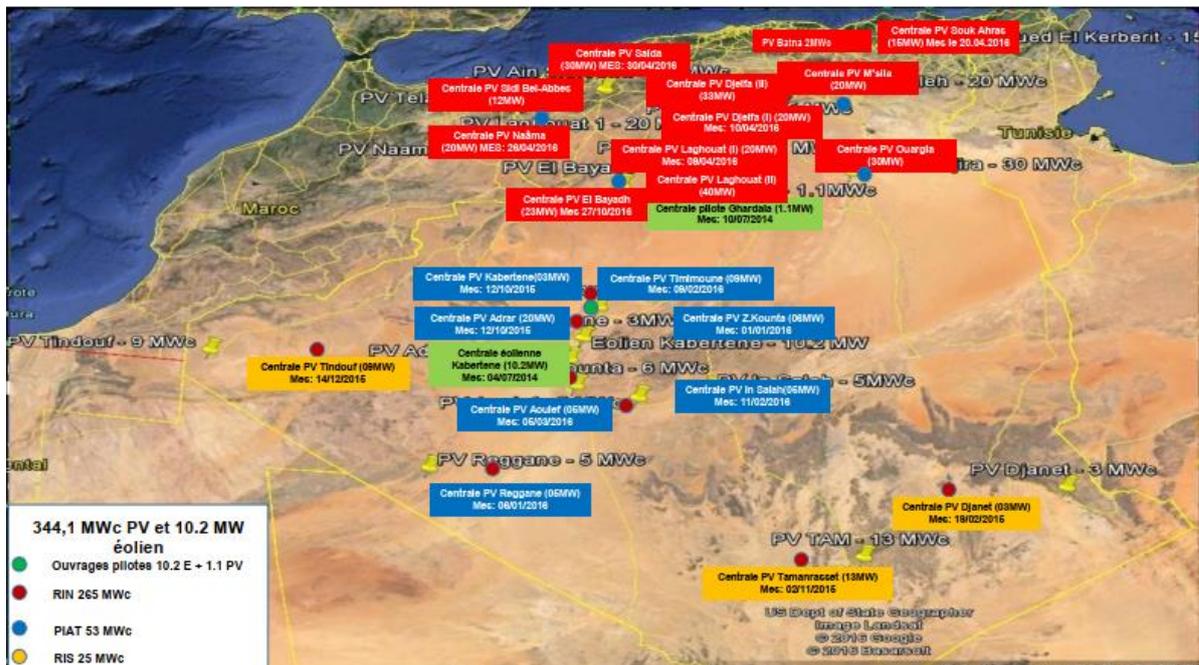
Parc ENR Actuel

- 1- Nombre des centrales installée : **21 Centrales** (21 Cle PV et 01 Cle Eolien)
 2- Puissance Installée : **354,3 MW** (344,1 MWc PV et 10,2 MW Eolien)
 3- Energie Produite depuis la MES: **930 GWh** (865 GWh PV et 65 GWh Eolien)

Centrales	P. Installée (MWc)
1- Réseau PIAT	
Eolienne Kabertène	10,2
Adrar	20
Kabertène	03
In Salah	05
Timimoune	09
Regguen	05
Zaouiat Kounta	06
Aoulef	05
2- Réseau RIS	
Tamanrasset	13
Djanet	03
Tindouf	09

Centrales	P. Installée (MWc)
3- Réseau RIN	
Oued Nechou PV (Ghardaia)	1,1
Sedret Leghzel (Naâma)	20
Oued El kebrit (Souk Ahras)	15
Ain Skhouna (Saida)	30
Ain El Bel (Djelfa) 1 et 2	53
Lekhneg (Laghouat) 1 et 2	60
Telagh (Sidi-Bel-Abbes)	12
Labiodh Sidi Chikh (El-Bayadh)	23
El Hdjira (Ouargla)	30
Ain-El-Melh (M'Sila)	20
Oued El Ma (Batna)	02
Total SKTM (EnR)	354,3

24



La source : WWW.SKTM.COM

ANNEXE 3:

Interrupteurs-sectionneurs pour les circuits DC Guide de choix



Interrupteurs-sectionneurs S800PV-M

Courant A	Tension						
	125 V	250 V	500 V	600 V	750 V	800 V	1200 V
125	S802PV-M 125 A	S803PV-M 125 A ou S804PV-M 125 A					
80	S802PV-M 125 A	S804PV-M 125 A ou S803PV-M 125 A					
63	S802PV-M 63 A	S804PV-M 63 A ou S803PV-M 63 A					
32	S802PV-M 32 A	S804PV-M 32 A ou S803PV-M 32 A					

Disjoncteurs pour les circuits DC Gamme S800PV-S, 800 V et 1200 V



Références de commande

Type	Calibre A	Pouvoir de coupure I _{cu} kA	Capacité de raccordement		Nombre de modules 17,5 mm	Réf. Commerciale		Cotissage
			Souple mm ²	Rigide mm ²				
Bipolaire - 800 V DC								
S802PV-S 10 A	10	5	1...25	1...35	3	748211		1
S802PV-S 16 A	16	5	1...25	1...35	3	748213		1
S802PV-S 20 A	20	5	1...25	1...35	3	748214		1
S802PV-S 25 A	25	5	1...25	1...35	3	748215		1
S802PV-S 32 A	32	5	1...25	1...35	3	748216		1
S802PV-S 40 A	40	5	1...25	1...35	3	748217		1
S802PV-S 50 A	50	5	6...50	6...70	3	748218		1
S802PV-S 63 A	63	5	6...50	6...70	3	748219		1
S802PV-S 80 A	80	5	6...50	6...70	3	748220		1
S802PV-S 100 A	100	5	6...50	6...70	3	748221		1
S802PV-S 125 A	125	5	6...50	6...70	3	748222		1
Tripolaire - 1200 V DC								
S803PV-S 10 A	10	5	1...25	1...35	4,5	748311		1
S803PV-S 16 A	16	5	1...25	1...35	4,5	748313		1
S803PV-S 20 A	20	5	1...25	1...35	4,5	748314		1
S803PV-S 25 A	25	5	1...25	1...35	4,5	748315		1
S803PV-S 32 A	32	5	1...25	1...35	4,5	748316		1
S803PV-S 40 A	40	5	1...25	1...35	4,5	748317		1
S803PV-S 50 A	50	5	6...50	6...70	4,5	748318		1
S803PV-S 63 A	63	5	6...50	6...70	4,5	748319		1
S803PV-S 80 A	80	5	6...50	6...70	4,5	748320		1
S803PV-S 100 A	100	5	6...50	6...70	4,5	748321		1
S803PV-S 125 A	125	5	6...50	6...70	4,5	748322		1
Tétrapolaire - 1200 V DC								
S804PV-S 10A	10	5	1...25	1...35	6	748411		1
S804PV-S 16A	16	5	1...25	1...35	6	748413		1
S804PV-S 20A	20	5	1...25	1...35	6	748414		1
S804PV-S 25A	25	5	1...25	1...35	6	748415		1
S804PV-S 32A	32	5	1...25	1...35	6	748416		1
S804PV-S 40A	40	5	1...25	1...35	6	748417		1
S804PV-S 50A	50	5	6...50	6...70	6	748418		1
S804PV-S 63A	63	5	6...50	6...70	6	748419		1
S804PV-S 80A	80	5	6...50	6...70	6	748420		1
S804PV-S 100A	100	5	6...50	6...70	6	748421		1
S804PV-S 125A	125	5	6...50	6...70	6	748422		1

Porte-fusibles et fusibles pour les circuits DC Gamme E90PV jusqu'à 32 A 1000 V et fusibles 9FPV



Références de commande

Type	Calibre	Taille du fusible	Tension max.	Associé à	Réf. Commerciale	Coisage
	A	mm	V DC			
FUSIBLE 9F1PV 10x38 1 A 1000VDC	1	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459821	10
FUSIBLE 9F2PV 10x38 2 A 1000VDC	2	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459822	10
FUSIBLE 9F3PV 10x38 3 A 1000VDC	3	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459823	10
FUSIBLE 9F4PV 10x38 4 A 1000VDC	4	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459824	10
FUSIBLE 9F5PV 10x38 5 A 1000VDC	5	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459825	10
FUSIBLE 9F6PV 10x38 6 A 1000VDC	6	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459826	10
FUSIBLE 9F7PV 10x38 7 A 1000VDC	7	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459827	10
FUSIBLE 9F8PV 10x38 8 A 1000VDC	8	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459828	10
FUSIBLE 9F10PV 10x38 10A 1000VDC	10	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459829	10
FUSIBLE 9F12PV 10x38 12A 1000VDC	12	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459830	10
FUSIBLE 9F15PV 10x38 15A 1000VDC	15	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459831	10
FUSIBLE 9F20PV 10x38 20A 1000VDC	20	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459832	10
FUSIBLE 9F25PV 10x38 25A 1000VDC	25	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459833	10
FUSIBLE 9F30PV 10x38 30A 1000VDC	30	10,3 x 38	1000	E91PV / E92PV	459834	10

Courbes fusion fusibles : nous consulter.



Interrupteurs-sectionneurs et coffrets de sécurité Guide de choix



Interrupteurs-sectionneurs gamme OT de 400 V à 1000 V DC

I _n	400 V DC	440 V DC	500 V DC	550 V DC	600 V DC	650 V DC	700 V DC	750 V DC	800 V DC	1000 V DC
16 A	OT16F4N2	OT16F4N2	OT16F4N2	OT16F6	OT16F8	OT16F8	OT16F8	OT16F8	OT16F8	-
25 A	OT25F6	OT25F6	OT25F6	OT25F6	OT25F8	OT25F8	OT25F8	OT25F8	-	-
32 A	OT40F6	OT40F6	OT40F6	OT40F6	OT40F8	OT40F8	OT40F8	OT40F8	-	-
80 A	OT160E3	OT160E3	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	-	-
100 A	OT160E3	OT160E3	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	-	-
125 A	OT160E3	OT160E3	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT200E23P	OT200E33P
160 A	OT160E3	OT160E3	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT160E4	OT200E23P	OT200E33P
200 A	OT200E03P (1)	OT200E03P (1)	OT200E04P (1)	OT200E04P (1)	OT200E23P	OT200E23P	OT200E23P	OT200E23P	OT200E23P	OT200E33P
250 A	OT250E03P (1)	OT250E03P (1)	OT250E04P (1)	OT250E04P (1)	OT250E23P	OT250E23P	OT250E23P	OT250E23P	OT250E23P	OT250E33P
315 A	OT315E03P (1)	OT315E03P (1)	OT315E04P (1)	OT315E04P (1)	OT315E23P	OT315E23P	OT315E23P	OT315E23P	OT315E23P	OT315E33P
400 A	OT400E04P (1)	OT400E04P (1)	OT400E04P (1)	OT400E04P (1)	OT400E23P	OT400E23P	OT400E23P	OT400E23P	OT400E23P	OT400E33P
600 A	OT630E04P (1)	OT630E04P (1)	OT630E04P (1)	OT630E04P (1)	OT630E23P	OT630E23P	OT630E23P	OT630E23P	OT630E23P	OT630E33P

(1) Versions standard 3 pôles [E3/E03/F3] et 4 pôles [E4/E04/F4], consultez notre catalogue principal interrupteur-sectionneur

WWW.SONALGAZ.COM