

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université d'Adrar

Faculté des Sciences et de la Technologique
Département d'Agriculture Saharienne

Mémoire pour l'obtention du diplôme de :

Master

Option : **Physique énergétique**

Présenté par :

Gamni Abdelkader

Ingénieur d'Etat en électrotechnique

Thème

**Etude et simulation d'un système
photovoltaïque connecté au réseau électrique
(étude de cas réseau d'Adrar)**

Devant le jury composé de:

- Abdellaoui Mustapha	Université d'Adrar	Président
-Hamouda Messaoud	Université d'Adrar	Rapporteur
-Omari Boumediene	Université d'Adrar	Examineur
-Ouled Ali Omar	Université d'Adrar	Examineur

Promotion: 2012

REMERCIEMENTS

*Nous transmettons nos sincères remerciements et
gratitudes :*

*A notre encadreur monsieur **Dr Hamouda Messaoud** .
ainsi que je me permets d'exprimer mes remerciements
monsieur :Abdellaoui Mustapha, et mes remerciement vont
également a monsieur Omari , Boumadiene , Ouled Ali Omar
qui ont bien voulu examiner ce travail.*

*Et à tous les enseignants de la Faculté des Sciences et de la
Technologique*

*Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidé à
élaborer ce modeste travail.*

Sommaire

NOTATIONS.....	IV
INTRODUCTION GENERALE	1
INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITRE I GENERALITES SUR LES RESEAUX ELECTRIQUES	4
INTRODUCTION.....	5
I-2 – DESCRIPTION DES RESEAUX ELECTRIQUES	8
I-2-1- LE RESEAUX DE TRANSPORT THT	8
I-2-2- LE RESEAUX DE REPARTITION HTB	8
I-2-3- LE RESEAUX DE DISTRIBUTION HTA.....	8
I-2-4- LE RESEAUX DE LIVRAISON BTA.....	9
I-3- CONSTITUTION DES RESEAUX ELECTRIQUE.....	9
I-3-1- LES CENTRALES ELECTRIQUES.....	9
I-3-1-1- Les centrales Solaire ou photovoltaïques :	9
I-3-1-2- Les centrales éoliennes :	10
I-3-2- LES POSTES ELECTRIQUE	10
I-3-2-1 -Différents types de postes électriques	10
I-3-2-2 -les fonctions principales des postes électriques.....	10
I-3-3- LES LIGNES ELECTRIQUE.....	10
I-3-3-1-Lignes de distribution BTA	11
I-3-3-2-Lignes de distribution HTA	11
I-3-3-3-Lignes de transport HTB	11
I-3-3-4-Lignes de transport THT.....	11
I-3-4-DIFFERENTES LIGNES ELECTRIQUES	11
I-3-4-1- lignes aériennes.....	11
I-3-4-2-Les lignes souterraines.....	11
I-4- VISION RESUME SUR RESEAU D’ADRAR	13
I-4-1 INTRODUCTION :.....	13
I-4-2- SOURCE D’ALIMENTATION	13
I-4-3 -CENTRALES DE PRODUCTION :.....	14
I-4-4 - POSTES 220/30 KV :.....	14
I-4-5- DISTRIBUTION :.....	14
I-4-5- SCHEMA SYNOPTIQUE DU RESEAU 30KV [21]	15
CONCLUSION.....	17
CHAPITRE II SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE	18
INTRODUCTION.....	19
II-1- L’ENERGIE DU SOLAIRE.....	19
II-1-1-CHALEUR PASSIVE :.....	20

II-1-2-SOLAIRE THERMIQUE :	20
II-1-3-ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE (PV) :	20
II-2- L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :	20
II-3- LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :	21
II-3-1 – HISTORIQUE :.....	21
II-4- SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE :	22
II-4- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :	23
II-5-APPLICATIONS PHOTOVOLTAÏQUES :	25
II-6- PUISSANCE LUMINEUSE ET ECLAIREMENT :	27
II-7- CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES D'UNE CELLULE :..	27
II-7-1- CARACTERISTIQUES COURANT / TENSION	27
II-7-2- CARACTERISTIQUES PUISSANCE / TENSION	28
II-7-3- INFLUENCE DE L'ECLAIREMENT.....	29
II-7-4- INFLUENCE E LA TEMPERATURE	30
II-8- LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS :	31
II-8-1- AVANTAGES :	31
II-8-2- INCONVENIENTS.....	32
CONCLUSION.....	32
CHAPITRE III MODELISATION ET SIMULATION D'UN	
 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDE AU RESEAUX ELECTRIQUE	33
III INTRODUCTION	34
III-1- INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE :	34
III-1-1- QU'EST-CE QUE LES INSTALLATIONS PV FOURNISSENT?	34
III-1-2- DESCRIPTION DES INSTALLATIONS PV.....	36
III-2-1 ALIMENTATIONS ELECTRIQUES FAIBLES PUISSANCES	37
III-2-2 INSTALLATIONS ELECTRIQUES PHOTOVOLTAÏQUES AUTONOMES :	37
III-2-3 INSTALLATIONS ELECTRIQUES PHOTOVOLTAÏQUES RACCORDEES AU	
RESEAU.....	38
III-3: SYSTEME RACCORDE AU RESEAU.....	39
III-3-1 : PRINCIPE DE RACCORDEMENT.....	39
III-3-2 : composant d'un système photovoltaïque.....	40
III-3-2-1 : Modules	40
III-2-2 LE PANNEAU PHOTOVOLTAIQUE :.....	44
III-3-2-3 Les Batteries :.....	44
III-3-2-4 Système de régulation :.....	46
III-3-2-5 Système de conversion :	48
III-4 LA PROTECTION ELECTRIQUE DES INSTALLATIONS	
 PV	51

III-4-1 LES PROTECTIONS COTE AC :.....	52
III-4-1-1 protection de découplage :.....	52
III-4-2 PROTECTION CONTRE LES SURINTENSITES :	52
III-4-2-1 COURANTS DE SURCHARGE :.....	52
III-4-2-2 COURANT DE COURTS CIRCUITS :	52
III-4-3 DISPOSITIFS DE SECTIONNEMENT ET DE COUPURE :	53
III-4-4 MISE A LA TERRE :	53
III-4-5 PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS	53
III-4-6 PROTECTION DIFFERENTIELLE :	54
III-5 MODALISATION LE SYSTEME PV RACCORDE AU RESEAU	54
III-5-1 MODALISATION ET SIMULATION LES COMPOSENT DE SYSTEME.....	55
III-5-1-1 MODELE D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE	55
III-5-1-1 Simulation de composent	56
III-5-1-2 Modélisation de la commande MLI	59
III-6 CONCLUSION.....	61
CONCLUSION GENERALE	63
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	64
ANNEXE.....	65

NOTATIONS

- h** : Constante de Planck ($6.62.10^{-34}$ j.s).
- E_g** : Energie de la bande interdite (eV).
- S** : Surface du module photovoltaïque (m²).
- E** : Eclairement (W/m²).
- R_{se}** : Résistance série équivalente (Ω).
- R_{pe}** : Résistance parallèle équivalente (Ω).
- A** : Le facteur d'idéalité de la jonction.
- I_{ph}** : Le photo-courant (A).
- I₀** : Courant de saturation (A).
- R_p** : Résistances parallèle shunt. (Ω)
- R_s** : Résistance série (Ω).
- T_c** : Température de jonction ($^{\circ}$ K).
- G₀** : L'éclairement de référence (1000 W/m²).
- T₀** : La température de référence (298 $^{\circ}$ K).
- I_{cc}** : Le courant de court-circuit (A).
- V_{co}** : La tension de circuit ouvert (V).
- FF** : Facteur de forme.
- N_s** : Nombre de modules dans le panneau en série.
- N_p** : Nombre de modules dans le panneau en parallèle.
- P_m** : La puissance maximale produite PV (W).
- V_m** : Tension qui correspond à la puissance maximale (V).
- I_m** : Courant qui correspond à la puissance maximale (A).
- V_{co}** : La tension à circuit ouvert de référence (V).
- V_{op}** : Tension optimale (V).
- I_{op}** : Courant optimum (A).
- V_{co}** : Tension à circuit ouvert (V).
- I_{cc}** : Courant de court-circuit (A).

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

A notre époque, et sans électricité, la vie quotidienne serait difficilement envisageable, il est donc nécessaire de savoir la produire de manière efficace et continue. Pour répondre à la consommation croissante d'électricité, il a fallu inventer et construire des usines (centrales électriques) capables de produire de l'électricité en grande quantité. Une fois le courant produit, il doit être amené jusque chez le consommateur. Dans un pays, le Transport et la Distribution Publique assurent le transit de l'énergie électrique entre les points de production et les points de consommation [1].

Et avec le développement de centrales d'électricité décentralisées, le réseau de distribution actuel doit être repensé afin de ne pas mettre en péril le développement des EnR. Régulation et répartition seront les maîtres mots de cette évolution.

Le développement des énergies renouvelables notamment l'éolien et le solaire photovoltaïque va de pair avec une multiplication des sources de production d'électricité. Avec le solaire photovoltaïque par exemple, les particuliers auparavant simples consommateurs peuvent désormais devenir producteurs d'électricité. La politique actuelle n'étant pas d'autoconsommer cette électricité mais de l'insérer sur le réseau, chaque installation doit s'y connecter

Or, jusqu'à présent les réseaux ont été conçus de manière à transporter l'électricité produite de façon concentrée dans des centrales de grande puissance et de la distribuer pour être consommée par des millions de consommateurs, particuliers ou entreprises. Cette décentralisation de la production liée aux EnR va donc demander de nouvelles fonctionnalités et induire une complexification du système. L'enjeu est de taille car s'il n'est pas relevé, il pourrait fortement gêner le développement des énergies renouvelables [2].

Et aujourd'hui, les systèmes photovoltaïques sont de plus en plus souvent raccordés au réseau électrique. Ils permettent à un ménage de produire une partie de son électricité de manière propre et d'injecter la production d'électricité excédentaire sur le réseau [2].

Dans le 1^{er} Chapitre nous présentons la généralité sur les réseaux électriques et en commencer par la production ; transport et distribution électricité jusqu'à l'abonnés avec une vision résumé sur réseau d'Adrar.

Dans le 2^{em} Chapitre nous présentons la généralité sur système PV, en commencer par la cellule photovoltaïque, et le principe de fonctionnement de système PV, avec les applications et les caractéristiques électrique de système.

Dans le 3^{ème} Chapitre nous présentons la description d'installation photovoltaïque, avec les différents types d'utilisation, et la modélisation de système PV, le raccordement réseau électrique, et en terminer le chapitre par La simulation de système PV raccordé au réseau électrique avec les descriptions des résultats, et en terminer les études par une conclusion générale.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR
LES RESEAUX ELECTRIQUES

INTRODUCTION

Les réseaux électriques sont constitués par l'ensemble des appareils destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité depuis les centrales de génération jusqu'aux maisons de campagne les plus éloignées. (Fig .I-1)

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques... avec les centres de consommation (villes, usines...).L'énergie électrique est transportée en haute tension, voire très haute tension pour limiter les pertes joules puis progressivement abaissée au niveau de la tension de l'utilisateur final [2].

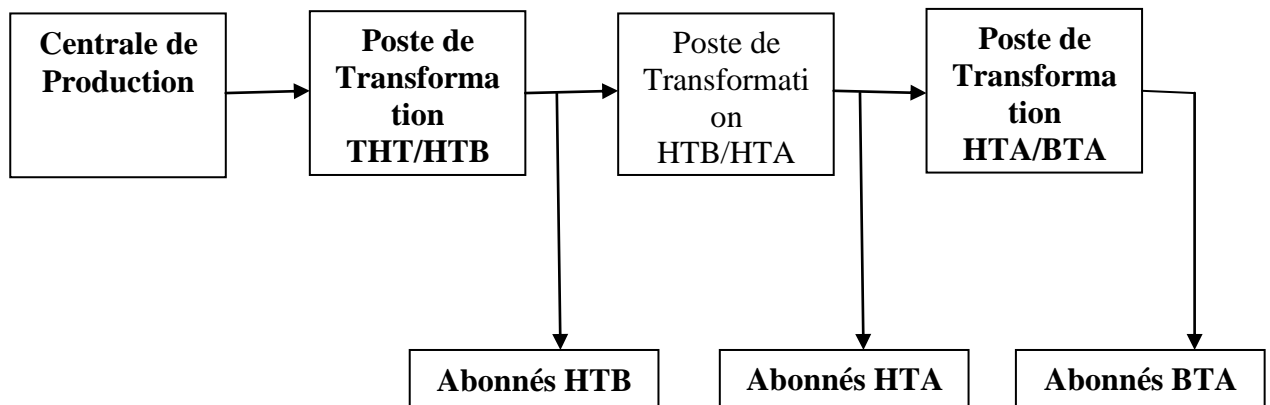


Fig. I-1 : Schéma d'un réseau électrique

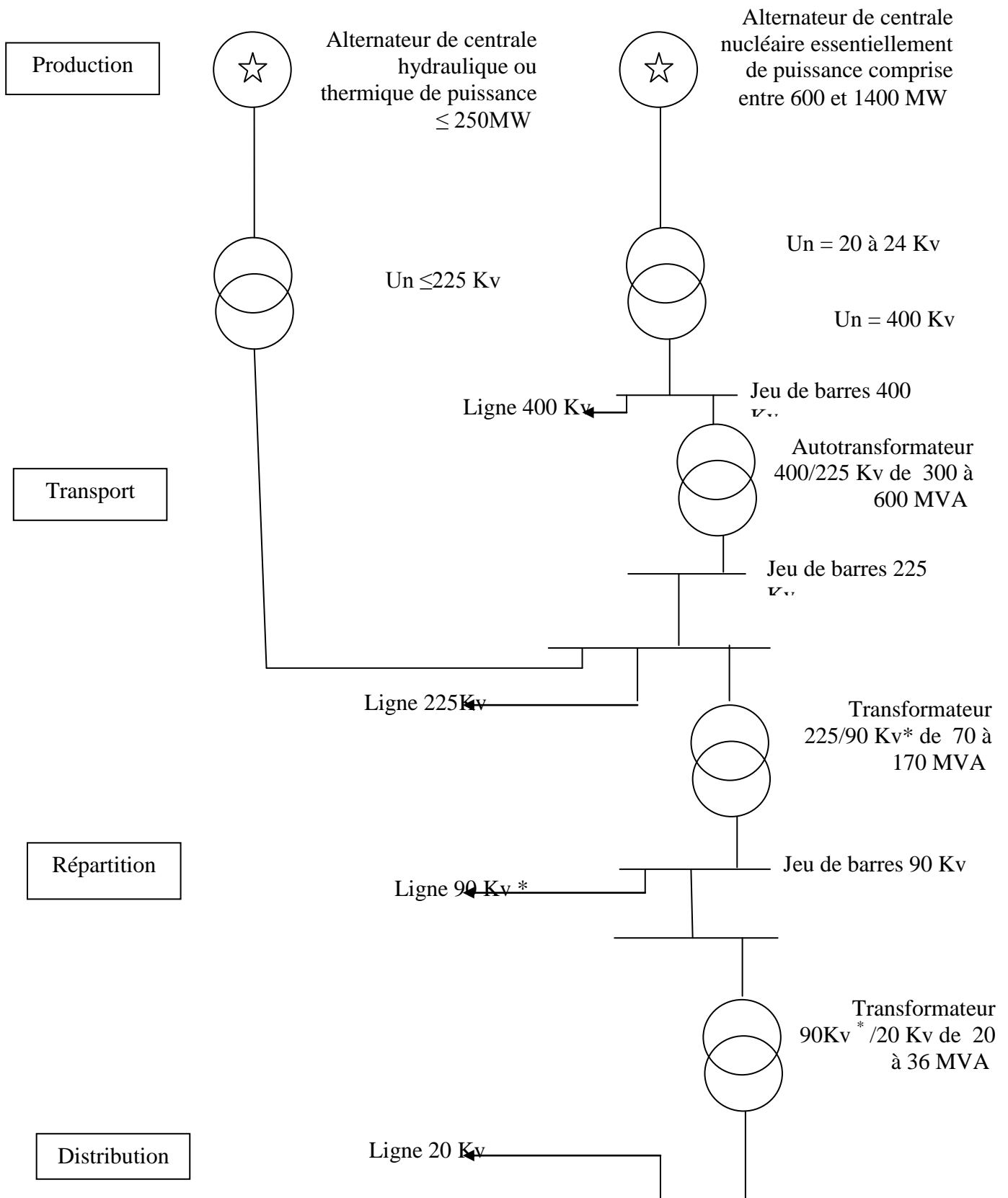
I-1- Les niveaux de tensions des réseaux

Les réseaux électriques sont hiérarchisés : (Fig .I-2)

D'une façon générale, la plupart des pays mettent en œuvre :

- Un réseau de transport THT 220 800 KV
- Un réseau de répartition HTB 60170 KV
- Un réseau de distribution HTA 1 50 KV
- Un réseau de livraison de l'abonné BTA 400/230 V

Cette hiérarchie c'est-à-dire, les niveaux de tensions utilisés varient considérablement d'un pays à l'autre en fonction des paramètres liés à l'histoire électrotechnique du pays, ses ressources énergétiques, sa surface et finalement des critères technico-économiques [1].



*ou 63 Kv . suivant les

Fig . I-2 : Organisation des différents niveaux de tension du système électrique [5]

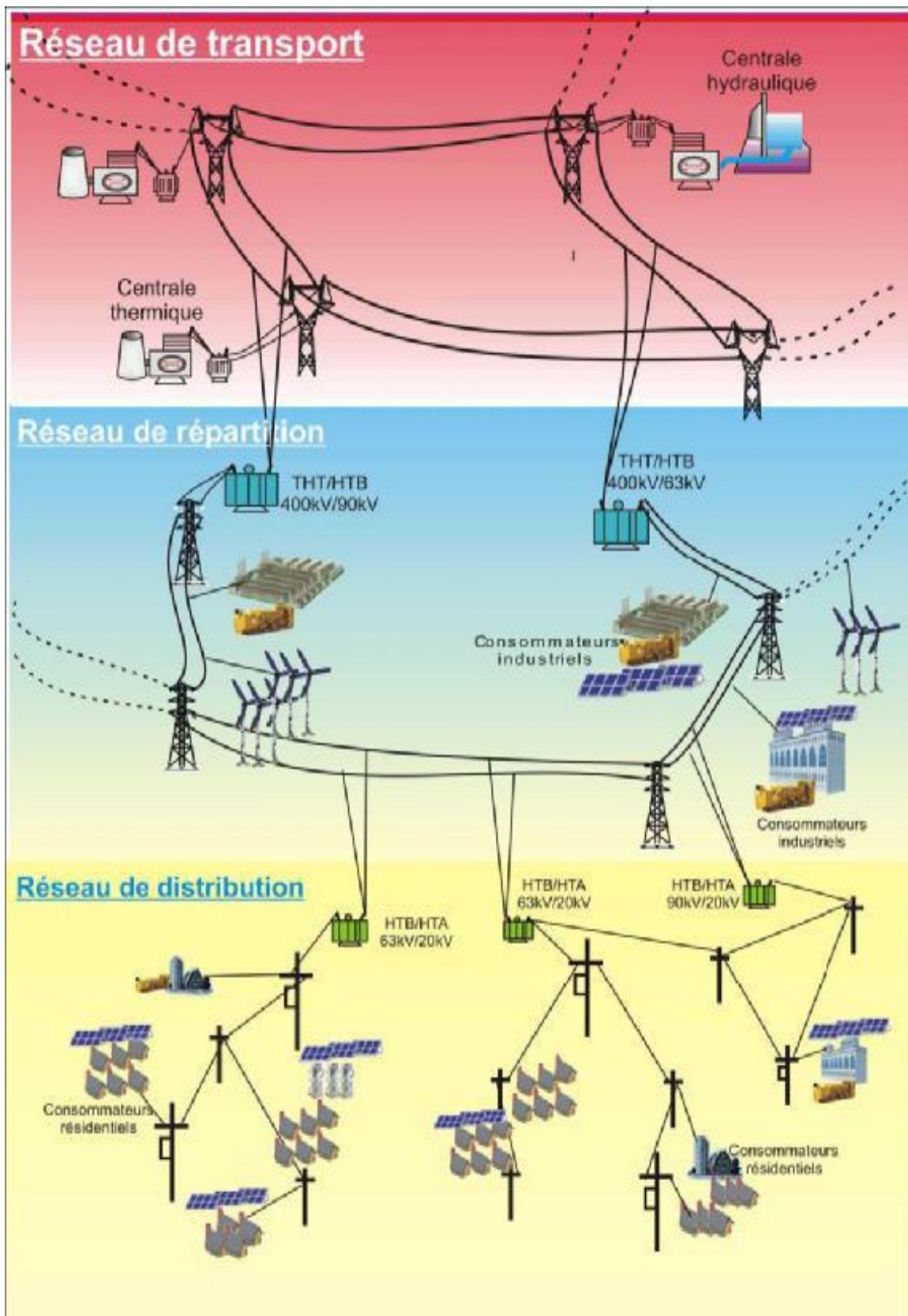


fig . I-3 : Architecture d'un réseau électrique moderne [5]

I-2 – DESCRIPTION DES RESEAUX ELECTRIQUES

I-2-1- LE RESEAUX DE TRANSPORT THT

C'est généralement le réseau qui permet le transport de l'énergie depuis les centres éloignés de production vers les centres de consommation. C'est sur le réseau THT que sont en principe branchées les centrales de grandes puissances.

I-2-2- LE RESEAUX DE REPARTITION HTB

La finalité de ce réseau est avant tout d'acheminer l'électricité du réseau de transport vers les grands centres de consommation qui sont :

- Soit du domaine public avec l'accès au réseau de distribution MT,
- Soit du domaine privé avec l'accès aux abonnés à grande consommation (supérieure à 10 MVA)

La structure de ces réseaux est généralement de type aérien (parfois souterrain à proximité de sites urbains). Les protections sont de même nature que celles utilisées sur les réseaux de transport, les centres de conduite étant régionaux.[1]

I-2-3- LE RESEAUX DE DISTRIBUTION HTA

Les utilisateurs peuvent être groupés d'une façon très dense comme dans les villes ou bien séparés les uns des autres par des distances plus ou moins grandes comme dans les campagnes. Ils sont desservis par un réseau de distribution alimenté par un poste de répartition qui reçoit l'énergie, provenant de centrales éloignées, par l'intermédiaire du réseau de transport. Des lignes de distribution HTA partent des postes de répartition et alimentent des postes de transformation répartis en différents endroits de la zone à desservir; ces postes de transformation abaissent la tension à une valeur convenable pour alimenter le réseau de distribution publique auquel les abonnés sont raccordés par des branchements [1].

I-2-4- LE RESEAUX DE LIVRAISON BTA

C'est le réseau qui nous est en principe familier puisqu'il s'agit de la tension 400/230V (380/220 en Algérie). Nous le rencontrons dans nos maisons via la chaîne : compteur, disjoncteur, fusibles.

La finalité de ce réseau est d'acheminer l'électricité du réseau de distribution HTA aux points de faible consommation dans le domaine public avec l'accès aux abonnés BTA. Il représente le dernier niveau dans une structure électrique.

Ce réseau permet d'alimenter un nombre très élevé de consommateurs correspondant au domaine domestique. Sa structure, de type aérien ou souterrain, est souvent influencée par l'environnement. Ces réseaux sont le plus souvent exploités manuellement.

Le réseau BTA permet de distribuer au consommateur ; le 230 V (1 phase + neutre) - 2 fils Ou le 400 V (3 phases + neutre) - 4 fils. [2]

I-3- CONSTITUTION DES RESEAUX ELECTRIQUE

I-3-1- LES CENTRALES ELECTRIQUES

Il existe cinq principaux types de centrales électriques :

- Les centrales à combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) dites centrales thermiques classiques,
- Les centrales nucléaires qui sont également des centrales que l'on peut qualifier de thermiques,
- Les centrales hydroélectriques
- Les centrales solaires ou photovoltaïques,
- Les centrales éoliennes : Les éléments indispensables à la production de courant électrique sont :

- Une turbine en mouvement.
- Un alternateur c'est-à-dire un aimant entraîné par la turbine et entouré d'une bobine qui produit le courant électrique.[2]

I-3-1-1- Les centrales Solaire ou photovoltaïques :

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

I-3-1-2- Les centrales éoliennes :

L'énergie éolienne est produite sous forme d'électricité par une éolienne. Des éoliennes formées d'un mat surmonté d'un générateur électrique entraîné par une hélice, sont positionnées idéalement sur les plans d'eau ou les collines ventées.

I-3-2- LES POSTES ELECTRIQUE

I-3-2-1 -Différents types de postes électriques

Il existe plusieurs types de postes électriques :

- Postes de sortie de centrale : le but de ces postes est de raccorder une centrale de production de l'énergie au réseau ;
- Postes d'interconnexion : le but est d'interconnecter plusieurs lignes électriques ;
- Postes élévateurs : le but est de monter le niveau de tension, à l'aide d'un transformateur ;
- Postes de distribution : le but est d'abaisser le niveau de tension pour distribuer l'énergie électrique aux clients résidentiels ou industriels. [3]

I-3-2-2 -les fonctions principales des postes électriques

Les postes électriques ont 3 fonctions principales :

- le raccordement d'un tiers au réseau d'électricité (aussi bien consommateur que producteur type centrale nucléaire)
- l'interconnexion entre les différentes lignes électriques (assurer la répartition de l'électricité entre les différentes lignes issues du poste)
- la transformation de l'énergie en différents niveaux de tension [3]

I-3-3- LES LIGNES ELECTRIQUE

Nous distinguons quatre types de lignes :

- Ligne de distribution à basse tension.
- Ligne de distribution à moyenne tension.
- Ligne de transport à haute tension.
- Ligne de transport à très haute tension [5].

I-3-3-1-Lignes de distribution BTA

Ce sont les lignes installées à l'intérieur des édifices, usines et maisons pour alimenter les moteurs, cuisinières, lampes, etc.

I-3-3-2-Lignes de distribution HTA

Ce sont les lignes qui relient les clients aux postes de transformation principaux de la compagnie d'électricité.

I-3-3-3-Lignes de transport HTB

Ce sont les lignes reliant les postes de transformation principaux aux centrales de génération.

I-3-3-4-Lignes de transport THT

Ce sont les lignes qui relient les centrales éloignées aux centres d'utilisation. Ces lignes peuvent atteindre des longueurs de 1000 km et elles fonctionnent à des tensions allant jusqu'à 765 kV. [1]

I-3-4-DIFFERENTES LIGNES ELECTRIQUES

- lignes aériennes
- lignes souterraines

I-3-4-1- lignes aériennes

Une ligne aérienne est composée de pylônes (supports), de câbles conducteurs et des isolateurs.

I-3-4-2-Les lignes souterraines

La structure des réseaux souterrains est un seul type de ligne : les dorsales. Ces réseaux de faible longueur et forte section des conducteurs sont le siège de chute de tensions réduites. De ce fait, et tenant compte de l'importance des incidents, il sera prévu une réalimentation soit par les réseaux voisins soit par un câble de secours.[5]

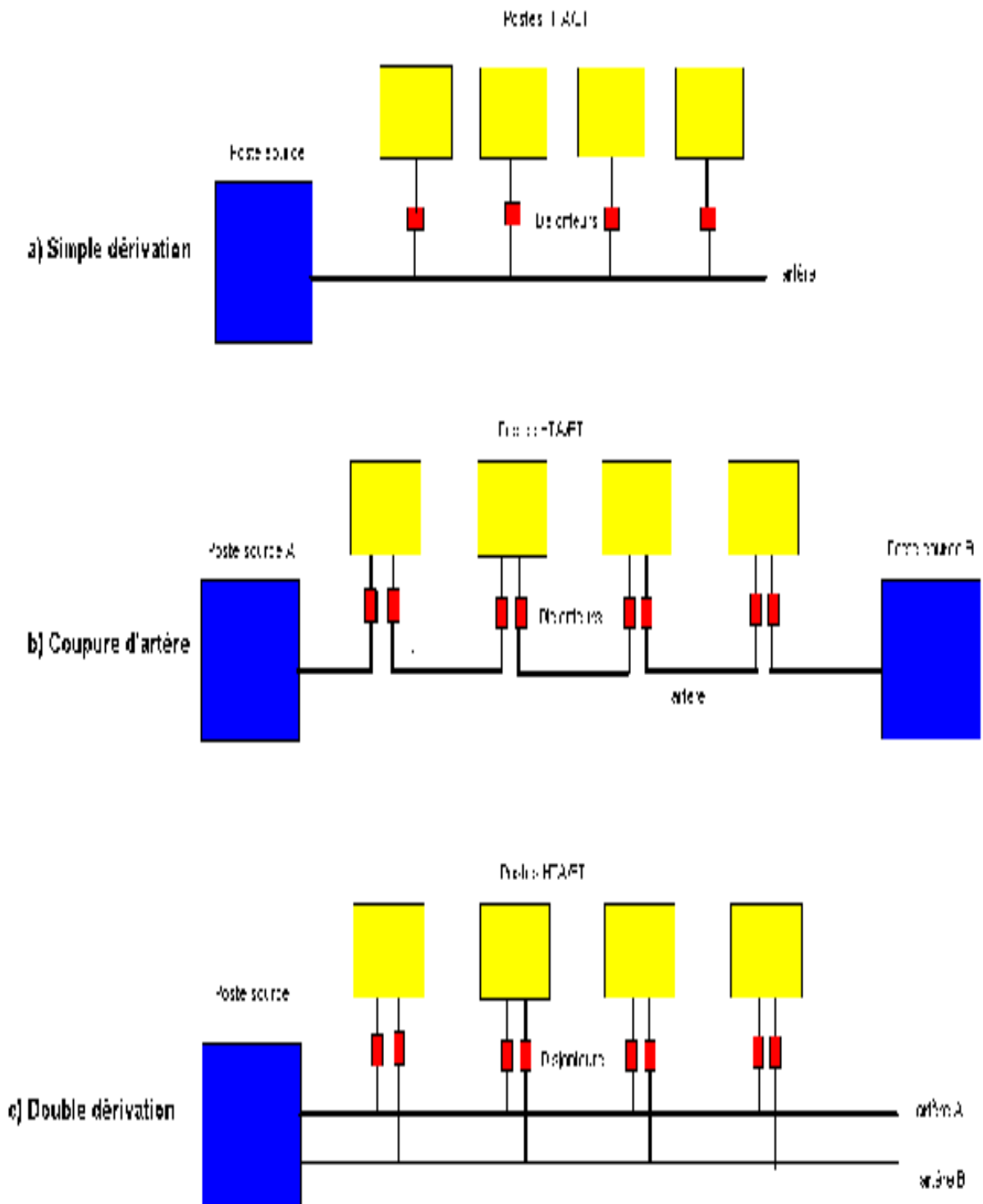


Fig I.4 - Types de raccordement de postes MT [5]

I-4- VISION RESUME SUR RESEAU D'ADRAR

I-4-1 INTRODUCTION :

La Direction de Distribution d'Adrar relève de la Société de Distribution de l'électricité et du gaz de l'Ouest, filiale du Groupe SONELGAZ.

La Direction d'Adrar gère le réseau électricité de toute la wilaya d'Adrar d'Est en Ouest et du Nord au Sud, qui s'étend sur une superficie de 428 659 Km², soit un rayon d'action d'environ 500Km, administrativement composée de 11 daïrate et 28 communes, où la distribution est assurée par 04 districts électricité

La Direction d'Adrar est composée de 04 districts électricité (Adrar, Reggane, Timimoun et Aoulef) et de 05 agences commerciales (Adrar, Zt.Kounta, Reggane, Timimoun et Aoulef).[21]

I-4-2- SOURCE D'ALIMENTATION

- Centrale d'ADRAR
- Centrale Mobile de Kaberten
- Poste 220/30 KV ADRAR
- Injecteur 220/30 kV de Zt. KOUNTA
- Injecteur 220/30 kV de TIMIMOUN
- PS 220/30 kV d'AOULEF
- Injecteur 220/30 kV de KABERTENE
- Cabine Mobile 220/30 KV ADRAR
- Cabine Mobile 220/30 KV REGGANE
- Centrale de BBM
- Centrale de TALMINE
- Centrale de AIN BELBAL
- Centrale de M'GUIDEN [21]

I-4-3 -CENTRALES DE PRODUCTION :

Adrar :	130 MW
In Salah :	92 MW
Kaberten :	2X17 MW
BBM :	10,200 MW
Talmine :	9,300 MW
AinBelbal :	0,750 MW
M'Guiden :	0,320 MW

I-4-4 - POSTES 220/30 KV :

PS Adrar : (2X80 MVA)
 PS Aoulef: (2X40 MVA)
 Injecteur Zt.Kounta: (1X40 MVA)
 Injecteur Timimoun : (1X40 MVA)
 Injecteur Kaberten : (1X40 MVA)
 CM 220/30 KV Adrar : (1X40 MVA)
 CM 220/30 KV Reggane: (1x40 MVA)

I-4-5- DISTRIBUTION :

Les gammes de tensions utilisées dans la distribution au niveau d'Adrar sont 30 KV pour la haute tension A et 400 V et 230 V pour la basse tension.

Les postes (HTA) gérée par la Direction d'Adrar sont en nombre de : 06

Poste HTA / HTA Adrar,
 Poste HTA / HTA Fenoughil,
 Poste HTA / HTA Reggane,
 Poste HTA / HTA Aoulef,
 Poste HTA / HTA Timimoun,
 Poste HTA / HTA Aougrou. [21]

Les consistances du réseau géré par la DD d'Adrar illustrées dans le tableau ci-après :

District	TYPE DE RESEAUX	RESEAUX MT(Km)	RESEAUX BT(Km)
		30 Kv	B2
ADRAR	Aérien	1047,649	252,768
	Souterrain	121,985	17,994
	Torsadé		188,779
	Total	1169,634	459,541
REGGANE	Aérien	716,433	155,274
	Souterrain	35,759	6,376
	Torsadé		80,888
	Total	752,192	242,538
TIMIMOUN	Aérien	1123,428	247,359
	Souterrain	36,648	7,337
	Torsadé		511,124
	Total	1160,076	765,820
AOULEF	Aérien	303,227	70,845
	Souterrain	28,068	5,914
	Torsadé		82,965
	Total	331,295	159,724
Total Direction Adrar	Aérien	3190,737	726,246
	Souterrain	222,460	37,621
	Torsadé		863,756
	Total	3413,197	1627,623

Tableau I-2 : consistances du réseau d'Adrar [21]

I-4-5- SCHEMA SYNOPTIQUE DU RESEAU 30KV [21]

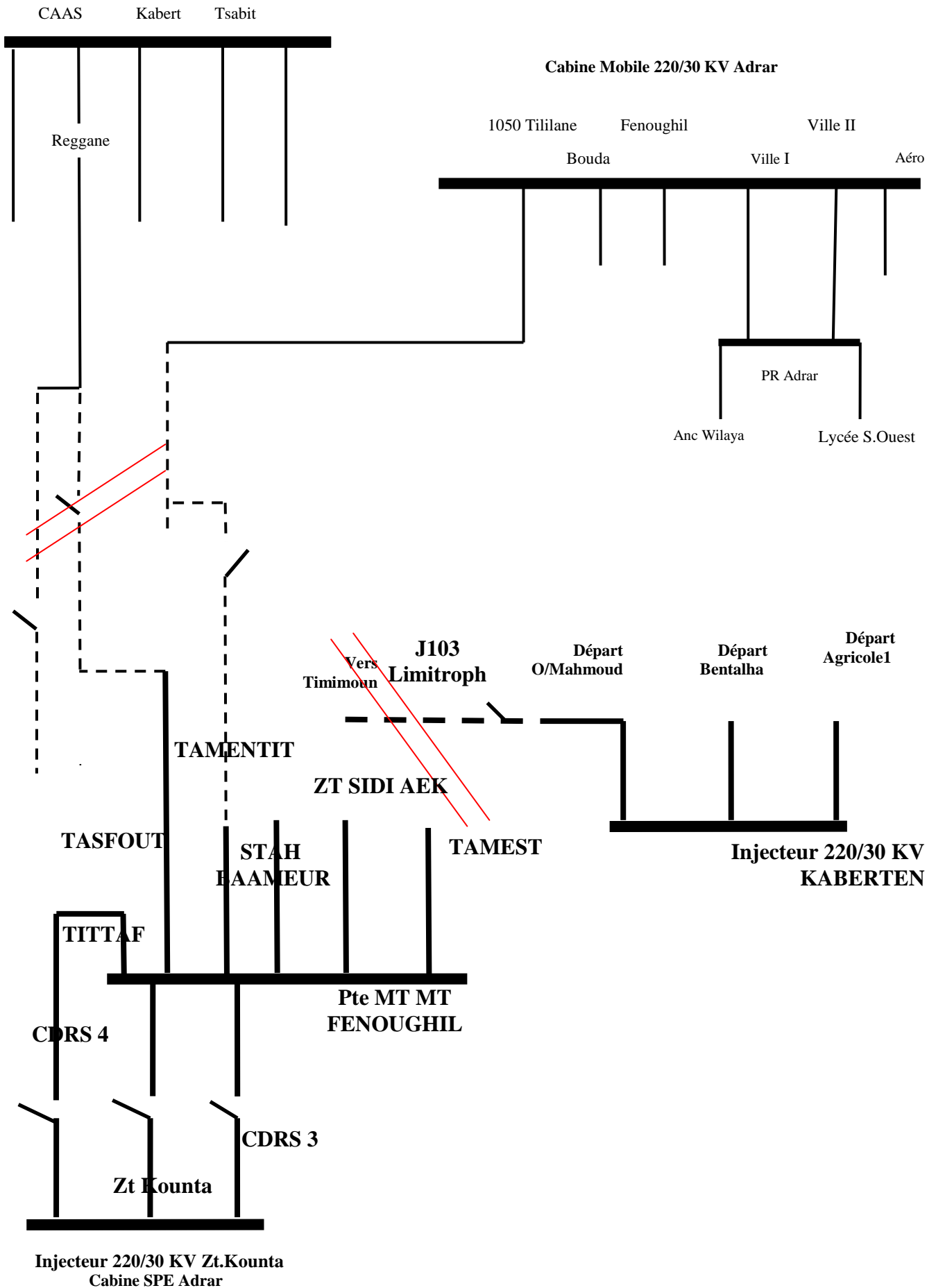


fig 1- 5 :_Schéma Synoptique du réseau 30KV

CONCLUSION

On a fait dans ce chapitre une étude générale du réseau électrique, avec l'étude de ses différents composants nécessaire à la production, au transport, à la distribution et à la livraison de l'énergie.

Le but premier d'un réseau d'énergie est de pouvoir alimenter la demande des consommateurs.

Comme on ne peut encore stocker économiquement et en grande quantité l'énergie électrique il faut pouvoir maintenir en permanence l'égalité : **Production = Consommation + pertes** Le réseau électrique doit permettre de livrer aux utilisateurs un bien de consommation adapté à leurs besoins, caractérisé par :

Une puissance disponible, fonction des besoins quantitatifs du client ;

Une tension fixée, fonction de cette puissance et du type de clientèle ;

Une qualité traduisant la capacité à respecter les valeurs et la forme prévues de ces deux paramètres et à les maintenir dans le temps [1]

CHAPITRE II

SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

INTRODUCTION

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, et la flambée des cours du brut, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie : l'utilisation et le développement des énergies renouvelables.[8]

On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) à l'échelle de l'homme mais aussi dans certains cas de l'humanité (solaire par exemple). Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...). [8]

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre. Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité. [8]

La technologie photovoltaïque permet de transformer cette énergie en électricité. Cette transformation s'effectue sans bruit, sans émission de gaz : elle est donc par nature totalement propre. Par ailleurs, l'absence de mise en mouvement de pièces mécaniques lui confère un niveau de fiabilité inégalable (durée de vie moyenne d'un module estimée à plus de 30 ans.) L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique. Le terme photovoltaïque vient du grec « phos, photos » qui désigne la lumière et de « voltaïque » mot dérivé du physicien italien Alessandro Volta, connu pour ses travaux sur l'électricité. [10]

II-1- L'ENERGIE DU SOLAIRE

Peut être utilisée essentiellement de trois façons:[9]

II-1-1-Chaleur passive :

Il s'agit de la chaleur que nous recevons naturellement du soleil. Cet élément peut être pris en compte dans la conception des bâtiments afin de réduire les besoins en chauffage

II-1-2-Solaire thermique :

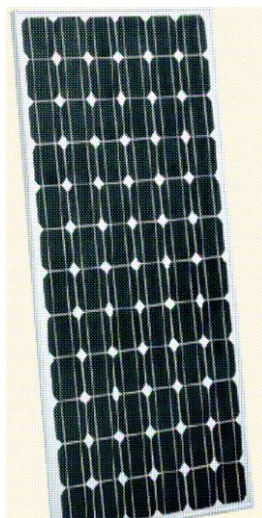
Technologie utilisant l'énergie du soleil pour fournir de l'eau chaude (ou du chauffage) aux maisons et aux piscines.

II-1-3-Energie photovoltaïque (PV) :

Technologie utilisant l'énergie du soleil pour fournir l'électricité alimentant appareils électriques et éclairage. Un système photovoltaïque produit de l'électricité grâce à la lumière du jour et non pas uniquement grâce à la lumière du soleil.[9]

II-2- L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :

Désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une *cellule photovoltaïque*. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un *panneau solaire* (ou *module*) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés *champ photovoltaïque*. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée.[8]



figII-1:Cellule photovoltaïque (Monocristalline) figII-2:Panneau photovoltaïque figII-3:Champ photovoltaïque

II-3- LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE :

Les éléments les plus importants d'un système photovoltaïque sont les cellules, éléments de base de l'unité qui collectent la lumière du soleil; les modules, qui rassemblent un grand nombre de cellules au sein d'une unité; et, dans certains cas, les onduleurs, qui transforment l'électricité générée en électricité utilisable au quotidien [9]

Les cellules photovoltaïques sont généralement réalisées à base de silicium cristallin, soit tranchées à partir de lingots, soit sous forme de rubans de silicium, soit en couches minces déposées sur un support à bas-coût. La performance d'une cellule solaire se mesure en termes de rendement de transformation de la lumière du soleil en électricité. Les cellules solaires les plus répandues dans le commerce ont un rendement de 15% - ce qui signifie qu'environ un sixième de la lumière du soleil frappant une cellule produit de l'électricité. Améliorer le rendement des cellules tout en poursuivant la réduction des coûts de production est un objectif important pour l'industrie photovoltaïque.[6]

II-3-1 – HISTORIQUE :

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans soleil.[8]

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

***1839:** Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

***1875:** Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-

conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

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

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

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

***1983:** La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.[8]

II-4- SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE :

La cellule individuelle, unité de base d'un système photovoltaïque, ne produit qu'une très faible puissance électrique, typiquement de 1 à 3 W avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module (ou panneau).[11]

Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, connectées en série pour des applications en 12 V. Le courant de sortie, et donc la puissance, sera proportionnelle à la surface du module. [13]

L'interconnexion de modules entre eux - en série ou en parallèle - pour obtenir une puissance encore plus grande, définit la notion de champ photovoltaïque.

Le générateur photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. Cet ensemble, appelé aussi "Balance of System" ou BOS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale, à savoir la structure [13]

rigide (fixe ou mobile) pour poser les modules, le câblage, la batterie en cas de stockage et son régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonctionnent en courant alternatif.

Le système photovoltaïque est alors l'ensemble du générateur photovoltaïque et des équipements de consommation.[11]

II-4- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Dans le cristal de silicium (un cristal est un solide formé d'atomes régulièrement disposés et fermement liés les uns aux autres), chaque atome est lié à 4 atomes voisins avec lesquels il partage les quatre électrons de sa couche M. La répartition étant régulière on peut considérer qu'un atome est au centre d'un tétraèdre et que ses 4 voisins sont placés au sommet de ce tétraèdre.

Les semi-conducteurs : sont des corps dont la résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Le silicium est un semi-conducteur. [8]

Conduction intrinsèque : Lorsque la température s'élève, sous l'effet de l'agitation thermique, des électrons réussissent à s'échapper et participent à la conduction. Ce sont les électrons situés sur la couche la plus éloignée du noyau qui s'impliquent dans les liaisons covalentes. Dans le cristal, ces électrons se situent sur des niveaux d'énergie appelée bande de valence. Les électrons qui peuvent participer à la conduction possèdent des niveaux d'énergie appartenant à la bande de conduction. Entre la bande de valence et la bande de conduction peut se situer une bande interdite. Pour franchir cette bande interdite l'électron doit acquérir de l'énergie (thermique, photon...). Pour les isolants la bande interdite est quasi infranchissable, pour les conducteurs elle est inexistante. Les semi-conducteurs ont une bande interdite assez étroite. L'atome qui a perdu un électron devient un ion positif et le trou ainsi formé peut participer à la formation d'un courant électrique en se déplaçant.. Si l'électron libre est capté par un atome, il y a recombinaison. Pour une température donnée, ionisation et recombinaison s'équilibrent ; la résistivité diminue quand la température augmente. Un semi-conducteur dont la conductivité ne doit rien à des impuretés est dit *intrinsèque*. En revanche, le fait de rajouter des impuretés (**dopage**), la conductivité du semi-conducteur est *extrinsèque*. [8]

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type **n** et dopée de type **p**. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau **n** diffusent dans le matériau **p**. La zone initialement dopée **n** devient chargée positivement, et la zone initialement dopée **p** chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone **n** et les trous vers la zone **p**. Une jonction **PN** a été formée.[8]

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau.[8]

L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque.[8]

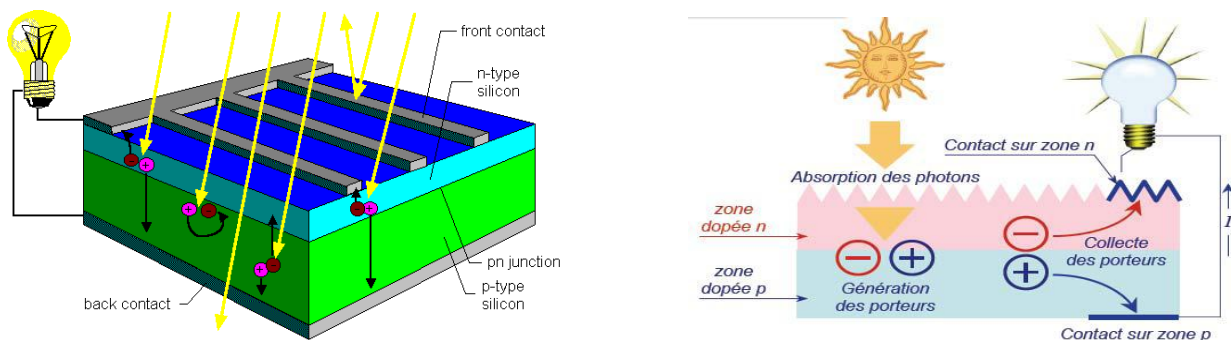


Fig II-4 : Principe de Fonctionnement

II-5-APPLICATIONS PHOTOVOLTAÏQUES :

La technologie photovoltaïque peut être utilisée pour plusieurs types d'applications : [9]

➤ **Systèmes domestiques connectés au réseau**

Il s'agit du système photovoltaïque le plus populaire pour les maisons et entreprises situées en zones développées. La connexion au réseau local d'électricité permet d'injecter et de revendre l'électricité produite. En cas d'ensoleillement insuffisant, l'électricité est importée du réseau. Un onduleur est utilisé pour transformer le courant continu produit par le système photovoltaïque en courant alternatif afin d'alimenter les équipements électriques standards [9]

➤ **Centrales connectées au réseau :**

Ces systèmes, également connectés au réseau, produisent une grande quantité d'électricité photovoltaïque en un seul endroit. La taille de ces installations varie de plusieurs centaines de kilowatts à plusieurs mégawatts. Certaines sont situées sur de grands bâtiments industriels tels que des aéroports ou des gares ferroviaires. Ceci permet à la fois d'utiliser des espaces disponibles et de compenser en partie l'électricité consommée par ces activités énergivores

➤ **Systèmes isolés pour l'électrification rurale :**

Quand le raccordement au réseau électrique n'est pas disponible, le système photovoltaïque est connecté à une batterie via un contrôleur de charge. Un onduleur peut être utilisé pour fournir du courant alternatif, permettant l'alimentation d'appareils électriques standards. La plupart des applications hors-réseau sont utilisées pour fournir de l'électricité à des zones reculées (chalets de montagne, pays en voie de développement). **L'électrification rurale** regroupe à la fois les petites installations solaires couvrant les besoins de base en électricité d'une maison individuelle et les installations plus grandes et semi-connectées fournissant de l'électricité à plusieurs maisons. [9]

➤ **Systemes hybrides :**

Un système photovoltaïque peut être combiné à une autre source de production d'électricité – biomasse, turbine éolienne ou générateur diesel – afin de garantir un approvisionnement constant en électricité. Un système hybride peut être relié au réseau, fonctionner en autonomie ou être soutenu par le réseau.

➤ **Biens de consommation :**

Les cellules photovoltaïques sont utilisées par divers équipements électriques de la vie quotidienne, comme les montres, calculatrices, jouets, chargeurs de batterie, toits de voitures. Des services utilisent également l'électricité photovoltaïque : arrosage automatique, signalisation routière, éclairage public, cabines téléphoniques.

➤ **Applications industrielles isolées :**

L'utilisation de l'électricité solaire en zones reculées est très répandue dans le secteur des télécommunications, en particulier pour relier les zones isolées au reste du pays. Les stations-relais pour téléphones mobiles fonctionnant grâce au photovoltaïque ou à un système hybride ont aussi un large potentiel. On peut également citer la signalisation routière et autoroutière, l'aide à la navigation maritime, les téléphones d'urgence et les installations de traitement des eaux usées. Ces applications sont d'ores et déjà compétitives en termes de coût dans la mesure où elles fournissent en électricité des zones trop éloignées pour que leur raccordement au réseau ne soit rentable. [9]

➤ **Domaine spatial :**

C'est de loin le secteur le plus ancien puisque les premières utilisations de cellules solaires pour des engins spatiaux (satellites, navettes,...) remontent aux années soixante. Depuis lors, des recherches et développements nombreux ont été réalisés dans le domaine militaire (NASA aux Etats-Unis) et public (ESA en Europe) pour accroître les performances électriques tout en réduisant le poids des modules.

➤ Résidence urbaine :

Le générateur photovoltaïque connecté au réseau est aussi envisagé en zone urbaine avec l'installation de modules sur les toits **et façades** de bâtiments. [9]

II-6- PUISSANCE LUMINEUSE ET ECLAIREMENT :

L'éclairement caractérise la puissance lumineuse reçue par unité de surface. Il s'exprime en W/m^2 . La grandeur associée à l'éclairement est notée **G** Parfois, cette grandeur est aussi appelée **irradiance**. [15]

II-7- CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES D'UNE CELLULE :

II-7-1- CARACTERISTIQUES COURANT / TENSION

A température et éclairement fixés, la caractéristique courant / tension d'une cellule a l'allure suivante :

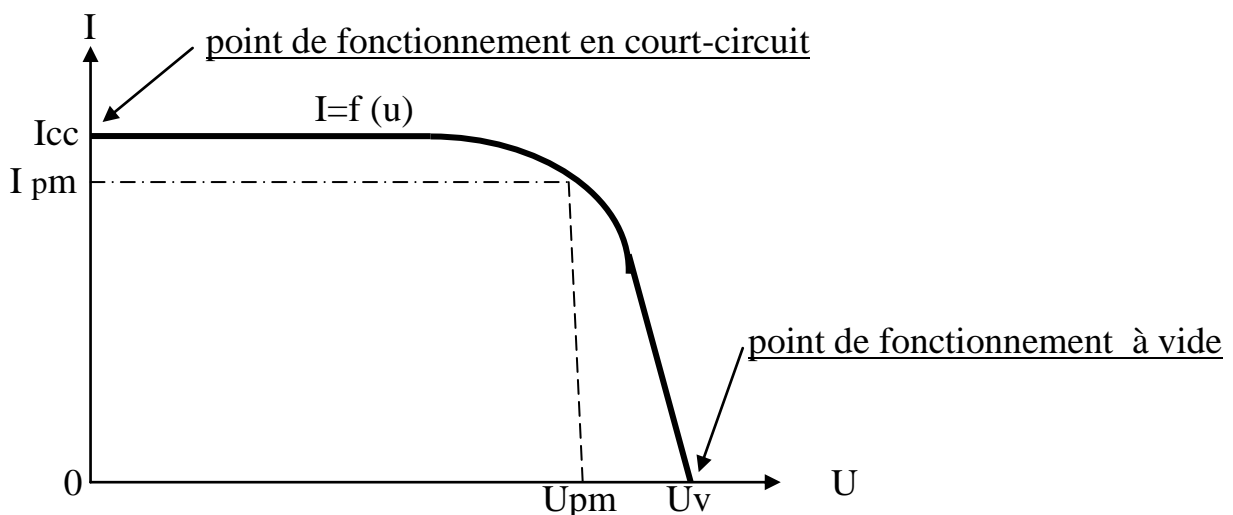


Fig II-5 : Caractéristiques courant / tension

Sur cette courbe, on repère :

- _ le point de fonctionnement à vide : U_v pour $I = 0A$
- _ le point de fonctionnement en court-circuit : I_{cc} pour $U = 0V$

Pour une cellule monocristalline de 10x10cm, les valeurs caractéristiques sont :

$I_{cc} = 3A$ et $U_v = 0,57V$ ($G = 1000W/m^2$ et $q = 25^\circ C$)[6]

II-7-2- CARACTERISTIQUES PUISSANCE / TENSION

La puissance délivrée par la cellule a pour expression $P = U.I$. Pour chaque point de la courbe précédente, on peut calculer la puissance P et tracer la courbe $P = f(U)$.

Cette courbe a l'allure suivante :

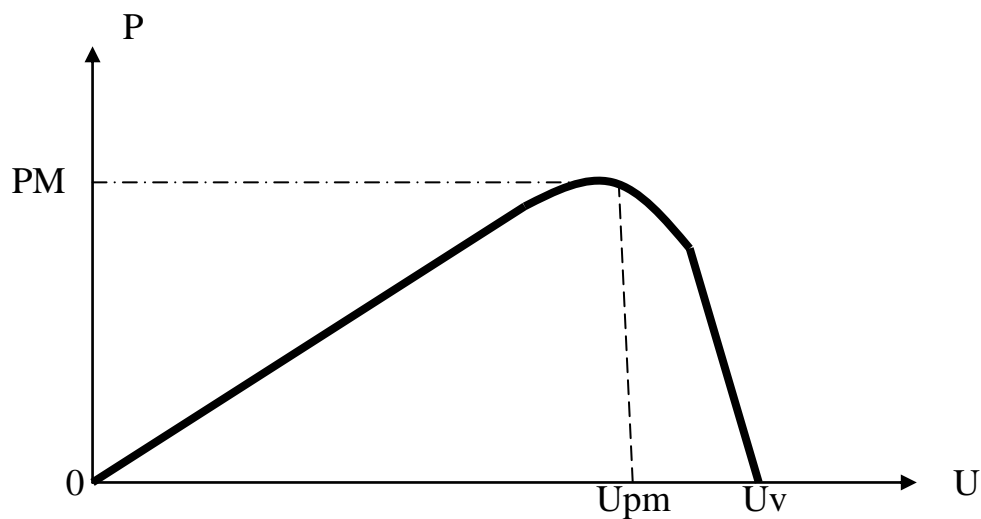


Fig. II-6 : Caractéristiques puissance / tension

Courbe passe par un maximum de puissance (PM).

A cette puissance correspond, une tension U_{pm} et un courant I_{pm} que l'on peut aussi repérer sur la courbe $I = f(U)$.

Pour une cellule monocristalline de 10x10cm, les valeurs caractéristiques sont :

$PM = 1,24W$, $U_{pm} = 0,45V$, $I_{pm} = 2,75A$ ($G = 1000W/m^2$ et $q = 25^\circ C$) $I = f(U)$

II-7-3- INFLUENCE DE L'ÉCLAIREMENT

A température constante, la caractéristique $I = f(U)$ dépend fortement de l'éclairement

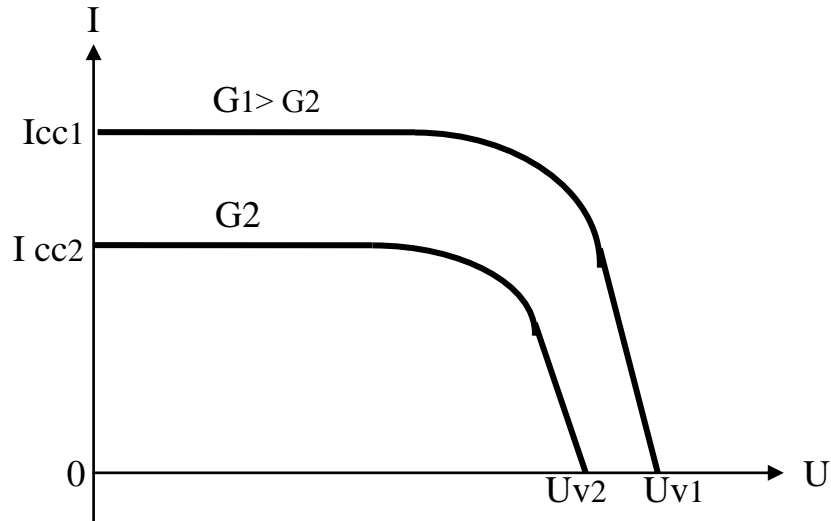


Fig II-7 : Influence de l'éclairement $I=f(U)$

Sur cette courbe, on remarque que le courant de court-circuit augmente avec l'éclairement alors que la tension à vide varie peu. A partir de ces courbes, on peut tracer les courbes de puissance $P = f(U)$:

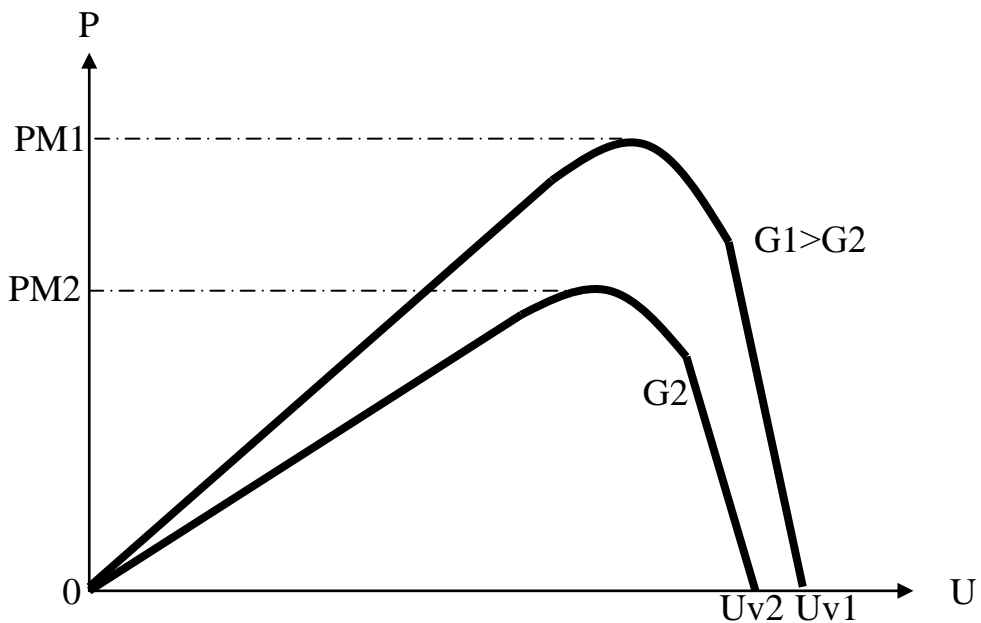


Fig II-8 : Influence de l'éclairement $P = f(U)$

Sur ces courbes, on remarque que la puissance maximum délivrée par la cellule augmente avec l'éclairement.

II-7-4- INFLUENCE E LA TEMPERATURE

Pour un éclairement fixé, les caractéristiques $I = f(U)$ et $P = f(U)$ varient avec la température de la cellule photovoltaïque :

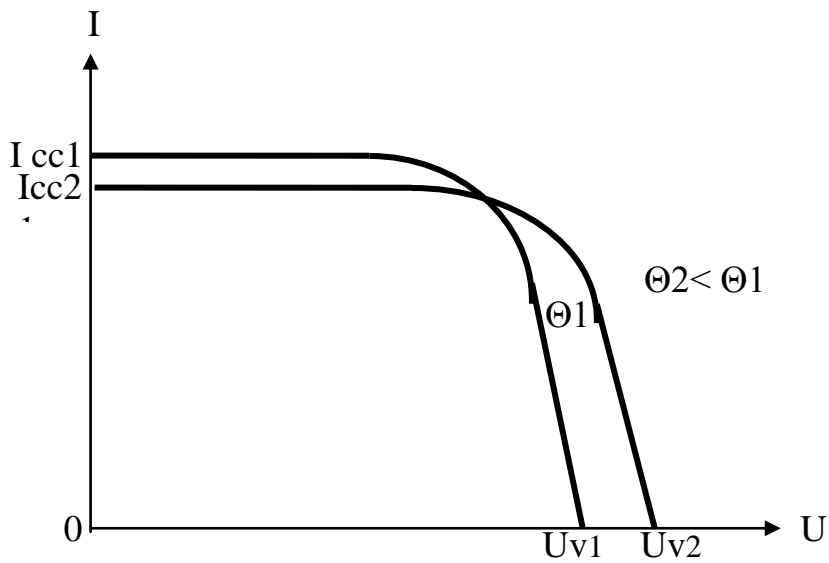


Fig II-9 : Influence e la température $I = f(U)$

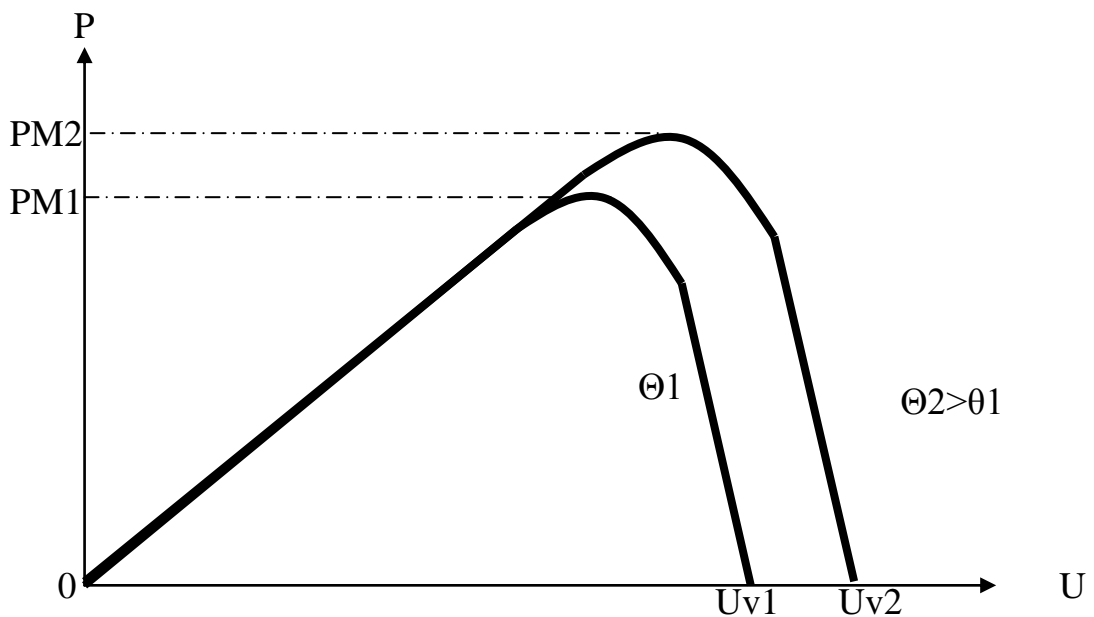


fig II-10 : Influence e la température $P = f(U)$

Sur ces courbes, on remarque que la tension à vide et la puissance maximum diminuent lorsque la température augmente. [17]

II-8- LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS :

II-8-1- AVANTAGES :

Grâce à ses nombreux avantages environnementaux et économiques, ainsi qu'à sa fiabilité avérée, le photovoltaïque s'affirme comme une source majeure d'électricité.

- Son carburant est gratuit.
- L'énergie solaire photovoltaïque ne génère ni bruit, ni émissions nocives, ni gaz polluants.
- Les systèmes photovoltaïques sont très sûrs et d'une grande fiabilité.
- Les modules photovoltaïques sont recyclables et les matériaux utilisés pour leur production (silicium, verre, aluminium, etc.) peuvent être réutilisés. Le recyclage n'est pas seulement bénéfique pour l'environnement, il contribue également à réduire l'énergie nécessaire pour produire ces matériaux et ainsi à réduire leur coût de fabrication.
- L'énergie solaire photovoltaïque exige peu de maintenance.

Les modules solaires ne nécessitent pratiquement aucune maintenance et sont faciles à installer.

- L'énergie solaire photovoltaïque fournit de l'électricité aux zones rurales les plus isolées.
- L'énergie solaire photovoltaïque peut être intégrée de manière esthétique dans les bâtiments.
- Le temps de retour énergétique d'un module diminue constamment. Cela signifie que le temps mis par un module photovoltaïque pour générer autant d'énergie qu'il en a fallu pour le produire est très court ; il varie entre 1,5 et 3 ans. Sur sa durée de vie, un module produit donc entre 6 et 18 fois plus d'énergie qu'il n'en faut pour le fabriquer.[6]

II-8-2- INCONVENIENTS

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients :

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru. La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis.[6]

CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce présent chapitre les différentes notions qui entrent dans la constitution d'un système de captage photovoltaïque. Aussi que les principes de fonctionnement de chaque élément, ce qui permet d'introduire à la modélisation et l'analyse de ce système, chose qu'on va présenter dans le chapitre III.

CHAPITRE III
MODELISATION ET
SIMULATION D'UN
SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE
RACCORDE AU RESEAUX
ELECTRIQUE

III INTRODUCTION

A ce jour, le développement massif du solaire photovoltaïque, en tant que moyen de production d'électricité raccordé au réseau, reste pénalisé par son coût de production encore très élevé. Notamment des cellules aux couches minces photovoltaïques.

A partir du moment où un système photovoltaïque est raccordé au réseau électrique d'un immeuble et que cet immeuble est raccordé au réseau public de distribution d'électricité, le système photovoltaïque est considéré comme connecté au réseau public de distribution d'électricité[7].

III-1- INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE :

III-1-1- QU'EST-CE QUE LES INSTALLATIONS PV FOURNISSENT?

Un système photovoltaïque, aussi appelé système PV, produit de l'électricité. Des modules photovoltaïques comme les panneaux bleutés que l'on est en train d'installer sur ces photos génèrent du courant électrique lorsqu'ils sont exposés à la lumière du soleil. Cette énergie peut aussi bien combler des besoins isolés d'électricité qu'être envoyée sur un réseau électrique, servir à alimenter des appareils d'aussi faible puissance qu'une calculatrice ou une horloge, que de contribuer à alimenter les grands réseaux électriques nationaux.[7]

Les modules photovoltaïques génèrent du courant continu. Aussi, selon les applications, un système photovoltaïque comprendra des appareils permettant de convertir l'électricité en courant alternatif, nécessaire au fonctionnement des appareils les plus communs. Les systèmes photovoltaïques autonomes comprendront également des accumulateurs Électriques permettant de stocker l'électricité produite pendant les heures ensoleillées pour la rendre disponible la nuit et par temps nuageux.

Les systèmes photovoltaïques permettent également le pompage de l'eau pour alimenter en eau potable des communautés et des troupeaux, à partir de puits ou de nappes d'eau éloignés d'une source électrique. Les systèmes de pompe à eau ont la particularité de pouvoir facilement stocker le produit auquel on est intéressé dans un réservoir, ce qui est plus facile que de stocker de l'électricité.

Les communautés isolées apprécient les nombreux avantages des systèmes photovoltaïques, comme on le voit dans ce village du Bengale occidental en Inde.

Tout d'abord les modules photovoltaïques sont la source d'électricité la plus fiable parmi les systèmes électrogènes. Ils n'ont pas de pièce mobile, et n'ont besoin d'aucune surveillance pendant plusieurs dizaines d'années. Ceci est un atout dans des régions où la main d'oeuvre spécialisée n'existe pas à un coût abordable. De tels endroits ne se trouvent pas uniquement dans les pays en voie de développement mais aussi en mer et dans l'espace pour l'exploration duquel les premiers systèmes photovoltaïques ont été développés.

Les systèmes photovoltaïques ont peu de composants et s'entretiennent facilement. Ils sont aisés à utiliser même par des utilisateurs ayant peu de compétences techniques, à la différence d'un groupe électrogène à moteur thermique.

Les systèmes photovoltaïques sont modulaires, c'est-à-dire que l'on peut facilement ajuster le nombre de modules photovoltaïques en fonction des besoins d'électricité et de l'ensoleillement disponible. De plus, de tels modules existent dans des tailles différentes. Ainsi, un ménage peut d'abord se contenter d'un simple kit d'éclairage comprenant un seul module, ce qu'il peut se permettre d'acquérir. Si quelques années plus tard, un téléviseur est acheté, il suffira alors d'ajouter un autre module photovoltaïque et/ou un autre accumulateur électrique.

Enfin, ces systèmes sont très appréciés des utilisateurs pour leur silence, pour l'absence d'odeurs générées et aussi pour leur faculté de fournir de l'éclairage sans chaleur, un atout dans les pays chauds. [7]

III-1-2- Description des installations PV

Des exemples d'architectures d'installations PV sont donnés dans la Figure III-1

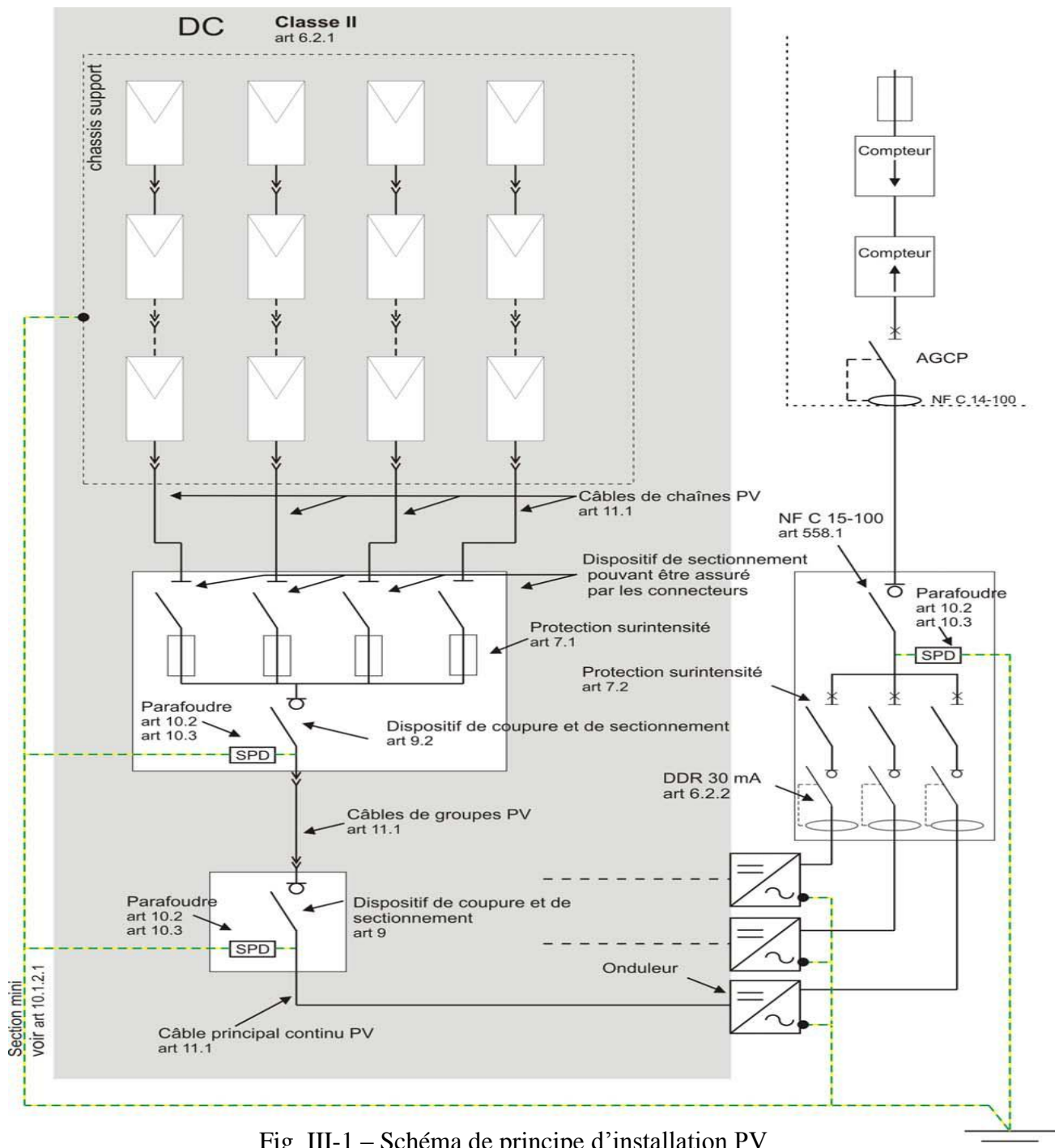


Fig III-1 – Schéma de principe d'installation PV

III-2-1 ALIMENTATIONS ELECTRIQUES FAIBLES PUISSANCES

Les alimentations électriques faibles telles que les calculettes ou les chargeurs de piles. Des modules PV peuvent faire fonctionner n'importe quel appareil alimenté par des piles.[8]

III-2-2 INSTALLATIONS ELECTRIQUES PHOTOVOLTAÏQUES AUTONOMES :

En site isolé le champ photovoltaïque peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique). Un système de régulation et une batterie d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique en l'absence de soleil[8].

Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques:

Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie.

La majorité des populations à l'écart des réseaux électriques vit dans des zones rurales, où l'implantation de tels réseaux est difficile, pour des raisons d'accès ou de moyens. Les systèmes photovoltaïques constituent alors une option intéressante, ils donnent aux populations un accès à l'électricité avec un coût, une maintenance et des difficultés de mise en œuvre réduits [8].

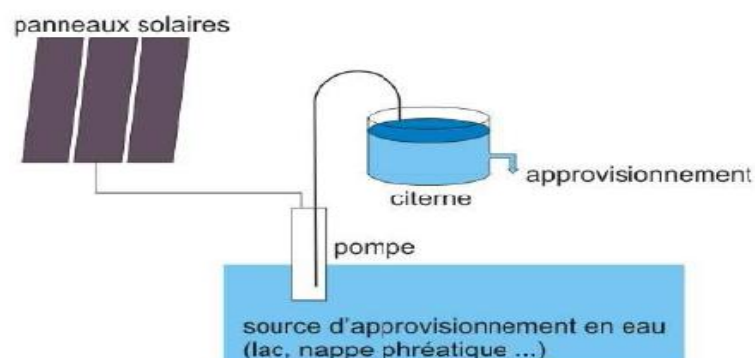


Fig III-2 : système photovoltaïques autonomes

En site isolé on peut utiliser des récepteurs fonctionnant en courant alternatif. Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur.

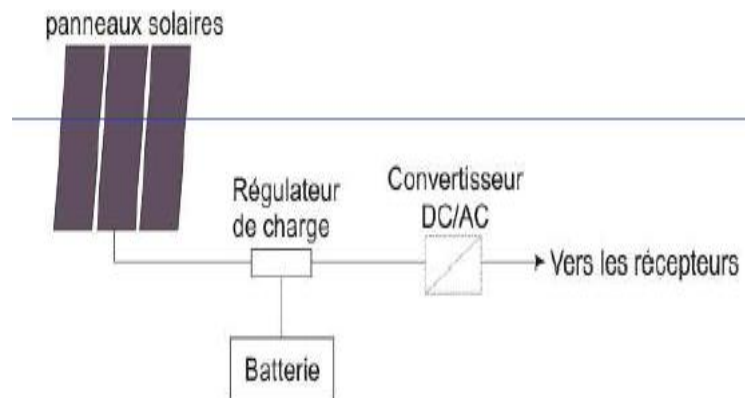


Fig III-3 : Réglage de système photovoltaïques

III-2-3 INSTALLATIONS ELECTRIQUES PHOTOVOLTAÏQUES RACCORDEES AU RESEAU

Lorsque l'installation PV est destinée à être raccordée au réseau de distribution, deux cas sont à considérer :

- installation avec un seul point de branchement,
- installation avec deux points de branchement.

Dans ce dernier cas, l'installation PV ne doit en aucun cas pouvoir être couplée à la partie utilisation de l'installation.

Des exemples de réalisation sont donnés dans les Figures

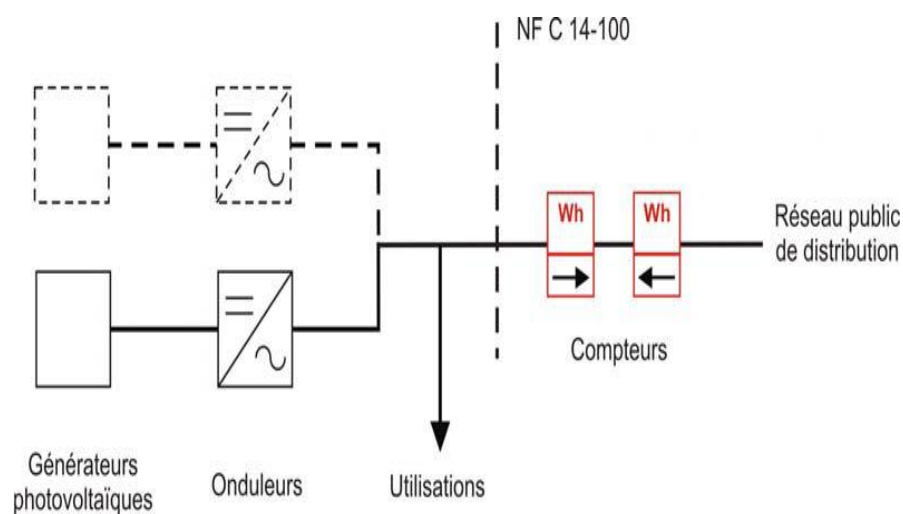


Fig III- 4: Raccordement en un seul point au réseau public de distribution

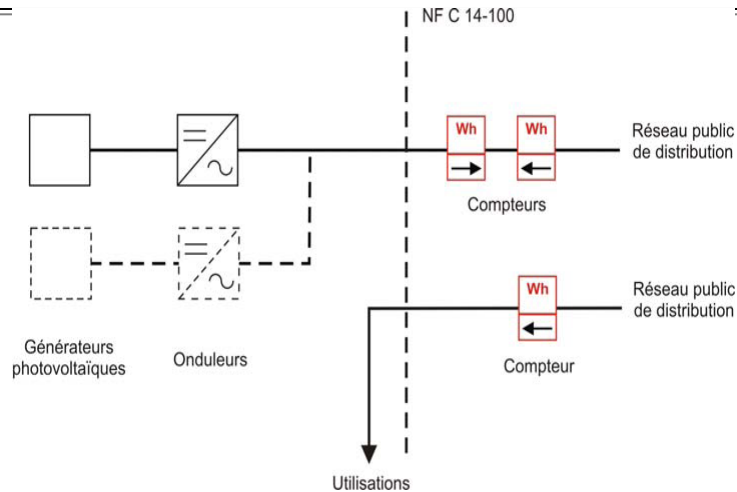


Fig III-5: Raccordement en deux points au réseau public de distribution

III-3: SYSTEME RACCORDE AU RESEAU

III-3-1 : PRINCIPE DE RACCORDEMENT

Dans les pays disposant déjà d'un réseau de distribution électrique, une nouvelle pratique a vu le jour dans le courant des années 80.

Elle consiste à compenser les différences entre la production et la consommation grâce à un échange d'énergie avec le réseau. De cette façon, les installations photovoltaïques peuvent se dispenser d'un système de stockage par batteries et injecter dans le réseau tous les surplus d'énergie produits. Toute injection dans le réseau se traduit par une diminution de la demande sur les centrales hydroélectriques, et donc par une "réserve" d'eau qui pourra être mise à profit pendant la nuit, ou lors de périodes de faible insolation.[17]

Plusieurs centaines d'installations de ce type sont maintenant en service, dont certaines depuis une dizaine d'années, apportant la preuve de la parfaite compatibilité avec le réseau, et de la haute fiabilité de la production d'énergie.

La mise en service de centrales photovoltaïques dans un réseau de distribution électrique élargit le rôle du distributeur. En plus de sa fonction traditionnelle de répartiteur de l'énergie produite par les gros producteurs, le distributeur assure maintenant le rôle de compensateur

entre les excédents et les insuffisances de la production d'électricité d'origine solaire.[19]

III-3-2 : composant d'un système photovoltaïque

III-3-2-1 : Modules

Le « Module » photovoltaïques (Module PV) est par définition un ensemble de cellules PV associé en série pour générer une tension électrique exploitable lors de son exposition à la lumière.

La fragilité des cellules au bris et à la corrosion exige une protection envers leur environnement. Généralement, elles sont encapsulées sous verre ou sous composé plastique (résine) pour former le module photovoltaïque.[6]

La durée de vie d'un module PV est autour de 20 ans, est normalement indiquer par le fabricant. L'encapsulation est l'un des facteurs influant l'espérance de vie d'un module PV.

Les modules mono et multi-cristallins les plus courants sont composés de 36 cellules disposées en 4 x 9 et depuis quelques années avec l'augmentation de la dimension des centrales photovoltaïques, les constructeurs proposent maintenant des modules composés de plus de cellules, souvent 72 cellules, soit l'équivalent d'un module double.

Les dimensions des modules dépendent de celles des cellules ; actuellement de 125 x 125 mm, avec une tendance vers des cellules plus grandes 156 x156 mm pour les multi-cristallines.[18]

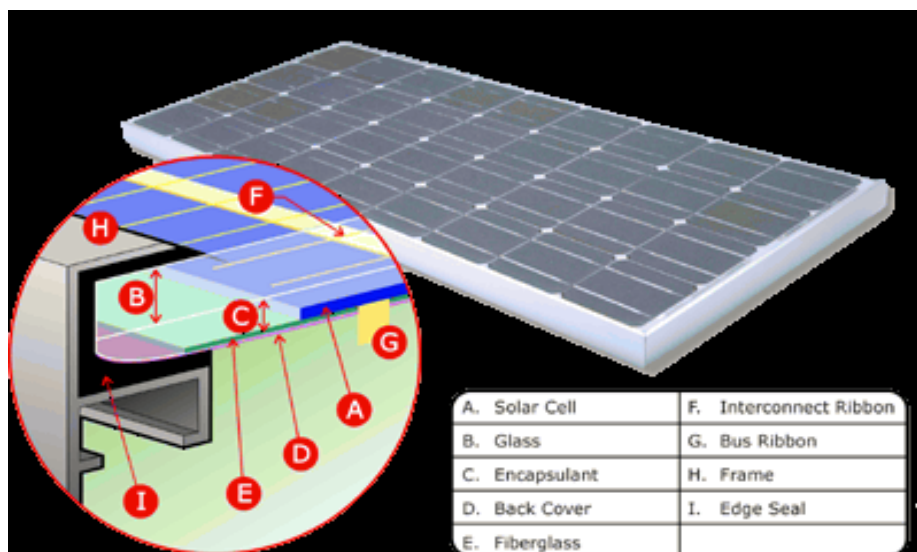
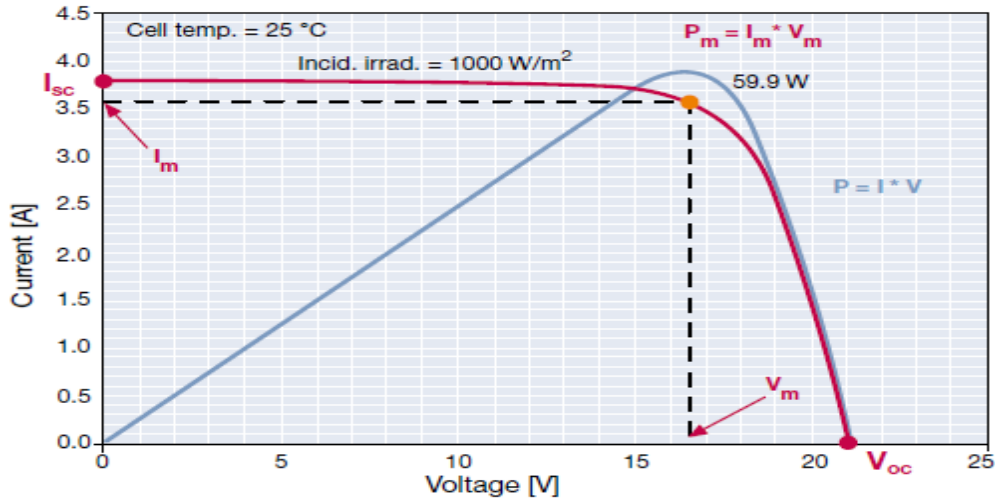


Fig III-6: module Photovoltaïques



FigIII-7: Caractéristique courant tension d'un module PV

III-3-2 -1-1 Association d'un générateur photovoltaïque.

Dans des conditions d'ensoleillement standard (1000W/m^2 ; 25°C ; AM1.5), la puissance maximale délivrée par une cellule silicium de 150 cm^2 est d'environ 2.3 Wc sous une tension de 0.5V . Une cellule photovoltaïque élémentaire constitue donc un générateur électrique de faible puissance insuffisante en tant que telle pour la plupart des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs photovoltaïques sont, de ce fait réalisés par association, en série et/ou en parallèle, d'un grand nombre de cellules élémentaires.[11]

Une association de n_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, Figure . L'équation (3-1) résume les caractéristiques électriques d'une association série de n_s cellules.

$$V_{co} n_s = V_{co} \quad I_{cc} = I_{cc} \quad (3-1)$$

Ce système d'association est généralement le plus communément utilisé pour les modules photovoltaïques du commerce. Comme la surface des cellules devient de plus en plus importante, le courant produit par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours

très faible. L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble. Les panneaux commerciaux constitués de cellules de première génération sont habituellement réalisés en associant 36 cellules en série ($V_{cons}=0.6V*36=21.6V$) afin d'obtenir une tension optimale du panneau V_{opt} proche de celle d'une tension de batterie de 12V.

Figure . Caractéristiques résultantes d'un groupement de n_s cellules en série. [6]

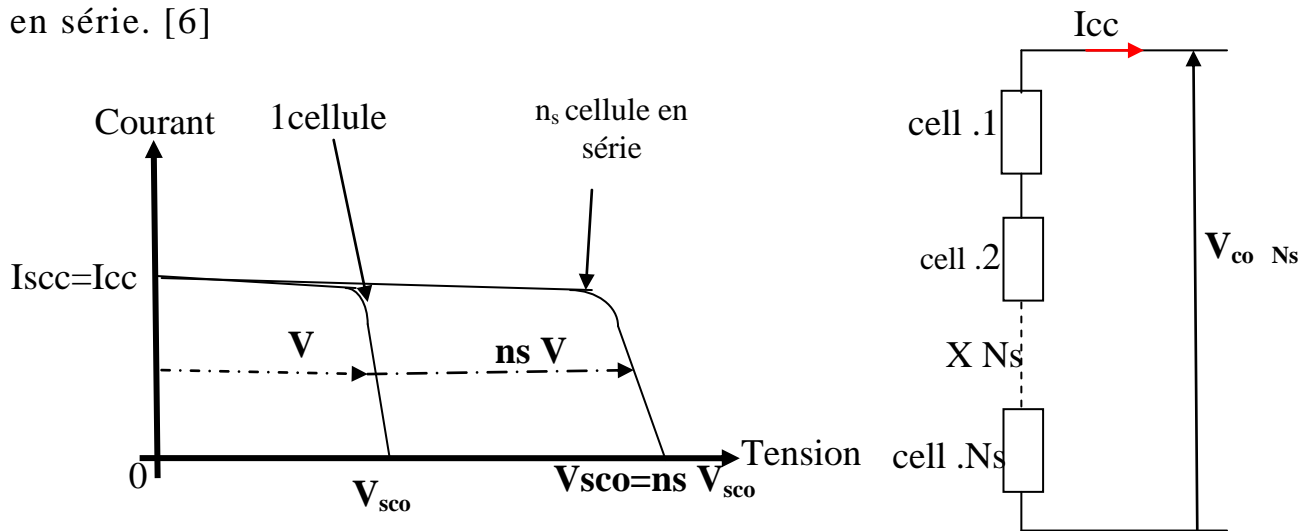


Fig III-8 : Caractéristiques résultantes d'un groupement de n_s cellules en série.

Association parallèle de n_p cellules 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 résultant du groupement est obtenue par addition des courants, Figure L'équation (3-2) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de n_p cellules.

$$I_{sc\ n_p} = n_p * I_{sc} \text{ avec } V_{oc\ n_p} = V_{oc} \quad (3-2)$$

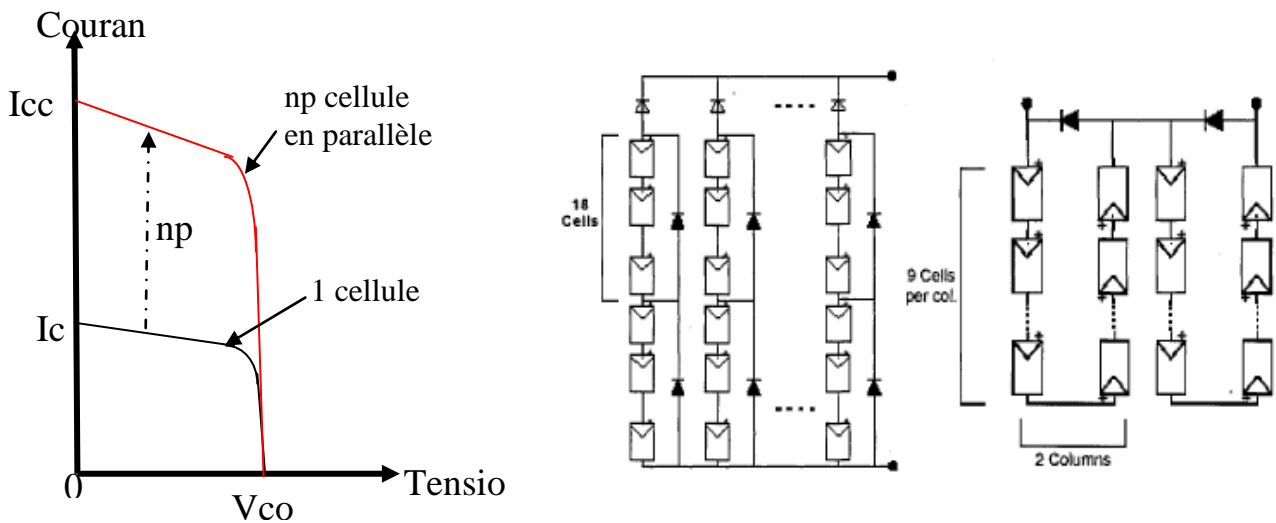


Fig III-9 : Caractéristiques résultant d'un groupement de n_p cellules en parallèle

Le groupement en parallèle permet d'augmenter le courant de sortie. Pour un groupement de n cellules montées en parallèle, le courant de sortie I_s a pour expression générale :

$I_s = n \cdot I$ avec I : courant fourni par une cellule

Pour ce groupement, la tension est commune à toutes les cellules

Pour éviter que les cellules ne débitent les unes sur les autres, on ajoute des diodes anti-retour.

III-3-2 -1-2 Caractéristiques d'un module :

Voici la description des paramètres d'un module :

La puissance crête P_C : puissance électrique maximum que peut fournir le module dans la condition standard (25°C et un éclairement de $1000\text{W}/\text{m}^2$).

La caractéristique $I(V)$: courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

Tension à vide V_{co} : tension au bornes du module en absence de tout courant, pour un éclairement « plein soleil ».

Courant de court circuit I_{cc} : courant débité par un module en court circuit pour un éclairement « plein soleil ».

Point de fonctionnement optimum (U_m, I_m) : lorsque la puissance de crête est maximum en « plein soleil », $P_m = U_m \cdot I_m$.

Rendement maximal : rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

Facteur de forme : rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance de radiation incidente.

III-2-2 LE PANNEAU PHOTOVOLTAIQUE :

Afin d'obtenir des puissances de quelques KW à quelques MW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en série (augmenté la tension) et en parallèle (augmenté le courant) pour former un panneau (ou champ PV).

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants du panneau PV dépend :

- Des besoins en électricité
- De la taille du panneau
- De l'ensoleillement du lieu d'utilisateur
- De la saison d'utilisateur

III-3-2-3 Les Batteries :

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite s'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales:

-Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple)

-Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

Les Caractéristiques principales d'une batterie sont :

Capacité en Ampère heure : Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant.

Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures.

Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que :

Rapports de chargement et déchargement : Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer.

Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

- **Température** : Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie.

La durée de vie : Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quelque soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles).

Profondeur de décharge: La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge.

Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. Les fabricants de batteries de nickel-Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages.

La profondeur de décharge : Cependant, affecte même les batteries de cycle profond. Plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

La tension d'utilisation : C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

Le rendement : C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

Le taux d'autodécharge : L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.[6][11]

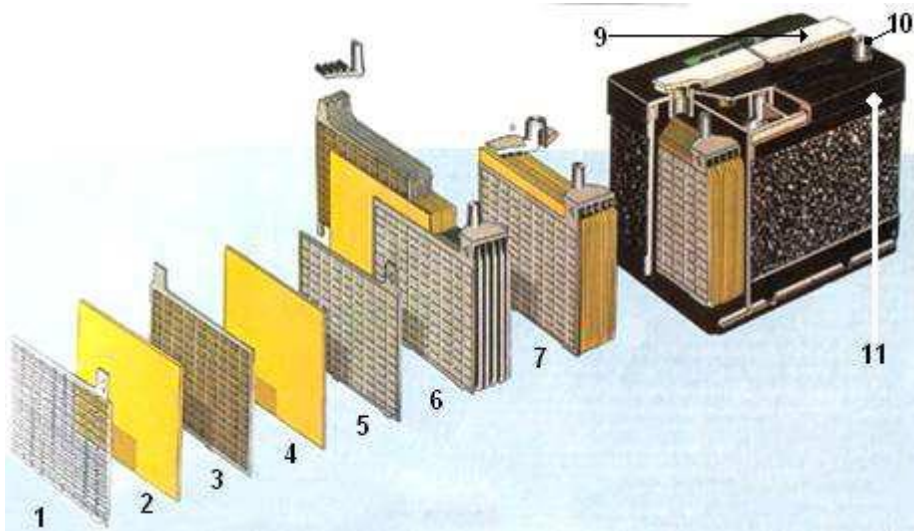


Fig III-10: Construction d'une batterie monobloc

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1: Grille. | 7 : Élément complet |
| 2 : Séparateur. | 8 : Pont |
| 3 : Plaque positive. | 9 : Rampe de bouchons. |
| 4 : Plaque négative. | 10 : Borne. |
| 5 : Barrette. | 11 : Bac. |
| 6 : Faisceau négatif | |

III-3-2-4 Système de régulation :

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Lorsqu'une batterie se rapproche d'un état de charge complète, de petites bulles commencent à se former sur les électrodes positives. A partir de ce moment, il vaut mieux réduire le courant de charge non seulement pour éviter des dégâts mais aussi afin de mieux atteindre l'état de charge complète. Un courant trop élevé peut

provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit.[14]

Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- la protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation.

La tension aux bornes de la batterie est l'indication sur la quelle s'appliquera le régulateur pour assurer sa fonction. Le régulateur mesure en permanence cette tension et la compare à deux seuils de tension pré-régler : seuil haut et seuil bas.

Il existe plusieurs types de régulateurs :

III-3-2-4-1 Régulation de décharge

La régulation de décharge s'effectue par un comparateur qui compare la tension de la batterie à un seuil de tension pré-régler bas et transmet l'information à un circuit de commande. Ce dernier arrête de décharge lorsque la tension par élément dépasse la tension de seuil.

III-3-2-4-2 Régulation de la charge

La régulation de la charge effectue par une réduction de courant lorsque la batterie est chargée, on évite la charge lorsque la tension par élément dépasse la tension de surcharge.

Il existe plusieurs types de montage de régulation de charge pour les batteries au plomb :

- Régulations de charge série
- Régulateur de charge de coupure
- Régulateur de charge à découpage
- Régulateur de charge série à coupure partielle
- Régulateur de charge parallèle [11]

III-3-2-5 Système de conversion :

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de Convertisseur continu continue), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif).

A l'onduleur est généralement associé un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil.[17]

III-3-2-5-1 Le convertisseur continu - continu :

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximal. [6][11]

Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (maximum power point tracking). Son rendement se situe entre 90 et 95%. Ce système présente deux inconvénients pour un PV de faible puissance :

- Prix élevé.
- Le gain énergétique annuel par rapport à un système moins complexe (cas d'une régulation de la tension) n'est pas important.[11]

III-3-2-5-2 Le convertisseur continu- alternatif :

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif. La formation de l'ordre de sortie peut être assurée par deux dispositifs :

- **Rotatif** : c'est un moteur à courant continu couplé à un alternateur, son rendement varie de 50% à 60% pour 1kW jusqu'à atteindre 90% pour 50kW. Ses avantages sont : simplicité, onde sinusoïdale, bonne fiabilité. Ses inconvénients sont : cherté, faible rendement (surtout pour les faibles puissances).

- **Statique** : on le désigne sous le nom d'onduleur. C'est un dispositif utilisant des transistors de puissance ou des thyristors. L'onde de sortie présente, dans le plus simple des cas, une forme carrée qui peut s'adapter à quelques types de charges, des pertes à vide considérables surtout pour des faibles puissances. Les onduleurs peuvent être améliorés à l'aide d'un filtrage ou par utilisation des systèmes en PWM (pulse width modulation) qui permettent grâce à la modulation de la longueur des impulsions d'obtenir une onde de sortie sinusoïdale. Avec ce système, on obtient :

- Un rendement élevé sur une plage du taux de charge.[14]

- De faibles pertes à vide.[6]

Les onduleurs pour la connexion au réseau ont une puissance nominale d'environ 100 W à plusieurs centaines de kW. Jusqu'à 5 kW, ils fonctionnent en général en 230 V monophasé, alors qu'au-dessus, ils doivent être triphasés (basse ou moyenne tension). Etant connecté directement sur le champ PV, leur tension et leur courant d'entrée sont donc très variables avec les conditions d'ensoleillement et de température ambiante. L'une des fonctions importantes de l'onduleur réseau est donc la recherche du point de puissance maximum (souvent notée MPPT pour « Maximum Power Point Tracking »), c'est-à-dire adaptation permanente de l'impédance d'entrée afin d'optimiser, à chaque instant, le produit $P = U \cdot I$ sur la caractéristique du champ PV. L'onduleur doit ensuite construire une (ou trois) tension(s) sinusoïdale(s) correspondant aux normes requises par le réseau.

Il existe trois concepts différents pour un onduleur PV connecté au réseau :

- **L'onduleur central**, principal concept utilisé ; c'est de lui que nous parlons dans la suite. La totalité de la puissance DC est transformée en puissance AC à l'aide d'un ou plusieurs onduleurs centraux. Les avantages sont la séparation claire entre les parties DC et AC ainsi qu'une maintenance simplifiée. Les désavantages sont une influence importante des ombrages partiels, ce qui demande un MPPT (Maximum Power Point Tracker) plus complexe. Les systèmes à onduleur central se présentent selon deux configurations possibles : un onduleur unique ou plusieurs onduleurs couplés en maître-esclave. Ce dernier concept permet d'optimiser le nombre d'onduleurs en fonction de la puissance à transformer ; ainsi chaque onduleur travaille à un niveau de puissance pour lequel son rendement est le plus élevé. Un désavantage est que l'onduleur maître est toujours fortement sollicité, accroissant ainsi son risque de panne.[6]
- **Un onduleur de branche** monté sur chaque branche de panneaux PV. Ce concept permet d'économiser les boîtiers de répartition et simplifie partie du câblage DC. Les onduleurs de petites dimensions peuvent être montés sur un canal de distribution, ce qui facilite leur accès et leur contrôle. Ce concept tend à devenir le standard en Allemagne dans les systèmes domestiques de moyenne puissance.
- **Aux Pays-Bas**, une recherche intense s'est développée autour du concept de l'onduleur de module ou "module-AC". L'onduleur est monté directement sur le module à côté de la boîte à bornes. Il permet un câblage simplifié en AC uniquement, une connexion simplifiée à l'habitation et le système est moins sensible aux ombrages partiels puisque chaque module est branché en parallèle avec son voisin. Un autre avantage important de ce concept est que le module AC

ne débite du courant que s'il voit la sinusoïde du réseau : pour les installateurs, le souci permanent de s'électrocuter disparaît. C'est encore une technologie récente sur laquelle le retour d'expérience est très jeune, en particulier sur la durée de vie, la fiabilité et la résistance aux surcharges.

En général, en dessous de 3.5 kW, les onduleurs fonctionnent en 230 V monophasé. Cette valeur est alignée sur les normes en vigueur mais typiquement on peut considérer le seuil à 5 kW. Pour des systèmes de dimension supérieure (5 à 10 kW), l'alimentation peut utiliser un onduleur tri-phasé ou trois onduleurs mono-phasés.

L'avantage du tri-phasé est son alimentation symétrique, idéale pour les réseaux faibles et le fait qu'un seul appareil est nécessaire. Les inconvénients sont qu'il ne peut y avoir qu'un seul champ de modules et qu'il n'y a pas de modèles de petite puissance disponible.

Les avantages du triple mono-phasé sont le choix important de fournisseurs pour les petites et moyennes puissances et qu'il permet la présence de trois champs de modules différents. Ses inconvénients sont que les champs asymétriques entraînent une alimentation déséquilibrée du secteur et surtout la sommation des harmoniques impairs dans la connexion neutre-réseau qui nécessite une liaison à très basse impédance.[6]

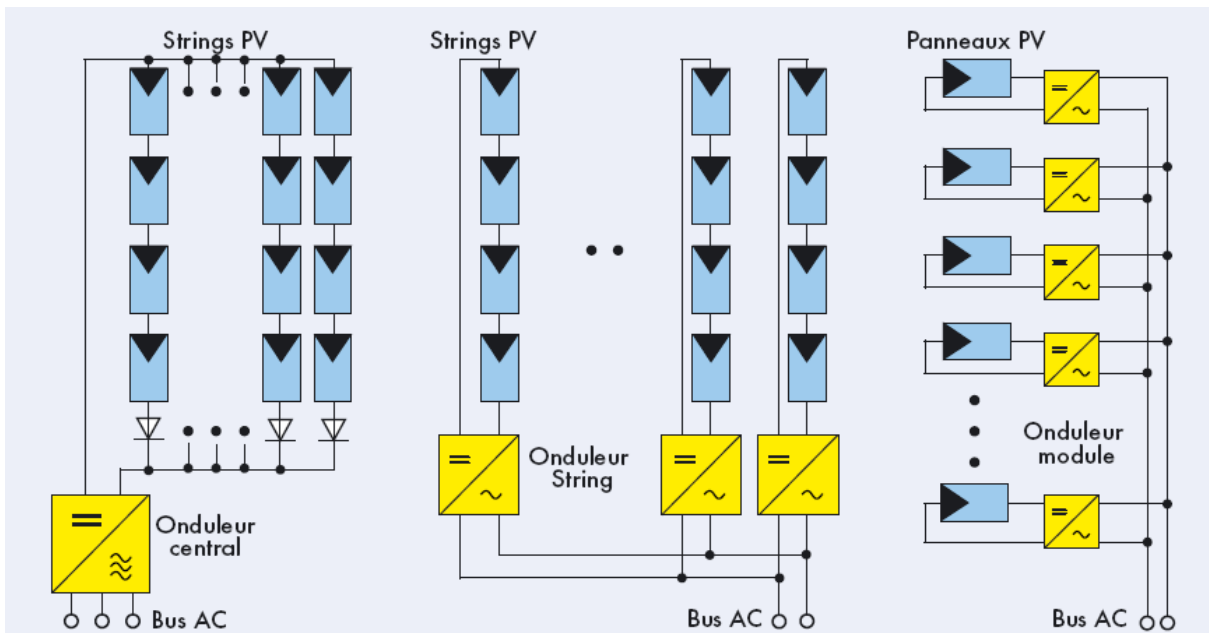


Fig III-11 : Configurations des onduleurs connectés au réseau

III-3-2-5-3 Impératifs techniques

Les impératifs techniques suivants doivent être satisfaits:

- une parfaite synchronisation avec le réseau. Il existe deux types de synchronisation, les onduleurs pilotés par le réseau (le plus courant), et ceux à référence sinusoïdale interne (rare)

- déclenchement automatique en cas de coupure du réseau (pas de fonctionnement en îlot)

- limitation de la tension de sortie à la valeur maximale admissible pour le réseau ;

Raccordement au réseau Eléments d'une installation

- ne pas occasionner de déphasage important ;
- faible taux de fréquences harmoniques (signal proche de la sinusoïde) ;
- faibles perturbations électromagnétiques (hautes fréquences) ;
- insensibilité aux signaux de commande du réseau ;
- isolation galvanique (entre le champ et le réseau) est souhaitable.

D'autres qualités sont à surveiller lors du choix d'un onduleur :

- le rendement, au niveau de puissance usuelle de l'installation, doit être élevé ;
- enclenchement et déclenchement automatiques, avec un seuil d'irradiance faible ;
- qualité et précision de la recherche du point de puissance maximum ;
- plage d'entrée en tension ; elle conditionne le nombre de panneaux à connecter en série dans le champ ;
- comportement à puissance maximale : certains appareils se déconnectent, d'autres continuent de fonctionner en limitant la puissance ;
- protection en température ;
- consommation faible (nulle) sur le réseau durant la nuit ;
- affichage des paramètres de fonctionnement et des pannes; possibilités de contrôle par ordinateur extérieur ;
- fiabilité, l'un des points cruciaux jusqu'à aujourd'hui ;
- encombrement et poids raisonnables ;[18]

III-4 LA PROTECTION ELECTRIQUE DES INSTALLATIONS PV

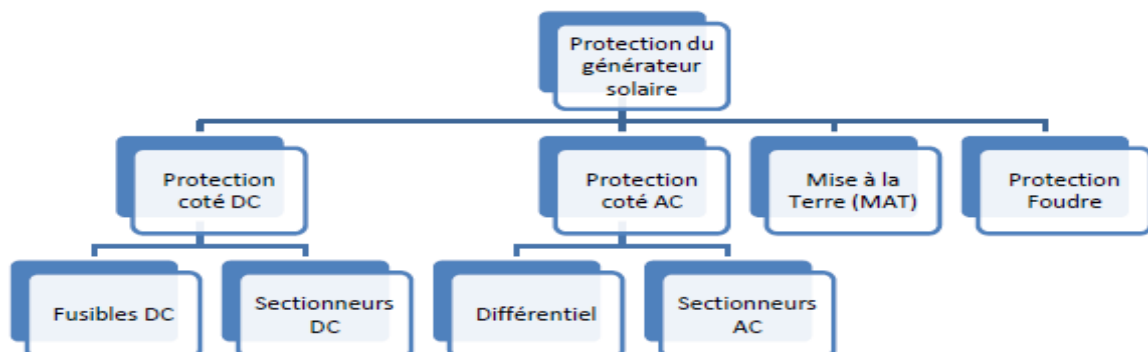


Fig III-12: diagramme de La protection électrique des installations PV

III-4-1 LES PROTECTIONS COTE AC :

III-4-1-1 protection de découplage :

Lorsqu'une installation de production photovoltaïque est couplée au réseau, une protection de découplage est nécessaire.

Cette protection est destinée à la déconnexion de l'installation en cas de :

- défaut sur le réseau ;
- absence de tension sur le réseau ;
- variation de tension ou de fréquence en dehors de la plage de fluctuation tolérée par le réseau.

Cette protection est intégrée à un dispositif de coupure automatique ou à l'onduleur.

III-4-2 PROTECTION CONTRE LES SURINTENSITES :

Afin de protéger les conducteurs constituant l'installation électrique, des fusibles ou des disjoncteurs sont utilisés pour éviter tout échauffement excessif lors du passage du courant.

Les surintensités peuvent se présenter sous deux formes :

III-4-2-1 COURANTS DE SURCHARGE :

Un dispositif de protection contre les courants de surcharge doit être prévu afin d'éviter tout échauffements excessifs provoquant des problèmes d'isolation

Le choix des dispositifs de protections ainsi que l'emplacement des dispositifs de protection contre les surcharges.

III-4-2-2 COURANT DE COURTS CIRCUITS :

Il doit être disposée sur chacun des conducteurs actifs, à part le neutre afin d'interrompre tout courant de court circuit avant que celui-ci ne puisse devenir dangereux à cause des effets thermiques dans les conducteurs.

Cette fonction est assurée soit par des disjoncteurs ou bien par des fusibles, les pouvoirs de coupure de ces dispositifs de protections est déterminée en tenant compte des courants de courts circuits maximaux provenant du réseau.

La détermination des courants ainsi que l'emplacement des dispositifs de protection contre les courts circuits.

III-4-3 DISPOSITIFS DE SECTIONNEMENT ET DE COUPURE :

a/Dispositif de coupure :

Afin d'assurer l'isolement de l'onduleur en cas de défaut sur le réseau, ou bien lors d'une opération de maintenance, un interrupteur ou disjoncteur doit être installé à la sortie de l'onduleur, ces derniers permettent la coupure de l'onduleur en cas d'intervention sans nécessité d'intervenir au niveau de disjoncteur ligne (point d'injection sur le réseau), ainsi de couper l'alimentation en cas de défaut.

b /Dispositif de sectionnement :

Un dispositif de sectionnement doit être installé en aval de l'onduleur afin d'assurer une isolation en cas de maintenance, tout le circuit doit pouvoir être sectionné sur chacun des conducteurs actifs à l'exception du conducteur PE.

III-4-4 MISE A LA TERRE :

Afin d'assurer une protection des équipements et des personnes, et pour faire circuler les courants de défaut et de fuite à la terre sans aucun danger, une mise à la terre de tous les équipements (carcasse métallique), doit être prévu.

Le réseau de terre doit être maillé et bouclé pour avoir une équipotentialité dans toute l'installation, réduire la résistance de la prise de terre et ne pas créer des surtensions locales lorsque il transporte un défaut.

III-4-5 PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS

Dans une installation photovoltaïque, les surtensions peuvent survenir :

- Du réseau qui peuvent être d'origine atmosphérique (foudre) ou dues à des manœuvres.
- Des coups de foudre à proximité de l'installation ou par des variations du champ électrique générés par ces derniers.

A cet effet, dans une installation PV un dispositif de protection contre les surtensions est nécessaire (Parafoudres et Paratonnerres)

Dans la fonction de protection contre les surtensions, on distingue deux types de protection contre la foudre à savoir :

1. Protection contre la foudre extérieur :

Son principe est de capter la décharge atmosphérique et de la drainer vers le sol à travers un dispositif de captage relié directement à la terre (paratonnerres).

2. Protection contre la foudre intérieur

Elle permet de créer une liaison équipotentielle entre les parties métalliques de l'installation et les lignes électriques.

Cette dernière est raccordée indirectement, à la terre à travers une protection contre les surtensions (parafoudres).

III-4-6 PROTECTION DIFFERENTIELLE :

Les dispositifs de protection différentiels à courant résiduel (DR) ont été conçus pour assurer une protection des personnes contre les contacts indirects et une protection complémentaire contre les contacts directs (haute sensibilité).

Cette protection peut être intégrée directement avec les protections de l'onduleur en cas où l'installation photovoltaïque ne possède pas un transformateur d'évacuation.

III-5 MODALISATION LE SYSTEME PV RACCORDE AU RESEAU

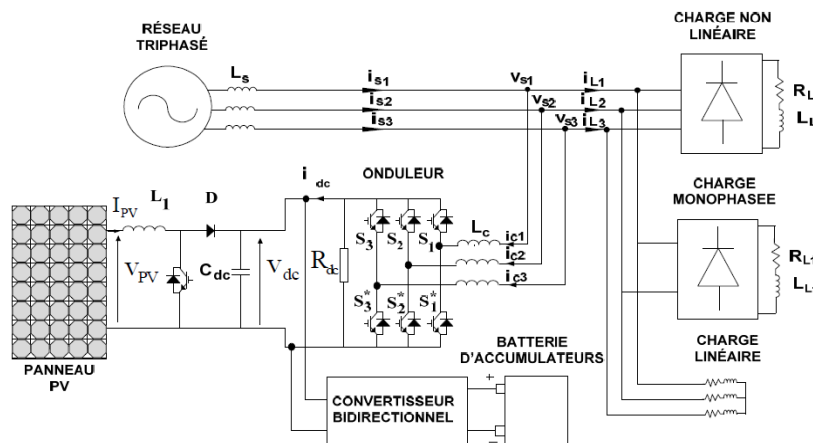


Fig III.13 : Schéma global du système PV raccordé au réseau

III-5-1 MODALISATION ET SIMULATION LES COMPOSENT DE SYSTEME

III-5-1-1 MODELE D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

Le modèle utilisé est défini par une source de courant idéal associée à une diode [D] et à 2 résistances [Rs] et [Rp]. La diode [D] décrit les propriétés semi-conductrices de la cellule photovoltaïque (modélisation du comportement de la cellule dans l'obscurité). La résistance [Rs], résistance série, modélise les pertes ohmiques du matériau. La résistance [Rp], résistance shunt, modélise les courants parasites qui traversent la cellule [22]

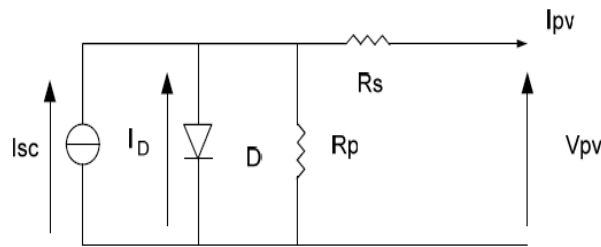


Fig III.14 : Schéma équivalent d'une cellule solaire réelle

Pour modéliser la cellule, on exprime les grandeurs électriques relative à la représentation de la cellule sous forme d'équation, tel que, pour le courant circulant dans la diode :

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) = I_0 \left(e^{\frac{V_{pv} + R_S I_{pv}}{V_T}} - 1 \right)$$

I_0 étant le courant de polarisation inverse de saturation de la diode

Avec :

$$V_D = V_{pv} + R_S I_{pv}$$

Et V_T étant la tension thermique défini par :

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

Avec k la constante de Boltzman égal à $1.3806503 \times 10^{-23}$ J/K, T est la température de fonctionnement de la cellule en degré Kelvin, et q est la charge d'électrons.

La tension V_{pv} est donc défini par :

$$V_{pv} = V_D - R_S I_{pv}$$

Et

$$I_p = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V_{pv} + R_S I_{pv}}{R_p}$$

On obtient alors l'expression de I_{pv} pour une cellule :

$$I_{pv} = I_{sc} - I_D - I_p = I_{sc} - I_0 \left(e^{\frac{V_{pv} + R_S I_{pv}}{V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{pv}}{R_p} - \frac{R_S}{R_p} I_{pv}$$

Si on pose N_s , le nombre de modules connectés en série dans une branche et N_p , le nombre de branches connectées en parallèle.[22]

L'équation régissant ce modèle de générateur photovoltaïque est obtenue à partir de l'équation

$$I_{pv} = N_p I_{sc} - N_p I_0 \left(e^{\frac{V_{pv} + R_S I_{pv}}{N_p V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{pv}}{R_p} - \frac{R_S}{R_p} I_{pv}$$

III-5-1-1 Simulation de composent

Fig III.15.a Caractéristique I=f(V) de la cellule.

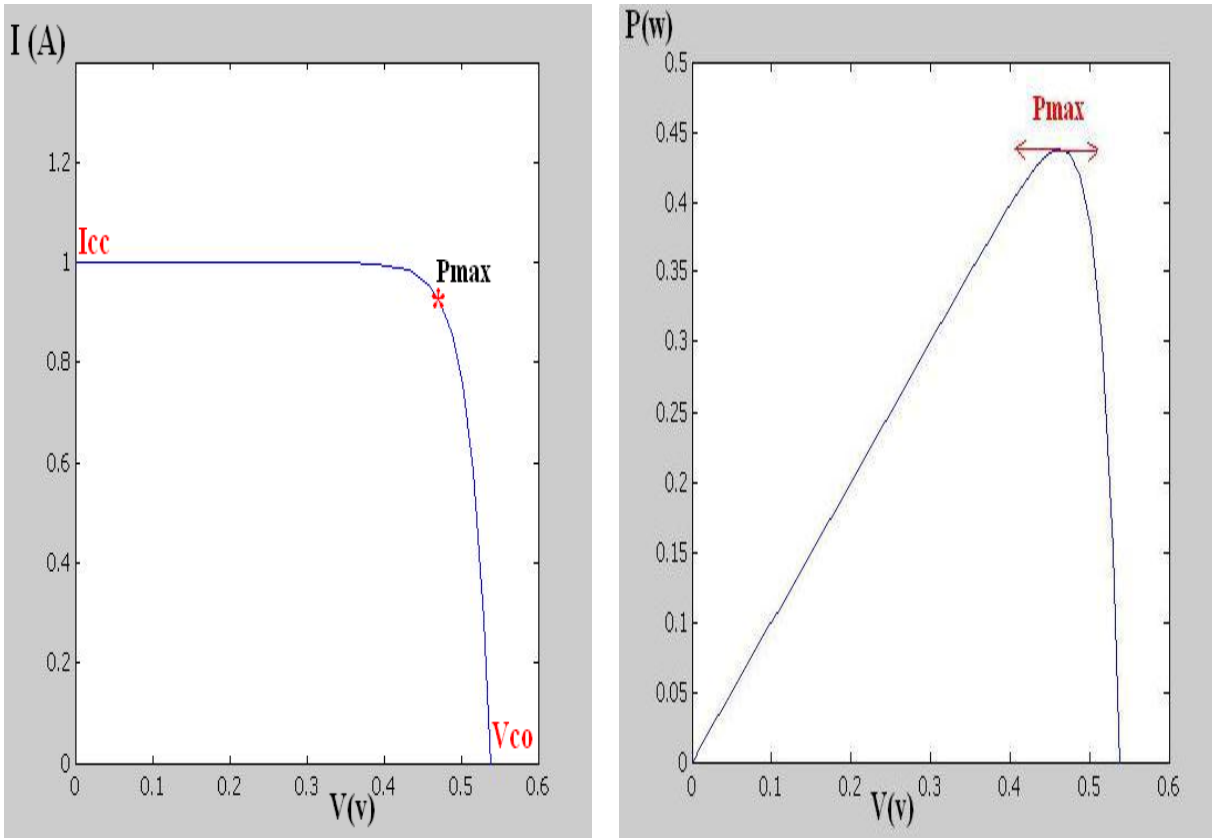


Fig III.16 Caractéristique P=f(V) de la Cellule

D'après ces résultats de simulation, on peut constater que cette cellule à :

- Courant de court-circuit $I_{cc} = 1 \text{ A}$.
- Tension de circuit ouvert $V_{co} = 0.54 \text{ v}$.
- Puissance maximale $P_m = 0.44 \text{ w}$

On cherche à obtenir les caractéristiques du module PV $I=f(V)$ et $P=f(V)$ suivantes: $I_{cc}=4.8 \text{ A}$, $V_{co}=21.7\text{V}$, $V_m=17\text{V}$ $P_{max}=75\text{W}$

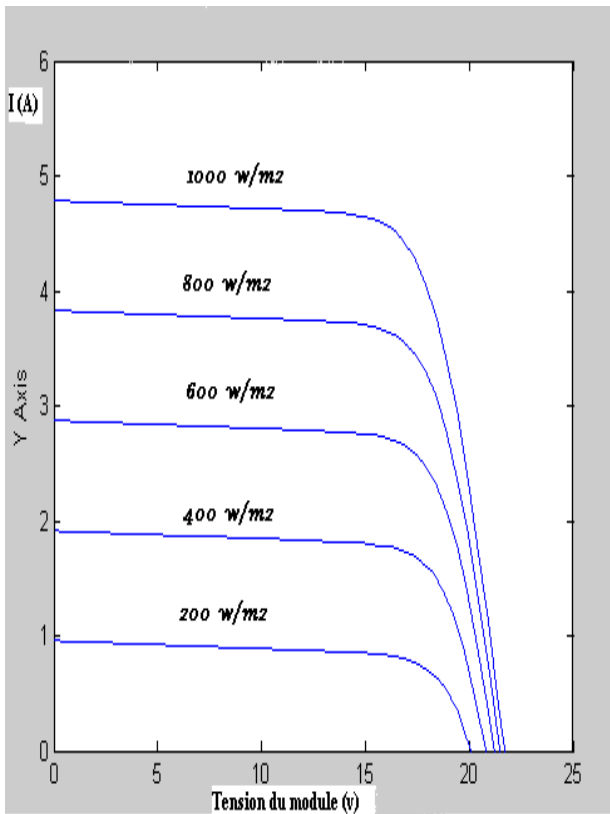


Fig -III-17 Courbe I(V) du module

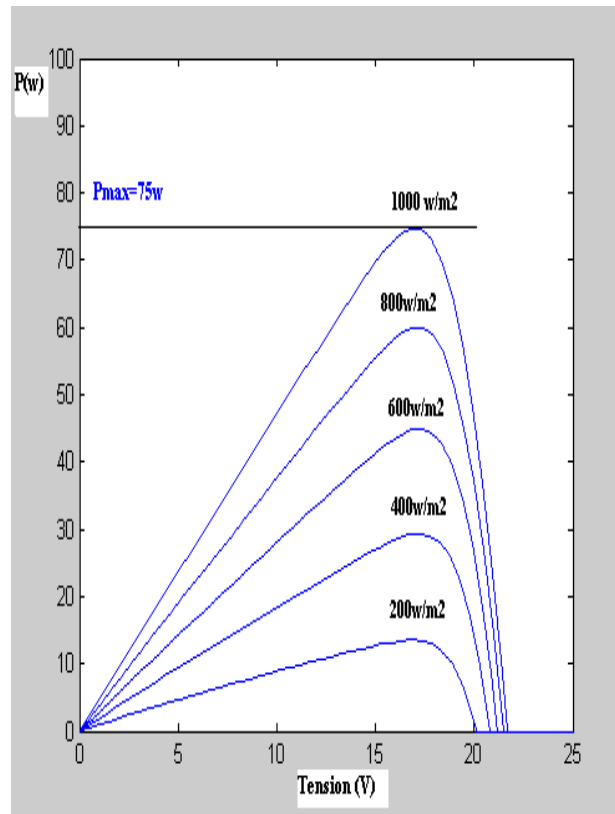


Fig III-18 Courbe P(V) du module

En utilisé différents panneaux (série / parallèle)

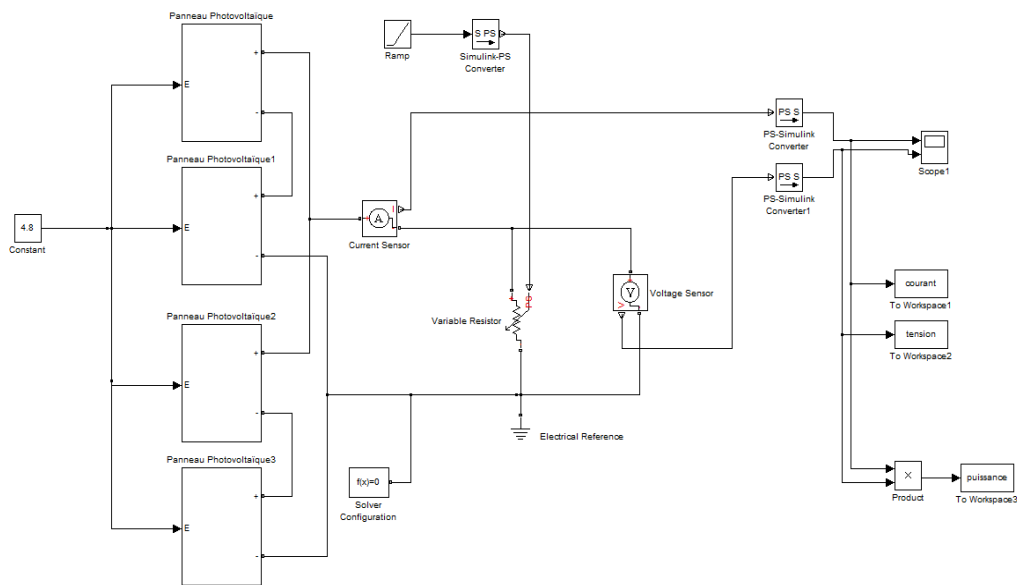
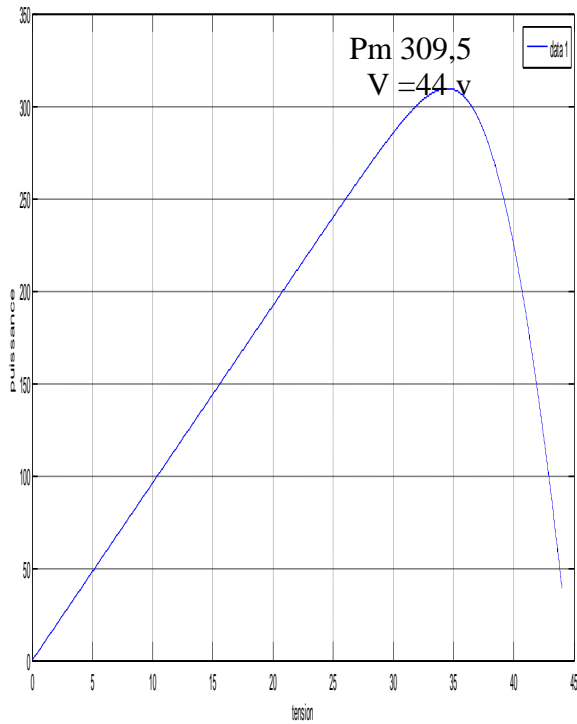
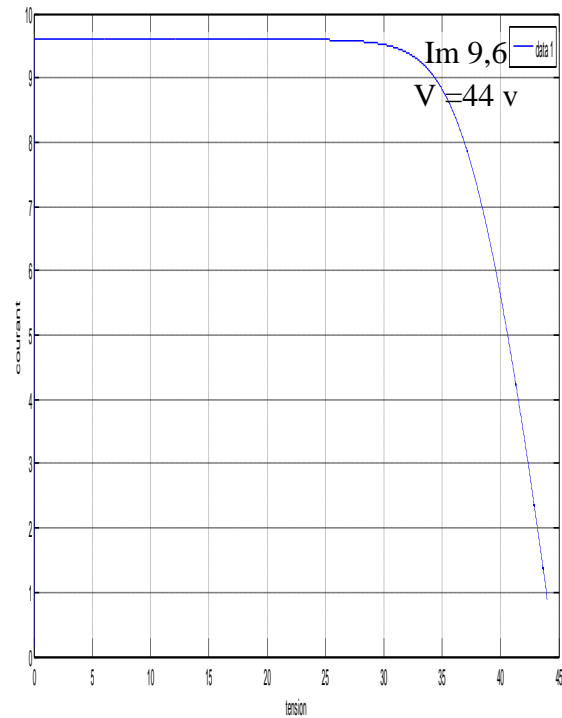


Fig III-19 Différents panneaux (série / parallèle)

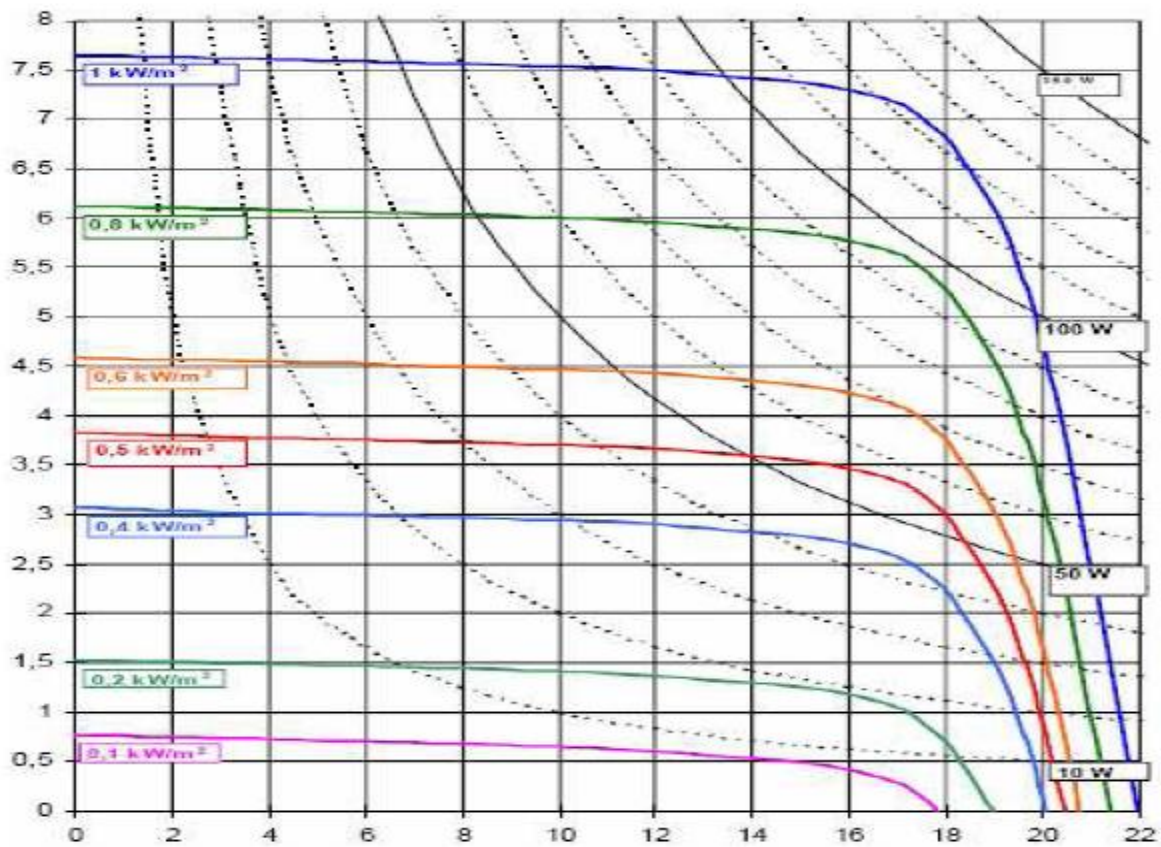
Paramétrer la valeur du bloc constant a 4.8 (correspond a une irradiance de 1000W/m2)



FigIII -20 caractéristique $P=f(U)$



FigIII -21 caractéristique $I=f(U)$



FigIII -22 : Caractéristiques I-U d'un module Photowatt PW 6-110 pour différentes irradiances solaires, à 25 °C [6].

III-5-1-2 Modélisation de la commande MLI

Dans le cas de la commande MLI on fait varier l'état de l'interrupteur à une cadence qui ne dépend pas de la manière dont évoluent les grandeurs relatives aux systèmes interconnectés par le convertisseur électronique de puissance, cette cadence étant fixée essentiellement en fonction de la vitesse de commutation de l'interrupteur. Sous forme numérique ce type de commande est réalisé en fixant à l'aide de « timers » les intervalles de conduction des différents interrupteurs sur chaque période ou chaque demi-période de modulation, comme le montre la figure suivante.[16]

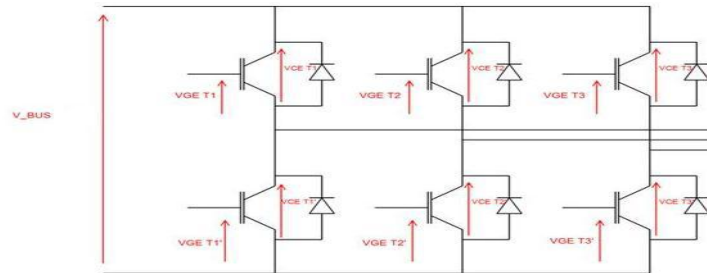


Fig III-23 : Schéma de L'onduleur

Les vecteurs de tensions sont représentés par la relation suivante

$$\vec{V}_i = \begin{cases} \sqrt{2/3}U_{dc}e^{j(i-1)\frac{\pi}{3}} & i = 1, \dots, 6 \\ 0 & i = 0, 7 \end{cases}$$

Commande MLI vectorielle d'un onduleur triphasé

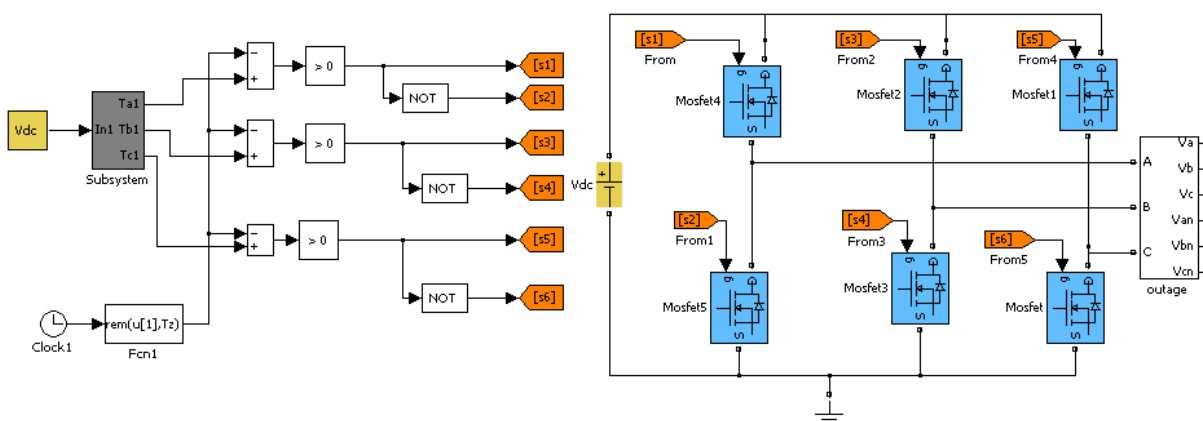


Fig III.24 : Bloc SIMULINK de MLI vectorielle

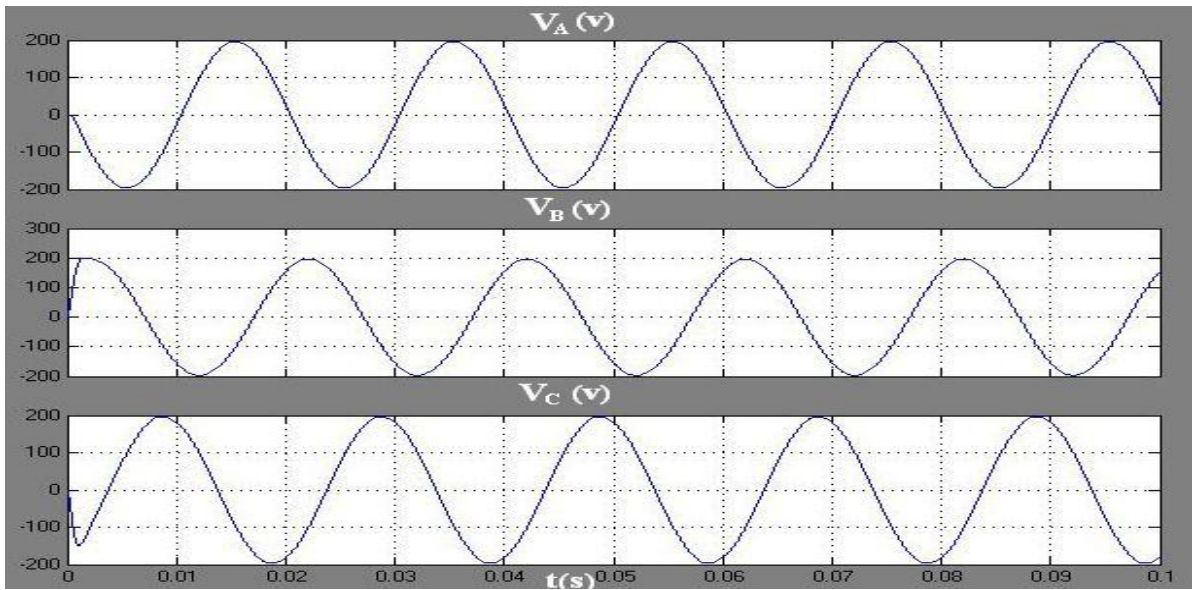


Figure III.25 : Les tensions filtrées : V_A , V_B , V_C

Chacun des couples de vecteurs V_i et V_{i+1} ($i=1..6$) définissent les limites d'un des six secteurs de l'hexagone (à noter que dans le secteur 6 la notation V_{i+1} correspond au vecteur V_1).

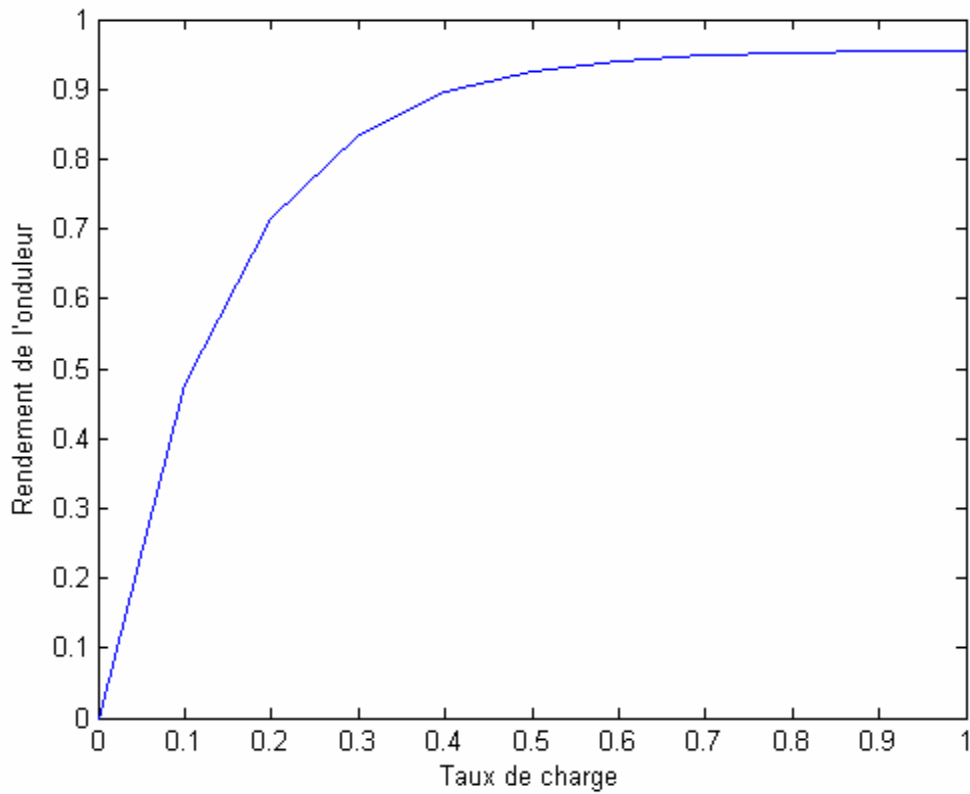


Fig III-26 : Rendement de l'onduleur [6]

II-6 CONCLUSION

La modélisation de chaque composant du système photovoltaïque complet a été élaborée à partir de modèles de la littérature (champ PV, convertisseurs, stockage batteries) ; cette modélisation est une étape essentielle permet d'introduire un certain nombre de modèles puis évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi que les paramètres constitutifs. L'implémentation de ces modèles dans un environnement de simulation adapté permettra d'étudier le comportement des composants en fonction de certains paramètres. L'outil ainsi réalisé sera utilisé pour déterminer le dimensionnement optimal d'un tel système. L'étude reste incomplète ce qui nécessite de faire un bon dimensionnement.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire concerne les systèmes PV couplé au réseau électrique. ce dispositif est amené à connaître des développements important liés essentiellement à une volonté de plus en plus affichée de diversification des moyene de production et d'un meilleurs ou respect de l'environnement associées a une production centralisée , ces petites ou moyennes unité peuvent permettre une mutualisation avantageuse de ressources très répartiés ,très fluctuantes ,et contexte de développement durable.

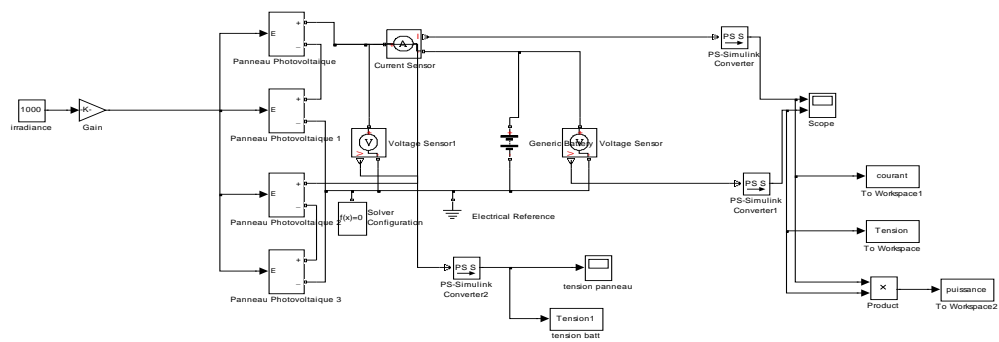
Les études sur le couplage entre PV et d'autres source d'énergie ont débuté en 2000 et ont porté sur la conception et la réalisation de générateurs d'énergie connecté aux réseaux l'accent a été toujours mis sur le carates modulaire lieu concernait aux réseaux électrique autonome, le caractère approché permet aujourd'hui de projeter les résultats obtenus vers des systèmes connectés à des réseaux centralisés.

Dans cette étude ressort l'importance de la modélisation de la connexion au réseau électrique et de sont ou ces système de production .la commande de l'onduleur et les système de production déterminent le comportement principale de la production décentralisée sur le réseau basse tension .les technologies actuelles permettent une souplesse de commande importante et même de s'adapter aux défauts des réseaux et ainsi de né pas être déconnectée des réseaux. Pour les systèmes PV, la souplesse de utilisation des convertisseurs statique est sous employée, il serait intéressant d'étudier dans quelle mesure les limites d'une déconnexion du réseau peuvent être repoussées.

Références Bibliographiques

- [1] : http://www.ac-noumea.nc/jules-garnier/phyapp/solaire/.../cours_photo
- [2] : <http://www.cadjds.org> Journal des Sciences 2009
- [3] : http://www.fr.wikipedia.org/wiki/Réseau_électrique
- [4] : Schneider electric : *Guide de conception des réseaux électriques industriels*
- [5] : *Labeled djamel « production de centralisée et couplage au réseau » Doctorat electrotec- Université mentouri Constantine 2008*
- [6] : Belhadj Mohammed « Modélisation D'un Système De Captage photovoltaïque Autonome » Mémoire de Magister Universitaire De Bechar 2008
- [7] : http://www.cythelia.fr/.../PV_Alain%20Ricaud_Sept-08
- [8] : http://www.iufmrese.cict.fr/.../A.../Energie_solaire_photovoltaïque
- [9] : http://www.photovoltaïque.info/.../Epi_a_Techno
- [10] : http://www.jsatechnology.net/energie_solaire_installati_panneaux-4Fran
- [11] : Meflah aissa « modélisation et commande d'une chaîne de pompage Photovoltaïque » Mémoire de Magister univ- abou bekr — tlemcen 11-2011
- [12] : <http://www.inti.be>
- [13] : *Stéphan ASTIER « Conversion photovoltaïque de la cellule aux système » livre*
- [14] : *Hassini nee bel-houda « modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque » mémoire de magistre Uni-telmcen -2010*
- [15] : Thi minh ch « Couplage Onduleurs Photovoltaïques et Réseau, aspects contrôle/commande et rejet de perturbations » Thèse Docto-Uni-grenoble Janvier 201
- [16] : <http://www.fr.scribd.com/doc/4597291/Généralités-sur-les-réseaux-électriques>
- [17] : Abbassen –lyse « Etude de la connexion au réseau électrique d'un centrale Photovoltaïque » Mémoire de Magister univ-tizi ouzou 5 -2011
- [18] : *Fairouz kendouli « Etat de l'art et modélisation des microcentrales » Mémoire de Magister l'Univ- de constantine 2007*
- [19] : <http://www.EDF.fr>
- [20] : Sonelgaze distribution d'Adrar
- [21] : Vincent BENAMARA « étude et simulation d'un panneau solaire raccordé au réseau avec périphérique de stockage » université du québec ; septembre 2012

Annexe



Paramétrer la valeur du bloc constant a 3.99 (correspond a une irradiance de 1000W/m₂)

```
k=1.38e-23;  
q=1.6e-19;  
t=273;  
n=36;  
icc = 6.54;  
vco= 21.6;  
vpm= 17.4;  
ipm= 6.1;  
ncell= 36;  
np=2;  
tcell = 58.75;
```

```
vt = (k*(t+tcell))/q;  
is=icc/(exp(vco/(ncell*vt))*np);
```

```
rs = ncell*vt*log((icc-ipm)/is)/ipm-vpm/ipm;
```