

LISTE DES ABBREVIATIONS

A : Ampère

AC : Alternative Current

S : Section des câbles

Sup : Superficie d'installation

DC : Direct Current

MT : Moyenne Tension

KV : kilovolt

MPPT : Maximum Power Point Tracking

Pc : Puissance crête

MWc : Mégawatt Crête

Wc : Watt crête

Ns : Nombre de panneau en série

Np : Nombre de panneau en parallèle

Nond : Nombre d'onduleur

PV : Photovoltaïque

Ec : **Energie journalière**

Pc : Puissance crête

Pu : Puissance unitaire d'un panneau

SMA : System-Mess und Anlagentechnik (technique des systèmes de mesure et d'équipement)

Pmax : puissance maximale

Pt : Puissance total

K : Facteur de de conversion

Ir : Irradiation

Pc1 : Paissance crête dune sous centrale

Nt : Nombre total des panneaux de la centrale

Imax : Courant maximale

Iu : Courant unitaire

Uu : Tension unitaire

Vmpp : Tension au Point de puissance maximal

ΔU : Chute de Tension

L : Longueur des câbles

m : Mètre

mm² : Millimètre carré

ρ: Résistivité du cuivre

TABLES DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	I
DEDICACE.....	II
RESUME.....	III
LISTE DES ABBREVIATIONS	IV
TABLES DES MATIÈRES	VI
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES TABLEAUX	X
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Introduction	2
CHAPITRE I : GENERALITÉ	2
I. PRESENTATION DU THEME.....	3
1) Objectifs d'étude	3
2) Travail demandé	3
3) Choix de la localité.....	3
4) Dimensionnement de la centrale et choix des équipements	4
5) Evaluation financière et environnementale	4
6) Limites d'études	4
II. CHOIX DE LA ZONE D'INSTALLATION.....	4
1) Climat.....	4
2) L'ensoleillement.....	5
3) La connexion au réseau électrique	5
4) Configuration de la centrale	5
Conclusion.....	6
Introduction	7
CHAPITRE II : CONSTITUTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE..	7
I. Centrale solaire photovoltaïque.....	8

1) Panneau solaire photovoltaïque.....	9
2) Les types de panneaux [6].....	10
a. Panneaux photovoltaïques orientables	10
b. Panneaux photovoltaïques fixes	10
c. Panneaux photovoltaïques mobiles ou suiveur solaire.....	11
3) Principe de fonctionnement d'un panneau solaire	11
4) Onduleur.....	11
5) Principe de fonctionnement d'un onduleur photovoltaïque	11
6) Charge	13
7) Transformateur	14
8) Câbles.....	14
II. LES DIFFERENTS INSTALLATIONS PHOTOVOLTAIQUES	14
1) Installation autonome	14
a. Système avec accumulateur	15
b. Système sans accumulateur.....	15
2) Installation hybride.....	15
3) Installations connectées au réseau.....	16
a. Installation directement relie au réseau	16
b. Installation relie au réseau avec batterie.....	17
4) Avantages et inconvénients d'une installation PV	17
Conclusion.....	18
CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DE LA CENTRALE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	19
Introduction	20
I. DIMENSIONNEMENT	20
1) Dimensionnement d'un champ PV [15].....	20
a. Dimensionnement d'un générateur photovoltaïque	20

b. Estimation de la puissance crête de la centrale photovoltaïque	20
2) Nombre des panneaux en séries d'une sous centrale	21
3) Nombre des panneaux en parallèles d'une sous centrale	22
4) Nombre total des panneaux pour la centrale	22
5) Dimensionnement de l'onduleur	22
6) Dimensionnement du transformateur	23
7) Détermination de la superficie de l'installation	23
8) Détermination de la section des câbles.....	24
9) Calculons les sections des différentes étapes de l'installation de notre central photovoltaïque :.....	24
a. Boîte de jonction (panneaux) - Onduleur	24
b. Onduleur - Transformateur.....	24
c. Transformateur - Point d'injection.....	26
10) Coûts d'installation :	27
Conclusion.....	28
CONCLUSION GENERALE	29
BIBLIOGRAPHIE	30
ANNEXES	32

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte d'ensoleillement [3]	5
Figure 2: configuration 1, onduleurs décentralisés et configuration 2, onduleurs centraux [4]...	6
Figure 3: Les constituants d'une centrale solaire PV	8
<i>Figure 4: Panneau solaire [5]</i>	<i>9</i>
Figure 5: Boîte de dérivation [5].	9
Figure 6: Exemple de câble solaire et de son connecteur	14
Figure 7:: Schéma synoptique d'un système PV autonome avec batterie.....	15
Figure 8: Schéma synoptique d'un système hybride [12].	16
Figure 9: Schéma de système connecté au réseau	16
Figure 10: Système photovoltaïque directement relié au réseau	17
Figure 11: Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie.	17
Figure 12: panneau photovoltaïque UK300M72	21
Figure 13: onduleur SMA Solar Technology 2000KW(2MW) [18].....	25
Figure 14: transformateur élévateur de 400V à 30000V	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Synthèse de calcul des sections de câbles	26
Tableau 2: Étude financière.....	27

INTRODUCTION GENERALE

L'énergie est au centre de l'économie pour tous les pays, elle est à la base de toute activité humaine. Ses sources se sont diversifiées au cours du temps afin de satisfaire une demande toujours croissante. Les pays développés sont ainsi passés du bois au charbon, à des hydrocarbures plus avancés, l'hydroélectricité, enfin au nucléaire. Cependant, les réserves de combustibles fossiles et nucléaires sont limitées. De plus, l'utilisation des combustibles fossiles est responsable des pluies acides et du réchauffement de la planète et l'exploitation de l'énergie nucléaire présente des risques d'accidents graves sans parler de ceux induits par la gestion des déchets résultants dont la dangerosité radioactive peut durer plusieurs milliers d'années [1].

Les énergies renouvelables constituent une solution de substitution. Elles peuvent provenir du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressources illimitées et à différentes filières technologiques. La filière étudiée dans ce mémoire est l'énergie solaire photovoltaïque.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule photovoltaïque. L'association de plusieurs cellules en série ou en parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque qui a une caractéristique courant-tension non linéaire présentant un point de puissance maximale [1].

Notre travail a pour but, de faire le dimensionnement d'une centrale Photovoltaïque de 15MW avec des panneaux solaire PV raccordée au réseau de la SENELEC de Ziguinchor.

Ce document est subdivisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre qui est plus générale présente le thème d'étude ;
- Le deuxième chapitre traite la constitution de la centrale solaire ;
- Enfin, le dernier chapitre est dédiée aux dimensionnements de la centrale photovoltaïque et le coût financiers.



CHAPITRE I : GENERALITÉ

Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons en premier lieu le thème d'étude. Dans la deuxième partie nous étudions les différents choix de la zone d'installation.

I. PRESENTATION DU THEME

Il s'agit de produire de l'énergie électrique et d'injecté au réseau de la SENELEC à partir de l'énergie solaire en utilisant des systèmes photovoltaïques. Il s'agira donc de contribuer à la protection de l'environnement et augmenter l'accès aux services énergétiques de la population de Ziguinchor.

1) Objectifs d'étude

L'objectif général d'étude est d'accroître la part des énergies renouvelables dans le parc de production électrique de la région de Ziguinchor par une énergie abondante et à moindre coût.

En outre, cette étude vise également à :

- valoriser le potentiel solaire ;
- mettre à la disposition des populations une énergie abondante et à moindre coût

2) Travail demandé

La réalisation de cette étude consiste à :

- identifier le site pouvant abriter la centrale ;
- définir les composants clés de la centrale solaire ;
- faire le dimensionnement de la centrale
- faire le devis estimatif

3) Choix de la localité

Le choix de la localité s'est fait sur la base des critères suivants :

- l'ensoleillement ;
- le climat ;
- la facilité de raccordement au réseau électrique ;
- la disponibilité foncière.

4) Dimensionnement de la centrale et choix des équipements

Cette rubrique a permis de déterminer les principales caractéristiques techniques de la centrale, notamment, le nombre de panneaux solaires, d'onduleurs réseau, les sections des câbles solaires, les caractéristiques des éléments de protection des équipements et de surveillance de la centrale, ainsi que les caractéristiques du réseau d'évacuation.

5) Evaluation financière et environnementale

L'analyse financière et environnementale a permis d'estimer le coût d'investissement et le coût de maintenance et d'exploitation de la centrale, sa rentabilité, les impacts positifs et négatifs et ainsi que les mesures d'atténuation de ces impacts.

6) Limites d'études

La présente étude ne tient pas compte des aspects suivants :

- les éventuels frais de la construction de lignes supplémentaires ;
- les frais de dédommagement sur le site d'installation ;
- les coûts de démantèlement de la centrale

II. CHOIX DE LA ZONE D'INSTALLATION

Le choix de la zone devant abriter la centrale est fait sur la base des atouts qu'offre celle-ci, notamment :

- un ensoleillement favorable ;
- un climat assez favorable ;
- une facilité de connexion au réseau électrique.

Il faut toutefois souligner que la disponibilité foncière sera prise en compte pour le choix de la localité.

1) Climat

La région de Ziguinchor présente deux types de saison, sec et une saison des pluies très courtes. Les données climatiques montrent que la température moyenne de l'air est autour de 26.7° C [2], l'humidité relative moyenne dans cette région autour de 62% [2], la vitesse moyenne du vent est autour de 8Km/h [2]. Ce qui présente un avantage en termes de production.

2) L'ensoleillement

L'analyse de la carte solaire du Sénégal indique bien que la région de Ziguinchor présente un bon atout avec un ensoleillement annuel de plus de 4.3 kWh/m^2 (cf. figure 1). Il serait donc plus intéressant d'implanter la centrale dans la région sud de la Casamance.

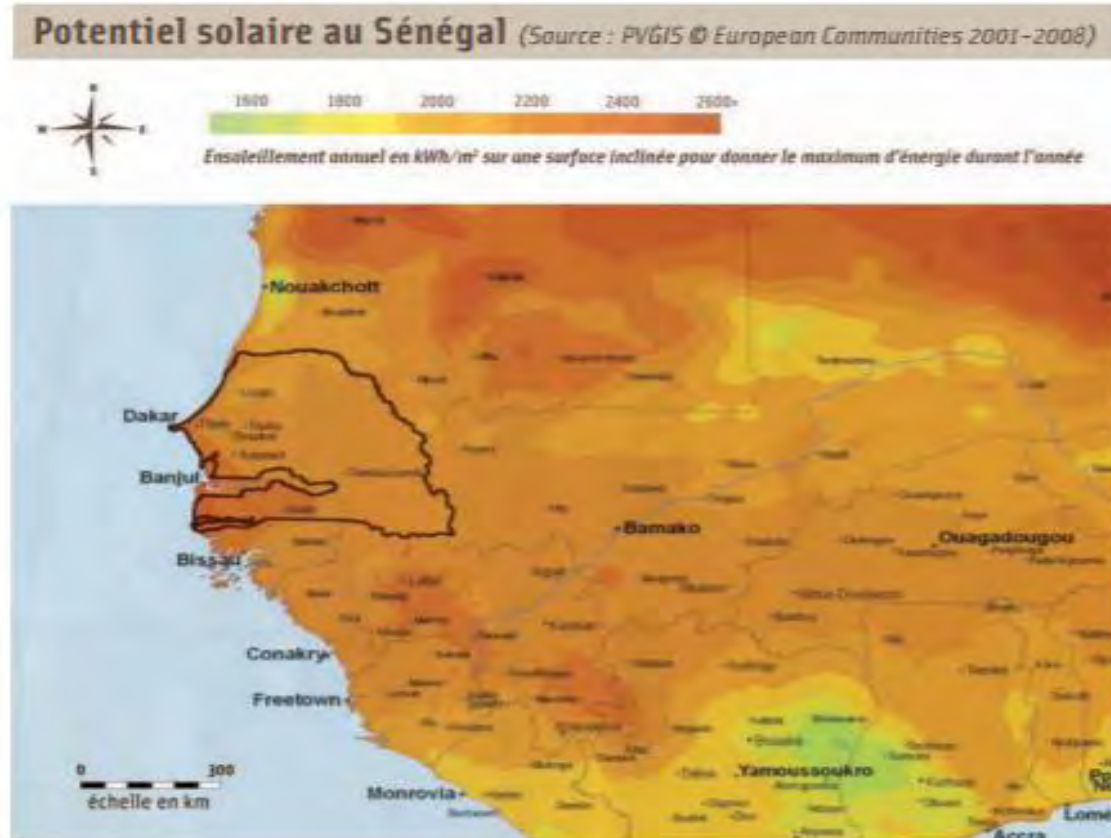


Figure 1: Carte d'ensoleillement [3]

3) La connexion au réseau électrique

La région de Ziguinchor, la localité de boutoute présente un atout. En effet, en plus l'existence de poste électrique haute tension HBT de 30KV faciliterait la connexion à la centrale solaire.

4) Configuration de la centrale

Le choix des composants dans la conception d'une centrale solaire PV est un aspect très important car la rentabilité de la centrale en dépend fortement. Il sera donc fait sur la base de fabricants reconnus sur le marché mondial du PV. La disponibilité des produits sera également prise en compte.

D'une manière générale, deux configurations se présentent pour la conception des centrales solaires PV montées au sol, à savoir l'utilisation des onduleurs décentralisés et des onduleurs

centraux. Les figures 1 et 2 illustrent les deux configurations :



Figure 2: configuration 1, onduleurs décentralisés et configuration 2, onduleurs centraux [4]

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes notions qui entrent dans la Présentation du thème d'étude. Aussi que les différents paramètres de la zone d'installation.

CHAPITRE II : CONSTITUTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Introduction

Nous savons que l'énergie solaire photovoltaïque est en passe de devenir une source majeure d'électricité dans le monde. Alors pour délivrer l'électricité à partir de cette énergie inépuisable, il faut installer des centrales solaires PV qui ont besoin d'une étude précise et approfondi. Dans ce chapitre nous allons étudier les différents éléments qui constituent une centrale solaire photovoltaïque ainsi que les différents systèmes d'installation

I. Centrale solaire photovoltaïque

Une centrale solaire PV est un ensemble complet d'équipements PV pour transformer la lumière du soleil en électricité, généralement il se compose de cinq éléments principaux : les panneaux PV, les onduleurs, les transformateurs, les câbles et la charge, ils sont montrés par la figure 4 :

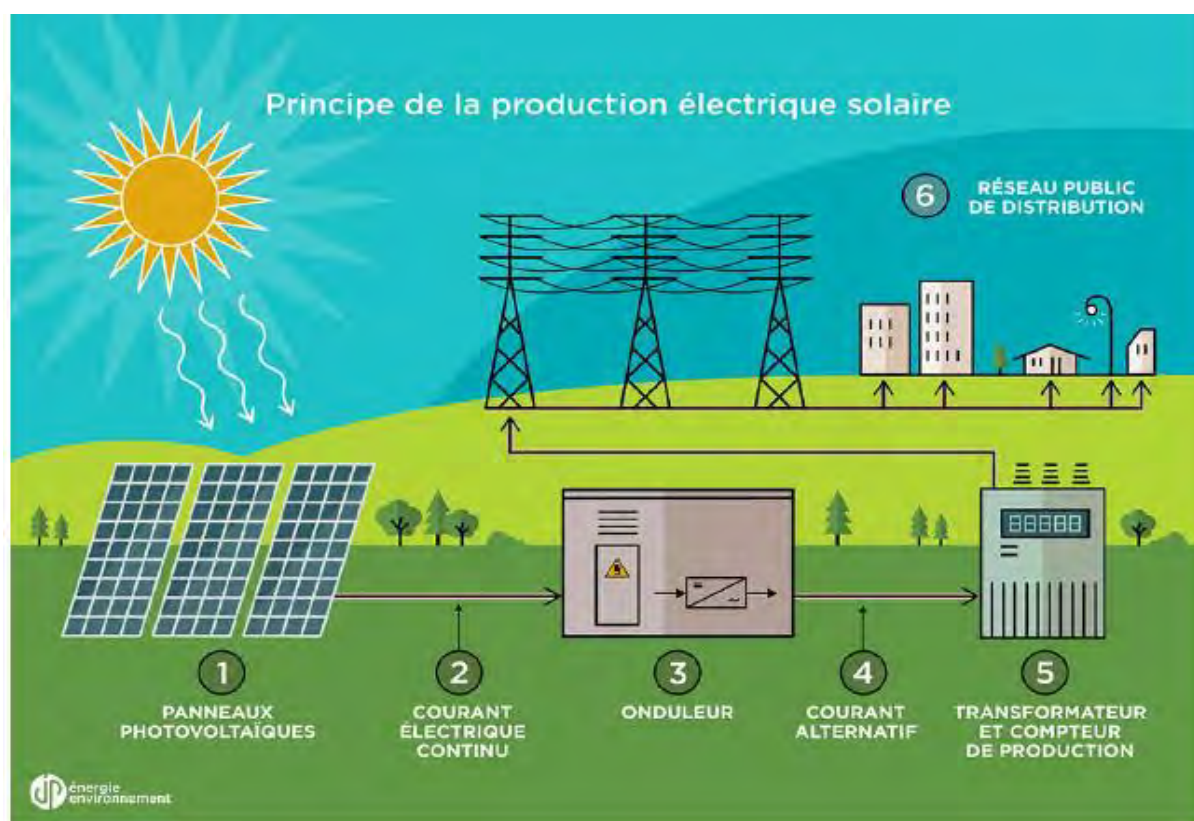


Figure 3: Les constituants d'une centrale solaire PV

Le mécanisme de fonctionnement de notre centrale photovoltaïque au sol le rayonnement du soleil sur les modules photovoltaïques est transformé en courant électrique continu acheminé vers un onduleur. L'onduleur convertit cette électricité en courant alternatif compatible avec le réseau. Un transformateur élève la tension avant l'injection de l'électricité par câble jusqu'au réseau public.

1) Panneau solaire photovoltaïque

Le champ solaire se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série

Et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise (Figure4). Ces modules sont montés

Sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle

D'inclinaison spécifique.



Figure 4:Panneau solaire [5]

Pour chaque champ on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, comme l'illustre la figure 5, Alors cette boîte de dérivation fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer le connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.



Figure 5:Boîte de dérivation [5].

La boîte de dérivation est composée également d'un circuit imprimé sur lequel se trouvent :

- Des diodes Schottky série, placées sur un radiateur, sur chaque entrée, qui empêchent aux Batteries de se décharger dans les panneaux.

- Des fusibles de protections qui empêcheront aux batteries de se décharger dans les modules

En cas de destruction des diodes antiparallèles.

- Des diodes lumineuses, en parallèle sur chaque fusible de protection. Ces diodes permettant de contrôler individuellement chaque branche de modules. Par exemple une boîte à 4 entrées de 24 Volts sera constituée de deux branches de deux modules, il y aura donc deux diodes qui permettront de constater le fonctionnement de chaque branche.

- Une protection parafoudre (Transil ou VDR) en sortie de la boîte. Le câblage de ces boîtes permet d'avoir une sortie en 12, 24 ou 48 volts selon les modules, elles sont équipées de deux à douze entrées, selon les tensions de sortie. La quantité d'électricité dans l'ensemble des Composants des panneaux PV dépend :

- des besoins en électricité ;

- la taille du panneau ;

- L'ensoleillement du lieu d'utilisation ;

- La saison d'utilisation.

La puissance délivrée par un panneau est importante dans les heures d'ensoleillement maximales, ce qui nécessite un élément de stockage.

2) Les types de panneaux [6]

a. Panneaux photovoltaïques orientables

Avec des panneaux orientables, on peut modifier l'inclinaison tous les mois. On utilise généralement ce genre de structure pour des applications au sol ou sur des toits plats. Pour ces systèmes à inclinaison variable, il existe un angle d'inclinaison des panneaux par rapport à l'horizontale, qui permet de maximiser la production d'électricité mensuelle.

b. Panneaux photovoltaïques fixes

Les panneaux fixes sont installés dans une position fixe tout au long de l'année (azimut et inclinaison). Le rendement optimum est obtenu pour une orientation nord- sud avec une

Inclinaison de 15° . Dans cette position, on peut avoir un bon rendement. Si on s'écarte de cette position, le rendement diminue. Cette diminution du rendement peut être calculée en multipliant le rendement obtenu en position optimale par le facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison choisie (ce qu'on appelle le Facteur de transposition qui tient compte de l'orientation et de l'inclinaison **FT**)

c. Panneaux photovoltaïques mobiles ou suiveur solaire

L'objectif du système de panneaux mobiles est de pouvoir suivre le soleil tout au long de la journée. Pour cela, la structure possède deux degrés de liberté : une rotation horizontale pour régler l'azimut et une rotation verticale pour l'inclinaison. Ce système permet aux panneaux photovoltaïques de suivre continuellement la position du soleil pour assurer une production électrique maximum. Ce type de structure permet d'augmenter la production d'électricité par rapport aux panneaux fixes, d'environ 25%.

3) Principe de fonctionnement d'un panneau solaire

Pour simplifier les choses, voici un petit résumé des étapes qui permettent de produire de l'énergie avec un panneau solaire photovoltaïque :

- Les photons viennent frapper les cellules photovoltaïques ;
- Les électrons se déplacent alors produisant un courant électrique continu, ce dernier est transformé en courant alternatif grâce aux onduleurs.

Essayons cependant d'aller un peu plus dans le détail. La principale composante d'un panneau solaire photovoltaïque est un module qui permet de transformer l'énergie du soleil en électrique. Ce procédé est rendu possible par les cellules photovoltaïques qui composent le module. Chaque cellule est produite à partir d'un matériau semi-conducteur appelé le silicium. Ce matériau a un comportement assez spécifique lorsqu'il est exposé au rayonnement solaire. En effet, la lumière du soleil se compose de photons qui vont venir frapper la surface du panneau solaire photovoltaïque. Ils vont ensuite transmettre l'énergie qu'ils comportent aux électrons du matériau semi-conducteur, c'est-à-dire le silicium. Les électrons vont alors se mettre en mouvement et ce déplacement produit un courant électrique continu. Le système permet ensuite d'additionner les quantités d'électricités produites par les différentes cellules qui composent le panneau solaire PV [7].

4) Onduleur

L'onduleur DC/AC utilisé dans le domaine photovoltaïque convertit l'énergie électrique en courant continu provenant du champ photovoltaïque en énergie électrique alternative compatible en tension et en fréquence avec le réseau électrique.

5) Principe de fonctionnement d'un onduleur photovoltaïque

La fonction de l'onduleur photovoltaïque est de convertir la puissance électrique générée par le champ photovoltaïque en une puissance électrique alternative compatible avec le réseau électrique. Pour cela, le premier étage d'un circuit électronique recherche le point de

fonctionnement ou la Puissance est maximum sur tous les points possibles de fonctionnement (en courant tension continu) En sortie du champ photovoltaïque pour créer une tension continue intermédiaire. Ce système de recherche du point optimum de fonctionnement est appelé système MPPT (pour Maximum PowerPoint Trac King). Puis un deuxième système électronique appelé onduleur convertit la tension continue intermédiaire en tension alternative compatible en tension et en phase avec celle du réseau électrique tout en injection dans le réseau électrique un courant électrique alternatif tel que la puissance injectée égale à celle provenant du champ photovoltaïque, moins les pertes électriques dans l'onduleur. L'électronique de l'onduleur photovoltaïque doit aussi prendre en compte les normes de sécurité en vigueur, tel que le découplage du réseau électrique en cas d'absence momentanée de celui-ci ou encore éviter l'émission d'harmoniques sur le réseau pouvant perturber le fonctionnement d'appareils électriques sensibles. Une partie du suivi du bon fonctionnement de l'installation photovoltaïque peut aussi être assuré par l'onduleur en enregistrant ou en transmettant sur un serveur les informations de fonctionnement [8].

Critères de choix de l'onduleur :

En entrée :

- la puissance maximale,
- la tension maximale,
- la plage de tension d'entrée,
- le nombre maximal de string raccordables.

En sortie :

- la puissance maximale et la puissance nominale,
- la tension nominale et la fréquence nominale
- le rendement.

La technologie des onduleurs couplés au réseau

L'onduleur couple au réseau est utilisé pour les installations photovoltaïques. Il permet de transformer le courant continu, produit par les modules solaires, en un courant ondulé conforme à celui du réseau. Il adapte également le courant produit à la fréquence et à la

Tension du réseau. Dans les installations d'habitation, le courant solaire produit est d'abord

Utilise par l'habitation elle-même, si le courant produit pour l'habitation est excédentaire, L'excédent est injecté dans le réseau.

L'installation d'un onduleur couple au réseau électrique se fait avec l'accord de

L'organisme de distributeur de l'énergie électrique pour des raisons de sécurité, un onduleur couplé au réseau doit constamment surveiller ces perturbations et interrompre immédiatement

L'injection en cas de défaillance ou de coupure. Ceci est absolument nécessaire pour permettre

Une intervention sans danger sur le réseau [9].

Onduleur modulaires (module invertir)

Suivant ce concept, chaque module solaire dispose d'un onduleur individuel. Pour les

Installations les plus importantes, tous les onduleurs sont connectés en parallèle côté courant

Alternatif. Les onduleurs modulaires sont montés à proximité immédiate du module solaire

Correspondant [10].

Onduleurs centralisés (central invertir) :

Un onduleur centralisé de forte puissance transforme l'ensemble du courant continu

Produit par un champ de cellules solaires en courant alternatif. 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 [8].

6) Charge

Elle représente l'ensemble des fonctions assurées par divers appareils reliés au système photovoltaïque. Vu les contraintes sur le rendement énergétique des systèmes photovoltaïque, il est importé de définir les critères sur lesquels s'appuiera un choix des charges à utiliser : charge continue ou alternative.

7) Transformateur

Un transformateur est un appareil qui élève la tension en sortie des onduleurs à une tension acceptable par le réseau.

8) Câbles

Les réseaux des câbles à l'intérieur de la centrale solaire seront installés suivants :

(a) les câbles électriques : Ils sont destinés à transporter l'énergie produite par les modules vers les sous-stations de distribution, puis vers la structure de livraison.

(b) la fibre optique : Elle permet l'échange d'informations entre chaque sous-station de distribution et le local informatique, situé dans la structure de livraison. Une connexion internet permet également d'accéder à ces informations à distance.

(c) la mise à la terre : Constituée de câbles en cuivre, elle permet : la mise à la terre des masses métalliques, la mise en place du régime de neutre, ainsi que l'évacuation d'éventuels impacts de foudre.



Figure 6:Exemple de câble solaire et de son connecteur

II. LES DIFFERENTS INSTALLATIONS PHOTOVOLTAIQUES

Les trois genres d'installations PV que l'on rencontre généralement sont les installations autonomes, hybrides et connectés à un réseau.

1) Installation autonome

Ce sont les installations les plus utilisées dans les zones isolées. Ils sont indépendants du réseau et dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Les installations PV autonomes sont installées là où elles constituent la source d'énergie électrique la plus économique. On peut les classer en deux catégories :

a. Système avec accumulateur

L'excédent de l'énergie produite est stocké dans des batteries. La figure4 décrit ce système

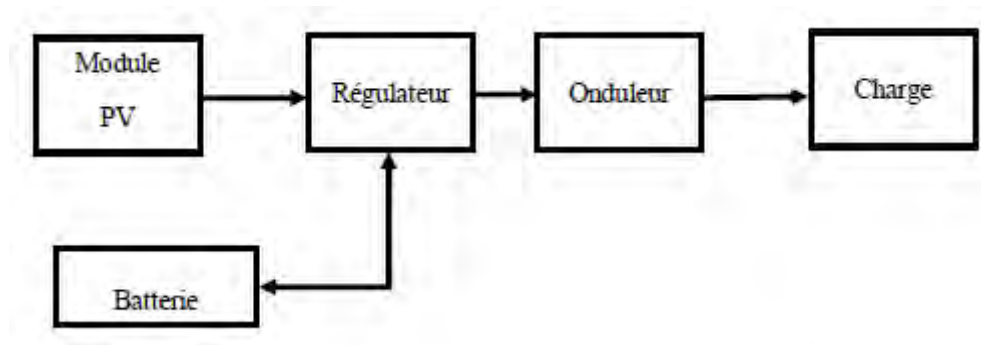


Figure 7: Schéma synoptique d'un système PV autonome avec batterie

b. Système sans accumulateur

Dans ces systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à une forme de stockage qui ne soit pas de nature électrochimique. Par exemples :

Pompage : stockage par réservoir d'eau,

Réfrigération : stockage de froid (stockage de glace ou eutectique),

Électrolyse de l'eau : stockage d'hydrogène [11].

2) Installation hybride

L'installation hybride est composée d'un générateur PV combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible (module d'appoint), ou deux à la fois comme il est illustré sur la figure 8. S'il a une combinaison entre deux énergies renouvelables ou plus on dit jumelage.

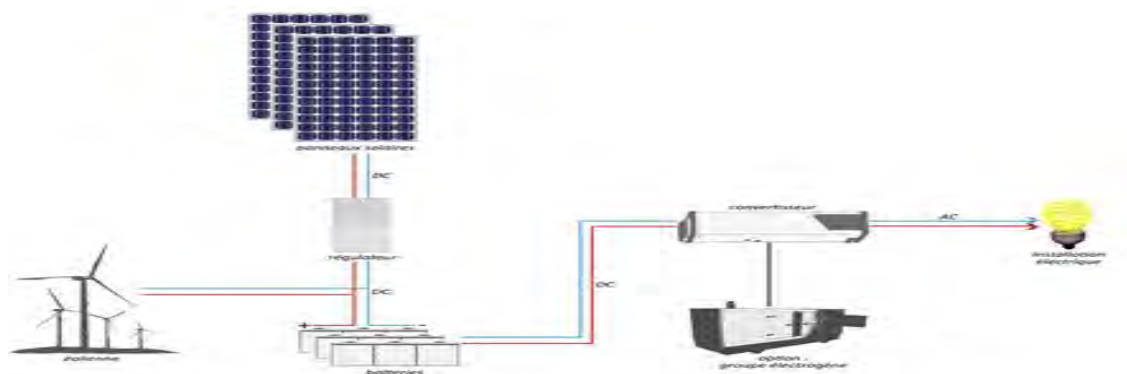


Figure 8:Schéma synoptique d'un système hybride [12].

Le module d'appoint peut être utilisé selon deux stratégies :

Chargeur des batteries ;

Alimentation directe de la charge et de charger les batteries.

Une telle installation s'avère d'un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée, lorsqu'il n'y a pas assez de lumière solaire à certains moments de l'année.

3) Installations connectées au réseau

Ces systèmes photovoltaïques convertissent l'électricité en courant alternatif (CA) et transfèrent leur surplus d'électricité au réseau auprès duquel ils s'approvisionnent pendant la nuit ou lorsque le rayonnement solaire est insuffisant voir figure 9 [13].

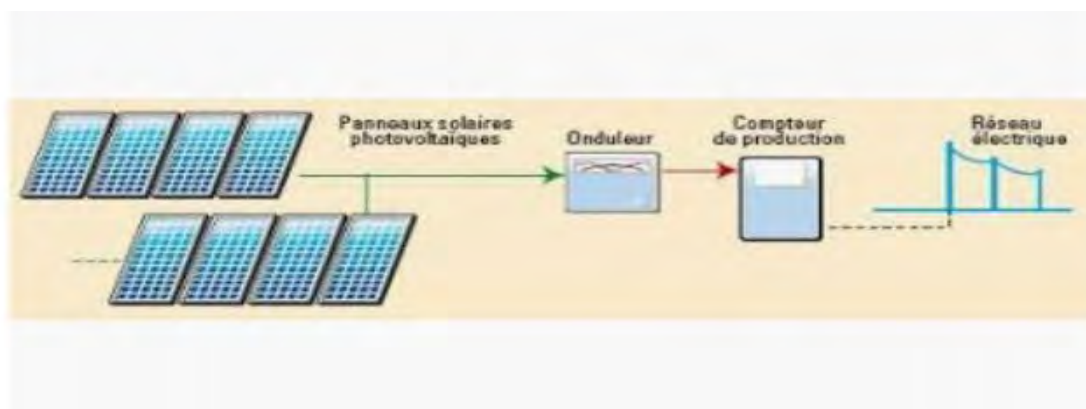


Figure 9:Schéma de système connecté au réseau

Dans ces installations on compte :

a. Installation directement reliée au réseau

Le système ne peut fournir ou prélever de l'énergie qu'au réseau. La batterie n'est plus présente. Le schéma du système photovoltaïque directement relié au réseau est donné par la figure 10.

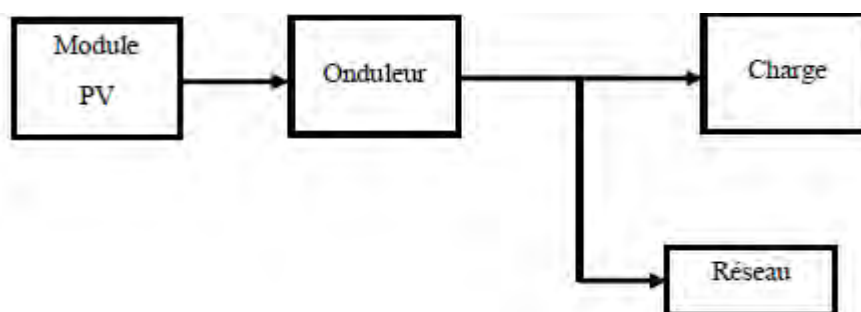


Figure 10:Système photovoltaïque directement relié au réseau

L'absence des batteries est un point positif, car celle-ci augmente le cout de système photovoltaïque. En plus elle doit être entretenue et changée après quelque année.

b. Installation relie au réseau avec batterie

Le système peut fournir de l'énergie au réseau et prélever l'énergie d'appoint nécessaire au réseau. Le schéma de système photovoltaïque relié au réseau avec batterie est illustré sur la figure11

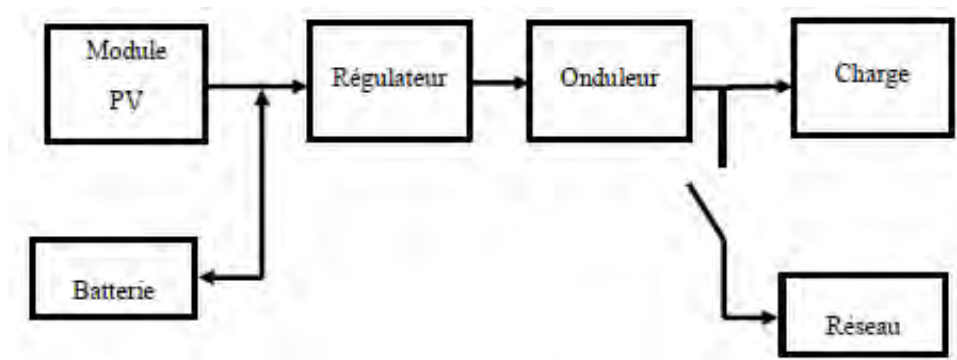


Figure 11:Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie.

4) Avantages et inconvénients d'une installation PV

➤ Avantages [14] :

Une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent Particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur Les engins spatiaux.

Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au mégawatt. Le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.

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

➤ Inconvénients [14]

La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des

Investissements d'un cout élevé.

Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport

Aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.

Tributaire des conditions météorologiques.

Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est

Nécessaire, le coût du générateur est accru.

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

Le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement

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

Pour notre centrale nous avons utilisé une installation raccorde au réseau avec une injection totale c'est-à-dire tout énergie produit par la centrale est injecté directement au réseau.

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes notions qui entrent dans la constitution d'une centrale de captage photovoltaïque. Ainsi que les principes de fonctionnement de chaque élément, ce qui est une bonne introduction au dimensionnement de la centrale qu'on va présenter dans le chapitre3.

CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DE LA CENTRALE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Introduction

Les installations photovoltaïques doivent être dimensionnées pour qu'elles puissent fournir de l'énergie dans les conditions les plus défavorables, ce qui nous permet d'aboutir à une meilleure optimisation des installations photovoltaïques. Dans ce chapitre nous allons faire les différentes étapes de dimensionnement de la centrale PV en suite de terminer sur le coût d'installation.

I. DIMENSIONNEMENT

Une centrale photovoltaïque est conçue pour permettre une installation dans des conditions de sécurité optimale. Ainsi, lors de la conception et de l'installation, tous les dangers potentiels pendant et après la phase d'installation doivent être pris en considération. La conception d'une centrale PV est dictée par le guide UTE C15-712 « Installations Photovoltaïques ». Ce document donne les règles imposées pour le dimensionnement des câbles ainsi que le choix des organes de protection.

A cette étape de l'étude, il sera question de déterminer la superficie totale de l'installation du champ PV, le coût d'installation ainsi que les éléments constitutifs de la centrale solaire PV, notamment :

Les panneaux photovoltaïques

Les sous-stations de distribution (onduleurs/transformateurs) ;

Des câbles

Pour ce faire, il est effectué par deux méthodes soit manuellement à l'aide des formules définies, soit par logiciel. Mais nous dans notre cas on utilise la méthode manuelle (des formules).

1) Dimensionnement d'un champ PV [15]

a. Dimensionnement d'un générateur photovoltaïque

Cette étape consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra posséder pour couvrir ces besoins en électricité.

b. Estimation de la puissance crête de la centrale photovoltaïque

La puissance crête de la centrale photovoltaïque installée dépend de l'irradiation du lieu. On la calcule de façon à satisfaire les besoins pendant la période la plus défavorable en appliquant la formule suivante [16].

$$PC = \frac{Ec}{Ir * K} (1)$$

Pc : Puissance crête de la centrale photovoltaïque

Ec : Energie consommée par jour (Wc)

Ir : irradiances (Ir de la région de Ziguinchor est de 4, 3kwh/m².jour en moyenne annuelle)

K : Facteur de conversion appliqué pour tenir compte de différentes pertes (modules, batteries, convertisseur)

Déterminé expérimentalement, ce facteur de conversion a pour Valeur en général 0,6 (sans unité) [17].

Après calcul par l'application de l'équation 1 donne Pc=5,81MWc.

Nous allons diviser notre centrale en trois sous centrales de 1,937MW qui délivrent une tension de sortie des panneaux de 400V pour faciliter le transport de l'électricité et le choix des câblés.

2) Nombre des panneaux en série d'une sous centrale

Pour notre centrale on a utilisé des panneaux photovoltaïques monocristallin UK300M72 de 300Wc. ce dernier peut avoir des rendements jusqu'à 22% grâce à la nouvelle technologie utilisée. Le faible coefficient de température et le verre antireflets apportent des performances exceptionnelles même à faible luminosité et permettent d'obtenir une forte puissance par watt-crête.

Figure 13 : illustration ci-dessous du panneau photovoltaïque UK300M72 (caractéristiques voir Annexe 1).



Figure 12: panneau photovoltaïque UK300M72

Dans notre centrale nous avons choisis comme tension de sortie 400V.

$$N_s = \frac{U}{U_{mod}} \quad (2)$$

U : tension de sortie des panneaux

U_{mod} : la tension aux bornes d'un module (36,2V)

Le nombre de panneaux en séries calculée par application de l'équation 2 est de 11.

3) Nombre des panneaux en parallèles d'une sous centrale

Le nombre de panneaux en parallèle est déterminé par la formule suivante

$$N_P = \frac{P_{c1}}{N_s * P_{mod}} \quad (3)$$

N_s : nombre de panneaux en série d'une sous centrale

P_{c1} : la puissance crête d'un sou central en watts crête (1,937X10⁶Wc)

Le nombre de panneaux en parallèle calculée par l'application de l'équation 3 est de 587.

Les équations 1 et 2 nous donnent 11 panneaux en série et 587 panneaux en parallèle pour chaque sous centrale ce qui va nous permettre de déterminer le nombre total de panneaux pour notre centrale étant donné que notre central est subdivisé en 3 sous centrale.

4) Nombre total des panneaux pour la centrale

Il est déterminé par la relation suivante :

$$N_t = 3 * N_p * N_s \quad (4)$$

N_t : nombre total de paonneaux

Après calcule l'application de l'équation 4, nous avons pour notre centrale 19371 panneaux.

5) Dimensionnement de l'onduleur

Nous avons utilisé un Onduleur SMA Solar Technology de 2000KWc(2MW).

La relation suivant nous permet de calculer le nombre total d'onduleur pour la centrale solaire PV.

$$N_{ond} = \frac{P_{ond}}{P_{1ond}} \quad (5)$$

Pond : puissance totale des onduleurs ($P_{ond}=P_c=5,81\text{MW}$)

P_{1ond} : puissance d'un onduleur ($P_{1ond}=2\text{MW}$)

N_{ond} : nombre d'onduleur

Après calcul l'application de l'équation 5, nous avons 3 onduleurs pour notre centrale qui seront installés tous en parallèle.

6) Dimensionnement du transformateur

Le choix de notre transformateur est fonction des caractéristiques suivantes :

- tension de service ;
- fréquence du réseau.

Pour le dimensionnement du transformateur, les choix suivants sont faits :

- 3 onduleurs SMA Solar Technology de 2MW seront raccordés à un transformateur moyenne tension (400V/30kV) ;

- tension nominale de service : 30kV ;

- fréquence du réseau : 50 Hz conformément à la fréquence du réseau électrique national.

Après le choix de notre transformateur, nos 3 onduleurs seront tous installés en parallèle par rapport au transformateur. Une fois en parallèle il n'y a pas d'augmentation de la tension, la tension de sortie de l'onduleur (400V) qui sera celle de l'entrée du transformateur et celui-ci est augmenté jusqu'à un point d'injection de 30kV. Alors on aura 2 transformateurs élévateurs de tension de 30kV qui seront installés en série pour les 3 onduleurs et un de ces transformateurs restera en Stand-by.

7) Détermination de la superficie de l'installation

Nous avons ici 1.4ha correspond à 1MW la puissance de la centrale qui est 15MW donc on a :

$$S = 1,4 * P \quad (6)$$

S_{up} : superficie d'installation

P : puissance de la centrale ($P=15\text{MW}$)

Après l'application de l'équation 6 on a une superficie de 21ha.

8) Détermination de la section des câbles

Dans une centrale photovoltaïque il est important de choisir soigneusement les câbles pour éviter les pertes puissances.

Les principaux critères des choix des câbles sont :

Resistance aux fort rayons solaires (UV) et aux intempéries

Section des câbles afin d'éviter une chute de tension important (meilleur rendement du centrale)

Le diamètre des câbles pour un centrale photovoltaïque à courant continu est plus important qu'une centrale a courant alternatif.

9) Calculons les sections des différentes étapes de l'installation de notre central photovoltaïque :

La section S des câbles d'un système en courant continu a pour formule général :

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I_{max} \cdot \rho}{\Delta U} \quad (7)$$

Avec $\Delta U = 2\%U$ (chute de tension sur les câblés).

Calculons les différentes sections des câblés sur chaque niveau d'installation :

a. Boite de jonction (panneaux) - Onduleur

$$\Delta U = 0.02 \times 400 = 8V$$

$$I_{max} = I_u \cdot N_p = 8,29 \times 587 = 4866,23A$$

I_{max} : le courant maximale d'une sous centrale

I_u : le courant unitaire d'un panneau

$$\rho = 22 \times 10^{-3} ; L = 5m$$

Après l'application de l'équation 5 on a une section de $133,82mm^2$ donc on choisira un diamètre de 150 mm car il n'existe pas un diamètre de 133.82mm.

b. Onduleur - Transformateur

Nous allons utiliser pour le calcul de la section des câbles de l'onduleur au transformateur, un onduleur SMA Solar Technology de 2000KW(2MW) qui sera calibre pour avoir une tension de sorti de 400V que l'on utilisera dans nos calculs de ΔU Figure 14 : illustration ci-dessous de



l'onduleur (caractéristique annexe1).



Figure 13:onduleur SMA Solar Technology 2000KW(2MW) [18]

$$\Delta U = 0,02 \times 400 = 8V$$

$$\rho = 22 \times 10^{-3} ; L = 5m$$

On détermine d'abord la puissance maximale d'une sous centrale d'autant plus que notre centrale est subdivisée en trois sous centrale.

$$P_{max} = P_u * N_s * N_p \quad (8)$$

I_u : le courant unitaire d'un panneau

U_u : la tension unitaire d'un panneau

P_{max} : la puissance maximale d'une sous centrale

P_u : la puissance unitaire d'un panneau

$$P_{max} = 300 \times 11 \times 587 = 1937100W_c$$

Après le calcul numérique en appliquant l'équation 8 chaque sous centrale délivre une puissance de 1937100Wc.

Déterminons la nouvelle intensité

$$I = \frac{P_{max}}{U} = \frac{1937100}{400} = 4842,75A$$

Après l'application de l'équation 7 on a une section de 106.5mm^2 . Alors on a choisi un câble de 120mm^2 car un câble de section $106,5\text{mm}^2$ n'existe pas.

c. Transformateur - Point d'injection

Nous utiliserons un transformateur élévateur de tension de 400V à 30000V illustration ci-dessous figure 15.



Figure 14: transformateur élévateur de 400V à 30000V

La nouvelle tension de sortie est 30kV pour le calcul de la section de câble du transformateur au point d'injection. D'après la Commission Électrotechnique Internationale (CEI), la section des câbles moyenne tension de 20kV est de 500mm^2 .

Tableau 1: Synthèse de calcul des sections de câbles

PORTIONS	S(mm^2)
Boîte de jonction (panneaux) - Onduleur	150 mm^2
Onduleur - Transformateur	120 mm^2
Transformateur - Point d'injection	500 mm^2

Synthèse de calcul des sections de câbles

10) Coûts d'installation :

Les principaux coûts financiers en investissement qui sont liés à la réalisation et à l'installation de la centrale photovoltaïque peuvent être décomposés selon certaines rubriques, à savoir :

- Coût relatif aux études de conception.
- Coût relatif aux équipements et matériels solaires (modules photovoltaïques, onduleurs, transformateurs, câbles diverses fournitures...)
- Coût des travaux de génie civil

Les coûts globaux d'investissement sont résumés dans le tableau2

Tableau 2:Étude financière

Désignation/Caractéristiques	Nombre	Prix unitaires en FCFA	Sous total en FCFA
Panneau photovoltaïque	19371	107.000	2.072.697.000
Onduleur	3	63.250.000	189.750.000
Transformateur	2	6.500.000	13.000.000
Câbles et accessoires	//	6% du prix des panneaux	124.708.500
Transport du matériel	//	2% prix des panneaux	41.569.500
Génie civile	//	2% prix de l'investissement	53.150.060
Superficie d'installation	21ha	15.000.000/ha	315.000.000
		Prix total (hors taxes)	2.809.875.060
		Prix total TTC (TVA 18%)	3.315.652.571

Conclusion

A la base des résultats des calculs, nous pouvons conclure que la centrale PV monocristallin permet une production maximale d'énergie. Les pertes dues à la qualité de l'onduleur ont une influence importante sur l'énergie produite par la centrale PV, d'où la nécessité d'opter pour une technologie permettant la meilleure efficacité annuelle possible de ce composant qui représente l'élément clé et le plus délicat d'une installation PV.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif général de cette étude est de produire de l'énergie électrique de manière raccordée au réseau de la SENELEC de Ziguinchor à partir de l'énergie solaire en utilisant les panneaux photovoltaïques.

Un système raccordé au réseau, non seulement permettrait de réduire le coût de l'installation, en supprimant le coût des batteries, car le stockage ne sera plus nécessaire, mais permettrait en plus d'avoir une possibilité de revendre l'énergie excédentaire au réseau et faire des profits, ce qui amortirait le prix d'investissement initial.

Ainsi après avoir identifié les différents éléments qui constituent notre centrale photovoltaïque. Ensuite les éléments de la centrale ont été dimensionnés pour permettre une production stable de l'énergie électrique au réseau de la SENELEC par les systèmes photovoltaïques. Nous avons constaté que l'étude de cette centrale est techniquement et économiquement réalisable.

Dans un pays comme le Sénégal où le taux d'électrification totale est environ 88% [18], en particulier la région de Ziguinchor où le taux d'électrification se situe environ 80% [18] en milieu urbain et 34% [18] en milieu rural, la multiplication de ces centrales de production en utilisant les sources d'énergie renouvelable est indispensable.

La promotion de ces genres de centrale contribuera à l'augmentation de l'accès d'une grande partie de la population de Ziguinchor au service énergétique moderne.

Vu l'importance des énergies renouvelables dans le développement socio-économique des populations et sa participation à la réduction de la pauvreté. La promotion de ces formes d'énergie est nécessaire. Il paraît opportun de formuler les recommandations suivantes :

1. Identifier et caractériser tout le potentiel national en source d'énergies renouvelables ;
2. Promouvoir les projets de mise en exploitation de ces sources renouvelables
3. Diversifier les sources d'énergie et surtout renouvelables, c'est à dire utiliser de l'énergie éolienne dans les structures situées dans la région côtière du pays.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Zidane Amar, Mémoire Energies renouvelables, Université Abderrahmane Mira-Bejaïa, Juin 2012
- [2] Température (https://fr.climatedata.org/afrique/senegal/ziguinchor/ziguinchor_764377) consulté le 03/03/2019 à 20h 45mn
- [3] <http://www.energies-renouvelables.org/Noria/docs/senegal.pdf>; consulté le 28/03/2019 à 18h 30mn
- [4] Daniel Yamegueu, Mémoire génie électrique et énergétique, 30 juin 2017
- [5] C. Bernard, J. Chauvin, D. Lebrun, J.F. Muraz, P. Stassi, « Station solaire autonome pour L'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre Auger », L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL. 2006.
- [6] A. Ricaud, Mémoire « Modules et systèmes photovoltaïques », Septembre 2008. Journal
- [7] <https://www.hellowatt.fr/blog/fonctionnement-panneau-solaire-photovoltaïque/>; consulté le 25/04/2019 à 15h 51mn
- [8] <http://www.dehalte.info/principe-de-fonctionnement-d-onduleur-pour-systeme> ; consulté le 25/04/2019 à 14h 00mn
- [9] N. Achaibou, A. Malek, N. Bacha, « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV », Revue des Energies Renouvelables, N. spécial (CHEMSS), pp 61-66, 2000.
- [10] D. Shulz, M. Jahn, « Grid integration of photovoltaics and fuel cells », Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks, Springer London, 2008.
- [11] Alain Ricaud, Systèmes photovoltaïques, école d'ingénieurs 'Polytech' Savoie' Octobre 2011
- [12] <http://www.systemespv.com/Systemes+hybrides> (10/05/2019) à 22h 42mn
- [13] <http://www.memoireonline.com> / consulté le 12/05/2019 à 11h 48mn
- [14] <http://www.systemespv.com> /Systemes+hybrides consulté 12/05/2019 à 18h 00mn
- [15] D. Turcotte, M. Ross and F. Sheriff. « Photovoltaic hybrid System Sizing and Simulation Tools » PV Horizon, Canada, 2001.

- [16] M. Reggane, D. Djidja, « Étude d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation en électricité d'un centre enfûteur de GPL (NAFTAL) », mémoire de Master, UMMTO, 2012.
- [17] F. Trahi, « Prédiction de l'irradiation solaire globale pour la région de Tizi-Ouzou par les réseaux de neurones artificiels. Application pour le dimensionnement d'une installation Photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche LAMPA » Mémoire de Magister en électronique, UMMTO, Tizi ouzou, 2008
- [18] <https://www.sma.de/fr/produits/onduleurs-photovoltaiques.html>; consulté le 25/06/2019 à 20h 15mn
- [19] <http://www.crse.sn/statistiques-du-secteur>; consulté le 28/06/2019 à 09h 19mn

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche Technique des panneaux

NO. De model	UK300M72
Garanti de puissance	12ans à 91% de puissance de sortie ; 30ans à 86% de puissance de sortie
Puissance maximal (Pmax)	300Wc
Tension à puissance maximal (vmax)	36.2V
Courant a puissance maximal	8.29A
Tension de courant ouverte (Voc)	44.7V
Courant circuit courte	8.81A
Efficacité module	18.44%
Tolérance de puissance (+)	+3

Annexe 2 : Fiche Technique des onduleurs

NO. De model	Sunny central 2200
Entré DC	
Tension DC maximum	1000V
Courant DC maximum	3100A
Plage de tension MPPT	400 ... 1000V
Sortie AC	
Puissance AC maximum	1831KW
Puissance AC nominal	1616KW
Plage de tension AC sortie	320.48 ... 391.6V
Tension AC nominal 356V	356V
Fréquence	60Hz
Efficacité maximum	98.7%

**DIMENSIONNEMENT DUNE CENTRAL SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE
DE 15MW RACCORDÉE AU RÉSEAU DE LA SENELEC DANS LA
RÉGION DE ZIGUINCHOR.**

**Mémoire pour l'obtention du MASTER en Physique et Applications
Spécialité : Énergie Solaire Matériaux et Systèmes SOLMATS**

Présenté par
M. Youssouph SAGNA

Soutenu publiquement le 17 Novembre 2020 devant le jury composé de :

Membres	Prénoms et noms	Grades	Établissements
Président du jury	Bassirou LO	Professeur titulaire	FST/UCAD
Membre	Oumar SAKHO	Professeur assimilé	FST/UCAD
Encadrant(s)	Moustapha DIENG	Professeur Titulaire	FST/UCAD
	Amadou KANE	Docteur	MPE

RESUMÉ :

Dans un souci de rendre l'électricité plus proche des populations et à moindre coût, nous souhaitons résolument nous engager dans le mix énergétique à travers la valorisation de l'énergie solaire. Dans le cadre de notre fin d'études de MASTER il nous a été confié l'étude du dimensionnement d'une centrale solaire Photovoltaïque de 15MW avec un raccordement au réseau de la Senelec de Ziguinchor.

La ville Ziguinchor a été proposée en raison d'une part de son fort ensoleillement et d'autre part de l'existence d'un poste moyen tension (MT) de 30kV nécessaire pour l'injection de l'énergie produite par la centrale solaire sur le réseau.

Trois sous centrales ont été proposée avec trois onduleurs décentralisés et deux transformateurs dont l'un restera en stand-by. La surface totale du champ est 21hectares pour les trois sous centrales.

Les Panneaux photovoltaïques UK3OOM72 monocristallins ont été choisis pour les trois sous centrales. Le résultat de la centrale est : 19371 panneaux au total dont 6457panneaux pour chaque sous centrale. Le Coût d'investissement s'élève à 3.315.652.571FCFA pour une durée de vie d'installation de 20ans.