

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHHOR



UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DEPARTEMENT PHYSIQUE

Mémoire de Licence

En vue de l'obtention du diplôme de Technicien supérieur en Energie renouvelable et
Efficacité énergétique

Présenté par : Mr ELHADJI SALL

Sous la Direction Dr Mouhamed Lamine MBAYE et Dr Moustapha THIAME

ETUDE COMPARATIVE D'UN SYSTEME DE POMPAGE DIESEL ET D'UN SYSTEME DE POMPAGE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE POUR L'IRRIGATION

Soutenu publiquement, le 04 Fevrier 2020 devant le jury composé de :

| Nom Prénom | Grade | Qualité | Etablissement |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| NDIAYE Lat Grand | Maître de conférences | Président de jury | UASZ |
| NDIAYE Ababacar | Maître Assistant | Rapporteur | UASZ |
| THIANDOUM Maguette | Ingénieur | Examineur | BONERGIE |
| NDOYE Mouhamed | Technicien Supérieur | Maître de stage | BONERGIE |
| MBAYE Mamadou Lamine | Maître Assistant | Co-Directeur de mémoire | UASZ |
| THIAME Moustapha | Maître Assistant | Directeur de mémoire | UASZ |

Année universitaire 2018/2019

Table des matières

| | |
|---|----|
| Introduction | 1 |
| I PRESENTATION DE L'ENTREPRISE | 3 |
| I.1 Objectifs | 3 |
| I.2 Les valeurs : | 3 |
| I.3 Les principaux pôles d'activités sont : | 3 |
| II SYSTEME DE POMPAGE | 5 |
| II.1 Généralité sur les systèmes de pompage solaire photovoltaïque | 5 |
| II.1.1 Généralités sur le système photovoltaïque | 5 |
| II.1.2 Les types de pompe | 13 |
| II.1.3 Contrôleur | 15 |
| II.1.3.1 Onduleur | 15 |
| II.1.3.2 La commande MPPT | 16 |
| II.1.4 La partie de stockage | 16 |
| II.2 Etude de cas dans le système solaire | 17 |
| II.2.3.1 Dimensionnement par COMPASS | 18 |
| II.2.3.2 Dimensionnement Manuel | 25 |
| II.3 Généralités sur le système de pompage diesel | 30 |
| II.3.1 Fonction | 31 |
| II.3.2 Caractéristiques de la pompe | 31 |
| II.3.3 Caractéristiques du moteur | 31 |
| II.3.4 Fonctionnement | 31 |
| III : ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE | 33 |
| III.1 CONTRAINTES D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE | 33 |
| III.1.1 Pompe solaire | 33 |
| III.1.1.1 Contraintes d'exploitation | 33 |
| III.1.1.2 Organisation de la maintenance | 33 |
| III.1.1.3 Fiabilité | 34 |
| III.1.2 Pompe Diesel | 34 |
| III.1.2.1 Contraintes d'exploitation | 34 |
| III.1.2.2 Organisation de la maintenance | 34 |
| III.1.2.3 Fiabilité | 34 |
| III.2 ASPECT ECONOMIQUE | 35 |

| | | |
|----------------|---|----|
| III.2.1 | Le cout d'investissement | 35 |
| III.2.2 | Amortissement de l'investissement | 36 |
| III.2.3 | Cout de fonctionnement | 37 |
| III.2.4 | Cout du mètre cube (m³) pompe | 38 |
| III.2.5 | Charges récurrentes par exploitant | 39 |
| III.3 | ANALYSE COMPARATIVE | 40 |
| | CONCLUSION | 43 |
| | BIBLIOGRAPHI ET WEBOGRAPHIE | 44 |

LISTE DES FIGURES

| | | |
|--------------|---|----|
| Figure II 2 | Schéma d'une cellule photovoltaïque..... | 6 |
| Figure II 3 | Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque | 7 |
| Figure II 4 | Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle..... | 8 |
| Figure II 5 | Caractéristique P – V des cellules PV raccordées en parallèle | 8 |
| Figure II 6 | Caractéristique I – V des cellules PV raccordées en parallèle | 8 |
| Figure II 7 | Schéma de trois cellules PV associées en série | 9 |
| Figure II 8 | Caractéristique P – V des cellules PV raccordées en série | 9 |
| Figure II 9 | Caractéristique I – V des cellules PV raccordées en série | 10 |
| Figure II 10 | Monocristallin | 11 |
| Figure II 11 | poly cristallin..... | 11 |
| Figure II 12 | – amorphe..... | 12 |
| Figure II 13 | – Pompes hélicoïdales | 13 |
| Figure II 14 | -pompe centrifuge..... | 14 |
| Figure II 15 | -pompe immergée..... | 15 |
| Figure II 16 | Circuit de puissance d'un contrôleur source | 16 |

| | |
|--|----|
| Figure II 17- commande MPPT..... | 16 |
| Figure II 18-Description du système de pompage photovoltaïque source | 17 |
| Figure II 19-cartographie du site | 18 |
| Figure II 20-Capture d'écran du logiciel COMPASS | 20 |
| Figure II 21– Interface graphique du logiciel COMPASS | 20 |
| Figure II 22-motopompe | 21 |
| Figure II 23-Fiche technique de l'onduleur..... | 21 |
| Figure II 24-Schéma de branchement des panneaux | 22 |
| Figure II 25— Besoin en eau | 22 |
| Figure II 26-Débit par jour | 23 |
| Figure II 27— Rayonnement | 23 |
| Figure II 28— Caractéristique électrique de la pompe | 24 |
| Figure II 29-Caractéristique PV | 24 |
| Figure II 30-fixation des supports | 27 |
| Figure II 31-Champs PV | 28 |
| Figure II 32- Contrôleur | 28 |
| Figure II 33-Pompe | 29 |
| Figure II 34- Câbles et Accessoires..... | 29 |
| Figure II 35– Mesure des courants et des tensions | 30 |
| Figure II 36-Pompe Diésel | 32 |
| LISTE DES TABLE | |
| Tableau III 1 Pompe solaire photovoltaïque | 37 |
| Tableau III 3-Pompage Diésel..... | 37 |

Tableau III 4- Cout du m³ 39

Tableau III 5 Investissement, cout du m³, charge récurrent par exploitation des deux systèmes..... 41

Tableau III 6-Analyse comparative 41

Abréviations

SARL : Société à responsable limité

CR : Charges récurrentes

PSE : Plan Sénégal émergent

ONG : Organisation non gouvernemental

PV : Photovoltaïque

Q : débit d'eau

SAV : Service après-vente

K : Rendement du système d'alimentation

V : Volt

Rsh : Résistance commande Shell

Icc : Courant à court-circuit

VCO : Tension à circuit ouvert

Np.ICC : Cellules parallèles courant à court-circuit

MPPT: Maximum power point tracker

MOSFET: metal–oxide–semiconductor field-effect transistor

DC : Courant contenu

AC : Courant alternatif

VAC : Tension à courant alternatif

W : Watt

KW : kilowatt

HMT : Hauteur manométrique totale

Hr : hauteur du château d'eau

Nd : Niveau dynamique du forage

Pc : Puissance crête



REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie Dieu le Tout-puissant de m’avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d’études et que grâce à lui que ce travail a pu être réalisé.

Nous sommes honorés que Mr Lat Grand NDIAYE maitre de conférence à l’Université Assane SECK de Ziguinchor, ait accepté de présider et d’honorer de sa présence le jury de soutenance du présent mémoire de licence. Qu’il trouve ici l’expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à mes directeurs de mémoire, le Dr Moustapha THIAME, Maitre-assistant à l’Université Assane SECK de Ziguinchor et Dr Mamadou Lamine MBAYE, Maitre-assistant à l’université Assane SECK de Ziguinchor. Je les suis reconnaissant pour la confiance dont ils m’ont fait preuve, pour l’intérêt qu’ils ont porté à ce travail, malgré les charges qu’ils assument actuellement et pour leurs précieux conseils qui m’ont permis une progression concrète dans ce projet.

J’adresse mes sincères remerciements à Dr Ababacar NDIAYE, Maitre-Assistant à l’université Assane SECK de Ziguinchor pour avoir accepté de rapporter mon travail.

Nous sommes honorés que Mr Maguette THIANDOUM, directeur général de BONERGIE, ait accepté d’évaluer ce travail en qualité d’examineurs.

Je remercie Mr Mohamed NDOYE, mon maitre de stage, pour ses encouragements ainsi que l’équipe technico-commerciale de BONERGIE Tambacounda pour leur soutien.

Je remercie Mr YOCK et Mr BODIAN les techniciens du laboratoire de Physique pour les travaux pratiques sur système PV.

J'exprime également mes sincères gratitudees envers les différents enseignants chercheurs du département du physique et ceux du monde professionnel, pour la qualité de leurs enseignements.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les étudiants de master et les doctorants, ainsi que mes camarades de licence professionnelle.

Je ne saurais terminer sans remercier ma famille qui n'a jamais cessé de m'encourager, particulièrement mon frère Alpha SALL pour ces soutiens moral et financier.

DEDICACES

Je dédie ce travail :

- À celle qui m'a appris à aimer la vie et respecter les autres : Ma douce Maman.
- À celui qui m'a appris à toujours garder la tête haute et à ne jamais renoncer à mes rêves :
Mon père.
- À ceux que j'aime et qui m'ont soutenu tout au long de ce projet :
Mon Tuteur Hamidine SALL

Mes frères Mamadou et Alpha SALL

Mes meilleurs Amis

Introduction

L'économie sénégalaise est basée essentiellement sur l'agriculture, l'élevage, la pêche, l'exploitation minière, etc. Cette économie est caractérisée entre autres par un faible taux de croissance (4 % en 2010 mais sur la période 2014-2018 elle semble constante avec un taux de 6 % grâce à l'industrie pétrolière et gazière) ; et une balance commerciale largement déficitaire. Le taux de pauvreté est estimé à 46,7 % au niveau national.ⁱ

Le Sénégal est un pays à vocation agricole qui dispose d'une large étendue de terres cultivables. Le pays possède plus de 3,4 millions d'hectares de terres arables dont, 2,5 millions d'hectares sont irrigables en moyenne par anⁱⁱ. Les terres cultivées sont occupées pour 50 % par les céréales, pour 30 % environ par l'arachide et pour 20 % par les autres productions. À ces superficies, il convient toutefois d'ajouter une importante zone sylvopastorale consacrée en partie à un élevage extensif. La majorité des agriculteurs sénégalais est constituée des petits producteurs travaillant le plus souvent uniquement avec des outils manuels. Le système de production agricole au Sénégal est peu productif, car il est basé sur l'utilisation de la main-d'œuvre familiale et de moyens et techniques de production rudimentaires (houe, machette, charrue, etc.). En dehors de la filière arachidière, cotonnière et rizière, il n'existe pas de filière intrants organisé. Le secteur agricole est largement dépendant de la pluviométrie, faute d'une bonne maîtrise de la gestion de l'eau. Le pays a un climat de type soudano-sahélien avec une alternance de saison sèche (neuf mois) et d'une saison pluvieuse (trois mois).

Cependant, le Sénégal ne dispose pas suffisamment d'infrastructures socio-économiques, capables d'impulser une croissance forte, durable et harmonieuse. Les infrastructures de base en matière d'énergie (centrales électriques), d'eau potable, de transport (routes, ponts, ports et aéroports, voies ferroviaires, gares routières), d'équipements sanitaires et hôteliers, y sont peu développées. Cette situation compromet la capacité productive et la compétitivité de l'économie nationale dont le niveau de performance est loin de générer des richesses substantielles à même d'améliorer le niveau de vie des populations. En effet, sur le plan énergétique, la situation du pays est marquée par :

- une prédominance des utilisations de la biomasse traditionnelle (bois de feu et charbon de bois), qui engendre un accroissement rapide de la demande en bois ;
- une faible capacité de production interne d'énergie électrique.

Vue la faible production agricole pour une population sénégalaise est estimé à 16,2 millions d'habitants, il y'a donc nécessité de mener des actions clés dans ce domaineⁱⁱⁱ. La question de la modernisation de l'agriculture et l'utilisation efficace des différentes sources d'énergies pour optimiser la production agricole est une priorité du gouvernement sénégalais ainsi que celle du secteur privé comme BONERGIE SARL où ce travail de fin d'étude a été réalisé. C'est dans ce contexte que ce projet vise à une amélioration de la production agricole pour la satisfaction équitable des besoins des populations en milieu urbain et rural.

Etant un pays soudano-sahélien, le Sénégal se situe dans la zone d'ensoleillement supérieure de l'Afrique. Le nombre d'heures de cet ensoleillement par année varie de 2500 heures au sud à 3000 heures au nord du pays. L'intensité du rayonnement global est en moyenne de $5,8 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$ ^{iv}. Vu ce potentiel énergétique solaire, le pompage solaire photovoltaïque (PV) représente une solution idéale pour l'approvisionnement en eau partout où le réseau électrique est absent. Dans ce contexte, le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution à **l'étude Comparative d'un système de pompage Solaire et d'un système pompage Diésel pour l'irrigation**. Notre travail est structuré en trois chapitres en dehors de l'introduction générale et de la conclusion générale. Le premier chapitre concerne la présentation de l'entreprise, le deuxième chapitre concerne une description des systèmes de pompage photovoltaïque et diésel ; enfin le troisième chapitre est dédié à l'analyse technico-économique.

I PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

Crée en 2011, **Bonergie SARL** est une entreprise privée sous régionale (Afrique de l'Ouest) basée au Sénégal. Il est aussi présent dans cinq régions du Sénégal (Dakar, Louga, Ziguinchor, Tambacounda et Fatick).

I.1 Objectifs

Bonergie SARL est spécialisé dans la vente et la distribution de composantes photovoltaïques (pompe solaire, lampe solaire, kit télévision, des réfrigérateurs solaires). Les produits Bonergie ont été spécialement conçus pour les régions isolées qui n'ont pas accès au réseau électrique. Mais ils constituent aussi une alternative idéale pour se procurer de l'électricité en ville, en cas par exemple de délestage de courant, ou pour se mettre à l'énergie verte. L'objectif est d'accompagner le **plan Sénégal émergent** (PSE) pour la mise en valeur de l'agriculture Sénégalaise; de développer et promouvoir le domaine des énergies renouvelables ; d'apporter l'appui, et le soutien aux petits et moyens agriculteurs ; de promouvoir le pompage avec l'énergie solaire photovoltaïque pour tous les systèmes d'irrigation spécialement le goutte à goutte ; de réaliser des projets l'électrification rurale décentralisée par l'énergie solaire photovoltaïque.▼

I.2 Les valeurs :

- Respect, Flexibilité et Efficacité ;
- Qualité et Innovation ;
- Objectifs ambitieux mais réalistes.
- Installation, Maintenance, Dimensionnement, SAV et réparation fiables et en interne.

I.3 Les principaux pôles d'activités sont :

- La distribution de la marque LORENTZ Germany dans le secteur de pompage solaire ;
- La distribution exclusive de la marque SOLAR WORD et IFRI SOL (les panneaux solaires) ;
- La distribution de la marque NIWA : kit Télévision, lampe ;
- La distribution de la marque SOLOR STECA (Frigos) ;
- La distribution de la marque VICTRON : Onduleurs, Régulateurs, Convertisseurs, Batteries, ...
- Réalisation des installations des kits de pompage solaire à l'usage agricole et l'eau potable (pour les personnes et les bétails) ;

- Éclairage public solaire

Dans cette partie, nous avons parlé les objectifs ou il s'agit est d'accompagner le **plan Sénégal émergent** (PSE) pour la mise en valeur de l'agriculture Sénégalaise ; de développer et promouvoir le domaine des énergies renouvelables. Nous avons aussi parlé les valeurs et les principaux pôles d'activité de l'entreprise.

II SYSTEME DE POMPAGE

II.1 Généralité sur les systèmes de pompage solaire photovoltaïque

Les systèmes de pompage solaire photovoltaïque (PV) utilisent la conversion du rayonnement solaire en électricité pour alimenter des pompes immergées dans un forage ou un puits ainsi que des pompes de surface pour le refoulement du bassin vers la goutte à goutte.

Le système de pompage solaire est constitué généralement par :

- Le générateur photovoltaïque ;
- Différents types de pompe solaire ;
- L'électronique de commande et de contrôle ;
- La partie stockage ;

II.1.1 Généralités sur le système photovoltaïque

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

Les panneaux sont connectés en série. Ils forment alors une chaîne de modules ou string^{vi}. Les modules sont montés en série ou/et en parallèle pour réaliser un champ photovoltaïque.

Un panneau solaire fonctionne par l'effet photovoltaïque c'est-à-dire par la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide.



Figure II 1 1cellules, modules et champ panneaux photovoltaïques^{vii}

➤ La cellule PV^{viii}

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur, la tension générée peut varier entre 0.3V et 0.7V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition pour le silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6V.

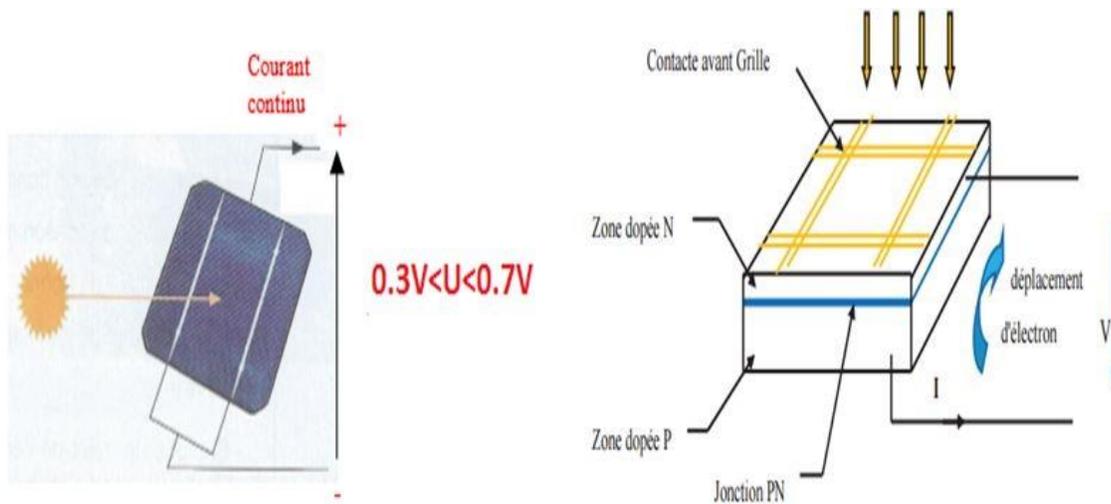


Figure II 1 Schéma d'une cellule photovoltaïque^{ix}

L'effet photovoltaïque sur une cellule photovoltaïque est basé sur le phénomène physique qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La figure (II.2) illustre une cellule PV typique où sa constitution est détaillée. Les performances de rendement énergétique atteintes industriellement sont de 13 à 14% pour les cellules à base de silicium monocristallin, 11 à 12% avec du silicium poly cristallin et enfin 7 à 8% pour le silicium amorphe en films minces. La photopile ou cellule solaire est l'élément de base d'un générateur photovoltaïque^x. La figure (II.2) suivante représente le schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.

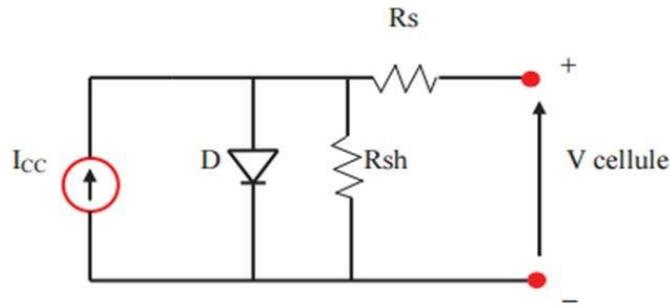


Figure II 2 Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque^{xi}

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

➤ Association des Cellules Photovoltaïques

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur PV. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera comme représentés sur les figures suivantes.

-Association des Cellules Photovoltaïques en Parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement des cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. Les figures (II.5) et (II.6) montrent les caractéristiques résultantes (I_{PCC} , V_{PCO}) obtenues en associant en parallèle (indice p) N_p cellules identiques :

$$I_{PCC} = N_p \cdot I_{CC} \quad \text{et} \quad V_{PCO} = V_{CO}$$

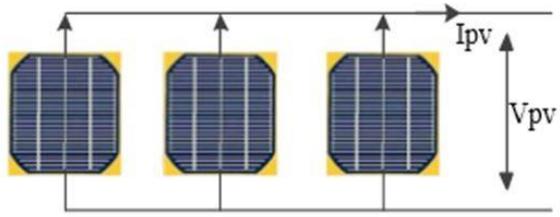


Figure II 3 Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle

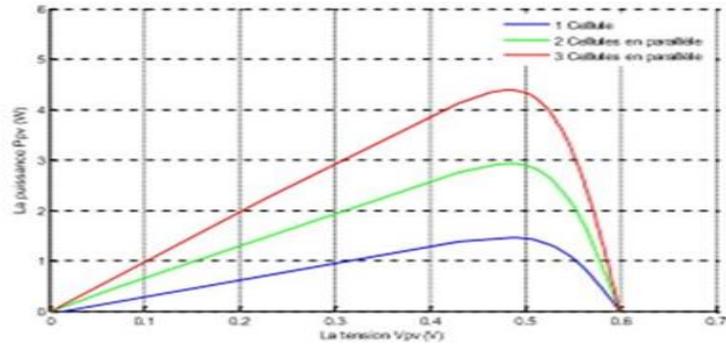


Figure II 4 Caractéristique P – V des cellules PV raccordées en parallèle

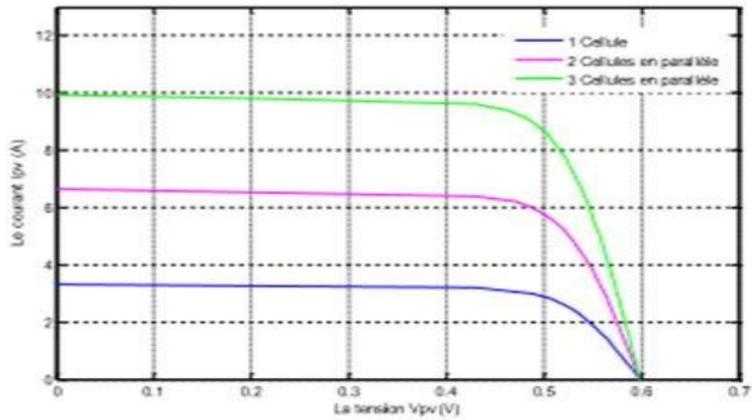


Figure II 5 Caractéristique I – V des cellules PV raccordées en parallèle

-Association des Cellules PV en Série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. Les figures (II.7) montrent la caractéristique résultante

(I_{SC} , V_{SCO}) obtenue en associant en série (indice s) N_s cellules identiques (I_{CC} , V_{CO}) :

$$I_{SC} = I_{CC} \quad \text{et} \quad V_{SCO} = N_s.V_{CO} \quad (\text{II.2})$$

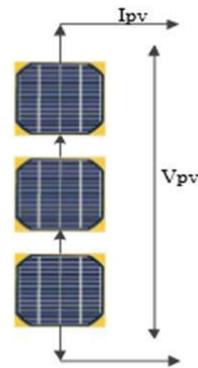


Figure II 6 Schéma de trois cellules PV associées en série

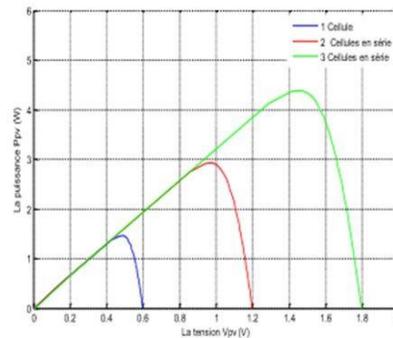


Figure II 7 Caractéristique $P - V$ des cellules PV raccordées en série

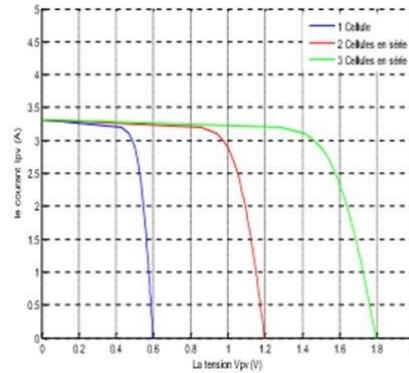


Figure II 8 Caractéristique I – V des cellules PV raccordées en série

La plupart des panneaux photovoltaïques commerciaux sont constitués par des sous-réseaux de cellules connectées en série. Chacun de ces sous-réseaux est lui-même constitué d'un groupe de cellules photovoltaïques connectés en série. Le nombre de cellules par sous-réseaux est le fruit d'un compromis économique entre protection et pertes d'une partie importante du générateur photovoltaïque en cas de défaut partiel.

➤ **Type des panneaux photovoltaïques**

Silicium monocristallin

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Ce type de panneaux solaires photovoltaïques possède un très bon rendement, de l'ordre de 12 à 20%. Son cout est relativement élevé.



Figure II 9 Monocristallin^{xii}

Silicium poly cristallin

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. Ce type de panneaux solaires photovoltaïques bénéficie d'un bon rendement de l'ordre de 11 à 15%. Le prix de ce type de panneaux solaires est moins élevé que le monocristallin, il représente donc à ce jour le meilleur rapport qualité/ prix.



Figure II 10 poly cristallin^{xiii}

Silicium amorphe (a-si)

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très

peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre son rendement de conversion est faible de (7 à 10%) et les cellules ont tendance à se dégrader plus rapidement sous la lumière.



Figure II 11 – amorphe^{xiv}

➤ **Les avantages et les inconvénients des panneaux PV**

La technologie PV présente un grand nombre d'avantages :

- D'abord, une haute fiabilité, qui la rend particulièrement appropriée aux régions isolées.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers.
- Enfin, la technologie PV présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu.

Malgré tous ces avantages il y a aussi des inconvénients, le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients :

- La fabrication du module PV relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur PV est accru.

II.1.2 Les types de pompe

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement, soit de type volumétrique ou centrifuge. Outre ces deux classifications que nous décrirons plus loin, on distingue également deux autres types de pompes en fonction de l'emplacement physique de la pompe par rapport à l'eau pompée : la pompe à aspiration et la pompe à refoulement.

La hauteur d'aspiration de n'importe quelle pompe est limitée à une valeur théorique de 9,8 mètres (pression atmosphérique en mètres d'eau) et dans la pratique à 6 ou 7 mètres. Les pompes à aspiration sont donc toujours installées à une hauteur inférieure à celle-ci. Ces pompes doivent également être amorcées, c'est-à-dire que la section en amont de la pompe doit être remplie d'eau pour amorcer l'aspiration d'eau.

Les pompes à refoulement sont immergées dans l'eau et ont soit leur moteur immergé avec la pompe (pompe monobloc), soit le moteur en surface ; la transmission de puissance se fait alors par un long arbre reliant la pompe au moteur. Dans les deux cas, une conduite de refoulement après la pompe permet des élévations de plusieurs dizaines de mètres, selon la puissance du moteur.

2.1 La pompe hélicoïdale

La pompe HR est une pompe volumétrique, le rotor à un mouvement excentrique qui, lorsqu'il tourne à l'intérieur du stator, comprime efficacement l'eau à travers la pompe à chaque rotation. Cette action de déplacement positif signifie que l'eau est pompée lorsque la pompe fonctionne à des vitesses très faibles et qu'une haute pression peut être créée lui permettant de pomper de l'eau à des hauteurs élevées.

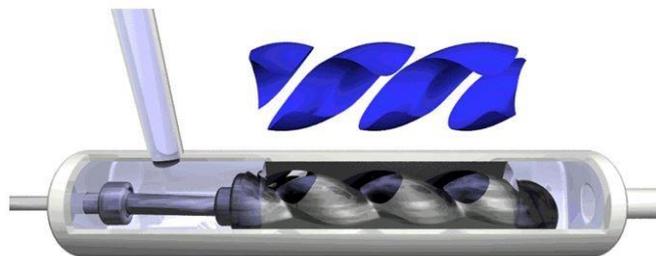


Figure II 12– Pompes hélicoïdales^{tv}

2.2 La pompe centrifuge

La pompe centrifuge transmet l'énergie cinétique du moteur au fluide par un mouvement de rotation de roues à aubes ou d'ailettes. L'eau entre au centre de la pompe et est poussée vers l'extérieur et vers le haut grâce à la force centrifuge des aubages. Afin d'augmenter la pression, donc la hauteur de refoulement, plusieurs étages d'aubages peuvent être juxtaposés sur le même arbre de transmission. Chaque étage fait passer l'eau à l'étage suivant en relevant la pression jusqu'à l'étage final, délivrant un volume d'eau à pression élevée (voir figure 6). Ces pompes incluent les pompes submersibles avec moteur de surface ou submergé, les pompes flottantes et les pompes rotatives à aspiration.



Figure II 13-pompe centrifuge^{xvi}

2.3 La Pompe immergée

La pompe immergée est indispensable pour aller puiser l'eau dans des niveaux inférieurs à 7 mètres de la surface. Il en existe pour toutes les profondeurs et tous les débits. Généralement constituées en inox.

Un autre avantage de la pompe immergée est le silence constaté lors de son activité. Elle ne fait aucun bruit et c'est agréable pour l'utilisateur. Côté logistique et entretien, la durée de vie de la pompe immergée est plus longue, car son système de pompage s'use moins vite. Ceci est dû au fait que l'eau est « poussée » au lieu d'être aspirée.

Plus une pompe immergée sera puissante, plus il lui sera facile, aisé et rapide d'effectuer une tâche. Mais il ne faut pas perdre de vue que cette puissance est liée à un coût en électricité. Il y a deux types de la pompe immergée



Figure II 14-pompe immergée^{xvii}

II.1.3 Contrôleur

Il est constitué d'un convertisseur « onduleur » et d'un régulateur, c'est le cerveau de l'installation du système de pompage solaire photovoltaïque.

II.1.3.1 Onduleur

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques sont quelques peu différents des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique, mais l'objectif de conversion DC/AC est le même. La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système. Pour un éclairement et une température donnée, la tension en circuit ouvert ou à forte charge est à peu-près constante (assimilable à une source de tension), tandis qu'en court-circuit ou à faible charge le courant est pratiquement constant (source de courant). Le générateur n'est alors ni vraiment une source de tension ni vraiment une source de courant non plus. La tension de circuit ouvert est sensible à la température et diminue quand la température augmente. Le courant de court-circuit est quant à lui proportionnel à l'éclairement : augmente si l'éclairement augmente.

La figure II.16 présente les composantes de l'onduleur Lorentz



Figure II 15-Circuit de puissance d'un contrôleur^{xviii}

Le contrôleur, Il est composé de six interrupteurs ; six MOSFET shuntés en antiparallèle par des diodes de récupération, afin de renvoyer le courant négatif vers le condensateur de filtrage mis à l'entrée de l'onduleur, et trois varistors pour la protection.

II.1.3.2 La commande MPPT

Le régulateur de charge solaire est l'élément central d'une installation solaire. Il contrôle la production des panneaux tout en optimisant la durée de vie des batteries.

Le régulateur de charge est connecté aux panneaux solaire avec les batteries : il permet de limiter le courant des panneaux pour ne pas surcharger les batteries (et optimiser leur durée de vie).



Figure II 16- commande MPPT

II.1.4 La partie de stockage

Le stockage d'énergie peut se faire de deux façons : stockage d'énergie électrique ou stockage d'eau. Cette dernière méthode est souvent adoptée car il est plus pratique de stocker l'eau dans des

réservoirs que l'énergie électrique dans des accumulateurs lourds coûteux et fragiles, de plus le rendement énergétique est meilleur quand il n'y a pas d'accumulateurs. L'énergie fournie par le générateur photovoltaïque est une énergie chère malgré l'abaissement du coût du watt-crête. Il est donc nécessaire de faire fonctionner ces générateurs à leur puissance optimale. La commande du convertisseur se fait par variation d'un paramètre de contrôle.

Le système étudié est constitué par le générateur PV, le convertisseur DC-AC est commandé par une stratégie de recherche du point de puissance maximale MPPT et le moteur-pompe.

La figure II.18 présente le synoptique de l'ensemble du système :

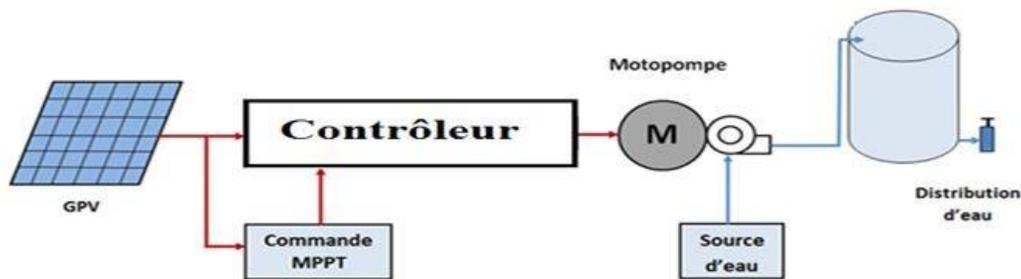


Figure II 17-Description du système de pompage photovoltaïque^{xix}

II.2 Etude de cas dans le système solaire

II.2.1 Liste des étapes pour établir un projet

- Prospection par un commercial.
- Visite du chantier pour la confirmation des informations trouvées par un technicien.
- Études sur le logiciel de dimensionnement « COMPASS » par un technico-commercial.
- Élaboration du devis avec étude et fiche technique.
- Contact client pour l'explication du projet et la confirmation du début des travaux.
- Mise en installation du projet par des techniciens.

Fin de travaux en garantissant la satisfaction de la pompe désirée avec un système de production d'électricité environnemental (énergie solaire).

II.2.2 Présentation du site

Le site (SOUTOUTA) est à 120 Km de **Tambacounda** et à 45 Km de **Goudiry** sur une étendue de terre plate cultivable de 3 hectares sans obstacle majeur, appartenant au G.I.E BADINIA. Le groupement veut transformer cette étendue en verger et faire la culture maraîchère tout ceci à l'aide du pompage solaire. Le village de **SOUTOUTA** est un village d'éleveurs de bœufs, moutons et chèvres. Ce village regorge un potentiel inestimable de fumier qui peut être utilisé comme engrais.



Figure II 18-cartographie du site^{xx}

II.2.3 Etude de dimensionnement

Le projet étudié consiste à dimensionner un système de pompage solaire, d'une pompe immergée pour un besoin d'eau de $40m^3/jour$ avec une hauteur manométrique totale de 45m.

II.2.3.1 Dimensionnement par COMPASS

o Présentation de compass

COMPASS est l'outil de la marque LORENTZ qui permet de concevoir, planifier et préciser toutes les données et les résultats nécessaires pour réaliser une installation de pompage solaire. Il contient une base de données de :

- Pompes solaires immergées, de surface et de piscine avec ces fiches techniques.

- Suiveurs d'ensoleillement.
 - Panneaux Solaires (on peut utiliser n'importe quelles puissances, il suffit juste d'entrer les caractéristiques de panneau utilisé).
 - Accessoires de protection de pompes.
 - Les différentes sections de câbles immergés.
 - L'intervalle de hauteur manométrique de chaque pompe stocké dans la base de données de COMPASS.
 - Les graphes de débit en fonction du jour (m^3/j) ainsi que l'heure (m^3/h).
 - Les graphes de rayonnement par jour ($KWh/m^2\text{parjour}$) ainsi que l'heure (KWh/m^2h).
 - Les graphes de l'énergie par jour (KWh/j) ainsi que par heure (KW).
 - Les graphes de la température au cours de la journée en °C.
 - Les graphes de la température des cellules panneaux en °C.
 - Les graphes de pertes thermiques en %.
 - Les graphes de pertes de Câbles en %.
 - Les graphes de pertes tuyau en m.
 - La caractéristique de la pompe qui est représentée par le débit en fonction de la puissance et la hauteur manométrique totale.
 - Il définit les graphes de l'intensité du moteur en A, la tension du moteur en VAC, la vitesse du moteur en *rpm*, les pertes dans les câbles, l'efficacité, les pertes de charges, les pertes dû à l'aspiration et la vitesse de l'eau.
 - Toutes les données du panneau solaire utilisé.
 - **Etapes de dimensionnement**
 - **Entrer les donnés**
- L'emplacement: pays et la région.

-Hauteur manométrique : (m^3).

-Rendement quotidien requis « débit » : ($m^3/jour$). Sur COMPASS on sélectionne la ville (Tambacounda) de débit $40m^3/jour$ et HMT (45m) pour la pompe immergée et pour la pompe surface on fait la même chose.

La figure II 20 représente le schéma de conception et de dimensionnement.

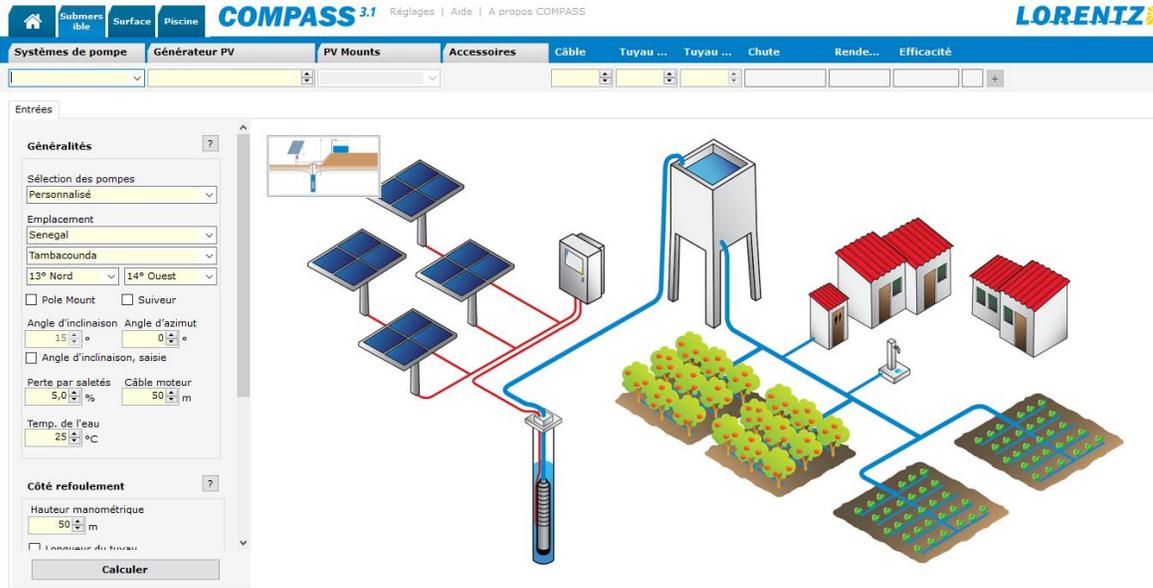


Figure II 19-Capture d'écran du logiciel COMPASS

- Calculer

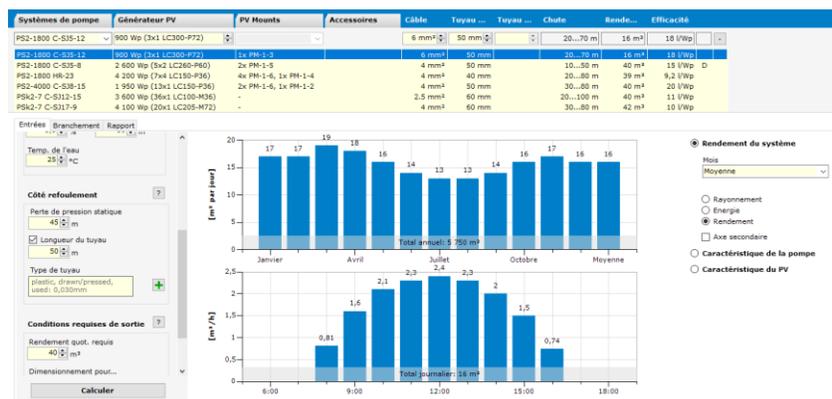


Figure II 20- Interface graphique du logiciel COMPASS

Voilà la pompe utilisée et le nombre de panneaux photovoltaïques.

LORENTZ COMPASS 3.1

Submersible Surface Piscine **COMPASS 3.1** Réglé

| Systèmes de pompe | Générateur PV | PV Mounts |
|-------------------|---------------------------|----------------------|
| PS2-1800 C-SJ5-12 | 900 Wp (3x1 LC300-P72) | |
| PS2-1800 C-SJ5-12 | 900 Wp (3x1 LC300-P72) | 1x PM-1-3 |
| PS2-1800 C-SJ5-8 | 2 600 Wp (5x2 LC260-P60) | 2x PM-1-5 |
| PS2-1800 HR-23 | 4 200 Wp (7x4 LC150-P36) | 4x PM-1-6, 1x PM-1-3 |
| PS2-4000 C-SJ8-15 | 1 950 Wp (13x1 LC150-P36) | 2x PM-1-6, 1x PM-1-3 |
| PSk2-7 C-SJ12-15 | 3 600 Wp (36x1 LC100-M36) | - |
| PSk2-7 C-SJ17-9 | 4 100 Wp (20x1 LC205-M72) | - |

Entrées Branchement Rapport

Généralité ? 20 17 17

Figure II 21-motopompe

o Résultats de Compass

- Les caractéristiques d'onduleur utilisé

Données techniques

Contrôleur PS2-1800

- Commande et surveillance
- Entrées de commande pour protection contre le fonctionnement à sec, commandé à distance, etc.
- Protection contre inversion de polarité, surcharge et surchauffe
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) intégré
- Fonctionnement à batterie: protection intégrée contre la décharge profonde

| | |
|----------------------|-------------|
| Puissance | max. 1,5 kW |
| Tension d'entrée | max. 200 V |
| Optimal Vmp** | > 102 V |
| Intensité du moteur | max. 14 A |
| Efficacité | max. 98 % |
| Temp. ambiante | -40...50 °C |
| Classe de protection | IP68 |

Moteur ECDRIVE 1200-C / ECDRIVE 1800-C

- Entretien minimal, moteur DC sans balais
- Rempli d'eau
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304/316
- Moteur sans électronique à l'intérieur

| | |
|----------------------|-----------------|
| Puissance nominale | 1,7 kW |
| Efficacité | max. 92 % |
| Vitesse du moteur | 900...3 300 rpm |
| Classe d'isolation | F |
| Classe de protection | IP68 |
| Submersion | max. 150 m |

Extrémité de la pompe PE C-SJ5-12

- Clapet anti-retour
- Matériel de haute qualité, acier inoxydable: AISI 304
- En option - protection contre le fonctionnement à sec
- Centrifugal pump



Figure II 22-Fiche technique de l'onduleur

- Raccordement des panneaux

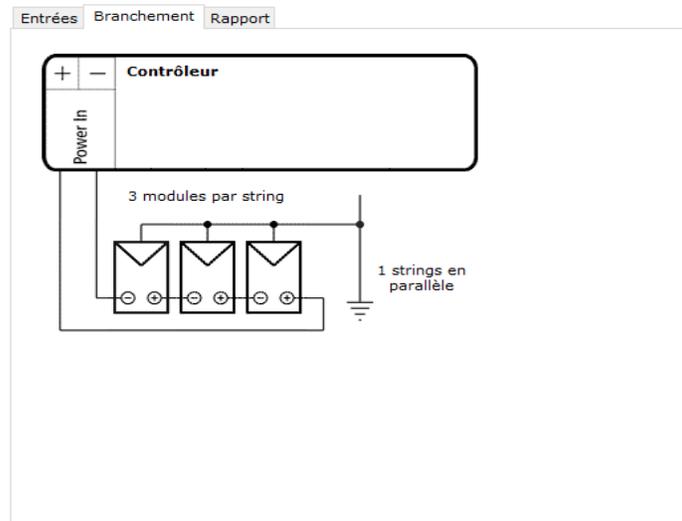


Figure II 23-Schéma de branchement des panneaux

Après avoir calculer les besoins en eau et HMT, nous obtenons un branchement de trois modules branchées en série.

- Débits mensuels

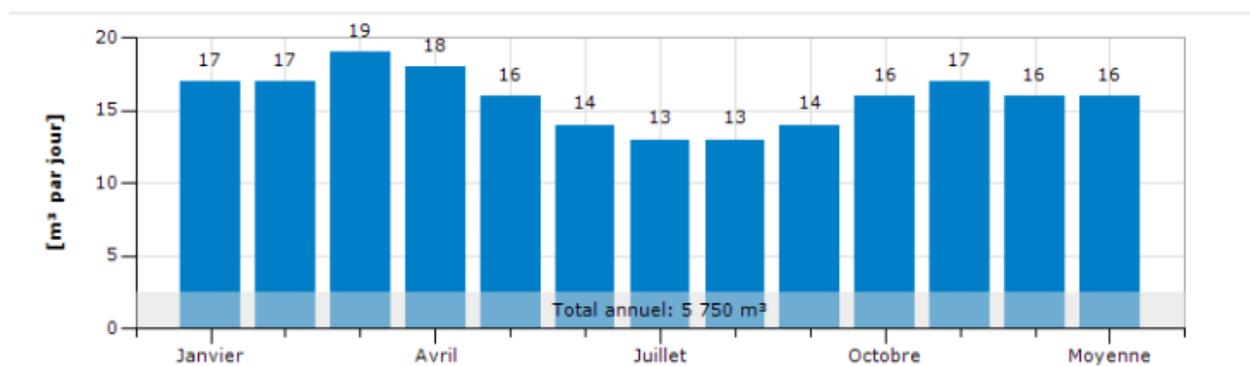


Figure II 24-- Besoin en eau

- **Débit par jour pendant les 9 heures d'insolation**

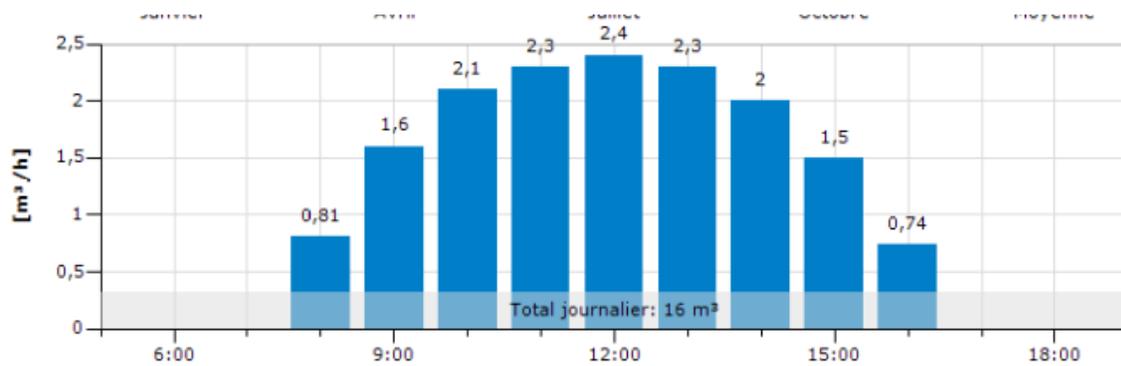


Figure II 25-Débit par jour

- **Rayonnement du système**

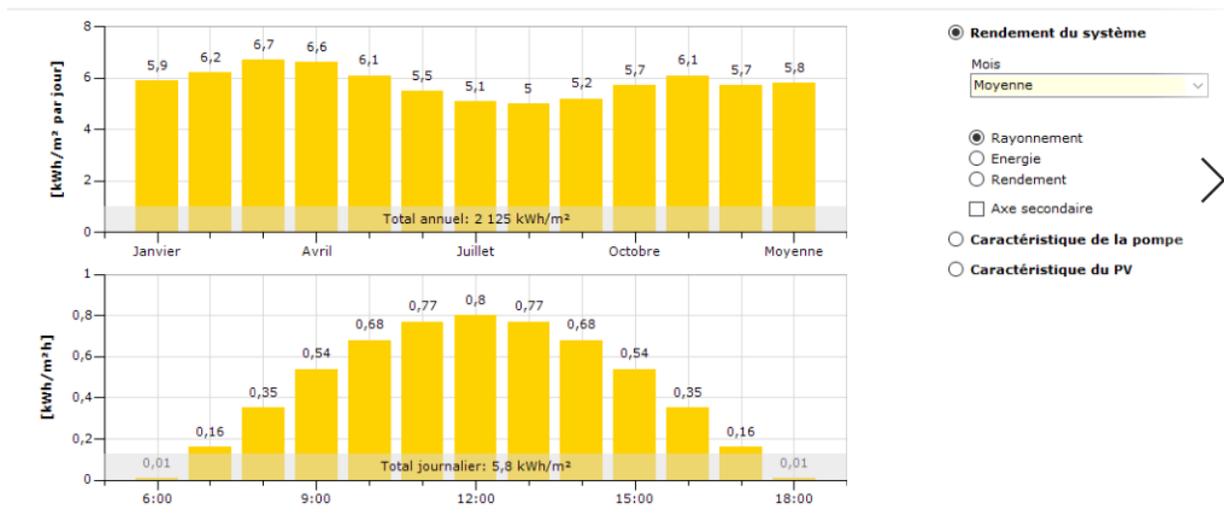


Figure II 26— Rayonnement

La figure II-25 (débit d'eau mensuelle) et la figure II-27 (rayonnement du système) montrent ici que les mois (Juin, Juillet, Aout et Septembre) ont un débit et rayonnement assez important. Cela est dû à la saison des pluies ou l'insolation n'est pas important.

La figure II-26 qui représente le débit journalier montre que le besoin d'eau est plus important qu'à partir 12h lorsque le soleil est à zénith.

- **Caractéristique de la pompe**

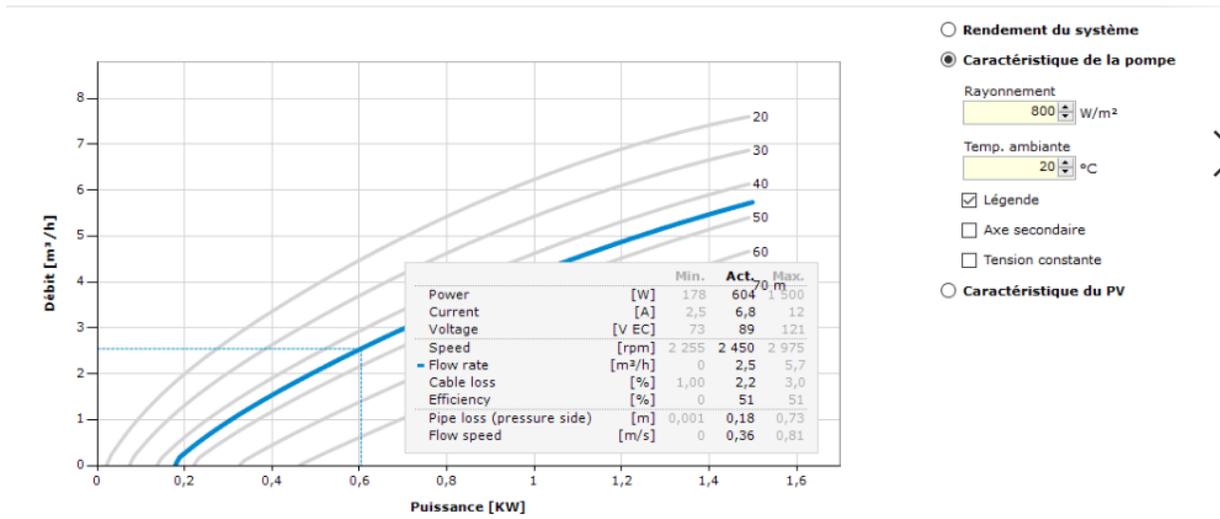


Figure II 27-- Caractéristique électrique de la pompe

Sur la courbe ci-dessus on vérifie bien que pour une puissance P_c de 800W et une HMT de 45m le débit est de $2,5\text{m}^3/\text{h}$ donc en 7 h on obtiendra bien les $17,5\text{ m}^3$ désirés.

- **Caractéristique des PV**

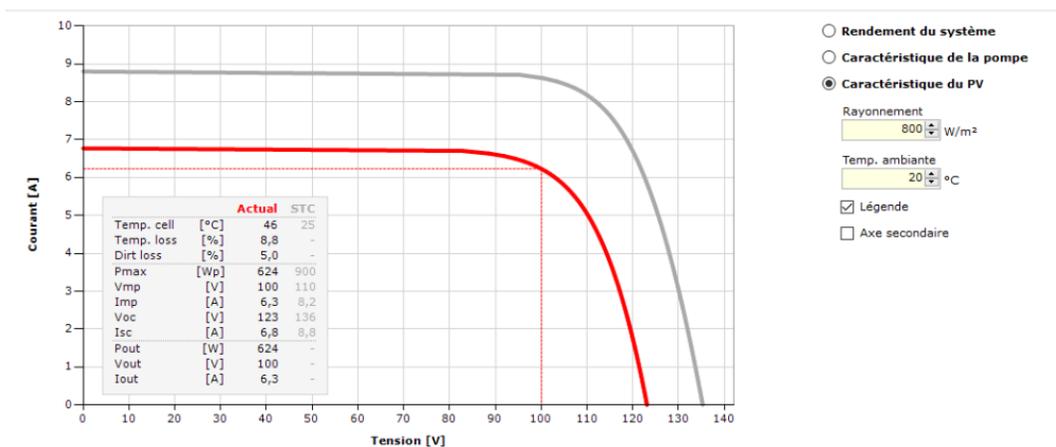


Figure II 28-Caractéristique PV

Pour l'exemple que nous avons traité : $Q=17,5 \text{ m}^3/\text{jour}$ et $HMT = 45 \text{ m}$, on trouvait $P_c = 800\text{W}$
 Le point jaune correspond à la courbe F ce qui donne 624 W en puissance de panneaux solaires.

II.2.3.2 Dimensionnement Manuel

Calcul de l'énergie électrique nécessaire par jour: E_{elec} pour transférer à une certaine hauteur d'élévation (en m) une certaine quantité d'eau Q en (m^3/jour) avec une pompe électrique de rendement R se calcule ainsi:

$$E_{elec} = \frac{\text{constante hydraulique} \times \text{Quantité d'eau} \times HMT}{\text{Rendement du groupe motopompe}} \quad (I)$$

Constante hydraulique = 2,725 (Cette constante hydraulique dépend de la gravité et de la densité de l'eau)

Rendement du groupe de pompage : **$R = 0,51$**

Quantité d'eau : Définie par le comité de gestion du village : en m^3/jour HMT: Hauteur Manométrique Totale

$$HMT = H_r + N_d + P_c \quad (\text{en m}) \quad (II)$$

H_r : hauteur du château d'eau(m)

P_c = pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites. Ces pertes sont fonction de la longueur des conduites, de leur diamètre, du débit de la pompe et du nombre d'appareils sur la canalisation (vannes, compteur, clapet antiretour, coudes...). Ces renseignements se trouvent dans tous les catalogues constructeurs. Les **P_c** s'expriment en mètres. Le diamètre des conduites doit être calculé afin que ces pertes de charge correspondent au maximum à 10 % de la hauteur géométrique totale.

$$E_{elec} = \frac{2,725 \times Q \times HMT}{R} \quad (III)$$

Avec $HMT=45\text{m}$, $Q=17,5\text{m}^3/\text{jour}$, $R=0,51$ (51%)

$$E_{elec} = \frac{2,725 \times 17,5 \times 45}{0,51}$$

$$\underline{E_{elec}=4200Wh/Jour}$$

Calcul de la Puissance crête Pc

$$Pc = \frac{E_{elec}}{E_i \times K} \quad (IV)$$

Avec E_i : l'insolation moyenne sur une journée à un éclairement de puissance constante $1000w/m^2$. $E_i=5,8KW/jour$

K : Rendement du système d'alimentation (panneaux solaires, chaleur, poussière, chute de tension en ligne....) de 0,7 à 0,9.

On prendra $K = 0,8$

$$Pc = \frac{4200}{5,8 \times 0,8}$$

$$\underline{Pc=822W}$$

Les panneaux choisis sont de polycristalin de puissance 310W par panneau, Soit 3panneaux.

La Pompe choisie est une pompe Lorentz PS2-1800 C-SJ5-12 dont la tension est comprise entre 70 à 180V. L'onduleur choisi est un Contrôleur PS2-1800.

1. Étapes d'installation

Préparation et fixation des supports de panneaux



Figure II 29-fixation des supports

- La pose des panneaux solaires avec les accessoires de protection en respectant l'orientation et l'angle d'inclinaison pour avoir le maximum d'ensoleillement. La meilleure orientation des panneaux solaire dans l'Afrique de l'Ouest est le plein sud. La meilleure inclinaison est un intervalle qui varie entre (14° , 15°) à Tambacounda.



Figure II 30-Champs PV

- Installation du contrôleur dans un milieu sécurisé si aucun contact avec l'eau ni soleil.



Figure II 31- Contrôleur

- Insertion de la pompe dans le puits avec accessoires de protections.



Figure II 32-Pompe

- Couplage des éléments essentiels (contrôleur/panneaux) par les câbles pour la production d'énergie pour alimenter la pompe et avoir le besoin en eau demandé.



Figure II 33- Câbles et Accessoires

- Finalement la vérification des résultats désirés par la mesure du courant et tension en charge et en utilisant un multimètre.



Figure II 34– Mesure des courants et des tensions

II.3 Généralités sur le système de pompage diesel

A la différence du pompage photovoltaïque dont l'énergie électrique est fournie par un générateur utilisant une énergie renouvelable, les pompes de ce système, sont entraînées par des moteurs thermiques c'est-à-dire des moteurs à combustion interne consommant les uns de l'essence (moteur à essence) et les autres du gaz oil (moteur diesel).

Ce système a comme composantes : le moteur et la pompe. Les moteurs à essence, en raison de leur faible rendement (20 à 25 %) et de leur consommation en carburant élevé, ne sont utilisés que pour des petites installations ne fonctionnant qu'un temps limité (quelques centaines d'heures par an).

Les moteurs diesel, avec un rendement compris entre 30 à 40 % et consommant un carburant moins cher, sont utilisés pour toutes les gammes des installations.

Exemple de pompe à diesel choisi

Motopompe à centrifuge Moteur diesel

II.3.1 Fonction

Un moteur à diésel léger et puissant ;

Une pompe centrifuge est constituée par :

- Une roue à aubes tournant autour de son axe
- Un distributeur dans l'axe de la roue
- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelée volute.

II.3.2 Caractéristiques de la pompe

Marque : KIPOR

Modèle : KP-60

Débit maximal : 45m³

Hauteur maximal : 55m

Aspiration maximale : 7m

II.3.3 Caractéristiques du moteur

Modèle : KM186

Puissance : 6,3 kW

Cylindrée : 418cc

II.3.4 Fonctionnement

Pour la première utilisation, mettre de l'huile et du gazole, mettre un peu d'eau dans la pompe. Après le démarrage, la pompe aspirera l'eau par elle-même et vous n'avez besoin de crépine. Cette motopompe est conçue pour un pompage mobile, des démarrages fréquents et travailler dans des endroits difficile d'accès. Elle est utilisée dans l'agriculture, l'industrie et dans le jardinage.



Figure II 35-Pompe Diésel

Dans cette partie, nous avons présenté d'abord le principe de l'effet photovoltaïque, les différentes composantes des systèmes photovoltaïques. Ensuite, une analyse a été faite sur le système photovoltaïque adapté par une commande numérique (commande MPPT : perturbation et observation) assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur photovoltaïque. Le but principal de l'étude d'un système photovoltaïque est de simplifier et de comprendre le comportement de ce système. Ensuite dans l'étude concernant le pompage PV, des connaissances ont été acquises dans les systèmes PV telles que :

- Les grandes marques des pompes,
- La méthode de dimensionnement d'une pompe solaire,
- Le domaine de recherche qui va nous offrir la possibilité de produire de l'énergie en respectant les normes environnementales.

Enfin nous avons présenté la fonction, les caractéristiques et le fonctionnement de la pompe diésel.

III : ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE

III.1 CONTRAINTES D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

III.1.1 Pompe solaire

III.1.1.1 Contraintes d'exploitation

La contrainte majeure est l'instabilité du débit de la pompe solaire de surface ; elle fonctionne au fil du soleil et le débit est fonction de l'ensoleillement qui est variable le long de la journée et au cours de l'année. Pour pallier à ce problème et réguler le débit d'irrigation, un réservoir en adobe a été construit avec une capacité de 50 m³.

Le nettoyage des modules est nécessaire pour pallier à la réduction du rendement du générateur à cause de la poussière qui s'y dépose. Ce travail est fait par le gardien ou le responsable de l'installation.

Le démarrage et l'arrêt de la pompe se font par un simple jeu d'interrupteur.

III.1.1.2 Organisation de la maintenance

La maintenance des équipements photovoltaïques demande une équipe spécialisée. La formation d'un certain nombre de personnes au sein du groupement pour la maintenance ne peut être envisagée car le faible taux des pannes ne favorise pas l'assimilation des connaissances.

La maintenance sera donc assurée par **Bonergie SARL** avec une équipe composée de deux personnes :

- Un ouvrier-chauffeur
- Un technicien

Bonergie SARL procède à la maintenance de deux manières (en accord avec le propriétaire):

- Soit par contrat de garantie totale en main d'œuvre et pièces détachées s'élevant à 50 000 F CFA/an,
- Soit une visite par an assurant la main d'œuvre et le frais de déplacement qui s'élèvent à 25 000 F CFA. Le propriétaire prendra en charge les coûts des pièces détachées lors de l'intervention.

Compte tenu de la taille du périmètre, de l'installation et de la faible fréquence d'intervention sur les pompes solaires de surface (cas du Sénégal : une intervention/an).

III.1.1.3 Fiabilité

Bonergie SARL, créée en 2011 n'a pas un recul suffisant dans le temps. Sur place nos équipes techniques spécialisées assurent une installation parfaite. Les clients reçoivent ensuite une formation pour l'utilisation de leur installation solaire. Les dysfonctionnements seront immédiatement réparés et des contrats d'entretien garantissent la longévité de l'équipement.

III.1.2 Pompe Diésel

III.1.2.1 Contraintes d'exploitation

La pompe diésel n'exige pas de réservoir de stockage d'eau. Mais contrairement à la pompe solaire, elle demande trop d'entretiens.

L'entretien quotidien consiste à vérifier:

- Le niveau du gazole dans le réservoir,
- Le niveau et l'état du lubrifiant dans le carter du moteur et le carter d'huile de la pompe,
- Le filtre à air

La plupart des motopompes (y compris ce cas) exige un amorçage à chaque démarrage (un acte très contraignant).

Il y a aussi l'entretien périodique des filtres (filtre à air et filtre à essence ou gazole).

Le démarrage des motopompes demande un effort physique très important.

III.1.2.2 Organisation de la maintenance

La maintenance n'est pas assurée par un groupe spécialisé se déplaçant sur le terrain. Une pompe en panne exige le transport jusqu'au mécanicien pour être réparée.

III.1.2.3 Fiabilité

Les pompes thermiques sont d'une utilisation ancienne en Afrique. On sait que les moteurs thermiques demandent une excellente infrastructure d'entretien pour assurer un service convenable pratiquement dans les conditions de la région (en général en Afrique). Cette infrastructure manque généralement et la durée de vie des équipements, est souvent dérisoire faute d'entretien.

L'expérience des ONG en place s'occupant du domaine de pompage permet de prendre pour les pompes thermiques, une durée d'amortissement de 4 ans.

III.2 ASPECT ECONOMIQUE

Pour faire une comparaison valable, il faut déterminer, au préalable l'ensemble des biens et services directs et indirects associés à la solution étudiée c'est-à-dire qu'il faut inclure l'ensemble des composantes permettant le fonctionnement du système. La comparaison se fait dans un contexte précis (cas de Tambacounda) car la variété des situations en matière de coûts d'investissement et de fonctionnement suivant l'origine du produit et le cadre d'implantation de l'équipement ne permet une comparaison générale sérieuse.

L'étude économique s'effectue sur la base du coût d'investissement, de l'amortissement de l'investissement, du coût de fonctionnement, du coût du m³ pompe et des charges récurrentes par exploitant.

III.2.1 Le cout d'investissement

Le coût d'investissement prend en compte:

- Le coût de l'ouvrage
- Le coût des matériels d'exhaure : ensemble de pompage + générateur (pour le système photovoltaïque)
- Le coût du montage et du génie civil (éventuellement)
- Le coût des aménagements

III.2.1.1 Pompe solaire photovoltaïque

Les pompes de surface en général ne nécessitent pas d'ouvrage. Les matériels de pompage solaire photovoltaïque livrés par **Lorentz** dans le cadre du programme régional solaire s'avèrent trop chers et l'analyse économique faite dans ce cadre a montré que pour les paysans, le pompage solaire n'apporte aucun avantage en terme financier. Ainsi, il sera question pour cette étude de matériels de pompage beaucoup moins chers que ceux de **Lorentz**. Le coût des matériels d'exhaure intaillés par l'entreprise Bonergie s'élève alors à :

| | | |
|---|-----------------------------|-----------------|
| - | Générateur de 4100 WC | 2 200 000 F CFA |
| - | Pompe | 2 000 000 F CFA |
| - | Accessoires | 219 000 F CFA |
| - | Prestation de service | 662 850 F CFA |
| | | <hr/> |
| | TOTAL | 5 081 850 F CFA |

Le coût des aménagements se résume au bassin de stockage d'eau. Le bassin de stockage est fait en adobe (construction locale) pour servir de modèle pratique et moins coûteux à d'autres groupements villageois. Le coût de la main d'œuvre locale est estimé à 30 000 F CFA. Le bassin possède un revêtement intérieur en plastique dont le coût a été élevé à 270 000 F CFA. Le coût total du bassin de stockage s'élève donc à 300 000 F CFA.

III.2.1.2 Pompe Diésel

Pour la pompe à Diésel utilisée pour cette comparaison, le même ouvrage (puit) dont le coût s'élève à 200 000 F CFA est adopté. Le coût de la motopompe s'élève à 500 000 F CFA. Le socle et l'abri sont faits de manière traditionnelle ; le coût peut être estimé à 10 000 F CFA.

III.2.2 Amortissement de l'investissement

Chacun des coûts soulignés précédemment est caractérisé par une durée d'amortissement qui sera prise égale à la durée de vie du matériel considéré, facteur influent sur la compétitivité relative de deux systèmes (solaire et thermique).

L'ouvrage, le génie civil, le montage et les aménagements sont couramment amortis sur 20 ans. La durée de vie des équipements solaires examinés précédemment est estimée à :

- 7 ans pour l'électropompe
- 20 ans pour un générateur

Pour le pompage diésel, la durée de vie de la motopompe est estimée à 4 ans. L'abri fait de manière traditionnelle est renouvelé chaque année. Le calcul de l'amortissement est résumé dans les tableaux suivants :

Tableau III 1 Pompe solaire photovoltaïque

| | Investissement (FCFA) | Durée de vie (an) | Amortissement (FCFA) |
|------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|
| Générateur | 2 200 000 | 20 | 110 000 |
| Electropompe | 2 000 000 | 7 | 285 714 |
| Génie civil montage | 875 000 | 20 | 43 750 |
| Réservoir stockage | 300 000 | 20 | 15 000 |
| | | | |
| Amortissement total | | | 454 464 |

Tableau III 2-Pompage Diésel

| | Investissement (FCFA) | Durée de vie (an) | Amortissement (FCFA) |
|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|
| Ouvrage (puit) | 200 000 | 20 | 10000 |
| Motopompe | 500 000 | 4 | 125 000 |
| Socle traditionnelle | 10000 | 1 | 10 000 |
| Amortissement Total | | | 145 000 |

III.2.3 Cout de fonctionnement

Ce coût recouvre les postes suivants

- Frais d'intervention de l'équipe de maintenance
- Main d'œuvre

- Frais de déplacement
- Pièces détachées
- -main d'œuvre locale (gardien)
- Le coût du carburant et du lubrifiant avec leur transport éventuel pour la pompe diesel

III.2.3.1 Pompage solaire

La surveillance de l'installation est assurée par un membre du groupement. Le salaire mensuel du gardien (local) est estimé à 40 000 F CFA. Comme il a été expliqué précédemment, les frais d'intervention de l'équipe de la maintenance (main d'œuvre plus frais de déplacement) s'élèvent à 25 000 F CFA/an. Le coût des pièces détachées s'élève à 26 000 F CFA/an. Le coût de fonctionnement total s'élève à 91 000 F CFA/an.

III.2.3.2 Pompage Diesel

Le coût moyen annuel de l'entretien et pièces détachées de ce type de pompe est estimé à 60 000 F CFA

La consommation du carburant est de 2L/h (en raison de 655 F CFA/L). La pompe fonctionne 4h/j en régime normal. Pour avoir la production d'eau annuelle, elle fonctionnera 5h/j. Le coût du carburant s'élève donc à 2 390 750 FCFA/an.

III.2.4 Coût du mètre cube (m³) pompe

Ce coût est le rapport du coût total annuel (amortissement + coût de fonctionnement) sur le volume pompé par an. (Tableau III 3)

La production annuelle est de 13 230 m³ pour 245 jours d'irrigation.

Les résultats sont au tableau suivant :

Tableau III 3- Cout du m³

| | Pompe solaire | Pompe diésel |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Amortissement en FCFA | 454 464 | 145000 |
| Coût de fonctionnement FCFA/an | 91 000 | 2 390 750 |
| Coût total annuel FCFA | 545 464 | 2535750 |
| Production m³/an | 13500 | 13500 |
| Cout m³/an | 41 FCFA | 188 FCFA |

III.2.5 Charges récurrentes par exploitant

C'est le rapport du coût de fonctionnement par le nombre d'exploitants. Le groupement étant composé de 20 exploitants. Ainsi la charge récurrente (CR) est :

- pour le système solaire $CR = \frac{CF}{DUREE} \quad (V)$

$$CR = \frac{91\,000}{20}$$

CR=4550 FCFA

- Pour le système thermique: $CR = \frac{2\,390\,750}{20}$

CR=119537,5 FCFA

III.3 ANALYSE COMPARATIVE

Les besoins en eau des cultures maraichères calculés sont en moyenne de 50m³/ha/j. Les deux pompes avec lesquelles l'étude a été menée satisfont, chacune aux besoins de 3 ha pour une HMT de 30 m. Les conditions climatiques de la zone sont favorables à l'installation du système.

Sur le plan technique, le pompage diésel a l'avantage d'avoir un débit constant, indépendant du temps, contrairement au pompage photovoltaïque qui se fait au fil du soleil. Mais ce problème (du pompage solaire) trouve sa solution dans la construction du réservoir. Le rendement permet de connaître la performance du système mais ne peut servir de critère de comparaison. L'avantage technique du pompage solaire est beaucoup plus déterminant:^{xxi}

- Une fiabilité élevée permettant une durée de vie élevée et réduisant considérablement le nombre d'interventions à une fois par an contrairement au pompage diésel exigeant des entretiens quotidiens et dont l'insuffisante fiabilité occasionne des pannes fréquentes et par conséquent des pertes de récolte.
- Une facilité d'utilisation par rapport à la pompe diésel : un démarrage très simplifié (interrupteur) par rapport à la motopompe exigeant un amorçage et un effort physique important.
- Un entretien quotidien très simple par rapport aux entretiens quotidiens des pompes diésels en général.

Le système diésel exige aussi pour une grande autonomie, un réservoir pour le stockage du carburant contrairement au système solaire dont la source d'énergie existe sur place.

Pour la maintenance, la technicité est dans les deux cas en dehors de la portée des groupements villageois.

Il apparaît ainsi l'avantage technique du système solaire photovoltaïque par rapport au système diésel.

Sur le plan économique l'étude faite sur la pompe solaire photovoltaïque PS 4000 et la pompe à diésel KIPOR-KM186 donne les résultats au tableau III 5 suivant :

Tableau III 4 Investissement, cout du m³, charge récurrent par exploitation des deux systèmes

| | Pompe solaire photovoltaïque | Pompe Diésel |
|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Investissement | 5 375 000 FCFA | 701 000F CFA |
| Coût du m ³ Pompé | 41 F CFA | 188 F CFA |
| Charge récurrent par exploitant | 4550F CFA/an | 119537,5 FCFA/an |

L'investissement initial du système de pompage solaire photovoltaïque apparaît très élevé par rapport au système diésel (8 fois plus grand). Ainsi l'investissement du système solaire ne peut donc pas être pris entièrement en charge par le groupement villageois.

Par contre le coût du m³ pompé et le coût de fonctionnement par exploitant montre l'avantage économique du pompage solaire photovoltaïque par rapport au système diésel pour une superficie d'environ un hectare.

L'analyse comparative conduit au tableau récapitulatif suivant :

Tableau III 5-Analyse comparative

| | Pompage photovoltaïque | Pompage diésel |
|------------------------------|--|--|
| Coût d'investissement | élevé | moyen |
| fonctionnement | faible | très élevé |
| Coût du m ³ pompé | inférieur à celui du thermique pour une superficie allant à 3 ha | inférieur à celui du solaire pour une superficie au-delà de 3 ha |
| Charges récurrentes | faibles | moyen |

| | | |
|--------------------------|--------|-------------|
| Astreinte de l'entretien | faible | très élevée |
| fiabilité | élevée | faible |
| Durée de vie | élevée | faible |
| Besoin de stockage | oui | |

De cette comparaison, il ressort pour le système solaire photovoltaïque les avantages techniques suivants :

- Facilité d'utilisation et d'exploitation,
- Fiabilité élevée,

Par rapport au système diesel qui n'a comme avantage technique que la stabilité et l'indépendance du débit par rapport au temps, un avantage négligeable avec la présence du réservoir de stockage d'eau. Aussi les conditions climatiques sont favorables au système solaire.

Mais dans l'étude économique, il n'a pas été pris en compte les pertes de récoltes résultant des pannes fréquentes occasionnées par une fiabilité insuffisante du système diesel. Une intégration des coûts dus à ces pertes (difficilement quantifiable) favoriserait davantage le système photovoltaïque.

CONCLUSION

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergie, des recherches sont conduites sur l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut honorer la demande est l'énergie solaire photovoltaïque, c'est une énergie propre, silencieuse, disponible et gratuite. Cela explique pourquoi son utilisation connaît une croissance significative dans le monde.

Ce mémoire a porté sur **l'étude comparative d'un système de pompage solaire et un système de pompage diésel**. Ces systèmes se présentent comme une solution idéale pour l'alimentation de l'eau pour les régions peu peuplées, isolées et enclavées. Pour améliorer les performances d'un système de pompage photovoltaïque, on est amené à améliorer les performances de chaque élément de ce système. Pour le système pompage diésel, nous avons défini la fonction, les caractéristiques et le fonctionnement de la pompe.

Dans l'étude de cas, le projet à étudier consiste à dimensionner un système de pompage immergé pour un besoin d'eau avec une hauteur manométrique totale. Nous avons utilisé le logiciel COMPASS pour la planification d'une pompe solaire il permet de concevoir et de spécifier le système de pompe solaire en fonction de besoins de localisation des clients, projet et de pompage d'eau. Enfin nous avons étudié l'analyse technico-économique dont nous avons présenté les contraintes d'exploitation et l'aspect économique des deux systèmes.

BIBLIOGRAPHI ET WEBOGRAPHIE

- ⁱ www.ands.sn (consulté 10/12/2019)
- ⁱⁱ [https://fr.wikipedia.org/fr.wikipedia.org/wiki/Agriculture_au_Sénégal](https://fr.wikipedia.org/fr.wikipedia.org/wiki/Agriculture_au_S%C3%A9n%C3%A9gal)
- ⁱⁱⁱ www.ands.sn (consulté 10/12/2019)
- ^{iv} www.au-sénégal.com, le climat : Le soleil garanti toute l'année au Sénégal
- ^v www.bonergie.sn (consulté 14/11/2019)
- ^{vi} M Djarallah : Contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couplés au réseau électrique. Batna, 2008.
- ^{vii} B Hamdaoui et I Bourdji : Étude d'un système de pompage photovoltaïque au fil soleil. Mémoire de D.E.A., Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen, 2016.
- ^{viii} A Morsli : Étude d'un système solaire photovoltaïque, utilisant des super condensateurs. Européennes, 2012.
- ^{ix} B Hamdaoui et I Bourdji : Étude d'un système de pompage photovoltaïque au fil soleil. Mémoire de D.E.A., Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen, 2016.
- ^x C Mati : Simulation et commande optimale d'un système de pompage d'énergie dans un système photovoltaïque. Mémoire de D.E.A., Ferhat Abbas-Setif, 2012.
- ^{xi} Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque | Download ...researchgate.net
- ^{xii} gestedesavoir.com (consulté 12/12/2019)
- ^{xiii} gestedesavoir.com (consulté 12/12/2019)
- ^{xiv} gestedesavoir.com (consulté 12/12/2019)
- ^{xv} lorenz.de (consulté 12/12/2019)
- ^{xvi} lorenz.de (consulté 12/12/2019)
- ^{xvii} lorenz.de (consulté 12/12/2019)
- ^{xviii} Dspace.univ-tlemcen.dz (consulté 22/12/2019)
- ^{xix} Dspace.univ-tlemcen.dz (consulté 22/12/2019)
- ^{xx} Google Map (consulté 20/12/2019)
- ^{xxi} Seoussou Djimet Ramdou : Comparaison technico-économique entre pompage solaire photovoltaïque et pompage thermique maraichage, mémoire E.I.E.R, 1992/1993