



UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Département de physique

**Mention** : Physique et Applications

**Mémoire de MASTER**

**Spécialité** : Energies Renouvelables et Efficacité Energétique

**Option** : Energie Solaire et Bioénergie

Intitulé du mémoire :

**Etude de la rentabilité du projet d'autonomisation énergétique des édifices publics : cas des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel**

Présenté et soutenu publiquement par : **Peinda FALL**

Le 27/07/2024 devant la commission d'examen composée de :

| Nom et Prénom         | Grade                | Qualité             | Etablissement |
|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| NDIAYE Lat Grand      | Professeur Titulaire | Président           | UASZ          |
| SY Mouhamadou         | Maître Assistant     | Rapporteur          | UASZ          |
| TINE Modou            | Assistant            | Examineur           | UASZ          |
| NDIOUKANE Rémi        | Docteur/Invité       | Examineur           | UASZ          |
| KOBOR Diouma          | Professeur titulaire | Directeur           | UASZ          |
| BA NDIAYE Khadidiatou | Ingénieure           | Directrice de stage | ANER          |

## *Dédicaces*

Au plus profond de mon cœur, je dédie ce modeste travail :

- ♥ *A ma chère et brave mère, Soda DIAKHATE, ma source d'inspiration et ma conseillère, celle qui m'a soutenue tout le temps dans toutes les épreuves de ma vie;*
- ♥ *A Khady GUENE, à mes frères, mes sœurs, mes belles-sœurs et leurs enfants;*
- ♥ *A mon père Mamour FALL pour ses prières, Alioune FALL, Modou NDIAYE FALL, mon oncle Moustapha FALL, Pape Malick SECK, Abdou FALL et Saliou FALL pour leurs soutiens;*
- ♥ *A Sadio FALL, Cheikh FALL et Modou Bousso DIOP;*
- ♥ *A Mouhamadou MBENGUE, Ndeye Maty DIOP, Mame Basse FALL et Ndeye Diarra COLY pour leurs soutiens;*
- ♥ *A mes amis d'enfance, les amis que j'ai eus à rencontrer à l'Université.*

Qu'ALLAH le Tout-Puissant veille sur vous et vous accorde une longue vie.

## Remerciements

**Alhamdoulillah**, tout d'abord, je rends grâce au bon Dieu de m'avoir donnée la force, le courage et la santé pour la réalisation de ce mémoire. Mes vifs remerciements vont à l'endroit de mes parents, mes sœurs, mes frères, bref toute ma famille pour leur soutien et leur encouragement ainsi qu'à tous ceux de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail. J'adresse ma gratitude à la famille **MBENGUE** de **Ziguinchor** particulièrement à **M. Modou MBENGUE** qui m'a accueillie durant tout mon cursus universitaire. Je remercie également la famille **DIOP** de **Patte D'Oie** à travers **Mme Ndeye Maty DIOP** qui m'a accueillie durant mon stage.

Je tenais à remercier l'équipe pédagogique de **l'UFR ST** plus particulièrement le Département de Physique qui m'a donnée l'occasion d'intégrer le Master Interuniversitaire en Energies Renouvelables (**MIER**) notamment le responsable du master **M. Lat Grand NDIAYE** ainsi que tout le corps professoral. Un grand merci au **Pr Lat Grand NDIAYE** de m'avoir trouvée ce stage et **M. Sidatte FALL** de m'avoir acceptée comme stagiaire dans sa direction. Mes sincères remerciements au **Pr Diouma KOBOR** d'avoir accepté de m'encadrer et ma maitresse de stage **Mme BA Khadidiatou Alioune NDIAYE** qui m'a facilité ce stage et n'a ménagé aucun effort pour la réussite de ce présent rapport. Je remercie mes camarades de promotion avec qui nous avons enduré les épreuves ensemble en leur disant que le chemin a été long, mais on y est arrivé.

Je remercie vivement les membres du jury qui ont l'amabilité de porter une appréciation sur ce travail et de participer au jury de soutenance tel que **M. Lat Grand NDIAYE** en sa qualité de président du jury, **M. Modou TINE** d'avoir examiné le document, **M. Mamadou SY** de rapporter ce travail et **M. Remi NDIUKANE** docteur invité malgré leur emploi du temps chargé.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à l'endroit de l'ensemble des agents de l'Agence Nationale pour les Energies Renouvelables (**ANER**) avec à sa tête **M. Tamsir NDIAYE**, et particulièrement aux agents de la Direction des Etudes et de la Planification (**DEP**) et de la Direction des Projets et des Programmes (**DPP**) qui m'ont aidée et encouragée pour l'accomplissement de ce travail. Grâce à eux, je garderai un très bon souvenir de ce stage. Je remercie également **M. Ahmeth NDIAYE**, **M. Sidy Bouya NDIAYE**, **M. Abou WADE**, **M. Chamsdine SOW**, **M. Mouhamadou Moustapha MBOUP**, **M. Lamp NDIME**, **M. Ibrahima NDIAYE**, **M. Serigne Fallou DIOUF**, **Mme Fatou Alboury NDIAYE**, **Mme Khoudia SECK**, **Mme Binta DIALLO**, **Mme Dado BOCOUM**, ... pour leurs soutiens.

Je ne saurai terminer sans pour autant remercier l'amical des étudiants ressortissants de Tivaouane dont le président en exercice est **M. Habib SY NDIAYE** ainsi que tous les membres.

## Résumé

Le Sénégal, comme tout autre pays de l'Afrique de l'Ouest, devrait diminuer sa dépendance aux énergies fossiles et les émissions de gaz à effet de serre liées au secteur de l'énergie pour la protection de son environnement. C'est la raison pour laquelle la commission de l'UEMOA a initié le Programme de Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique (PRODERE) au sein de son espace sur une période de 5 ans allant de 2013 à 2017. Ce programme a permis au Sénégal d'installer des kits solaires photovoltaïques dans les postes de garde (douanes, polices, gendarmeries ...), les postes de santé et les écoles en milieu rural, des minicentrales solaires dans les hôpitaux régionaux.

Cette étude porte sur l'analyse économique et financière des minicentrales solaires PV sans stockage de 175 kWc et 125 kWc installées respectivement dans les hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel par l'Agence Nationale pour les Energies Renouvelables (ANER) dans le cadre de la phase II du PRODERE. Elle s'inscrit aussi dans la réduction des factures d'électricité des hôpitaux publics.

Le travail réalisé consiste à étudier la rentabilité du projet d'autonomisation énergétique des édifices publics tels que les structures sanitaires d'Amadou Sakhir NDIEGUENE de Thiès et d'Heinrich LUBKE de Diourbel.

Ainsi, les résultats de notre étude nous montrent une diminution des factures d'électricité de la SENELEC pour les hôpitaux. Le taux de couverture des minicentrales et les économies qu'ils vont réaliser avec les minicentrales solaires seront détaillés dans mon rapport.

**Mots clés :** Rentabilité, Autonomisation énergétique, Changements climatiques, Factures d'électricités, Gaz à effet de serre.

## **Abstract**

Senegal, like any other country in West Africa, should reduce its dependence on fossil fuels and greenhouse gas emissions linked to the energy sector for the protection of its environment. This is the reason why the UEMOA commission initiated the Renewable Energy and Energy Efficiency Development Program (PRODERE) within its space over a period of 5 years from 2013 to 2017. This program has enabled Senegal to install photovoltaic solar kits in guard posts (customs, police, gendarmerie, etc.), health posts and schools in rural areas, and mini solar power plants in regional hospitals.

This study focuses on the economic and financial analysis of mini PV solar power plants without storage of 175 kWp and 125 kWp installed respectively in the regional hospitals of Thies and Diourbel by the National Agency for Renewable Energy (ANER) as part of phase II of PRODERE. It is also part of the reduction in electricity bills for public hospitals.

The work carried out consists of studying the profitability of the energy empowerment project for public buildings including the health structures of Amadou Sakhir NDIEGUENE from Thies and Heinrich LUBKE from Diourbel.

Thus, the results of our study show us a reduction in SENELEC electricity bills for hospitals. The coverage rate of mini power plants and the savings they will make with mini solar power plants will expose in my manuscript.

**Keywords:** Profitability, energy empowerment, climate change, electricity bills, greenhouse gases,

## SIGLES ET ABREVIATIONS

|                 |  |
|-----------------|--|
| AIE             | Agence Internationale de l'Énergie   |
| ANER            | Agence Nationale pour les Énergies Renouvelables                                     |
| CEDEAO          | Communauté Economique Des États de l'Afrique de l'Ouest                              |
| CO <sub>2</sub> | Dioxyde de Carbone   |
| CRSE            | Commission de Régulation du Secteur de l'Électricité                                 |
| EnR             | Énergies Renouvelables   |
| GES             | Gaz à Effet de Serre   |
| GIEC            | Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat                       |
| ITIE            | Initiative pour la Transparence dans les Industries Extractives                      |
| kWc             | Kilowatt crête   |
| kWh             | Kilowatt heure   |
| LPDSE           | Lettre de Politique de Développement du Secteur de l'Énergie                         |
| ODD             | Objectif de Développement Durable  |
| PANER           | Plan d'Action National pour les Énergies Renouvelables                               |
| PERC            | Politique d'Énergie Renouvelable de la CEDEAO  |
| PRODERE         | Programme de Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique |
| PSE             | Plan Sénégal Emergent  |
| PV              | Photovoltaïque   |
| SENELEC         | Société Nationale d'Électricité  |
| ST              | Sciences et Technologies   |
| TRI             | Temps de Retour sur Investissement   |
| UFR             | Unité de Formation et de Recherche   |
| UEMOA           | Union Economique et Monétaire Ouest Africaine  |

## Table des matières

|   |            |
|---|------------|
| <i>Dédicaces</i> .....  | <i>i</i>   |
| <i>Remerciements</i> .....  | <i>ii</i>  |
| <i>Résumé</i> .....   | <i>iv</i>  |
| <i>Abstract</i> .....   | <i>v</i>   |
| <b>SIGLES ET ABREVIATIONS</b> .....   | <i>vi</i>  |
| <i>Table des matières</i> .....   | <i>vii</i> |
| <i>Listes des figures</i> .....   | <i>ix</i>  |
| <i>Listes des tableaux</i> .....  | <i>ix</i>  |
| <b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....  | <i>1</i>   |
| <b>I. CONTEXTE, ENJEUX ET JUSTIFICATION DU PROJET</b> .....   | <b>4</b>   |
| <i>I.1. Contexte du projet</i> .....  | <i>4</i>   |
| <i>I.2. Enjeux du projet</i> .....  | <i>5</i>   |
| <i>I.3. Justification du projet</i> .....   | <i>5</i>   |
| <b>II. OBJECTIFS ET RESULTATS ATTENDUS</b> .....  | <b>6</b>   |
| <i>II.1. Objectif principal</i> .....   | <i>6</i>   |
| <i>II.2. Objectifs spécifiques</i> .....  | <i>6</i>   |
| <i>II.3. Les résultats attendus</i> .....   | <i>6</i>   |
| <b>III. PRESENTATION DES STRUCTURES D'ACCUEIL</b> .....   | <b>6</b>   |
| <i>III.1. Présentation de l'ANER</i> .....  | <i>7</i>   |
| III.1.1. Historique de l'ANER.....  | <i>7</i>   |
| III.1.2. Missions de l'ANER.....  | <i>7</i>   |
| III.1.3. Quelques réalisations de l'ANER.....   | <i>8</i>   |
| III.1.4. Organigramme de l'ANER.....  | <i>9</i>   |
| <i>III.2. Présentation des hôpitaux</i> .....   | <i>9</i>   |
| III.2.1. Présentation de l'hôpital de Thiès.....  | <i>9</i>   |
| III.2.2. Présentation de l'hôpital de Diourbel.....   | <i>11</i>  |
| <b>IV. COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES</b> .....  | <b>11</b>  |
| <i>IV.1. Approche méthodologique du projet</i> .....  | <i>12</i>  |
| <i>IV.2. Les acquisitions d'équipements énergétiques après l'installation des minicentrales solaires PV</i> ..... | <i>12</i>  |
| IV.2.1. La production énergétique des centrales.....  | <i>12</i>  |

|   |      |
|---|------|
| IV.2.2. Calcul du taux de couverture énergétique des centrales.....   | 14   |
| IV.3. Analyse directe des données et informations.....  | 15   |
| IV.3.1. Analyse de l'évolution des charges.....   | 16   |
| IV.3.2. Description technique des minicentrales solaires PV.....  | 16   |
| V. ANALYSE FINANCIERE.....  | 21   |
| V.1. Étude de la facturation.....   | 21   |
| V.1.1. Mode de facturation de la SENELEC.....   | 21   |
| V.2. Etude des factures des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel avant et après l'installation des minicentrales solaires PV.....                       | 26   |
| V.2.1. Analyse de la consommation énergétique des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel avant et après l'installation de la minicentrale.....            | 27   |
| V.3.1. Les coûts évités (économie financière).....  | 30   |
| V.3.2. Le temps de retour sur investissement (TRI).....   | 32   |
| V.4. Etude environnementale.....  | 33   |
| VI. RECOMMANDATIONS.....  | 34   |
| VI.1. Pour l'ANER.....  | 34   |
| VI.2. Pour les hôpitaux régionaux.....  | 34   |
| VI.2.1. Thiès.....  | 34   |
| VI.2.2. Diourbel.....   | 35   |
| CONCLUSION GENERALE.....  | 36   |
| BIBLIOGRAPHIE.....  | 38   |
| ANNEXES.....  | 41   |
| Annexe 1 : La carte d'irradiation du Sénégal.....   | I    |
| Annexe 2 : Le questionnaire qu'on a soumis aux hôpitaux.....  | I    |
| Annexe 3 : Estimation de la production énergétique des minicentrales solaires.....  | V    |
| I. La production de la minicentrale solaire de Thiès de capacité 175 kWc.....   | V    |
| III. La production énergétique de la minicentrale solaire de Diourbel de capacité 125 kWc..   | V    |
| Annexe 4 : Simulateur de calcul des factures d'électricités de l'hôpital de Thiès pour le mois d'Avril 2018 : Calcul des factures reconstituées avec k1'..... | VI   |
| Annexe 5 : Estimation des coûts évités des hôpitaux.....  | VIII |
| I. Les coûts évités de l'hôpital de Thiès un an après l'installation de la minicentrale.....  | VIII |
| II. Les coûts évités de l'hôpital de Diourbel un an après l'installation de la minicentrale.....  | VIII |
| Annexe 6 : Les conditions météorologiques de Thiès et de Diourbel en 2019.....  | IX   |

## Listes des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1</b> : Organigramme de l'ANER (Source rapport d'élaboration du Plan stratégique 2019 – 2023 de l'ANER au Sénégal).....   | 9  |
| <b>Figure 2</b> : Photo du centre hospitalier régional El Hadj Ahmadou Sakhir NDIEGUENE [9].....  | 10 |
| <b>Figure 3</b> : Organigramme de l'hôpital de Thiès [9].....   | 10 |
| <b>Figure 4</b> : Photo du centre hospitalier régional Heinrich LUBKE de Diourbel (Source: <a href="https://www.senepius.com/sante/hopital-assistance-international-soigne-heinrich-lubke">https://www.senepius.com/sante/hopital-assistance-international-soigne-heinrich-lubke</a> )..... | 11 |
| <b>Figure 5</b> : Méthodologie de travail .....   | 12 |
| <b>Figure 6</b> : Les courbes montrent les productions énergétiques mensuelles des centrales de Thiès (courbe noire) et de Diourbel (courbe rouge) sur 12 mois à partir d'avril 2018 .....  | 14 |
| <b>Figure 7</b> : Synoptique de la minicentrale de Thiès (Source mémoire d'Abou WADE ANER).....   | 17 |
| <b>Figure 8</b> : Photo de la minicentrale solaire de l'hôpital de Thiès .....  | 18 |
| <b>Figure 9</b> : Synoptique de la minicentrale de Diourbel (Source mémoire d'Abou WADE ANER) .....   | 19 |
| <b>Figure 10</b> : Photo de la minicentrale solaire de l'hôpital de Diourbel .....  | 19 |
| <b>Figure 11</b> : Photo de l'Onduleur SMA triphasé (a) système de protection DC (b).....   | 20 |
| <b>Figure 12</b> : Photo du coffret de raccordement électrique.....   | 21 |
| <b>Figure 13</b> : Consommation énergétique en heure creuse de l'hôpital de Thiès avant et après l'installation ainsi qu'en 2021 et 2022 .....  | 28 |
| <b>Figure 14</b> : Consommation énergétique en heure creuse de l'hôpital de Diourbel avant et après la minicentrale ainsi qu'en 2021 et 2022 .....  | 28 |
| <b>Figure 15</b> Puissance souscrite et relevée de l'hôpital de Thiès .....   | 29 |
| <b>Figure 16</b> : Puissance souscrite et relevée de l'hôpital de Diourbel.....   | 30 |
| <b>Figure 17</b> : Les courbes de gauche et de droite montrent respectivement les coûts mensuels évités des hôpitaux de Thiès et de Diourbel.....   | 32 |

## Listes des tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 1</b> : Production énergétique des centrales .....  | 13 |
| <b>Tableau 2</b> : Taux de couverture des minicentrales en 2019 .....  | 14 |
| <b>Tableau 3</b> : Taux de couverture trois à quatre ans après l'installation des minicentrales solaires   | 15 |
| <b>Tableau 4</b> : Les différents types d'usagers et leur puissance souscrite (cour tarification de l'électricité au Sénégal de M Daouda GASSAMA)..... | 22 |
| <b>Tableau 5</b> : Grille tarifaire du 1er Mai 2017 de la SENELEC ( cour tarification de l'électricité au Sénégal de M Daouda GASSAMA).....            | 23 |
| <b>Tableau 6</b> : Application cos phi .....   | 26 |
| <b>Tableau 7</b> : Les coûts évités par mois des hôpitaux de Thiès et de Diourbel .....  | 31 |
| <b>Tableau 8</b> : Les coûts annuels évités (FCFA) des hôpitaux de Thiès et de Diourbel.....   | 32 |
| <b>Tableau 9</b> : Les résultats des TRI des hôpitaux régionaux de Thiès et Diourbel.....  | 33 |
| <b>Tableau 10</b> : Les émissions de carbone évitées (Kg) par les minicentrales solaires de Thiès et de Diourbel par an.....                           | 34 |

# *INTRODUCTION GENERALE*

La demande énergétique mondiale éprouve une hausse importante, soutenue par la croissance rapide de la population et la modernisation. Dès lors il devient difficile de satisfaire tous les besoins, même en multipliant les centrales de production. Cependant, l'essentiel de cette énergie étant d'origine fossile et donc polluante induit d'une part une raréfaction de nos ressources et d'autre part un rejet massif de gaz à effet de serre dans l'atmosphère qui est l'un des principaux facteurs du réchauffement climatique. Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est le plus important GES présent dans l'atmosphère. Il provient principalement de la combustion des ressources fossiles. Au Sénégal, le secteur de l'énergie est responsable de plus de deux tiers des émissions de gaz à effet de serre due à l'accroissement de la demande et ces dernières sont responsables des changements climatiques qui préoccupent l'humanité [1]. Depuis 1962, le Sénégal s'est engagé dans le développement des énergies renouvelables, bénéficiant ainsi d'un riche passé dans presque toutes les filières des énergies renouvelables [2]. L'accès aux services énergétiques modernes nécessite la mise en place de politiques qui patronnent des investissements susceptibles de dynamiser le secteur de l'énergie. Ces investissements peuvent tirer profit aux autres sources d'énergie (le solaire, l'éolienne...) pouvant soutenir l'accès d'une bonne frange de la population à l'électricité. La CEDEAO dans sa politique d'énergies renouvelables (PERC) fixe des objectifs principaux qui sont d'augmenter la part des EnR dans la production d'électricité de l'ensemble de la région à 19 % d'ici 2030 (rapport CEDEAO 2016). Pour bien mener sa politique d'énergies renouvelables, tous les états membres de la CEDEAO ont élaboré, en octobre 2012, le Plan d'Action Nationale pour les Energies Renouvelables (PANER) afin de répondre aux besoins de leurs populations.

Selon l'ITIE, le Sénégal a l'intention de réduire ses émissions de GES d'au moins 23 % d'ici 2030. Le jeudi 22 juin 2023 à Paris, le Sénégal a bénéficié de 2,5 milliards d'euros pour une transition énergétique afin de réduire sa dépendance aux énergies fossiles [3]. En 2025, selon l'AIE, les énergies renouvelables seront la principale source d'électricité dans le monde, ils devraient représenter un tiers de la production d'électricité.

Le développement du secteur de l'énergie électrique est le socle de toute stratégie de développement dans nos pays. L'accès à l'énergie électrique et la sécurité énergétique sont donc des défis majeurs à relever pour aller au développement socio-économique. En effet, au Sénégal, les édifices publics ont des factures d'électricités très onéreuses du fait de l'utilisation d'énormes appareils énergivores surtout en milieu urbain.

Conscient de cela, le Sénégal a mis l'accent sur l'exploitation de son important potentiel en énergies renouvelables, notamment le solaire photovoltaïque pour faire face à sa forte et perpétuelle demande dans le long terme.

C'est ce qui a l'origine de la création de l'Agence Nationale pour les Energies Renouvelables (ANER) dont la mission principale est de faire la promotion des énergies renouvelables, y compris la bioénergie, dans tous les secteurs d'activités. Au cours des prochaines années, on s'attend à ce que toutes les sources d'énergies renouvelables agrandissent abondamment leur capacité.

C'est dans ce contexte que l'ANER, dans le cadre de la phase II du PRODERE, a initié le projet d'autonomisation énergétique des édifices publics dont la phase pilote est l'installation de quatre minicentrales solaires photovoltaïques sans stockage au niveau des hôpitaux régionaux de Thiès, Tambacounda, Ndioum et Diourbel et une centrale avec stockage dans la gouvernance de Ziguinchor, démontrant une volonté de réduire leur facture.

Durant tout le travail, on cherche à savoir si le projet d'autonomisation énergétique des édifices publics est rentable ou non en y insérant le coût d'investissement et le temps de retour sur investissement pour les hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel.

Pour bien appréhender le sujet, ce travail de mémoire s'articule autour de quelques points spécifiques à l'étude en plus de l'introduction générale et de la conclusion générale. Des recommandations seront faites à l'endroit de l'ANER et des hôpitaux régionaux et enfin une bibliographie et des annexes.

## **I. CONTEXTE, ENJEUX ET JUSTIFICATION DU PROJET**

### **I.1. Contexte du projet**

Le secteur énergétique étant mondialement le plus important émetteur de GES, plusieurs pays ont mis l'accent sur la priorité donnée à l'utilisation des énergies renouvelables. Selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), les activités humaines, notamment l'utilisation des énergies fossiles, ont conduit à une hausse exceptionnelle de la concentration des GES dans l'atmosphère qui transforme le climat à un rythme sans précédent. Cependant, l'état du Sénégal, dans le secteur de l'énergie, doit faire face à des défis majeurs :

- Lutte contre les changements climatiques dus à l'émission de GES ;
- La promotion de l'utilisation des énergies renouvelables à la place des énergies fossiles;
- L'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques interconnectés ;
- L'autonomisation en électricité des structures administratives, surtout les hôpitaux ;
- La diminution des factures d'électricité et l'impact des coupures intempestives de la SENELEC ;
- La réduction des dettes très élevées des services de santé au niveau de la SENELEC à cause de l'accumulation des arriérés de paiement des factures d'électricité...

Au Sénégal, l'électricité est produite à 80 % à partir de produits pétroliers importés (fuel lourd, charbon, gaz), ce qui rend le pays particulièrement vulnérable aux chocs pétroliers [4]. En 2021, la SENELEC a produit 1801 GWh de la production totale estimée à 5167,47 GWh alors qu'en 2022 elle a produit 1655,50 GWh sur 5908,32 GWh soit 28,02 % et le reste a été fourni par les achats d'énergies qui s'élèvent à 4252,82 GWh [5]. La réduction des coûts de production et la diversification des sources d'approvisionnement sont une priorité nationale. C'est ainsi qu'il est envisagé de porter le taux d'utilisation des énergies renouvelables hors hydroélectricité dans le système électrique au moins 18% en 2023 [6]. En vue d'atteindre l'objectif d'amélioration de la souveraineté énergétique du pays et d'assurer l'accès universel, l'état du Sénégal maintiendra son option de promouvoir l'exploitation du potentiel national en énergies renouvelables plus particulièrement le solaire. L'accès à l'électricité est devenu une priorité nationale et les hôpitaux sont les premiers échelons du système d'autonomisation en énergie au Sénégal. C'est ainsi que l'ANER dans sa mission de promouvoir

le développement des énergies renouvelables avec l'appui du PRODERE a initié le projet d'autonomisation énergétique des édifices publics.

## **I.2. Enjeux du projet**

Le développement des énergies renouvelables vise à doter le Sénégal des services énergétiques modernes susceptibles de hisser l'économie du pays à des niveaux de développement acceptables. Dans ce pays d'Afrique de l'Ouest, l'enjeu est de disposer de l'énergie en quantité suffisante, en qualité et à un coût abordable tout en assurant un accès universel aux services énergétiques modernes. Particulièrement, l'ambition de notre pays est de mettre en place des infrastructures énergétiques permettant d'atteindre la croissance énergétique envisagée dans le PSE avec un accès universel à tous à l'électricité en 2025 et la diminution des coûts de production d'électricité grâce à la politique de mix énergétique [7]. Le projet est en cohérence avec les orientations définies par la LPDSE 2019-2023 qui projette 40% des EnR dans le mix énergétique d'ici 2035 [8]. Ainsi, il vise à alléger significativement les factures énergétiques exorbitantes des hôpitaux qui peinent à les payer. Ce projet permet aussi de réduire leurs empreintes carbone tout en contribuant à la transition énergétique et diminuer leurs consommations de la SENELEC à travers le solaire PV.

## **I.3. Justification du projet**

L'énergie solaire est l'énergie la plus répandue dans le monde et le Sénégal n'en manque pas. Pour devenir une nation prospère qui subvient à ses besoins énergétiques, le Sénégal justifie la pertinence des différents projets solaires avec 3000 heures d'ensoleillement par an et 5,7kWh/m<sup>2</sup>/j (voir annexe 1). Les énergies renouvelables sont inépuisables et non émettrices de gaz à effet de serre. Elles devront jouer un rôle important dans le mix énergétique mondial pour atteindre les objectifs de la lutte contre le réchauffement climatique. Ainsi, l'ANER, depuis sa création, fait la promotion des énergies renouvelables pour approvisionner de l'électricité à tous et de bonne qualité. Au Sénégal, les édifices publics, notamment les structures sanitaires, rencontrent d'énormes difficultés pour s'acquitter de leurs factures d'électricité qui peuvent se répercuter sur leurs fonctionnements surtout en milieu urbain. La SENELEC détentrice du monopole de vente, de transport et de distribution de l'électricité au Sénégal ne peut pas satisfaire toutes les demandes. Ainsi, il est primordial d'installer des centrales solaires photovoltaïques pour un équilibrage de l'offre par rapport à la demande.

C'est ce qui justifie le choix du sujet pour apporter aux décideurs, aux investisseurs, aux partenaires de l'ANER, aux structures publiques des solutions pour atténuer cette situation.

## **II. OBJECTIFS ET RESULTATS ATTENDUS**

### **II.1. Objectif principal**

L'objectif principal pour ce projet est de réduire le coût des factures d'électricité, avec un temps de retour sur investissement de 4 à 5 ans, des édifices publics comme les hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel avec du solaire photovoltaïque.

### **II.2. Objectifs spécifiques**

Pour atteindre l'objectif principal, il nous faut franchir quelques étapes spécifiques à l'étude :

- ✓ Analyser les besoins énergétiques des hôpitaux en heures hors pointe ;
- ✓ Faire un bilan énergétique des hôpitaux ;
- ✓ Étudier les factures d'électricité des hôpitaux ;
- ✓ Évaluer l'autonomie des structures sanitaires de Thiès et de Diourbel ;
- ✓ Étudier l'impact du projet sur l'environnement;
- ✓ Étudier la rentabilité du projet d'autonomisation des minicentrales solaires PV sans stockage au niveau des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel.

### **II.3. Les résultats attendus**

Au terme de cette étude, on doit s'attendre à des résultats concrets pour les objectifs ainsi définis :

- La réduction des factures d'électricité des hôpitaux régionaux ;
- La rentabilité du projet d'installation des minicentrales solaires PV sans stockage pour les hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel ;
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre notamment le CO<sub>2</sub> pour participer à la transition énergétique lancée par le gouvernement sénégalais;

## **III. PRESENTATION DES STRUCTURES D'ACCUEIL**

Pour bien dérouler cette étude, il est préférable de faire la présentation des structures qui nous ont ouvert leurs portes pour un stage (ANER) et des entretiens (hôpitaux régionaux).

### **III.1. Présentation de l'ANER**

#### **III.1.1. Historique de l'ANER**

L'Agence Nationale pour les Énergies Renouvelables (ANER) est une agence gouvernementale placée sous la tutelle du Ministre de l'Énergie et du Pétrole. Elle a été créée par décret n° 2013-684 du 17 Mai 2013, une agence dénommée « Agence Nationale pour les Énergies Renouvelables (ANER) », personne morale de droit public, dotée d'autonomie financière.

L'Agence est placée sous la tutelle technique du Ministre chargé de l'Energie et sous la tutelle financière du Ministre chargé des Finances.

#### **III.1.2. Missions de l'ANER**

Les missions de l'ANER sont définies à l'article 2 du décret n°2013-684 du 17 Mai 2013 portant sa création, son organisation et son fonctionnement.

##### **✓ Missions principales :**

- Promouvoir l'utilisation des énergies renouvelables, y compris la bioénergie, dans tous les secteurs d'activités ;
- Élaborer et exécuter des projets et programmes nationaux d'énergies renouvelables et d'assurer leur cohérence ;
- Élaborer et exécuter des programmes d'information, de sensibilisation, de communication, d'éducation et de formation sur l'intérêt technique, économique, social et environnemental des Énergies Renouvelables ;
- Développer la coopération bilatérale et multilatérale dans le domaine des énergies renouvelables.

##### **✓ Autres missions :**

- Contribuer à l'élaboration d'un cadre législatif et réglementaire attractif pour le développement des énergies renouvelables ;
- Vulgariser l'utilisation des équipements pour la production d'électricité d'origine renouvelable ;
- Réaliser des études prospectives et stratégiques pour le développement des énergies renouvelables;
- Contribuer à l'amélioration de la Recherche et Développement et encourager les inventions technologiques concernant les énergies renouvelables[9].

### **III.1.3. Quelques réalisations de l'ANER**

Dans sa mission de promouvoir le développement des énergies renouvelables dans tous les secteurs d'activités, l'ANER a mis en place, depuis sa création en 2013 des projets et programmes dans ce domaine:

#### **➤ Ceux qui sont en cours**

- Projet d'installation de 103.000 lampadaires solaires ;
- Projet d'Electrification par voie Solaire d'Infrastructures Publiques et Communautaires (ESIPC);
- Projet de Valorisation Energétique des Résidus Organiques dans les Universités du Sénégal (VEROUS);
- Etc.

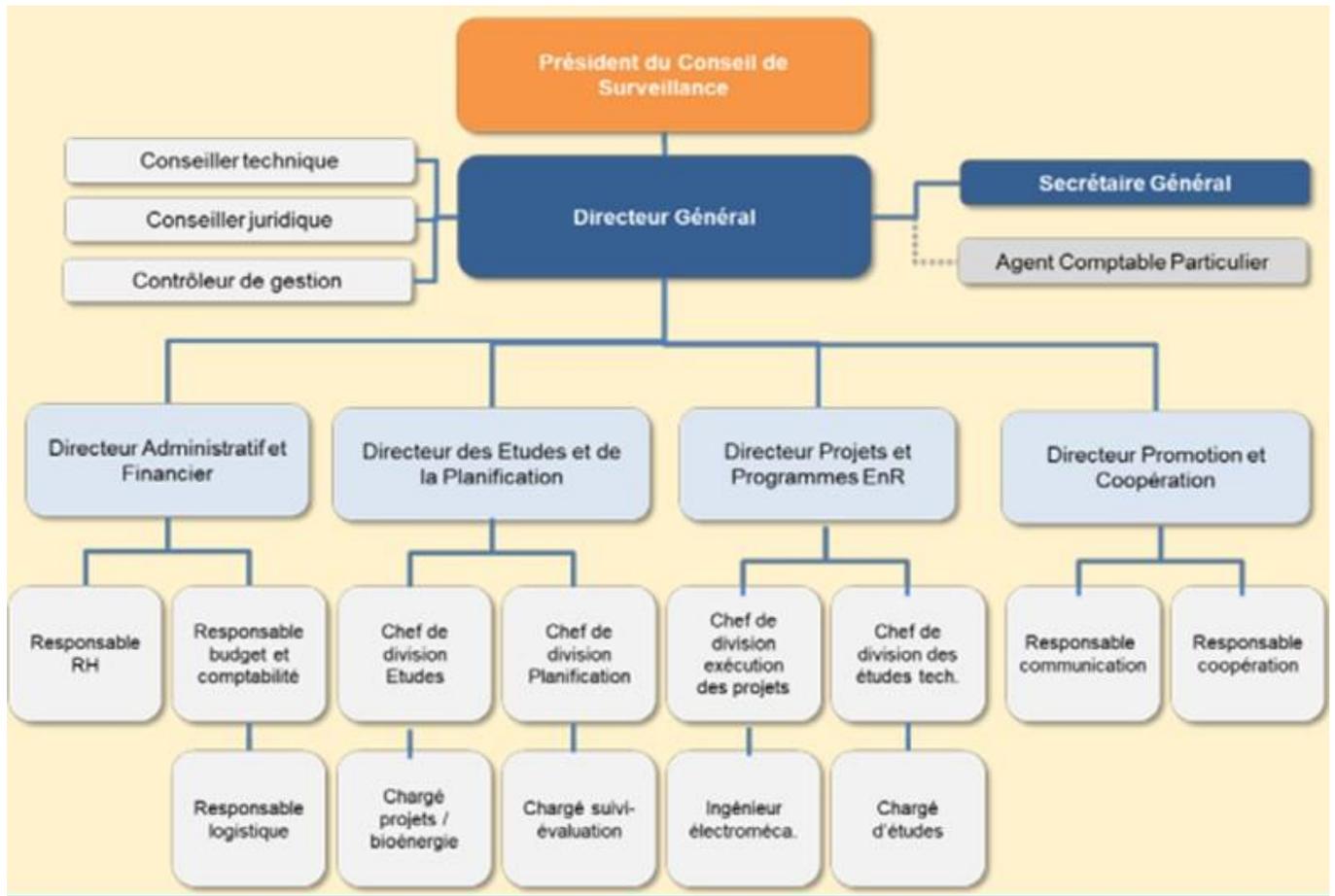
#### **➤ Ceux qui sont déjà réalisés**

- Projet d'installation de 50.000 lampadaires solaires ;
- Installation d'une minicentrale solaire avec stockage à la gouvernance de Ziguinchor ;
- Projet de réalisation de travaux d'installations électriques intérieures dans les locaux de la faculté des sciences et technique de l'UCAD ;
- Etc.

#### **➤ Ceux qui vont venir**

- Projet pilote d'installation de chambres froides solaires pour la conservation des fruits et légumes à Pérou ;
- Autonomisation par voie solaire de bâtiments publics ;
- Acquisition et installation de stations de mesures de données solaires et éoliennes [10].

### III.1.4. Organigramme de l'ANER



**Figure 1** : Organigramme de l'ANER (Source rapport d'élaboration du Plan stratégique 2019 – 2023 de l'ANER au Sénégal)

## III.2. Présentation des hôpitaux

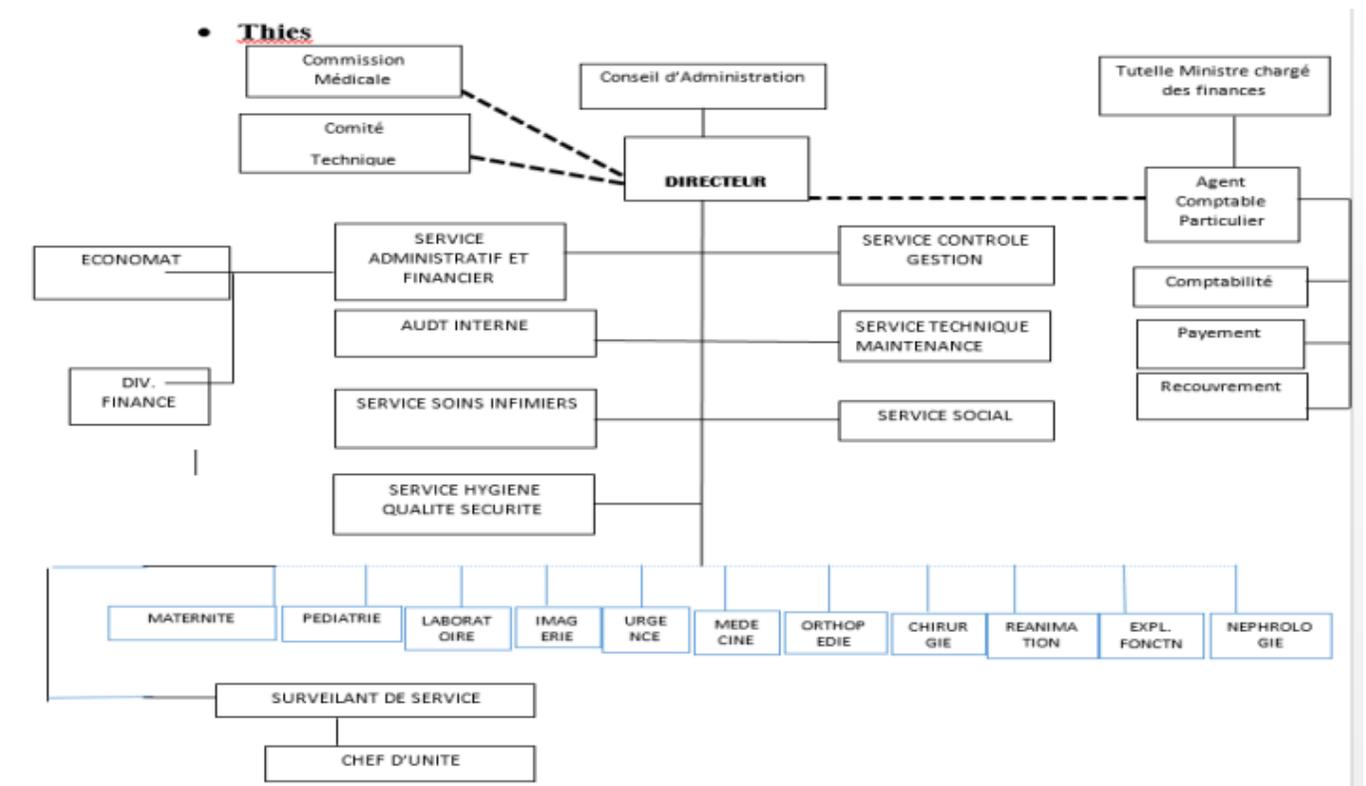
### III.2.1. Présentation de l'hôpital de Thiès

Il a été construit en 1979 sur le site de l'ancienne maternité régionale implantée depuis 1962 et mis en service en 1980. L'hôpital de Thiès a été érigé en établissement public de santé selon la loi portant réforme hospitalière qui a été adoptée par l'assemblée nationale intitulée « la loi 98-08 du 02 mars 1998 portant réforme hospitalière et loi 98-12 du 02 mars 1998 portant création, organisation et fonctionnement des établissements publics de santé ». Après cette réforme et la réhabilitation de l'hôpital par la coopération japonaise, il est baptisé centre hospitalier régional El Hadji Ahmadou Sakhir NDIEGUENE de Thiès. Il a été érigé effectivement en établissement public de santé (EPS) de niveau II par décret N° 2000-1048 du 29 décembre 2000 [11].



**Figure 2 :** Photo du centre hospitalier régional El Hadj Ahmadou Sakhir NDIEGUENE [9]

➤ **Organigramme**



**Figure 3 :** Organigramme de l'hôpital de Thies [9]

### III.2.2. Présentation de l'hôpital de Diourbel

L'hôpital de Diourbel a été construit par la coopération entre le Sénégal et la République Fédérale d'Allemagne. Il a été inauguré le 26 Mai 1966 par feu le président Léopold Sédar SENGHOR et baptisé sous le nom d'Heinrich Lübke président de la république fédérale d'Allemagne de l'époque. Après 6 ans de partenariat c'est-à-dire en 1972, l'assistance technique prit fin. À partir de cette date, on a observé une baisse du niveau de fonctionnement de l'hôpital dû à la combinaison de plusieurs facteurs. En 1991, le gouvernement sénégalais sollicita à nouveau l'appui de la coopération allemande afin de réhabiliter l'hôpital et de lui permettre de jouer à nouveau, son rôle de structure de référence. Le centre hospitalier régional Heinrich Lübke de Diourbel a été érigé en établissement public de santé par décret 2000-1166 du 29 décembre 2000 en application des lois 98-08 et 98-12 du 2 mars 1998 relatives respectivement à la réforme hospitalière et à la création, à l'organisation et au fonctionnement des établissements publics de santé. En 2004, l'Hôpital Régional de Diourbel a été entièrement réhabilité par la coopération allemande [12].



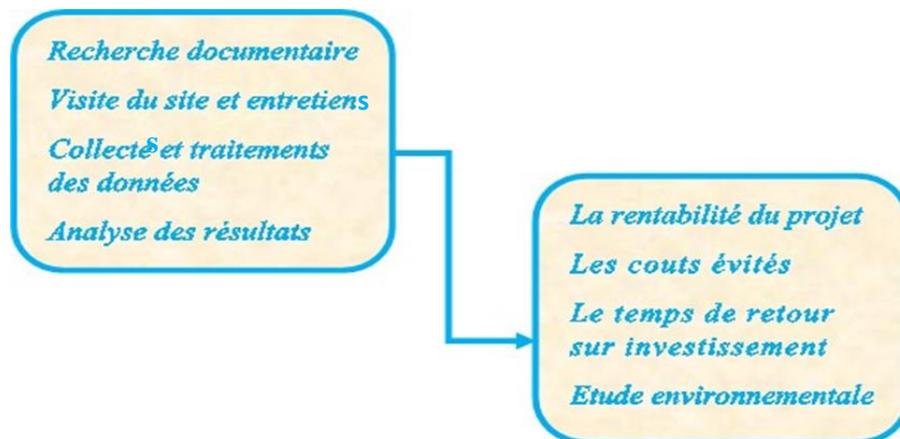
**Figure 4 :** Photo du centre hospitalier régional Heinrich LUBKE de Diourbel (Source: <https://www.senepius.com/sante/hopital-assistance-international-soigne-heinrich-lubke> )

## IV. COLLECTE ET ANALYSE DES DONNEES

L'entretien que nous avons réalisé dans les hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel nous a permis de collecter des données et de recueillir des informations en rapport avec le sujet (voir annexe 2).

## IV.1. Approche méthodologique du projet

Dans cette partie, nous faisons une description des méthodes utilisées pour l'aboutissement de cette étude. Durant ce travail, nous avons eu à utiliser des logiciels comme Excel pour les représentations graphiques des données, les tableaux et les calculs de rentabilité du projet, Word pour la rédaction du mémoire et Power Point pour la présentation. La méthode est décrite sur la figure.



**Figure 5** : Méthodologie de travail

## IV.2. Les acquisitions d'équipements énergétiques après l'installation des minicentrales solaires PV

Les hôpitaux régionaux de Diourbel et de Thiès ont été dotés de minicentrales solaires PV sans stockage raccordées au réseau électrique respectivement de 125 kWc et 175 kWc de puissance dans le but de réduire leurs factures d'électricité. Cependant, depuis l'achèvement de ces minicentrales en avril 2018, l'ensemble des services hospitaliers ont été équipés de nouveaux d'appareils médicaux de grandes puissances et de nouveaux bâtiments. Cela peut perturber le fonctionnement de cette dernière et avoir des conséquences sur le montant de la facture.

### IV.2.1. La production énergétique des centrales

La puissance d'une centrale solaire photovoltaïque est très importante pour connaître la capacité de production énergétique d'une installation. Ainsi pour connaître la capacité de production d'une centrale solaire PV, il est important de connaître le nombre d'heures d'ensoleillement mensuel ou journalier de la zone et le multiplier à la puissance crête installée. La production mensuelle des centrales solaires des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$Pc = P_{ins} * Ir * Cp \quad (1)$$

Pc : Production énergétique de la centrale

P<sub>ins</sub> : Puissance installée

Ir : irradiation horizontale globale du site d'implantation

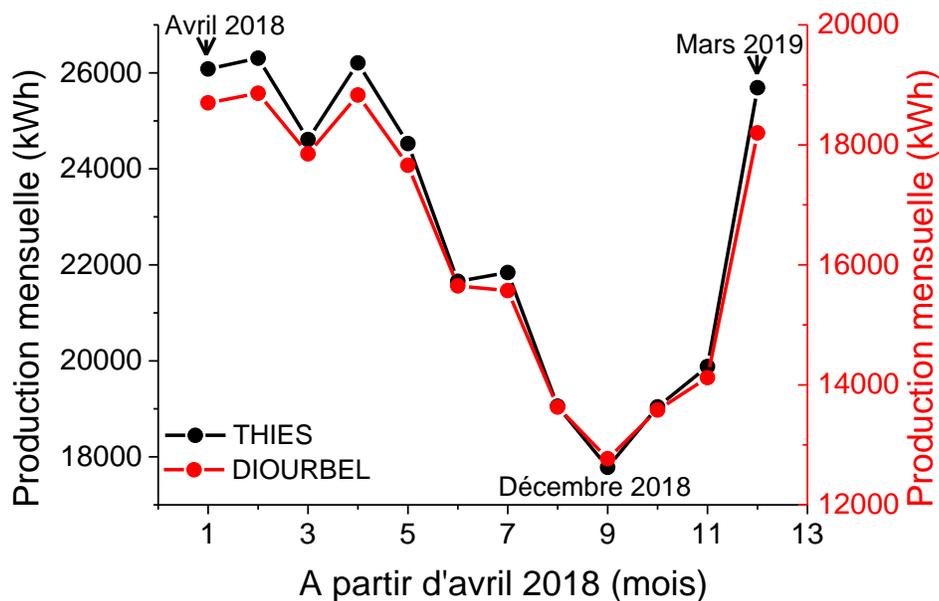
Cp : coefficient de perte varie entre 0,75 et 0,80

Les détails de calcul sont dans l'annexe 3.

Les résultats de la production énergétique des centrales sont consignés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 1** : Production énergétique des centrales

| Site d'implantation | Thiès                                  | Diourbel       |
|---------------------|--|----------------|
| Mois                | Production énergétique mensuelle (kWh) |                |
| Avril 2018          | 26 082                                 | 18 700         |
| Mai 2018            | 26 306                                 | 18 860         |
| Juin 2018           | 24 612                                 | 17 850         |
| Juillet 2018        | 26 208                                 | 18 830         |
| Aout 2018           | 24 528                                 | 17 660         |
| Septembre 2018      | 21 658                                 | 15 650         |
| Octobre 2018        | 21 840                                 | 15 570         |
| Novembre 2018       | 19 054                                 | 13 630         |
| Décembre 2018       | 17 780                                 | 12 770         |
| Janvier 2019        | 19 040                                 | 13 580         |
| Février 2019        | 19 880                                 | 14 120         |
| Mars 2019           | 25 690                                 | 18 200         |
| <b>Totale (kWh)</b> | <b>272 678</b>                         | <b>195 420</b> |



**Figure 6** : Les courbes montrent les productions énergétiques mensuelles des centrales de Thies (courbe noire) et de Diourbel (courbe rouge) sur 12 mois à partir d’avril 2018

#### IV.2.2. Calcul du taux de couverture énergétique des centrales

$$\text{Taux de couverture} = \frac{\text{Production annuelle de la centrale}}{\text{Consommation annuelle}} \quad (2)$$

$$\text{Consommation énergétique annuelle} = \text{Production de la centrale} + \text{énergie de la SENELEC} \quad (3)$$

Les résultats sont donnés sur le tableau ci-dessous.

**Tableau 2** : Taux de couverture des minicentrales en 2019

| Sites    | Consommation annuelle de la SENELEC (kWh) | Production énergétique annuelle de la centrale (kWh) | Consommation annuelle globale (kWh) | Taux de couverture (%) |
|----------|---|--|-------------------------------------|------------------------|
| Thiès    | 395 726                                   | 272 678  | 668 404                             | 41                     |
| Diourbel | 578 134                                   | 195 420  | 773 554                             | 25                     |

D'après les calculs, on constate que la production de la minicentrale de l'hôpital de Thiès couvre presque la moitié (41%) de ses besoins énergétiques contrairement à l'hôpital de Diourbel avec 25% juste un an après la mise en service de la minicentrale. Ceci peut être expliqué par le fait que la consommation annuelle de l'électricité fournie par la SENELEC à l'hôpital de Diourbel est élevée par rapport à celle de Thiès malgré la présence de la minicentrale et c'est dû à l'ajout d'autres appareils.

**Tableau 3** : Taux de couverture trois à quatre ans après l'installation des minicentrales solaires

| Sites    | Années                                  | Capacité de la centrale (kWc) | Consommation annuelle de la SENELEC (kWh) | Production énergétique annuelle de la centrale (kWh) | Consommation annuelle globale (kWh) | Taux de couverture (%) |
|----------|---|-------------------------------|---|--|-------------------------------------|------------------------|
| Thies    | 2020                                    | 175                           | 474 966                                   | 288 750  | 763 716                             | 37                     |
|          | 2021                                    |                               | 554 206                                   |  | 842 956                             | 34                     |
|          | 2022                                    |                               | 581 163                                   |  | 869 913                             | 33                     |
|          | Taux de couverture annuelle moyenne (%) |                               |   |  |                                     | 34,66                  |
| Diourbel | 2020                                    | 125                           | 841 554                                   | 206 250  | 1 047 804                           | 20                     |
|          | 2021                                    |                               | 1 027 040                                 |  | 1 233 290                           | 17                     |
|          | 2022                                    |                               | 1 062 106                                 |  | 1 268 356                           | 16                     |
|          | Taux de couverture annuelle moyenne (%) |                               |   |  |                                     | 17,66                  |

Trois à quatre ans après la mise en service des minicentrales, nous constatons la diminution du taux de couverture pour les deux hôpitaux régionaux inversement à la consommation globale puisque ces établissements continuent à s'équiper d'appareils très énergivores ne faisant pas partie du dimensionnement. Cela s'explique par le fait que la consommation énergétique de la SENELEC des hôpitaux augmente et la production énergétique de la minicentrale diminue au fur du temps.

### IV.3. Analyse directe des données et informations

L'analyse des données est une étape très cruciale dans notre étude, car elle nous permet d'avoir l'évolution des charges et des informations sur les minicentrales solaires PV des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel qui ont respectivement une capacité de 175 kWc et de 125 kWc.

### **IV.3.1. Analyse de l'évolution des charges**

Depuis l'achèvement des minicentrales solaires PV sans stockage en avril 2018, les charges des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel augmentent en termes d'énergie. Avant les minicentrales, l'hôpital de Diourbel ne comptait que 19 services, mais actuellement il est à 25 services. Ces différents services consomment beaucoup d'électricité, car ils ont des équipements de dernières générations et très énergivores. Les hôpitaux ne respectent pas les normes d'étiquetages énergétiques établies par l'Association Sénégalaise de Normalisation (ASN). C'est pourquoi ils ont toujours des arriérés de paiement même s'ils génèrent des économies avec les minicentrales en plus du paiement des factures de la SENELEC assuré par le ministère de la santé. Ils ne sentent pas l'apport des minicentrales. Après l'inventaire des différents appareils électroniques des deux hôpitaux, nous voyons qu'ils s'équipent des split surtout en période de forte chaleur et leur consommation d'énergie est très importante comparée à ceux des éclairages, des ordinateurs, des appareils médicaux...

Les minicentrales des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel devraient diminuer les charges énergétiques des hôpitaux, mais on note le contraire. Cette situation inverse est liée à l'agrandissement des hôpitaux et l'évolution des charges au fil des années. Alors que l'hôpital de Diourbel a cinq groupes électrogènes de 250 kVA, de 150 kVA, de 100 kVA, de 135 kVA et de 150 kVA et l'hôpital de Thiès n'a que trois groupes de capacités 500 kVA, 250 kVA et 100 kVA. Avec les groupes qu'ils possèdent, leurs consommations annuelles augmentent de jour en jour et leurs factures restent exorbitante.

### **IV.3.2. Description technique des minicentrales solaires PV**

Les minicentrales solaires PV des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel ont été installées par la même entreprise (*SOLENE AFRIQUE*) avec la même technologie de panneaux solaires **Trina Solar de 325 Wc**, des onduleurs hybrides (régulateurs intégrés) et chaque onduleur a un système de protection DC où l'on a intégré des parafoudres. L'architecture des minicentrales solaires est ainsi décrite comme suit:

#### **❖ Pour l'hôpital de Thiès**

Le champ solaire de l'hôpital d'Amadou Sakhir NDIEGUENE est installé aux toitures de deux bâtiments (la maternité et la pédiatrie) de capacité 175kWc.

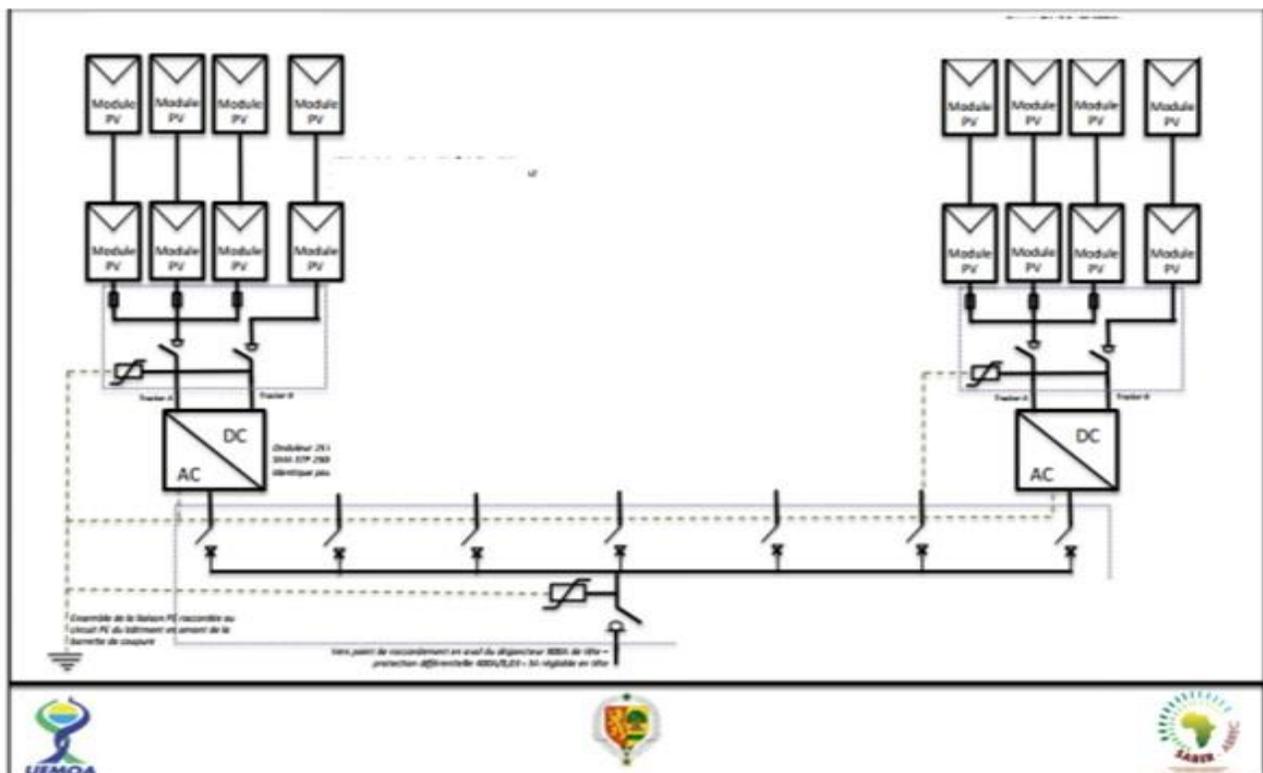
Nous avons 7 groupes d'ensemble de panneaux solaires et chacun d'eux possède des modules raccordés en série et en parallèle, de 7 onduleurs **Sunny Tripower STP 25000TL-30** et chaque onduleur à son système de protection.

**Groupes de panneaux 1 à 6 :** on a 3 strings de 20 modules de 325W en série sur le tracker A et 1 string de 18 panneaux de 325 W en série sur le tracker B ;

**Groupe de panneaux 7 :** on a 3 strings de 20 panneaux de 325W en série sur le tracker A et 1 string de 20 panneaux de 325W en série sur le tracker B.

L'ensemble des 7 groupes de strings est monté en parallèle. La sortie du tracker A et celle du tracker B sont raccordées chacune à un système de protection DC avant d'être injectée aux différents onduleurs.

(« Un tracker est un dispositif permettant de suivre le soleil tout au long de la journée pour améliorer le rendement des panneaux solaires »)



**Figure 7 :** Synoptique de la minicentrale de Thies (Source mémoire d'Abou WADE ANER)

Le champ solaire est composé de 548 panneaux de 325W.



***Figure 8** : Photo de la minicentrale solaire de l'hôpital de Thiès*

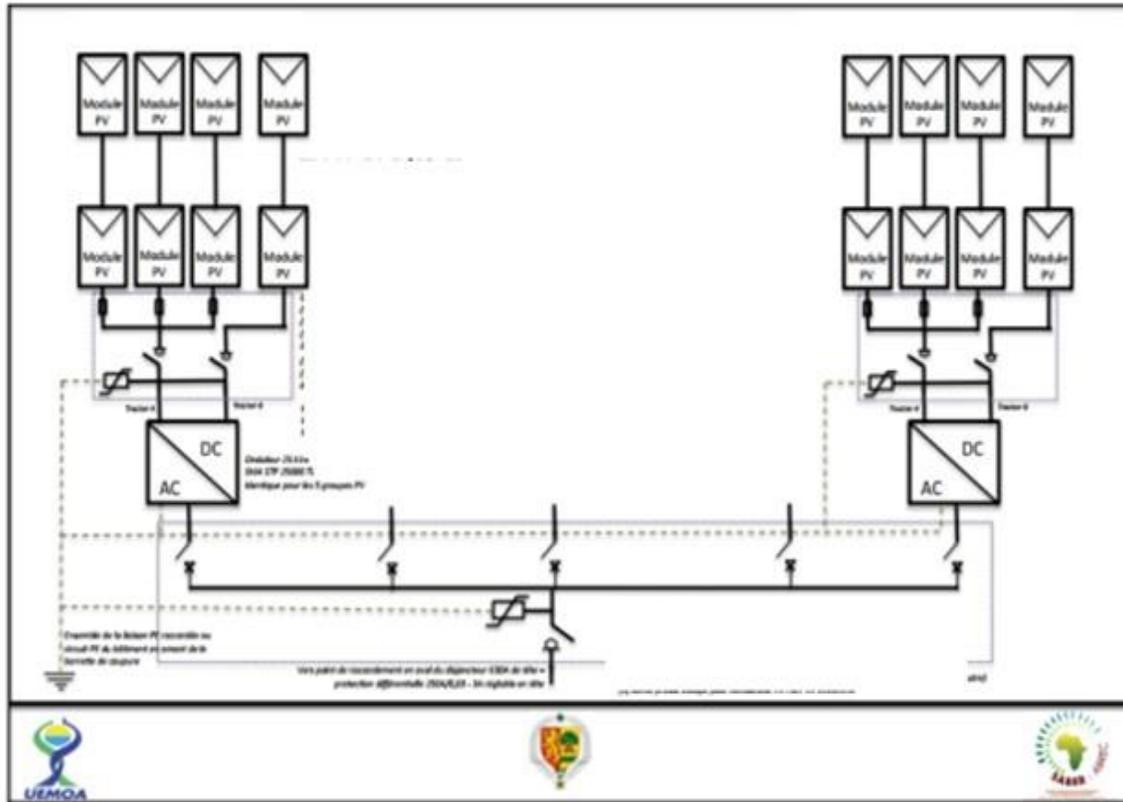
❖ **Pour l'hôpital de Diourbel**

Le champ solaire de l'hôpital Heinrich LUBKE de capacité 125kWc est mis au sol contrairement à celui de l'hôpital de Thiès. Le câblage est réparti en 5 groupes d'ensemble de panneaux solaires et 5 onduleurs **Sunny Tripower STP 25000TL-30** et chaque onduleur est connecté à un système de protection DC. L'architecture de la minicentrale est décrite ci-dessous:

**Groupes de panneaux 1 à 4** : on a 3 strings de 20 panneaux de 325W en série sur le tracker A et 1 string de 18 panneaux de 325W en série sur le tracker B ;

**Groupe de panneaux 5** : on a 3 strings de 20 panneaux de 325W en série sur le tracker A et 1 string de 20 panneaux de 325 W en série sur le tracker B.

L'ensemble des groupes de strings est monté en parallèle. Chaque sortie du tracker A et chaque sortie du tracker B sont raccordées à un système de protection DC relié à un onduleur.



**Figure 9 :** Synoptique de la minicentrale de Diourbel (Source mémoire d'Abou WADE ANER)

Le champ solaire de l'hôpital de Diourbel est composé de 392 panneaux solaires.



**Figure 10 :** Photo de la minicentrale solaire de l'hôpital de Diourbel

### ❖ Les onduleurs réseau et les systèmes de protection

Les panneaux solaires délivrent du courant continu. Il passe d'abord par les systèmes de protection DC pour ne pas abîmer les onduleurs. Après être passé dans les systèmes de protection, le courant arrive aux onduleurs, qui à son tour le convertit en courant alternatif pour alimenter les différentes charges électriques des hôpitaux. L'onduleur est la pièce maîtresse d'une installation photovoltaïque. Choisir le bon onduleur est donc crucial puisqu'il aura un impact sur la production du système. Les minicentrales des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel ont le modèle d'onduleur de type SMA et les mêmes systèmes de protection.



***Figure 11*** : Photo de l'Onduleur SMA triphasé (a) système de protection DC (b)

### ❖ Le coffret de raccordement

Il est sous forme de tableau électrique de distribution et assure la répartition et la séparation des différents circuits. Il est le cerveau de l'installation et fait le lien entre le réseau de distribution de la SENELEC et celui de l'installation solaire. Il protège les personnes et les circuits contre la surtension et le court-circuit.

Il est composé de modulaires, des sectionneurs, des mises à terre, des barrettes pour fixer les fils.



***Figure 12*** : Photo du coffret de raccordement électrique

Le coffret de raccordement délivre la puissance active, réactive et apparente entre les différentes phases ainsi que la production de la minicentrale journalièrement.

## **V. ANALYSE FINANCIERE**

### **V.1. Étude de la facturation**

L'étude de la facturation permet de connaître les modes de facturation de la SENELEC ainsi que la consommation des hôpitaux en heure creuse durant la période d'étude.

#### **V.1.1. Mode de facturation de la SENELEC**

La SENELEC établie des factures chaque mois ou tous les deux mois selon le type d'abonnement, l'usage choisi, la consommation d'énergie et le tarif auquel nous avons souscrit. Trois facteurs essentiels interviennent dans la facturation à savoir : la puissance souscrite, le nombre de jours de consommation et l'usage choisi. Il existe différents types de catégories tarifaires selon la puissance souscrite comme établi dans le tableau 4.

**Tableau 4** : Les différents types d'usagers et leur puissance souscrite (catégorie tarifaire au Sénégal)

| <b>Usagers</b>                        | <b>Puissances souscrites</b>   |
|---------------------------------------|--|
| <b>Basse tension BT</b>               | <b>Comprise entre 0 et 1000 V</b>  |
| Domicile Petite Puissance DPP         | Inférieure à 6 kW  |
| Domicile Moyenne Puissance DMP        | Comprise entre 6 kW et 17 kW   |
| Domicile Grande Puissance DGP         | Comprise entre 17 kW et 34 kW  |
| Professionnelle Petite Puissance PPP  | Inférieure à 6 kW  |
| Professionnelle Moyenne Puissance PMP | Comprise entre 6 kW et 17 kW   |
| Professionnelle Grande Puissance PGP  | Comprise entre 17 kW et 34 kW  |
| <b>Moyenne tension MT</b>             | <b>Comprise entre 1000 et 30 000 V</b>   |
| Tarif Courte Utilisation TCU          | La durée de l'utilisation du transformateur de la puissance souscrite est comprise entre 0 et 1000 h par an    |
| Tarif Générale TG                     | La durée de l'utilisation du transformateur de la puissance souscrite est comprise entre 1000 et 4000 h par an |
| Tarif Longue Utilisation TLU          | La durée de l'utilisation du transformateur de la puissance souscrite est supérieure à 4000 h par an           |
| <b>Haute tension HT</b>               | <b>Plus de 30 000 V</b>  |

Durant toute cette étude, nous allons mettre l'accent sur les usagers de tarif général TG pour les hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel puisque ces derniers sont des clients de moyenne tension tarifés TG. Pour les usagers DPP, DMP, PPP et PMP leur consommation énergétique est facturée par tranches de consommation. Il existe 3 tranches de consommations et chacune est appliquée à un tarif correspondant.

Cependant l'application de la décision n°2017-06 de la Commission de Régulation du Secteur de l'Electricité (CRSE) relative à l'approbation de la grille tarifaire au Sénégal à compter du 1<sup>er</sup> mai 2017 est fixée dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 5** : Grille tarifaire du 1<sup>er</sup> Mai 2017 de la SENELEC ( catégorie tarifaire au Sénégal)

| <b>Fourniture d'électricité en Basse tension</b> |                               |                          |                          |                                 |
|--|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| CATEGORIES TARIFAIRES                            | Prix de l'énergie en FCFA/kWh |                          |                          | Prime Fixe Mensuelle en FCFA/kW |
|  | 1 <sup>ère</sup> Tranche      | 2 <sup>ème</sup> Tranche | 3 <sup>ème</sup> Tranche |                                 |
| <b>Usage Domestique (UD)</b>                     |                               |                          |                          |                                 |
| Domestique Petite Puissance( DPP)                | 90,47                         | 101,64                   | 112,65                   |                                 |
| Domestique Moyenne Puissance(DMP)                | 96,02                         | 102,44                   | 112,02                   |                                 |
| <b>Usage Professionnel (UP)</b>                  |                               |                          |                          |                                 |
| Professionnel Petite Puissance( PPP)             | 128,85                        | 135,68                   | 147,68                   |                                 |
| Professionnel Moyenne Puissance(PMP)             | 129,81                        | 136,53                   | 149,24                   |                                 |
| <b>Prépaiement ( WOYOFAL)</b>                    |                               |                          |                          |                                 |
| Domestique Petite Puissance( DPP)                | 90,47                         | 101,64                   | 101,64                   |                                 |
| Domestique Moyenne Puissance(DMP)                | 96,02                         | 102,44                   | 102,44                   |                                 |
| Professionnel Petite Puissance( PPP)             | 128,85                        | 135,68                   | 135,68                   |                                 |
| Professionnel Moyenne Puissance(PMP)             | 129,81                        | 136,53                   | 136,53                   |                                 |
| <b>Usage Grande Puissance</b>                    |                               |                          |                          |                                 |
|  | Heures Hors Pointe            | Heures de Pointe         |                          |                                 |
| Domestique Grande Puissance(DGP)                 | 86,30                         | 120,81                   |                          | 869,21                          |
| Professionnel Grande Puissance (PGP)             | 103,36                        | 165,38                   |                          | 2607,63                         |
| <b>Eclairage Public</b>                          |                               |                          |                          |                                 |
|  | 118,16                        |                          |                          | 3007,21                         |

| <b>Fourniture d'électricité en Moyenne ou Haute Tension</b> |                               |                  |                                 |
|---|-------------------------------|------------------|---------------------------------|
| CATEGORIE TARIFAIRE   | Prix de l'énergie en FCFA/kWh |                  | Prime Fixe Mensuelle en FCFA/kW |
|   | Heures Hors Pointe            | Heures de Pointe |                                 |
| <b>Livraison en Moyenne Tension</b>                         |                               |                  |                                 |
| Tarif Courte Utilisation (TCU)                              | 111,59                        | 172,77           | 854,36                          |
| Tarif Général (TG)  | 80,31                         | 128,50           | 3636,45                         |
| Tarif Longue Utilisation (TLU)                              | 65,98                         | 105,57           | 8777,13                         |
| Concessionnaires d'électrification rurale                   | 91,35                         |                  |                                 |
| <b>Livraison en Haute Tension</b>                           |                               |                  |                                 |
| Tarif Général   | 52,44                         | 75,52            | 8 908,92                        |
| Tarif Secours   | 77,25                         | 111,23           | 4 381,50                        |

| <b>Tranches de consommation pour les usagers basse tension (BT)</b> |                          |                          |                          |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Option tarifaire  | 1 <sup>ère</sup> tranche | 2 <sup>ème</sup> tranche | 3 <sup>ème</sup> tranche |
| JD-PP   | De 0 à 150 kWh           | De 151 à 250 kWh         | Plus de 250 kWh          |
| JD-MP   | De 0 à 50 kWh            | De 51 à 300 kWh          | Plus de 300 kWh          |
| JP-PP   | De 0 à 50 kWh            | De 51 à 500 kWh          | Plus de 500 kWh          |
| JP-MP   | De 0 à 100 kWh           | De 101 à 500 kWh         | Plus de 500 kWh          |

Les heures de pointe ou heures pleines (K2) c'est de 19h à 23h et les heures hors pointe ou heures creuses (K1) c'est de 00h à 19h et de 23h à 24h.

Ainsi, on obtient le montant TTC de la facture en faisant la somme des valeurs obtenues par application de la consommation pour chaque tranche à son tarif correspondant en tenant compte des paramètres suivants :

➤ **TCO :**

Le taux de taxe communale (TCO) se calcul grâce à cette formule :

$$TCO_{FCFA} = 2,5\% * \text{base taxe communale (4)}$$

$$\text{Base taxe communale}_{FCFA} = \text{Montant énergie}_{K1} + \text{Montant énergie}_{K2} + \text{Prime fixe} + \text{Pénalité de dépassement} +/- \text{Application } \cos_{\phi} \text{ (5) avec}$$

**K1 : Heure hors pointe**

**K2 : Heure de pointe**

➤ **La redevance :**

Les frais de location et d'entretien du compteur, appelé redevance, dépendent du nombre de jours de facturation et du type de compteur.

➤ **TVA :**

Taxe sur la valeur ajoutée TVA de 18% s'obtient :

$$TVA_{FCFA} = \text{Taux}_{TVA} * \text{base}_{TVA} \text{ (6)}$$

$$\text{Taux}_{TVA} = 18\%$$

$$\text{Base}_{TVA}_{FCFA} = \text{Montant énergie}_{K1} + \text{Montant énergie}_{K2} + \text{Prime fixe} + \text{Pénalité de dépassement} +/- \text{Application } \cos_{\phi} + \text{TCO} + \text{Redevance (7)}$$

➤ **Les frais de timbre :**

Si la facture est réglée en espèce.

➤ **La puissance souscrite :**

La puissance souscrite est la demande de puissance prévisionnelle que le distributeur s'engage à mettre à la disposition du client en tout temps. C'est la somme des puissances électriques déclarées de tous les appareils mis en service. Il existe deux cas de figure pour calculer la prime fixe avec la puissance souscrite et la puissance relevée.

- **Si Puissance souscrite  $\geq$  Puissance maximale relevée**

Dans ce cas de figure, l'utilisateur a juste utilisé une puissance inférieure ou égale à celle souscrite. Du coup il ne va pas payer des pénalités de dépassement, mais la puissance qu'il n'utilise pas. Le montant de la prime fixe est calculé comme suit:

$$PF = T_{pf}mensuel * Ps \quad (8)$$

$$T_{pf}mensuel = \left( \frac{\text{Nombre de jours de cons}}{365} \right) * T_{pf}annuel \quad (9)$$

PF : Prime fixe

Ps : Puissance souscrite

$T_{pf}mensuel$  : Taux de la prime fixe mensuel

$T_{pf}annuel$ : Taux de la prime fixe annuel

- **Si Puissance souscrite < puissance maximale relevée**

Dans ce cas de figure, la puissance maximale relevée dépasse la puissance souscrite, ce qui est très fréquent et peut avoir une augmentation de la prime fixe. Ils payeront des pénalités dues à l'augmentation de l'utilisation de la puissance souscrite. Le montant de la prime fixe est ainsi calculé:

$$PF = T_{pf}mensuel * Ps + PDP \quad (10)$$

$$T_{pf}mensuel = \left( \frac{\text{Nombre de jours de cons}}{365} \right) * T_{pf}annuel \quad (11)$$

$$PDP = 1,5 * T_{pf}mensuel * (Pmaxr - Ps) \quad (12)$$

PDP : Pénalité de dépassement

PF : Prime fixe

Ps : Puissance souscrite

$T_{pf}mensuel$  : Taux de prime fixe mensuel

$T_{pf}annuel$  : Taux de prime fixe annuel

Pmaxr: Puissance maximale relevée

➤ **Facteur de puissance (cosphi)**

Le facteur de puissance est le ratio entre la puissance réelle ou active et la puissance apparente imposée au réseau électrique. Plus le facteur de puissance est faible, plus l'énergie réactive est élevée. Une élévation excessive de l'énergie réactive sur le réseau de distribution entraîne l'échauffement des câbles de transport et d'où leur usure prématurée. Le fournisseur facture une pénalité très dissuasive quand le facteur de puissance est inférieur au seuil (0,8). Le tableau ci-dessous donne des indications sur les applications de cos phi avec majoration sur le tarif.

**Tableau 6** : Application cos phi

| <i>Valeur de cosphi</i>             | <i>Taux de majoration</i> |
|-------------------------------------|---------------------------|
| $0,79 \geq \text{cosphi} \geq 0,75$ | 5%                        |
| $0,74 \geq \text{cosphi} \geq 0,70$ | 10%                       |
| $0,69 \geq \text{cosphi} \geq 0,65$ | 15%                       |
| $0,64 \geq \text{cosphi} \geq 0,60$ | 20%                       |
| $0,59 \geq \text{cosphi} \geq 0,55$ | 30%                       |
| $0,54 \leq \text{cosphi} \leq 0,50$ | 40%                       |
| $0,49 \geq \text{cosphi} \geq 0,45$ | 50%                       |
| $0,44 \geq \text{cosphi} \geq 0,40$ | 65%                       |
| $\text{Cosphi} \leq 0,39$           | 80%                       |
| $\text{Cosphi} = 0,96$              | 0,75%                     |
| $\text{Cosphi} = 0,97$              | -1,5%                     |
| $\text{Cosphi} = 0,98$              | -2,25%                    |
| $\text{Cosphi} = 0,99$              | -3%                       |
| $\text{Cosphi} = 1$                 | -3,75%                    |

**V.2. Etude des factures des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel avant et après l'installation des minicentrales solaires PV**

Les minicentrales solaires photovoltaïques de 175 kWc et de 125 kWc respectivement des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel injectées au réseau de la SENELEC fonctionnent parallèlement à celle-ci pour alimenter les différents services en énergie électrique.

L'étude de l'évolution de la consommation énergétique des hôpitaux se base sur les factures d'électricité de la SENELEC sur une période d'un an avant (avril 2017 jusqu'à mars 2018) et juste un an après la mise en service des minicentrales (avril 2018 jusqu'à mars 2019) ainsi que deux à trois ans après la mise en exécution des minicentrales pour avoir la courbe de charge de chaque hôpital afin d'évaluer les paramètres essentiels auxquels dépendent les factures notamment :

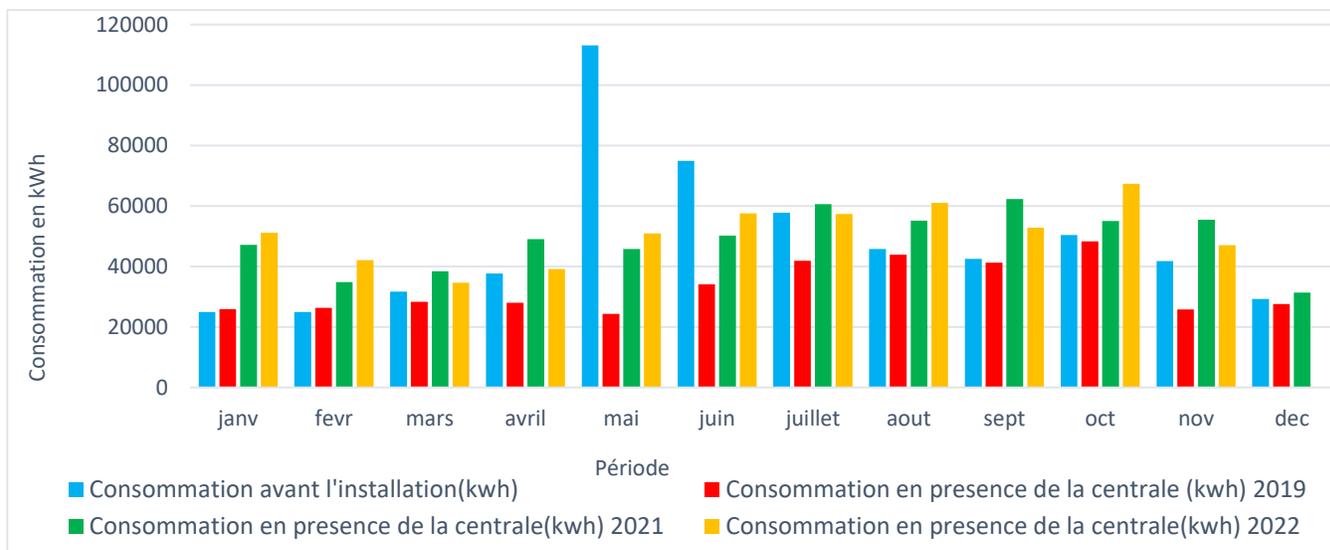
- ✚ Les consommations énergétiques en heure hors pointe (K1) des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel;
- ✚ Leurs puissances souscrite et relevée ;

### **V.2.1. Analyse de la consommation énergétique des hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel avant et après l'installation de la minicentrale**

Les minicentrales ont été achevées et mises en service en avril 2018 pour les hôpitaux de Thiès et de Diourbel et couvrent une partie des besoins énergétiques des hôpitaux régionaux. Avant l'installation des minicentrales solaires PV, les hôpitaux avaient des factures trop élevées en raison de leurs fortes consommations énergétiques.

#### **❖ Thiès**

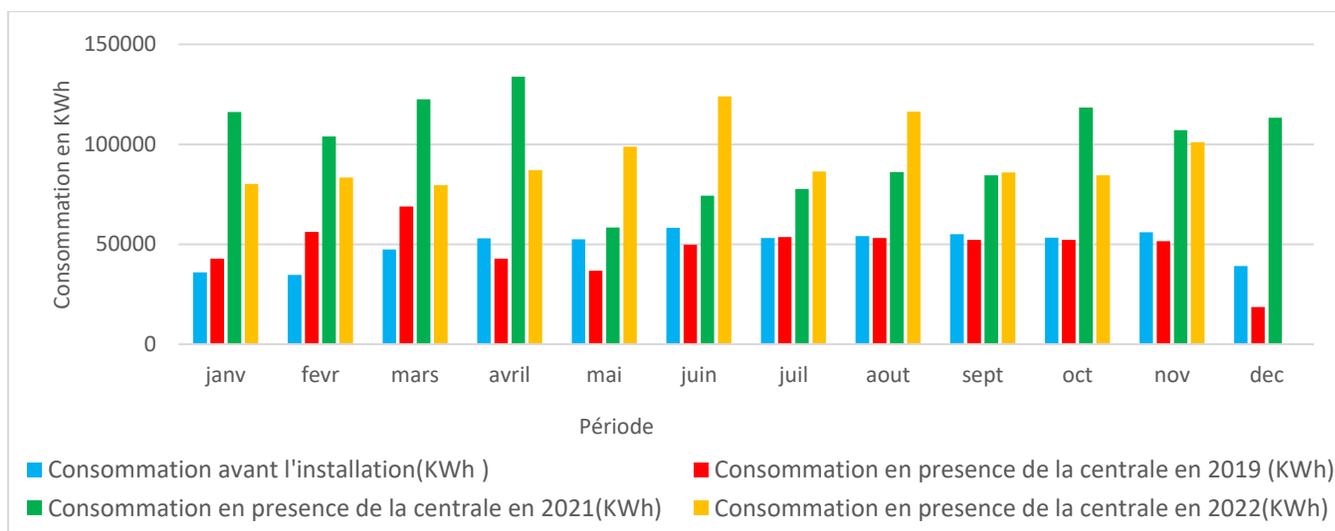
Avant l'installation de la minicentrale solaire en avril 2018, l'hôpital de Thiès a une forte consommation surtout pour le mois de mai 2017 qui avoisine les 120 000 kWh et cela aura un impact sur le montant de la facture. De juin 2017 à mars 2018 juste avant la minicentrale, leur consommation commence à baisser et continue jusqu'après sa mise en service. Entre 2021 et 2022, la consommation en heure creuse de l'hôpital augmente en dent de scie alors que la minicentrale est en marche (**Figure 13**).



**Figure 13:** Consommation énergétique en heure creuse de l'hôpital de Thies avant et après l'installation ainsi qu'en 2021 et 2022

❖ **Diourbel**

Avant la mise en service de la minicentrale en avril 2018, la consommation énergétique de l'hôpital de Diourbel n'était pas si énorme et c'est à partir de décembre 2018 qu'on constate une augmentation brusque de leur consommation. De 2021 à 2022, on note une forte consommation énergétique de l'hôpital malgré la présence de la minicentrale. Cela peut être dû à un surplus d'équipements ou d'appareils très énergivores (**Figure 14**).

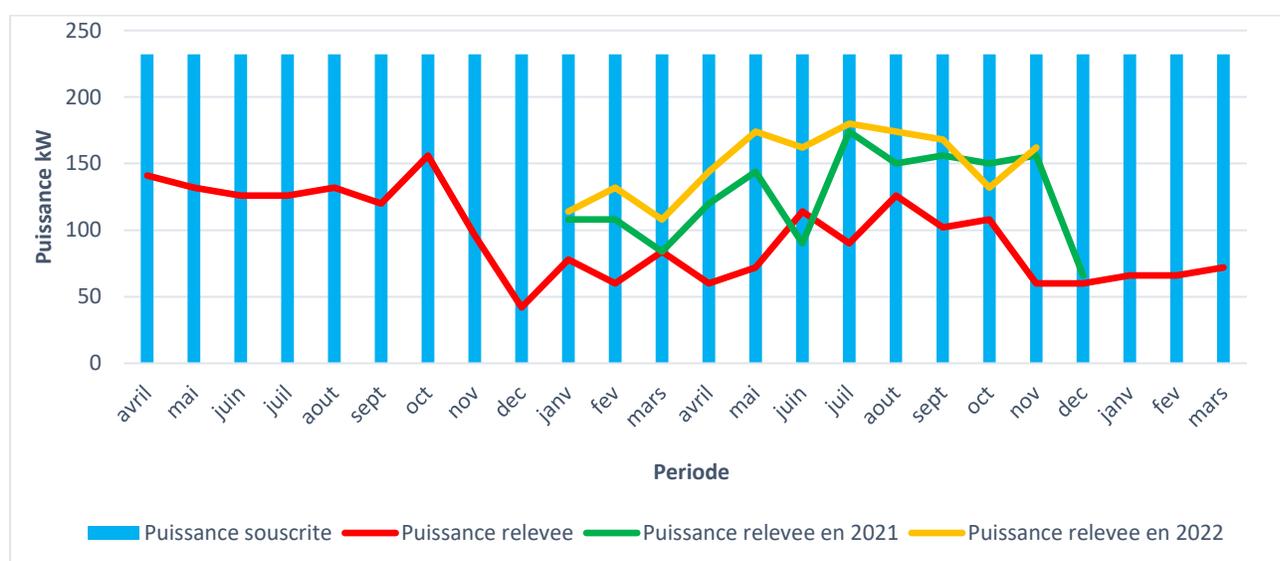


**Figure 14:** Consommation énergétique en heure creuse de l'hôpital de Diourbel avant et après la minicentrale ainsi qu'en 2021 et 2022

## V.2.2. Les puissances relevées et souscrites des hôpitaux

### ❖ Thies

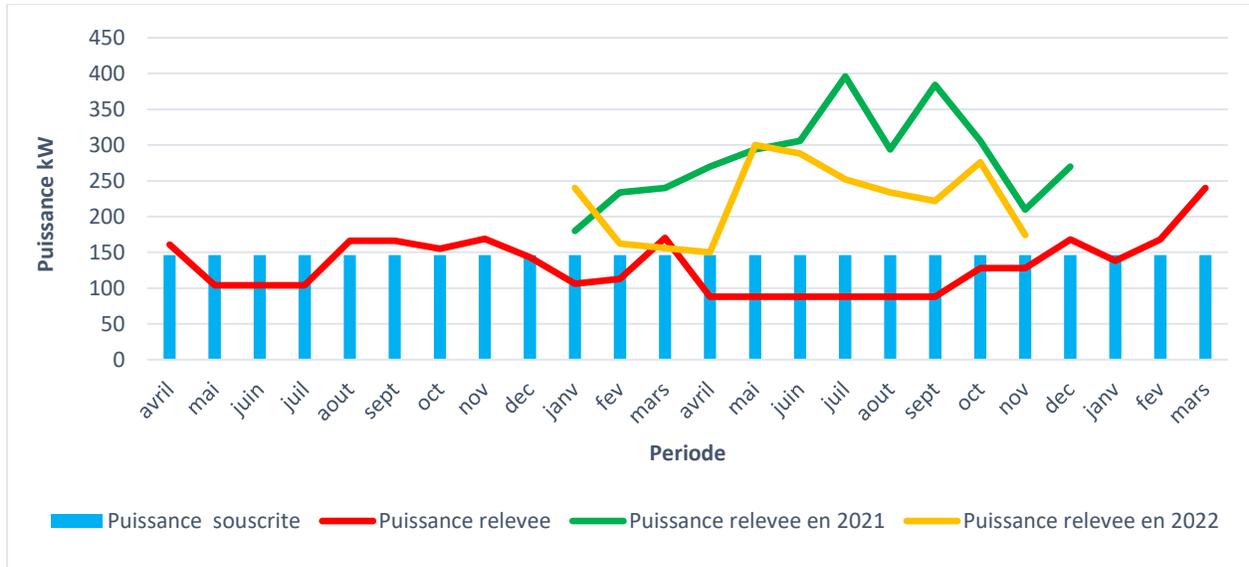
D'après le graphique ci-dessous, nous constatons que la puissance relevée n'a jamais dépassé celle souscrite qui est de l'ordre de 232 kW même après la mise en service de la minicentrale en avril 2018. En décembre 2017, nous notons une puissance relevée 5 fois plus petite que celle souscrite et ceci peut amener des amendes très dissuasives. De même, de novembre 2018 jusqu'à mars 2019, on constate une puissance relevée 2 à 3 fois inférieure à celle souscrite. Entre 2021 et 2022, on constate une puissance relevée assez importante, elle ne dépassant toujours pas celle souscrite (**Figure 15**).



**Figure 15** Puissance souscrite et relevée de l'hôpital de Thies

### ❖ Diourbel

Deux cas de figure se présentent : soit la puissance relevée dépasse celle souscrite soit la puissance relevée est inférieure à celle souscrite. Dans tous les cas, ce n'est pas recommandé, car cela pourrait entraîner des pénalités. De septembre 2018 jusqu'à mars 2019, on note une forte augmentation de la puissance relevée malgré la présence de la minicentrale solaire. Dans les années 2021 et 2022, la puissance relevée est presque le double ou le triple de la puissance souscrite (**Figure 16**).



**Figure 16** : Puissance souscrite et relevée de l'hôpital de Diourbel

### V.3. Etude de la rentabilité des investissements

L'étude de la rentabilité des investissements d'un projet est très importante pour son promoteur ainsi que l'investisseur. Il leur permet d'avoir une idée claire des coûts qu'ils vont supporter et du délai nécessaire pour récupérer leur investissement.

#### V.3.1. Les coûts évités (économie financière)

Depuis la mise en service des minicentrales solaires photovoltaïques en avril 2018, les factures des hôpitaux ont baissé, générant ainsi des économies pour eux. Ces économies représentent les coûts évités c'est-à-dire ce qu'ils auraient payé s'il n'y avait pas eu la minicentrale.

Ils sont déterminés en faisant la différence entre le montant des factures reconstituées (c'est-à-dire le montant que devrait payer l'hôpital à l'absence de la centrale) et le montant des factures de la SENELEC en présence de la minicentrale solaire. La formule suivante permet de les calculer:

$$\text{Coût évité} = \text{montant de la facture reconstituée} - \text{montant de la facture de la SENELEC} \quad (13)$$

Montant de la facture reconstituée : Cela veut dire ce qu'il aurait payé s'il n'y avait pas la minicentrale solaire et la consommation sera notée  $K_1'$ . La formule pour calculer  $K_1'$  est:

$$K'_1 = K_1 + P_c \quad (14)$$

**K1'** : la consommation de l'hôpital (kWh) en heure creuse à l'absence de la minicentrale. Autrement dit ce que la SENELEC apporterait s'il n'y avait pas la minicentrale.

**K1** : la consommation de l'hôpital (kWh) en heure creuse de la SENELEC en présence de la minicentrale.

**Pc** : la production de la centrale en heure hors pointe (kWh)

Ainsi le montant de la facture reconstituée s'obtient en remplaçant K1 de la SENELEC par K1' et refaire les calculs des factures avec K1' au lieu de K1.

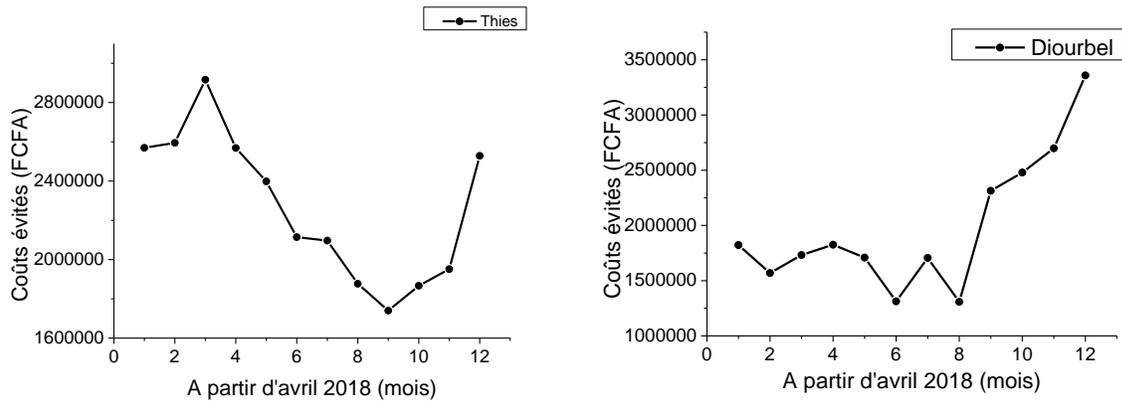
Pour le montant des factures reconstituées voir annexe 4

Le détail des calculs des factures est en annexe 5.

Le tableau 7 montre les coûts évités ou les économies de chaque mois pendant un an juste (Tableau 8) après la mise en service de la minicentrale des hôpitaux de Thiès et Diourbel.

**Tableau 7** : Les coûts évités par mois des hôpitaux de Thiès et de Diourbel

| <b>Sites d'implantations</b> | <b>Thiès</b>        | <b>Diourbel</b>   |
|------------------------------|---------------------|-------------------|
| Mois                         | Coûts évités (FCFA) |                   |
| Avril 2018                   | 2 569 250           | 1 822 634         |
| Mai 2018                     | 2 594 559           | 1 568 993         |
| Juin 2018                    | 2 916 065           | 1 732 067         |
| Juillet 2018                 | 2 568 290           | 1 825 492         |
| Aout 2018                    | 2 398 028           | 1 709 287         |
| Septembre 2018               | 2 114 263           | 1 312 877         |
| Octobre 2018                 | 2 096 629           | 1 706 071         |
| Novembre 2018                | 1 876 574           | 1 308 326         |
| Décembre 2018                | 1 739 968           | 2 313 360         |
| Janvier 2019                 | 1 866 712           | 2 479 240         |
| Février 2019                 | 1 951 335           | 2 698 383         |
| Mars 2019                    | 2 528 494           | 3 358 668         |
| <b>Total (FCFA)</b>          | <b>27 220 167</b>   | <b>23 835 398</b> |



**Figure 17:** Les courbes de gauche et de droite montrent respectivement les coûts mensuels évités des hôpitaux de Thiès et de Diourbel

D’après les deux courbes ci-dessus, on voit que les économies réalisées pour Thiès suivent la courbe de production de la minicentrale alors que pour Diourbel on note le contraire. Ceci n’est pas liée à la météorologie (annexe 6) mais plutôt à eux même. Parce qu’après la mise en service de la minicentrale, l’hôpital de Diourbel avait un mauvais cosphi qu’il a dû corriger juste après un an et le dépassement de leur puissance souscrite.

**Tableau 8 :** Les coûts annuels évités (FCFA) des hôpitaux de Thiès et de Diourbel

| Années   | 2019       | 2020       | 2021       | 2022       |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| Sites    |            |            |            |            |
| Thiès    | 27 220 167 | 25 692 561 | 21 317 861 | 20 314 916 |
| Diourbel | 23 835 398 | 9 342 435  | 8 967 772  | 6 547 530  |

### V.3.2. Le temps de retour sur investissement (TRI)

Le TRI est le nombre d'années nécessaires pour récupérer le coût total de l'investissement et permet de mesurer son rendement. Il s’agit d’un indicateur très utile pour évaluer la rentabilité de l’investissement d’un projet. Il se calcule par le rapport entre le coût global de l’investissement et le gain annuel global ou les coûts évités. La formule pour le calculer est ci-dessous :

$$TRI = \frac{\text{Coût global d'investissement}}{\text{Gain annuel global}} \quad (15)$$

Les résultats des calculs sont consignés dans le tableau 9 ci-dessous :

**Tableau 9** : Les résultats des TRI des hôpitaux régionaux de Thiès et Diourbel

| Sites    | Coût initial de l'investissement (FCFA) | Coût de l'entretien et de la maintenance (FCFA) | Coût total de l'investissement (FCFA) | Coûts annuels économisés (FCFA) | Temps de Retour sur Investissement (ans) |
|----------|---|---|---------------------------------------|---------------------------------|--|
| Thiès    | 135 417 821                             | 1 625 014                                       | 137 042 835                           | 27 220 167                      | 5,03 soit environ 5 ans                  |
| Diourbel | 96 727 015                              | 1 160 724                                       | 97 887 739                            | 23 835 398                      | 4,10 soit environ 4 ans et 1 mois        |

L'hypothèse qu'on avait définie au-dessus pour le temps de retour sur investissement vient d'être confirmée par les résultats obtenus dans ce tableau. On voit bien que ces projets sont très rentables en termes de durée de retour sur investissement (respectivement 5 ans et 4 ans et 1 mois pour Thiès et Diourbel).

#### V.4. Etude environnementale

Les changements climatiques et ses effets néfastes imposent un fardeau supplémentaire à tous les pays, en particulier ceux en développement et pauvres. Le Sénégal n'est pas à l'abri des changements climatiques dus aux émissions de GES notamment le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Les émissions de CO<sub>2</sub> sont générées en grande partie par la production et la consommation d'énergie fossile. Au total, 89% des émissions de CO<sub>2</sub> sont dus au secteur de l'énergie et seulement 11 % aux procédés industriels.

Ainsi l'énergie doit être au centre de tous les efforts visant à limiter le réchauffement climatique à deux degrés Celsius [14]. Dans le cadre de cette étude, nous avons procédé à un calcul systématique des émissions de carbone évitées par le projet considérant que : 1 kWh = 0,119 kg de CO<sub>2</sub> [15].

**Tableau 10** : Les émissions de carbone évitées (kg) par les minicentrales solaires de Thiès et de Diourbel par an

| Sites  | Thies     | Diourbel  |
|--|-----------|-----------|
| Production annuelle de la centrale (kWh)         | 288 750   | 206 250   |
| Emissions de CO <sub>2</sub> évitées (kg) par an | 34 361,25 | 24 543,75 |

D'après les résultats de ce tableau, on constate que les minicentrales solaires PV des hôpitaux de Thiès et de Diourbel sont moins polluants et participent à la préservation de l'environnement.

## **VI. RECOMMANDATIONS**

Au terme de cette étude, nous tenons à reformuler certaines recommandations vis-à-vis de l'ANER ainsi que les hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel

### **VI.1. Pour l'ANER**

D'après les résultats obtenus, nous suggérons à l'ANER de continuer le projet d'autonomisation énergétique par voie solaire des édifices publics, puis qu'il est rentable et respecte les normes environnementales. En rendant autonomes d'autres structures publiques avec stockage comme les postes de santé, les gouvernances, d'autres hôpitaux régionaux, etc. Une augmentation de la puissance crête des minicentrales est une urgence, car la consommation des hôpitaux augmente d'année en année. Un plan de suivi des minicentrales serait très bénéfique, car ces hôpitaux ont un déficit de personnels qualifiés pour faire le suivi de l'installation puisqu'ils ne peuvent plus accéder à la plateforme. L'ANER doit investir dans des centrales de grandes envergures avec stockage (si possible). Cela permet de résoudre les problèmes de délestages, de réduire la consommation d'électricité K2 (kWh), qui est plus coûteuse, et plus rentable malgré le coût initial élevé.

### **VI.2. Pour les hôpitaux régionaux**

#### **VI.2.1. Thiès**

Depuis l'installation de la minicentrale solaire, le coût de la facture a diminué. Avant et après la minicentrale, l'hôpital de Thiès n'a pas dépassé sa puissance souscrite qui est de l'ordre de 232 kW. Alors, il continue de payer une puissance qu'elle n'utilise pas et a un très bon facteur de puissance ( $\cos\phi > 0,8$ ).

Nous leur suggérons de maintenir ce cap de consommation énergétique durant la période de fonctionnement de la minicentrale, de diminuer leur puissance souscrite à 200 kW. Pour plus de productibilité de la minicentrale, nous leur suggérons de faire des séances de maintenance 3 à 4 fois dans l'année au lieu d'une fois hors hivernage. Ils doivent aussi respecter l'étiquetage des appareils et des machines pour savoir ceux qui sont énergivores et d'utiliser des lampes LED. Ceci peut leur apporter des économies sur leurs factures d'électricité.

### **VI.2.2. Diourbel**

Avant la minicentrale, la consommation de l'hôpital de Diourbel était importante et après quatre ans de mise en service, elle continue d'augmenter de façon exponentielle. Leurs puissances relevées dépassent largement celle souscrite malgré la minicentrale. Leur facteur de puissance est bon, l'hôpital a dû apporter des corrections justes un an après l'installation de la minicentrale. Nous leur proposons:

- De doubler voire même de tripler leur puissance souscrite (146 kW).
- D'établir un plan d'entretien et de maintenance des panneaux et du local technique 3 à 4 fois dans l'année sauf en période d'hivernage pour plus de productibilité de la minicentrale.
- Le respect des normes d'efficacité énergétique et l'utilisation des équipements étiquetés pour identifier ceux qui consomment le plus d'énergie.

Cela leur permettra d'optimiser leur consommation en réalisant des revenus sur leurs factures d'électricité.

# *CONCLUSION GENERALE*

En conclusion, cette étude portant sur la rentabilité des minicentrales solaires photovoltaïques installées dans les hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel par l'Agence Nationale pour les Energies Renouvelables en collaboration avec le PRODERE en avril 2018 contribue à l'amélioration des sources d'approvisionnement énergétique des hôpitaux tout en réduisant leurs factures d'électricité.

Le but de notre travail est de rendre les édifices publics autonomes en énergie électrique en leur octroyant des infrastructures énergétiques modernes et de qualité tout en respectant les normes environnementales. L'installation des minicentrales solaires PV dans les hôpitaux régionaux de Thiès et de Diourbel participe vivement à l'autonomisation énergétique des structures publiques. La solarisation de ces structures sanitaires sera une aubaine en matière de réduction des émissions de GES et ceci contribuera à la protection de l'environnement.

D'après les résultats de notre étude, le projet d'autonomisation énergétique des hôpitaux par l'implantation des minicentrales solaires est moins polluant, moins énergivore et demeure rentable économiquement. Le développement des minicentrales solaires PV dans les structures sanitaires de Thiès et de Diourbel constitue des alternatives acceptables pour une production d'électricité massive et propre. Il permet la réduction des factures d'électricité et d'un mix énergétique soutenu. Les énergies renouvelables sont fondamentales pour réussir la transition énergétique. Elles représentent un puissant catalyseur pour l'atténuation du changement climatique.

L'objectif attendu dans ce projet d'autonomisation énergétique des structures publiques est la rentabilité des minicentrales solaires PV au profit des hôpitaux avec un temps de retour sur investissement court en réduisant leurs factures d'électricité. Ceci est en harmonie avec la politique des états membres de la CEDEAO pour assurer un accès aux services énergétiques de bases à la population, et c'est également inclus dans les Objectifs de Développement Durable (ODD).

Produire sa propre électricité à partir du solaire photovoltaïque ouvre la perspective de participer à la sauvegarde de la planète tout en faisant des économies. La finalité d'un tel type de projet est de répondre au défi énergétique du Sénégal portant sur la diversification de son mix énergétique, l'absorption des nouvelles capacités de production, notamment issues des énergies renouvelables.

# *BIBLIOGRAPHIE*

- [1] A. Diagne, « Étude technico-économique d'une centrale solaire photovoltaïque de 10MwC raccordée au réseau HTA de la dorsale de Lour Escalé », 2023, Consulté le: 10 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/1786>
- [2] « Plan d'Actions National des Energies Renouvelables (PANER) SENEGAL Période [2015-2020/2030] », rapport, décembre 2015.
- [3] L. P. Afrique, « Climat : le JETP appliqué au Sénégal pour une « transition énergétique juste » », Le Point. Consulté le: 12 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.lepoint.fr/afrique/climat-le-jetp-applique-au-senegal-pour-une-transition-energetique-juste-23-06-2023-2525893\\_3826.php](https://www.lepoint.fr/afrique/climat-le-jetp-applique-au-senegal-pour-une-transition-energetique-juste-23-06-2023-2525893_3826.php)
- [4] « Renforcer et moderniser le réseau électrique de la SENELEC ». Consulté le: 23 octobre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.afd.fr/fr/carte-des-projets/renforcer-et-moderniser-le-reseau-electrique-de-la-senelec>
- [5] « Rapport annuel SENELEC », 2022.
- [6] « Elaboration du Plan stratégique 2019 – 2023 de l'ANER au Sénégal », rapport provisoire, 2023.
- [7] « Accueil », Ministère du Pétrole et des Energies. Consulté le: 16 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://energie.gouv.sn/>
- [8] « LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE AU SÉNÉGAL : ENJEUX ET DÉFIS », produit par Heinrich Böll Foundation, Dakar Juillet - Août 2023.
- [9] « ETUDE DE LA RENTABILITE DU PROJET D'AUTONOMISATION ENERGETIQUE DES EDIFICES PUBLICS : CAS DES HOPITAUX REGIONAUX DE THIES, DIOURBEL, NDIIOUM ET TAMBACOUNDA », mémoire Abou WADE, Université Gaston BERGER, 2020.
- [10] « Projets & Programmes – Aner ». Consulté le: 14 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.aner.sn/tous-les-projets/>
- [11] « Centre Hospitalier Régional de Thies ». Consulté le: 19 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: [http://www.chrthies.sn/Presentation.php?rubrique\\_principale=3&sous\\_rubrique=95&nomrubprinc=Administration&nomsousrub=DIRECTION](http://www.chrthies.sn/Presentation.php?rubrique_principale=3&sous_rubrique=95&nomrubprinc=Administration&nomsousrub=DIRECTION)
- [12] « HOPITAL REGIONAL HEINRICH LÜBKE DE DIOURBEL – Apprendre en ligne ». Consulté le: 19 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.clicours.com/hopital-regional-heinrich-lubke-de-diourbel/>
- [13] B. Bengelloun, « - Sénégal - Contribution sur la production de l'électricité », Mediapart. Consulté le: 9 août 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://blogs.mediapart.fr/boulker-bengelloun/blog/120120/senegal-contribution-sur-la-production-de-l-electricite>

[14] I. Ly, « La politique énergétique du Sénégal au lendemain de la Cop 21 : enjeux et perspectives », Consulté le: 8 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/soleilpourtous/chapter/la-politique-energetique-du-senegal-au-lendemain-de-la-cop-21-enjeux-et-perspectives/>

[15] « PROJET D'INSTALLATION D'EQUIPEMENTS SOLAIRES EN REPUBLIQUE DU SENEGAL DANS LE CADRE DU VOLET 2 DU PRODERE DE L'UEMOA », rapport provisoire PRODERE, mai 2016.

# *ANNEXES*



3. Avez-vous des factures d'électricité impayées ?

Oui

Non

Si oui, combien de mois ?

.....  
.....

4. Est-ce que l'installation de la centrale solaire a contribué à améliorer l'approvisionnement en énergie électrique de l'hôpital depuis sa mise en service?

Oui

Non

5. Quelle est la période d'occupation maximale et minimale de l'hôpital ?

Période maximale : .....

Période minimale : .....

6. D'autres charges électriques se sont-elles rajoutées à l'hôpital depuis l'installation de la minicentrale ?

Oui

Non

Si oui, lesquelles :

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|  |  |
|  |  |

6. Le système solaire est-il toujours fonctionnel ?

Oui

Non

Si non, quels sont les points de défaillance ?

.....  
.....

7. Est-ce qu'on peut avoir les copies des factures avant et après installation de 2017 à 2022 ?

.....  
.....

8. Est-ce qu'il y a depuis l'installation de nouveaux bâtiments ou appareils connectés au réseau de la SENELEC ?

.....  
.....

9. Est-ce que y'a des nouveaux équipements directement connectés sur la partie solaire après l'installation ?

Oui

Non

Si oui, à partir de quel moment ils ont été connectés sur le solaire ?

.....  
.....

### **PARTIE ORGANISATION**

1. Combien de services compte l'hôpital ?

.....  
.....

2. Quels types d'appareils électroniques sont utilisés ?

.....  
.....

3. Est-ce que vous pouvez mettre à notre disposition l'inventaire des appareils ?

.....  
.....

4. Quel est le nombre de patients par an ?

.....  
.....

### **PARTIE ECONOMIQUE**

1. Combien économisez-vous sur les factures avec l'installation de la minicentrale ?

.....  
.....

2. Combien vous coûte l'électricité annuellement ?

.....  
.....

### **PARTIE ENTRETIEN ET MAINTENANCE**

1. Rencontrez-vous des difficultés de fonctionnement de la minicentrale depuis son installation ?

Oui

Non

Si oui, lesquelles?

.....  
.....

2. Y a-t-il une équipe sur place qui s'occupe de l'entretien et de la maintenance ?

Oui

Non

Si oui,

Nom.....

Prénom.....

Numéro de téléphone.....

A quelle fréquence ? .....

2. Y a-t-il un plan d'entretien et de maintenance établi qui intègre le nettoyage périodique des panneaux solaires ?

Oui

Non

Si non,

Y a-t-il des nettoyages programmés en cas d'intempéries accompagnées de vent et/ou de sable ?

.....  
.....

3. Quel est le coût de l'entretien et de la maintenance ?

.....  
.....

4. Avez-vous quelques sollicitations par rapport au système solaire ?

Oui

Non

Si oui, lesquelles :

.....  
.....

5. Etes-vous satisfait de l'installation ?

Très satisfait :

Satisfait :

Insatisfait :

Neutre :

6. L'hôpital prévoit-il d'augmenter la puissance installée ?

.....  
.....

**Annexe 3** : Estimation de la production énergétique des minicentrales solaires

I. La production de la minicentrale solaire de Thiès de capacité 175 kWc

| Mois           | Nombre de jour de facturation | Rayonnement solaire moyenne (kWh/m <sup>2</sup> /mois) | Production mensuelle (kWh/mois) |
|----------------|-------------------------------|--|---------------------------------|
| Avril 2018     | 31                            | 186,3  | 26082                           |
| Mai 2018       | 30                            | 187,9  | 26306                           |
| Juin 2018      | 31                            | 175,8  | 24612                           |
| Juillet 2018   | 30                            | 187,2  | 26208                           |
| Aout 2018      | 31                            | 175,2  | 24528                           |
| Septembre 2018 | 31                            | 154,7  | 21658                           |
| Octobre 2018   | 36                            | 156  | 21840                           |
| Novembre 2018  | 25                            | 136,1  | 19054                           |
| Décembre 2018  | 31                            | 127  | 17780                           |
| Janvier 2019   | 33                            | 136  | 19040                           |
| Février 2019   | 30                            | 142  | 19880                           |
| Mars 2019      | 34                            | 183,5  | 25690                           |
| Totale (kWh)   |                               |  | 272678                          |

III. La production énergétique de la minicentrale solaire de Diourbel de capacité 125 kWc

| Mois           | Nombre de jour de facturation | Rayonnement solaire moyenne (kWh/m <sup>2</sup> /mois) | Production mensuelle (kWh/mois) |
|----------------|-------------------------------|--|---------------------------------|
| Avril 2018     | 31                            | 187  | 18 700                          |
| Mai 2018       | 30                            | 188,6  | 18 860                          |
| Juin 2018      | 31                            | 178,5  | 17 850                          |
| Juillet 2018   | 30                            | 188,3  | 18 830                          |
| Aout 2018      | 31                            | 176,6  | 17 660                          |
| Septembre 2018 | 31                            | 156,5  | 15 650                          |
| Octobre 2018   | 30                            | 155,7  | 15 570                          |
| Novembre 2018  | 31                            | 136,3  | 13 630                          |
| Décembre 2018  | 30                            | 127,7  | 12 770                          |
| Janvier 2019   | 31                            | 135,8  | 13 580                          |
| Février 2019   | 31                            | 141,2  | 14 120                          |
| Mars 2019      | 28                            | 182  | 18 200                          |
| Totale (kWh)   |                               |  | 195 420                         |

**Annexe 4 :** Simulateur de calcul des factures d'électricités de l'hôpital de Thiès pour le mois d'Avril 2018 : Calcul des factures reconstituées avec k1'

| <b>TAUX DE FACTURATION POUR USAGER TARIF GENERAL (TG)</b>                            |                |
|--|----------------|
| Tarif de prime fixe Professionnelle Grande Puissance - <b>TG</b> (FCFA/kWh/mois)     | <b>3861,91</b> |
| Tarif Professionnelle Grande Puissance - <b>TG - Hors pointe - k1</b> (FCFA/kWh)     | <b>85,29</b>   |
| Tarif Professionnelle Grande Puissance - <b>TG - Heure de pointe - k2</b> (FCFA/kWh) | <b>136,46</b>  |
| Tarif location et entretien compteur - Client MT/BT (FCFA/mois)                      | <b>19 191</b>  |
| Taux taxes communales  | <b>2,5%</b>    |
| Taux taxes sur la valeur Ajoutée   | <b>18%</b>     |

**PARAMETRE D'ENTREE (SEULE PARTIE A RENSEIGNER)**

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| Type d'usager                  | <b>TG</b> |
| Puissance souscrite (kW)       | 232       |
| Puissance relevée (kW)         | 60        |
| Nombre de jours de facturation | 31        |
| Energie Réactive (kVar)        | 19297     |
| <b>énergie k1' (kWh)</b>       | 54090     |
| énergie k2 (kWh)               | 5618      |

**PARAMETRE DE SORTIE**

|  |                  |
|--|------------------|
| Prime fixe (Fcfa)                              | <b>913 146</b>   |
| Coût de l'Energie Hors pointe - k1 (Fcfa)      | <b>4 613 336</b> |
| Coût de l'Energie Heures de pointe - k2 (Fcfa) | <b>766 632</b>   |
| Facteur de puissance: Cosphi                   | <b>0,95</b>      |
| Taux de Majoration                             | -                |
| Taux de Minoration                             | -                |
| Application Cosphi (Fcfa)                      | -                |
| Redevance (Fcfa)                               | <b>19 831</b>    |
| Taxes communales (Fcfa)                        | -                |
| Taxes sur la Valeur Ajoutée (Fcfa)             | <b>1 136 330</b> |

**Montant de la Facture (Fcfa)****7 449 275**

## Annexe 5 : Estimation des coûts évités des hôpitaux

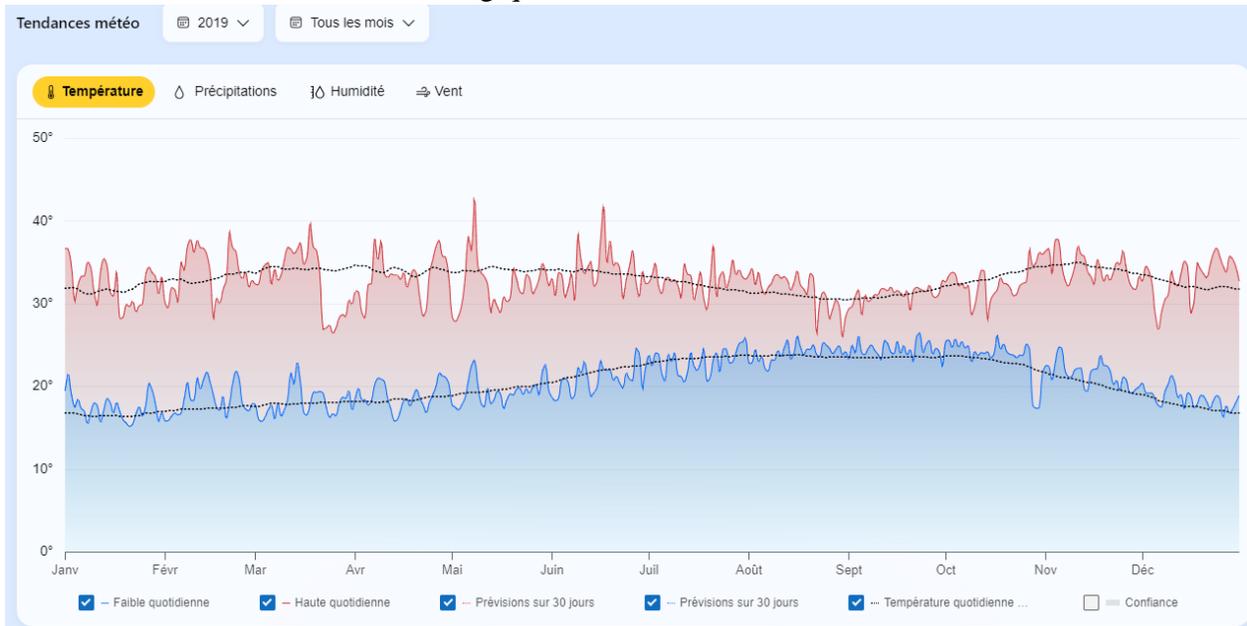
### I. Les coûts évités de l'hôpital de Thiès un an après l'installation de la minicentrale

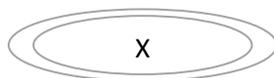
| Mois    | Consommation k1(kWh) | Puissance souscrite(kW) | Puissance relevée (kW) | Nombre de jour de facturation | Production de la centrale(kWh) | Energie k'=k1+Pc(kWh) | Energie k2 kWh | Montant facture (présence centrale)FCFA | Montant facture reconstituée (absence centrale)FCFA | Coûts évités FCFA |
|---------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------|---|---|-------------------|
| Avr-18  | 28 008               | 232                     | 60                     | 31                            | 26 082                         | 54 090                | 5618           | 4 824 326                               | 7 393 583   | 2 569 250         |
| Mai-18  | 24 302               | 232                     | 72                     | 30                            | 26 306                         | 50 608                | 5725           | 4 433 065                               | 7 027 624   | 2 594 559         |
| juin-18 | 34 094               | 232                     | 114                    | 31                            | 24 612                         | 63 706                | 6609           | 5 596 408                               | 8 512 473   | 2 916 065         |
| juil-18 | 41 943               | 232                     | 90                     | 30                            | 26 208                         | 68 151                | 8346           | 6 630 533                               | 9 198 823   | 2 568 290         |
| août-18 | 43 858               | 232                     | 126                    | 31                            | 24 528                         | 68 386                | 8962           | 6 957 966                               | 9 355 994   | 2 398 028         |
| sept-18 | 41 261               | 232                     | 102                    | 31                            | 21 658                         | 62 919                | 8174           | 6 569 712                               | 8 683 975   | 2 114 263         |
| oct-18  | 48 272               | 232                     | 108                    | 36                            | 21 840                         | 70 112                | 9865           | 7 725 172                               | 9 821 801   | 2 096 629         |
| nov-18  | 25 785               | 232                     | 60                     | 25                            | 19 054                         | 44 839                | 5497           | 4 368 036                               | 6 244 610   | 1 876 574         |
| déc-18  | 27 539               | 232                     | 60                     | 31                            | 17 780                         | 45 319                | 5930           | 4 827 364                               | 6 567 332   | 1 739 968         |
| Janv-19 | 25 954               | 232                     | 66                     | 33                            | 19 040                         | 44 994                | 5755           | 4 710 695                               | 6 577 407   | 1 866 712         |
| févr-19 | 26 374               | 232                     | 66                     | 30                            | 19 880                         | 46 254                | 5546           | 4 612 771                               | 6 564 106   | 1 951 335         |
| mars-19 | 28 336               | 232                     | 72                     | 34                            | 25 690                         | 54 026                | 6095           | 5 040 685                               | 7 569 179   | 2 528 494         |
|         |                      |                         |                        |                               |                                |                       |                |   | Coût évité annuel                                   | 27 220 167        |

### II. Les coûts évités de l'hôpital de Diourbel un an après l'installation de la minicentrale

| Mois    | Consommation k1(kWh) | Puissance souscrite(kW) | Puissance relevée (kW) | Nombre de jour de facturation | Production de la centrale(kWh) | Energie k'=k1+Pc(kWh) | Energie k2 (kWh) | Montant facture (présence centrale)FCFA | Montant facture reconstituée (absence centrale)FCFA | Coûts évités FCFA |
|---------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------|---|---|-------------------|
| avr-18  | 42 718               | 146                     | 88                     | 31                            | 18 700                         | 61 418                | 6 567            | 6 054 086                               | 7 876 720   | 1 822 634         |
| mai-18  | 36 770               | 146                     | 88                     | 30                            | 18 860                         | 55 630                | 6 887            | 5 757 785                               | 7 326 778   | 1 568 993         |
| juin-18 | 49 738               | 146                     | 88                     | 31                            | 17 850                         | 67 588                | 6 868            | 6 809 062                               | 8 541 129   | 1 732 067         |
| juil-18 | 53 620               | 146                     | 88                     | 30                            | 18 830                         | 72 450                | 8 274            | 7 403 656                               | 9 229 148   | 1 825 492         |
| août-18 | 53 125               | 146                     | 88                     | 31                            | 17 660                         | 70 785                | 7 899            | 7 315 952                               | 9 025 239   | 1 709 287         |
| sept-18 | 52 158               | 146                     | 88                     | 31                            | 15 650                         | 67 808                | 7 680            | 7 183 368                               | 8 396 245   | 1 312 877         |
| oct-18  | 52 158               | 146                     | 128                    | 30                            | 15 570                         | 67 728                | 7 680            | 7 160 870                               | 8 666 941   | 1 706 071         |
| nov-18  | 51 525               | 146                     | 128                    | 31                            | 13 630                         | 65 155                | 7 586            | 7 104 525                               | 8 412 851   | 1 308 326         |
| déc-18  | 18 544               | 146                     | 168                    | 30                            | 12 770                         | 31 314                | 17 347           | 9 854 103                               | 12 167 463  | 2 313 360         |
| janv-19 | 42 759               | 146                     | 138                    | 31                            | 13 580                         | 56 609                | 10 688           | 8 062 279                               | 10 541 519  | 2 479 240         |
| févr-19 | 56 126               | 146                     | 168                    | 31                            | 14 120                         | 70 246                | 12 600           | 10 229 993                              | 12 928 376  | 2 698 383         |
| mars-19 | 68 893               | 146                     | 240                    | 28                            | 18 200                         | 87 093                | 14 422           | 12 046 198                              | 15 404 866  | 3 358 668         |
|         |                      |                         |                        |                               |                                |                       |                  |   | Coût évité annuel                                   | 23 835 398        |

## Annexe 6 : Les conditions météorologiques de Thiès et de Diourbel en 2019



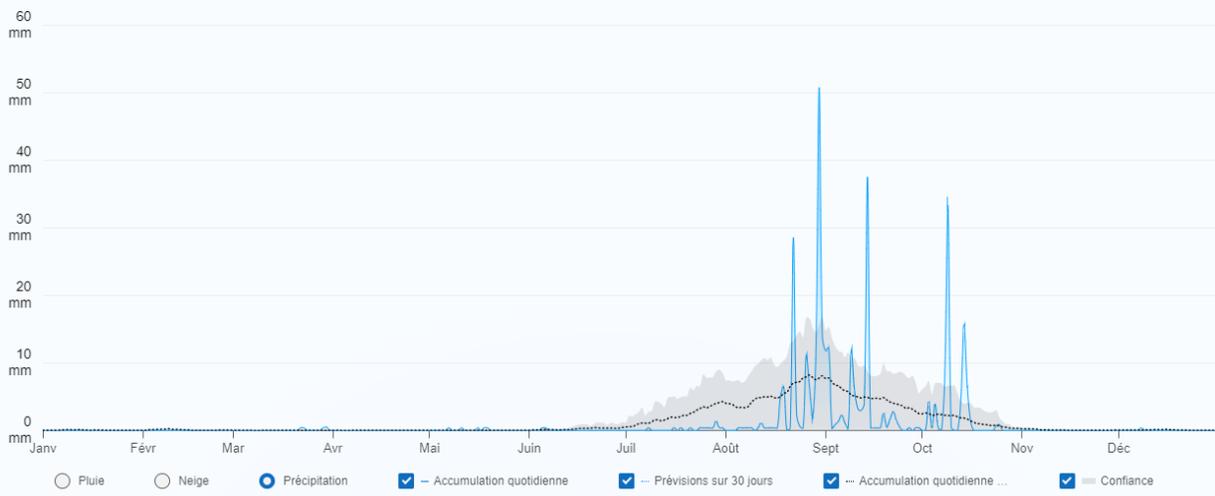


Tendances météo

2019

Tous les mois

Température Précipitations Humidité Vent



Tendances météo

2019

Tous les mois

Les températures cette année sont nettement sup. à la normale : +2°

Température Précipitations Humidité Vent

