



UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Département de Physique

Mention : Physique et Applications

Mémoire de MASTER

Spécialité : Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique

Option : Énergies Solaire et Bioénergie

Sujet :

**AUDIT ENERGETIQUE DU BATIMENT DE LA SAED DE  
SAINT LOUIS :  
REDUCTION DE LA FACTURE D'ELECTRICITE PAR UN  
SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE**

**Maître de Stage:**

M. Modou DIOP

**Encadreur:**

Dr.Serigne THIAO

**Présenté et soutenu par:**

Cheikh DIOUF

Soutenu publiquement le 10/08/2022 devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Qualité	Etablissement
NDIAYE Lat Grand	Professeur Titulaire	Président jury	UASZ
TINE Modou	Assistant	Rapporteur	UASZ
THIAME Moustapha	Maitres de Conférences CAMES	Examineur	UASZ
DIOP Modou	Chef de projet	Maitre de Stage	AEME
THIAO Serigne	Assistant	Directeur	UASZ

## **Dédicace**

Du plus profond de mon cœur, je dédie ce travail à :

- Ma **Maman** qui a toujours cru en moi et m'épaulé tout le temps dans les moments difficiles **MERCI MAMAN MAREME FALL** ;
- Mon **Papa** pour son soutien et ses sacrifices ;
- Mes **frères** et **sœurs** plus particulièrement à mes frères **Ndongo DIOUF, son ami Mor DIOP et Daouda** pour leur soutien permanent ;
- Et en fin mes amis d'enfance en déléguant **Ousmane NGOM, Sanou NDIAYE, Ndiamé NIANG et Samba gor DIOUF**

## **REMERCIEMENTS**

En premier lieu, je tiens à rendre grâce à Dieu le Tout Puissant qui m'a donné la force, le courage et la santé pendant ma formation, la préparation et la réalisation de ce mémoire et prier sur le sceau des prophètes Mohamed (PSL).

Je ne saurais au terme de ce travail m'empêcher d'adresser ma profonde gratitude à tous les membres de ma famille, mes parents, mes oncles, mes frères et sœurs pour leur soutien permanent, à tous ceux qui de près ou de loin, directement ou indirectement, de façon active ou même passive ont apporté leurs contributions pour l'aboutissement de ce présent mémoire et à l'édification de ce que je deviens aujourd'hui.

Je remercie particulièrement toute l'équipe pédagogique de l'UFR ST Section physique qui m'a autorisé à bénéficier du Master Interuniversitaire en Energies Renouvelables et efficacité énergétique plus particulièrement au responsable du master, professeur **Lat grand NDIAYE** qui œuvre pour la bonne marche de cette formation et mon encadreur **Monsieur Serigne THIAO** qui n'a ménagé aucun effort pour la réussite dans la confection. Un grand merci au **Dr.THIAO** pour les conseils et pour le soutien sans faille. Je remercie également **Monsieur Modou DIOP** mon maître de stage qui m'a facilité le stage ainsi que tous les professeurs de l'UFR ST. Mes remerciements vont à l'endroit de mes camarades de promotion avec qui nous avons cheminé durant toute la formation et dont **Fallou DIAGNE** en est le responsable.

Je remercie le président du jury professeur **Lat grand NDIAYE** ainsi que les membres : **M. Modou TINE** le rapporteur et **M. Moustapha THIAME** l'examineur qui nous ont accompagné durant toute la formation de la licence jusqu'au master et d'avoir bien voulu participer à l'évaluation de ce travail.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à l'endroit de l'ensemble des membres du PIT (point d'information territorial) de l'AEME Saint louis dirigé par l'ingénieur **Modou DIOP**, l'assistante **Penda WILLANE** et particulièrement le Directeur technique de l'AEME de Dakar **Monsieur Samba DEME**. Je termine par remercier l'ensemble des membres de l'Amicale des étudiants ressortissants de Bambey à Ziguinchor au nom de son président en exercice **Ibrahima THIAM**, ainsi que tous les membres du Dahira Mouride de **Matlabul fawzayni** à Ziguinchor sans oublier mon parent tuteur **Papa BADIANE**.

## **TABLES DES MATIERES**

<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DES STRUCTURES ET ETAT DES LIEUX.....</b>	<b>2</b>
<b>I.1 PRÉSENTATION DE L’AEME ET LA DESCRIPTION DE LA SAED.....</b>	<b>2</b>
<b><i>I.1.1 Présentation de l’Agence pour l’Economie et la maîtrise de l’Energie (AEME) .....</i></b>	<b>2</b>
<b>I.1.1.1 Missions de l’AEME.....</b>	<b>2</b>
<b>I.1.1.2 Politique de maîtrise de l’énergie.....</b>	<b>3</b>
<b><i>I.1.2 Description de la SAED.....</i></b>	<b>3</b>
<b>I.1.2.1 La mission de la SAED.....</b>	<b>4</b>
<b>I.1.2.2 Fonction de la SAED.....</b>	<b>4</b>
<b>I.1.2.3 Les Domaines d’Activités.....</b>	<b>4</b>
<b>I.2 DESCRIPTION DU SITE ET DU BATIMENT EXISTANT (ETAT DES LIEUX)</b>	
.....	<b>5</b>
<b><i>I.2.1 Caractéristiques spécifiques des locaux et vocation du bâtiment.....</i></b>	<b>5</b>
<b><i>I.2.2 Etat des lieux de l’enveloppe existante.....</i></b>	<b>5</b>
<b>I.2.2.1 Les murs extérieurs.....</b>	<b>5</b>
<b>I.2.2.2 Les menuiseries extérieures.....</b>	<b>6</b>
<b>I.2.2.3 Toiture terrasse.....</b>	<b>8</b>
<b>I.2.2.4 Plancher bas.....</b>	<b>9</b>
<b>CHAPITRE II : ANALYSES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS DE CONSOMMATIONS OBTENUS.....</b>	<b>10</b>
<b>II.1 ANALYSE DES CONSOMMATION ET BILAN ENERGETIQUE.....</b>	<b>11</b>
<b><i>II.1.1 Etude de la facturation.....</i></b>	<b>11</b>
<b><i>II.1.2 Analyse des consommations d’électricités.....</i></b>	<b>11</b>
<b><i>II.1.3 Redressement de la puissance souscrite.....</i></b>	<b>14</b>
<b><i>II.1.4 Les puissances maximales.....</i></b>	<b>14</b>
<b>II.2 MESURES ET SITUATION DE RÉFÉRENCE.....</b>	<b>15</b>
<b><i>II.2.1 Généralité du bâtiment.....</i></b>	<b>16</b>

II.2.2	<i>Analyse des mesures</i> .....	17
II.2.3	<i>La consommation électrique du bâtiment</i> .....	21
II.2.3.1	Le facteur de puissance.....	22
II.2.3.2	Les Harmoniques.....	22
II.2.4	<i>Situation de référence</i> .....	24
II.3	<b>PROPOSITIONS D'AMÉLIORATION POUR RÉDUIRE LA FACTURE D'ÉLECTRICITÉ</b> .	25
II.3.1	Isolation des murs.....	25
II.3.2	Remplacement des menuiseries.....	27
II.3.3	Propositions d'amélioration de la performance énergétique.....	27
<b>CHAPITRE III : SYSTEME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDE AU RESEAU LOCAL DE LA SAED</b> .....		
<b>INTRODUCTION</b> .....		
III.1	<b>CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE</b> .....	33
III.1.1	<i>Choix du système photovoltaïque</i> .....	33
III.1.1.1	Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau (MOINE avril,18).....	34
III.1.1.1.1	.....Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau avec injection totale	34
III.1.1.1.1.1	Injection totale sans stockage.....	34
III.1.1.1.1.2	Injection totale avec stockage.....	35
III.1.1.1.2	.....Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau avec autoconsommation (MOINE avril, 18).....	36
III.1.1.1.2.1	Autoconsommation sans stockage.....	36
III.1.1.1.2.2	Autoconsommation avec stockage.....	37
III.1.2	<i>Dimensionnement du système photovoltaïque connecté au réseau (POUYE 2022)</i> .....	37
III.1.2.1	Détermination de la surface disponible sur le toit.....	38
III.1.2.2	Choix des panneaux à installer.....	39
III.1.2.3	Nombre de panneaux en parallèle : .....	39
III.1.2.4	Nombre de panneaux en série : .....	39
III.1.2.5	Orientation et inclinaison des panneaux.....	39
III.1.2.6	Choix du régulateur et de l'onduleur.....	39
III.1.2.7	Les critères de choix d'un régulateur : .....	39
III.1.2.8	Choix de l'onduleur Solaire : .....	41
III.1.2.9	Section des câbles en mm <sup>2</sup> .....	41

<b>III.2</b>	<b>ETUDE FINANCIÈRE DE RENTABILITÉ DU PROJET</b> .....	42
	<i>III.2.1 Première proposition : Système photovoltaïque pour assurer l'alimentation de l'éclairage. (Voir les résultats de simulation de PVsyst en annexe 7)</i> .....	43
	III.2.1.1 Evaluation du cout d'investissement.....	43
	III.2.1.2 Economie réalisée.....	43
	<i>III.2.2 Deuxième proposition : Système photovoltaïque pour l'alimentation des équipements bureautique (Voir les résultats de simulation PVsyst en annexe 8)</i> .....	44
	III.2.2.1 Evaluation du cout d'investissement.....	44
	III.2.2.2 Economie réalisée.....	44
<b>III.3</b>	<b>SYNTHÈSE DES PROPOSITIONS D'AMÉLIORATION POUR RÉDUIRE LA FACTURE</b> ....	45
	<i>III.3.1 Premier cas de synthèse des propositions</i> .....	45
	<i>III.3.2 Deuxième cas de synthèse des propositions</i> .....	46
	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVE</b> .....	47
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	48
	<b>ANNEXES</b> .....	I

## LISTE DES FIGUR

<b>Figure 1. 1</b> : image de la vue de face du bâtiment de la SAED ( <b>source</b> Cheikh DIOUF : téléphone portable).....	4
<b>Figure 1. 2</b> : image satellite du bâtiment SAED pointée en rouge avec ses coordonnées géographiques (Source : Google Map).....	5
Y	
Figure 2. 1 : Le diagramme d'évolution de la facture d'électricité des trois dernières années	13
<b>Figure 2. 2</b> : la part de chaque paramètre en pourcentage.....	14
<b>Figure 2. 3</b> : Une mallette d'intelligence visualisée et branchée au niveau du coffret général ou la boîte de départ SENELEC.....	16
<b>Figure 2. 4</b> : Un voltcraft en image pour mesurer les grandeurs d'un appareil électrique.....	16
<b>Figure 2. 5</b> : Le diagramme de variation de la tension simple des trois phases en (V).....	18
<b>Figure 2. 6</b> : Le diagramme de variation de la tension composée des trois phases.....	19
<b>Figure 2. 7</b> : Le diagramme de variation de l'intensité du courant des trois phases en A.....	20
<b>Figure 2. 8</b> : Le diagramme de variation de la puissance des trois phases en kW.....	21
<b>Figure 2. 9</b> : Le diagramme d'évolution de l'énergie active secteur en kWh.....	22
<b>Figure 2. 10</b> : Action d'un muret : cas d'une hauteur solaire faible (Serigne THIAO,2014) .	26
<b>Figure 2. 11</b> : Action d'un muret : cas d'une hauteur solaire moyenne (Serigne THIAO,2014) .....	26
.....	
<b>Figure 3. 1</b> : Exemple de système photovoltaïque à injection totale sans stockage ( Source : article de MOINE gérard).....	35
<b>Figure 3. 2</b> : Exemple de système photovoltaïque à injection totale avec stockage (source : article de MOINE gérard).....	35
<b>Figure 3. 3</b> : Exemple de système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage (Source : article de MOINE gérard).....	36
<b>Figure 3. 4</b> : Exemple de système photovoltaïque avec autoconsommation avec stockage (Source : article de MOINE gérard).....	37
<b>Figure 3. 5</b> : Le plan du bâtiment.....	38
<b>Figure 3. 6</b> : Vue de dessus du toit du bâtiment de la SAED à saint louis.....	38
<b>Figure 3. 7</b> : Régulateur de charge SmartSolar MPPT Victron Energy (Source : internet nrjsolaire.com).....	40

<b>Figure 3. 8</b> : Onduleur solaire MPPT 3Kva (Source : internet nrjsolaire.com).....	41
<b>Figure 3. 9</b> : Exemple de système photovoltaïque à injection totale sans stockage (Source : article de <b>MOINE gérard</b> ).....	42

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1. 1</b> : Plan stratégique de développement 2019-2023.....	3
<b>Tableau 1. 2</b> : tableaux de description du site.....	5
<b>Tableau 1. 3</b> : Vu de face du bâtiment de la SAED.....	6
<b>Tableau 1. 4</b> : Performance énergétique des murs extérieurs.....	6
<b>Tableau 1. 5</b> : vu de face des vitres et leur état.....	7
<b>Tableau 1. 6</b> : Performance énergétique de menuiseries extérieures.....	7
<b>Tableau 1. 7</b> : La toiture terrasse et son état.....	8
<b>Tableau 1. 8</b> : Performance énergétique de la toiture terrasse.....	8
<b>Tableau 1. 9</b> : Analyse visuelle du plancher bas.....	9
<b>Tableau 1. 10</b> : Performance énergétique du plancher bas.....	9
Y	
<b>Tableau 2. 1</b> : tableau de tarification de la SENELEC (SENELEC 2017).....	11
<b>Tableau 2. 2</b> : Les consommations électriques mensuelles des trois dernières années du bâtiment données par la SENELEC.....	12
<b>Tableau 2. 3</b> : tableau des montants (K1, K2), prime fixe, pénalités, et les taxes.....	13
<b>Tableau 2. 4</b> : tableau des puissances relevées et la puissance souscrite (voir courbe en annexe 4).....	15
<b>Tableau 2. 5</b> : Tableau du bilan énergétique théorique relevé dans le bâtiment.....	25
<b>Tableau 2. 6</b> : Tableau d'instrumentation du site avec des économies réalisées.....	28
<b>Tableau 2. 7</b> : Tableau des économies réalisées avec les LED.....	29
<b>Tableau 2. 8</b> : Tableau des économies réalisées avec la veille des ordinateurs.....	29
<b>Tableau 2. 9</b> : Tableau des économies réalisées avec la puissance souscrite.....	30
<b>Tableau 2. 10</b> : Tableau des économies réalisées avec le système de climatisation.....	30
<b>Tableau 2. 11</b> : Tableau récapitulatif du banc de condensateur.....	31
<b>Tableau 2. 12</b> : Tableaux des économies réalisées avec les batteries de condensateur.....	32
<b>Tableau 3. 1</b> : Tableau des économies réalisées avec le système photovoltaïque cas de l'éclairage.....	43
<b>Tableau 3. 2</b> : Tableau de décompte des technologies photovoltaïque.....	44
<b>Tableau 3. 3</b> : Tableau des économies réalisées avec le système PV cas des équipements.....	44
<b>Tableau 3. 4</b> : Tableau des technologies pour le PV.....	45

**Tableau 3. 5** : Tableau de synthèse des actions et la proposition 1 pour les économies réalisées.....45

**Tableau 3. 6** : Tableau synthétique des actions et la proposition 2 des économies réalisées...46

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**AEME** : Agence pour l'économie et la maîtrise de l'énergie

**ANEE** : Agence nationale de l'économie d'énergie

**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone

**GES** : gaz à effet de serre

**Ks** : facteur de simultanéité

**Ku** : facteur d'utilisation

**LED** : diode électroluminescence (light emitting diode)

**MDE** : Maîtrise de la demande d'énergie

**MPPT** : Maximum Power Point

**MT** : Moyenne tension

**MTTC** : Montant total toutes taxes

**Pn** : Puissance nominale

**PV** : Photovoltaïque

**ROI** : Retour sur investissement

**SAED** : Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du Fleuve Sénégal et des Vallées du Fleuve Sénégal et de la Falémé

**SENELEC** : Société nationale d'électricité du Sénégal

**SONATEL** : Société nationale de télécommunication du Sénégal

**ST** : Sciences et Technologies

**TG** : Tarif général

**THD** : Taux de distorsion harmonique

**UFR** : Unité de formation et de recherche

## **RESUME**

Dans un contexte de déficit énergétique, l'état du Sénégal dans son programme plan Sénégal émergent a mis en place une agence pour l'économie et la maîtrise de l'énergie (AEME) pour assurer l'audit énergétique des structures publiques et privés. La consommation énergétique du bâtiment de la SAED connaît un accroissement qui se manifeste par l'augmentation continue de la facturation électrique au fil des années. D'où la naissance de notre sujet à auditer le bâtiment de la SAED. L'audit décèle que cette augmentation a pour cause une gestion non efficace des appareils consommateurs d'électricité notamment la climatisation qui représente à elle seule, 42,02% des consommations énergétiques.

A partir de cette analyse de la facturation électrique, il s'est avéré nécessaire de proposer à la SAED sous forme d'actions des solutions sur les surcoûts notés au niveau des factures mensuelles électriques données par la SENELEC, de faire l'isolation des murs de l'enveloppe du bâtiment et d'installer des batteries de condensateur dans le but d'optimiser cette facturation.

Toujours au niveau des solutions un système solaire photovoltaïque a été proposé à la SAED dans le but d'économiser de l'énergie, son dimensionnement ainsi que son étude financière sont bien détaillés dans le document.

En premier lieu on s'intéresse à la présentation de l'AEME : agence pour l'économie et la maîtrise de l'énergie et la structure à auditer : la SAED dont nous avons fait son bilan énergétique.

Et enfin une étude financière a été proposée à la SAED et qui donne deux propositions : la première proposition étudiée, donne une économie financière annuelle de 12 430 523 FCFA et 178,92 tonnes équivalent de CO<sub>2</sub> à éviter pour une durée de retour sur investissement de deux(2) années et dix(10) mois ; et celle de la deuxième s'évalue avec une économie financière annuelle de 19 743 648 FCFA et 2142,9 tonnes équivalent de CO<sub>2</sub> à éviter pour une durée de retour sur investissement de deux(2) années et 2 mois.

**Mots Clés : audit énergétique; économie d'énergie ; efficacité énergétique; isolations thermiques.**

## **ABSTRACT**

In a context of energy deficit, the state of Senegal in its emerging Senegal plan program has set up an agency for the economy and energy management (AEME) to ensure the energy audit of public and private structures. The energy consumption of the SAED building is experiencing an increase which is manifested by the continuous increase in electricity billing over the years. Hence the birth of our subject to audit the SAED building. The audit reveals that this increase is due to inefficient management of electricity-consuming appliances, in particular air conditioning, which alone represents 42.02% of energy consumption.

Based on this analysis of electricity billing, it proved necessary to propose solutions to SAED in the form of actions on the additional costs noted in the monthly electricity bills given by SENELEC, to insulate the walls of the building envelope and to install capacitor banks in order to optimize this billing.

Still in terms of solutions, a photovoltaic solar system was proposed to SAED in order to save energy, its sizing and its financial study are well detailed in the document.

First of all we are interested in the presentation of the AEME: agency for the economy and the control of energy and the structure to be audited: the SAED of which we made its energy balance.

And finally a financial study was proposed to SAED and which gives two proposals: the first proposal studied, gives an annual financial saving of 12,430,523 FCFA and 178.92 tons equivalent of CO<sub>2</sub> to be avoided for a return on investment period of two (2) years and ten (10) months; and that of the second is evaluated with an annual financial saving of 19,743,648 FCFA and 2,142.9 tonnes of CO<sub>2</sub> equivalent to be avoided for a return on investment period of two (2) years and 2 months.

**Keywords: energy audit; energy economy ; energy efficiency; thermal insulations.**

## **INTRODUCTION GENERALE**

L'augmentation de la demande d'énergie, les fluctuations des prix pétroliers, l'incertitude pesant sur les approvisionnements énergétiques et les craintes suscitées par le réchauffement climatique planétaire ont renforcé la priorité accordée par plusieurs pays à travers le monde aux politiques d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, notamment par la mise en œuvre de nouveaux instruments adaptés à leurs spécificités nationales aussi bien sur le plan économique que sur le plan social et environnemental. L'efficacité énergétique, parallèlement au développement des énergies renouvelables, constitue une priorité majeure dans la stratégie énergétique nationale.

Afin de contribuer à remédier à la situation énergétique actuelle, la Banque Mondiale appuie le gouvernement du Sénégal dans la conception d'un plan d'efficacité énergétique (PEE) dans le secteur public et la définition de mécanismes appropriés pour la mise en œuvre du plan. Le secteur public mérite une attention particulière, non seulement du fait de l'étendue de son patrimoine et de l'importance de sa consommation d'énergie, mais aussi puisqu'il doit servir d'exemple aux autres secteurs.

D'où la naissance de l'AEME qui est une agence de l'Etat du Sénégal et a comme objectif : réduire les factures d'électricité des infrastructures publiques ; diminuer les gaz à effet de serre : le taux de CO<sub>2</sub>. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre mémoire dont le thème s'intitule « Audit énergétique du bâtiment de la SAED à Saint louis ».

L'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment constitue une source importante d'économie d'énergie dans les pays en développement. En effet, les bâtiments occupent une part importante dans la demande en énergie dans ce pays.

Dans le but de maîtriser la consommation énergétique et d'éviter des factures électriques importantes, une gestion optimale de la consommation énergétique s'avère nécessaire.

Dans cette étude, il sera principalement question d'analyser les factures électriques du bâtiment de la SAED afin de les optimiser. Nous allons également étudier l'enveloppe du bâtiment sur l'économie d'énergie et sur l'amélioration du confort thermique. Nous ferons une étude également sur l'installation du système solaire photovoltaïque sur le toit du bâtiment.

À la fin de cette étude, nous allons proposer des mesures d'économie d'énergie à la SAED dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment pour réduire leur facture d'électricité ainsi que l'émission du gaz à effet de serre, le CO<sub>2</sub>.

# CHAPITRE I : PRESENTATION DES STRUCTURES ET ETAT DES LIEUX

## INTRODUCTION

Dans ce chapitre, à priori on va présenter les deux structures : à savoir

La structures d'accueil l'AEME : Agence pour l'économie et la maîtrise de l'énergie et la structure à auditer la SAED : Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du Fleuve Sénégal et des Vallées du Fleuve Sénégal et de la Falémé.

Pour terminer on s'intéresse à l'état des lieux du bâtiment de la SAED afin d'étudier la performance thermique du bâtiment.

### I.1 PRÉSENTATION DE L'AEME ET DESCRIPTION DE LA SAED

#### I.1.1 Présentation de l'Agence pour l'Economie et la maîtrise de l'Energie (AEME)

Pour présenter AEME, on procède sur l'étape historique d'abord avant de parler de ses missions et terminer avec sa politique de maîtrise l'énergie:

L'AEME était ANNEE : Agence Nationale de l'Economie d'Energie avant de devenir AEME comme étant une agence pour l'économie et la maîtrise de l'énergie.

- Création de l'Agence Nationale de l'Economie d'Energie (ANEE) par décret n° 2011 – 1054 du 28 juillet 2011;
- ANEE devient en 2012 L'Agence pour l'Economie et le Maîtrise de l'Energie (AEME)
- AEME est un établissement de droit public doté d'une autonomie financière et administrative
- Tutelle technique : Ministère du Pétrole et des Energies
- Tutelle financière : Ministère de l'Economie et des Finances assure la tutelle financière

##### I.1.1.1 Missions de l'AEME

Comme toutes les institutions publiques l'AEME a aussi des missions à atteindre comme :

- Identifier, d'évaluer et d'exploiter le potentiel d'économie d'énergie dans les différents secteurs d'activité
- Proposer des stratégies de maîtrise de l'énergie
- Conduire et évaluer la mise en œuvre des programmes d'économie d'énergie et d'efficacité énergétique
- Conseiller et apporter toute assistance technique et financière pour la rationalisation des consommations d'énergie
- Promouvoir les normes et règlements liés à l'utilisation rationnelle de l'énergie et aux équipements économes en énergie
- Gérer les financements relatifs aux projets et programmes pour la maîtrise de l'énergie
- Instruire les requêtes de financement externe

- Favoriser les échanges aux plans national, régional et international sur les expériences et réalisations dans le domaine de la maîtrise de l'énergie
- Mettre en place un programme d'information, de communication et de sensibilisation auprès des professionnels et du grand public

### I.1.1.2 Politique de maîtrise de l'énergie

L'AEME a une politique de maîtrise de l'énergie très dynamique détaillée comme suit :

Impulser une dynamique nationale de maîtrise de l'énergie pour tous les acteurs et réaliser 9,6% d'économies d'énergie sur les consommations finales d'électricité (base 2018) et 39,8 milliards de FCFA de baisse sur les dépenses annuelles d'électricité de tous les acteurs dans les 5 ans à venir.

Les économies réalisées en 2018 sont les suivantes :

8,342 milliards de FCFA sur la facture publique annuelle d'électricité

320 822 MWh sur les consommations finales d'énergie

224 575 tonnes d'émissions de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>) (AEME 2018)

Dans la suite un tableau de plan stratégique de développement 2019-2023 est établi et bien détaillé ;

**Tableau 1. 1 : Plan stratégique de développement 2019-2023**



Après la présentation de AEME on va procéder à la description de la SAED de Saint Louis.

### I.1.2 Description de la SAED

SAED : Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du Fleuve Sénégal et des Vallées du Fleuve Sénégal et de la Falémé.

### **I.1.2.1 La mission de la SAED**

La mission Spécifique de la SAED est de promouvoir, en Rive Gauche du Fleuve Sénégal et de la Falémé, le Développement de l'Agriculture Irriguée.

### **I.1.2.2 Fonction de la SAED**

Une Fonction de Maîtrise d'Ouvrage Délégué de l'Etat pour les investissements publics en Matière d'Aménagement et d'Infrastructures Hydro agricoles.

Contribuer significativement à la réduction de la pauvreté dans les Régions de St-Louis, Matam et le Département de Bakel.

Riverains du Fleuve Sénégal et de la Falémé en participant à l'aménagement et l'Equipement de ces Territoires, au développement Agricole et à la préservation de l'environnement.

Une Fonction de Conseil, d'Appui et d'Opérateur auprès des différentes catégories Socioprofessionnelles et Collectivités Locales Concernées directement ou indirectement par l'Agriculture Irriguée.

### **I.1.2.3 Les Domaines d'Activités**

Les domaines d'activités sont :

- Réalisation des Investissements Publics
- Maintenances des Infrastructures Hydroagricoles
- Gestion de l'eau et de l'Environnement
- Aménagement Rural et Sécurisation Foncière
- Appui à la Mise en Valeur et à la professionnalisation



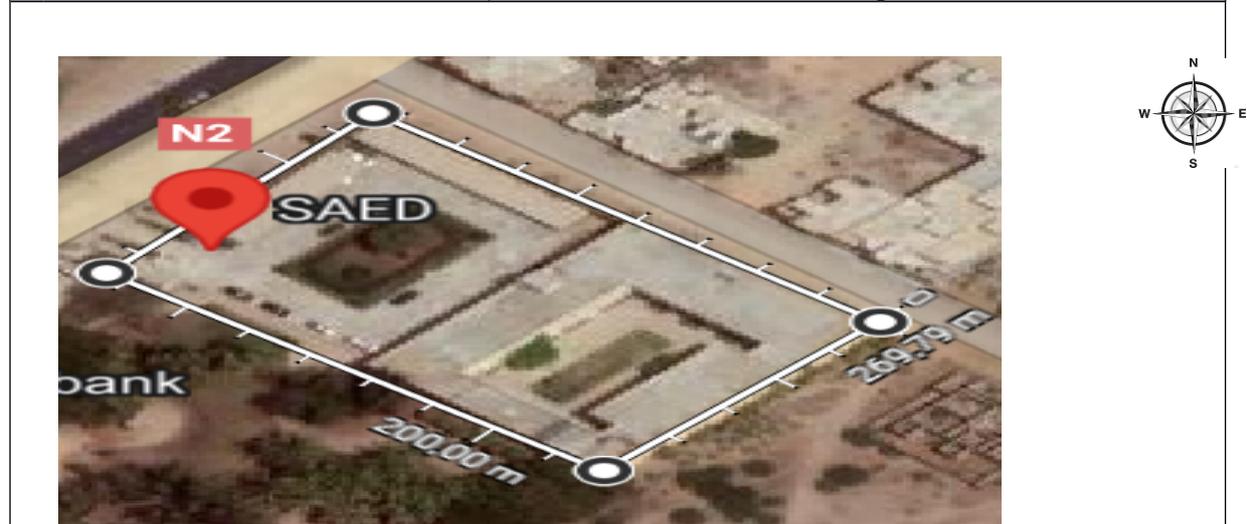
**Figure 1. 1 : image de la vue de face du bâtiment de la SAED (source Cheikh DIOUF :  
téléphone portable)**

## I.2 DESCRIPTION DU SITE ET DU BATIMENT EXISTANT (ETAT DES LIEUX)

### I.2.1 Caractéristiques spécifiques des locaux et vocation du bâtiment

**Tableau 1. 2 : La description du site**

Année de construction	2006
Nombre de bâtiments	4
Nombre de niveaux	2 (R+1)
Surface totale	4149 m <sup>2</sup>
Périmètre	264 m
Effectif	Environ 500 personnes



**Figure 1. 2 :** image satellite du bâtiment SAED pointée en rouge avec ses coordonnées géographiques (Source : Google Map)

### I.2.2 Etat des lieux de l'enveloppe existante

#### I.2.2.1 Les murs extérieurs

Pour calculer le coefficient de transmission thermique surfacique ( $U_p$ ) on procède comme suit :

$$U_p \quad i \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{si} + R_{mur} + R_{se}} = W/m^2.K \quad (1-$$

1)

$$R_{mur} = \frac{e}{\lambda} = W/m^2.K \text{ (Résistance thermique surfacique) et } R_{si} + R_{se} = 0,17 W/m^2.K$$

$U_p$  : coefficient de transmission thermique surfacique

$e$  : (m) épaisseur de la paroi

$R$  : La résistance équivalente du mur

$\lambda$  (W/m.K) conductivité thermique du matériau

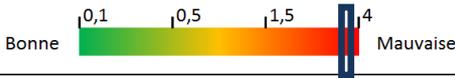
$R_{si}$  : Résistance thermique superficielle intérieure ;

$R_{se}$  : Résistance thermique superficielle extérieure

**Tableau 1. 3 : Vu de face du bâtiment de la SAED**

Description	Nous n'avons pas réalisé de sondage destructif, nous supposons que les murs extérieurs sont en béton. Ils ont une épaisseur d'environ 25 cm et ne sont pas isolés.
État général	Le bâtiment est en bon état structurel.
	
Façade Ouest	Façade Nord-Ouest

**Tableau 1. 4 : Performance énergétique des murs extérieurs**

	Up (W/m <sup>2</sup> .K)	Performance thermique
Murs extérieurs	Up = 3,196	

On constate que l'état structurel du bâtiment est bon mais la performance thermique est mauvaise d'après constat.

### **I.2.2.2 Les menuiseries extérieures**

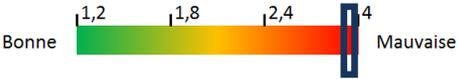
- **Analyse visuelle**

**Tableau 1. 5 : vu de face des vitres et leur état**

Description	Les menuiseries extérieures au niveau des bureaux sont en simple vitrage montées sur châssis en aluminium. Et les portes sont en bois
État général	Les menuiseries sont globalement dans un bon état.
	

Porte en bois

**gétique de menuiseries extérieures**

	$U_w$ (W/m <sup>2</sup> .K)	Performance thermique
Menuiseries extérieures (châssis aluminium)	$U_p = 4,95$	

On constate que l'état structurel du bâtiment est bon mais la performance thermique est très mauvaise d'après le constat.

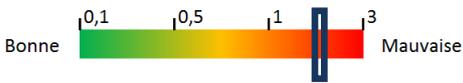
**I.2.2.3 Toiture terrasse**

- Analyse visuelle

**Tableau 1. 7 : La toiture terrasse et son état**

Description	<p>La toiture du bâtiment est recouverte de l'aluminium goudronné comme étanchéité.</p> <p>Nous n'avons pas réalisé de sondage destructeur mais nous supposons que la toiture est dalle de béton de 25 cm d'épaisseur recouvert de goudron.</p>
État général	<p>La toiture terrasse est dans un bon état.</p>
	 <p style="text-align: center;">Toiture terrasse</p>

**Performance énergétique de la toiture terrasse**

	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .K)	Performance thermique
Toiture terrasse	$U_p = 3,77$	

On constate que l'état structurel du bâtiment est bon mais la performance thermique est mauvaise d'après le constat.

#### **I.2.2.4 Plancher bas**

**Tableau 1. 9 : Analyse visuelle du plancher bas**

Description	Le bâtiment est construit sur terre-plein.
-------------	--

	Nous n'avons pas réalisé de sondage destructif mais nous supposons que le plancher bas est en béton avec une épaisseur de 25 cm.
État général	Le plancher bas est dans un bon état

**Tableau 1. 10: Performance énergétique du plancher bas**

	<b>Up (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	<b>Performance thermique</b>
Plancher bas (sur terre-plein)	Up = 2,15	

D'après le constat de la performance thermique, on peut dire que la performance est mauvaise.

En somme la performance thermique de l'enveloppe est globalement mauvaise même si le bâtiment affiche un bon état structurel.

Donc il est nécessaire de voir l'équipement de l'enveloppe du bâtiment pour la rendre efficace énergétiquement.(Penu 2013)

### **Conclusion**

Dans cette partie nous avons bien détaillé la présentation et la description des deux structures à savoir l'AEME et la SAED. Cette dernière constituait l'objet d'étude de notre travail d'audit énergétique. De plus l'étude réalisée sur l'enveloppe du bâtiment nous a permis de trouver le coefficient de transmission thermique surfacique(**Up**) pour apprécier sur la performance thermique du bâtiment avec le diagramme vert, jaune et rouge.

Enfin nous notons que la performance thermique est mauvaise d'après l'étude réalisée dans ce chapitre même si le bâtiment présente un bon état structurel.

## **CHAPITRE II : ANALYSES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS DE CONSOMMATIONS OBTENUS**

### **Introduction**

L'Agence pour l'Economie et la Maîtrise de l'Energie (AEME), dans le cadre des assistances techniques qu'elle délivre aux structures (publiques et privées), a proposé de réaliser un audit énergétique. L'audit portera sur l'enveloppe du bâtiment et les équipements techniques (Eclairage, ventilation, climatisation etc.).

Pour cet audit, nous avons dans un premier temps réalisé une étude de la consommation des trois dernières années mentionnées dans les factures de la SENELEC.

Nous avons ensuite, réalisé des mesures et établi un bilan énergétique du site. Nous présenterons dans ce rapport l'ensemble des mesures d'amélioration permettant la baisse des consommations, donc la réduction de la facture d'électricité et du CO<sub>2</sub> émis (PANEE 2015).

### **\* OBJECTIFS DE L'ETUDE**

Cette étude vise principalement à :

- Etudier les possibilités de faire baisser de manière substantielle les factures électriques de la SAED associées au fonctionnement des différents postes de consommations énergétique.
- Optimiser les consommations d'énergie par la correction des dysfonctionnements et une amélioration de la gestion des postes de consommation ainsi que leur performance.
- Améliorer le confort thermique
- Evaluer les économies d'énergies à réaliser pour la SAED après application des différentes mesures d'optimisation ainsi que l'estimation du retour des investissements.

Pour atteindre ces objectifs, la méthodologie décrite ci-après a été adoptée.

### **\* METHODOLOGIE**

Afin de bien mener l'audit énergétique, nous avons adopté une méthodologie composée de trois (3) phases :

#### **✓ Phase préparatoire**

Cette phase consiste à approfondir nos connaissances générales en matière d'audit énergétique.

Pour cela, nous avons procédé à la collecte de rapports, revues, mémoires de fin d'étude et consulter des sites internet traitant du sujet.

#### **✓ Phase d'investigation**

Dans cette partie nous allons a priori exploiter le plan du bâtiment pour étudier son enveloppe thermique. Nous allons recenser au niveau des différents postes consommateurs d'énergies (climatisation, éclairage équipements électriques) les différentes caractéristiques des appareils afin de pouvoir déterminer la consommation énergétique des différents postes et dresser la situation énergétique du bâtiment.

Enfin, nous allons recenser les différentes factures énergétiques des trois dernières années du bâtiment de la SAED afin de les analyser et de les optimiser.

✓ **Phase de traitement des données**

Dans cette phase, nous allons :

- Analyser et optimiser les factures électriques du bâtiment de la SAED ;
- Calculer les divers ratios caractéristiques de la situation énergétique et déterminer la performance des bâtiments ;
- Evaluer la performance thermique du bâtiment pour pouvoir améliorer le confort ;
- Analyser l'impact économique, financière et environnemental sur la facturation électrique ;
- Proposer des mesures d'économie d'énergie avec ou sans investissement ainsi que leur retombée sur la réduction des gaz à effet de serre. (MOINE avril, 18)

## II.1 ANALYSE DES CONSOMMATION ET BILAN ENERGETIQUE

### II.1.1 Etude de la facturation

❖ L'abonnement

L'option tarifaire de la SAED est de type MT (TG) en Tarif Général et la puissance souscrite est de 110 kW. Ce tableau de tarification indique les différentes catégories tarifaires existantes pour la moyenne et haute tension.

**Tableau 2. 1 : tableau de tarification de la SENELEC (SENELEC 2017)**

*Fourniture d'électricité en Moyenne et Haute Tension*

Catégorie 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)	118,51	183,48	907,32
Tarif Général (TG)	85,29	136,46	3 861,89
Tarif Longue Utilisation (TLU)	70,07	112,12	9 321,26
Concessionnaires d'électrification rurale	91,35		
<b>Livraison en Haute Tension</b>			
Tarif Général	55,69	80,20	9 461,23
Tarif Secours	74,16	106,78	4 206,24

**NOTA** | Heures de Pointe : de 19h à 23heures  
 | Heures hors Pointe : de 0h à 19heures et de 23h à 24heures  
 | Tarif Prime fixe : En FCFA/kW de Puissance Souscrite

### II.1.2 Analyse des consommations d'électricités

Les relevés d'électricité sont récupérables directement dans l'historique du fichier de la SENELEC. Les consommations électriques sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 2. 2 : Les consommations électriques mensuelles des trois dernières années du bâtiment données par la SENELEC**

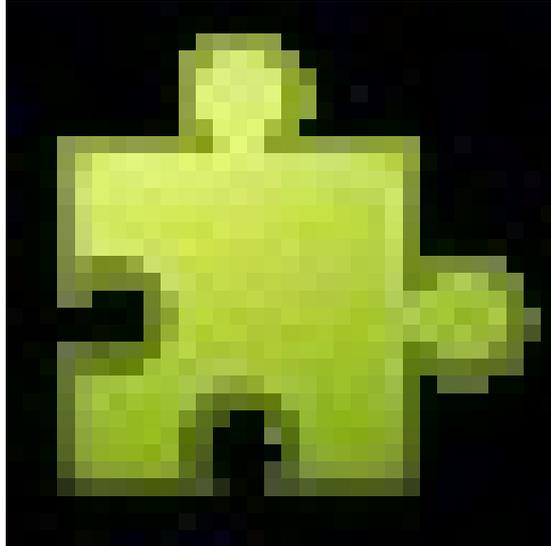
Période	Conso en kWh en 2019	Conso en kWh en 2020	Conso en kWh en 2021
Janvier	10823	17202	11746
Février	7892	15722	14018
Mars	11429	12633	11551
Avril	10312	11193	13056
Mai	10361	19833	10155
Juin	19956	21446	20184
Juillet	19302	22539	19033
Août	25492	23190	19796
Septembre	22345	24283	24395
Octobre	19488	23415	21467
Novembre	12412	12109	20612
Décembre	10823	11746	13520
<b>TOTAL</b>	<b>180635</b>	<b>203202</b>	<b>186013</b>

Pour trouver l'écart entre 2019 et 2020, nous allons faire la soustraction entre la consommation de 2020 et 2019 puis la diviser par la consommation de 2020.

Pour l'écart entre 2021 et 2020, nous allons faire la soustraction de ces consommations, la diviser après par la consommation de 2021.

Le graphique ci-dessous représente ces consommations d'électricité des trois dernières années.

Consommation (kWh)



***Figure 2. 1 : Le diagramme d'évolution de la facture d'électricité des trois dernières années***

Les consommations électriques du siège de la SAED relevées de façon mensuelle présentent un léger écart. L'année 2020 affiche une consommation beaucoup substantielle par rapport à 2019 et 2021. Nous avons noté une hausse de près de 11 % entre 2019 et 2020 et une diminution de 8% entre 2020 et 2021.

Les consommations représentées ci-dessus représentent la consommation de tout le bâtiment y compris l'antenne de la SONATEL.

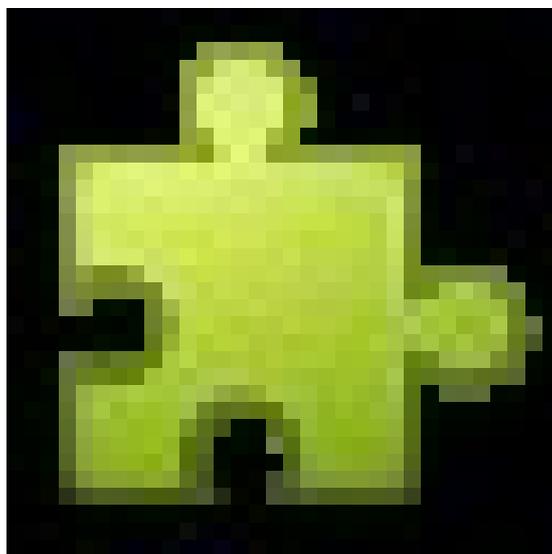
Pour analyser la fiabilité d'une facture, il est nécessaire de comparer les montants liés aux consommations (K1 et K2) et aux montants correspondants aux taxes (TVA, TCO, Redevance) et les surcoûts (prime fixe, dépassement de la puissance souscrite et pénalités dues au cos phi). **(Voir formules en annexe 1)**

Cette comparaison est réalisée sur les factures de 2020 considérées comme factures de référence **(voir tableau en annexe 2)**.

Ce tableau ci-dessous constituant le montant (K1, K2), la prime fixe, les pénalités et les taxes pour la fiabilité des factures de 2020. Les détails sont **dans l'annexe 3**.

*Tableau 2. 3 : tableau des montants (K1, K2), prime fixe, pénalités, et les taxes.*

Montant (K1, K2) (FCFA)	Prime Fixe(FCFA)	Pénalités (Cos phi, dépassement(FCFA)	Taxes (Tco, Redevance, TVA(FCFA)
20 590 284	5 043 316	718 828	4 923 276



*Figure 2. 2 : la part de chaque paramètre en pourcentage.*

Les taxes représentent moins de 20% de la facture, **donc la facturation est correcte**.

Ce pourcentage de référence de 20% est établi par l'AEME.

Cette facture donne lieu à des pénalités (du dépassement de la puissance souscrite, un mauvais Cos phi).

### II.1.3 Redressement de la puissance souscrite

- Si la puissance maximale est supérieure à la puissance souscrite alors on aura des pénalités de dépassement.

### II.1.4 Les puissances maximales

L'évolution de la puissance maximale en fonction de la puissance souscrite est donnée par la figure ci-dessous d'après ce tableau récapitulatif des puissances maximales:

**Tableau 2. 4 : tableau des puissances relevées et la puissance souscrite (voir courbe en annexe 4)**

Période de consommation	PUI MAX REL EN 2019(kW)	PUI MAX REL EN 2020(kW)	PUI MAX REL EN 2021(kW)	PUISSANCE SOUSCRITE	
	Janvier	79	87		
Février	41	86	65	110	
Mars	81	68	57	110	
Avril	58	60	90	110	
Mai	56	111	60	110	
Juin	97	110	97	110	
Juillet	114	128	107	110	
Août	134	118	93	110	
Septembre	131	129	115	110	
Octobre	140	123	113	110	
Novembre	59	64	101	110	
Décembre	79	59	59	110	

le bâtiment sera contraint à des pénalités de dépassement de puissance souscrite. Pour l'année 2021 nous constatons deux dépassements de **5 kW** et **3 kW** respectivement au mois de septembre et octobre.

Durant notre campagne de mesure la puissance maximale relevée avoisine les 59 kW. La puissance souscrite doit être optimisée pour économiser sur le coût de la prime fixe qui avoisine les **2 363 477 F CFA** annuellement.

## **II.2 Mesures et situation de référence**

- **Mesures**

Pour déterminer la puissance réelle de certains appareils (ordinateurs, imprimantes, splits et photocopieuse) et les habitudes de consommation, nous avons réalisé une série de mesures.

Ces mesures nous permettront d'affiner les hypothèses prises pour la définition de la situation de référence.

Nous avons ainsi réalisé des mesures sur l'arrivée « général » de la SENELEC avec une mallette d'intelligente et une imprimante, une photocopieuse avec des Voltcrafts.

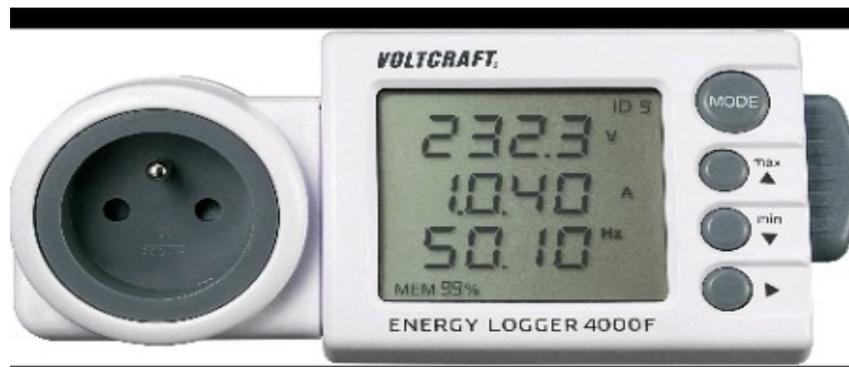
Ainsi, ils permettent d'avoir les mesures en temps réel des consommations électriques effectuées lors de notre campagne de mesure pendant une semaine. Les mesures effectuées permettent d'approcher la consommation mensuelle du bâtiment.

### **II.2.1 Généralité du bâtiment**

Notre équipe a installé sur le coffret général du bâtiment une mallette intelligente de réseau pour suivre la consommation du site en temps réel. Nous avons effectué notre enregistrement sur une semaine (du 19 au 27 mai 2022) afin de parcourir le profil de charge du bâtiment. Ces mesures concernent plusieurs paramètres électriques : les tensions (simple et composée), la puissance, la consommation, le facteur de puissance et les harmoniques (THDi et THDu).



*Figure 2. 3 : Une mallette d'intelligence visualisée et branchée au niveau du coffret général ou la boîte de départ SENELEC.*



**Figure 2. 4 : Un voltcraft en image pour mesurer les grandeurs d'un appareil électrique**

### **II.2.2 Analyse des mesures**

L'appareil de mesure (mallette d'intelligence) a permis d'obtenir l'évolution des différentes grandeurs enregistrées que sont :

- ❖ La fréquence : La fréquence électrique se mesure en Hertz (Hz) et correspond au nombre de fois où le courant alternatif change de sens en une seconde.

Les variations de la fréquence sont acceptables. Elles sont comprises dans l'intervalle  $50\text{Hz} \pm 1\%$  défini par la norme EN 50 160.

- **La tension Simple (V) :**

La tension simple est mesurée entre une ligne (L1, L2 ou L3) et le neutre (N).

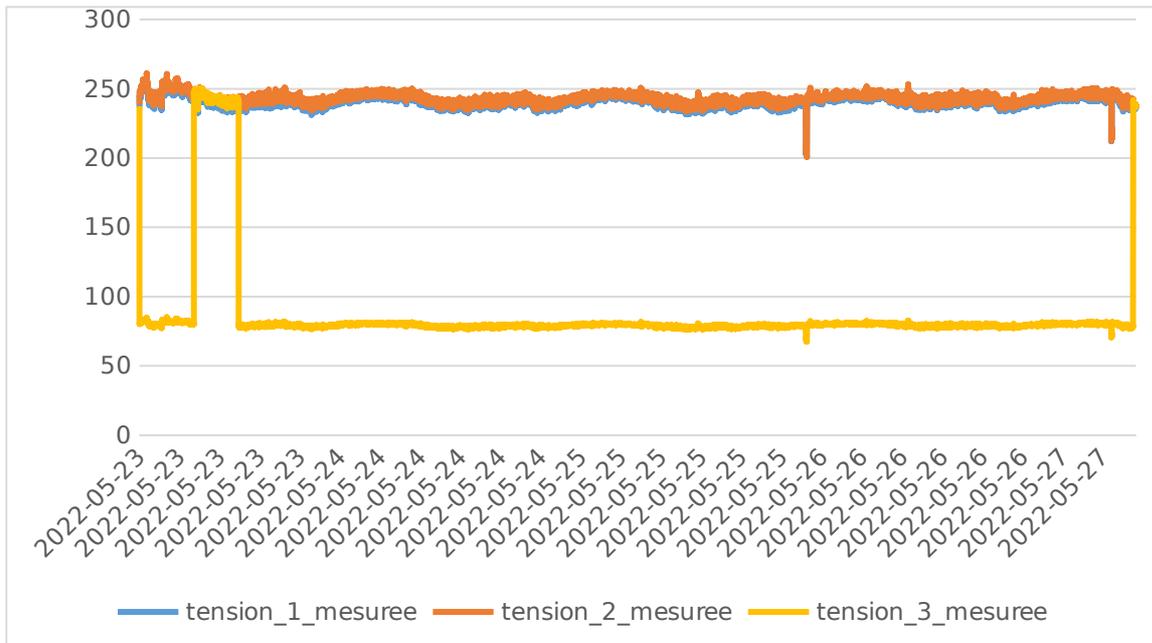
Les valeurs de tension entre phase et neutre ne sont pas stables, par conséquent le réseau du site est instable. La stabilité du réseau est une priorité car elle engendre des avantages importants :

- Un gain d'environ 8% sur la consommation (réduction de la consommation d'énergie) ;
- Amélioration du facteur de puissance ;
- Réduction des taux d'harmonique ;
- Augmentation de la durée de vie des équipements et surtout des lampes pour l'éclairage ;
- Réduction du coût de la maintenance.

Globalement, la valeur des tensions efficaces est normale car comprise dans l'intervalle 230 V  $\pm$  10 % définis par les normes EN 50 160 et CEM EN 61 000.

Le diagramme ci-dessous illustre les variations des tensions sur la période mesurée.

*Tensions(V)*



**Fig**

**ure 2. 5 : Le diagramme de variation de la tension simple des trois phases en (V)**

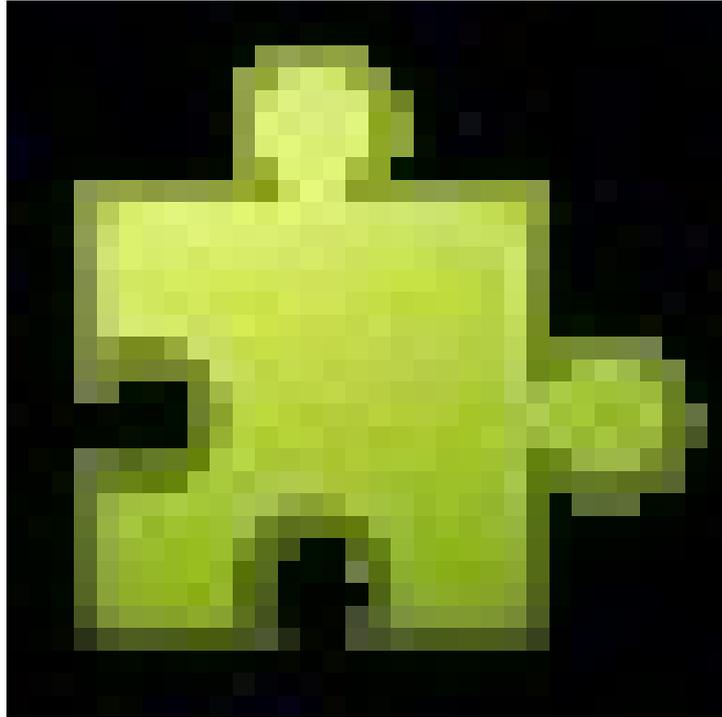
➤ **La tension composée (U):**

La tension composée est la tension mesurée entre phases. La valeur efficace d'une tension U est la valeur de la tension continue constante qui aurait les mêmes effets que U sur un dipôle purement résistif.

Notons que la norme internationale standard CEI 60375 préconise 400V +/-10%. D'après cette mesure instantanée, nous notons que la tension est relativement instable.

En général, les équipements peuvent fonctionner dans une plage de tension de 400V +/-10% sans problème. Comme les pertes sont proportionnelles au carré de la tension, donc on a toujours intérêt d'adopter la tension fonctionnelle la plus faible, nous constatons que les phases ne sont équilibrées d'où l'instabilité du réseau, certains équipements risquent de ne pas pouvoir fonctionner normalement. Le diagramme ci-dessous illustre les variations des tensions sur la période mesurée.

**Tensions(V)**



*Figure 2. 6 : Le diagramme de variation de la tension composée des trois phases*

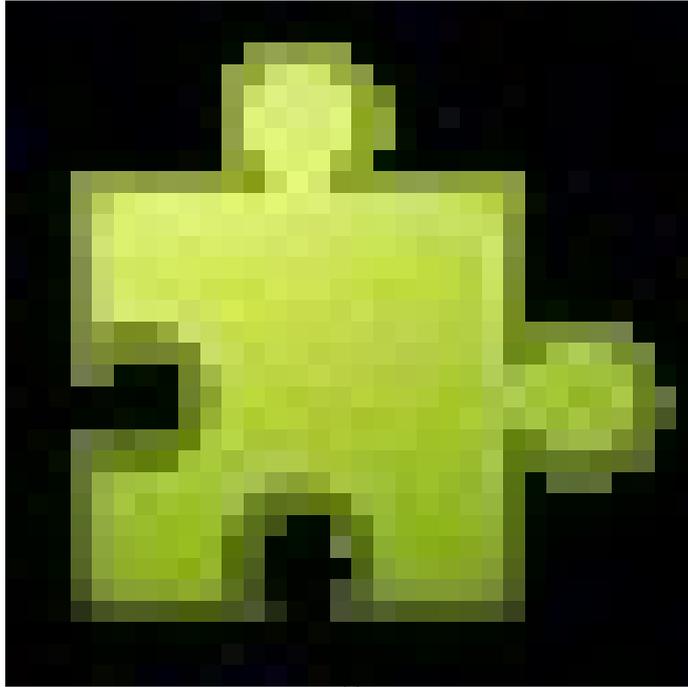
➤ **L'intensité du courant (A)**

Les données mesurées au 19 mai 2022 à 11h29 montrent :

- ✓ Un courant très fort dans le neutre : 180,84 A max ;
- ✓ Les phases 1, 2 et 3 affichent respectivement 112 A, 107 A et 114 A.

Nous pouvons en déduire que les phases ne sont pas globalement équilibrées car on constate que le neutre fait passer du fort courant, ce qui fait déséquilibrer les phases. Le neutre est probablement pollué par des courants harmoniques. Il y aurait donc tout intérêt à vérifier la section du neutre au regard des intensités admissibles en présence des courants harmoniques de rang 3.

**Intensités(A)**



*Figure 2. 7 : Le diagramme de variation de l'intensité du courant des trois phases en A*

La puissance totale et la consommation enregistrées

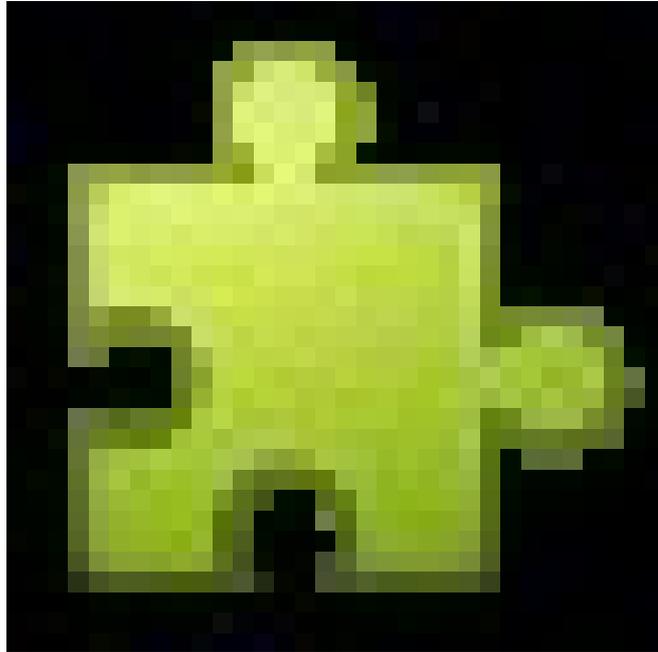
➤ **La puissance électrique mesurée**

Les mesures effectuées sur le site durant une semaine ont donné les valeurs des puissances maximales pour chaque phase :

- Puissance-phase 1 : **14,5 kW**
- Puissance-phase 2 : **18,6 kW**
- Puissance-phase 3 : **14,9 kW**
- Puissance totale : **48 kW**

Le diagramme ci-dessous illustre la valeur de la puissance totale réelle des différentes charges du bâtiment pour la seule journée ouvrable.

## Puissances (kW)



*Figure 2. 8 : Le diagramme de variation de la puissance des trois phases en kW*

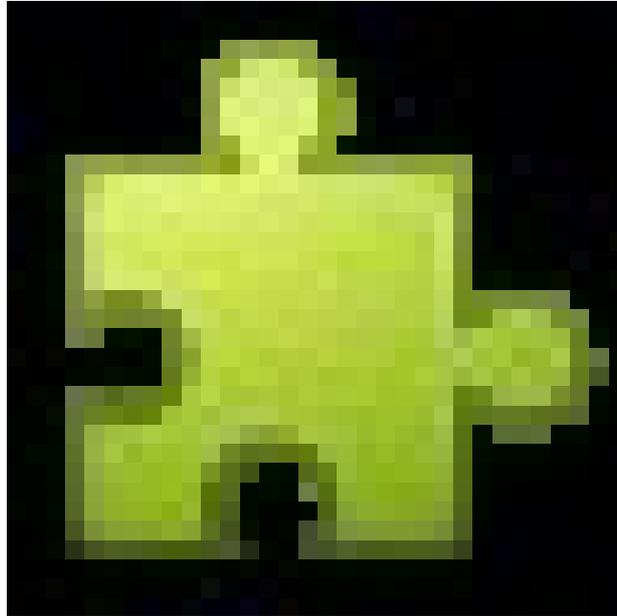
Nous constatons que la puissance moyenne enregistrée lors de la campagne de mesure est de **16 kW** associé à une puissance maximale de **48 kW** enregistrée sur l'ensemble du bâtiment.

### **II.2.3 La consommation électrique du bâtiment**

La consommation totale mesurée sur 5 jours représente **1761,06 kWh** ; soit **10 566,42 kWh/mois** ce qui confirme que les factures d'électricités de la SENELEC sont acceptables d'après les mesures réelles comparées avec les factures reçues mensuellement. Nous notons des données aberrantes sur la période du 19 au 22 mai. Ces aberrations font qu'il y a, dans cette période, une perte de données après filtrage.

Le diagramme suivant indique les données de consommation

### Consommation (kWh)



*Figure 2. 9 : Le diagramme d'évolution de l'énergie active secteur en KWh*

#### **II.2.3.1** *Le facteur de puissance*

Le facteur de puissance est un indicateur de consommation d'énergie réactive. Il est égal au rapport de la puissance active à la puissance apparente.

Le facteur de puissance est globalement mauvais sur toute la période de mesure (0,76 est la valeur moyenne enregistrée). La facture donne lieu à des pénalités dues à un mauvais facteur de puissance.

#### **II.2.3.2** *Les Harmoniques*

- **THDu est un indicateur de la distorsion de l'onde de tension.**

Les plages qui fournissent les valeurs indicatives de THDu et les conséquences correspondantes dans une installation sont les suivantes :

- **≤ 5%** : situation normale, pas de risque de dysfonctionnements ;
- **De 5 à 8%** : distorsion harmonique significative, certains défauts de fonctionnement sont possibles ;

- $\geq 8\%$  : distorsion harmonique importante, des dysfonctionnements sont probables.  
Une analyse approfondie et l'installation de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.

Ainsi nous pouvons dire que les valeurs de THDu trouvées pour les trois phases sont respectivement (32 %, 36 % et 34 %) : une distorsion harmonique importante, des dysfonctionnements sont probables.

Une analyse approfondie et l'installation de dispositifs d'atténuation sont nécessaires, définis par la norme EN 61000.

- **THDi est un indicateur de la distorsion de l'onde de courant.**

La distorsion du courant peut être différente dans les différentes parties de l'installation. L'origine de possibles perturbations peut être détectée en mesurant le THDi des différents circuits.

Ces valeurs indicatives ci-dessous sont fournies par de THDi et les conséquences correspondantes pour une installation complète :

- $\leq 10\%$  : situation normale, pas de risque de dysfonctionnements ;
- **10 à 50%** : distorsion harmonique significative avec un risque d'élévation de la température, nécessitant en conséquence un surdimensionnement des câbles et des sources ;
- $\geq 50\%$  : distorsion harmonique importante, des dysfonctionnements sont probables.  
Une analyse approfondie et l'installation de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.

Les variations des harmoniques sur la période mesurée sont 154 %, 141 % et 126 %.

Les THDi sont importantes, des dysfonctionnements sont probables. Une analyse approfondie et l'installation de dispositifs d'atténuation sont nécessaires.

### **Interprétation des mesures**

D'après la norme, (**voir annexe 5**) notre installation est susceptible d'encourir à un dysfonctionnement probable (pollution significative) : présence d'un **THDi >50 %**.

**NB :** La mise en conformité de l'installation électrique est prioritaire pour ce bâtiment et la présence d'un schéma ou coffret électrique ;

- La fréquence est quasiment stable (entre 49 Hz et 50 Hz) ;
- Equilibrer les phases ;

- Augmenter la section des câbles du neutre ou utiliser des filtres ;
- Le cosinus phi est mauvais, l'installation des batteries de condensateur est une priorité pour ce bâtiment.

#### **II.2.4 Situation de référence**

La situation de référence est la situation qui caractérise le profil de consommation du site en tenant compte de l'usage et de l'occupation. Pour définir cette situation de référence, nous prenons les hypothèses suivantes sur les principaux usages :

- La climatisation fonctionne d'Avril à Octobre avec une durée maximale de 7h par jour travaillé.
- L'éclairage au niveau des bureaux et la circulation fonctionne 6h par jour.
- Les ordinateurs PC fonctionnent en moyenne 5h par jour, le reste du temps en mode veille, 6h pour les portables, 1h pour les imprimantes.

##### **➤ Evaluation de la puissance installée**

La puissance installée est la somme des puissances nominales de tous les récepteurs de l'installation. Sur la plupart des appareils et équipements électriques, il est marqué l'indication de la puissance nominale ( $P_n$ ). En pratique, la puissance nominale n'est pas toujours réellement la puissance consommée par le récepteur.

Avant de donner les résultats du bilan des puissances, nous définissons d'abord quelques éléments à considérer pour la détermination du bilan des puissances.

- La puissance d'utilisation : Il s'agit de la puissance réellement consommée par les récepteurs. Dans une installation les récepteurs ne fonctionnent pas tous en même temps ni en pleine charge. Pour cela des facteurs de simultanéité ( $K_s$ ) et d'utilisation ( $K_u$ ) sont utilisés pour calculer la puissance d'utilisation. Cette puissance d'utilisation sert à dimensionner l'installation pour la souscription du contrat de fourniture d'énergie électrique.

Le facteur d'utilisation : Le régime de fonctionnement normal d'un récepteur peut être tel que sa puissance utilisée soit inférieure à sa puissance nominale installée. Ce facteur s'applique individuellement. Dans une installation, le facteur d'utilisation est estimé à 0,75 pour les moteurs, il est toujours égal à 1 pour l'éclairage et le chauffage et pour les prises de courant, tout dépend de leur destination.

- Le facteur de simultanéité : Tous les récepteurs ne fonctionnent pas en même temps. Donc, il est conseillé d'appliquer un coefficient de simultanéité aux différents ensembles (ou circuits) des récepteurs.

Suivant les hypothèses définies et les enquêtes réalisées lors de la visite, le bilan énergétique du site est présenté ci-dessous en tenant compte des facteurs d'utilisation et de simultanéité.

**Tableau 2. 5 : Tableau du bilan énergétique théorique relevé dans le bâtiment**

Usage	Puissance installée (kW)	Temps d'utilisation (h)	Durée annuelle	Consommation annuelle (kWh)	Pourcentage%
Équipement	74,9	5	198	74 151	33,05%
Eclairage	4,96	5	150	3 720	1,66%
Antenne	5,96	24	365	52 210	23,24%
Climatisation	79,37	6	198	94 292	42,02%
<b>TOTAL</b>	<b>165,19</b>	<b>40</b>		<b>224 372</b>	<b>100%</b>

La consommation théorique calculée suivant les hypothèses ci-dessus est de **224 372 kWh** par an. Les premier poste consommateur reste la climatisation (**42 %**) suivi des équipements bureautique (**33 %**) de la consommation annuelle d'électricité, puis l'antenne de la SONATEL (**23 %**) et vient en dernière position l'éclairage (**2 %**).

L'année 2020 a coïncidé avec le début des restrictions (confinement, télétravail...). Les consommations sur facture de 2020 représentent forcément la réalité. Nous allons considérer la consommation de référence comme étant la consommation théorique calculée : **224 372 kWh. (Voir courbe en annexe 6)**

### **II.3 Propositions d'amélioration pour réduire la facture d'électricité**

Les économies d'énergie présentées sont calculées à partir des valeurs théoriques et sont aussi comparées aux consommations de la situation de référence : les consommations mesurées par la mallette intelligente. Les coûts des actions proposées sont calculés sur la base de ratios. Les coûts tiennent compte de la fourniture, de la main d'œuvre, de la dépose et de la pose locale. Ils sont donnés en FCFA.

Les économies d'énergie sont calculées sur la base du prix unitaire 2020 du kWh (Tarif sur les factures de 2020) : 125 FCFA le kWh électrique. Les axes d'amélioration proposés se basent sur une échelle de retour sur investissement. Les pistes qui ont été privilégiés et détaillés montrent que le retour sur investissement est faible

#### **II.3.1.1 Isolation des murs**

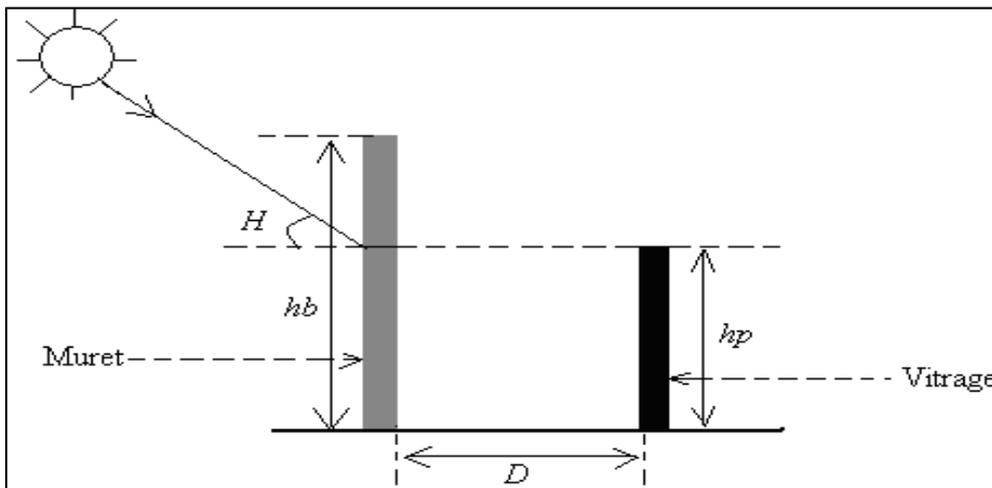
Elle permet non seulement de se protéger des fortes chaleurs mais également de limiter les dépenses de chauffage en période hivernale. Elle fonctionne en deux sens : elle est donc

efficace en hiver pour limiter les déperditions de chaleur intérieure qu'en été pour limiter la pénétration de la chaleur extérieure.

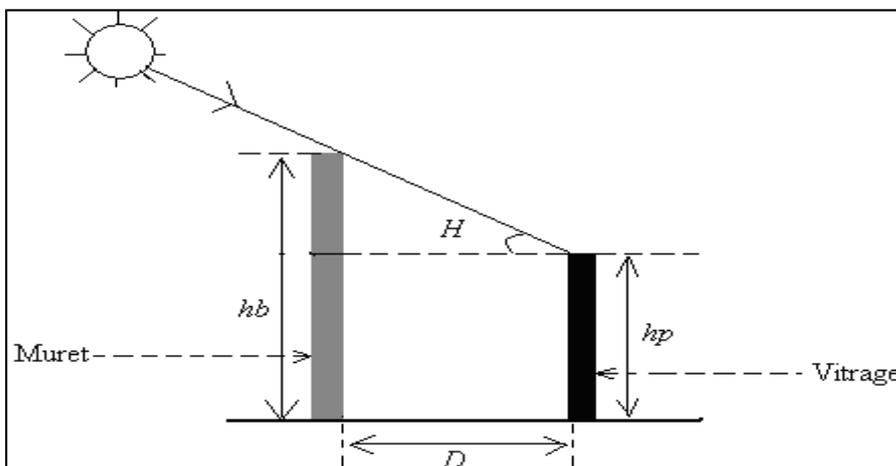
Mais cette isolation n'est pas toujours la bonne solution : si la chaleur réussit à pénétrer dans le local fortement isolé par exemple par des vitres non protégées du soleil, la chaleur restera dans la pièce puisque les parois sont très bien isolées. Ainsi la chaleur piégée va augmenter la température de l'air intérieur. Pour se protéger efficacement contre la chaleur en été, l'isolation seule ne suffit pas. Elle doit être associée à des dispositions permettant de diminuer la température intérieure grâce à l'inertie.

### ❖ Muret

Un muret est une clôture artificielle constituée par un empilement simple de pierres. Il permet de parer les rayons solaires. L'occultation des rayons solaires dépend de la hauteur du muret et de la hauteur du soleil dans le ciel. Les figures ci-dessous donnent le cas d'une hauteur solaire faible et moyenne.



**Figure 2. 10** : Action d'un muret : cas d'une hauteur solaire faible (Serigne THIAO,2014)



**Figure 2. 11** : Action d'un muret : cas d'une hauteur solaire moyenne (Serigne THIAO,2014)

$hp$  : Hauteur de la paroi à ombrager;

$hb$  : Hauteur du muret;

$D$  : Distance masque-paroi à protéger;

$H$  : Hauteur du soleil;

La hauteur du muret doit être dimensionnée en fonction de la hauteur moyenne (  $H_{ref}$  ) du soleil. La relation suivante permet de dimensionner la valeur de  $hb$ .

$$\tan(H_{ref}) = \frac{hb - hp}{D} \quad (2-1)$$

Ce qui permet d'écrire :

$$hb = hp + D \cdot \tan(H_{ref}) \quad (2-2)$$

Cependant les murets ne sont pas des masques très efficaces. Ainsi, pour une distance  $D$  très grande la hauteur du muret doit également être trop élevée pour qu'il puisse intercepter les rayons solaires.

#### ❖ **Avancée verticale**

Il existe deux types de pare-soleil vertical : les avancées perpendiculaires à la façade et celles qui lui sont obliques. Comme l'auvent, l'avancée verticale permet également de bénéficier d'un ombrage. Pour un observateur faisant face au vitrage, il sera noté masque vertical gauche celui qui est à sa gauche et masque solaire droite celui qui est à sa droite.

#### ❖ **Les protections végétales**

Elles sont constituées d'arbres à feuillage important. En plus de l'occultation, elles rafraîchissent l'air par évapotranspiration. Ainsi la végétation peut être considérée comme la dernière couche externe d'un bâtiment. La protection végétale est avantageuse dans la mesure où :

- Elle intervient dans le bilan thermique des échanges ;
- Son coût d'implantation et d'entretien est très bas ;
- Elle a une croissance très rapide ;
- Elle a des aspects bioclimatiques.

### **I.3.2 Remplacement des menuiseries**

Le remplacement des menuiseries actuelles par double vitrage performant et des protections solaires extérieures génère une importante économie d'énergie mais le temps de retour sur investissement est très long.

### **I.3.3 Propositions d'amélioration de la performance énergétique**

### **Action 1 : Instrumentation du site**

L'instrumentation du site consiste à mettre en place un système de comptage qui permettra de mesurer en temps réel l'ensemble des consommations par typologie (éclairage, Climatisation, bureautique, ...).

Ce système permet d'identifier les dérives de consommations éventuelles et de pouvoir agir rapidement. Nous proposons la mise en place du module de type « Smart Impulse ». Selon nos retours d'expérience, l'instrumentation permettrait de générer à minima 10% d'économie sur la consommation annuelle d'électricité qui est égal à 224372 kWh/années.

Et l'économie financière se calcule par le produit de l'économie d'énergie par 125 le prix de kWh et 1 kWh correspond à 0,637 tonne de CO<sub>2</sub>.

<b>Tableau 2. 6 : Tableau d'instrumentation du site avec des économies réalisées</b>				
Economie d'énergie (kWh/an)	Economie financière annuelle	Quantités de GES évitées (Tonne.équ. CO <sub>2</sub> )	Investissement	Retour sur investissement (années)
22 437	2 804 625	14,29237	2 500 000	0,89

Cette action facile à mettre en œuvre s'amortit en moins de 11 mois.

### **Action 2 : Mise en place de LED**

En remplaçant l'éclairage de type « tubes fluorescents » par un éclairage fluorescent performant (LED), on réduit de 50% les consommations des T8 de 18W à 9W, T8 de 36W à 18W, les projecteurs de 250W par de projecteurs de 100W.

Le remplacement des spots lumineux et des lampes fluo compactes permettrait de diviser au moins par 2 leurs consommations annuelles de 3720 kWh /années. Et l'économie financière se calcule par le produit de l'économie d'énergie par 125 le prix de kWh et 1 kWh correspond à 0,637 tonne de CO<sub>2</sub>.(CPDN) 2015).

Le tableau ci-dessous indique les économies mobilisables :

<b>Tableau 2. 7 : Tableau des économies réalisées avec les LED</b>				
<b>Remplacement de l'éclairage existant par des LED</b>				
Economie d'énergie (kWh/an)	Economie financière annuelle	Economie de CO <sub>2</sub> (Tonne éq CO <sub>2</sub> /an)	Investissement	Retour sur investissement (années)
1 860	232 500 CFA	1,185	694 000 CFA	3,0

Cette action peut se réaliser au fur et à mesure dès « l'apparition de dysfonctionnement »

Elle est rentable et peut s'inscrire dans la dynamique de rénovation du site.

### **Action 3 : Mise en veille des ordinateurs**

Les ordinateurs fonctionnent en moyenne 8h par jour. Nous proposons la mise en veille de l'ensemble des ordinateurs après 5 min de non utilisation des ordinateurs. Cette mise en veille cumulée est estimée à 2h par jour et par ordinateur.

Cette action ne nécessite aucun investissement et peut se faire par le service informatique lors des opérations de maintenance. De ce fait, les ordinateurs sont au nombre de 139 d'après bilan des équipements et ils fonctionnent pendant 150 jours dans l'année et 2 heures par jours dont une puissance de mise en veille de 8 W.

Pour trouver la consommation en mode veille E.

**Consommation = Jours de fonctionnement dans l'année × nombre d'heures de fonctionnement × nombre d'ordinateurs × puissance. (2-3)**

Et l'économie financière se calcule par le produit de l'économie d'énergie par 125 le prix de kWh et 1 kWh correspond à 0,637 tonne de CO<sub>2</sub> ;

**Tableau 2. 8 : Tableau des économies réalisées avec la veille des ordinateurs**

<b>Mise en veille des ordinateurs</b>				
Economie d'énergie (kWh/an)	Economie financière annuelle	Economie de CO <sub>2</sub> (Tonne éq CO <sub>2</sub> /an)	Investissement	Retour sur investissement (années)
333,6	41 700 CFA	0,212	0 CFA	0,0

Cette action est facile à réaliser car elle ne nécessite pas d'investissement et elle est rentable avec une économie financière mentionnée dans le tableau et une économie de CO<sub>2</sub> à éviter.

### **Action 4 : Optimisation de la puissance souscrite**

Les besoins actuels du site est inférieur à la puissance souscrite initiale qui est de 110 kW sauf le mois de septembre et octobre où nous avons un dépassement respectivement de 5 et 3 kW. Nous proposons la réduction de la puissance souscrite à 100 kW. Elle permettra de réduire la part de la prime fixe payée tous les mois sauf septembre et octobre.

**Tableau 2. 9 : Tableau des économies réalisées avec la puissance souscrite**

Optimisation de la Puissance souscrite et de l'option tarifaire				
Puissance souscrite		Economie financière annuelle (FCFA)	Investissement (FCFA)	Retour sur investissement (années)
Initiale (kW)	Finale (kW)			
110	100	463 427	0	0

Cette action est facile à mettre en œuvre et ne nécessite aucun investissement.

#### **Action 5 : Remplacement du système de climatisation**

Le parc de climatisation du SAED est disparate. Pour harmoniser les installations et les rendre plus efficaces, nous proposons le remplacement des splits ayant atteint leur durée de vie résiduelle par des splits de type Inverter. Cette technologie permettrait de réduire d'au moins 30 % de la consommation liée à la climatisation qui est 94292 kWh.

Et l'économie financière se calcule par le produit de l'économie d'énergie par 125 le prix de kWh. De plus 1 kWh correspond à 0,637 tonne de CO<sub>2</sub>

<b>Tableau 2. 10 : Tableau des économies réalisées avec le système de climatisationXRemplacement du système de climatisation</b>				
Economie d'énergie (kWh/an)	Economie financière annuelle (F CFA)	Economie de CO <sub>2</sub> (Tonneéq CO <sub>2</sub> /an)	Investissement (F CFA)	Retour sur investissement (années)
28 288	3 535 950	18, 019	24 900 000	7,0

Cette action peut se faire au fur et à mesure « dès l'apparition de dysfonctionnement ».Lors d'une rénovation complète du bâtiment, la centralisation de la climatisation doit faire l'objet d'une étude de faisabilité.

#### **Action 6 : Installation des batteries de condensateur**

Dans un processus du redressement du facteur de puissance, on compte augmenter le facteur de puissance à 1 pour compenser du réactif.

Et l'énergie réactive sert à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques. La compensation réactive permet de supprimer ce déphasage et donc de réduire, voire supprimer les chutes de tension dans l'installation électrique. Elle permet également de réduire les pénalités tarifaires de surconsommation d'énergie réactive.

Elle permet l'utilisation de câbles à section plus faibles et donc de réduire l'effet joule et les pertes induites. Pour déterminer la puissance de la batterie de condensateur QC :

$$QC = Pa (tg\varphi - tg\varphi').$$

(2-4)

$P_a$  : la puissance active installée en kW

$\varphi$  : l'angle de déphasage avant la correction du facteur de puissance

$\varphi'$  : l'angle de déphasage à obtenir avec la correction du facteur de puissance

Calculer l'investissement sachant que le prix d'un module : **1 kvar est égal à 25000 FCFA.**

Dont une puissance des condensateurs de 76 kvar trouvée dans la feuille de calcul.

Le facteur de puissance de l'installation en moyenne est de : 0,76 et la puissance installer est égal à 110 kW et on compte ramener le cosinus  $\varphi$  à 1.

D'après la simulation sur le programme de SARDEL (feuille de calcul) on a trouvé 76 kvar et a obtenu ce tableau récapitulatif suivant :

**Tableau 2. 11 : Tableau récapitulatif du banc de condensateur**

Coût unitaire module de 10 kvar	Nbre de modules	Coût total batteries	Economie annuelle réalisée	ROI
250 000 F CFA	8	1 898 768 F CFA	4 035 474 F CFA	<b>5,6 mois</b>

**Le ROI** : retour sur investissement est égal au rapport d'investissement sur économie réalisée ;

$$ROI = \text{Investissement} / \text{Economie annuelle réalisée} \quad (2-5)$$

Donc pour le banc de condensateur on aura besoin de 8 modules de condensateur de 10 kVA d'après le tableau ci-dessus du résultat de la simulation.

Le tableau ci-dessous donne l'étude détaillée de l'action :

**Tableau 2. 12 : Tableaux des économies réalisées avec les batteries de condensateur**

Installation des batteries de condensateur				
Economie d'énergie (kWh/an)	Economie financière annuelle	Economie de CO <sub>2</sub> (Tonneéq CO <sub>2</sub> /an)	Investissement	Retour sur investissement (années)
2284	4 035 474 FCFA	1,454	1 898 768 FCFA	0,5

Cette action sera rentable sur un temps de retour sur investissement de 6 mois.

### **Conclusion**

En somme les analyses faites dans ce rapport nous ont permis de constater que la consommation réelle visualisée à l'aide de la mallette intelligente dans la période du 27 au 23 mai, est acceptable et proche à la consommation relevée par la SENELEC.

Et par conséquent la facture est acceptable d'après les analyses faites sur l'étude des trois dernières années relevées par la SENELEC.

Mais dans le but de réduire la facture d'électricité à l'occasion des analyses des consommations théoriques, on a proposé des solutions sous forme des actions bien détaillées dans ce rapport et sont tous rentables. Leur réalisation aura un impact économique, environnemental et financier sur la consommation et sur la facture d'électricité.

## **CHAPITRE III : SYSTEME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDE AU RESEAU LOCAL DE LA SAED**

### **Introduction**

L'audit énergétique du bâtiment de la SAED nous a permis de connaître la puissance de l'installation ainsi que les besoins énergétiques du bâtiment. Il devient alors possible d'étudier le système de production d'énergie à mettre en place. Il existe plusieurs systèmes de productions d'énergie, il s'agit entre autres de la biomasse, du système hydraulique, du système nucléaire, du système éolien et du système solaire. L'objet de notre étude porte sur le système photovoltaïque. Cet ensemble est composé de panneaux générateurs de courant continu, un régulateur de tension, d'un onduleur, des câbles et des batteries de stockage. Le bon fonctionnement de cette installation dépend entièrement du dimensionnement de ces éléments. Ce dernier chapitre fera l'objet d'un dimensionnement et d'une étude financière du projet.

### **III.1 Choix et dimensionnement du système photovoltaïque**

#### **III.1.1 Choix du système photovoltaïque**

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

- Systèmes domestiques connectés au réseau : Il s'agit du système photovoltaïque le plus populaire pour les maisons et entreprises situées en zones développées. La connexion au réseau local d'électricité permet d'injecter et de revendre l'électricité produite. En cas d'ensoleillement insuffisant, l'électricité est importée du réseau. Un onduleur est utilisé pour transformer le courant continu produit par le système photovoltaïque en courant alternatif afin d'alimenter les équipements électriques standards.
- Centrales connectées au réseau : Ces systèmes également connectés au réseau produisent une grande quantité d'électricité photovoltaïque en un seul endroit. La taille de ces installations varie de plusieurs centaines de kilowatts à plusieurs mégawatts. Ceci permet à la fois d'utiliser des espaces disponibles et de compenser en partie l'électricité consommée par ces activités énergivores.
- Systèmes isolés pour l'électrification rurale : Quand le raccordement au réseau électrique n'est pas disponible, le système photovoltaïque est connecté à une batterie via un contrôleur de charge. Un onduleur peut être utilisé pour fournir du courant alternatif, permettant l'alimentation d'appareils électriques standards.

- La plupart des applications hors-réseau sont utilisées pour fournir de l'électricité à des zones reculées (chalets de montagne, pays en voie de développement).
- L'électrification rurale regroupe à la fois les petites installations solaires couvrant les besoins de base en électricité d'une maison individuelle et les installations plus grandes et semi-connectées fournissant de l'électricité à plusieurs maisons.
- Systèmes hybrides : Un système photovoltaïque peut être combiné à une autre source de production d'électricité (biomasse, turbine éolienne ou générateur diesel) afin de garantir un approvisionnement constant en électricité. Un système hybride peut être relié au réseau, fonctionner en autonomie ou être soutenu par le réseau.

Vu tous ces types de système d'application, nous allons nous intéresser à l'application connectée au réseau (MOINE avril,18).

#### **III.1.1.1 Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau (MOINE avril,18)**

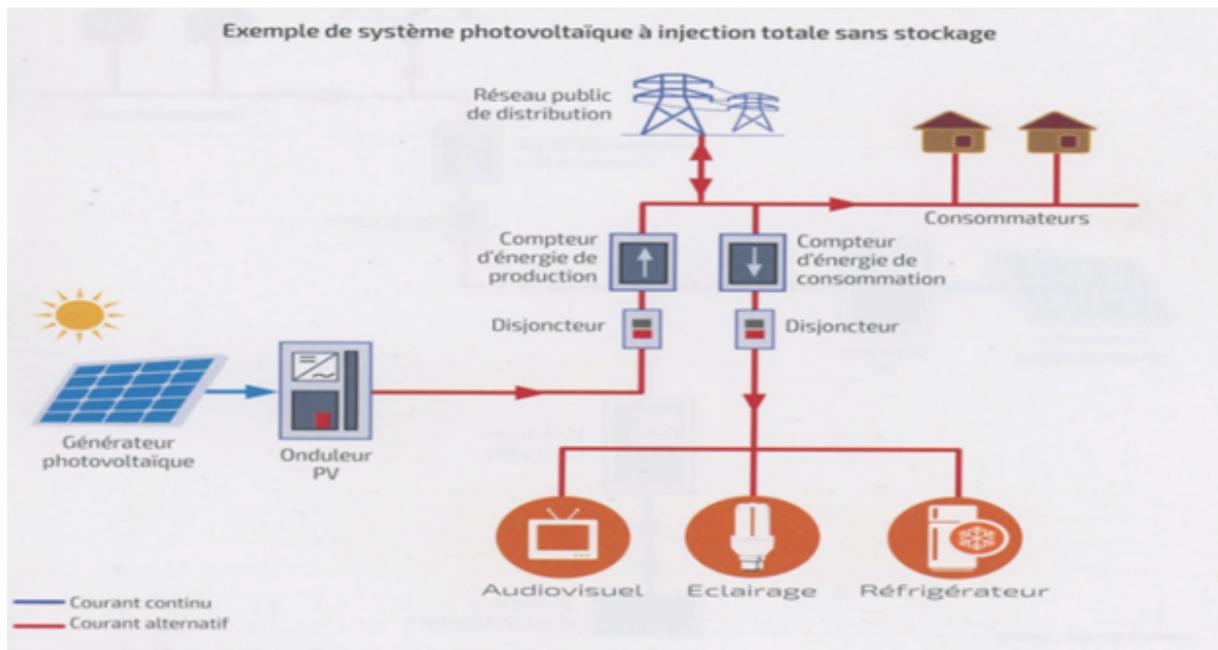
Les systèmes PV raccordés au réseau sont avant tout des équipements de production destinés à produire de l'énergie électrique d'origine photovoltaïque. Cette énergie produite va être injectée sur un réseau électrique alimenté par d'autres sources de production, à partir de machines tournantes de puissance beaucoup plus importante. On peut considérer deux architectures électriques de raccordement, selon que l'énergie produite est consommée sur le site de production (autoconsommation) ou non (injection totale).

##### **III.1.1.1.1 Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau avec injection totale**

Ils peuvent être conçus sans ou avec stockage.

###### **III.1.1.1.1.1 Injection totale sans stockage**

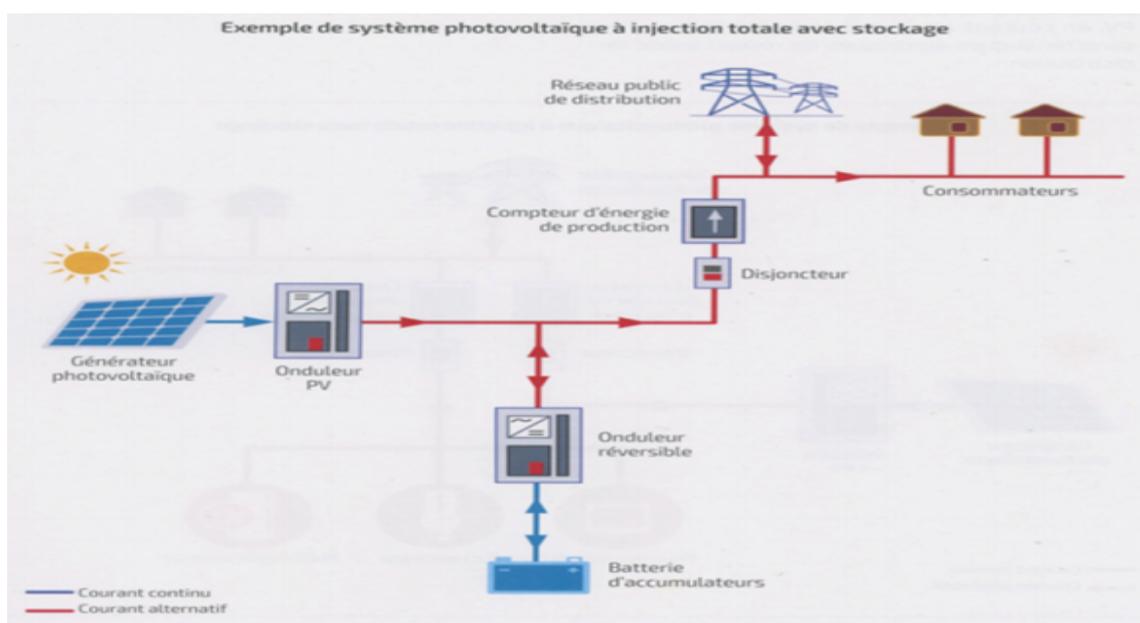
Le principe de fonctionnement de ces systèmes est le suivant (Figure 3.1). Un générateur photovoltaïque transforme directement le rayonnement solaire en électricité. Le courant continu produit par les modules photovoltaïques est transformé via un onduleur PV, en courant alternatif compatible avec les caractéristiques électriques du réseau public de distribution. L'énergie produite est intégralement injectée sur le réseau public de distribution afin d'être valorisée dans les meilleures conditions économiques pour le producteur. En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l'onduleur PV s'arrête de fonctionner.



**Figure 3. 1 : Exemple de système photovoltaïque à injection totale sans stockage (Source : article de MOINE gérard)**

### III.1.1.1.2 Injection totale avec stockage

Le principe de fonctionnement est le même que précédemment mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré à la centrale de production (Figure 3.2). Toutefois, pour des raisons économiques, le stockage est très limité et a pour but de lisser la production et/ou de restituer l'énergie en fin de journée pour faire face à un pic de consommation sur le réseau électrique.



**Figure 3. 2 : Exemple de système photovoltaïque à injection totale avec stockage (source : article de MOINE gérard)**

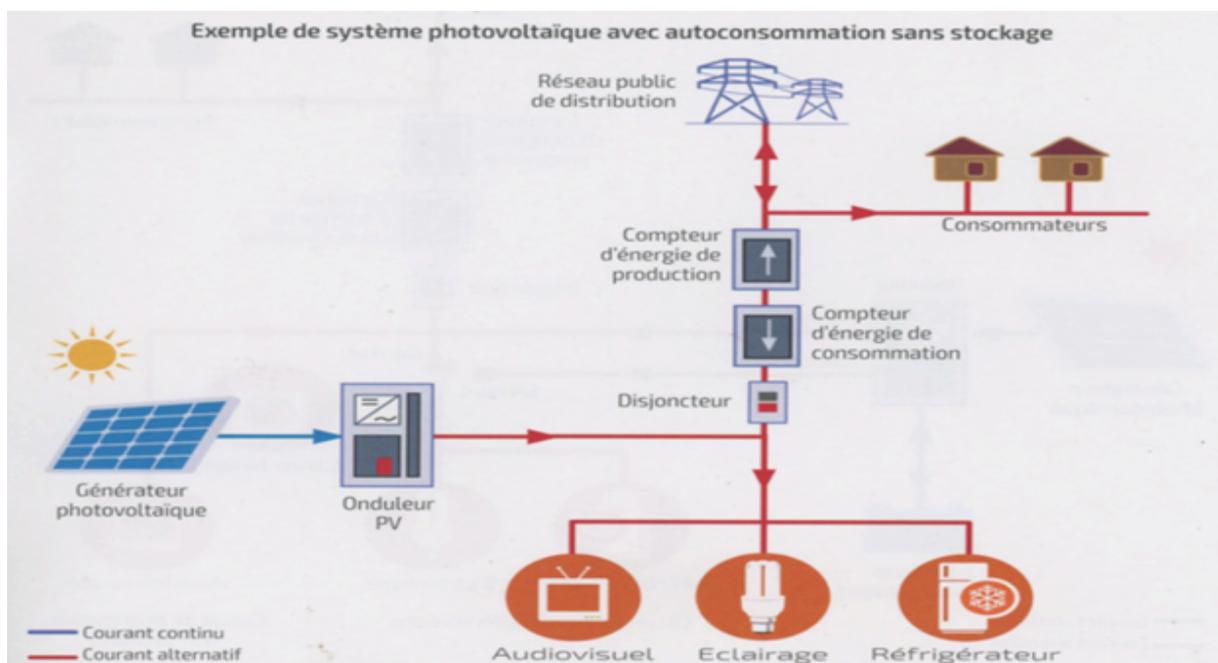
### **III.1.1.1.1 Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau avec autoconsommation (MOINE avril, 18)**

En autoconsommation, deux configurations sont possibles.

#### **III.1.1.1.1.3 Autoconsommation sans stockage**

Le système photovoltaïque fonctionne comme précédemment mais il est connecté directement sur l'installation électrique intérieure du site (Figure 3.3). L'électricité solaire est autoconsommée par les récepteurs en service. L'excédent éventuel d'électricité solaire produit est injecté dans le réseau public de distribution. En cas de défaillance du réseau électrique (perte de tension ou tension et fréquence hors tolérance), l'onduleur photovoltaïque s'arrête de fonctionner et les récepteurs ne sont plus alimentés. L'intérêt d'un tel système est le suivant :

- pour le producteur/consommateur : réduction de sa facture d'électricité (surtout si le prix du kWh acheté au réseau est supérieur au coût de l'énergie photovoltaïque produite) et valorisation éventuelle du surplus d'énergie produite, si un tarif d'achat est institué ;
- pour le gestionnaire de réseau : réduction de la fourniture d'électricité (tout ce qui est fourni localement n'est pas à produire par les autres sources généralement d'origine fossiles).



**Figure 3. 3 : Exemple de système photovoltaïque avec autoconsommation sans stockage (Source : article de MOINE gérard)**

#### III.1.1.1.4 Autoconsommation avec stockage

Le principe est le même que précédemment, mais un stockage d'énergie par accumulateurs est intégré au système, ce qui permet de stocker l'énergie produite par le générateur photovoltaïque en journée et de la restituer le soir pour la consommation locale (Figure 3.4).

Cependant, pour des raisons économiques, le stockage est limité à quelques heures de fonctionnement et ne permet pas de s'affranchir totalement du réseau électrique.

L'intérêt d'un tel système est identique au précédent mais avec un taux d'autoconsommation supérieur. De plus, en cas de défaillance du réseau, cette configuration donne souvent la possibilité d'alimenter d'une manière autonome les récepteurs prioritaires pendant quelques heures, et assure ainsi une fonction de secours. Toutefois, ce système présente l'inconvénient d'un stockage électrochimique entraînant un coût d'investissement, d'entretien, de renouvellement, de recyclage, entre autres.

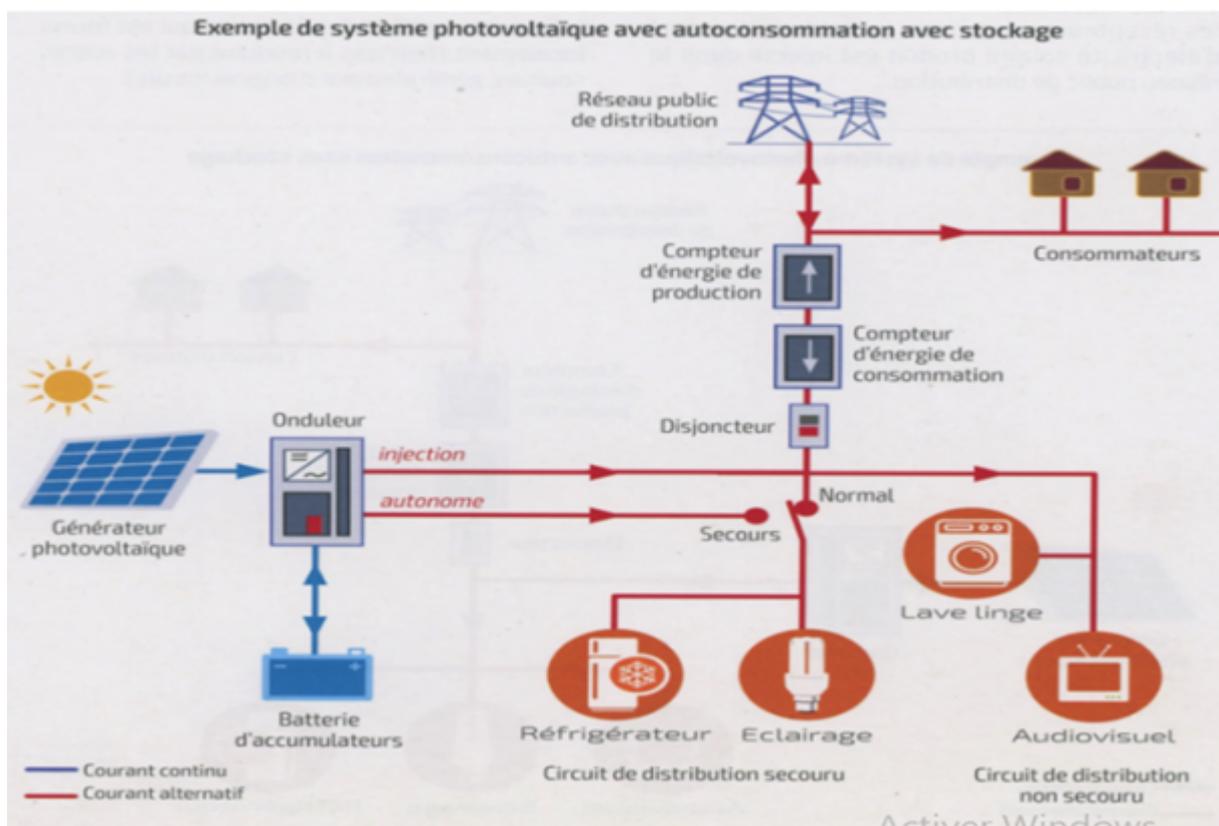


Figure 3. 4 : Exemple de système photovoltaïque avec autoconsommation avec stockage

(Source : article de MOINE gérard)

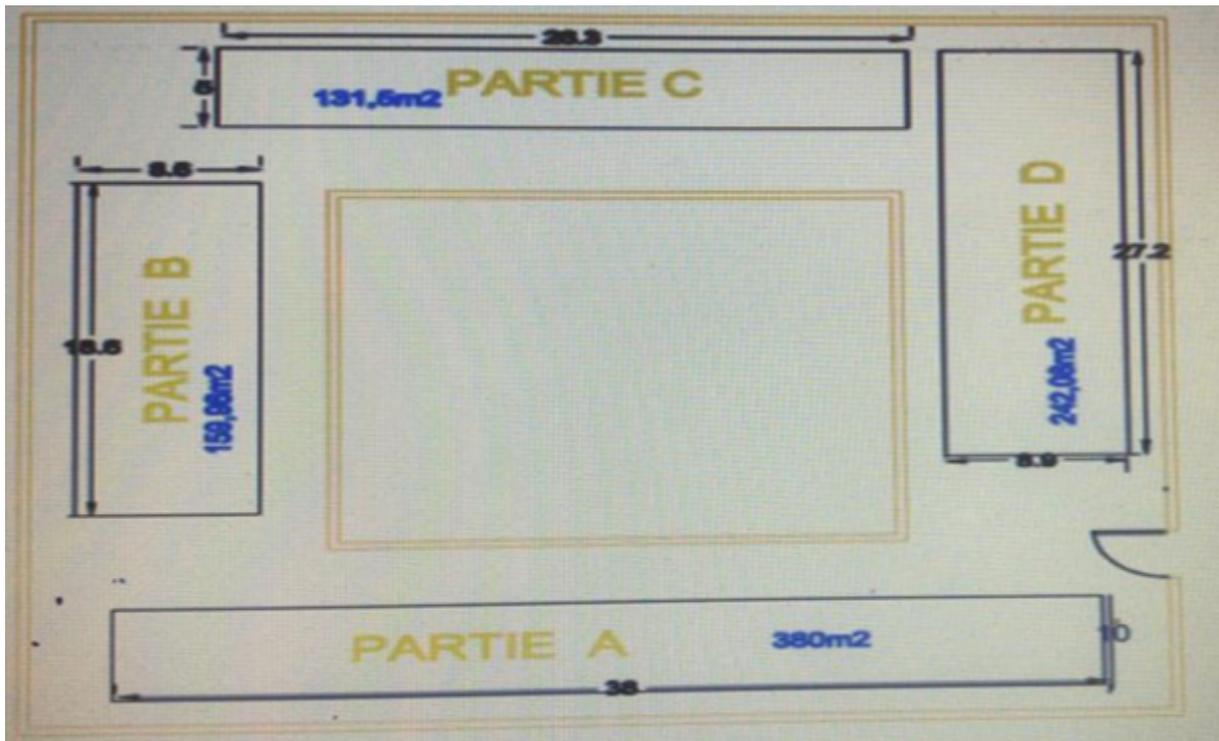
### III.1.1 Dimensionnement du système photovoltaïque connecté au réseau (POUYE 2022)

Toute installation photovoltaïque nécessite un dimensionnement des technologies pour éviter de sous ou de sur dimensionner.

#### III.1.1.1 Détermination de la surface disponible sur le toit

Nous comptons utiliser la surface du toit du bâtiment de la SAED comme le lieu du champ photovoltaïque.

Le bâtiment est réparti en quatre parties comme indique le schéma ci-dessous.



*Figure 3. 5 : Le plan du bâtiment*



*Figure 3. 6 : Vue de dessus du toit du bâtiment de la SAED à saint louis.*

### **III.1.1.1 Choix des panneaux à installer**

Le nombre de panneaux nécessaires sera le résultat du rapport de la puissance crête de l'installation sur la puissance crête unitaire du panneau :

$$N_p = \frac{P_C}{P_U} \quad (3-1)$$

**N<sub>p</sub>** : nombre de panneaux nécessaires à installer ;

**P<sub>C</sub>** : puissance crête de l'installation ;

**P<sub>U</sub>** : puissance crête unitaire.

Le choix se fera à l'aide de la fiche technique en se basant sur le rendement, la nature et la durée de vie.

### **III.1.1.2 Nombre de panneaux en parallèle :**

Le nombre de panneaux en parallèle est donné par le rapport du courant maximal du ou des régulateur(s) MPPT sur le courant de court-circuit du panneau :

$$N_{p_p} = \frac{I_{max_{PMMT}}}{I_{CC_p}} \quad (3-2)$$

### **III.1.1.3 Nombre de panneaux en série :**

Le calcul du nombre de panneaux en série s'effectue par le rapport du nombre total de panneaux sur le nombre de panneaux en parallèle :

$$N_{p_s} = \frac{N_{t_p}}{N_{p_p}} \quad (3-3)$$

**Nombre total de panneaux :**

Le produit du nombre de panneaux en parallèle (NPp) et en série (NPs) nous donne le nombre total de panneaux à installer :

$$Nt_p = Np_p \times Np_s \quad (3-4)$$

#### III.1.1.4 Orientation et inclinaison des panneaux

D'après les données méthodologiques du SENEGAL, son irradiation est estimée environ 5,86 kWh/m<sup>2</sup>.j les panneaux seront orientés vers le sud pour une inclinaison de 15° degré.

#### III.1.1.5 Choix du régulateur et de l'onduleur

Dans certaines installations, il existe des régulateurs couplés à l'onduleur ou utilisés séparément.

#### III.1.1.6 Les critères de choix d'un régulateur :

Le régulateur permet de converger l'énergie produit par nos panneaux photovoltaïques vers notre parc de batterie.

Il se situe donc entre les panneaux et les batteries, son choix est très important. Il se définit en fonction de la puissance de nos panneaux et la tension de notre parc batterie. Cet appareil très utile protège nos batteries et augmente leur durée de vie.

L'intensité minimale  $I_{min}$  que le régulateur doit supporter est égale au nombre maximum de panneaux en parallèle multiplié par le courant de court-circuit des panneaux,  $I_{cc}$ .

$$I_{min, rég} = Np_p \times I_{cc_p} \quad (3-5)$$

De cette façon en cas de court-circuit, les panneaux ne subissent pas de dommages graves.

Le régulateur solaire Victron Energy est protégé contre :

- La surchauffe ;
- Le court-circuit en sortie ;

Pour le choix du régulateur, il s'effectue suivant les critères suivants :

- La puissance du régulateur doit être supérieure à la puissance du système
- La tension de sortie MPPT doit être égal à la tension de la batterie
- Le courant maximal  $I_{max}$  (MPPT) doit être supérieur au courant de court-circuit des panneaux.
- La tension maximale  $V_{max}$  (MPPT) doit être supérieure à la tension en circuit ouvert des panneaux

Notre choix porte sur le régulateur de charge Smart Solar MPPT Victron Energy car il optimise la charge batterie et offre un rendement supérieur de 30% au régulateur classique. En effet, ce contrôleur de charge localise ultra rapidement le point de puissance maximal.



**Figure 3. 7 : Régulateur de charge SmartSolar MPPT Victron Energy (Source : internet nrjsolaire.com)**

- **Courant de sortie  $I_s$**  : c'est le rapport de la puissance des charges ( $P_{charge}$ ) et la tension du système ( $U_{syst}$ ).

$$I_s = \frac{P_{charge}}{U_{syst}} \quad (3-6)$$

### III.1.1.7 Choix de l'onduleur Solaire :



**Figure 3. 8 : Onduleur solaire MPPT 3Kva (Source : internet nrjsolaire.com)**

Un onduleur solaire MPPT pour une installation raccordée au réseau, accepte jusque 600 Wc de panneaux photovoltaïques, et peut se connecter au réseau ou à une autre source d'énergie

renouvelable si la production solaire est insuffisante. Il a la capacité de faire le rôle des deux fonctions.

### III.1.1.8 Section des câbles en mm<sup>2</sup>

La section des câbles se calcule par la formule suivante :

$$S = \rho \frac{L \times I}{\Delta U} \quad (3-7)$$

S : la section du fil (elle s'exprime en mm<sup>2</sup>)

$\rho$  : La densité volumique du fil (mΩ mm<sup>2</sup> /m)

L : la longueur du fil, elle s'exprime en m

I : l'intensité du courant elle s'exprime en ampère A

$\Delta U$  : La tension du système multiplié par la profondeur de décharge, elle s'exprime en volt V

- **Entre régulateur et panneaux** : on a choisi le cuivre ;

$$S = 2 \times \rho \times \frac{L \times I_{min, reg}}{\Delta U} \quad (3-8)$$

- **Entre régulateur et batteries** :

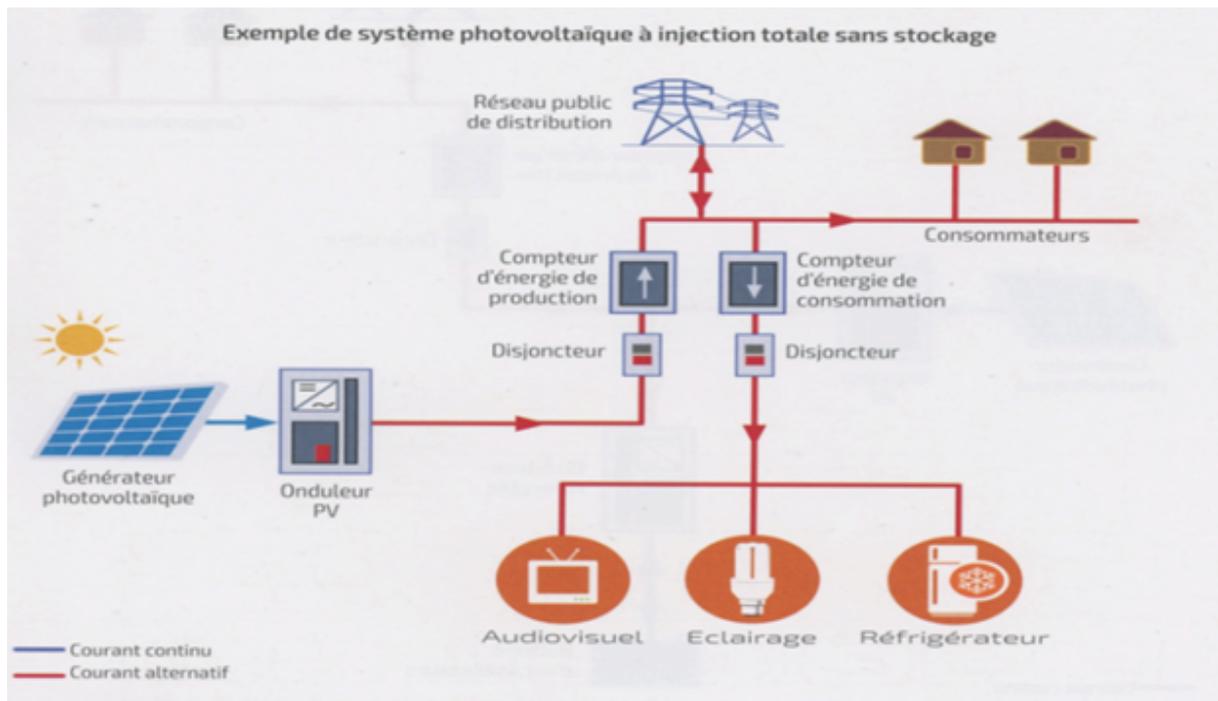
$$S = 2 \times \rho \times \frac{L \times I_s}{\Delta U} \quad (3-9)$$

## III.2 Etude financière de rentabilité du projet

Afin de limiter le recours à l'électricité du réseau de la Senelec, nous proposons la mise en place de panneaux photovoltaïques au niveau de la toiture terrasse. Cette production à demeure alimentera l'ensemble de l'éclairage actuel d'une part et d'autre part l'alimentation des équipements du site.

Toute l'énergie produite est consommée dans la journée.

L'autonomisation partielle des consommations liées à l'éclairage nécessitera des travaux de regroupement de l'ensemble des départs « éclairage ».



**Figure 3. 9 : Exemple de système photovoltaïque à injection totale sans stockage (Source : article de MOINE gérard)**

Le bilan énergétique théorique du dimensionnement du bâtiment de la SAED nous a permis de faire l'étude financière de l'installation du système solaire photovoltaïque.

A l'aide du logiciel PVsyst, on a pu trouver le nombre de panneaux, le nombre d'onduleur afin de trouver leur prix dans le marché dans le but de connaître l'investissement et l'économie réalisée.

### III.2.1 Première proposition : Système photovoltaïque pour assurer l'alimentation de l'éclairage. (Voir les résultats de simulation de PVsyst en annexe 7)

La puissance théorique en provenance du dimensionnement pour assurer l'éclairage est à hauteur de **P= 4,96 kW** pour une consommation annuelle de **E= 3720 kWh /année**. D'après la simulation des valeurs en PVsyst on a obtenu le tableau suivant et la documentation technique est en annexe :

**Tableau 3. 1 : Tableau des économies réalisées avec le système photovoltaïque cas de l'éclairage**

Autonomisation des consommations d'éclairage- Système raccordé au réseau						
	Energie produite (Kwh/an)	Coût de l'énergie (FCFA/kWh)	Quantités de GES évitées (Tonne.équ. CO2)	Economie annuelle (FCFA)	Investissement	Retour sur investissement (années)
Action	9064	125	138,1	668 000	4 908 000	7,3

### III.2.1.1 *Evaluation du cout d'investissement*

D'après la simulation faite sur l'évaluation économique à l'aide du logiciel PVsyst, on a obtenu un investissement de **4 908 000 FCFA** pour réaliser cette autonomisation des consommations d'éclairage du bâtiment de la SAED.

Et le projet pour cette première proposition sera rentable pour une durée de retour sur investissement de **7 années et 4 mois**.

### III.2.1.2 *Economie réalisée*

Cette proposition d'autonomisation des consommations d'éclairage du système raccordé au réseau a une économie de CO<sub>2</sub> de **138,1 Tonne.équ.CO<sub>2</sub>** ainsi qu'une économie financière annuelle de **668 000 FCFA**.

D'après l'étude financière réalisée à l'aide du logiciel PVsyst on a obtenu le nombre de panneaux et celui d'onduleurs indiqués dans le tableau ci-dessous

*Tableau 3. 2 : Tableau de décompte des technologies photovoltaïque*

	Nombre de panneaux	Nombre de d'onduleur
Panneaux en série	16	néant
Panneaux en parallèle	1	néant
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>1</b>

De plus on va procéder à l'étude financière de la deuxième proposition pour voir leur différence de rentabilité.

### III.2.2 **Deuxième proposition : Système photovoltaïque pour l'alimentation des équipements bureautique (Voir les résultats de simulation PVsyst en annexe 8)**

La puissance théorique pour les équipements de bureau est : **P=74,90 kW** pour une énergie annuelle de : **E=74151 kWh /année**. Le tableau suivant ci-dessous est le résultat de la simulation de l'étude financière et la documentation technique est en annexe.

*Tableau 3. 3 : Tableau des économies réalisées avec le système PV cas des équipements*

Autonomisation des consommations d'équipement- Système raccordé au réseau

	Energie produite (kWh/an)	Coût de l'énergie (FCFA/kWh)	Quantités de GES évitées (Tonne.équ. CO2)	Economie annuelle (FCFA)	Investissement (CFA)	Retour sur investissement (années)
Action	138 000	125	2102,1	7 981 125	13 652 500	1,7

### III.2.2.1 Evaluation du cout d'investissement

D'après la simulation faite toujours sur l'évaluation économique, on a obtenu un investissement de **13 652 500 FCFA** pour réaliser cette autonomisation des consommations d'équipement du bâtiment de la SAED.

Et le projet pour cette deuxième proposition sera rentable pour une durée de retour sur investissement d'une (1) année et 8 mois.

### III.2.2.2 Economie réalisée

Cette proposition d'autonomisation des consommations d'éclairage du système raccordé au réseau a une économie de CO<sub>2</sub> de **2102,1 Tonne.équ. CO<sub>2</sub>** ainsi qu'une économie financière annuelle de **7 981 125 FCFA**.

L'étude financière réalisée à l'aide du logiciel PVsyst nous a permis d'obtenir le nombre de panneaux ainsi que le nombre d'onduleurs indiqués dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 3. 4 : Tableau des technologies pour le PV**

	Nombre de panneaux	Nombre de d'onduleur
Panneaux en série	9	néant
Panneaux en parallèle	26	néant
TOTAL	234	2

## III.3 Synthèse des propositions d'amélioration pour réduire la facture

Dans cette partie synthétique des propositions de solutions pour réduire la facture et lutter contre le rejet de CO<sub>2</sub> on va faire une analyse à partir de deux cas de figure avec des tableaux bien détaillés.

### III.3.1 Premier cas de synthèse des propositions

Le tableau ci-dessous résume l'ensemble des actions proposées dans le chapitre II et la proposition 1 qui est dans le chapitre III.

**Tableau 3. 5 : Tableau de synthèse des actions et la proposition 1 pour les économies réalisées**

Actions Proposées	Economie d'énergie (kWh/an)	Economie financière annuelle( FCF A)	Le CO2 évité tonne. Équ. CO2	Investissement FCFA	Retour sur investissement (années)
Action 1	22437	2 804 625	14,292	2 500 000	0,9
Action 2	1860	232 500	1,185	696 500	3
Action 3	333,6	41 700	0,212	0	0
Action 4	8897,7	1112 224	5,66	0	0
Action 5	28288	3 536 000	18,019	24 900 000	7
Action 6	2284	4 035 474	1,454	1 898 768	0,56
Proposition 1	9064	668 000	138,1	4 908 000	7,3
<b>TOTAL</b>	<b>73164,3</b>	<b>12 430 523</b>	<b>178,92</b>	<b>34 903 268</b>	<b>2,8</b>

A travers cette synthèse dans ce tableau nous constatons une économie financière annuelle de 12430523 FCFA et 178,92 tonne.équ.de CO2 à éviter pour une durée de retour sur investissement de deux (2) années et dix (10) mois.

### III.3.2 Deuxième cas de synthèse des propositions

Le tableau ci-dessous résume les actions et la proposition 2 qui se trouve dans le chapitre III.

*Tableau 3. 6 : Tableau synthétique des actions et la proposition 2 des économies réalisées*

Actions Proposées	Economie d'énergie (kWh/an)	Economie financière annuelle( FCF A)	Le CO2 évité tonne. Équ. CO2	Investissement	Retour sur investissement (années)
Action 1	22437	2 804 625	14,292	2 500 000	0,9
Action 2	1860	232 500	1,185	696 500	3
Action 3	333,6	41 700	0,212	0	0
Action 4	8897,7	1112 224	5,66	0	0
Action 5	28288	3 536 000	18,019	24 900 000	7
Action 6	2284	4 035 474	1,454	1 898 768	0,56
Proposition 2	138 000	7 981 125	2102,1	13 652 500	1,7
<b>TOTAL</b>	<b>202100,3</b>	<b>19 743 648</b>	<b>2142,9</b>	<b>43 647 768</b>	<b>2,2</b>

Pour ce cas de figure on constate une économie financière annuelle de 19 743 648 FCFA et 2142,9 tonne.équ.de CO2 à éviter pour une durée de retour sur investissement de deux (2) années et 2 mois.

### Conclusion

L'installation du système solaire photovoltaïque proposée à la SAED sur le toit du bâtiment est rentable d'après les études financières effectuées dans les deux propositions. La première

proposition a une durée de retour sur investissement de sept années et quatre mois alors que celle de la deuxième a une durée de retour sur investissement d'une année et huit mois malgré leur rentabilité économique et financière notée.

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVE**

D'une façon globale dans le premier chapitre nous avons bien détaillé la présentation et la description des deux structures à savoir l'AEME et la SAED. Cette dernière constituait l'objet d'étude de notre travail d'audit énergétique. Par ailleurs, d'après l'étude réalisée sur l'enveloppe du bâtiment, nous a permis de trouver le coefficient de transmission thermique surfacique pour apprécier sur la performance thermique du bâtiment du coup, globalement la performance thermique est mauvaise pourtant son état structurel est bon.

De plus l'étude faite dans le chapitre 2 a permis de voir que la facture est acceptable d'après les analyses faites sur l'étude des trois dernières années relevées par la SENELEC. Mais force est de retenir que la performance thermique du bâtiment reste à améliorer avec comme solution l'implantation des murets et un remplacement des menuiseries.

Dans le but de réduire la facture d'électricité de la SAED, à l'occasion des analyses des consommations théoriques, on a proposé des solutions sous forme d'actions bien détaillées dans ce chapitre, qui sont tous rentables. Leur réalisation aura un impact économique, environnemental et financier sur la consommation et sur la facture d'électricité.

Le chapitre 3 qui traite le système photovoltaïque marque la fin du rapport et résume dans ses derniers paragraphes la synthèse finale pour atteindre l'objectif de ce sujet. La première proposition a une durée de retour sur investissement de deux années et dix mois avec un taux de CO<sub>2</sub> à éviter de 178,92 tonnes alors que celle de la deuxième a une durée de retour sur investissement de deux années et deux mois avec un taux de CO<sub>2</sub> très élevé à éviter de 2142,9 tonnes. Il s'agira pour la SAED de choisir parmi les deux cas de synthèse ci-dessus celui qui est plus adopté et facile à réaliser.

Et en perspective le projet serait plus rentable si on tient compte du prix de CO<sub>2</sub> évité qui sera bientôt en vigueur. De même il faut penser à mettre en place un système de rafraîchissement solaire thermique des bureaux.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Banque mondiale. 2020. *OPPORTUNITES D'EFFICACITE ENERGETIQUE DANS LE SECTEUR PUBLIC DU SENEGAL*. 2020<sup>e</sup> éd. banque mondiale
- [2] KODJO, Gbémagnimédéton David. 2004. « Audit énergétique des batiments de la CNSS a Ouagadougou ». Ouagadougou: ECOLE INTER-INTER D'INGENIEURS DE L'EQUIPEMENT RURAL.
- [3] MOINE, gérard. avril,18. « L'énergie solaire photovoltaïque(PV):une filière compétitive en site isolé », n° 167: 5-10.
- [4] POUYE, SAYNABOU. 2022. « Etude technico-financière d'installation de chambres froides solaires pour la conservation de produits agricoles, halieutique et laitiers ». SAINT LOUIS: gaston berger.
- [5] SENELEC. 2017. « Tarif d'électricité hors taxe applicable à partir du 1er Mai 2017 ». 2017-06. SENEGAL: SENELEC.
- [6] Serigne THIAO. 2014 « *Contribution à l'étude de système de production de froid pour l'habitat : Régulation du plancher chauffant/rafraichissant et froid solaire* » Thèse de doctorat CERER/UCAD.
- [7] AEME. 2018. *Plan stratégique de developpement de l'AEME 2019-2023*. 2018<sup>e</sup> éd. SENEGAL.
- [8] CPDN), CPDN. 2015. *Contribution prevue determinee au niveau national (CPDN)*. 2015<sup>e</sup> éd. SENEGAL.
- [9] PANEE. 2015. « Plan Action national d'Efficacité Energétique (PANEE) »Politique d'Efficaté Enegetique.
- [10] Penu, Gina. 2013. *La thermique du batiment*. 2013<sup>e</sup> éd. cahiers techniques. france.

## ANNEXES

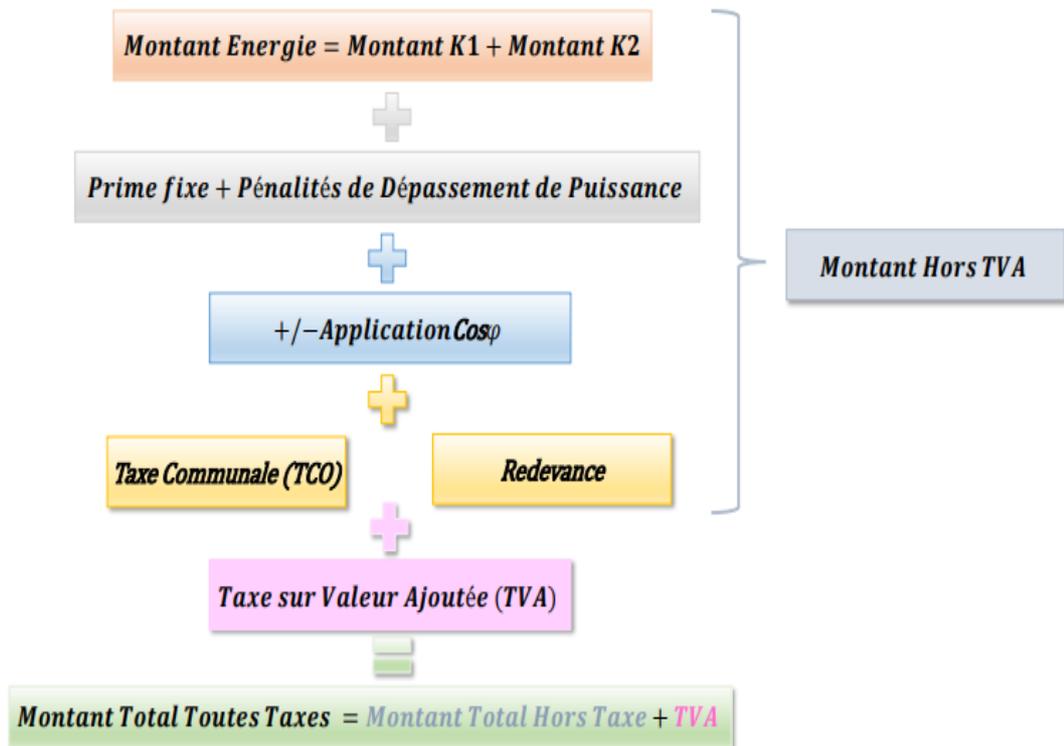
### Annexe 1 : Tableaux des formules pour calculer les paramètres dans le rapport

Légendes	Unités	Définition	Formules	GP (BT)	MT/BT, MT
$K_1$	kWh	<a href="#">Consommations actives heures creuses/hors pointe (de 23h à 24h et de 0h à 19h)</a>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nouvel index – Ancien index</li> <li>90 % de <math>W_a</math></li> </ul>	X	
$K_2$	kWh	Consommations actives en pointe (de 19h à 23h)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nouv. ind. – Anc. Ind.</li> <li>10 % de <math>W_a</math></li> </ul>		
$W_a$	kWh	Consommations actives	$K_1 + K_2$		
$H_1$	h	Nombre d'heure de fonctionnement du premier transfo	-	-	X
$H_2$	h	Nombre d'heure de fonctionnement des condensateurs			
$\alpha, \beta$	-	<a href="#">Coefficients de pertes actives liés aux caractéristiques du transformateur</a>			
$M_a$	kWh	Majoration active liée aux pertes transfo	$\alpha_a * W_a + \beta_a * H_1$	-	X
$M_{aHP}$	kWh	Majoration active hors pointe liée aux pertes transfo	$M_a * \frac{K_1}{K_1 + K_2}$		
$M_{aEP}$	kWh	Majoration active en pointe liée aux pertes transfo	$M_a * \frac{K_2}{K_1 + K_2}$		
$a$	kWh	Totale énergie active	$W_a + M_a$		

Légendes	Unités	Définition	Formules	GP (BT)	MT/BT, MT
$W_r$	kVARh	Consommations réactives		X	X
$\alpha_r, \beta_r$	-	<a href="#">Coefficients de pertes réactives liés aux caractéristiques du transformateur</a>	-	-	
$M_r$	kVARh	Majoration réactive liée aux pertes transfo	$\alpha_r * W_r + \beta_r * (H_1 - H_2)$		
$r$	kVARh	Totale énergie réactive	$W_r + M_r$		X
$\cos\varphi$		<a href="#">Facteur de puissance</a>	$\sqrt{\frac{a^2}{a^2 + r^2}}$		

Légendes	Unités	Définition	Formules	GP (BT)	MT/BT, MT
$P_s$	kW	<a href="#">Puissance souscrite</a>			X
$P_{maxr}$	kW	Puissance maximale relevée pendant la période			
Tpf_mensuel	F CFA / kW	Taux prime fixe mensuel	$= \left( \frac{T_{pf\_mensuel}}{365} \right) * T_{pf\_annuel}$		
PF	F CFA	Prime fixe mensuelle	$T_{pf} * P_s$		
PDP		Pénalités de dépassement de puissance ( $P_{maxr} > P_s$ )	$1,5 * T_{pf} * (P_{maxr} - P_s)$		
Tarif $K_1$ (coût heure creuse)	F CFA / kW	Tarif heure creuse pour la période $K_1$ (de 23h à 24h et de 0h à 19h)			
Montant $K_1$		Montant total pour la consommation active $K_1$ et la majoration active $M_{aHP}$	$Tarif K_1 * (K_1 + M_{aHP})$		

Légendes	Unités	Définition	Formules	GP (BT)	MT/BT, MT
Tarif $K_2$ (coût heure pointe)	F CFA / kW	<a href="#">Tarif heure pointe pour la période <math>K_2</math> (de 19h à 23h)</a>			X
Montant $K_2$	F CFA	Montant total pour la consommation active $K_2$ et la majoration active $M_{aEP}$	$Tarif K_2 * (K_2 + M_{aEP})$		
Application $Cos\phi$	F CFA (+/-)	<a href="#">Majoration (pénalités, malus) ou minoration (bonus) appliquée selon facteur de puissance</a>	$Taux\_Cos\phi * (Montant K_1 + Montant K_2 + PF + PDP)$		
Base Taxe Communale	F CFA	Taxe indexée sur le montant Energie, la prime fixe et l'application $Cos\phi$	$Montant K_1 + Montant K_2 + PF + PDP +/- Application cos\phi$	X	
TCO	F CFA	Taxe Communale 2,5 % applicable à la GP (BT)	$2,5 \% * Base\ tax\ communale$		
Base TVA	F CFA	Base calcul Taxe Valeur Ajoutée	$Montant K_1 + Montant K_2 + PF + PDP +/- Application cos\phi + TCO + Redevance$		X
TVA	F CFA	Taxe sur la Valeur Ajoutée (18 %)	$18 \% * Base\ TVA$		



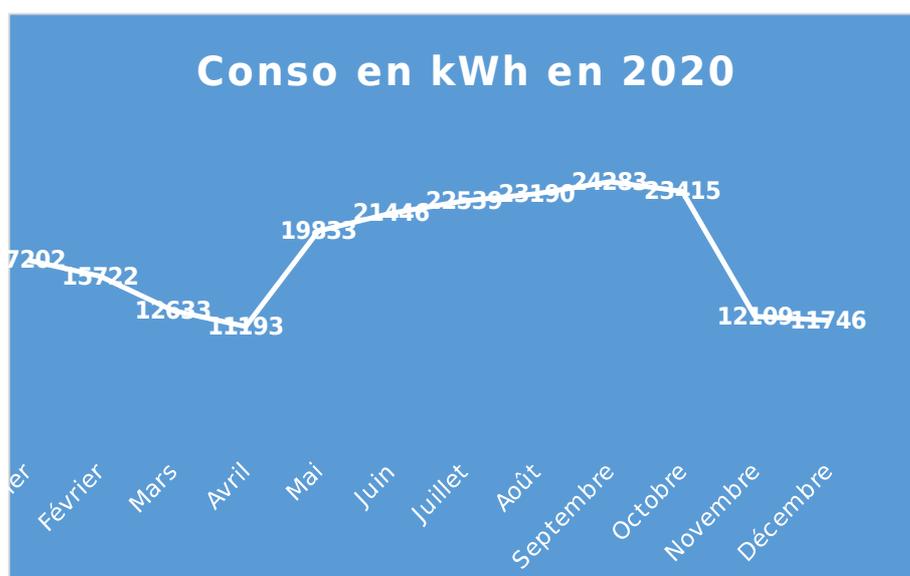
Cosφ < 0,8	
Valeur de Cosφ	Taux de Majoration
0,79 ≤ Cosφ ≤ 0,75	5 %
0,74 ≤ Cosφ ≤ 0,70	10 %
0,69 ≤ Cosφ ≤ 0,65	15 %
0,64 ≤ Cosφ ≤ 0,60	20 %
0,59 ≤ Cosφ ≤ 0,55	30 %
0,54 ≤ Cosφ ≤ 0,50	40 %
0,49 ≤ Cosφ ≤ 0,45	50 %
0,44 ≤ Cosφ ≤ 0,40	65 %
Cosφ ≤ 0,39	80 %

Cosφ > 0,95	
Valeur de Cosφ	Taux de Majoration
COS φ = 0,96	0,75 %
COS φ = 0,97	1,5 %
COS φ = 0,98	2,25 %
COS φ = 0,99	3 %
COS φ = 1	3,75 %

Source :( Cours de GASSAMA MARS 2022)

## Annexe 2 Tableau et figure de la consommation de l'année de référence 2020

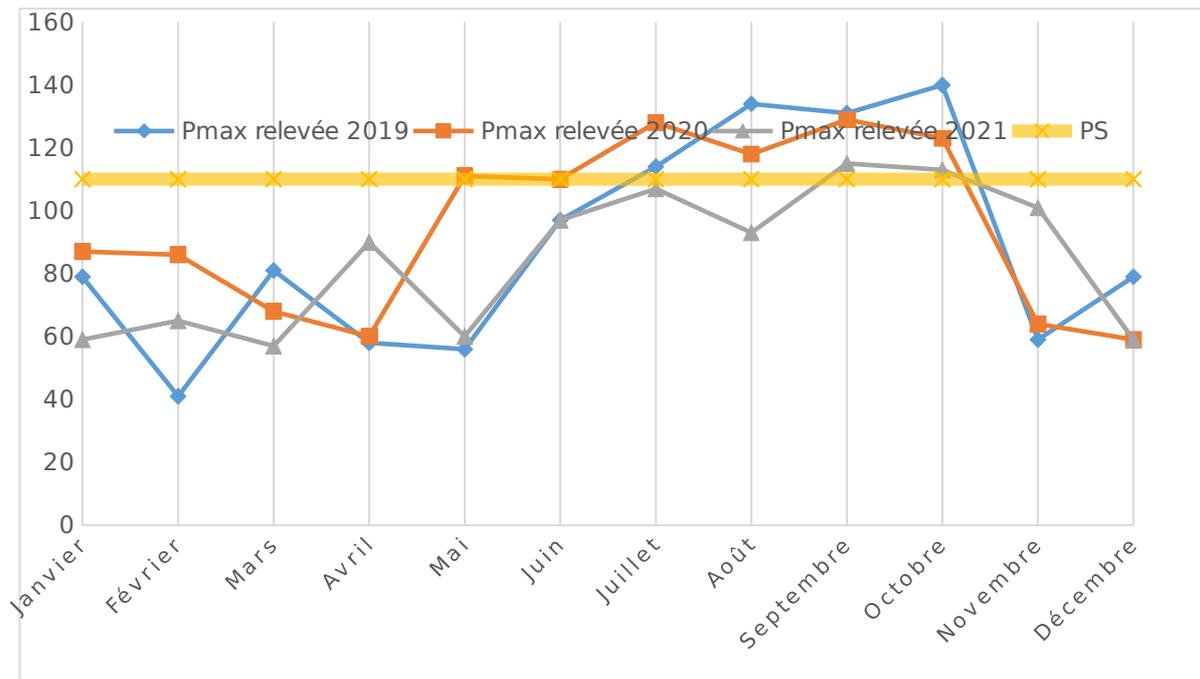
Période de conso en 2020	Conso en kWh en 2020
Janvier	17202
Février	15722
Mars	12633
Avril	11193
Mai	19833
Juin	21446
Juillet	22539
Août	23190
Septembre	24283
Octobre	23415
Novembre	12109
Décembre	11746



**Annexe 3 : Tableaux de l'influence de la puissance relevée et du facteur de puissance sur la pénalité**

Période de conso en 2020	Conso en kWh en 2020	Montant K1	Montant K2	Prime fixe	Pénalités	Taxes	Pmax relevée	Facteur de Puissance
Janvier	17202	1386528	269917	465306	8	401 241	87	0,85
Février	15722	1267187	246773	435286	10	368 944	86	0,84
Mars	12633	1007348	215673	465306	- 52	323 225	68	0,8
Avril	11193	892075	191806	450296	90 568	294 855	60	0,77
Mai	19833	1624758	269338	465306	7 480	444 018	111	0,85
Jun	21446	1775110	262106	450296	- 67	466 455	110	0,85
Juillet	22539	1876550	257911	465306	134 849	487 284	128	0,86
Août	23190	1939747	250968	465306	59 869	497 410	118	0,86
Septembre	24283	2021116	278885	450296	137 647	513 756	129	0,88
Octobre	23415	1926275	305067	465306	97 329	504 723	123	0,88
Novembre	12109	954097	225075	450296	96 125	312 007	64	0,75
Décembre	11746	921911	224063	465306	95 064	309 356	59	0,75
<b>TOTAL</b>	<b>215311</b>	<b>17592702</b>	<b>2997582</b>	<b>5493612</b>	<b>718828</b>	<b>4923276</b>	<b>143</b>	<b>1</b>

**Annexe 4 : la courbe des puissances relevées maximales des trois dernières années**



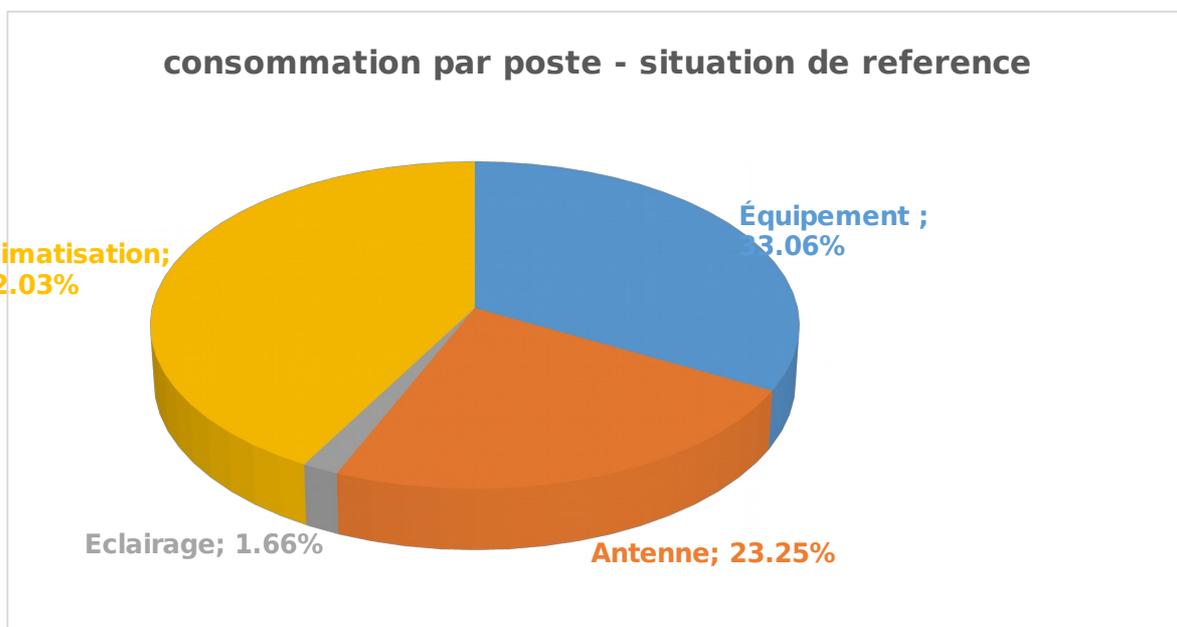
### Annexe 5 : Norme sur les THD et leurs conséquences

Taux d'harmoniques	Effets prévisibles
THDU < 5 % et THDI < 10 %	Néant
5 % < THDU < 8 % ou 10 % < THDI < 50 %	Pollution significative, effets nuisibles possibles
THDU > 8 % et THDI > 50 %	Pollution forte, dysfonctionnement probables
Taux d'harmoniques de rang 3 en courant > 15 %	Courant non négligeable dans le neutre

Analyse prévisionnelle du taux de distorsion harmoniques en courant |

Source : la norme EN 61000.

Annexe 6 : le diagramme de la consommation théorique du bâtiment de la SAED et l'antenne



**Annexe 7 : Résultats de la simulation de PVsyst du dimensionnement de l'éclairage**

### Système couplé au réseau: Paramètres de simulation

<b>Projet :</b>	<b>INST PV</b>		
<b>Site géographique</b>	<b>Dakar</b>	<b>Pays</b>	<b>Senegal</b>
<b>Situation</b>	Latitude 14.48° N	Longitude	-17.01° W
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU-1	Altitude	5 m
	Albédo 0.20		
<b>Données météo:</b>	<b>Dakar</b>	Synthétique	

<b>Variante de simulation :</b>	<b>Nouvelle variante de simulation</b>
Date de la simulation	16/06/22 à 11h43

<b>Paramètres de simulation</b>	Type de système	<b>Pas de scène 3D, pas d'ombrages</b>	
<b>Orientation plan capteurs</b>	Inclinaison	15°	Azimut 0°
<b>Modèles utilisés</b>	Transposition	Perez	Diffus Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Pas d'horizon		
<b>Ombrages proches</b>	Sans ombrages		
<b>Besoins de l'utilisateur :</b>	Charge illimitée (réseau)		

<b>Caractéristiques du champ de capteurs</b>			
<b>Module PV</b>	Si-mono	Modèle	<b>CS6K - 310MS-AG</b>
Base de données PVsyst originale		Fabricant	Canadian Solar Inc.
Nombre de modules PV		En série	16 modules
Nombre total de modules PV		Nbre modules	16
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	<b>4960 Wc</b>
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	473 V
Surface totale		Surface modules	<b>26.3 m²</b>
			En parallèle 1 chaînes
			Puissance unitaire 310 Wc
			Aux cond. de fonct. 4478 Wc (50°C)
			I mpp 9.5 A
			Surface cellule 23.5 m²
<b>Onduleur</b>			
Base de données PVsyst originale		Modèle	<b>Sunny Boy 5000</b>
Caractéristiques		Fabricant	SMA
		Tension de fonctionnement	125-750 V
			Puissance unitaire 4.60 kWac
Batterie d'onduleurs		Nbre d'onduleurs	1 unités
			Puissance totale 4.6 kWac
			Rapport Pnom 1.08

Acti  
Accé

### Système couplé au réseau: CO2 Balance

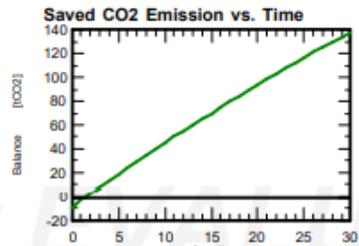
**Projet :** INST PV  
**Variante de simulation :** Nouvelle variante de simulation

<b>Principaux paramètres système</b>	Type de système	<b>Pas de scène 3D, pas d'ombrages</b>	
Orientation plan capteurs	inclinaison	15°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	CS6K - 310MS-AG	Pnom 310 Wc
Champ PV	Nombre de modules	16	Pnom total <b>4960 Wc</b>
Onduleur	Modèle	Sunny Boy 5000	Pnom 4600 W ac
Besoins de l'utilisateur	Charge illimitée (réseau)		

<b>Produced Emissions</b>	<b>Total: 9.16 tCO2</b>	Source: Detailed calculation from table below
<b>Replaced Emissions</b>	<b>Total: 169.7 tCO2</b>	
	System production: 9064.49 kWh/an	Lifetime: 30 years
		Annual Degradation: 1.0 %
	Grid Lifecycle Emissions: 624 gCO2/kWh	
	Source: IEA List	Country: Senegal
<b>CO2 Emission Balance</b>	<b>Total: 138.1 tCO2</b>	

**System Lifecycle Emissions Details:**

Item	Modules	Supports
LCE	1713 kgCO2/kWc	4.16 kgCO2/kg
Quantity	4.96 kWc	160 kg
Subtotal [kgCO2]	8495	666



## Annexe 8 : Résultats de simulation de PVsyst des équipements

PVSYST V6.79		16/06/22	Page 1/4
<b>Système couplé au réseau: Paramètres de simulation</b>			
<b>Projet : INST PV</b>			
<b>Site géographique</b>	<b>Dakar</b>	<b>Pays</b>	<b>Sénégal</b>
<b>Situation</b>	Latitude 14.48° N	Longitude	-17.01° W
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU-1	Altitude	5 m
<b>Données météo:</b>	<b>Dakar</b>	Synthétique	
<b>Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation</b>			
	Date de la simulation	16/06/22 à 11h05	
<b>Paramètres de simulation</b>	Type de système	<b>Pas de scène 3D, pas d'ombrages</b>	
<b>Orientation plan capteurs</b>	Inclinaison	15°	Azimut 0°
<b>Modèles utilisés</b>	Transposition	Perez	Diffus Perez, Meteonorm
<b>Horizon</b>	Pas d'horizon		
<b>Ombrages proches</b>	Sans ombrages		
<b>Besoins de l'utilisateur :</b>	Charge illimitée (réseau)		
<b>Caractéristiques du champ de capteurs</b>			
<b>Module PV</b>	Si-poly	Modèle	<b>CS6U - 320P-AG 1500V</b>
Base de données PVsyst originale	Fabricant	Canadian Solar Inc.	
Nombre de modules PV	En série	9 modules	En parallèle 26 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules	234	Puissance unitaire 320 Wc
Puissance globale du champ	Nominale (STC)	<b>74.9 kWc</b>	Aux cond. de fonct. 67.1 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)	U mpp	296 V	I mpp 227 A
Surface totale	Surface modules	<b>455 m<sup>2</sup></b>	Surface cellule 410 m <sup>2</sup>
<b>Onduleur</b>	Modèle	<b>EPC-PV 208-30kW</b>	
Base de données PVsyst originale	Fabricant	Ballard	
Caractéristiques	Tension de fonctionnement	240-600 V	Puissance unitaire 30.0 kWac
Batterie d'onduleurs	Nbre d'onduleurs	2 unités	Puissance totale 60 kWac
			Rapport Pnom 1.25

## Système couplé au réseau: CO2 Balance

**Projet :** INST PV

**Variante de simulation :** Nouvelle variante de simulation

Principaux paramètres système	Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages	
Orientation plan capteurs	inclinaison	15°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	CS6U - 320P-AG 1500V	Pnom 320 Wc
Champ PV	Nombre de modules	234	Pnom total <b>74.9 kWc</b>
Onduleur	Modèle	EPC-PV 208-30kW	Pnom 30.0 kW ac
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	2.0	Pnom total <b>60.0 kW ac</b>
Besoins de l'utilisateur	Charge illimitée (réseau)		

<b>Produced Emissions</b>	<b>Total: 135.93 tCO2</b>		
	Source: Detailed calculation from table below		
<b>Replaced Emissions</b>	<b>Total: 2579.4 tCO2</b>		
	System production: 137.79 MWh/an	Lifetime: 30 years	
		Annual Degradation: 1.0 %	
	Grid Lifecycle Emissions: 624 gCO2/kWh		
	Source: IEA List	Country: Senegal	
<b>CO2 Emission Balance</b>	<b>Total: 2102.1 tCO2</b>		

### System Lifecycle Emissions Details:

Item	Modules	Supports
LCE	1766 kgCO2/kWc	4.16 kgCO2/kg
Quantity	71.7 kWc	2240 kg
Subtotal [kgCO2]	126604	9323

