



**ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE POUR LA  
REALISATION D'UNE INSTALLATION HYBRIDE  
PV/RESEAU/GE : CAS DU SIEGE DE L'ENTREPRISE  
ZED-SA**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE  
MASTER EN GENIE ELECTRIQUE, ENERGETIQUE  
SPECIALITE ENERGIES RENOUVELABLES**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 17 Janvier 2019 par

**Mariam Amadou CISSE (20131278)**

**Encadrant 2iE :** Dr. Daniel YAMEGUEU NGUEWO, Enseignant chercheur, Département Génie Electrique, Energétique et Industriel (GEEI), Institut 2iE

**Maître de stage :** Mr. Ouattené Mohamed SOUMARE, Ingénieur chef de projet à ZED-SA

Jury d'évaluation du stage :

Président : Mr. Justin BASSOLE

Membres et correcteurs : Dr. Daniel YAMEGUEU NGUEWO  
Dr. Ahmed Ousmane BAGRE

**Promotion [2017/2018]**

## DEDICACES

Je dédie le présent mémoire à :

- ❖ mes parents pour l'aide et le soutien inconditionnel qu'ils m'ont apportés tout au long de mon cursus scolaire et universitaire. Que Dieu vous fasse miséricorde ;
- ❖ mes frères et sœurs pour leur soutien quotidien ;
- ❖ la communauté de 2iE pour leurs conseils et encouragements ;
- ❖ tous ceux qui m'ont apporté leur soutien de loin ou de près.

## REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements et reconnaissances vont à :

- ❖ l'ensemble du personnel de l'Institut 2iE par l'aide de qui je suis arrivée au terme de ma formation ;
- ❖ Dr Daniel YAMEGUEU NGUEWO, Enseignant chercheur au Département Génie Electrique, Energétique et Industriel de la fondation 2iE pour son encadrement et ses précieux conseils ;
- ❖ l'ensemble du personnel de ZED-SA pour leur accueil et leur soutien tout au long du stage ;
- ❖ M. Ouatténé Mohamed SOUMARE, Ingénieur Electricien et Energéticien à ZED-SA pour ses conseils et son encadrement ;
- ❖ M. Ibrahima MAIGA, le Président Directeur Général de ZED-SA pour son encouragement ;
- ❖ M. Toumani SANGARE, le Directeur Technique de ZED-SA pour ses conseils et remarques ;
- ❖ M. Salou TOLO, Ingénieur Electricien et Energéticien à ZED-SA pour ses conseils, remarques et son soutien ;
- ❖ M. Adama KEITA pour l'aide et le soutien qu'il m'a apporté durant toute la période du stage.

## RESUME

Pour une bonne efficacité énergétique, l'entreprise ZED-SA a décidé de mener certaines études parmi lesquelles figurent :

- ❖ l'audit énergétique du siège de l'entreprise ;
- ❖ l'étude technico-économique d'une installation hybride pour l'alimentation électrique de son siège.

Ces deux études font l'objet de ce présent mémoire et se sont déroulées comme suit :

Nous avons dans un premier temps fait un état des lieux avant de procéder à l'audit proprement dit. Il en ressort que le système de climatisation a un temps de retour sur investissement de **8 ans** pour un financement de **quatre millions cinq cent quarante-sept mille sept cent cinq (4 547 705) FCFA** et une économie annuelle de **5 002 kWh** soit **cinq cent quarante-cinq mille deux cent dix-huit (545 218) FCFA** ; en ce qui concerne l'éclairage, le coût total à investir pour les rénovations est de **un million cinquante-quatre mille (1 054 000) FCFA** et la consommation énergétique annuelle augmente légèrement de **1 695 kWh** à cause du confort visuel que nous avons appliqué. Pour l'alimentation électrique du bâtiment en se basant sur une analyse technico-économique, nous avons opté pour une simulation sur le logiciel Homer Pro afin d'obtenir un système optimal. Ce qui nous a permis de retenir la configuration PV/RESEAU sans stockage coûtant **deux cent treize millions quatre-vingt mille cinq cent trente-sept (273 082 537) FCFA** et permettant d'économiser **quatre millions sept cent soixante-onze mille neuf cent trois (4 771 903 FCFA) FCFA** sur **25 ans** par rapport à l'architecture Réseau/GE. Toutefois, si l'utilisation de la technologie photovoltaïque permet de réduire les coûts de production, elle nécessite la mobilisation d'un capital important de **Vingt-quatre millions huit cent quatre-vingt-dix-neuf mille deux cent quarante (24 899 140) FCFA** contre **huit millions (8 000 000) F CFA** en comparaison au groupe électrogène.

### Mots Clés :

- 1 –Audit énergétique ;**
- 2 –Efficacité énergétique ;**
- 3 – Etude technico-économique ;**
- 4 – Système énergétique hybride ;**
- 5 – Système optimal.**

## ABSTRACT

For a good energy efficiency, the company ZED-SA has decided to carry out certain studies among which are:

- ❖ the energetic audit of the company's headquarters;
- ❖ the technical-economic study of a hybrid installation for the electrical power supply of its seat.

These two studies are the subject of this submission and are conducted as follows:

We first made an inventory before proceeding to the audit itself. The air-conditioning system has a payback period of **8 years** for a financing of **four millions five hundred and forty seven thousand seven hundred and five (4 548 705) FCFA** and annual saving of **5 002 kWh** has **five hundred and forty five thousand two hundred and eighteen** , with regard to the lighting, the total cost generated by the audit is **one million fifty four thousand (1 054 000) FCFA** and the annual energy consumption increases slightly by **1 695 kWh** because of the visual comfort we have applied. For the electrical power supply of the building based on a technical-economic analysis, we opted for a simulation on the Homer Pro software in order to obtain an optimal system. This allowed us to retain the configuration PV / NETWORK without storage that saves **four million seven hundred and seventy-one thousand nine hundred and three (4 771 903 FCFA) FCFA** over **25 years** compared to the network/GE. However, if the use of photovoltaic technology makes it possible to reduce production costs, it requires the mobilization of greater capital of **Twenty-four million eight hundred and ninety-nine thousand one hundred and forty (24 899 140) FCFA** against **eight million (8 000 000) F CFA** in comparison to the generator.

### Key words:

- 1 – Energy audit;**
- 2 – Energy efficiency;**
- 3 – Techno-economic study;**
- 4 – Hybrid energy system;**
- 5 – Optimal system.**

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>2iE</b>	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
<b>ZED-SA</b>	Zénith Energie pour le développement
<b>PV</b>	Photovoltaïque
<b>kW</b>	Kilo Watt
<b>kWh</b>	Kilo Watt heure
<b>COP</b>	Coefficient de performance
<b>AC</b>	Courant alternatif
<b>DC</b>	Courant continu
<b>Wc</b>	Watt Crête
<b>V</b>	Volt
<b>A</b>	Ampère
<b>Ah</b>	Ampère heure
<b>kVA</b>	Kilo Volt Ampère
<b>m</b>	Mètre
<b>mm<sup>2</sup></b>	Millimètre carré
<b>FCFA</b>	Franc de la Communauté Financière Africaine
<b>PDG</b>	Président Directeur Général
<b>DT</b>	Directeur Technique
<b>DA</b>	Directrice Administrative
<b>DFC</b>	Directrice Financière et Comptable
<b>E</b>	Energie
<b>Ec</b>	Eclairage
<b>Cv</b>	Cheval
<b>Mppt</b>	Maximum Power Point Tracking
<b>IRC</b>	Indice de Rendu des Couleur
<b>GE</b>	Groupe Electrogène

## SOMMAIRE

<i>DEDICACES</i> .....	<i>i</i>
<i>REMERCIEMENTS</i> .....	<i>ii</i>
<i>RESUME</i> .....	<i>iii</i>
<i>ABSTRACT</i> .....	<i>iv</i>
<i>LISTE DES ABREVIATIONS</i> .....	<i>v</i>
<i>SOMMAIRE</i> .....	<i>1</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i> .....	<i>3</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i> .....	<i>4</i>
<i>INTRODUCTION GENERALE</i> .....	<i>5</i>
<i>I. CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE</i> .....	<i>7</i>
I.1 Localisation.....	<i>7</i>
I.2 Description de la structure d'accueil.....	<i>7</i>
<i>II. CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE</i> .....	<i>9</i>
II.1 Les constituants d'une installation photovoltaïque.....	<i>9</i>
II.2 Les différents systèmes photovoltaïques.....	<i>10</i>
II.3 Hypothèses de calcul.....	<i>10</i>
<i>III. CHAPITRE III : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE</i> .....	<i>12</i>
III.1 Etude technique : Etat des lieux.....	<i>12</i>
III.1.1 Système d'éclairage.....	<i>12</i>
III.1.2 Système de climatisation.....	<i>12</i>
III.1.3 Bureautique.....	<i>12</i>
III.2 Audit énergétique.....	<i>13</i>
III.2.1 Diagnostics préliminaires et choix des appareils concernés par l'audit [5]:.....	<i>13</i>
III.2.2 Évaluation de la consommation énergétique.....	<i>14</i>
III.2.3 Profil de la consommation énergétique avant optimisation.....	<i>14</i>
III.2.4 Constats et plans d'actions immédiats.....	<i>16</i>
III.2.5 Audit du système de climatisation.....	<i>16</i>

III.2.6 Estimation du temps de fonctionnement annuel des climatiseurs.....	17
III.2.7 Audit sur le système d'éclairage.....	20
III.2.8 Évaluation financière.....	26
III.2.9 Conclusion partielle.....	28
III.3 Bilan de puissance du siège de ZED-SA.....	28
III.3.1 Bilan de puissance de l'installation existante.....	28
III.3.2 Bilan de puissance après l'optimisation de l'installation existante.....	28
III.4 Dimensionnement du générateur PV.....	30
III.4.1 Calcul et détermination des paramètres techniques : cas du siège de zed-sa.....	30
III.4.2 Évaluation du coût de l'installation photovoltaïque.....	43
III.4.3 Conclusion partielle.....	43
III.5 Etude économique.....	44
III.5.1 Calcul et détermination des paramètres financiers.....	44
III.5.2 Résultats et discussion.....	46
III.5.3 Conclusion partielle.....	49
<i>CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.....</i>	<i>50</i>
<i>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</i>	<i>51</i>
<i>ANNEXES.....</i>	<i>52</i>
Annexe 1 : Fiche des données de l'éclairage dans un local.....	52
Annexe 2 : Bilan de puissance existant et avec les extensions de zed-sa.....	55
Annexe 3 : Fiche technique des équipements photovoltaïques.....	63

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Représentation synoptique général d'un système PV .....	9
Tableau 2 : Moyenne journalière de l'irradiation globale par m <sup>2</sup> et les coordonnées du site sur PVSyst et la température mensuelle.....	10
Tableau 3 : Caractéristiques des luminaires existants .....	12
Tableau 4 : Caractéristiques des climatiseurs existants .....	12
Tableau 5 : Caractéristiques des bureaux existants.....	12
Tableau 6 : Facture de la consommation énergétique du siège de ZED-SA en 2017 .....	14
Tableau 7 : Constats et plans d'actions.....	16
Tableau 8 : Niveau de sollicitation en fonction des périodes de l'année.....	17
Tableau 9 : Calcul de la consommation énergétique des climatiseurs avant l'optimisation ....	17
Tableau 8: Coefficient de performance des climatiseurs .....	18
Tableau 9: Coefficient de performance recommandé des climatiseurs.....	18
Tableau 10 : Puissance frigorifique des locaux.....	19
Tableau 11 : Consommation annuelle de la climatisation après l'optimisation .....	19
Tableau 12 : Consommation annuelle des luminaires.....	21
Tableau 13 : Caractéristiques des lampes LED de rénovation sans ballast .....	22
Tableau 14 : Détermination du coefficient d'utilisation de l'installation.....	23
Tableau 15 : Consommation annuelle des luminaires après l'optimisation .....	24
Tableau 16 : Coût d'investissement pour la rénovation des climatiseurs.....	26
Tableau 17 : Coût de l'investissement pour la rénovation des luminaires .....	27
Tableau 18 : Bilan de puissance de l'installation existante .....	28
Tableau 19 : Equipements de l'extension .....	28
Tableau 20 : Bilan de puissance du siège de ZED-SA.....	30
Tableau 21 : Dimensionnement sur SMA Design.....	36
Tableau 22: Sections de câbles et chutes de tensions.....	39
Tableau 23 : Section de câble et chute de tension.....	39
Tableau 24 : Section de câble et chute de tension.....	39
Tableau 25 : Valeur de $\varphi$ selon le résultat du tableau suivant.....	40
Tableau 26 : Choix d'une mesure de protection .....	41
Tableau 27 : Valeur de $\sigma$ selon la situation de la ligne aérienne (BT) du bâtiment ou du champ .....	41
Tableau 28 : Choix de <b>IN</b> en fonction de <b>FPV</b> .....	41

Tableau 29 : Evaluation du coût de l'installation photovoltaïque .....	43
Tableau 30 : Liste des configurations les plus optimales.....	46
Tableau 31 : Temps de retour sur investissement de la configuration PV/RESEAU .....	48

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du site .....	7
Figure 2 : Organigramme de la structure d'accueil .....	8
Figure 3 : Figure de la consommation énergétique annuelle de ZED-SA .....	15
Figure 4 : Répartition de la consommation énergétique de ZED-SA par poste avant l'optimisation .....	15
Figure 5 : Profil des factures mensuelles de ZED-SA .....	16
Figure 6 : Courbe de la comparaison des consommations annuelles avant et après optimisation .....	26
Figure 7 : Schéma synoptique du système hybride .....	31
Figure 8 : Schéma de l'installation sur HOMER Pro .....	45
Figure 9 : Profil de charge de l'entreprise ZED- SA .....	46
Figure 10 : Graphe des coûts du PV et du RESEAU sur la durée de vie du projet.....	48
Figure 11 : Données techniques du système .....	49

## INTRODUCTION GENERALE

### CONTEXTE ET OBJECTIF

Depuis toujours, avec comme objectif l'amélioration de son niveau de vie, l'homme n'a cessé d'accroître sa consommation énergétique, lui permettant ainsi d'accéder à des commodités qui lui sont devenues au fil du temps nécessaires, voir même indispensables.

Le Mali, classé parmi les pays en développement a un taux national d'accès à l'électricité qui est passé de **32.43%** en **2013** à **38 %** en **2016**, soit une amélioration du taux de couverture de **5.57 %** et une consommation d'électricité variant de **1 012 885 MWh** à **1 488 931 MWh** entre **2012** et **2016** [1]. Malgré les efforts du gouvernement actuel, de nombreuses zones ne sont pas électrifiées.

Cette situation, rend de plus en plus aigüe la nécessité pour chaque structure de l'Etat de produire sur place une bonne partie, voir l'intégralité de son besoin en énergie électrique. Dans cette optique, le recours aux énergies renouvelables est évident. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre étude intitulée : « **Etude technico-économique pour la réalisation d'une installation hybride solaire PV/RESEAU/GE : cas du siège de l'entreprise ZED-SA** ».

L'énergie solaire, bien qu'elle ne corresponde qu'à une partie négligeable de la production et de la consommation d'énergie au Mali, pourrait faire partie de la solution pour résoudre les problèmes environnementaux et énergétiques actuels et futurs. Nous pouvons dès lors nous demander si au Mali l'installation de grands systèmes photovoltaïques est financièrement rentable et si cette source d'énergie est réellement favorable à l'environnement.

Pour satisfaire cette forte demande énergétique, nous devons atteindre certains objectifs. L'objectif général de ce mémoire vise l'étude technico-économique pour la réalisation d'une installation hybride afin de sécuriser l'alimentation continue des équipements du siège de ZED-SA et les objectifs spécifiques sont :

- ❖ l'optimisation de l'installation électrique existante ;
- ❖ l'étude complète de l'alimentation électrique de ZED-SA par un système hybride ;
- ❖ la faisabilité du projet.

### METHODOLOGIE DE LA CONCEPTION

Pour atteindre les objectifs fixés, quatre étapes seront suivies :

- ❖ l'état des lieux et l'optimisation de l'installation existante (dimensionnement des luminaires et des climatiseurs) ;
- ❖ le bilan de puissance actuel et le bilan de puissance après l'optimisation du système ;

- ❖ l'étude détaillée du système hybride PV/RESEAU/GE ;
- ❖ la simulation sur le logiciel HOMER PRO pour l'étude économique du système hybride

Le présent mémoire est structuré autour de quatre chapitres. Le premier est relatif à la présentation de la structure d'accueil et de la zone d'étude, le second traite des matériels et méthodes bibliographiques, le troisième traite de l'étude technico-économique de l'installation hybride PV/RESEAU/GE pour l'alimentation du siège de l'entreprise ZED-SA et le dernier chapitre consiste à une analyse des résultats obtenus dans le chapitre précédant. L'audit énergétique sera un travail préliminaire pour l'étude du système hybride afin d'être dans les normes des installations électriques et d'éviter les pertes d'énergies.

# I. CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

## I.1 LOCALISATION

L'étude portera sur le siège de Zénith Energie pour le Développement (ZED-SA), Société Anonyme de droit Malien, numéro RCM (MA.BKO.2005.B.2962), domiciliée au Quartier Mali Rue 201 face aux 300 logements – BP 3141 Mali comme l'indique la figure 1 ci-dessous.



Figure 1 : Localisation du site

## I.2 DESCRIPTION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Zénith Energie pour le Développement (ZED-SA) est une Société Anonyme de droit Malien créée le 04 janvier 1994 à Bamako au Mali. C'est une référence dans la sous-région ouest Africaine dans le domaine de l'électricité, l'hydraulique, l'étude, la réalisation, la maintenance et la formation. ZED-SA est un partenaire qui aide ses clients à acquérir des équipements solaires, ou hydrauliques selon leur budget.

La société propose un large choix de produits et de services, notamment:

- ✚ la vente simple d'équipements solaires, électriques, ou hydrauliques ;
- ✚ l'installation d'équipements ;
- ✚ la maintenance et le service après-vente des équipements solaires, hydrauliques ;
- ✚ Elle réalise également des audits énergétiques.

Quelques réalisations des 5 dernières années :

- ✚ une (1) mini-centrale photovoltaïque pour l'alimentation de l'éclairage de la cour et de certains bureaux du siège de la commission de la CEDEAO à Abuja ;
- ✚ sept (7) centrales solaires hybrides au compte d'EDM-SA (Solaire PV avec stockage + Groupe électrogène) pour les villes de Koro, Ouélessébougou, Bankass, Tominian, Nara, Diéma et Ansongo.

Son organigramme se présente conformément à la figure 2 ci-dessous :

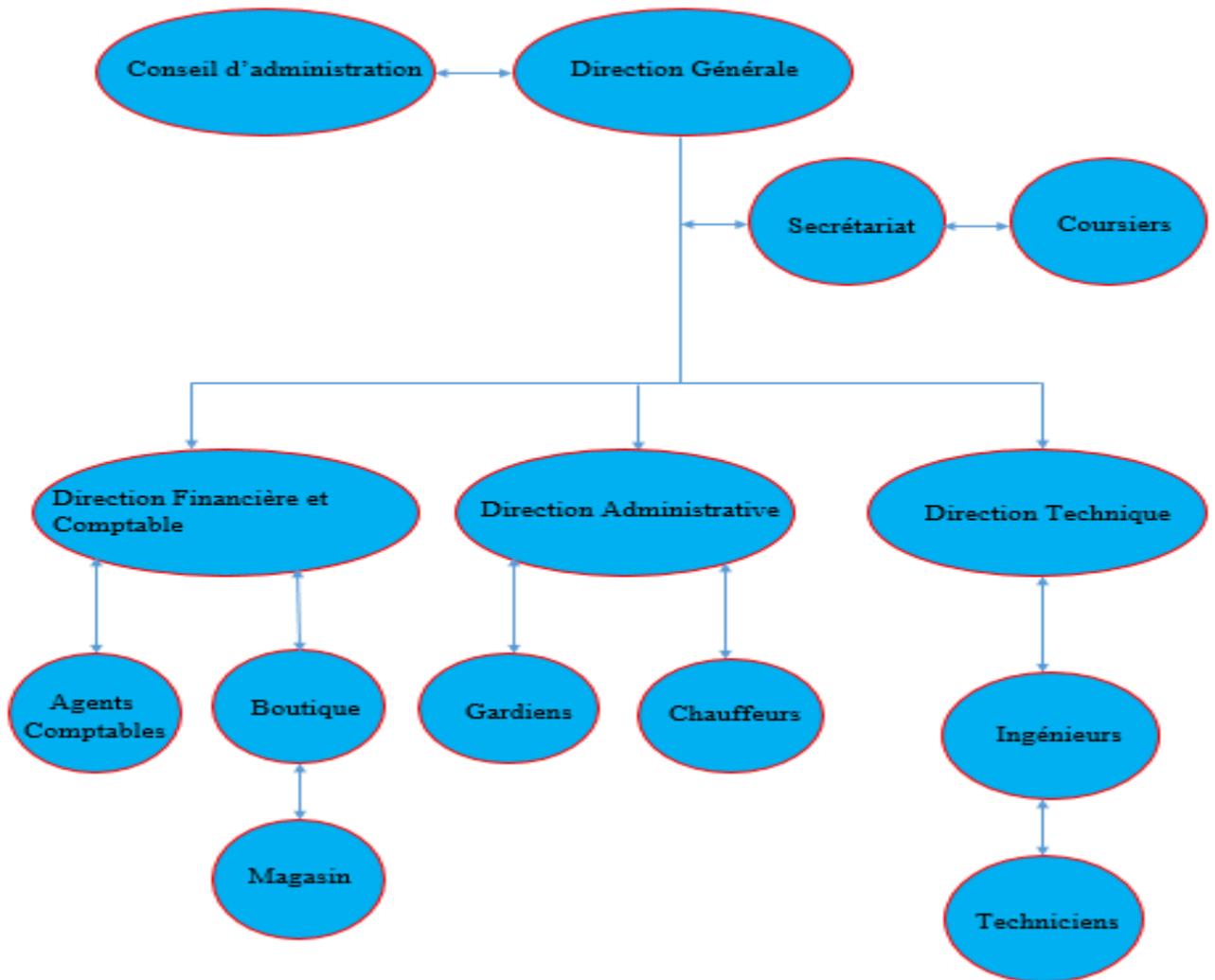


Figure 2 : Organigramme de la structure d'accueil

## II. CHAPITRE II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

### II.1 LES CONSTITUANTS D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

Tableau 1 : Représentation synoptique général d'un système PV



#### a) Les modules

Un module solaire photovoltaïque (ou panneau solaire photovoltaïque) est un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, qui sert de module de base pour les installations photovoltaïques et notamment les centrales solaires photovoltaïques.

#### b) Le régulateur de charge

Il contrôle la production des panneaux tout en optimisant la durée de vie des batteries.

Le régulateur est installé entre le champ solaire et les batteries pour une régulation automatique évitant d'une part la décharge profonde des batteries et d'autre part une recharge excessive des batteries par les modules PV.

#### c) L'onduleur

L'onduleur a pour rôle de convertir un système de tension et courant continu fournis par les modules photovoltaïques en système de tension et de courant alternatif identique à celui du réseau (ou celui des charges). Les équipements électriques sont généralement alimentés en 230 VAC, donc nous aurons besoin d'équipements de conversion de l'énergie solaire continue délivrée par les modules PV en énergie électrique alternative.

#### d) Les batteries

Un parc de stockage d'énergie permet de restituer l'énergie qu'il a stockée durant les périodes

d'ensoleillement pour alimenter les récepteurs quand l'ensoleillement n'y est plus ou au besoin.

## II.2 LES DIFFERENTS SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES

Les systèmes PV les plus couramment utilisés sont de trois types [3] :

❖ **Système PV sur site isolé** : Ces systèmes sont dits autonomes puisque seule l'énergie produite par le PV est utilisée pour alimenter le site.

✚ Pas de réseau classique;

✚ Système capable de satisfaire les besoins énergétiques pour lesquels il a été installé;

✚ Système avec batterie pour utilisation la nuit ou en absence de soleil ;

✚ Système au fil du soleil.

✚ **Système PV connecté au réseau** : La production totale ou partielle est injectée dans le réseau électrique existant (celui du distributeur). Mise en œuvre demande une bonne connaissance du réseau utilisé. La production totale ou partielle est injectée dans le réseau électrique existant (celui du distributeur) ;

❖ **PV dans un système hybride** :

Le système hybride est la combinaison de plusieurs sources d'énergie pour la production d'électricité. La configuration du système hybride solaire proposée ici est la combinaison de deux principales sources d'énergie (solaire et le réseau de distribution public EDM-SA) sans stockage pour une production continue et fiable de l'énergie électrique, le groupe électrogène est une source secours en cas de délestage. La totalité de l'énergie produite par le générateur PV est destinée à alimenter le siège. Nous avons opté pour ce système à cause de la contrainte de la surface disponible pour l'installation des équipements photovoltaïques.

## II.3 HYPOTHESES DE CALCUL

Pour le dimensionnement nous avons besoin de certaines données importantes obtenues dans les logiciels PVSyst et RETScreen comme le présente le tableau 1.

Tableau 2 : Moyenne journalière de l'irradiation globale par m<sup>2</sup> et les coordonnées du site sur PVSyst et la température mensuelle

	<b>Système fixe : inclinaison 15° orientation = 0°</b>	<b>Température mensuelle</b>
<b>Mois</b>	<b>Irradiance globale (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	
Janvier	6,57	24,8
Février	7,06	27,9
Mars	7,61	30,9

Avril	6,57	32,5
Mai	6,03	31,4
Juin	5,65	28,6
Juillet	5,28	26,3
Août	5,13	25,7
Septembre	5,84	26,1
Octobre	6,52	27,3
Novembre	6,67	26,9
Décembre	6,5	24,9
Année	6,28	27,8
Longitude	12,6091419°	-
Latitude	-7,998772°	-

### III. CHAPITRE III : ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE

Conformément à la méthodologie, nous procéderons en premier temps par l'état des lieux.

#### III.1 ETUDE TECHNIQUE : ETAT DES LIEUX

La visite sur le site nous a permis de dresser la liste des équipements, les récepteurs installés sont généralement l'éclairage, la climatisation et la bureautique comme le présente les tableaux 2, 3 et 4 ci-dessous.

##### III.1.1 Système d'éclairage

Tableau 3 : Caractéristiques des luminaires existants

Désignation	Puissance unitaire (W)	Puissance des ballasts (W)	Nombre	Puissance totale (W)
Fluocompacte	36	9	10	450
Fluorescente	18	5	60	1350
Fluocompacte	15	4	22	412,5
<b>Total</b>				<b>2 213</b>

##### III.1.2 Système de climatisation

Tableau 4 : Caractéristiques des climatiseurs existants

Marque des climatiseurs	Local	Puissance (W)	Puissance frigorifique (W)
LG	Bureau du PDG	2 100	5 630
Samsung	Secrétariat	1 790	5 264
Samsung	Bureau du directeur technique	980	2 632
Samsung	Bureau de la directrice financière	980	2 632
Samsung	Bureau de la directrice administrative	1 104	2 632
Sharp	Bureau des ingénieurs	1 880	5 010
Samsung	salle du serveur	980	2 632
Samsung	Bureau des comptables	1 600	3 015
Samsung	Bureau des informaticiens	2 000	5 264
Samsung	Bureau des logisticiens	2 000	5 264
Samsung	Salle du traceur	980	2 632

##### III.1.3 Bureautique

Tableau 5 : Caractéristiques des bureautiques existantes

Model	Puissance unitaire (W)	Quantité	Puissance totale (W)
<b>Ordinateur</b>			
Portable HP	45	20	900
Fixe HP	400	3	1 200
<b>Total</b>			2 100
<b>Scanner</b>			
HP Deskjet F388	60	1	60
<b>Imprimante</b>			
HP, HQ-TRE 71004	696	1	696
HP CNB8J1X79T	480	1	480
Canon RYN93719	744	1	744
HP CNCTF9V1NT	960	1	960
HP Deskjet 1510	594	1	594
HP CNF1B03949	600	1	600
Canon KQX05117	648	1	648
<b>Total</b>			<b>4 722</b>

## III.2 AUDIT ENERGETIQUE

L'audit énergétique ou l'optimisation énergétique consiste à diagnostiquer la consommation énergétique de l'entreprise afin d'évaluer la performance énergétique, d'analyser les anomalies et de proposer des actions d'amélioration [4]. A la différence de l'efficacité énergétique, l'audit énergétique s'effectue sur un bâtiment existant.

### III.2.1 Diagnostics préliminaires et choix des appareils concernés par l'audit [5]:

Après avoir effectué la visite du site (état des lieux), nous avons retenu que le bâtiment est un R+1 avec la façade sud du premier étage vitrée, les murs sont peints en blanc et le bâtiment ne comporte aucune isolation thermique. Pour étendre ses activités, le propriétaire de l'entreprise envisage d'ajouter deux étages de plus pour en faire un R+3, d'où notre étude portera sur le bâtiment avec l'extension.

Au terme de la visite du site, il ressort que la climatisation et la bureautique constituent un véritable point de consommation, la consommation des luminaires peut aussi être optimisée. Après cette analyse, l'audit énergétique portera sur la climatisation. Nous proposerons tout de même un des mesures d'économies d'énergies par rapport au système d'éclairage en dimensionnant les nombres de luminaires qu'il faut dans les locaux. La bureautique est

épargnée à cause du coût de changement des équipements mais nous proposons tout de même ces quelques recommandations suivantes :

- ✚ centraliser certaines imprimantes ;
- ✚ faire la maintenance à des intervalles de temps régulier ;
- ✚ éteindre les bureautiques en quittant les lieux.

### III.2.2 Évaluation de la consommation énergétique

Cette partie concerne l'analyse des factures avant et après l'optimisation du système afin de voir les gains réalisés. Le tableau 5 suivant nous montre la consommation annuelle de l'entreprise selon les factures de l'EDM-SA.

Tableau 6 : Facture de la consommation énergétique du siège de ZED-SA en 2017

Mois	Consommation totale (kWh)	Ent/loc compteur (FCFA)	Taxe fixe (FCFA)	TVA 18%	Montant (FCFA)
Janvier	2 026	3 160	5 081	47 222	314 643
Février	3 786	3 160	5 081	88 406	584 627
Mars	4 315	3 160	5 081	100 784	665 775
Avril	5 179	3 160	5 081	121 002	798 313
Mai	3 641	3 160	5 081	85 012	562 383
Juin	3 360	3 160	5 081	78 437	519 278
Juillet	3 061	3 160	5 081	71 440	473 411
Août	2 789	3 160	5 081	69 755	462 366
Septembre	3 237	3 160	5 081	75 559	500 410
Octobre	3 801	3 160	5 081	88 756	586 927
Novembre	3 153	3 160	5 081	73 593	487 524
Décembre	1 855	3 160	5 081	43 220	288 411
<b>Total</b>	<b>40 203</b>				<b>6 244 068</b>

### III.2.3 Profil de la consommation énergétique avant optimisation

Les figurent 3, 4 et 5 présentent les consommations annuelles de l'entreprise avant l'optimisation.

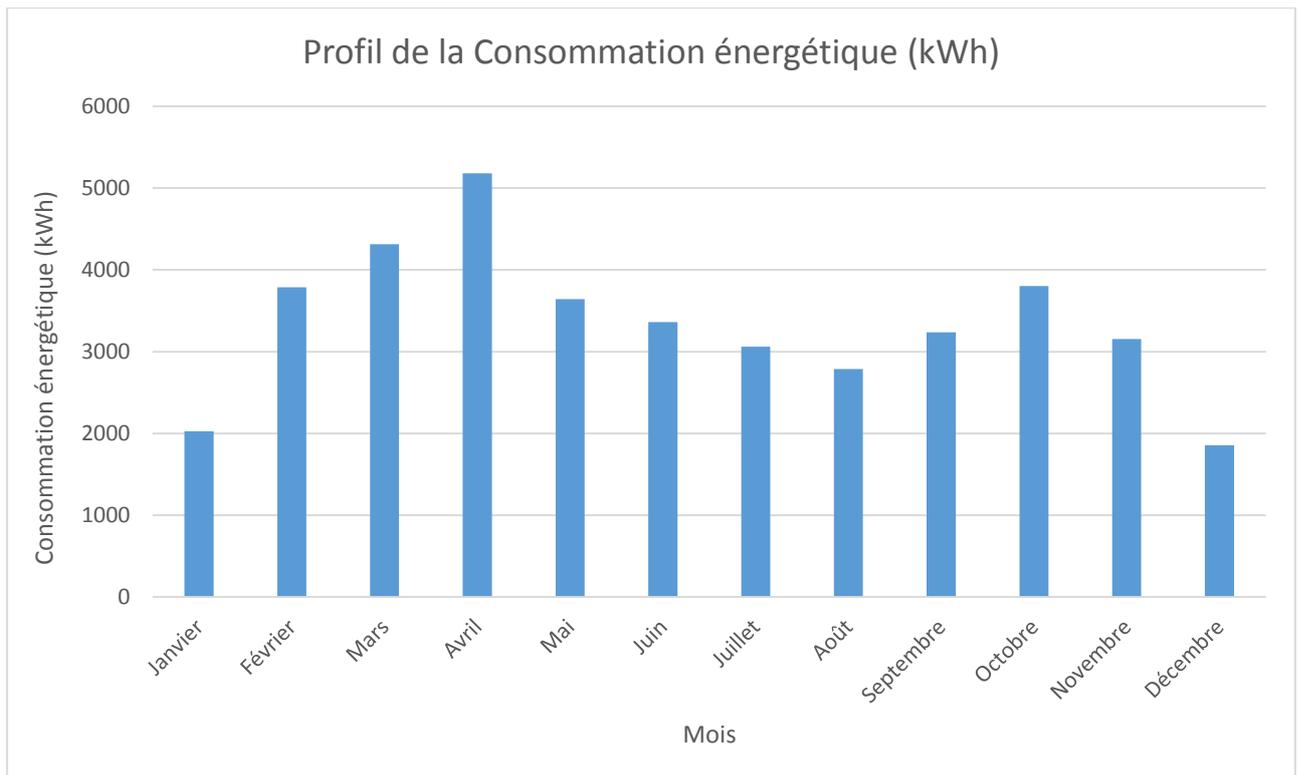


Figure 3 : Figure de la consommation énergétique annuelle de ZED-SA

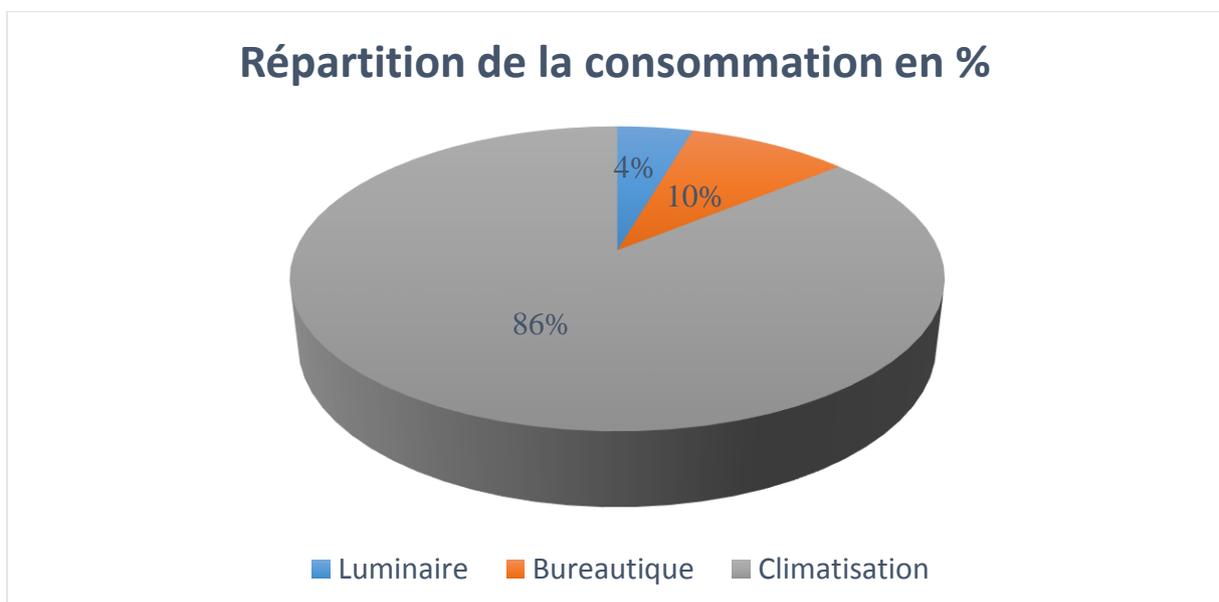


Figure 4 : Répartition de la consommation énergétique de ZED-SA par poste avant l'optimisation

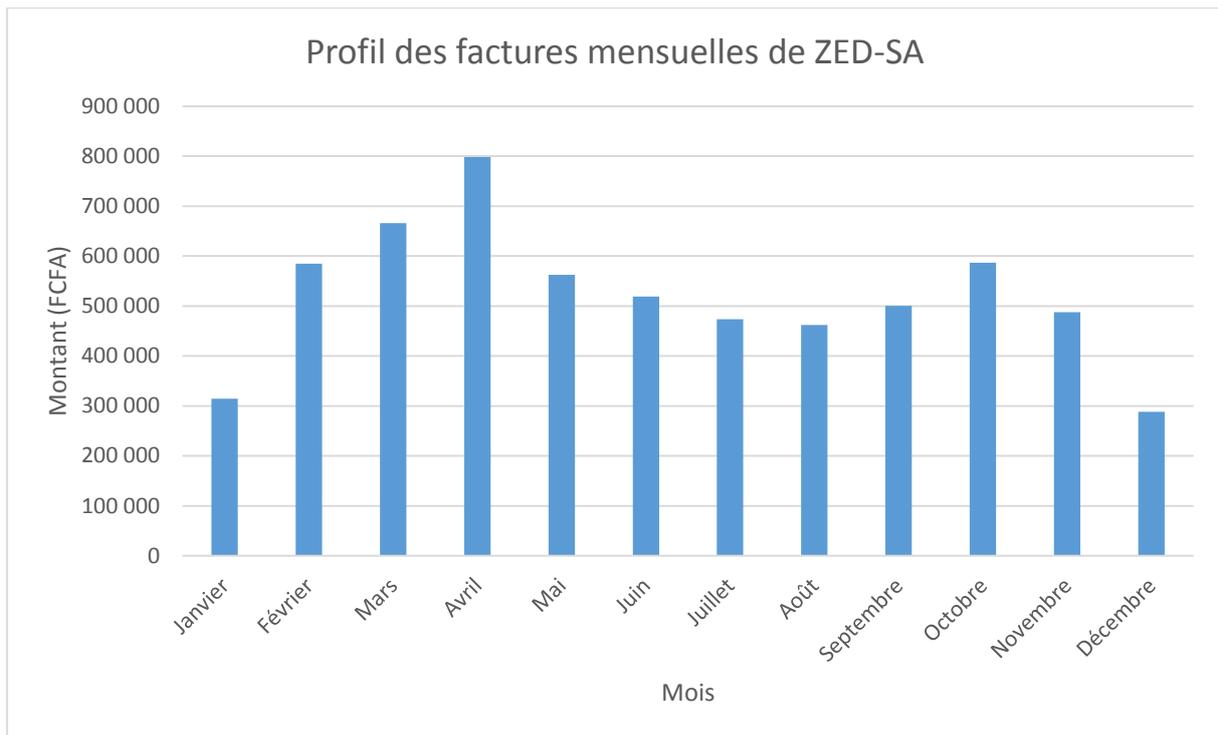


Figure 5 : Profil des factures mensuelles de ZED-SA

### III.2.4 Constats et plans d'actions immédiats

Le tableau 6 ci-dessous nous permet d'optimiser la consommation énergétique de l'entreprise.

Tableau 7 : Constats et plans d'actions

Système	Constats	Plans d'actions immédiats
Eclairage	Certains luminaires ne sont pas fonctionnels et entraînent une insuffisance d'éclairage dans le local	Remplacement des luminaires par ceux qui sont plus économiques
	Les luminaires restent allumés même quand le local n'est pas occupé	Installation des détecteurs de mouvement
Climatisation	Trop de renouvellement d'air dans certains locaux	Sensibiliser le personnel
	Les climatiseurs restent allumés même quand le local n'est pas occupé	Sensibiliser le personnel
	Certains climatiseurs sont énergivores	En cas de remplacement, il faudrait commander des climatiseurs moins énergivores
Bureautique	La plupart des machines sont en veilles en dehors des heures de services	Sensibiliser le personnel à arrêter les machines à la descente

### III.2.5 Audit du système de climatisation

L'objectif principal de l'utilisation d'un climatiseur est d'extraire la chaleur du local et la rejeter à l'extérieur.

### III.2.6 Estimation du temps de fonctionnement annuel des climatiseurs

Pour le calcul du temps de fonctionnement nous allons procéder comme suit :

#### ❖ Jour ouvrable par an

Le nombre de jours fériés est estimé à 13 jours par an et le nombre de week-end (jours non ouvrables) est estimé à 104 jours par an. La formule 1 suivante nous permet de calculer le nombre de jours ouvrables par an :

$$Jour_{ouvrable/an} = Nombre\ de\ jour_{annuel} - Nombre\ de\ jours_{férié} - Week - end_{annuel} \quad (1)$$

$$Jour_{ouvrable/an} = 365 - 13 - 104$$

$$Jour_{ouvrable/an} = 248\ jours / an$$

#### ❖ Calcul du temps de fonctionnement annuel des climatiseurs

Le nombre d'heures de fonctionnement journalier varie en fonction des bureaux, pour certains, l'estimation est de 8 heures par jour pour les locaux et 24 heures par jour pour la salle du serveur tout en appliquant un coefficient de simultanéité et un niveau de sollicitation qui diffère selon le local. Le niveau de sollicitation varie en fonction de la période de l'année et est estimé comme présenté dans ce tableau 7 à :

Tableau 8 : Niveau de sollicitation en fonction des périodes de l'année

Période	Niveau de sollicitation (%)
Période froide (décembre-janvier)	15
Période intermédiaire (août-novembre-février)	95
Période chaude (mars-juillet)	100
Moyenne	70

#### ❖ Consommation énergétique annuelle de ZED-SA

Vous trouverez ci-dessous dans le tableau 9, le calcul de la consommation énergétique annuelle de la climatisation.

Tableau 9 : Calcul de la consommation énergétique des climatiseurs avant l'optimisation

Local	Puissance (W)	Temps de fonctionnement (h/an)	Consommation annuelle (kWh)
Bureau du PDG	2 100	1 250	2 625
Secrétariat	1 790	1 250	2 237
Bureau du directeur technique	980	1 250	1 225

Bureau de la directrice financière	980	1 250	1 225
Bureau de la directrice administrative	1 104	1 250	1 380
Bureau des ingénieurs	1 880	1 250	2 350
salle du serveur	980	3 750	3 675
Bureau des comptables	1 600	1 250	2 000
Bureau des informaticiens	2 000	1 250	2 500
Salle du traceur	980	1 250	1 225
Bureau des logisticiens	2 000	1 250	2 500
<b>Total</b>			22 941

A partir du tableau 8, nous pouvons dire que la consommation annuelle totale due au système de climatisation est :

$$E = 22\,941 \text{ kWh}$$

#### ❖ Diagnostic

Pour s'assurer de l'efficacité des climatiseurs, nous allons déterminer leurs coefficients de performance.

Tableau 10: Coefficient de performance des climatiseurs

Marque des climatiseurs	Local	Puissance électrique (W)	Puissance frigorifique (W)	COP
LG	Bureau du PDG	2 100	5 630	2,68
Samsung	Secrétariat	1 790	5 264	2,94
Samsung	Bureau du directeur technique	980	2 632	2,69
Samsung	Bureau de la directrice financière	980	2 632	2,69
Samsung	Bureau de la directrice administrative	1 104	2 632	2,38
Sharp	Bureau des ingénieurs	1 880	5 010	2,66
Samsung	salle du serveur	980	2 632	2,69
Samsung	Bureau des comptables	1 600	3 015	1,88
Samsung	Bureau des informaticiens	2 000	5 264	2,63
Samsung	Salle du traceur	980	2 632	2,69
Samsung	Bureau des logisticiens	2 000	5 264	2,63

Le COP minimum recommandé pour les différents types de climatiseurs est dans le tableau 9:

Tableau 11: Coefficient de performance recommandé des climatiseurs

Type de climatiseur	COP minimum (kWr/kWe)
Système split	
❖ Jusqu'à 4 kWr	2,8
❖ Supérieur à 4 kWr	3,0

❖ **Mesures d'optimisation**

✚ Les split de type Samsung ont une consommation électrique moins élevée que celle des autres et présentent un meilleur COP.

❖ **Consommation énergétique annuelle de ZED-SA après l'optimisation**

Pour s'assurer du confort thermique des occupants des locaux, il est important de dimensionner la puissance frigorifique à installer dans le local. Pour cela nous allons faire le bilan thermique des bureaux avec une méthode détaillée [6]. Pour le dimensionnement nous posons les hypothèses suivantes obtenues dans le logiciel RETScreen 4 :

- température extérieure est 39.2° et 35% d'humidité ;
- température intérieure est 24° et 50% d'humidité.

Le tableau 10 nous donne la puissance frigorifique à installer dans les locaux après l'optimisation.

Tableau 12 : Puissance frigorifique des locaux

Local	Puissance frigorifique choisie (kW)
Bureau du PDG	3.08
Secrétariat	4.24
Bureau du directeur technique	1.3
Bureau de la directrice financière	1.58
Bureau de la directrice administrative	1.76
Bureau des ingénieurs	7.09
salle du serveur	1..76
Bureau des comptables	2.84
Bureau des informaticiens	2.97
Bureau des logisticiens	3.11
Salle du traceur	1,80

Le tableau 11 nous donne la consommation énergétique annuelle de la climatisation du siège de l'entreprise ZED-SA après l'optimisation.

Tableau 13 : Consommation annuelle de la climatisation après l'optimisation

Local	Puissance choisie (cheval)	Puissance frigorifique (kW)	Puissance électrique (W)	Temps de fonctionnement (h/an)	Consommation annuelle (kWh)
Bureau du PDG	1.5	2,87	1 104	1 250	1380
Secrétariat	1.5	3,92	1 104	1 250	1380
Bureau du directeur technique	1	1,22	736	1 250	920
Bureau de la directrice financière	1	1,50	736	1 250	920
Bureau de la directrice administrative	1	1,62	736	1 250	920
Bureau des ingénieurs	3	6,81	2 208	1 250	2760
salle du serveur	1.5	1,76	1 104	3 750	4140
Bureau des comptables	1.5	2,84	1 104	1 250	1380
Bureau des logisticiens et informaticiens	1.5	2,87	1 104	1 250	1380
Bureau des juristes	1.5	4,02	1 104	1 250	1380
Salle du traceur	1,5	1,80	1 104	1 250	1380
<b>Total</b>					<b>17 939</b>

La consommation annuelle totale due au système de climatisation après l'optimisation est :

$$E' = 17\,939 \text{ kWh}$$

#### ❖ Calcul des économies d'énergie réalisables

$$\Delta E = E - E' \quad (2)$$

$$\Delta E = 22\,941 - 17\,939$$

$$\Delta E = 5\,002 \text{ kWh}$$

### III.2.7 Audit sur le système d'éclairage

#### ❖ Calcul de la consommation actuelle

Pour les temps de fonctionnement des luminaires, nous allons estimer que dans les bureaux le temps moyen est de 8 heures à 12 heures par jour et qu'à l'extérieur c'est 8 heures par jour. Les luminaires qui sont dans les toilettes et les couloirs ont un temps de fonctionnement moyen de

4 heures maximal par jour. Les calculs se feront comme pour la climatisation, le tableau 11 nous donne la consommation énergétique actuelle tout en déterminant à l'amont le temps de fonctionnement des luminaires. Pour le calcul nous tenons compte du niveau de sollicitation et du coefficient de simultanéité. La puissance du ballast est égale de 25% de la puissance du luminaire.

Tableau 14 : Consommation annuelle des luminaires

Local	Nombre	Puissance unitaire (W)	Heure de fonctionnement (h)	Consommation annuelle (kWh)	Flux (lm)
Bureau du PDG	8	23	2 678	493	20 850
	3	45	2 678	362	
Secrétariat	8	23	1 786	329	20 850
	3	45	1 786	241	
Bureau DF	4	23	1 786	164	8 750
	1	45	1 786	80	
Bureau DA	4	23	2 009	185	8 750
	1	45	2 009	90	
Bureau ingénieurs	8	23	2 678	493	17 060
	3	19	2 678	153	
	1	45	2 678	121	
Bureau DT	1	36	2 678	96	8 750
LT	1	23	446	10	1 350
Cuisine	1	19	670	13	970
Archive	4	23	446	41	5 400
Toilette	4	23	794	73	5 400
Couloir	16	19	1 587	482	15 520
Bureau juriste	4	23	1 786	164	5 400
Bureau logistique	4	23	1 786	164	5 400
Bureau comptable	4	23	1 786	164	21 600
Boutique	16	23	694	255	21 600
Salle du traceur	4	23	446	41	5 400
Magasin	4	23	446	41	5 400
Toilette RDC	1	23	794	18	1 350
Atelier	1	18	521	9	1 350
<b>Total</b>				<b>4 284</b>	

Comme nous le constatons sur le tableau 11, l'énergie annuelle consommée par les luminaires est :

$$E = 4\,284 \text{ kWh}$$

#### ❖ Mesures d'optimisation

Le confort requis dans les locaux dépend du type et de la durée de l'activité à l'intérieur du local. L'éclairage doit être suffisant et uniforme, dans le local il ne doit y avoir ni d'ombre ni de réflexion ni d'éblouissement. Vous trouverez en Annexe 1 le niveau d'éclairage recommandé dans les locaux.

#### ❖ La couleur des parois

L'intérieur des bureaux est peint en blanc, ce qui veut dire qu'à ce niveau il n'y a pas de mesures d'optimisation.

#### ❖ Choix des types de Lampes

Il s'agit dans ce point de proposer des lampes plus économiques et plus efficaces que celles qui sont installées. Nous proposons les lampes LED qui peuvent permettre d'économiser jusqu'à 50% d'énergie. D'autres avantages sont aussi qu'elles [6] :

- supportent plus les chocs et les vibrations que les tubes fluorescents ;
- ne sont pas affectées par leur durée de vie ;
- n'ont pas besoin de gaz, contrairement aux tubes fluorescents qui sont fabriqués avec des composés à vapeur de mercure qui sont nocifs pour la santé humaine et l'environnement.

Les lampes proposées ont les caractéristiques suivantes comme présentées dans le tableau 12 [7] :

Tableau 15 : Caractéristiques des lampes LED de rénovation sans ballast

Système avant optimisation				Système après optimisation			
Types de lampes	Puissance unitaire (W)	Flux (lm)	Durée de vie (h)	Types de lampes	Puissance unitaire (W)	Flux (lm)	Durée de vie (h)
Fluorescente	18	1 350	1 000	Ampoule LED	15	1 400	50 000

Fluocompacte	15	970	1 000	Ampoule LED	12	1 129	50 000
Fluocompacte	36	3 350	1 000	Fluorescente LED 1.2 m	26	3 700	50 000

#### ❖ Optimisation de mode de gestion

La sensibilisation du personnel sur l'utilisation optimale des équipements est primordiale, cela permettra de réduire le temps de fonctionnement dans ces zones.

#### ❖ Maintenance sur le système d'éclairage

La maintenance permet de garder l'efficacité des systèmes initiaux. Cela peut se faire en remplaçant soit :

- les luminaires hors service ;
- toutes les lampes à intervalles de temps réguliers ou après l'écoulement de leurs durées de vie.

#### ❖ Consommation énergétique annuelle de ZED-SA après l'optimisation

Pour les bureaux de travaux généraux nous avons besoin de 500 lux, dans les cuisines 300 lux et 200 lux dans les toilettes. Avant d'entamer le calcul de la consommation énergétique annuelle, nous allons d'abord calculer le flux nécessaire dans les locaux et le calcul se fait avec la formule 3 [8] :

$$F = \frac{E \times S \times d}{u} \quad (3)$$

Avec E : éclairement en lux ;

F : flux total en lumens ;

S : surface du plan à éclairer en m<sup>2</sup> ;

u : coefficient d'utilisation de l'installation dont le choix se fait dans le tableau 13 :

Tableau 16 : Détermination du coefficient d'utilisation de l'installation

Couleur des murs	Eclairage direct			Eclairage indirect
	Couleur du plafond			Couleur du plafond
	Clair	Moyen	Foncé	Clair
Clair	0,65	0,65	0,65	0,53
Moyen	0,57	0,57	0,5	0,35
Foncé	0,5	0,5	0,43	0,29

d : facteur de compensation de la dépréciation égale 1.4 en moyenne.

Le tableau 14 nous donne la consommation annuelle des luminaires après l'optimisation.

Tableau 17 : Consommation annuelle des luminaires après l'optimisation

Local	Surface (m <sup>2</sup> )	Nombre	E min	Puissance unitaire (W)	Heure de fonctionnement (h)	Consommation annuelle (kWh)	Flux (lm)
Bureau du PDG	34,94	6	37 628	19	2 678	305	38 000
		8		33	2 678	707	
Secrétariat	25,95	5	27 946	19	1 786	170	29 200
		6		33	1 786	354	
Bureau DF	14,88	4	16 025	19	1 786	136	16 700
		3		33	1 786	177	
Bureau DA	12,25	2	13 192	19	2 009	76	13 900
		3		33	2 009	199	
Bureau ingénieurs	27,25	5	29 346	19	2 678	254	30 016
		4		15	2 678	161	
		5		33	2 678	442	
Bureau DT	10,5	3	11 308	19	2 678	153	11 600
		2		33	2 678	177	
LT	4,05	1	1 308	19	446	8	1 400
Cuisine	3,6	2	2 326	15	670	20	2 800
Archive	10,2	5	6 591	19	446	42	7 000
Toilette PDG	4,9	1	2 111	19	794	15	1 400
Couloir	83,79	15	54 141	33	1 587	786	55 500
Bureau juriste	35,69	11	38 435	33	1 786	648	40 700
Bureau logistique	18,66	6	20 095	33	1 786	354	22 200
Bureau comptable	19,75	6	21 269	33	1 786	354	22 200
Boutique	67,59	12	43 674	33	694	275	44 400
Toilette DT	3,15	1	1 357	19	694	13	1 400
Toilette ADT	2,97	1	1 279	19	694	13	1 400
Toilette RDC	4,23	1	1 822	19	694	13	1 400

Salle du traceur	13,88	3	4 484	33	446	44	4 200
Magasin	16,39	3	10 590	33	446	44	11 100
Atelier	17,95	3	3 866	19	694	40	4 200
<b>Total</b>						<b>5 979</b>	

D'après le tableau 14, l'énergie annuelle consommée par les luminaires après l'optimisation est :

$$E' = 5\,979 \text{ kWh}$$

❖ **Calcul des économies d'énergie réalisables**

$$\Delta E = E - E' \tag{4}$$

$$\Delta E = 4\,284 - 5\,979$$

$$\Delta E = -1\,695 \text{ kWh}$$

Après avoir dimensionné l'éclairage nécessaire, nous constatons que la consommation énergétique des luminaires augmente, ce qui s'explique par le fait que dans la plus part des locaux, l'éclairage était insuffisant. Pour des questions de confort visuel nous allons conserver le système après l'optimisation.

❖ **Analyse**

Dans la figure 4, la répartition nous montre que la climatisation est le poste qui consomme le plus d'énergie, ceci nécessite d'être optimisé afin de réduire considérablement la facture. Nous constatons également sur la figure 5 que durant le mois d'avril la consommation énergétique augmente considérablement d'où le montant de la facture est le plus élevé comme nous l'observons sur la figure 6, nous allons donc proposer des mesures d'efficacité énergétique.

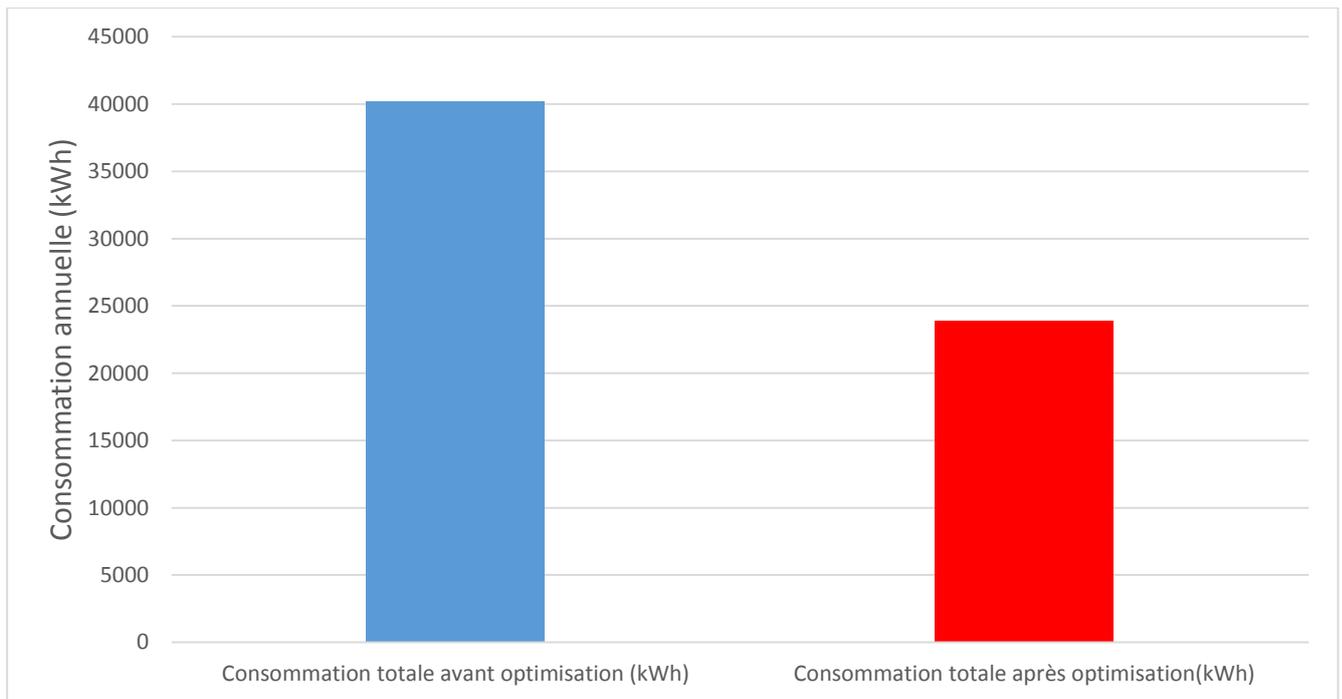


Figure 6 : Courbe de la comparaison des consommations annuelles avant et après optimisation

### III.2.8 Évaluation financière

Pour les calculs, nous estimons le prix du kWh à 109 FCFA (selon EDM) et le coût du transport est estimé à 4% du prix d'achat des matériels.

#### ❖ Pour le système de climatisation

L'énergie économisée est 5 002 kWh donc le gain obtenu est :

$$G = 5\,002 \times 109$$

$$G = 545\,218 \text{ FCFA/an}$$

#### ➤ Coût d'investissement pour la rénovation

A partir du tableau 15, nous avons l'investissement nécessaire pour la rénovation des climatiseurs.

Tableau 18 : Coût d'investissement pour la rénovation des climatiseurs

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
1	Split Samsung indoor unit 1,5 cv	U	7	220 000	1 540 000
2	Split Samsung indoor unit 1 cv	U	3	200 000	600 000
3	Split Samsung indoor unit 3 cv	U	1	1 110 000	1 110 000
4	Horloges programmables	U	11	66 155	727 705
5	Coût de montage et de démontage des split	U	11	50 000	550 000
6	Coût de montage des horloges	U	11	1 000	11 000

7	Transport	10 000
<b>Total (FCFA)</b>		<b>4 548 705</b>

➤ **Coût de la maintenance**

La maintenance est principalement le nettoyage des climatiseurs et le coût de maintenance des climatiseurs est estimé à 10 000 FCFA par trimestre. Le nombre des climatiseurs est de 11 donc le coût total de la maintenance est de 330 000 FCFA par an.

➤ **Temps de retour sur investissement**

$$\text{Temps de retour} = \frac{\text{Coût d'investissement} + \text{Coût maintenance}}{\text{Economie annuelle}} \quad (5)$$

$$\text{Temps de retour} = \frac{4\,548\,705 + 330\,000}{545\,218}$$

<b>Temps de retour = 8,9 ≈ 8 ans et 9 mois</b>
------------------------------------------------

❖ **Pour le système d'éclairage**

L'énergie consommée par le système d'éclairage est de 5 979 kWh. Le coût de fonctionnement du système d'éclairage s'élève à 651 711 FCFA par an. Nous proposons de remplacer toutes les lampes par des LED et de sensibiliser le personnel sur le fait d'éteindre les lampes des toilettes en sortant. La lumière du soleil éclaire suffisamment les couloirs, ce qui signifie que la présence des détecteurs de mouvements n'est pas nécessaire.

➤ **Coût d'investissement pour la rénovation**

A partir du tableau 16, nous avons l'investissement nécessaire pour la rénovation des luminaires.

Tableau 19 : Coût de l'investissement pour la rénovation des luminaires

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
1	Philips mas led tube 26 W	U	83	9 000	747 000
2	Philips mas led tube 15 W	U	38	4 000	152 000
3	Philips mas led tube 12 W	U	6	3 000	18 000
4	Coût de montage et de démontage	U	127	1 000	127 000
5	Transport				10 000
<b>Total (FCFA)</b>					<b>1 054 000</b>

➤ **Coût de la maintenance**

La maintenance englobe le changement des luminaires défectueux et leurs nettoyages, le coût de maintenance des luminaires est estimé à 500 FCFA par luminaire. Le nombre des luminaires est de 127 donc le coût total de la maintenance est de 63 500 FCFA par an.

### III.2.9 Conclusion partielle

Il en ressort que le système de climatisation a un temps de retour sur investissement de **8 ans** pour un financement de **quatre millions cinq cent quarante-sept mille sept cent cinq (4 547 705) FCFA** et une économie annuelle de **5 002 kWh** soit **cinq cent quarante-cinq mille deux cent dix-huit (545 218) FCFA** ; en ce qui concerne l'éclairage, le coût total à investir pour les rénovations est de **un million cinquante-quatre mille (1 054 000) FCFA** et la consommation énergétique annuelle augmente légèrement de **1 695 kWh** à cause du confort visuel que nous avons appliqué.

## III.3 BILAN DE PUISSANCE DU SIEGE DE ZED-SA

### III.3.1 Bilan de puissance de l'installation existante

Dans le tableau 17, nous avons le bilan de puissance du siège de ZED-SA avant l'optimisation.

Tableau 20 : Bilan de puissance de l'installation existante

Niveau	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	Courant (A)	S <sub>TGBT</sub> (kVA) choisie	S <sub>GE</sub> choisie (kVA)
Coffret RDC	13,98	10,76	17,64	25,46	50	60
Coffret R+1	12,59	9,80	15,96	23,03		

### III.3.2 Bilan de puissance après l'optimisation de l'installation existante

#### 🔧 Recensement des équipements pour l'extension

Avant d'établir le bilan de puissance du bâtiment nous devons définir les récepteurs des extensions prévues. Le tableau 18 nous donne le dimensionnement des luminaires, de la climatisation et le nombre de prises par local.

Tableau 21 : Equipements de l'extension

Local	Surface (m <sup>2</sup> )	Nombre de luminaires	Puissance unitaire (W)	Flux min (lm)	Flux choisi (lm)	Puissance des climatiseurs choisie (cheval)	Nombre de prises
<b>R+1</b>							
Bureau 1	17,18	5	33	18 502	18 500	2	4
Bureau 2	12,49	4	33	13451	14 800		6
Bureau DT	17,69	5	33	19 051	18 500	1	4
Bureau 3	10,12	3	33	10 898	11 100	1	7
<b>R+2</b>							

Salle de réunion	75,08	22	33	80 855	81 400	6	8
Salle d'attente	47,95	14	33	51 638	51 800	1,5	5
Bureau DA	50,47	15	33	54 352	55 500	2	3
Toilette DA	11,95	1	33	5 148	3 700	-	1
Bureau 1	17,35	5	33	18 685	18 500	1	4
Bureau 2	18,33	5	33	19 740	18 500	1	4
Bureau 3	21,62	6	33	23 283	22 200	1	7
Bureau 4	32,57	10	33	35 075	37 000	1,5	4
Local coffret	2,36	1	15	762	1 129	-	4
LT	7,60	1	33	2 455	3 700	1,5	4
Couloir	109,71	19	33	70 890	70 300	-	-
Bureau 5	53,90	16	33	58 046	59 200	2	4
Bureau 6	22,20	6	33	23 908	22 200	1,5	4
Toilette bureaux communs	5,67	1	33	2 442	3 700	-	1
Toilette	11,28	1	33	4 859	3 700	-	1
<b>R+3</b>							
Archive	47,95	3	33	10 328	11 100	-	-
Bureau 5	50,47	15	33	54 352	55 500	2	4
Toilette 5	11,95	4	19	5 148	5 600	-	1
Bureau 1	17,35	13	33	18 685	18 200	3	4
Bureau 2	18,33	6	33	19 740	22 200		4
Bureau 3	21,62	7	33	23 283	25 900		4
Bureau 4	32,57	10	33	35 075	37 000	1,5	4
Local coffret	2,36	1	15	762	1 129	-	4
LT	7,60	1	33	2 455	3 700	1,5	4
Couloir	109,71	19	33	70 890	70 300	-	-
Bureau AC	53,90	16	33	58 046	59 200	2	4
Bureau	22,20	7	33	23 908	25 900	1,5	4
Toilette bureaux communs	5,67	1	33	2 442	3 700	-	1
Toilette	11,28	1	33	4 859	3 700	-	1

Le bilan de puissance du bâtiment après l'optimisation et avec l'extension se résume dans le tableau 19. Pour plus de détails referez-vous à l'annexe 2.

Tableau 22 : Bilan de puissance du siège de ZED-SA

Niveau	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	Courant (A)	S <sub>TGBT</sub> (kVA) choisi	S <sub>GE</sub> choisi (kVA)
Coffret RDC	13,82	10,33	17,28	24,94		
Coffret R+1	14,81	11,09	18,54	26,76		
Coffret R+1 Extension	8,09	6,11	10,15	14,65	160	150
Coffret R+2	25,41	19,13	31,87	46,00		
Coffret R+3	16,94	12,55	21,14	30,51		

A l'issu du calcul nous retenons un transformateur haut de poteau de 160 kVA avec un facteur de puissance de 0.8 et un groupe électrogène secours de 150 kVA comme source secours. Dans notre dimensionnement, le groupe électrogène ne doit pas être chargé à plus de 80%.

### III.4 DIMENSIONNEMENT DU GENERATEUR PV

#### III.4.1 Calcul et détermination des paramètres techniques : cas du siège de zed-sa

##### ❖ Schéma synoptique du système hybride

La figure 7 présente le schéma synoptique de l'installation de l'entreprise.

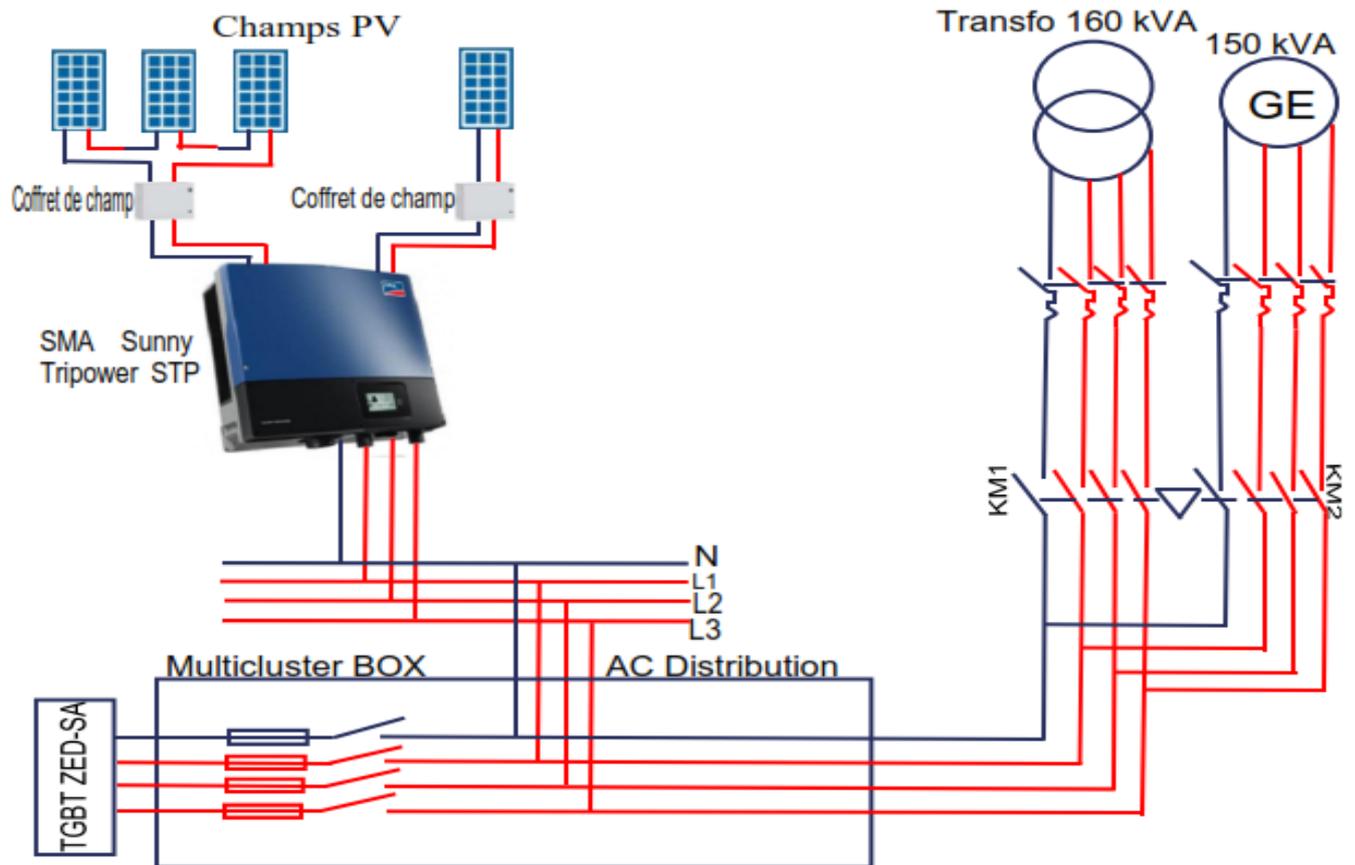


Figure 7 : Schéma synoptique du système hybride

#### ❖ Principe de fonctionnement du système

Le système est composé de deux (2) sources principales qui sont le générateur photovoltaïque et le réseau de distribution public EDM-SA, le groupe électrogène est une source secours qui fonctionne uniquement en l'absence du réseau EDM-SA. L'énergie continue, produite par le générateur PV constitué de plusieurs modules de 300 Wc-24 V dont la fiche technique se trouve en Annexe 3, est transformée en énergie alternative via l'onduleur STP 20000 TL-30 et injectée sur le réseau pour alimenter les charges du bâtiment. L'injection se fait dans le MultiCluster BOX 12 tout en respectant le câblage adéquat des sources et de la charge.

De :

- ⚡ 8h-17h : le bâtiment est alimenté par le solaire PV et EDM-SA/GE ;
- ⚡ 17h-8h : le bâtiment est alimenté par EDM-SA/GE.

Les systèmes hybrides offrent plusieurs avantages sous réserve que ceux-ci soient bien connus et maîtrisés, ce qui n'est pas toujours le cas. Quelques avantages d'un tel système sont :

- ⚡ l'indépendance énergétique et visibilité à long terme du coût de l'énergie ;
- ⚡ la réduction des nuisances sonores et de la pollution de l'air du site ;
- ⚡ une longue durée de vie des équipements ;

L'inconvénient majeur d'énergie d'origine photovoltaïque est le cas d'absence de l'ensoleillement, le ciel couvert.

❖ **Puissance crête installée [9]:**

Elle est calculée par la formule 6 :

$$P_C = G_0 \times S \times \eta_{\text{module}} \quad (6)$$

Avec  $G_0$ : l'ensoleillement STC (1000 W/m<sup>2</sup>)

$S$  : la surface disponible orienté sud (m<sup>2</sup>)

$\eta_{\text{module}}$  : le rendement du module photovoltaïque choisi

$$P_C = 1000 \times 127 \times 0,155$$

$$P_C = 19\,685 \text{ Wc}$$

❖ **Nombre de module**

Obtenu par la relation 7 :

$$N_m = \frac{P_C}{P_{\text{module}}} \quad (7)$$

$$N_m = \frac{19\,685}{300}$$

$$N_m = 65,6 \approx 66 \text{ modules}$$

❖ **Surface occupée par les modules**

Obtenu par la formule 8 :

$$S_m = N_m(L_m \times l_m) \quad (8)$$

$$S_m = 66 \times (1,956 \times 0,992)$$

$$S_m = 128 \text{ m}^2$$

❖ **Nombre de modules par strings**

Calculé par la formule 9 :

$$N_{m/s} = \frac{V_{\text{dc onduleur}}}{V_{\text{oc module}}} \quad (9)$$

$$N_{m/s} = \frac{1000}{44,5}$$

$$N_{m/s} = 22,5 \approx 23 \text{ modules par string}$$

❖ **Nombre de string**

Obtenu par la formule 10 :

$$N_s = \frac{N_m}{N_{m/s}} \quad (10)$$

$$N_s = \frac{66}{23}$$

$$N_s = 2,9 \approx 3 \text{ strings de 19 modules chacun et 1 string de 9 modules}$$

❖ **Vérification de l'adéquation entre l'onduleur, le champ PV et la configuration du générateur PV :**

L'onduleur étant le cœur de l'installation photovoltaïque, son choix doit être judicieux et il doit répondre aux conditions optimales d'utilisation. La qualité de l'onduleur est un facteur important pour le bon fonctionnement du système, c'est pourquoi nous avons choisi l'onduleur Sunny Tripower STP 20000 TL-30, sa fiche technique se trouve dans l'annexe 3 pour plus de détails sur ses caractéristiques. Pour le dimensionnement, nous allons faire des simulations sur « Sunny Design » pour confirmer les calculs manuels. Sur Sunny Design nous retenons 3 strings de 19 modules chacun et 1 string de 9 modules, configuration donnée par le site de simulation SMA Design qui est un outil de simulation de SMA sur le net pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Les 3 strings seront l'entrée A de l'onduleur et dernier string à l'entrée B de l'onduleur.

La conception du champ PV et le choix des onduleurs doivent suivre les règles suivantes :

- ✚ la tension MPP du générateur PV ( $V_{mpp}$ ) la tension minimale admise à l'entrée de l'onduleur ;
- ✚ la tension en circuit ouvert du générateur PV ( $V_{oc}$ ) < la tension maximum admise à l'entrée de l'onduleur ;
- ✚ la tension nominale à l'entrée de l'onduleur est préférable car elle donne le meilleur rendement ;
- ✚ le ratio de puissance doit être compris en 90% et 110% ;
- ✚ tous les strings (branches) connectés à un même onduleur doivent avoir la même tension continue.

➤ **Tension nominale**

$V_{mpp \text{ module}} = 35,9 \text{ V}$  et la tension DC maximale de l'onduleur est 150 V.

$$V_{mpp \text{ générateur } 1} = N_{m/s} \times V_{mpp} \quad (11)$$

$$V_{mpp \text{ générateur } 1} = 19 \times 35,9$$

$$V_{mpp \text{ générateur } 1} = 682,1 \text{ V} > 150 \text{ V}$$

$$V_{mpp \text{ générateur } 2} = 9 \times 35,9$$

$$V_{mpp \text{ générateur } 2} = 323,1 \text{ V} > 150 \text{ V}$$

### ➤ Tension photovoltaïque maximale

La tension DC maximale de l'onduleur est 1000 V.

#### ✚ Entrée A :

$$U_{\max PV} = N_{m/s} \times V_{oc \text{ module}} \quad (12)$$

$$U_{\max PV} = 19 \times 44,5$$

$$U_{\max PV} = 846 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

#### ✚ Entrée B :

$$U_{\max PV} = N_{m/s} \times V_{oc \text{ module}} \quad (13)$$

$$U_{\max PV} = 9 \times 44,5$$

$$U_{\max PV} = 401 \text{ V} < 1000 \text{ V}$$

### ➤ La plage de tension MPP

Plage de tension MPP de l'onduleur : 320 V – 800 V

$$\left[ \frac{320}{N_{m/s}} - \frac{800}{N_{m/s}} \right]$$

$$\left[ \frac{320}{19} - \frac{800}{19} \right]$$

$$[16,84 V - 42,11 V]$$

$$V_{mpp \text{ module}} = 35,9 V \in [16,84 V - 42,11 V]$$

$$\left[ \frac{320}{N_{m/s}} - \frac{800}{N_{m/s}} \right]$$

$$\left[ \frac{320}{9} - \frac{800}{9} \right]$$

$$[35,56 V - 88,89 V]$$

$$V_{mpp \text{ module}} = 35,9 V \in [35,56 V - 88,89 V]$$

➤ **Le courant à l'entrée de l'onduleur**

Le courant DC maximal à chaque entrée est de 33 A et le courant de court-circuit est 43 A.

✚ **Entrée A :**

$$I = I_{SC \text{ module}} \times N_S \quad (14)$$

$$I = 8,83 \times 3$$

$$I = 26,49 A < 43 A$$

$$I = I_{mpp \text{ module}} \times N_S \quad (15)$$

$$I = 8,36 \times 3$$

$$I = 25,1 A < 33 A$$

✚ **Entrée B :**

$$I = I_{SC \text{ module}} \times N_S \quad (14)$$

$$I = 8,83 \times 1$$

$$I = 8,83 \text{ A} < 43 \text{ A}$$

$$I = I_{\text{mpp module}} \times N_s \quad (15)$$

$$I = 8,36 \times 1$$

$$I = 8,36 \text{ A} < 33 \text{ A}$$

➤ **Ration de puissance**

$$R = \frac{P_{\text{dc onduleur}}}{N_m \times P_m} \quad (16)$$

$$R = \frac{20440}{66 \times 300}$$

$$R = 1,04 \in [0,9 - 1,1]$$

La configuration choisie répond à toutes les exigences d'où notre choix de maintenir l'onduleur Sunny Tripower STP 20 000 TL-30.

➤ **Dimensionnement sur le site de SMA design**

Le tableau 20 montre le dimensionnement sur le logiciel de simulation de SMA Design

[Tableau 23 : Dimensionnement sur SMA Design](#)

## Aperçu du système

### 66 x Suntech Power STP300-24/Ve (01/2013) (Générateur photovoltaïque 1)

Azimut: 0 °, Inclinaison: 15 °, Type de montage: Toit, Puissance de crête: 19,80 kWp



1 x STP 20000TL-30

## Données de configuration photovoltaïques

Nombre total de panneaux photovoltaïques:	66	Facteur d'util. de l'énergie:	100 %
Puissance de crête:	19,80 kWp	Rendement énergétique spécifique*:	1879 kWh/kWp
Nombre d'onduleurs photovoltaïques:	1	Pertes dans les lignes (en % de l'énergie photovoltaïque):	---
Puissance nominale AC de l'onduleur photovoltaïque:	20,00 kW	Énergie PV utilisée:	0,00 kWh
Puissance active AC:	20,00 kW	Part consommée d'énergie photovoltaïque:	0 %
Rapport de puissance active:	101 %	Part d'énergie photovoltaïque dans l'approvisionnement énergétique (totale):	0 %
Énergie photovoltaïque max. disponible*:	37 203,03 kWh	Part d'énergie photovoltaïque dans l'approvisionnement énergétique (journée):	0 %

## 1 x STP 20000TL-30 (Section de l'installation 1)

Puissance de crête:	19,80 kWp
Nombre total de panneaux photovoltaïques:	66
Nombre d'onduleurs photovoltaïques:	1
Puissance DC max. ( $\cos \varphi = 1$ ):	20,44 kW
Puissance active AC max. ( $\cos \varphi = 1$ ):	20,00 kW
Tension du réseau:	400V (230V / 400V)
Rapport de puissance nominale:	103 %
Coefficient de dimensionnement:	99 %
Facteur de déphasage ( $\cos \phi$ ):	1



STP 20000TL-30

## Données de configuration photovoltaïques

### Entrée A: Générateur photovoltaïque 1

57 x Suntech Power STP300-24/Ve (01/2013), Azimut: 0 °, Inclinaison: 15 °, Type de montage: Toit

### Entrée B: Générateur photovoltaïque 1

9 x Suntech Power STP300-24/Ve (01/2013), Azimut: 0 °, Inclinaison: 15 °, Type de montage: Toit

Données de configuration photovoltaïques		
<b>Entrée A: Générateur photovoltaïque 1</b> 57 x Suntech Power STP300-24/Ve (01/2013), Azimut: 0 °, Inclinaison: 15 °, Type de montage: Toit		
<b>Entrée B: Générateur photovoltaïque 1</b> 9 x Suntech Power STP300-24/Ve (01/2013), Azimut: 0 °, Inclinaison: 15 °, Type de montage: Toit		
Nombre de strings:	<b>Entrée A:</b> 3	<b>Entrée B:</b> 1
Panneaux PV:	19	9
Puissance de crête (entrée):	17,10 kWp	2,70 kWp
Tension photovoltaïque caractéristique:	✔ 573 V	✔ 272 V
Tension photovoltaïque min.:	543 V	257 V
Tension DC min. (tension de red 230 V):	150 V	150 V
Tension photovoltaïque max.:	✔ 852 V	✔ 404 V
Tension DC max.:	1000 V	1000 V
Courant du générateur PV max:	✔ 25,1 A	✔ 8,4 A
Courant d'entrée max. par MPPT:	33 A	33 A
Courant de court-circuit max. par MPPT:	43 A	43 A
Courant de court-circuit max. (installation)	✔ 26,5 A	✔ 8,8 A
<b>Compatibilité PV/onduleur</b>		

### ➤ Section de câble et les chutes de tensions

La formule 17 pour le calcul de la chute de tension se présente comme suit :

$$\Delta V = 2 \frac{L \times I \times \rho}{S} \quad (17)$$

Et

$$\Delta V (\%) = \frac{\Delta V}{V} \quad (18)$$

Avec L : la longueur du câble (m) ;

I : le courant de service (A) ;

$\rho$  : la résistivité ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ) ;

S : la section de câble ( $\text{mm}^2$ ).

La chute de tension doit être inférieure à la limite admise qui est de 2% côté continu, idéalement

1%. Les câbles seront en cuivre d'où  $\rho = 0.01786 \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$ .

$$\color{blue}{\oplus} \text{ String - onduleur : } L_{max} = 30 \text{ m}$$

$$I = 1,25 \times N_S \times I_{sc} \quad (19)$$

Le dimensionnement se trouve dans les tableaux 21.

Tableau 24: Sections de câbles et chutes de tensions

	I (A)	Longueur (m)	section (mm <sup>2</sup> )	$\Delta V$ (%)
Champ 1 -Entrée A	22,075	30	4	0,17
Champ 2 -Entrée B	11,0375	30	4	0,08

**🔌 Onduleur–MCBOX :  $L_{max} = 20 m$**

$$I = 1,25 \times I_{AC \text{ max ond}} \quad (20)$$

Le dimensionnement se trouve dans les tableaux 22.

Tableau 25 : Section de câble et chute de tension

	I (A)	Longueur (m)	section (mm <sup>2</sup> )	$\Delta V$ (%)
Onduleur-MC_BOX	36,25	20	6	0,12

**🔌 MCBOX–TGBT ZED :  $L_{max} = 20m$**

$$I = I_{TGBT} \quad (21)$$

Le dimensionnement se trouve dans les tableaux 23.

Tableau 26 : Section de câble et chute de tension

	I (A)	Longueur (m)	section (mm <sup>2</sup> )	$\Delta U$ (%)
MC_BOX-TGBT	180,42	20	6	0,05

➤ **Mode de pose :**

Le mode de pose généralement utilisé dans les installations photovoltaïques est le chemin de câbles perforés.

➤ **Les protections**

L'onduleur vient avec ses dispositifs de protection intégrés donc nous n'aurons pas à dimensionner cela, ses fonctions assureront la protection contre les surintensités du côté AC. Il reste donc les coffrets de champs à dimensionner.

**🔌 Coffret de champ 1 : 3 strings de 19 modules chacun**

Chaque groupement de branches sera protégé par un disjoncteur :

$$1,25 \times I_{sc} \times N_{m/s} \leq Cal_{disjoncteur} \quad (22)$$

$$1,25 \times 8,83 \times 3 \leq Cal_{disjoncteur}$$

$$33,11 A \leq Cal_{disjoncteur}$$

Nous choisissons un disjoncteur de 40 A.

### **Interrupteur sectionneur**

Avec un disjoncteur de 40 A l'interrupteur sectionneur choisi est un interrupteur 63 A 1000 V de référence 4 142 46 et de norme de référence EN 60947-3.

### **Fusible de protection des strings**

Chaque branche doit être protégée par un fusible :

$$1.5 \times I_{sc} \leq Cal_{fusible} \leq 2 \times I_{sc} \quad (23)$$

$$1.5 \times 8,83 \leq Cal_{fusible} \leq 2 \times 8,83$$

$$13,25 \leq Cal_{fusible} \leq 17,66$$

La tension de fonctionnement du fusible est :

$$T_{fusible} \geq 1,25 \times N_s \times V_{CO} \quad (24)$$

$$T_{fusible} \geq 1,25 \times 3 \times 44,5$$

$$T_{fusible} \geq 167 \text{ V}$$

Un fusible de 16 A et de tension 1 000 Vdc sera à la sortie de chaque branche pour la protection de chaîne.

### **Coffret de champ 2 : 1 strings de 9 modules**

$$1,25 \times I_{sc} \times N_{m/s} \leq Cal_{disjoncteur} \quad (25)$$

$$1,25 \times 8,83 \times 1 \leq Cal_{disjoncteur}$$

$$11,04 \text{ A} \leq Cal_{disjoncteur}$$

Nous choisissons un disjoncteur de 16 A.

### **Interrupteur sectionneur**

Avec un disjoncteur de 16 A l'interrupteur sectionneur choisi est un interrupteur 16 A 800 V de référence 4 142 21 et de norme de référence EN 60947-3.

### **Le parafoudre**

Le dimensionnement du parafoudre type 2 peut être optimisé en estimant le niveau d'exposition aux surtensions  $F_{PV}$ , comme suit [2] :

$$F_{PV} = N_K \times (1 + \varphi + \sigma) \quad (26)$$

$N_K$  : le niveau kéraunique local ;

$\varphi$  : donné par le tableau 24 en tenant en compte le choix d'une mesure de protection :

[Tableau 27 : Valeur de  \$\varphi\$  selon le résultat du tableau suivant](#)

Résultat du Tableau 2	Obligatoire	Recommandé	Peu utile
$\varphi$	2	1	0

En fonction du niveau kéraunique du local, le choix d'un parafoudre se fait selon le tableau 25.

Tableau 28 : Choix d'une mesure de protection

Caractéristique de l'installation	Nk ≤ 25		Nk > 25	
	Côté DC	Côté AC	Côté DC	Côté AC
Bâtiment ou structure équipé d'un paratonnerre	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1 <sup>(1)</sup>	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1 <sup>(1)</sup>
Alimentation BT par une ligne entièrement ou partiellement aérienne	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2	Obligatoire Type 2 <sup>(2)</sup>
Alimentation BT par une ligne entièrement souterraine	Peu utile Type 2	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2

Le parafoudre côté AC est à l'origine de l'installation de distribution publique. Dans le cas d'un raccordement au réseau en deux points (cf. Figure 3), il est recommandé d'installer un parafoudre à proximité de l'onduleur si le parafoudre à l'origine de l'installation est obligatoire ou recommandé.

<sup>(1)</sup> Dans le cas des bâtiments intégrant le poste de transformation, si la prise de terre du neutre du transformateur est confondue avec la prise de terre des masses interconnectées à la prise de terre du paratonnerre, la mise en œuvre de parafoudres n'est pas obligatoire. Dans les autres cas et lorsque le bâtiment comporte plusieurs installations privatives, le parafoudre de type 1 ne pouvant être mis en œuvre à l'origine de l'installation est remplacé par des parafoudres de type 2 ( $I_n \geq 5$  kA) placés à l'origine de chacune des installations privatives.

<sup>(2)</sup> Toutefois, l'absence d'un parafoudre est admise si elle est justifiée par l'analyse du risque définie dans le guide UTE C 15-443.

Lorsqu'un parafoudre est installé sur le circuit de puissance, il est recommandé d'en installer sur les circuits de communication.

$\sigma$  : obtenu à l'aide du tableau 26 :

Tableau 29 : Valeur de  $\sigma$  selon la situation de la ligne aérienne (BT) du bâtiment ou du champ

Situation de la ligne aérienne (BT), du bâtiment ou du champ de modules PV	Complètement entouré de structures	Quelques structures à proximité ou inconnues	Terrain plat ou découvert	Sur une crête, présence de plan d'eau, site montagneux
$\delta$	0	0,5	0,75	1

$$F_{PV} = N_K \times (1 + \varphi + \sigma) \quad (27)$$

$$F_{PV} = 110 \times (1 + 2 + 0.5)$$

$$F_{PV} = 330$$

$$F_{PV} = 110 \times (1 + 1 + 0.5)$$

$$F_{PV} = 275$$

Le choix du parafoudre se fait dans le tableau 27 :

Tableau 30 : Choix de  $I_N$  en fonction de  $F_{PV}$

Estimation du risque $F_{PV}$	$I_n$ (kA)
$F_{PV} \leq 40$	5
$40 < F_{PV} \leq 80$	10
$F_{PV} > 80$	20

Le parafoudre choisi est un parafoudre de type 2 -  $I_{max}$  40 kA et  $I_n=20$  kA. Protection côté courant continu des installations photovoltaïques raccordées au réseau basse tension (sans système de stockage d'énergie) conformes au guide UTE C 61-740-51 et UTE C 15-712-1 [6], protection en commun et différentiel constitués de cassettes débrochables avec voyant de signalisation. Fonction report d'état à distance intégré et de référence 4 141 56. La tension  $V$  est 1 000 V et le nombre de pôles protégés est 2.

#### ➤ Mise à la terre

La mise à la terre recouvre un certain nombre de dispositions destinées à prévenir le risque de choc électrique, à protéger les installations contre la foudre, et à garantir le bon fonctionnement des équipements. Les installations incluant un onduleur ou un générateur présentent des risques accrus de sécurité électrique et de défaillances (défauts) et doivent respecter les normes et réglementations applicables au courant alternatif.

Les systèmes de mise à la terre se composent principalement de :

- ✚ la prise de terre ;
- ✚ le conducteur de terre (conducteur reliant la prise de terre à la barrette de mesure) ;
- ✚ la barrette de mesure ;
- ✚ le répartiteur de terre du tableau de répartition ;
- ✚ les conducteurs de protection (mise à la terre de chaque circuit électrique) ;
- ✚ la liaison équipotentielle principale (pour un immeuble ou une maison individuelle).

#### ➤ Multicluster Box

Les Multiclusters Box jouent le rôle de distributeur principal AC pour le raccordement de générateurs. Ils sont intégralement câblés en usine et équipés d'un raccord principal pour installations photovoltaïques et/ou éoliennes et les câbles de communication nécessaires à l'installation sont également fournis [10].

En examinant les caractéristiques techniques comme les tensions et intensités d'entrée et

de sortie, la puissance maximale admissible à l'entrée du Multicluster BOX et en les comparant aux caractéristiques des sources d'entrées (EDM-SA/GE, PV), nous choisissons le Multicluster Box 12, il répond au mieux aux exigences des sources de production d'énergie. La fiche technique est à l'annexe 3.

### III.4.2 Évaluation du coût de l'installation photovoltaïque

Le coût est un facteur primordial dans une installation photovoltaïque, le tableau 28 nous donne le financement nécessaire pour l'installation dont les prix unitaires des équipements ont été obtenus sur le site de SMA [11].

Tableau 31 : Evaluation du coût de l'installation photovoltaïque

Désignation	Constructeur	Caractéristiques	Unité	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
Modules PV	Suntech	STP300-24/Ve	U	66	135 000	8 910 000
Onduleurs STP 20 000 TL-30	SMA	STP 20 000TL-30	U	1	1 777 104	1 777 104
Multicluster	SMA	MC_BOX 12.3	U	1	3 902 544	3 902 544
Parafoudre DC	Legrand	IMAX 40 kA-1000V Réf. 4 141 56	U	1	174 955	174 955
fusible Gpv DC 16 A	Legrand	Réf.0 116 16	U	4	787	3 146
DPN DC 40 A	Legrand	Legrand DNX3 Réf. 406870	U	1	28 969	28 969
DPN DC 16 A	Legrand	Legrand DNX3 Réf. 406774	U	1	4 579	4 579
Interrupteur sectionneur DC 63 A	Legrand	DX3 Réf. 406441	U	1	13 448	13 448
Interrupteur sectionneur DC 16 A	Legrand	DX^3 Réf. 4 064 31	U	1	13 107	13 107
Câbles solaire, connecteurs						1 482 785
Supports de modules						2 295 000
Equipements de mise à la terre [12]						39 721
		Transport				6 247 613
		<b>Total</b>				<b>24 892 971</b>

### III.4.3 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons optimisé l'installation électrique existante et proposé des solutions d'efficacité énergétique, les principales notions liées à la technologie utilisée dans les systèmes hybrides ont été données, ainsi que les différents types d'architectures existants. Nous avons

dimensionné un système photovoltaïque en utilisant l'outil de simulation SMA Design. Conséquemment nous avons montré l'intérêt bénéfique d'un système hybride par rapport au système d'énergie conventionnelle dédié à l'alimentation en énergie électrique du siège. Le coût total du système photovoltaïque est de **24 892 971 FCFA**.

### III.5 ETUDE ECONOMIQUE

Dans ce chapitre, nous ferons une étude économique comparative des architectures EDM-SA seul et EDM-SA et le PV connecté au réseau. Nous analyserons la rentabilité du système en passant par le calcul du temps de retour sur l'investissement, de la réduction du coût du kWh du réseau EDM-SA. L'étude se fera sur le logiciel de simulation HOMER PRO pour choisir le système optimal pour alimenter les charges du bâtiment

Les calculs se feront avec ces quelques hypothèses :

- a) la durée de vie du projet est de 25 ans ;
- b) la durée de vie du GE est de 15 000 heures et son coût d'acquisition de 8 000 000 FCFA ;
- c) coûts d'exploitations fixes et de maintenance sont estimés à 1% du coût total de l'installation ;
- d) taux d'échange du dollar est :  $1\$ = 580.7 \text{ FCFA}$  [13].

#### III.5.1 Calcul et détermination des paramètres financiers

##### ❖ Description du logiciel HOMER PRO [14]

Le logiciel de modélisation énergétique HOMER (Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables) est un outil puissant pour la conception et l'analyse des systèmes de production d'électricité hybrides, composés de groupes électrogènes, de systèmes de cogénération, d'éoliennes, de systèmes photovoltaïques, de systèmes hydrauliques, de batteries, de piles à combustible, de la biomasse et bien d'autres.

Que l'installation soit reliée au réseau électrique ou non, HOMER permet de déterminer comment les sources d'énergies intermittentes comme l'éolien et le solaire peuvent être intégrées de manière optimale au sein des systèmes hybrides.

Nous pouvons utiliser HOMER pour simuler un système de production d'électricité, optimiser les options de conception selon des critères de coûts et d'efficacité, ou pour analyser le comportement du système lors de la variation de paramètres comme la disponibilité des ressources et l'évolution de la consommation d'électricité.

HOMER est un logiciel de simulation fonctionnant sur une base horaire. La durée de simulation est basée sur une année. Ainsi il est possible de prendre en compte la variation de paramètres comme la demande en électricité, l'apport d'énergie solaire ou d'énergie éolienne. Il

est même possible d'importer des données expérimentales à partir de fichiers.

HOMER est avant tout un modèle économique. Nous pouvons utiliser le logiciel pour comparer les différentes combinaisons de tailles et de nombres de composants, et d'étudier comment les variations de la disponibilité des ressources affectent le coût d'installation et d'exploitation des différentes solutions de systèmes.

#### ❖ Analyse et interprétation des résultats obtenus

HOMER simule les configurations du système avec toutes les combinaisons des composants spécifiés en entrée. Il élimine des résultats toutes les configurations de systèmes infaisables, qui ne sont pas en adéquation avec la demande en électricité ni ne sont compatibles avec les ressources et les contraintes spécifiées. HOMER simule les configurations du système avec toutes les combinaisons des composants. La figure 8 présente le schéma de l'installation.

#### ➤ Schéma de l'installation

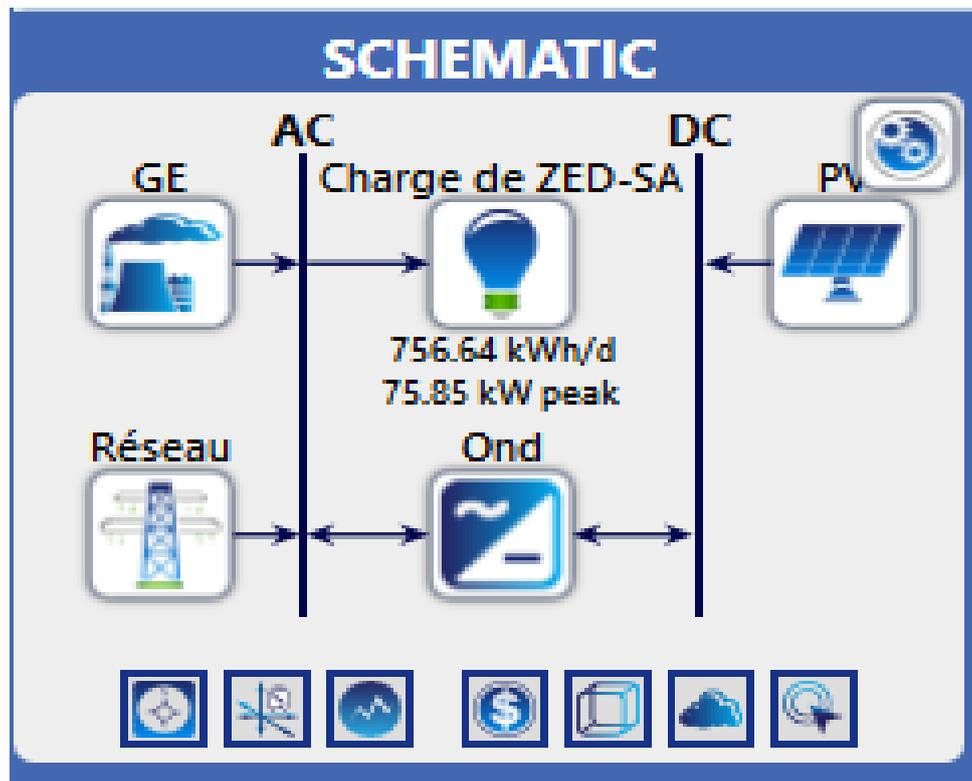


Figure 8 : Schéma de l'installation sur HOMER Pro

#### ➤ Profil de charge

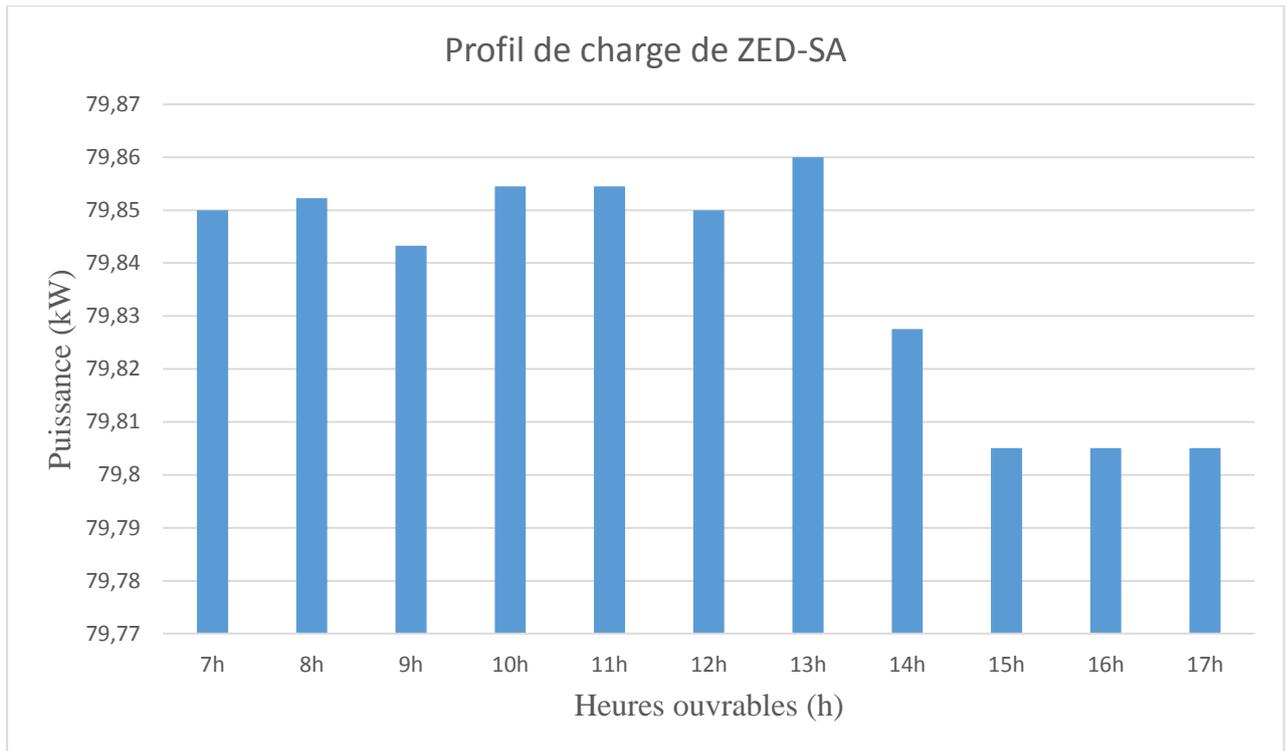


Figure 9 : Profil de charge de l'entreprise ZED- SA

### III.5.2 Résultats et discussion

Homer Pro nous donne dans le tableau 30 les configurations les plus économiques, il classe chaque architecture en fonction du coût sur la durée de vie du projet. Il présente également plusieurs paramètres tels que les coûts d'investissements, les coûts d'exploitations et de maintenances, le prix du kWh, le taux de pénétration PV, la consommation en carburant, le temps de fonctionnement du GE. Homer dresse en outre un classement des architectures ayant un coût du kWh le plus bas. Le système le plus économique est donc l'architecture PV/RESEAU sans stockage.

Tableau 32 : Liste des configurations les plus optimales

Sensitivity/NominalDiscountRate (%)	PV (kW)	GE (kW)	Réseau (kW)	Ond (kW)	Cost/NPC (\$)	Cost/COE (\$)	Cost/Operating cost (\$/yr)	Cost/Initial capital (\$)
12	19.8		999999	20	470264,4	0,183215 2	46 376.23	42 877.8
12			999999		478481,9	0,188	51 920.64	0
12	19.8	84	999999	20	562515,1	0,219156 1	53 879.86	65 977.8
12		84	999999		570732,6	0,224246 2	59 424.26	23 100
6	19.8		999999	20	773414,6	0,176283	46 376.23	42 877.8
6			999999		817874,5	0,188	51 920.64	0

6	19.8	84	999999	20	916229,8	0,208834 7	53 976.04	65 977.8
6		84	999999		960689,7	0,220828 1	59 520.45	23 100
8	19.8		999999	20	642 407,3	0,178418 6	46 376.23	42 877.8
8			999999		671 204,9	0,188	51 920.64	0
8	19.8	84	999999	20	76 3496,6	0,212049 3	53 956.13	65 977.8
8		84	999999		792 294,2	0,221916 3	59 500.54	23 100

A partir du tableau précédent, nous allons faire une étude comparative entre la configuration RESEAU seul, la configuration PV/RESEAU et la configuration PV/RESEAU/GE pour voir les économies réalisées et le coût le plus bas du kWh. Le fonctionnement seul du réseau engendre un coût total de 277 854 440 FCFA durant la durée de vie du projet (25 ans) et le coût du kWh est de 109 FCFA tandis qu'avec un financement de 24 899 140 FCFA, la configuration PV/RESEAU offre un coût total de 273 082 537 FCFA et le kWh est de 106 FCFA soit une économie considérable de 4 771 903 FCFA. La configuration PV/RESEAU/GE offre un coût total de 326 652 520 FCFA pour un financement de 38 313 310 FCFA, le coût du kWh étant de 127 FCFA.

Donc le système le plus économique est la configuration PV/RESEAU. Le PV offre 12,4 % soit 34 673 kWh/an de l'énergie totale demandée et le réseau fourni 87.6% soit 244 401 kWh/an de cette même demande. La figure 9 nous montre le cash-flow du système sur toute sa durée de vie et nous remarquons que sur la répartition des dépenses, à partir de l'année 1 le flux des dépenses correspond bien aux frais d'exploitation annuels du système.

Le groupe électrogène reste une option secours, l'entreprise possède déjà son groupe qui est très sollicité car la souscription de l'entreprise est insuffisante pour alimenter l'ensemble des charges, ce qui cause le déclenchement fréquent du disjoncteur en amont de l'installation.

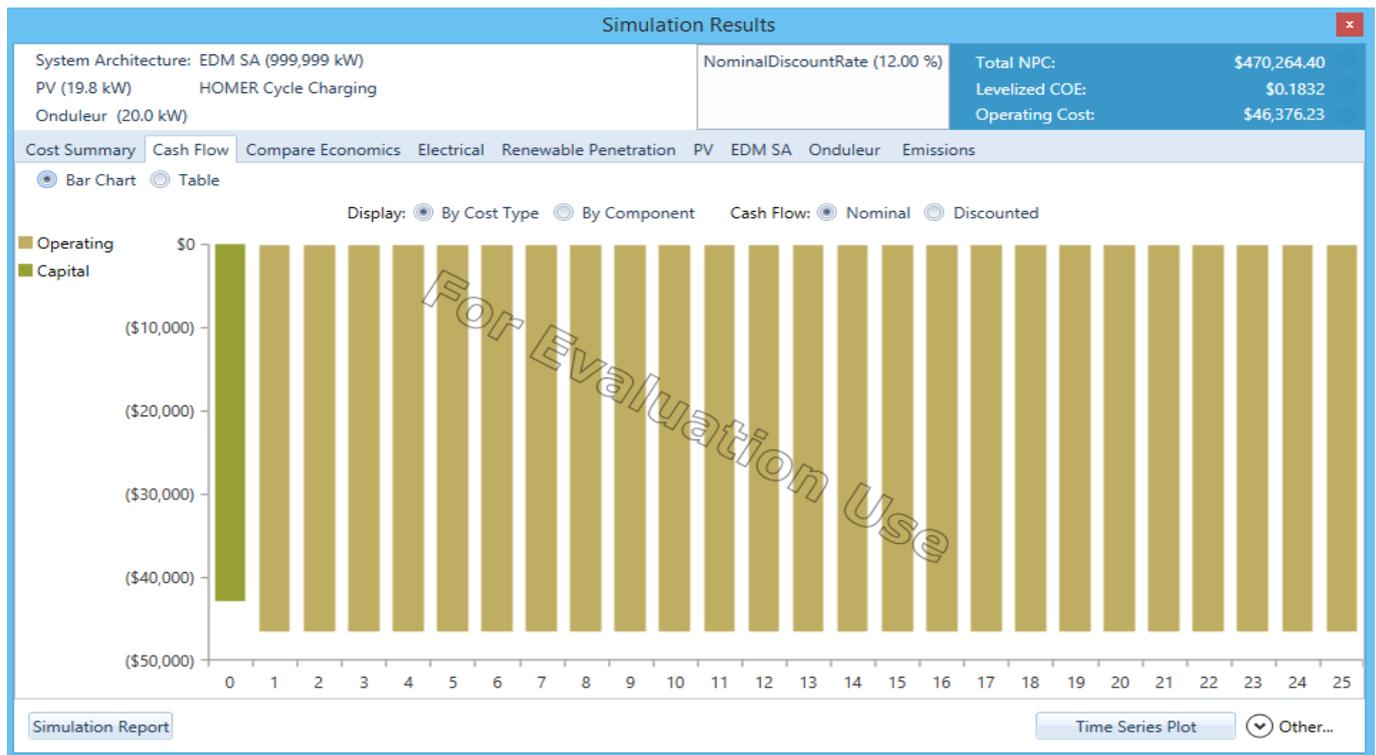


Figure 10 : Graphe des coûts du PV et du RESEAU sur la durée de vie du projet

Les calculs de comparaisons économiques figurent sur le tableau 31 ci-dessous.

Tableau 33 : Temps de retour sur investissement de la configuration PV/RESEAU

Metric	Value
Present worth (\$)	\$8,218
Annual worth (\$/yr)	\$892
Return on investment (%)	8.9
Internal rate of return (%)	12.2
Simple payback (yr)	7.73
Discounted payback (yr)	15.19

Nous retenons un temps de retour sur investissement de 7 ans et 7 mois, un investissement de 24 899 140 FCFA pour le système photovoltaïque et un coût total de 273 082 537 FCFA avec un taux de pénétration du PV de 12,4% soit 34,673 kWh/an. La figure 10 nous donne les données techniques du système. Nous constatons également que le réseau assure la fourniture d'énergie à 87,6 % soit 244,401 kWh/an.

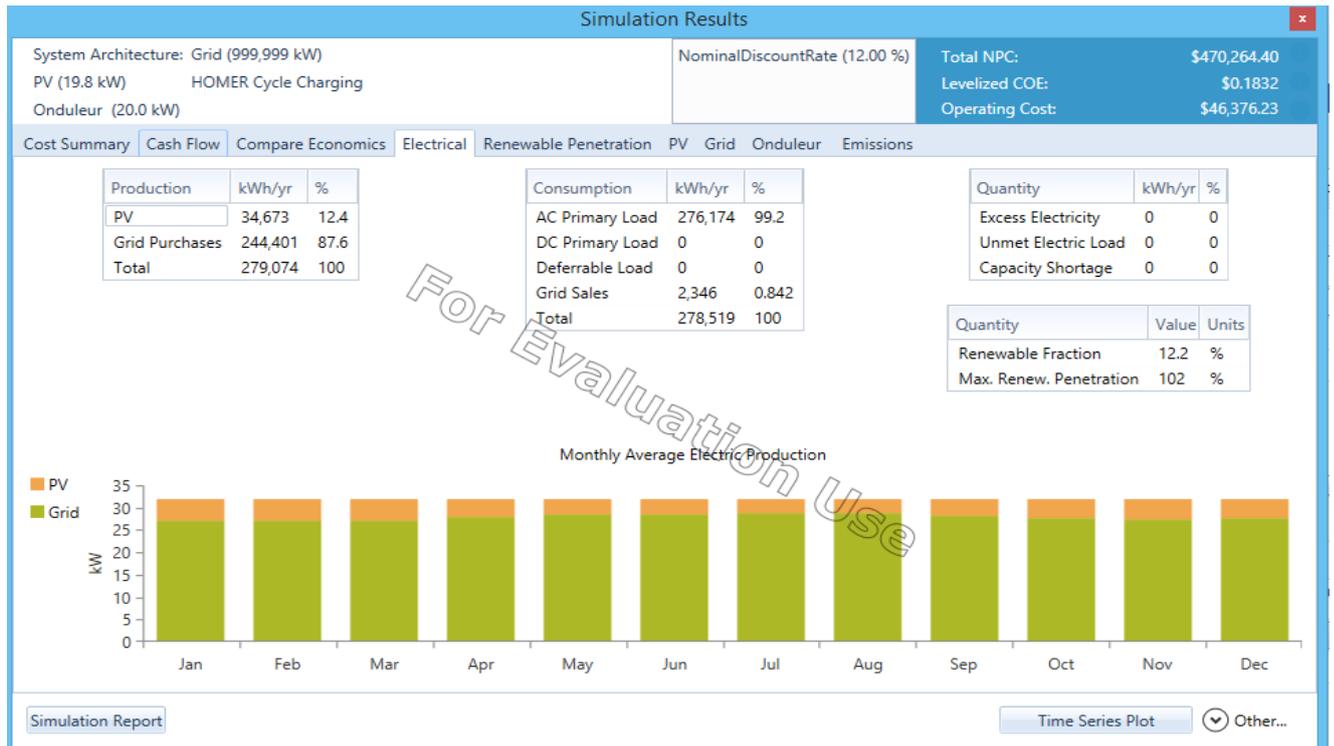


Figure 11 : Données techniques du système

### III.5.3 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons procédé par simulation sur le logiciel Homer Pro au choix du système hybride optimal pour le siège de l'entreprise. La configuration PV/RESEAU est le choix retenu après cette simulation avec un financement de **24 899 140 FCFA** pour le système photovoltaïque, un temps de retour sur investissement de **7 ans** et un coût total de **273 082 537 FCFA** (pour les 25 ans de vie du projet) soit une économie par rapport à l'alimentation via le réseau seul de **4 771 903 FCFA**.

## CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

L'objectif général de cette étude est de produire de l'énergie électrique de manière efficace et efficiente sans interruption pour le siège de l'entreprise ZED-SA en utilisant diverses sources d'énergies. La première partie du mémoire consistait à optimiser le système existant et à proposer des mesures d'efficacité énergétique.

Ainsi après avoir donné les différents types de configurations des systèmes photovoltaïques, la seconde partie a porté sur le choix et le dimensionnement du système hybride qui alimentera le siège de l'entreprise. Après analyse, nous avons opté pour un système hybride sans stockage PV/RESEAU pour alimenter les charges du bâtiment.

Enfin la troisième et dernière partie traitait de l'étude économique (rentabilité) du système hybride en utilisant l'outil de simulation HOMER PRO afin que le système choisi soit optimal.

Dans la partie audit, le système de climatisation a un temps de retour sur investissement de **8 ans** pour un financement de **4 548 705 FCFA** et une économie annuelle de **5 002 kWh**, en ce qui concerne l'éclairage, suite à l'audit, le financement nécessaire est de **1 054 000 FCFA** et la consommation énergétique annuelle augmente légèrement de **1 695 kWh** à cause du confort visuel que nous avons appliqué. Pour l'alimentation électrique du bâtiment, nous avons opté pour un système optimal PV/RESEAU nécessitant un financement de **24 899 140 FCFA**, un temps de retour sur investissement de **7 ans** et un coût total de **273 082 537 FCFA** soit une économie par rapport à l'alimentation via le réseau seul de **4 771 903 FCFA**. Le système possède également un onduleur Sunny Tripower STP 20000 TL-30 et un MultiCluster Box 12.3.

Nous avons constaté que le projet est techniquement et économiquement réalisable. Cependant il faudra tenir compte de son impact environnemental positif. La promotion de tel projet contribuera à l'augmentation de l'accès d'une grande partie de la population aux services énergétiques modernes. Vu l'importance des énergies renouvelables dans le développement socio-économique des populations, la promotion de ces formes d'énergie est nécessaire. Nous ne pouvons boucler cette étude sans pour autant proposer ces quelques recommandations :

- ❖ identifier et caractériser tout le potentiel national en source d'énergie renouvelable ;
- ❖ promouvoir les projets de mise en exploitation de ces sources renouvelables ;
- ❖ généraliser l'étude faite aux autres institutions et structures de l'Etat ;
- ❖ appliquer les mesures d'économies d'énergies proposées dans la partie audit ;
- ❖ mettre en place une politique pour le rachat de l'énergie restituée au réseau (FID IN TARIF).

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Institut National de la Statistique, Le Mali en chiffre 2012-2016, Bamako, 2018.
- [2] Y. M. SORO, Les systèmes photovoltaïques, Ouagadougou, 2014.
- [3] [En ligne]. Available: <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11455>. [Accès le 17 Juillet 2018].
- [4] C. Yézouma, Economies d'énergies dans le bâtiment et dans les industries, Ouagadougou, 2010.
- [5] Méthode détaillée, Ouagadougou, 2014.
- [6] [En ligne]. Available: <http://www.ledkia.com/fr/content/41-led>. [Accès le 23 Juillet 2018].
- [7] [En ligne]. Available: <http://www.ledkia.com/fr/content/41-changer-un-tube-fluorescent-par-un-tube-led>. [Accès le 10 Août 2018].
- [8] Indigo, Niveau d'éclairage dans les locaux, 2018.
- [9] B. A. Ousmane, Dimensionnement technique des installations PV connectées au réseau, Ouagadougou , 2017.
- [10] G. pratique, Installations photovoltaïques, 2008.
- [11] Multiclusterm 12 for sunny island, France, 2018.
- [12] SMA, «Technologie SMA,» 2018. [En ligne]. Available: [https://www.solaricashop.com/solar-inverters/sma.html?gclid=EAIAIQobChMI6MLt1dvn3QIVT7vtch2CWAJeEAAYASA AEglvC\\_D\\_BwE&p=2](https://www.solaricashop.com/solar-inverters/sma.html?gclid=EAIAIQobChMI6MLt1dvn3QIVT7vtch2CWAJeEAAYASA AEglvC_D_BwE&p=2). [Accès le 4 Novembre 2018].
- [13] [En ligne]. Available: <https://www.leroymerlin.fr/v3/p/produits/electricite-domotique/tableau-electrique/equipement-de-mise-a-la-terre-11308218917>. [Accès le 4 Novembre 2018].
- [14] [En ligne]. Available: <https://fr.coinmill.com>. [Accès le 14 Novembre 2018].
- [15] D. Vincent, Dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque/groupe électrogène avec le logiciel HOMER PRO, 2001.

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : FICHE DES DONNEES DE L'ECLAIREMENT DANS UN LOCAL



Indigo SA / NV  
Parc Artisanal de Cornemont  
4141 Sprimont – Belgique  
TVA : BE 0423.164.280

Téléphone +32 (0)4-351 91 40  
TVA : BE 0423.164.280  
Fax +32 (0)4-351 91 41  
[www.indigo-group.be](http://www.indigo-group.be)

#### NIVEAU D'ECLAIREMENT DANS LES LOCAUX

##### PETIT RAPPEL DE MESURES

**La puissance P** : C'est la puissance électrique consommée par une lampe en **Watts (W)**.

**Flux lumineux F ou  $\Phi$**  : C'est la quantité de lumière émise par la source, la puissance du rayonnement visible en **lumen (lm)**.

**L'efficacité lumineuse** : Efficacité =  $F / P$  en **lumen / watt (lm/W)**. Elle permet de caractériser le rendement énergétique d'une lampe.

**L'éclairement E** : C'est la densité de lumière sur une surface en **lux (lx)**. C'est la quantité de lumière par m<sup>2</sup> (unité de Surface).  $E = F / S$  soit **lux = lumen / m<sup>2</sup>**.

**Durée de vie moyenne** : Il existe une durée de vie moyenne en fonction du type de source de lumière. Exemple : 1000 à 2000 heures pour une lampe à incandescence.

**Température de couleur** : en **degré Kelvin (°K)**.

Un matériau chauffé à haute température émet de la lumière dont la longueur d'onde et donc la couleur dépendent de la température. Le filament de tungstène des lampes à incandescence est chauffé à une température de 2700 °K et donne une lumière à dominante jaune. Les tubes fluorescents par exemple utilisent des températures de 3000 °K à 6000 °K. Ils sont capables de fournir une couleur proche de celle du soleil.

**Indice de rendu des couleurs IRC (en %)** : La température de couleur ne suffit pas à déterminer la qualité d'une source lumineuse. Elle doit avoir un spectre suffisamment complet pour restituer correctement les nuances de couleurs des objets qu'elle éclaire. Cette capacité est indiquée par "l'indice de rendu des couleurs" (exprimé en %). IRC de 50 = mauvais, IRC de 100 = très bon.

## TABLEAUX DE REFERENCES

### Activité

- orientation, circulation, «stationnement» occasionnel de personnes
- travaux avec peu d'attention visuelle
- travaux avec attention visuelle moyenne
- travaux avec attention visuelle sur de petits détails
- travaux avec attention visuelle prolongée sur de très petits détails
- travaux délicats et minutieux

### Éclairciment

- <100 lux
- 200-300 lux
- 500-700 lux
- 1000-1500 lux
- 2000-3000 lux
- >5000 lux

### Locaux affectés au travail et leurs dépendances

- Voies de circulation intérieure
  - Escaliers et entrepôts
  - Locaux de travail, vestiaires, sanitaires
  - Locaux aveugles affectés à un travail permanent
- Espaces extérieurs
- Zones et voies de circulation extérieures
  - Espaces extérieurs où sont effectués des travaux à caractère permanent

### Valeur minimale d'éclairciment

- 40 lux
- 60 lux
- 120 lux
- 200 lux
- 10 lux
- 40 lux

### Type d'activité

- Mécanique moyenne, dactylographie, travaux de bureau
- Travail de petites pièces, bureaux de dessin, mécanographie
- Mécanique fine, gravure, comparaison de couleurs, dessins difficiles, indus. vêtement
- Mécanique de précision, électronique fine, contrôles divers
- Tâches très difficiles dans l'industrie ou les laboratoires

### Valeur minimale d'éclairciment

- 200 lux
- 300 lux
- 400 lux
- 600 lux
- 800 lux

### Exemples d'éclairciments recommandés :

Bâtiments agricoles	150 lux
Locaux techniques	100-150 lux
Docks et quais	100-200 lux
Entrepôts et expédition	200 lux
Salles de fabrication	200 lux
Travail sur machine	500 lux
Ateliers	300-500 lux
Contrôle	750-1000 lux
Travaux fins	1000 lux
Travaux très fins (horlogerie, montage composants électroniques)	1500 lux
Restaurants	200-300 lux
Cantines	200 lux
Vestiaires, toilettes	150 lux
Ateliers de réparation, carrosseries	500 lux

Salles d'attente, accueil	300-500 lux
Paliers, couloirs	200 lux
Salles de réunion, conférence	300-500 lux
Salles de repos	200 lux
Bureaux de direction	300 lux
Bureaux travaux généraux	500 lux
Bureaux paysagés informatiques	750 lux
Dessin industriel	750-1000 lux
Comparaison de couleur	1000 lux
Réception	200 lux
Cuisines	500 lux
Cafés	300 lux
Douches	200 lux
Magasins	200-500 lux
Vitrines	1000-5000 lux

### CALCUL SIMPLIFIÉ D'ÉCLAIREMENT

Formule pour le calcul de l'éclairement :

$$E = \frac{F \times u}{S \times d}$$

Formule pour le calcul du flux lumineux total nécessaire à l'éclairement d'un local :

$$F = \frac{E \times S \times d}{u}$$

E = éclairement en Lux.

F = flux total en lumens.

S = surface totale du plan à éclairer en m<sup>2</sup>.

u = coefficient d'utilisation de l'installation.

d = facteur de compensation de la dépréciation =1,4 en moyenne.

Tableau déterminant le coefficient d'utilisation :

	Éclairage direct			Éclairage indirect
	clair	moyen	foncé	clair
Couleur des murs :	Couleur du plafond :			Couleur du plafond :
clair	0,65	0,65	0,65	0,43
moyen	0,57	0,57	0,50	0,35
foncé	0,50	0,50	0,43	0,29

**ANNEXE 2 : BILAN DE PUISSANCE EXISTANT ET AVEC LES EXTENSIONS DE ZED-SA**

Circuit	P (W)	ku	ks1	Pf (W)	Cos φ	Tan φ	Qf (VAr)	S (kVA)	Ks 2	P2 (kW)	Q2 (kVAr)	S2 (kVA)	Courant du coffret Ib (A)	Ks 3	Coeff extension Ke 20 %	P (TGBT) (kW)	Q (TGBT) (kVAr)	S (TGBT) (kVA)	S du Transfo (kVA)	Coefficient de sécurité pour le groupe	S du GE (kVA)	Courant Ib (A)
Eclairage RDC									0,8	13,98	10,76	17,64	25,46416778									
E0	1656	1	1	1656	0,8	0,75	1242	2070														
Prises RDC																						
PC0	144900	0,3	0,2125	9237	0,8	0,75	6928	11547	0,8	12,59	9,80	15,96	23,02963516		1,2	25,50	19,74	32,25	50	1,5	60	90,21
Climatisation RDC																						
CL0	6580	1	1	6580	0,78	0,80	5279	8436														
Eclairage R+1									0,8	12,59	9,80	15,96	23,02963516		1,2	25,50	19,74	32,25	50	1,5	60	90,21
E1	1152	1	1	1152	0,8	0,75	864	1440														
Prises R+1																						
PC1	87400	0,3	0,2286	5993	0,8	0,75	4495	7491														
Climatisation R+1									0,8	12,59	9,80	15,96	23,02963516		1,2	25,50	19,74	32,25	50	1,5	60	90,21
CL1	8590	1	1	8590	0,78	0,80	6892	11013														

Etude technico-économique pour la réalisation d'une installation hybride solaire PV/RESEAU/GE : cas du siège de l'entreprise ZED-SA

Circuit	P (W)	ku	ks1	Pf (W)	Cos φ	Tan φ	Qf (VAr)	S (kVA)	Ks 2	P2 (kW)	Q2 (kVAr)	S2 (kVA)	Courant du coffret Ib (A)	Ks 3	Coeff extension Ke 20 %	P (TGBT) (kW)	Q (TGBT) (kVAr)	S TGBT (kVA)	S du Transfo (kVA)	Coefficient de sécurité pour le groupe	S du GE (kVA)	Courant Ib (A)
Eclairage RDC																						
E0_1	156	1	1	156	0,9	0,48	76	173														
E0_2	130	1	1	130	0,9	0,48	63	144														
E0_3	156	1	1	156	0,9	0,48	76	173														
E0_4	156	1	1	156	0,9	0,48	76	173														
E0_5	156	1	1	156	0,9	0,48	76	173														
E0_6	156	1	1	156	0,9	0,48	76	173														
E0_7	156	1	1	156	0,9	0,48	76	173														
E0_8	156	1	1	156	0,9	0,48	76	173														
E0_9	26	1	1	26	0,9	0,48	13	29														
E0_10	104	1	1	104	0,9	0,48	50	116	0,8	13,90	10,37	17,373	25,076	0,8	1,2	76,66	57,38	95,95	160	1,5	150	288,68
E0_11	208	1	1	208	0,9	0,48	101	231														
Prises RDC																						
PC0_1	18400	0,3	0,2125	1173	0,8	0,75	880	1466														
PC0_2	18400	0,3	0,2125	1173	0,8	0,75	880	1466														
PC0_3	18400	0,3	0,2125	1173	0,8	0,75	880	1466														
PC0_4	18400	0,3	0,2125	1173	0,8	0,75	880	1466														
PC0_5	18400	0,3	0,2286	1262	0,8	0,75	946	1577														
PC0_6	16100	0,3	0,2125	1026	0,8	0,75	770	1283														
PC0_7	18400	0,3	0,2125	1173	0,8	0,75	880	1466														













## ANNEXE 3 : FICHE TECHNIQUE DES EQUIPEMENTS PHOTOVOLTAÏQUES

**STP300 - 24/Ve**  
**STP295 - 24/Ve**  
**STP290 - 24/Ve**

**SUNTECH**

### 300 Watt POLYCRYSTALLINE SOLAR MODULE



#### Features



#### High module conversion efficiency

Module efficiency up to 15.5% achieved through advanced cell technology and manufacturing capabilities



#### Excellent weak light performance

Excellent performance under low light conditions



#### Positive tolerance

Positive tolerance of up to 5% delivers higher outputs reliability



#### Suntech current sorting process

System output maximized by reducing mismatch losses up to 2% with modules sorted & packaged by amperage



#### Extended wind and snow load tests

Module certified to withstand extreme wind (3800 Pascal) and snow loads (5400 Pascal) \*



#### Withstanding harsh environment

Reliable quality leads to a better sustainability even in harsh environment like desert, farm and coastline

Certifications and standards:  
 IEC 61215, IEC 61730, conformity to CE



#### Trust Suntech to Deliver Reliable Performance Over Time

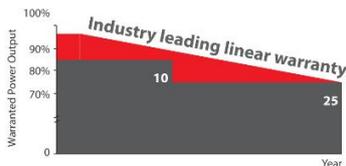
- World-class manufacturer of crystalline silicon photovoltaic modules
- Unrivaled manufacturing capacity and world-class technology
- Rigorous quality control meeting the highest international standards: ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004 and ISO17025: 2005
- Regular independently checked production process from international accredited institute/company
- Tested for harsh environments (salt mist, ammonia corrosion and sand blowing testing: IEC 61701, DIN 50916:1985 T2, DIN EN 60068-2-68)\*\*



#### Compact and Durable Frame Design

The new compact frame means more modules per package, so it saves your shipping and inventory cost. The rigid and durable hollow chamber guarantees the same long-term and reliable performance.

#### Industry-leading Warranty based on nominal power



- 97% in the first year, thereafter, for years two (2) through twenty-five (25), 0.7% maximum decrease from MODULE's nominal power output per year, ending with the 80.2% in the 25th year after the defined WARRANTY STARTING DATE.\*\*\*\*
- 10-year material and workmanship warranty



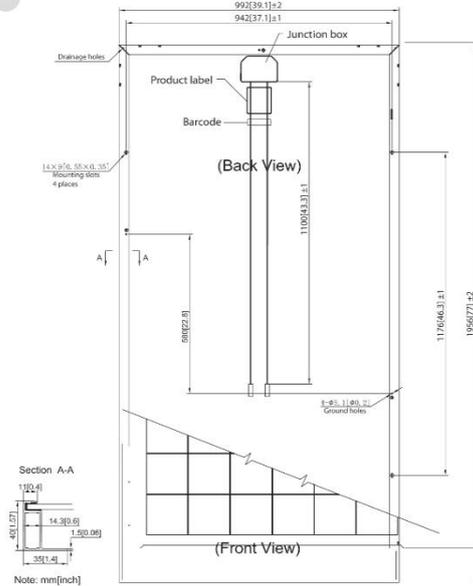
#### IP67 Rated Junction Box

Supports installations in multiple orientations. High reliable performance, low resistance connectors ensure maximum output for the highest energy production.

\* Please refer to Suntech Standard Module Installation Manual for details. \*\*PV Cycle only for EU market.

\*\*\* Please refer to Suntech Product Near-coast Installation Manual for details. \*\*\*\* Please refer to Suntech Product Warranty for details.

**STP300 - 24/Ve**  
**STP295 - 24/Ve**  
**STP290 - 24/Ve**



**Electrical Characteristics**

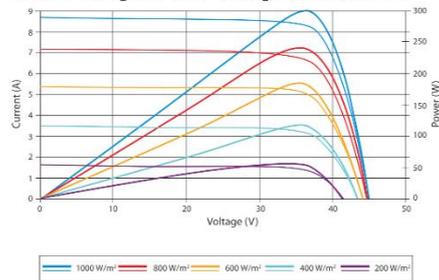
STC	STP300-24/ Ve	STP295-24/ Ve	STP290-24/ Ve
Maximum Power at STC (Pmax)	300 W	295 W	290 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	35.9 V	35.6 V	35.4 V
Optimum Operating Current (Imp)	8.36 A	8.29 A	8.20 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.5 V	44.3 V	44.1 V
Short Circuit Current (Isc)	8.83 A	8.74 A	8.65 A
Module Efficiency	15.5%	15.2%	14.9%
Operating Module Temperature	-40 °C to +85 °C		
Maximum System Voltage	1000 V DC (IEC)		
Maximum Series Fuse Rating	20 A		
Power Tolerance	0/+5 %		

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, module temperature 25 °C, AM=1.5; Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%

NOCT	STP300-24/ Ve	STP295-24/ Ve	STP290-24/ Ve
Maximum Power at NOCT (Pmax)	219 W	216 W	212 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	32.4 V	32.2 V	32.1 V
Optimum Operating Current (Imp)	6.75 A	6.70 A	6.60 A
Open Circuit Voltage (Voc)	40.6 V	40.5 V	40.3 V
Short Circuit Current (Isc)	7.14 A	7.07 A	6.99 A

NOCT: Irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, ambient temperature 20 °C, AM=1.5, wind speed 1 m/s; Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%

Current-Voltage & Power-Voltage Curve (300-24)



Excellent performance under weak light conditions: at an irradiance intensity of 200 W/m<sup>2</sup> (AM 1.5, 25 °C), 95.5% or higher of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved

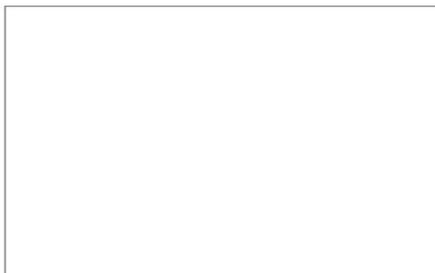
**Temperature Characteristics**

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.43 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.33 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.067 %/°C

**Mechanical Characteristics**

Solar Cell	Polycrystalline silicon 156 × 156 mm (6 inches)
No. of Cells	72 (6 × 12)
Dimensions	1956 × 992 × 40mm (77.0 × 39.1 × 1.6 inches)
Weight	25.8 kgs (56.9 lbs.)
Front Glass	4.0 mm (0.16 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP67 rated (3 bypass diodes)
Output Cables	TUV (2Pfg1169:2007) 4.0 mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ), symmetrical lengths (-) 1100mm (43.3 inches) and (+) 1100 mm (43.3 inches)
Connectors	H4 connectors

**Dealer information**



Information on how to install and operate this product is available in the installation instruction. All values indicated in this data sheet are subject to change without prior announcement. The specifications may vary slightly. All specifications are in accordance with standard EN 50380. Color differences of the modules relative to the figures as well as discolorations of/in the modules which do not impair their proper functioning are possible and do not constitute a deviation from the specification.

E-mail: sales@suntech-power.com

www.suntech-power.com

IEC-STD-Ve-NO1.01-Rev 2013

## SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL



### Économique

- Rendement maximal de 98,4 %

### Sûr

- Parafoudre DC (type II) intégrable

### Flexible

- Tension d'entrée DC jusqu'à 1000 V
- Dimensionnement souple de l'installation grâce au concept multistring
- Écran en option

### Innovant

- Fonctions novatrices de gestion du réseau grâce au Integrated Plant Control
- Fourniture de puissance réactive 24 h/24 (Q on Demand 24/7)

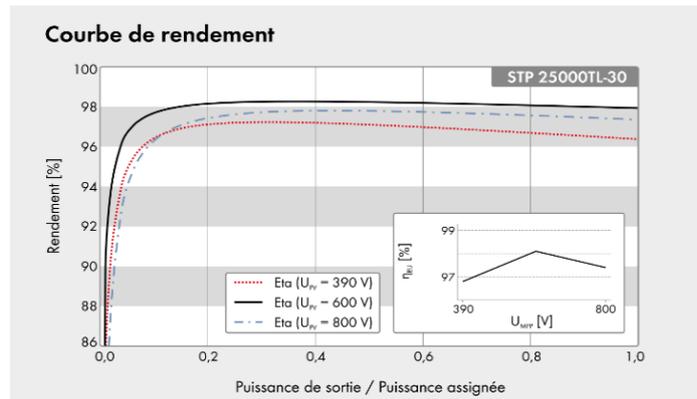
## SUNNY TRIPOWER 15000TL / 20000TL / 25000TL

Solutions flexibles pour grandes toitures et centrales photovoltaïques

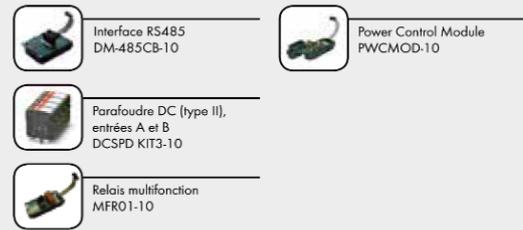
Les onduleurs Sunny Tripower conviennent parfaitement pour les grandes installations sur grandes toitures. Grâce à leur rendement atteignant 98,4 %, ils fournissent non seulement des rendements très élevés mais se caractérisent également par une grande flexibilité de dimensionnement et une compatibilité étendue avec de nombreux panneaux photovoltaïques grâce au concept multistring et une large plage de tension d'entrée.

L'innovation consiste dans l'intégration de nouvelles fonctions de gestion du réseau telles que l'Integrated Plant Control qui permet de réguler la puissance réactive au niveau du point de raccordement au réseau par le seul biais de l'onduleur. Vous faites ainsi l'économie d'unités de régulation supérieures, synonyme de réduction du prix au watt. Une autre nouveauté est la fourniture de puissance réactive 24 h/24 (Q on Demand 24/7).

# Etude technico-économique pour la réalisation d'une installation hybride solaire PV/RESEAU/GE : cas du siège de l'entreprise ZED-SA



### Accessoires



● équipement de série ○ équipement en option — non disponible  
 données en conditions nominales  
 Version : octobre 2017

Caractéristiques techniques	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
<b>Entrée (DC)</b>		
Puissance max. du générateur photovoltaïque	36000 W <sub>p</sub>	45000 W <sub>p</sub>
Puissance assignée DC	20440 W	25550 W
Tension d'entrée max.	1000 V	1000 V
Plage de tension MPP/tension d'entrée assignée	320 V à 800 V/600 V	390 V à 800 V/600 V
Tension d'entrée min./tension d'entrée de démarrage	150 V/188 V	150 V/188 V
Courant d'entrée max. entrée A/entrée B	33 A/33 A	33 A/33 A
Nombre d'entrées MPP indépendantes/strings par entrée MPP	2/A;3; B:3	2/A;3; B:3
<b>Sortie (AC)</b>		
Puissance assignée (à 230 V, 50 Hz)	20000 W	25000 W
Puissance apparente AC max.	20000 VA	25000 VA
Tension nominale AC	3/N/PE ; 220 V/380 V 3/N/PE ; 230 V/400 V 3/N/PE ; 240 V/415 V	
Plage de tension AC	180 V à 280 V	
Fréquence du réseau AC/plage	50 Hz/44 Hz à 55 Hz 60 Hz/54 Hz à 65 Hz	
Fréquence de réseau assignée/tension de réseau assignée	50 Hz/230 V	
Courant de sortie max./courant de sortie assigné	29 A/29 A	36,2 A/36,2 A
Facteur de puissance pour la puissance assignée/Facteur de déphasage réglable		1/0 inductif à 0 capacitif
THD		≤ 3 %
Phases d'injection/phases de raccordement		3/3
<b>Rendement</b>		
Rendement max./européen	98,4 %/98,0 %	98,3 %/98,1 %
<b>Dispositifs de protection</b>		
Dispositif de déconnexion côté DC	●	
Surveillance du défaut à la terre/Surveillance du réseau	● / ●	
Parafoudre DC : type II	○	
Protection inversion de polarité DC/résistance aux courts-circuits AC/séparation galvanique	● / ● / -	
Unité de surveillance du courant différentiel, sensible tous les courants	●	
Classe de protection (selon IEC 62109-1) / catégorie de surtension (selon IEC 62109-1)		I / AC: III; DC: II
<b>Données générales</b>		
Dimensions (L / H / P)	661/682/264 mm [26,0/26,9/10,4 pouces]	
Poids	61 kg (134,48 lb)	
Plage de température de fonctionnement	-25°C à +60°C (-13°F à +140°F)	
Émission sonore (typique)	51 dB(A)	
Autoconsommation (nuit)	1 W	
Topologie/système de refroidissement	Sans transformateur/OptiCool	
Indice de protection (selon CEI 60529)	IP65	
Classe climatique (selon IEC 60721-3-4)	4K4H	
Valeur maximale admissible d'humidité relative de l'air (sans condensation)	100%	
<b>Équipement / fonction / accessoires</b>		
Raccordement DC/raccordement AC	SUNCLIX/borne à ressort	
Écran	○	
Interface : RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●	
Interface de données : SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●	
Relais multifonction/Power Control Module	○ / ○	
OptiTrac Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●	
Compatible off-grid / compatible SMA Fuel Save Controller	● / ●	
Garantie : 5 / 10 / 15 / 20 ans	● / ○ / ○ / ○	
Certificats et homologations (autres sur demande)		ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, DEWA 2.0, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2013, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2013, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, SI4777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014
Désignation de type	STP 20000TL-30	STP 25000TL-30



## MULTICLUSTER SYSTEM 12 FOR SUNNY ISLAND



### Flexible

- For off-grid, on-grid and back-up applications
- For power range of 30 to 138 kW
- For TN- and TT-grids

### Easy to use

- Integrated AC distribution for Sunny Island, generator, PV and loads (MC-Box 12)

- Retrofittable grid connection (NA-Box 12, Grid-Connect-Box 12)
- Better serviceability

### Safe and reliable

- Fulfills German VDE-AR-N 4105
- Integrated residual-current device
- Active anti-islanding

## Multiclustercast System 12 for SUNNY ISLAND

Easy creation of powerful on- and off-grid applications

Proven technology with new application areas for PV systems - the SMA Multiclustercast System 12 is now suitable for operation on the utility grid as well. In Germany, it complies with the applicable conditions for connection to the low-voltage grid of VDE-AR-N 4105: With the battery inverters Sunny Island 6.0H or 8.0H and the NA-Box 12, commercial self-consumption and battery-backup systems of up to 100 kWp can be set up. On an international scale, the Grid-Connect-Box 12 can be used to form self-consumption and battery-backup systems with an output of up to 138 kWp. The new Multiclustercast-Box 12 is suitable for TN- and TT-grids thanks to the integrated grounding contactor. In areas with very unstable utility grids, a diesel generator can also be connected. For off-grid regions, the Multiclustercast-Box 12 allows powerful solar off-grid systems with up to 138 kWp to be set up - ideal for commercial enterprises and village power supplies in rural regions.

## MULTICLUSTER SYSTEM 12 FOR SUNNY ISLAND

Technical data	Multicuster-Box 12
<b>Load connection</b>	
Number of connections	1 x three-phase
Rated power	138 kW
Rated grid voltage	230 V / 400 V
AC voltage range	172.5 V-265 V 300 V-433 V
Current at rated values	3 x 200 A
Terminals for connection N, L1, L2, L3	Spring-cage terminals
Fuse / maximum permissible fuse sizes	NH1 / 200 A
<b>Sunny Island connections</b>	
Maximum number of devices	12
AC rated power / AC current at rated values	72 kW / 12 x 26 A
Rated operating voltage	230 V / 400 V
Terminals for connection N, PE, L	Spring-cage terminals
Fuse	12 x circuit breaker C40 A
<b>Generator connection</b>	
Number of connections	1 x three-phase
Rated grid input power	138 kW
Nominal voltage	230 V / 400 V
AC input current	3 x 200 A
Terminals for connection N, PE, L1, L2, L3	Spring-cage terminals
Fuse / maximum permissible fuse sizes	NH1 / 200 A
<b>PV system connection</b>	
Number of connections	1 x three-phase
Rated power	138 kW
Rated operating voltage	230 V / 400 V
AC current at rated values	3 x 200 A
Terminals for connection N, PE, L1, L2, L3	Spring-cage terminals
Maximum permissible back-up fuse	200 A
<b>NA-Box / Grid-Connect-Box connection</b>	
Number of connections	1 x three-phase
Rated input power	138 kW
Rated operating voltage	230 V / 400 V
Rated current / AC input current	3 x 200 A
Terminals for connection N, PE, L1, L2, L3	Spring-cage terminals
Maximum permissible back-up fuse	200 A
<b>General data</b>	
Number of phases	3
Permitted grid configuration	TN-S, TN-C-S and TT
Rated frequency / frequency range	50 Hz / 45 Hz to 65 Hz
Dimensions (W/H/D)	1,200 / 1,600 / 435 mm (incl. 200 mm base)
Weight	200 kg
Maximum operating altitude above mean sea level	3,000 m
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP55
EMC environment, interference / interference immunity	B / A
Humidity	0% to 100%
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C
Output power / rated power at 25 °C	138 kW
Output power / rated power between 25 °C and 60 °C	See "Derating Behavior" diagram
Data cables	●
Warranty (5 years)	●
EC Declaration of Conformity	Yes
● Standard feature ○ Optional feature – Not available	
Type designation	MC-BOX-12.3-20