



CONCEPTION D'UNE MINI-CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE AVEC STOCKAGE POUR L'ELECTRIFICATION DU CMA DE BOUSSE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER EN GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE
SPECIALITE : ENERGIE RENOUVELABLE

Présenté et soutenu publiquement le [21/09/2020] par

Amabelle Rose TANGO KOUGANG (20170465)

Directeur de mémoire : **Y. Moussa SORO, Maitre de Conférences CAMES**

Encadrant 2iE : **Y. Moussa SORO, Maitre de Conférences CAMES**

Maître de stage : **Bienvenu KERE, Directeur Technique PPS**

Structure (s) d'accueil du stage : **Projet de Production Solaire (PPS)**

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Daniel YAMEGUEU NGUEWO**

Membres : **Justin BASSOLE**

Promotion [2019/2020]

DEDICACES

*A l'Éternel le Dieu tout-puissant,
A mes parents pour leurs soutiens inconditionnels tout au long de mon parcours
A mes frères et sœurs...*

REMERCIEMENTS

Nous ne saurons commencer la rédaction de ce mémoire sans toutefois remercier ceux qui de loin ou de près ont contribué à sa mise en œuvre. Ainsi, nous voulons remercier:

- L'ensemble du corps professoral de 2iE en particulier notre encadreur pédagogique le Dr. Y. Moussa SORO pour sa disponibilité, ses remarques et réflexions qui nous ont permis de mener à bien cette étude.
- A Mr KERE Bienvenu, directeur technique de l'entreprise PPS, qui a été notre tuteur de stage en entreprise.
- A Mr ZONGO René technicien à PPS pour sa disponibilité, ses conseils, qui nous ont permis d'apprendre davantage sur le photovoltaïque.
- A mes amis et camarades de promotion pour le travail de tous les jours qui nous a permis de mener à bien notre formation!
- A mes parents, mes oncles et tantes pour leurs soutiens malgré la distance.

RESUME

L'objectif de ce travail est de concevoir une mini-centrale photovoltaïque avec stockage pour les besoins en électricité d'un hôpital situé à Boussé, une ville de la région du plateau-central au Burkina Faso. A partir du cahier des charges du projet (champ PV de 60 kWc, 72 batteries de 2 V/2000 Ah pour le système de stockage), nous avons dimensionné les différents composants de l'installation pour obtenir 3 onduleurs réseau **Sunny Tripower 20000TL-US** de 20 kW, 9 onduleurs chargeurs **Sunny island 6.0H** de 4,6 kW et 3 séries de 24 batteries pour le stockage.

Sur le plan financier, la réalisation du projet est estimée à **133 900 783 F CFA** et le prix de revient actualisé du kWh à **162,07 F CFA / kWh**. Le calcul de la Valeur Actuelle Nette (VAN ou NPV) sur la période de vie du système, donne un montant de **54 305 317 F CFA**. Le calcul du temps de Retour sur Investissement (TRI) sur sa durée de vie (25 ans), a permis d'apprécier sa rentabilité. Nous avons obtenu une période de retour sur investissement de **12 ans**.

L'étude des impacts socio-économiques et environnementaux a permis de déduire que sur le plan social, il y aura une amélioration des soins de santé des populations riveraines de cette ville à travers la permanence énergétique qu'offrira la centrale aux différents services de l'hôpital. Sur le plan économique il y aura une réduction de la facture énergétique de l'hôpital vis-à-vis de la société d'électricité. Enfin sur le plan environnemental on aura la mise en place d'une technologie d'énergies renouvelables et non polluantes pour l'environnement.

Mots clés :

- 1-Conception
- 2-Mini-Centrale
- 3-Photovoltaïque
- 4-Stockage

ABSTRACT

The objective of this work is to design a mini photovoltaic power plant with storage for the electricity needs of a hospital located in Boussé, a town in the Central Plateau region of Burkina Faso. Based on the specifications of the project (PV field of 60 kWp, 72 batteries of 2 V/2000 Ah for the storage system), the different components of the installation were dimensioned to obtain 3 Sunny Tripower 20000TL-US grid inverters of 20 kW, 9 Sunny island 6.0H inverter-chargers of 4.6 kW and 3 series of 24 batteries for the storage.

Financially, the project is estimated at 133 900 783 F CFA and the updated cost price of the kWh at 162.07 F CFA / kWh. Calculation of the Net Present Value (NPV) over the lifetime of the system gives an amount of 54 305 317 F CFA. The calculation of the Return on Investment (ROI) over its lifetime (25 years), allowed to assess its profitability. A return on investment period of 12 years was obtained.

The study of the socio-economic and environmental impacts allowed to deduce that, on the social level, there will be an improvement of the health care of the populations living near this city through the energy permanence that the power station will offer to the different services of the hospital. Economically, there will be a reduction in the hospital's energy bill to the electricity company. Finally, on the environmental level there will be the implementation of a technology of renewable and non-polluting energies for the environment.

Key words:

- 1-Design
- 2-Mini-Central
- 3-Photovoltaic
- 4-Storage

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristique de la centrale d'après le DAO.....	5
Tableau 2:Récapitulatif des coordonnées géographiques	7
Tableau 3 : Récapitulatif des besoins énergétiques.....	9
Tableau 4:Paramètres pour le calcul du ratio de performance	14
Tableau 5: Données d'ensoleillement de la commune.....	15
Tableau 6:Récapitulatif des modules photovoltaïques choisis.....	16
Tableau 7: Caractéristiques techniques des modules	16
Tableau 8 : Détermination du type de parafoudre.....	20
Tableau 9:Détermination de ρ	21
Tableau 10:Détermination de β	21
Tableau 11:Choix de I_n en fonction du risque de foudroiement.....	21
Tableau 12: Calibre de disjoncteurs AC.....	24
Tableau 13:Tension recommandée en fonction de la puissance crête.....	26
Tableau 14:Vérification de la compatibilité entre les onduleurs chargeurs et les batteries	27
Tableau 15 : Paramètres de calcul de la rentabilité.....	33
Tableau 16: Valeur numérique des paramètres utilisés [17].....	33
Tableau 17:Planning de maintenance.....	36
Tableau 18: Récapitulatif des équipements dimensionnés.....	37
Tableau 19 : Section de câble calculée.....	38
Tableau 20: Comparaison sections des câbles calculées et la proposition de PPS	39

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Organigramme de P.P.S.....	3
Figure 2: Carte de situation de la commune de Boussé	6
Figure 3:Diagramme climatique de Boussé [6].....	7
Figure 4: Démarche générale illustrative du dimensionnement.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 5:Architecture générale de l'installation	13
Figure 6 : Schéma synoptique de raccordement d'un multi cluster box12.3	25
Figure 7:Surface totale du champ.....	30
Figure 8:Vue satellitaire du CMA de Boussé.....	31

LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

2iE: Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement

A: Ampère

Ah: Ampère heure

AC: Courant alternatif

BTP: Bâtiment et travaux publics

CMA: Centre médical avec antenne chirurgicale

CSPS: Centre de santé et de promotion sociale

Cos phi: Facteur de puissance

DAO: Dossier d'appel d'offres

DC: Courant continu

DS: District sanitaire

kVA : Kilo volt ampère

kWh : Kilo watt heure

LCOE: Levelized cost of energy

MPPT: Maximum power point tracker

MWh: Mégawatt heure

PPS: Projet de production solaire

PV: Photovoltaïque

Sonabel: Société nationale d'électricité du Burkina Faso

TTC: Tous taxes comprises

V: Volt

Wc: Watt crête

<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>LISTES DES TABLEAUX</i>	<i>v</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>vi</i>
<i>LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES</i>	<i>vii</i>
<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	<i>1</i>
<i>I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET CAHIER DES CHARGES DU PROJET</i>	<i>2</i>
<i>I.1 PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL</i>	<i>2</i>
I.1.a HISTORIQUE DE PPS	2
I.1.b SECTEUR D'ACTIVITES	2
I.1.c ORGANIGRAMME ET SITUATION GEOGRAPHIQUE	3
<i>I.2 PRESENTATION DU CAHIER DES CHARGES</i>	<i>3</i>
I.2.a PROMOTEUR	3
I.2.b CONTEXTE ET OBJECTIF DU PROJET	4
I.2.c TRAVAIL DEMANDE ET RESULTAT ATTENDUS	4
I.2.d APPROCHE METHODOLOGIQUE	5
I.2.e LES CARACTERISTIQUES DE LA CENTRALE SELON LE DAO	5
<i>II. PRESENTATION DU SITE DU PROJET ET GENERALITE SUR LES TECHNOLOGIES D'EQUIPEMENTS POUR LES CENTRALES PV</i>	<i>6</i>
<i>II.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE</i>	<i>6</i>
II.1.a SITUATION GEOGRAPHIQUE	6
II.1.b SITUATION CLIMATIQUE	7
<i>II.2 PRESENTATION DU SITE DE L'INSTALLATION</i>	<i>8</i>
II.2.a DESCRIPTION	8
II.2.b EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES DU CMA DE BOUSSE	8
<i>II.3 GENERALITE SUR QUELQUES COMPOSANTS CLES D'UNE CENTRALE PV AVEC STOCKAGE</i>	<i>9</i>
II.3.a TECHNOLOGIE DE PANNEAUX PV	9
II.3.b LES ONDULEURS SOLAIRES	10
	viii

II.3.c	LES BATTERIES SOLAIRES	11
III.	<i>DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS DE LA CENTRALE PV</i>	12
III.1	PRESENTATION DE L'INSTALLATION	12
III.2	DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME COUPLE AU RESEAU	14
III.3	DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE STOCKAGE	25
IV.	<i>ETUDE ECONOMIQUE, NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET ET PLANNING DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION</i>	31
IV.1	ETUDE ECONOMIQUE	31
IV.2	NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET	34
IV.2.a.	IMPACTS POSITIFS	34
IV.2.b.	IMPACTS NEGATIFS	35
IV.3	PLANNING DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION	36
V.	<i>RESULTATS ET ANALYSE DES RESULTATS (DISCUSSION)</i>	37
	<i>CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS</i>	41
VI.	<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	43
VII.	<i>LISTE DES ANNEXES</i>	45

INTRODUCTION GENERALE

En septembre 2015, les Nations Unies ont adopté de nouveaux objectifs de développement durable, censés orienter les actions de la communauté internationale pour les quinze prochaines années notamment l'accord de Paris. Afin de garantir un accès universel à des services énergétiques abordables, fiables et modernes, il y était recommandé d'augmenter considérablement la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique mondial. De la même façon, ce nouvel objectif est de maintenir le réchauffement climatique en dessous de 2 °C [1]. Selon le Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC), une élévation de la température supérieure à 2 °C aurait de graves conséquences, comme l'augmentation du nombre de phénomènes météorologiques extrêmes.

L'énergie renouvelable qu'est le solaire photovoltaïque offre la possibilité d'exploiter l'immense gisement que représente le rayonnement solaire. Elle représente un réel potentiel car l'énergie solaire qui arrive sur la terre pendant une heure pourrait suffire à la consommation mondiale pendant une année [2]. Ainsi, le solaire photovoltaïque se présente comme un atout pour le développement durable de nos pays et fort heureusement, il occupe désormais tous les secteurs de la vie socio-économique au Burkina Faso.

Ainsi, le gouvernement du Burkina Faso a opté pour le financement de plusieurs projets d'électrifications solaires sur son territoire notamment le projet de dotation des centrales solaires aux différents centres médicaux avec antenne chirurgicale (CMA). Ce projet a pour but de garantir la qualité permanente de soin dans les hôpitaux en leur offrant un service énergétique fiable, permanent et à un coût réduit.

Dans ce document, nous présenterons d'abord notre structure d'accueil et le cahier des charges du projet et dégagerons les axes principaux du projet, puis nous présenterons le site de la centrale ainsi que quelques technologies d'équipements de centrale PV avec stockage. Ensuite, nous ferons un dimensionnement de la centrale avec système de stockage, puis une étude économique, un plan de maintenance de l'installation et enfin une notice d'impact environnemental.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET CAHIER DES CHARGES DU PROJET

I.1 PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

I.1.a HISTORIQUE DE PPS

Ayant vu le jour en 2010, l'entreprise projet de production solaire est le fruit de la coopération de quatre jeunes. Cette jeune entreprise d'envergure internationale évolue dans l'énergie solaire et dans l'électricité industrielle. PPS fournit également des équipements solaires et miniers de haute qualité. PPS offre une panoplie de matériel et d'accompagnement dans la conception des solutions énergétiques durables. Elle est aussi distributeur officiel de la marque LEROY-SOMER au Burkina Faso. Aussi elle a des partenaires stratégiques, parmi lesquels on a : la SMA (system-mess-Anlagentechnik), 2GARENI industrie, HOPPECKE, Ultracell. Elle est dirigée par une équipe d'ingénieurs et de techniciens qualifiés avec plusieurs années d'expériences professionnelles dans les domaines suivants : génie énergétique, électrotechnique, automatisme, conseil en technologie, électricité, gestion des systèmes industriels et de l'environnement, énergie photovoltaïque.

I.1.b SECTEUR D'ACTIVITES

Les secteurs d'activité de PPS SAS sont :

- Le secteur solaire : conception et installation des systèmes photovoltaïques autonomes, installation de secours, au fil du soleil, installation PV avec stockage, installation PV avec groupe électrogène, kit solaire d'éclairage, pompes solaires, etc.
- Le secteur industriel : fourniture d'équipements industriels et miniers tels que les alternateurs, les électropompes, les variateurs de vitesse les moteurs électriques asynchrones à très haut rendement.
- L'expertise énergétique : réalisation d'étude en optimisation énergétique, d'étude et conception des systèmes industriels durables.

I.1.c ORGANIGRAMME ET SITUATION GEOGRAPHIQUE

➤ Organigramme de PPS

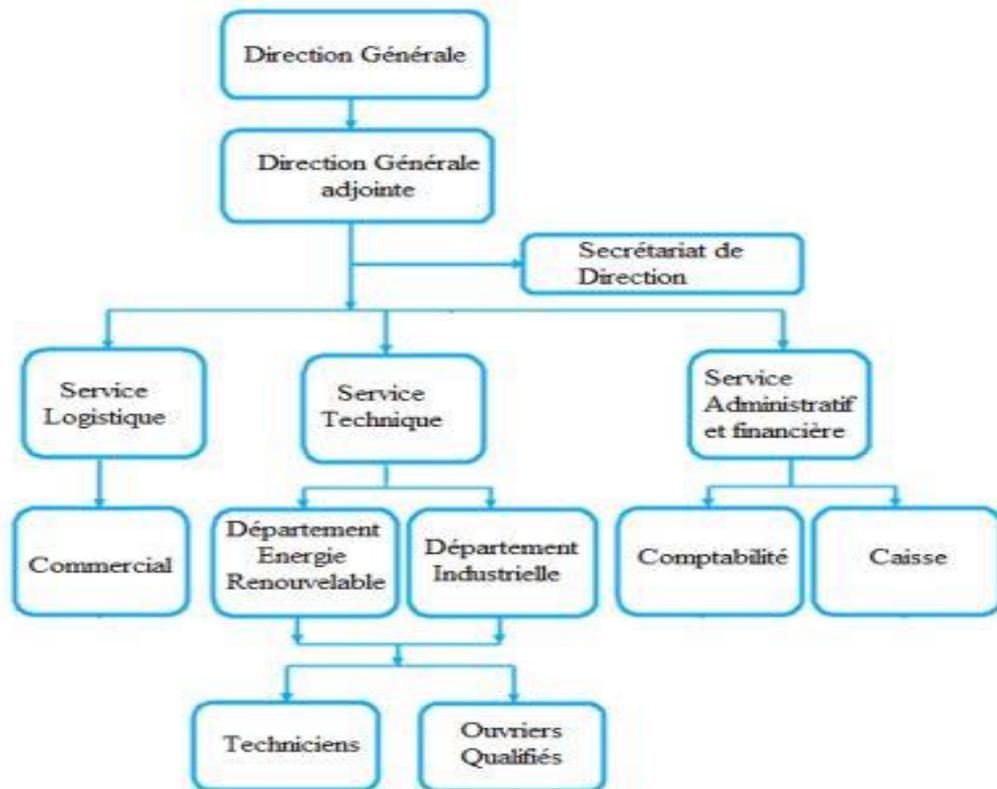


Figure 1: Organigramme de P.P.S

➤ Situation géographique

L'entreprise PPS SAS est sise à Gounghin, secteur 07 dans la ville de Ouagadougou.

I.2 PRESENTATION DU CAHIER DES CHARGES

Il est question de présenter le projet, ses différents axes ainsi que ses objectifs. Nous présenterons également le contexte du projet, les résultats attendus, ainsi que la méthodologie de travail que nous allons utiliser.

I.2.a PROMOTEUR

Le projet d'Eco-électrification « Energie et croissance économique durable » lancé par le gouvernement du Burkina Faso, a pour objectif le co-financement des activités liées à la gouvernance et au renforcement de l'autonomie énergétique du Burkina Faso dans le but d'améliorer l'accès aux services énergétiques modernes et durables pour les zones reculées du pays. Le coût du projet est estimé à hauteur de 523 670 000 FCFA TTC

financé par le gouvernement du Burkina Faso pour l'alimentation des CMA de Boussé, Saaba et Ziniaré, DS de Tampouy et la maternité de Gounghin.

I.2.b CONTEXTE ET OBJECTIF DU PROJET

➤ CONTEXTE

L'utilisation des énergies polluantes dans toutes les activités humaines contribue fortement à la destruction de l'environnement, ce qui a pour conséquence le changement climatique, la destruction de la couche d'ozone et la venue des pluies acides.

Les conséquences liées à la pollution atmosphérique ont amené l'homme à repenser à la production énergétique, d'où la naissance des technologies d'énergies renouvelables, notamment le développement de technologie solaire.

Le développement du secteur énergétique reste de même un défi majeur pour le développement économique et social d'un pays. Fort de ce constat, le Burkina Faso mène depuis quelques années une politique énergétique nationale de plus en plus tournée vers l'énergie solaire photovoltaïque.

➤ OBJECTIF DU PROJET

Ce projet vise essentiellement les points suivants:

- Valoriser le potentiel solaire
- Mettre à la disposition de ces hôpitaux une énergie propre pour s'assurer de l'allègement de ses factures énergétiques et aussi l'autonomie énergétique de leurs unités en cas de non-production du champ PV (jours nuageux et pluvieux) et d'indisponibilité de la Sonabel.

I.2.c TRAVAIL DEMANDE ET RESULTAT ATTENDUS

Le travail demandé ici consistera à :

- L'identification du site de construction de la mini-centrale
- La conception de la centrale photovoltaïque pour l'alimentation du CMA de Boussé
- La réalisation d'une étude économique
- Faire le planning de maintenance
- Faire la notice d'impact environnemental liée au projet

Les résultats attendus à l'issue de cette étude sont les suivantes :

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Boussé

- Le site de construction de la mini-centrale est identifié
- La conception de la centrale photovoltaïque pour l'alimentation du CMA de Boussé est faite
- L'étude économique est faite
- Le planning de maintenance est fait
- La notice d'impact environnemental liée au projet est faite

I.2.d APPROCHE METHODOLOGIQUE

➤ RECHERCHE DOCUMENTAIRE ET PRISE EN MAIN DES LOGICIELS

Cette étape nous a permis de nous familiariser avec la documentation nécessaire pour la conception de ce projet, la prise en main des logiciels de dessin et de cartographie notamment AutoCAD et Qgis.

➤ LE DIMENSIONNEMENT DE LA CENTRALE

Le dimensionnement de la centrale nous permettra de déterminer les équipements nécessaires avec les caractéristiques techniques, notamment le nombre de modules, onduleurs réseau et chargeurs, les batteries, la section des câbles, les éléments de protection du système.

➤ EVALUATION FINANCIERE ET ENVIRONNEMENTALE

L'évaluation financière nous permettra d'une part d'estimer le coût d'investissement et d'autre part les coûts de maintenance et d'exploitation du projet et de déduire sa rentabilité. L'évaluation environnementale nous permettra de voir son impact environnemental.

I.2.e LES CARACTERISTIQUES DE LA CENTRALE SELON LE DAO

Tableau 1: Caractéristique de la centrale d'après le DAO

Centrale photovoltaïque de Boussé		
Champ	Puissance du champ (Wc)	60000
Batteries	Nombre	72

	Tension/Capacité	2V/2000Ah
--	------------------	-----------

Conclusion : cette partie présente de façon explicite le cahier des charges en mettant en exergue ses objectifs et son contexte. Nous avons également présenté le travail demandé ainsi que les résultats attendus, de même la méthodologie que nous utiliserons.

II. PRESENTATION DU SITE DU PROJET ET GENERALITE SUR LES TECHNOLOGIES D'EQUIPEMENTS POUR LES CENTRALES PV

II.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

Il s'agit ici de donner la situation géographique de la ville de Boussé et son climat.

II.1.a SITUATION GEOGRAPHIQUE

Boussé est une commune et le chef-lieu du département de Boussé situé dans la province de Kourwéogo dans la région Plateau-Centrale au Burkina Faso [5].

Nous avons réalisé la carte illustrative de cette ville en utilisant le logiciel Qgis.

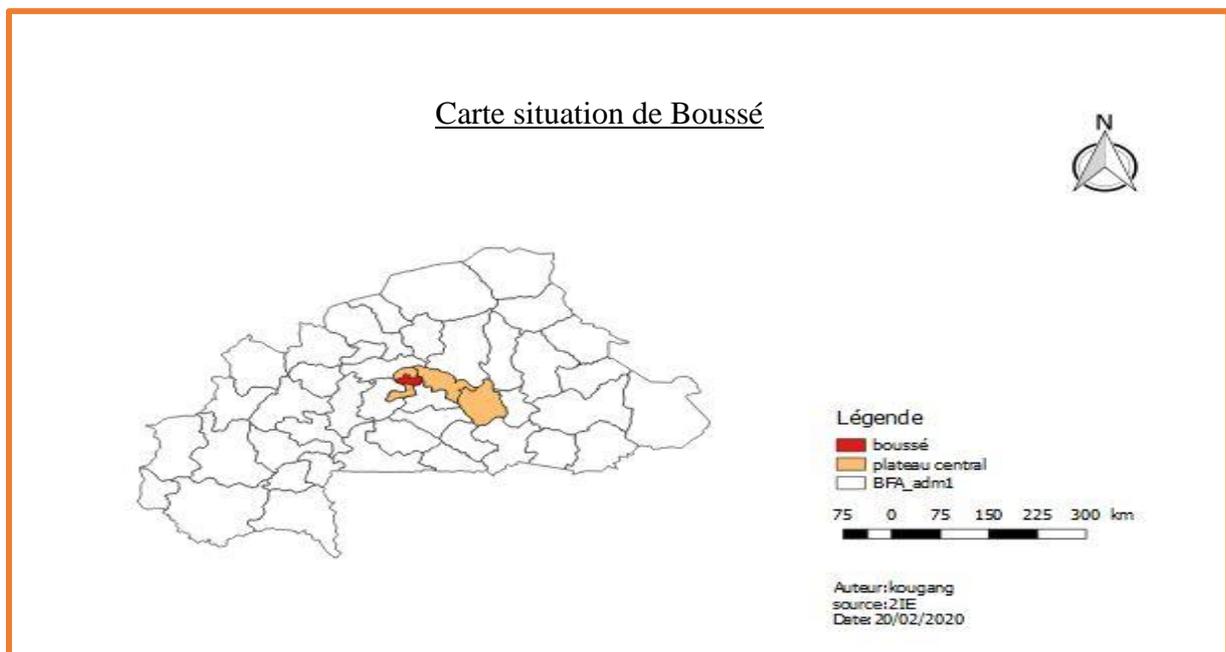


Figure 2: Carte de situation de la commune de Boussé

Tableau 2:Récapitulatif des coordonnées géographiques

Emplacement	Boussé
Province	Kourwéogo
Région	Plateau-central
Latitude, longitude	12° 39'38''nord, -1°53' 32'' ouest

II.1.bSITUATION CLIMATIQUE

Soit la figure 3 ci-après qui présente la pluviométrie et la température de la ville de Boussé. Ce diagramme illustre les variations des températures moyennes et précipitations moyennes mensuelles sur l'année.

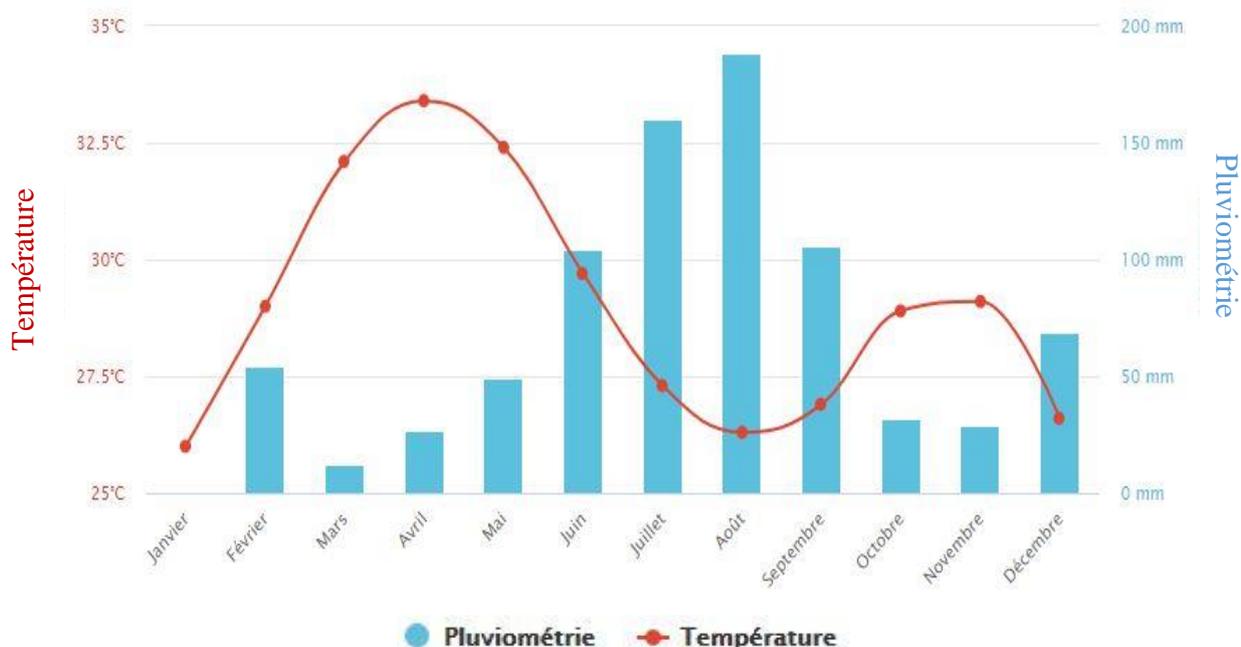


Figure 3:Diagramme climatique de Boussé [6]

En effet, le climat de Boussé est caractérisé par une saison de pluie allant du mois de juin au mois de septembre et une saison sèche allant du mois d'octobre au mois de mai. La plage de températures moyennes est comprise entre 26 °C en janvier et 33 °C en avril. Les précipitations moyennes varient entre 0,6 mm en janvier et 188,3 mm en août et son ensoleillement moyen est d'environ 6 kWh/m²/j [6]. Les modules photovoltaïques enregistrent les meilleures performances lorsque ceux-ci sont bien ensoleillés (1000 W/m²) et sont à des températures comprises entre 20 °C et 30 °C et Boussé offre approximativement

ces conditions. Ainsi, installer des centrales solaires dans la localité serait intéressant.

II.2 PRESENTATION DU SITE DE L'INSTALLATION

II.2.a DESCRIPTION

Le district sanitaire de Boussé compte 12 CSPS et 1 CMA. Le CMA de Boussé est la structure sanitaire de référence de la province. Elle comporte les services tels que: le cren (pédiatrie, bureaux médecins), le bloc opératoire, le laboratoire d'analyse, le service de consultation, le service de programme élargi et vaccin, la maternité, le dépôt pharmaceutique, le centre de dépistage, la direction, la salle polyvalente, et enfin les logements. L'ensemble de ses services sont repartis sur une superficie d'environ 5,31 ha. Sur les espaces libres du site du CMA, une surface d'environ 700 m² a été sélectionnée pour installer la centrale et le local technique.

La puissance foisonnée souscrite à la Sonabel pour son installation électrique est d'environ 64 kW correspondant à une puissance apparente de 75 kVA pour un facteur de puissance général de 0,85. Un groupe électrogène de 69 kVA est également disponible sur le site de l'hôpital pour assurer l'alimentation en cas d'indisponibilité de la Sonabel.

II.2.b EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES DU CMA DE BOUSSE

Ici, le besoin énergétique journalier peut se définir comme étant l'énergie électrique journalière consommée par un site ou une localité et qui doit être couverte par une source pour le bon fonctionnement d'une charge. Pour l'évaluer dans notre cas, un bilan de puissances des équipements électriques disponibles à l'hôpital a été fait en se référant aux données collectées sur le site de l'hôpital.

Pour le calcul des besoins énergétiques journaliers (B_{jr}) de chaque appareil, la formule utilisée est la suivante :

$$B_{jr} = t_i \times P_{appelée} \quad (1)$$

Soient t_i le temps de fonctionnement de l'appareil i dans la journée, et $P_{appelée}$ sa puissance appelée ou absorbée.

Le bilan de puissance des différents services ou unités de l'hôpital a été fait, avant de faire la somme de ces puissances pour tout le CMA. Soit l'Annexe 9 : Bilan de puissance total de l'hôpital. Au vu de cela, on a une puissance appelée totale de 70,18 kW pour un besoin

journalier total de 320,62 kWh/j. En appliquant un coefficient de sécurité de 20 %, on a une puissance appelée totale de 84,22 kW et un besoin journalier de 384,47 kWh/j.

La puissance crête du champ photovoltaïque nécessaire pour satisfaire cette demande énergétique journalière est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$P_c(Wc) = \frac{B_{jr}}{R_{bat} \times R_{gen} \times H_i} \quad (2)$$

Avec :

B_{jr} : Le besoin journalier en électricité du CMA est de 384,47 kWh/j.

R_{bat} : Le Rendement de la batterie d'accumulateurs que l'on prendra égal à 80 %.

R_{gen} : Le Rendement du générateur photovoltaïque qu'on prendra égal à 80 % compte tenu des pertes dues à la poussière, à l'échauffement des modules, au câblage, etc.

H_i : L'irradiation solaire ou rayonnement solaire journalier du mois d'Août qui est le mois le plus défavorable est égal à 5,15 kWh·m⁻²·j⁻¹.

Après calcul, la puissance du champ nécessaire pour satisfaire la demande énergétique de tout le CMA est de 116,73 kWc. Les résultats des calculs sont récapitulés dans le tableau 3

Tableau 3 : Récapitulatif des besoins énergétiques

Puissance totale de la charge (kW)	Besoin journalier total de la charge (kWh/j)	Puissance crête du champ nécessaire (kWc)
84,22	384,47	116,73

II.3 GENERALITE SUR QUELQUES COMPOSANTS CLES D'UNE CENTRALE PV AVEC STOCKAGE

II.3.a TECHNOLOGIE DE PANNEAUX PV

Un panneau photovoltaïque est une technologie d'énergies renouvelables qui permet de produire de l'électricité à partir des rayons lumineux [7]. Cette conversion est assurée par un matériau à effet photoélectrique, par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur, qui transforme l'énergie lumineuse reçue sur sa surface en énergie électrique. Il existe trois types de panneaux photovoltaïques qui sont différenciés par le type de cellules qui les composent. Toutes ces cellules sont produites à base de silicium. On distingue :

- Les cellules amorphes qui sont les cellules à faible rendement

- Les cellules monocristallines qui sont les cellules les plus performantes mais sont très coûteuses

- Les cellules polycristallines

Nous privilégions l'utilisation de panneaux en Silicium polycristallins, car ce type de panneaux représente environ 90% du marché actuel et présente le plus d'avantages [7]:

- Il s'agit de la technologie la plus mature sur le marché, qui a une durée de vie d'environ 30 ans [7].
- C'est la technologie qui offre le meilleur rapport qualité-prix avec un rendement variant de 12 % à 20 % et un coût beaucoup moins élevé que celui des panneaux monocristallins [7].

II.3.b LES ONDULEURS SOLAIRES

Les onduleurs solaires sont les onduleurs convertissant le courant continu issu des panneaux photovoltaïques en courant alternatif. On distingue 3 types d'onduleurs solaires: les onduleurs connectés au réseau ou ongrid (onduleurs réseau), les onduleurs autonomes ou offgrid (les onduleurs simples et les onduleurs chargeurs), les onduleurs hybrides.

- Les onduleurs réseau

Comme pour tout onduleur dans une installation photovoltaïque, un onduleur réseau a pour principe de transformer une tension continue en tension alternative, mais dans ce cas avec une fréquence équivalente à celle du réseau [8]. Son rendement n'est pas constant et peut s'avérer meilleur lorsque l'onduleur fonctionne aux environs des trois quarts de sa puissance maximale d'entrée [8]. Les différents types d'onduleurs réseau sont les suivants:

- Les onduleurs modules: ce sont les plus petits modèles d'onduleurs qui ont une puissance comprise entre 100 W et 200 W [8]. On les fixe derrière le panneau solaire et ils produisent du courant alternatif monophasé (230 V). Leur avantage est qu'ils sont peu sensibles aux ombrages et présentent un câblage simplifié.
- Les onduleurs chaînes: ils se branchent sur chaque chaîne de panneaux solaires en série. C'est en quelque sorte des onduleurs modules plus puissants. Leur avantage est qu'ils permettent d'économiser le câblage et les protections DC [8].

- Les onduleurs centraux: ce sont les modèles d'onduleurs de taille moyenne qui ont une puissance située dans la plage de 1000W à 5000W et en général, sont destinés à des installations pour bâtiments. Ils ont l'avantage de séparer de façon simple la partie DC de la partie AC et présentent aussi une maintenance simplifiée [8]. Leur inconvénient est qu'ils sont complexes à câbler et sont très sensibles aux ombrages. Dans cette catégorie, on distingue aussi les onduleurs types centrales solaires qui sont triphasés. La puissance de ces onduleurs peut dépasser plusieurs centaines de kilowatts et en général ils sont conçus pour les installations en pleines natures [8].

- Les onduleurs chargeurs

Les onduleurs chargeurs comme leurs noms l'indiquent, sont des onduleurs permettant de charger les batteries d'un système. Ils sont considérés comme le cerveau du système autonome pour les raisons suivantes [9] :

- Ils vont assurer l'interface entre les batteries qui utilisent le courant continu et le reste de l'installation utilise le courant alternatif [9].
- Ils vont réguler la charge et la décharge des batteries afin d'optimiser leurs durées de vie [9].
- Ils peuvent offrir de nombreuses options ou fonctions complémentaires parfois essentielles au bon fonctionnement du système [9].

- Les onduleurs hybrides

Les onduleurs hybrides ou encore (smart-grid) sont une nouvelle génération d'onduleurs utilisant l'énergie renouvelable pour l'autoconsommation [10]. En effet, l'électricité provenant des panneaux solaires est générée pendant la journée, avec un pic de production aux alentours de midi. Cette électricité est donc fluctuante. Pour pallier à ce phénomène, il est nécessaire de stocker l'énergie et de travailler de manière intelligente le stockage et l'autoconsommation. Les onduleurs hybrides fonctionnent donc en On Grid, Off Grid, et aussi en Hybride (les deux en même temps). Ils assurent également le Backup (alimentation sécurisée en cas de coupure réseau) [10].

II.3.c LES BATTERIES SOLAIRES

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin

d'assurer l'alimentation électrique en toute circonstance. Les batteries solaires, parfois dites à décharges semi-stationnaires, stationnaires ou à décharge lente, sont spécialement conçues pour supporter de nombreux cycles successifs de charge et de décharge sur une longue période [11]. Elles ont une haute efficacité (quantité d'énergie absorbée et retournée). La longévité d'une batterie est inversement proportionnelle à la profondeur de décharge quotidienne [11].

III. DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS DE LA CENTRALE PV

En ce qui concerne le dimensionnement, la démarche générale offre trois possibilités de dimensionnement qui sont : en fonction du budget disponible, l'espace délimité pour le projet ou de la demande énergétique à satisfaire [12]. S'il fallait aller sur la base des besoins énergétiques du CMA, il aurait fallu dimensionner une centrale de 116,73 kWc. Mais ici pour des contraintes de budgets, le financement est limité au DAO qui impose une puissance de 60 kWc à installer et aussi les batteries (72 batteries de 2V 2000Ah) du système de stockage. Ainsi, nous allons devoir concevoir un système couplé au réseau interne de cet hôpital vu qu'une sortie champ PV à elle seule ne pourra pas combler toute la charge.

III.1 PRESENTATION DE L'INSTALLATION

Avant de commencer ce dimensionnement il est important de décrire l'architecture du système proposé. Elle se présente comme suit :

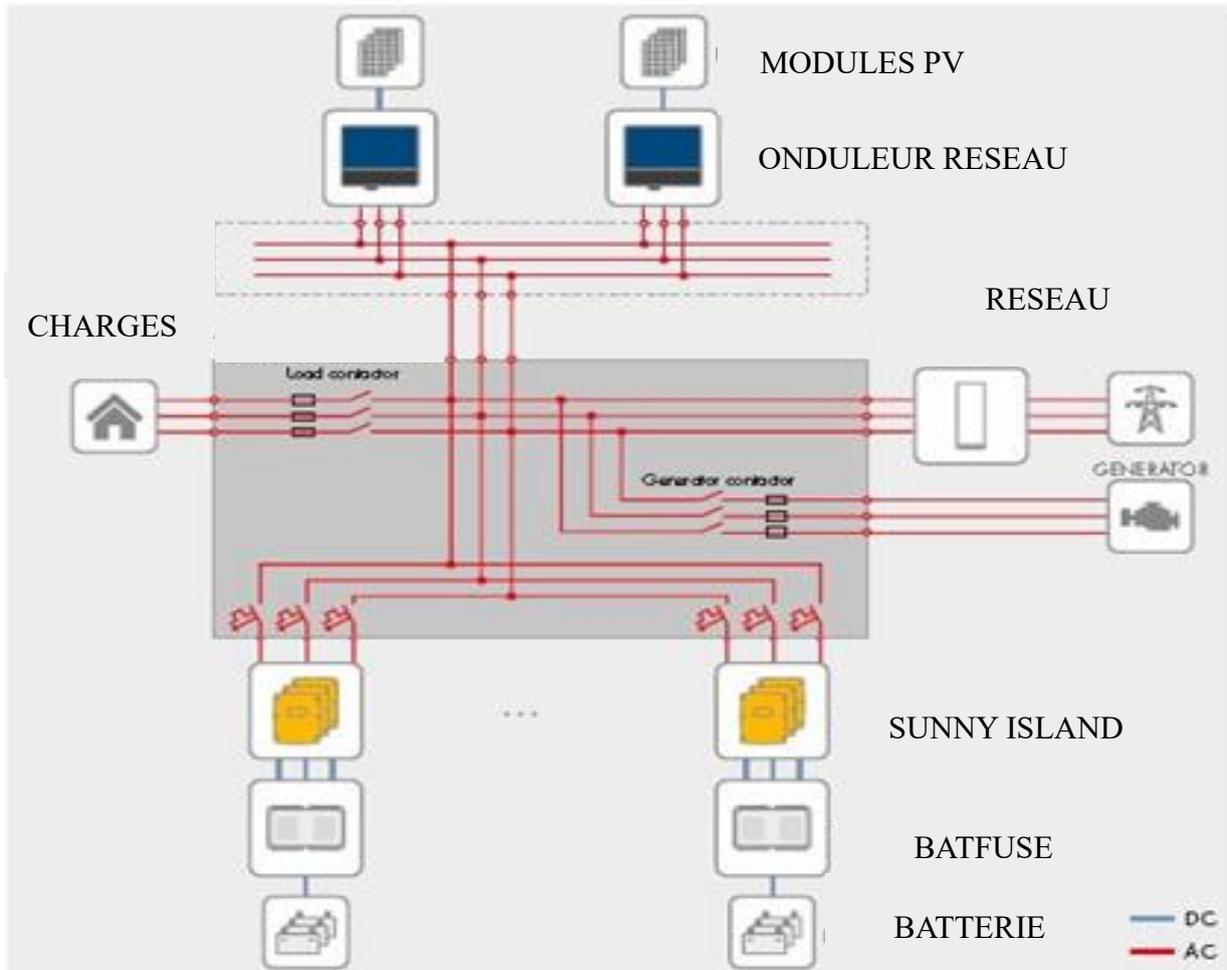


Figure 4: Architecture générale de l'installation

L'installation sera commandée par un élément central appelé multi cluster box. En effet, la production photovoltaïque sera captée en premier par les onduleurs réseau, ensuite cette production ira prioritairement charger les batteries du système grâce aux onduleurs chargeurs. Puisque les onduleurs réseau doivent toujours être couplés à un réseau pour pouvoir produire, nous allons les coupler en aval du réseau Sonabel qui va à la charge. Aussi, tant que les batteries sont chargées, la production des onduleurs réseau est allouée à la charge de l'hôpital à travers son injection dans le réseau Sonabel du CMA.

DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement consiste à déterminer les caractéristiques techniques des composantes de la centrale et de procéder à leur choix pour un fonctionnement optimal de cette dernière. Nous avons fait nos choix de produits sur la base de fabricants reconnus sur le marché mondial du PV, leur fiabilité et leur disponibilité. En général, deux configurations se présentent à savoir la

configuration centralisée et la configuration décentralisée. Pour notre centrale, la configuration décentralisée est adéquate car elle offre un service minimum en cas de panne d'un onduleur. Ainsi, la défaillance d'un onduleur n'entrave pas le fonctionnement des autres car ils ne sont pas directement liés. Par contre avec les onduleurs centraux, la panne d'un onduleur entraîne directement l'arrêt de toute la production.

Le dimensionnement ici est fait à la fois pour deux systèmes :

- Le système couplé au réseau
- Le système autonome

III.2 DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME COUPLE AU RESEAU

➤ La production énergétique annuelle peut être estimée par l'expression [12]

$$E_{AC} = 365 \times H_i \times PR \times P_o \quad (3)$$

E_{AC} : énergie annuelle produite par l'installation (kWh).

H_i : irradiation (rayonnement) solaire en moyenne par jour sur le plan incliné (kWh/m²/jour).

PR: ratio de performance (%).

P_o : puissance crête de l'installation (kWc).

Pour déterminer le ratio de performance on tient compte de plusieurs pertes. Celles-ci sont définies par les paramètres du tableau suivant :

Tableau 4: Paramètres pour le calcul du ratio de performance

Paramètres	Pourcentage
Température	9 %
Onduleurs	4 %
Câbles AC, DC et autres composants	2 %
Tolérance modules	3 %
Pollution, réflexion et réflectance pour Système fixe	3 %
Ombrage	1,2 %
Autre pertes (incidents, etc...)	2 %
Le ratio de performance est de	75,8 %

Le tableau des données d'ensoleillement de la commune de Boussé est le suivant d'après la base de données Météonom [13].

Tableau 5: Données d'ensoleillement de la commune

Mois	Moyenne mensuelle du rayonnement quotidien sur l'horizontale (kWh/m²/j)	Moyenne mensuelle du rayonnement quotidien sur le plan des modules inclinés de 15 ° par rapport à l'horizontale (kWh/m²/j)
Janvier	5,00	5,53
Février	6,40	6,21
Mars	6,57	6,86
Avril	6,61	6,37
Mai	6,34	5,91
Juin	6,22	5,06
Juillet	5,83	5,37
Août	5,42	5,20
Septembre	5,87	5,95
Octobre	6,05	6,52
Novembre	5,88	6,76
Décembre	5,44	6,46
Moyenne annuelle	6,01	6,23

L'énergie annuelle produite par la centrale est alors de :

$$AN E_{AC} = 365 \times 6.23 \times 0,758 \times 60 = 103,419 \text{ MWh/an}$$

➤ Choix des modules photovoltaïques

Les modules choisis sont ceux de 250 Wc de chez Amerisolar. Annexe 2 : Fiche technique module PV

➤ Estimation du nombre total de modules PV à installer

$$Po = Pm_{pp} \times Nm \quad (4)$$

Po: Puissance crête de l'installation

Pmpp: puissance nominale du module

Nm : nombre total de modules

$$AN \quad Nm = \frac{60000}{250} = 240 \text{ modules}$$

➤ Nombre de série de module en parallèle Np

Nous avons choisi de connecter 20 modules en série pour former un string et avoir la tension du champ. Ainsi, le nombre de modules en parallèle Np est tel que :

$$Np = \frac{P_{champs}}{Ns \times P_{module}} \quad (5)$$

$$AN \quad Np = \frac{60000}{20 \times 250} = 12 \text{ strings}$$

Tableau 6:Récapitulatif des modules photovoltaïques choisis

Fabricant	Type	Puissance unitaire(Wc)	Nombre total de modules	Nombre de modules en série	Nombre de string
AmeriSolar	Polycristallin	250	240	20	12

Comme il a été dit plus haut, nous allons opter pour un système décentralisé des onduleurs. Ainsi, puisqu'il y a 240 modules destinés à produire 60 kWc, nous allons diviser le champ en 3 sous-champs de 20 kWc. Il y aura 80 modules disposés en 4 strings pour chaque sous-champ.

Le tableau ci-dessous illustre les caractéristiques techniques des modules.

Tableau 7: Caractéristiques techniques des modules

Dénomination	Caractéristiques
Puissance nominale (pmpp)	250 Wc
Tension nominale à puissance max(Vmpp)	30,3 V
Courant à la puissance nominale (Imp)	8,26 A
Courant de court-circuit	8,75 A
Tension en circuit ouvert (voc)	38 V

Tension maximale du circuit	1000 V
-----------------------------	--------

➤ Choix des onduleurs réseau

Le choix des onduleurs réseau se fera sur la base de ceux qui supportent mieux les conditions climatiques chaudes et leur disponibilité. Ainsi, on va opter pour la marque SMA qui est mondialement reconnu pour la qualité de ses produits avec des rendements élevés, des coûts relativement faibles et offre une garantie allant jusqu'à 25 ans. Nous utiliserons onduleurs réseaux et chargeurs, coffrets de cette marque. La détermination de la configuration champ PV/onduleurs a pour but de proposer une installation qui valorise au mieux la production énergétique. Nous donc cherchons un onduleur pouvant fonctionner de façon optimale avec le champ à notre disposition.

Il est en effet important de respecter certaines contraintes de dimensionnement pour obtenir des générateurs performants. Ces contraintes sont les suivantes :

- ✓ Le ratio entre la puissance du champ et celle de l'onduleur doit être compris entre 0,8 et 1,1.
- ✓ La tension MPP du générateur PV (V_{mpp}) est supérieure à la tension minimale admise à l'entrée de l'onduleur. En tenant compte de l'effet de la température d'exploitation.
- ✓ La tension en circuit ouvert du générateur PV (V_{oc}) est inférieure à la tension maximale admise à l'entrée de l'onduleur.
- ✓ L'intensité maximale admissible par l'onduleur doit être au moins égale à l'intensité maximale fournie par le champ, sous peine d'endommager le matériel.
- ✓ Prioriser la tension nominale à l'entrée de l'onduleur car elle donne un meilleur rendement.
- ✓ Toutes les branches (strings) connectées à un même onduleur doivent avoir la même tension continue.

Les onduleurs réseau choisis sont les sunny trypower de la marque SMA Soit l'Annexe 3: Onduleur réseau SMA. Nous avons procéder à la vérification de l'adéquation entre chaque modèle d'onduleur réseau et le sous-champ PV (1 sous-champ comporte 4 strings de 20 modules en série) à l'Annexe 4 : Vérification compatibilité entre SMA sunny tripower et le sous-champ. Ainsi, après avoir vérifié la compatibilité entre chaque onduleur et le sous-

champ de 20 kWc on a pu voir que l'onduleur réseau SMA sunny tripower TL-US(20000TL-US) de 20 kW remplit toutes les conditions d'utilisation, donc il convient pour le projet, nous allons en prendre 3 pour toute l'installation puisque on aura 3 sous-champs.

➤ Choix des onduleurs chargeurs

Les onduleurs chargeurs choisis sont les sunny island de la marque SMA, leurs caractéristiques techniques sont en Annexe 5: Onduleur chargeur

La puissance totale des onduleurs chargeurs est déterminée à l'aide de la puissance totale des onduleurs PV [14].

$$P_{ondtotalcharg} = 0,8 \times P_{ond PV} \quad (6)$$

$$AN P_{ondtotalcharg} = 0,8 \times 60000 W = 48000 W$$

➤ Nombre d'onduleurs chargeurs

Pour les onduleurs **Sunny island 6.0H** on a :

$$Nombre = \frac{P_{ondtotalcharg}}{P_{ondcharg}} \quad (7)$$

$$AN Nombre = \frac{48000}{4600} = 10,43$$

On va prendre 9 onduleurs chargeurs **Sunny island 6.0H** car 1 cluster du multi cluster fonctionne avec 3 onduleurs chargeurs à la fois, ainsi ça fera au total 9 pour 3 clusters.

La puissance totale pouvant être satisfaite par les onduleurs chargeurs **Sunny island 6.0H** sera de $4600 \times 9 = 41400 W$.

Il en ressort que le groupe d'onduleurs chargeurs peut offrir une puissance de 41,4 kW, donc il ne va pouvoir assurer l'autonomie que d'une partie de l'hôpital, vu que la charge totale de l'hôpital a été estimée à 84,22 kW.

• Protections

Le choix des organes de protection sera classé en plusieurs groupes à savoir: les puits de terre, les protections DC et les protections AC. Les organes de protection sont régis par le guide UTE C15-712-1 [14].

- Puits de terre

La réalisation des puits de terre est une action très importante dans une installation photovoltaïque car elle protège toute l'installation en déchargeant les courants de défauts à la terre. Nous proposons d'en réaliser 3 pour les 3 tables (sous-champs), et 1 pour le local technique.

- Les coffrets AC + DC

Le coffret DC +AC est un dispositif d'assemblage qui intègre des éléments de protection AC et DC. Ils sont au nombre de 3 (1 par sous-champ) au total pour notre installation. Un coffret dispose de 8 entrées DC dont 4 bornes + et 4 bornes -. Chaque couple d'entrée DC (borne +, borne-) représente un string. Chaque entrée string est protégée par un disjoncteur DC, avant de rejoindre l'onduleur réseau. Ainsi, à la sortie AC de l'onduleur réseau (énergie provenant du champ PV), elle rejoint le coffret à nouveau mais cette fois au niveau des disjoncteurs AC après lesquels elle ira vers le coffret de regroupement (coffret chargé de regrouper les puissances fournies par les 3 onduleurs réseaux).

- Choix des disjoncteurs DC de protection

Dans l'installation, les disjoncteurs DC ont pour rôle de protéger le reste du circuit (aval) contre les risques de surintensité qui peuvent être causés par le courant provenant des modules PV. En effet, lors de l'apparition d'un défaut électrique, le courant électrique est anormalement élevé par rapport au courant nominal de conduction. Les disjoncteurs DC jouent alors le rôle d'organes de coupure. Nous avons choisi de protéger 2 strings avec 1 disjoncteur DC. Le courant de court-circuit à la sortie de 2 strings est de $8,75A \times 2 = 17,25 A$. Ainsi, le calibre immédiatement supérieur est de 20 A, les disjoncteurs DC de 20 A sont adéquats.

- Choix des parafoudres

Les centrales photovoltaïques sont soumises, comme tout système électrique aux risques induits par la foudre. Il existe deux catégories de parafoudre en fonction du site:

- Les parafoudres de type 1: sont utilisés dans les installations situées dans les zones où le risque de foudre est très important en particulier si le site comporte un paratonnerre.

- Les parafoudres de type 2: sont utilisés dans les installations où le risque de foudre est faible.

Toutefois l'installation de ces parafoudres dépend aussi du niveau kéraunique (Nk) du lieu. Nk détermine le nombre de coups de foudre par an dans un endroit donné. Le guide UTE C 15-712 présente quelques recommandations dans le tableau ci-après [3].

Tableau 8 : Détermination du type de parafoudre

Caractéristique de l'installation	$Nk \leq 25$		$Nk \geq 25$	
	Coté DC	Coté AC	Coté DC	Coté AC
Bâtiment ou structure équipé d'un paratonnerre	Obligatoire type 2	Obligatoire type 1	Obligatoire type 2	Obligatoire type 1
Alimentation BT par une ligne entièrement ou partiellement aérienne	Peu utile type 2	Recommandé type 2	Recommandé type 2	Obligatoire type 2
Alimentation BT par une ligne souterraine	Peu utile type 2	Peu utile type 2	Recommandé type 2	recommandé type 2

Ici, le niveau kéraunique peut être estimé à partir des enregistrements des nombres annuels d'orages des stations de Ouagadougou [15]. Il est compris entre 50 et 80 et les liaisons de conduction étant souterraines nous allons opter pour les parafoudres de type2 recommandés. Après avoir déterminé le type de parafoudre, il faut à présent déterminer le courant nominal de décharge qui est fonction du niveau d'exposition aux surtensions. Cherchons F_{pv} le risque de foudroiement [3].

$$F_{pv} = Nk \times (1 + \beta + \rho) \quad (8)$$

Avec β le résultat du type de parafoudre (obligatoire ou peu utile ou recommandé) et ρ la nature du terrain. Les tableaux ci-après nous montrent comment on détermine respectivement ρ et β .

Tableau 9:Détermination de ρ

Situation de la ligne aérienne BT du bâtiment ou du champ PV	Complètement entouré de structures	Structure à proximité ou inconnues	Terrain plat ou découvert	Site montagneux
ρ	0	0,5	0,75	1

Tableau 10:Détermination de β

exigence	obligatoire	recommandé	Peu utile
β	2	1	0

$$AN \quad F_{PV} = 65 \times (1 + 1 + 0,5) = 162,5$$

Le tableau suivant montre le courant I_n décharge en fonction du risque de foudroiement [3].

Tableau 11:Choix de I_n en fonction du risque de foudroiement

Risque de foudroiement	I_n (kA)
$F_{pv} \geq 40$	5
$40 \leq F_{pv} \leq 80$	10
$F_{pv} \geq 80$	20 et plus

Puisque $F_{pv} = 162,5 > 80$, le courant nominal de décharges I_n des parafoudres ici est de 20 kA au minimum.

- Choix des disjoncteurs AC

Ils assurent la protection des biens contre les surcharges et des personnes en éliminant les risques de contact indirect. Les calibres des disjoncteurs correspondent au calibre normalisé directement supérieur au courant maximal fourni par l'onduleur réseau en sortie AC. L'onduleur réseau à utiliser ici délivre un courant maximal de 24 A. En appliquant le facteur de correction (0,91) en raison de la température ambiante maximal du site qui est d'environ 40°C, on déduit que $I = 26,37$ A. Le calibre immédiatement supérieur est de 40 A, donc les

disjoncteurs de 40A ici sont adéquats.

- Les câbles

Pour acheminer l'énergie de la production à la consommation, il est nécessaire d'avoir un moyen de canalisation que sont les câbles. En fonction de la nature du courant véhiculé nous avons deux types de câbles à savoir les câbles DC pour le raccordement entre les modules jusqu'au coffret DC, et les câbles AC entre le coffret AC, les onduleurs, le coffret de regroupement, multi cluster box et la charge.

- Choix des câbles DC

Seuls les câbles dit solaires qui ont une double isolation et une protection UV peuvent être utilisés pour raccorder les modules entre eux dans l'objectif de former des strings. Ils doivent aussi être certifiés pour fonctionner à température de -20°C à 80°C .

Les câbles principaux de courant continu doivent être dimensionnés et connectés en respectant certains critères essentiels pour des raisons de sécurité et d'efficacité énergétique c'est-à-dire [3]:

- Supporter une tension $1,25 \times V_{oc}$ (tension en circuit ouvert)
- Adapter la capacité du câble au transport du courant DC et AC (section de câbles) et les pertes ohmiques dues aux chutes de tension.
- Utiliser des connecteurs appropriés (connecteurs MC4).

- ✚ Calcul de la section des câbles entre modules et coffrets DC

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta U \times V} \quad (9)$$

S est la section du câble DC, ρ est la résistivité du conducteur, L est la longueur du conducteur et I est le courant du string. V est la tension du string et ΔU est la chute de tension relative d'un string prise entre 1% et 2%.

Le câble est en aluminium (almélec) sa résistivité est de $2,78 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$. On prendra la longueur maximale du câble $L=100\text{ m}$, $\Delta U=1\%$ et $I = 8,75 \times 1,25$.

$$AN \quad S = \frac{2,78 \times 10^{-8} \times 100 \times 8,75 \times 1,25}{0,01 \times 20 \times 30,3}$$

$$S = 5,02 \text{ mm}^2$$

La section normalisée immédiatement supérieure est de 6mm^2 .

- ✚ Calcul de la section des câbles entre le coffret DC et l'onduleur réseau

On prendra la longueur maximale de $L=90\text{ m}$.

$$S = \frac{2,78 \times 10^{-8} \times 90 \times 8,75 \times 1,25}{0,01 \times 20 \times 30,3}$$
$$S = 4,52 \text{ mm}^2$$

La section normalisée immédiatement supérieure est de 6 mm^2 .

- Choix des câbles AC

Le dimensionnement des câbles AC est effectué conformément aux règles de la norme NFC 15-100 et du guide UTE C15-105 sur la base de câbles à isolation PR (câble en polyéthylène réticulé) pour des courants maximums susceptibles de les traverser. Pour déterminer le courant admissible, les câbles sont dimensionnés en appliquant les facteurs classiques de correction en courant (coefficient de mode de pose, coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble, coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble).

- ✚ Calcul de la section des câbles AC à la sortie des onduleurs chargeurs (sortie AC) vers le multi cluster box.

Déterminons le courant I câble (I_z). Ce courant est donné par la formule :

$$I_z = \frac{I_n \times k}{\prod f_i} \quad (10)$$

I_n est le calibre du disjoncteur, k est un coefficient lié au type de protection et f_i les différents facteurs de correction. Pour déterminer I_n il faut connaître le courant d'emploi.

Le courant assigné au niveau de la sortie AC des onduleurs chargeurs **Sunny-island 6.0H** est de 50A.

Soit le tableau de calibre des disjoncteurs AC série compact suivant :

Tableau 12: Calibre de disjoncteurs AC

Compact NSA calibre (A)				
40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
16	15,6	15,2	14,8	14,5
25	24,5	24	23,5	23
40	39	38	37	36
63	61,5	60	58	57
80	78	76	74	72
100	97,5	95	92,5	90
125	122	119	116	113
160	156	152	147,2	144
200	195	190	185	180
250	244	238	231	225

Le calibre I_n du disjoncteur correspondant est 63 A

Les facteurs de corrections :

- Le facteur de correction dû au mode de pose est égal à 1 car le mode de pose est à l'aire libre.
- Le facteur de correction lié à la température est égal à 0,91 car la température ambiante maximale avoisine 40°C.
- Le facteur de correction lié au nombre de circuit ou l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte égale à 1 car les câbles ne sont pas côte à côte.

$$AN \quad I_z = \frac{63 \times 1}{1 \times 0,91 \times 1}$$

$$I_z = 69,23A$$

La section du câble monophasé correspondante est de 10 mm².

- ✚ Calcul de la section du câble AC de la sortie du multi cluster box vers le coffret de répartition.

Ici il faut connaître le courant d'emploi au niveau des charges assurées par le système autonome.

Pour faire le calcul, nous avons au préalable choisi les charges pour l'autonomie. Il s'est

avéré que leur courant d'emploi est de 203,91A. Le calibre I_n correspondant est 250 A

$$AN \quad I_z = \frac{250 \times 1}{1 \times 0,91 \times 1}$$
$$I_z = 274,7A$$

La section du câble triphasé + neutre correspondante est de 95 mm².

- Le multi cluster box 12

Le multi cluster box est un équipement qu'on pourra qualifier « d'organe carrefour » qui a une entrée pour toutes les sources d'énergie du système (les onduleurs réseau, les onduleurs chargeurs, la Sonabel et le groupe électrogène).

En effet, les sorties AC (production des onduleurs réseau) passent par les disjoncteurs AC, sont regroupées au niveau du coffret de regroupement avant d'être acheminer au niveau du multi cluster box. Cet équipement permet aux onduleurs chargeurs d'utiliser toutes les autres sources d'énergie pour charger les batteries et aussi permet à ces onduleurs chargeurs de créer le réseau pour les onduleurs réseau au cas où il y a coupure du réseau principale (Sonabel). Sa fiche technique se trouve en Annexe 7: Fiche technique multi cluster box12.

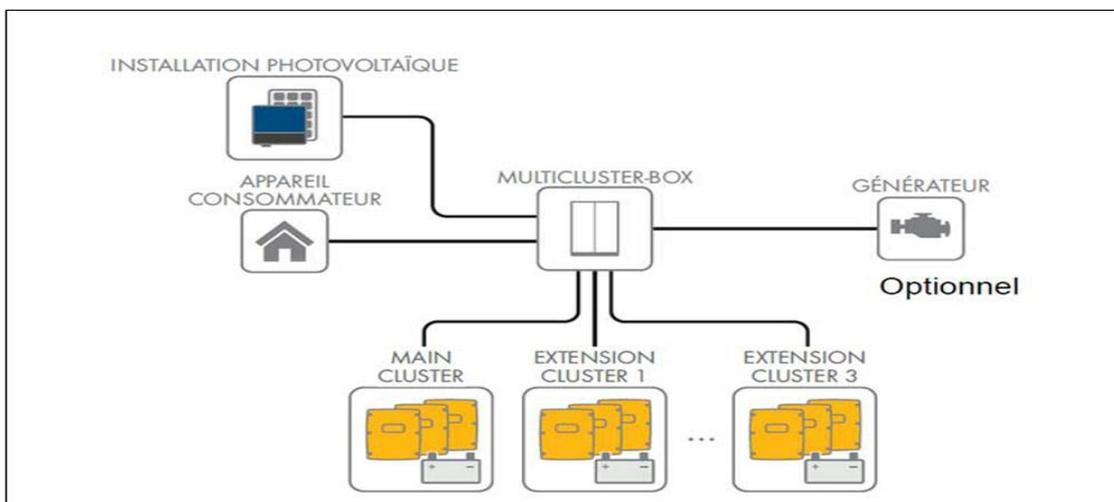


Figure 5 : Schéma synoptique de raccordement d'un multi cluster box12.3

III.3 DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE STOCKAGE

D'après le DAO la fourniture en autonomie se fera par 72 batteries 2 V/2000Ah. Les

batteries choisies sont les **Opzv-sun-power-vrl** de la marque hoppecke. Annexe 6: Fiche technique batteries. Puisque nous avons 3 sous-champs, on va par conséquent diviser 72 batteries en 3 groupes. Ainsi, chaque sous-champ aura un parc de 24 batteries.

- Dimensionnement du parc de batteries.

Le nombre de batteries en série est tel que spécifié dans la formule suivante: [16]

$$N_{bat\ serie} = \frac{V_{syst}}{tension\ nom\ bat} \quad (11)$$

Soit le tableau suivant qui représente le tableau de choix de la tension du système en fonction de la puissance du champ PV :

Tableau 13: Tension recommandée en fonction de la puissance crête

Puissance crête du champ (kW_c)	0-0,5	0,5-2	2-10	> 10
Tension recommandée (V)	12	24	48	> 48

Il y a 60kW répartis en 3 sous-champs de 20kW chacun, alors pour 1 sous-champ on a : $20\ kW > 10\ kW \Rightarrow$ la tension recommandée du système est $\geq 48V$. On peut prendre 48V car d'après la fiche technique, les onduleurs chargeurs ont une tension assignée d'entrée DC (batteries) de 48 V.

$$AN \quad N_{bat\ serie} = \frac{48}{2} = 24$$

- Calcul du nombre de string de batteries

Il convient bien de conclure que nous n'aurons que 1 string de 24 batteries pour chaque sous-champ.

- Vérification de la compatibilité entre onduleurs chargeurs et batteries

La vérification de la compatibilité entre les onduleurs chargeurs et les batteries se fera dans le tableau suivant :

Tableau 14:Vérification de la compatibilité entre les onduleurs chargeurs et les batteries

Paramètre de vérification	Sunny island 8.0H/6.0H
Tension batteries : 2V*24=48 V	41V ... 63V <i>ok</i>
Capacité système de batteries:2000Ah	100 Ah ... 10 000 Ah <i>ok</i>
Type de batteries: au plomb	FLA, VRLA (plomb, lithium) <i>ok</i>

On peut conclure que les batteries **Opzv-sun-power-vrl** de 2 V/2000Ah tel que configurées sont compatibles avec les onduleurs chargeurs **Sunny island**.

➤ Choix des unités à alimenter par le système de stockage

Le CMA de Boussé a plusieurs services hospitaliers comme nous l'avons spécifié plus haut. La puissance de sa charge (84,22 kW) est supérieure à la puissance de l'autonomie (41,4 kW) que l'installation offre, raison pour laquelle nous avons choisi les unités à alimenter par le système d'autonomie. On a considéré que les unités suivantes sont les plus vitales de l'hôpital, raison pour laquelle elles devront être couvertes par le système autonome. Il s'agit des services suivants:

- Le bloc opératoire
- L'hospitalisation et consultation chirurgie
- La maternité
- Le cren
- Le programme élargi et vaccin
- Le laboratoire d'analyses

Nous avons fait le bilan de puissances de ces services soit l'Annexe 8: Bilan de puissance des services couverts par le système d'autonomie. Aussi, nous avons déduit leur courant d'emploi à l'aide de la formule suivante:

$$P = U \times I \times \cos \phi \quad (12)$$

Il en est ressorti que le courant d'emploi total pouvant être tiré par ces unités est de 203,9A. La puissance totale de ces unités est d'environ 39,99 kW. Ainsi, celles-ci peuvent-être alimentées par le système d'autonomie qui donne une puissance de 41,4 kW.

Nous avons également calculé le besoin journalier de la charge satisfaite par le système de stockage. Et il s'est avéré que sa valeur est de 170,23 kWh/j.

Nous avons déduit le nombre de jours ou d'heures d'autonomie que peut offrir le système de stockage à l'aide de la formule suivante [17]:

$$C_{bat} = \frac{B_{jr} \times j_{r\ aut}}{V_{bat} \times R_{bat} \times DM} \Rightarrow j_{r\ aut} = \frac{V_{bat} \times R_{bat} \times DM \times C_{bat}}{B_{jr}} \quad (13)$$

DM (%) est la profondeur de décharge, R_{bat} (%) est le rendement de la batterie et $j_{r\ aut}$ est le nombre de jours d'autonomie. C_{bat} est la capacité du parc de batteries, V_{bat} est la tension du système et B_{jr} le besoin journalier à satisfaire. Puisque nous avons 3 séries de 24 batteries pour satisfaire ce besoin, on va considérer que chaque série de batteries supporte le 1/3 de celui-ci.

$$AN \quad j_{r\ aut} = \frac{48 \times 0,8 \times 0,75 \times 2000}{170233/3} = 1,015 j \approx 24,36 h$$

Ainsi, le système autonome peut couvrir la charge pendant 24 h 21 min 36 s au maximum avant d'avoir besoin de recharge.

- Le raccordement du système

Au vu de la configuration décentralisée par laquelle nous avons eu 3 sous-champs, il a été dimensionné 80 modules, 1 onduleur réseau, 3 onduleurs chargeurs, 1 coffret AC + DC, 24 batteries pour le sous-champ. Le raccordement du système se fera comme suit à l'Annexe 1 : Schéma de raccordement.

ESTIMATION DE LA SURFACE TOTALE NECESSAIRE POUR L'INSTALLATION

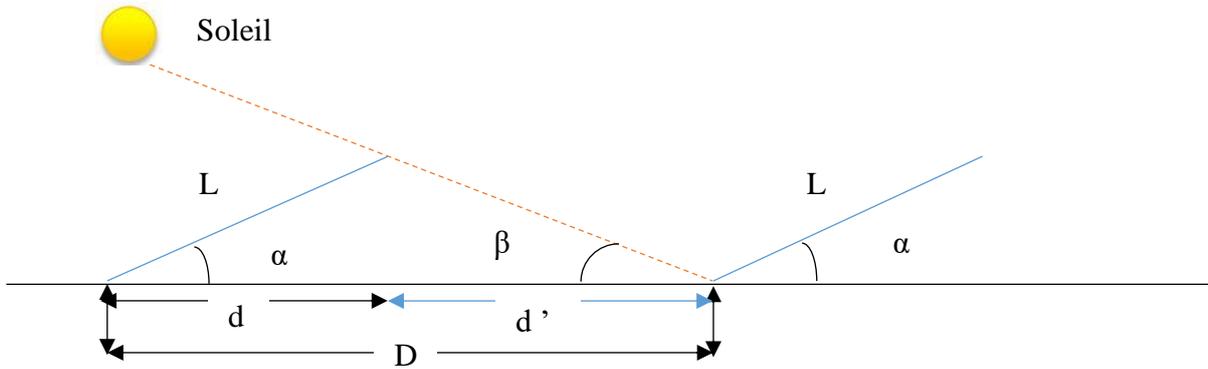
Pour savoir si la surface sélectionnée est suffisante, il faut déterminer la surface totale d'occupation des modules PV et du local technique. Il s'agit ici de déterminer la surface totale du champ PV en utilisant les dimensions réelles des modules et en prenant en compte les espacements entre les différentes tables (sous-champs).

Les dimensions du module (L x l) = (1,640 m x 0,992 m). On a 240 modules PV disposés en

12 strings de 20 modules en série séparés en 3 sous-champs.

➤ Calcul de l'espacement à laisser entre les rangées (tables) de modules

Soit le schéma suivant qui illustre la méthode de calcul de cet espacement (D) à laisser entre deux rangées.



Soit $\alpha = 15^\circ$, β est la hauteur la plus basse du soleil. On la calcul pour s'assurer une table ne fassent jamais ombrage à la table suivante. L ici est la longueur d'une table et sera prise à une valeur de $4 \times l$ où l est la largeur d'un module puisqu'ils sont posés 4 au sol sur une table et dans le sens de la longueur. La latitude du lieu étant de 12°N .

La distance optimale D est tel que:

$$D = \frac{L \times \sin(180^\circ - \alpha - \beta)}{\sin \beta} \quad (14)$$

Calcul de β

Puisque on est dans l'hémisphère nord, la déclinaison la plus basse est le 31 décembre et est égale à $23,45^\circ$ [18].

$$\beta = 90^\circ - \text{latitude} - 23,45^\circ \quad (15)$$

$$\text{AN } \beta = 90^\circ - 12^\circ - 23,45^\circ = 54,55^\circ$$

Donc la distance D sera tel que :

$$D = \frac{4 \times 0,992 \text{ m} \times \sin(180^\circ - 15^\circ - 54,55^\circ)}{\sin 54,55^\circ} = 4,56 \text{ m}$$

Calcul de d

$$d = L \times \cos \alpha \quad (16)$$

$$\text{AN } d = 4 \times 0,992 \text{ m} \times \cos 15^\circ = 3,83 \text{ m}$$

Calcul de d'

$$d' = D - d \quad (17)$$

$$\text{AN } d' = 4,56 \text{ m} - 3,83 \text{ m} = 0,73 \text{ m}$$

Donc on aura 2 allées de 0,73 m chacun.

Soit la figure ci-après qui montre une vue de dessus du champ.

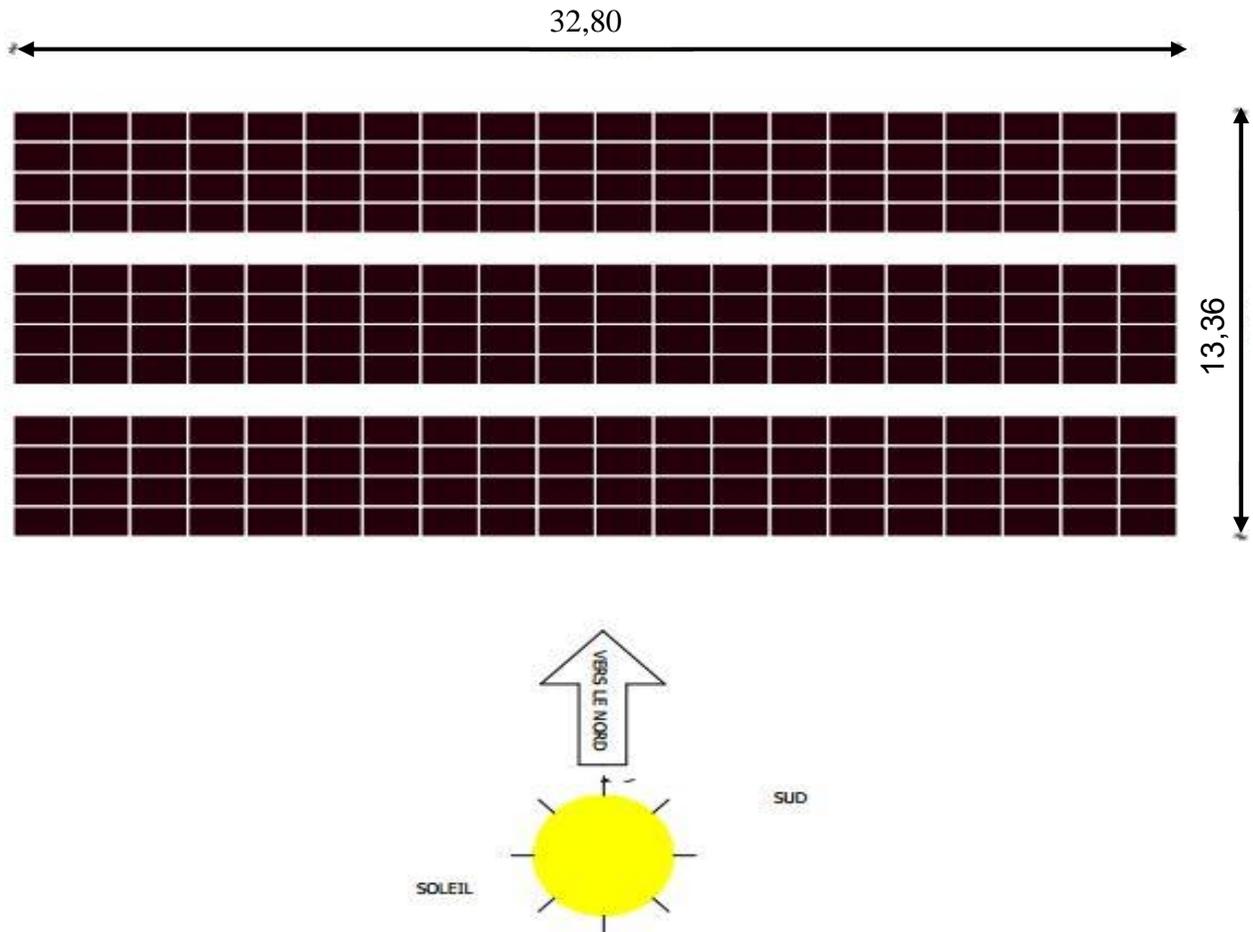


Figure 6: Vue de dessus du champ

Nous trouvons une surface totale de $32,80\text{m} \times 13,36\text{m} = 438,208 \text{ m}^2$ pour tout le champ PV.

Etant donné que la surface totale nécessaire pour le champ PV est d'environ 439 m^2 et que celle-ci est largement inférieure à la surface totale (700 m^2) allouée pour l'installation sur le site de l'hôpital, nous pouvons dire que l'espace sera suffisant pour le champ et le local technique qui pourra avoir une surface d'environ 90 m^2 . Annexe 13 : Local technique

Soit la figure suivante qui est une image actualisée du CMA sur laquelle nous avons placé le champ PV et le local technique.



Figure 7: Vue satellitaire du CMA de Boussé

IV. ETUDE ECONOMIQUE, NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET ET PLANNING DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

IV.1 ETUDE ECONOMIQUE

Pour cette partie, nous ferons au préalable un bilan financier de l'installation ensuite nous allons calculer le prix de production du kWh sur la durée du projet (LCOE) et enfin nous allons évaluer le temps de retour sur investissement.

➤ **Bilan financier**

Le bilan financier du projet tient compte de toutes les dépenses liées à celui-ci, c'est-à-dire le coût du matériel, ingénierie (mise en place), taxes, transport etc. Le coût d'investissement de la centrale installée est estimé à 133 900 783 F CFA TTC. Annexe 10: Bilan financier installation

➤ Evaluation de la rentabilité du projet

L'évaluation de la rentabilité d'un projet d'installation de centrale solaire passe par la détermination du prix de revient du kWh produit (LCOE) et du temps de retour sur investissement.

Le LCOE

Nous allons faire ces calculs avec une approche Feed in tariff. Cette approche consiste à considérer que toute l'énergie produite est vendue à un prix du kWh fixé par l'Etat.

Pour faire le calcul du coût de revient du kWh produit on a utilisé la formule suivante [17]:

$$LCOE = \frac{(initial\ cost + \sum_{n=1}^N \frac{cost(n)}{(1+r)^n})}{\sum_{n=1}^N \frac{E_n}{(1+r)^n}} \quad (18)$$

Avec E_n l'énergie produite dans l'année n est donnée par la formule :

$$E_n = I \times Tf \times \eta \times (1 - d)^n \times P_c \quad (19)$$

Le NPV

C'est la valeur actuelle nette du projet. Elle permet de voir à partir de quelle année le projet commence à être rentable (temps de retour sur investissement). Pour faire le calcul du NPV on a utilisé la formule suivante [18]:

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \frac{CF_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{R}{(1+r)^n} \quad (20)$$

Avec (CF) est le cash-flow et r le taux d'actualisation. Le cash-flow est le gain obtenu pendant l'année. Il se calcul par la formule suivante [18]:

$$CF_n = \text{prix de vente de l'énergie dans l'année } n - \text{dépenses dans l'année } n \quad (21)$$

On va considérer ici que le prix de vente de l'énergie sur l'année est le prix auquel l'hôpital aurait vendu l'énergie de la centrale si la production était allouée à la vente afin d'évaluer sa rentabilité. La dépense sur l'année est celle due à l'assurance et à l'exploitation dans l'année.

Soit le tableau suivant qui donne la signification ou définition de chaque terme utilisé dans les calculs.

Tableau 15 : Paramètres de calcul de la rentabilité

Dénomination	Signification ou définition
Initial cost	Coût d'investissement
Cost(n)	Dépense à l'année n
r	Taux d'actualisation
E_n	Energie produite l'année n
I	La ressource solaire
Tf	Facteur de tracking
η	Facteur de performance
d	Coefficient de dégradation
P_c	Puissance crête du champ
Cash-flow (CF)	Gains sur l'année
NPV	La valeur actuelle nette du projet

Tableau 16: Valeur numérique des paramètres utilisés [17]

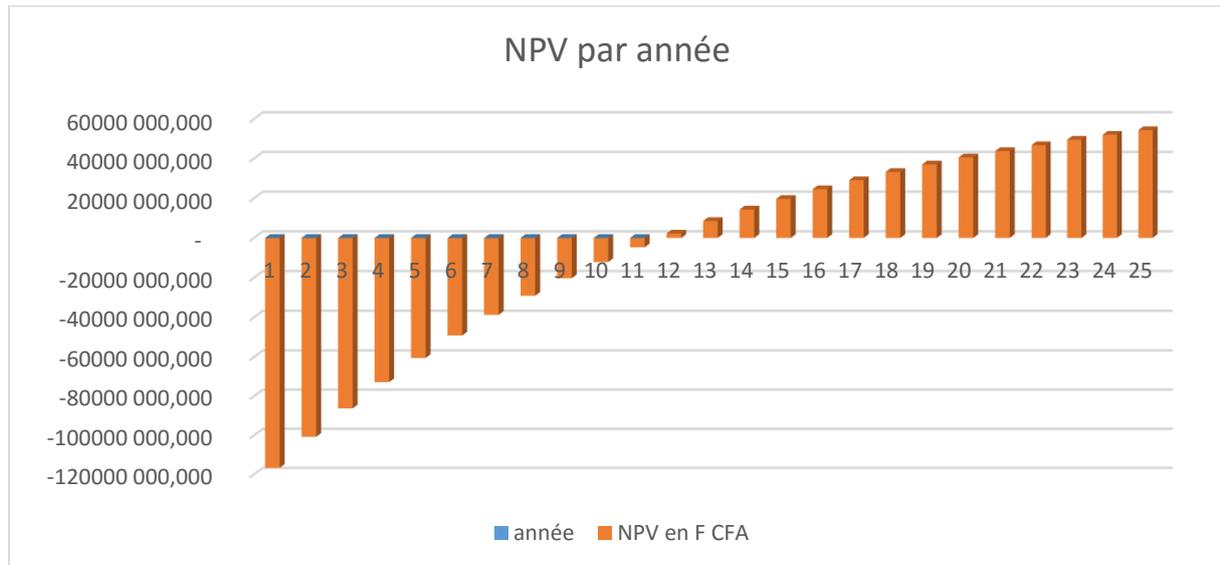
Parameter	Unit	PV
Number of kw installed (P_c)	kW	60
Cost of the system installed	€·W-1	3,407
Operation and maintenance costs (share of the cost of the system installed)	%	1,5
Annual insurance rate (share of the cost of the system installed)	%	0,25
Solar resource (I)	kWh·m-2·year-1	2 100
Tracking factor (Tf)	-	1
Performance factor (η)	m ² ·kW-1	0,77
Annual output degradation rate (d)	%	0,6
actualization rate (r)	%	8
Lifetime of the system	Year	25
kWh selling price	€/kWh	0,332

Soit la note de calcul qui illustre la façon dont les calculs ont été faits sur Excel. Annexe 11 :

Notes de calcul rentabilité

Au vu de tous ces calculs, nous obtenons un coût énergétique de 162,07 F CFA/kWh et un NPV de 54 305 336 F CFA. Soit l'Annexe 12 : Rentabilité projet.

Le temps de retour sur investissement se voit à partir de la douzième année. Soit le graphe suivant qui donne le NPV par année et montre le temps de retour sur investissement.



IV.2 NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET

Nous ferons ressortir tous les impacts liés à ce projet c'est-à-dire de sa construction, son exploitation à son démantèlement.

IV.2.a. IMPACTS POSITIFS

- Les panneaux photovoltaïques permettront d'éviter les émissions de gaz à effet de serre qui auraient été nocives pour l'environnement car la production d'une quantité similaire (quantité égale à celle produite par la centrale PV de 60 kWc) d'électricité avec des centrales thermiques conventionnelles aurait engendré plusieurs tonnes de CO₂ sur 25 ans.
- Le projet va créer de nouvelles opportunités génératrices de revenus : Emplois liés à l'augmentation de l'activité de l'entreprise chargée de l'exécution du projet car il va

employer des agents pour la mise en place de la centrale.

- Le séjour des différents employés dans la localité concernée constitue une opportunité d'affaire pour les propriétaires de maison et commerçants. Ainsi le démarrage du projet demeure une opportunité pour les entreprises de BTP, de contrôle et d'import-export.
- Le projet permettra au CMA de Boussé de réduire sa facture énergétique vis-à-vis de la Sonabel.
- Les technologies proposées dans le cadre du projet contribueront à développer des expertises nationales par la formation des techniciens aux nouvelles technologies d'énergies renouvelables et non polluantes.
- Les équipements utilisés sont en grande majorité recyclables.

IV.2.b.IMPACTS NEGATIFS

- Modification du paysage au travers la destruction de plantes, comme mesure d'atténuation, il faut reboiser, afin de maintenir l'équilibre naturel du lieu.
- Perte de la séquestration du carbone. Les plantes coupées pouvaient être des réservoirs de carbone, comme mesure d'atténuation, il faut reboiser.
- Lors de l'implantation, il y aura un risque sur la sécurité du riverain. Comme mesure d'atténuation, il faut signaler et limiter le périmètre des travaux.
- Lors de l'implantation il y aura émission de poussières. Comme mesure d'atténuation, il faut humidifier progressivement les zones concernées.
- La sécurité et la santé des ouvriers sont primordiales pour le bon déroulement du chantier. Malheureusement les personnes qui sont sur le chantier sont souvent victimes de blessure, de maladies professionnelles dues à des effets physiques, encrassement, des chocs, des mauvaises postures ainsi que de chute.
- La nuisance sonore que comprend le site dû aux bruits faits par les appareils au niveau du site.
- Le démantèlement de la centrale à la fin de son cycle de vie peut conduire à la perte d'emploi de l'agent qui est chargé de sa maintenance.
- Les déchets qui seront créés après le démantèlement exigeront d'intégrer un plan de gestion des déchets car nuisibles pour l'environnement.

IV.3 PLANNING DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

La maintenance de l'installation va se faire par un agent chargé de la contrôler. Nous avons ainsi fait le tableau ci-après pour illustrer le planning des opérations de maintenance de l'installation.

Tableau 17:Planning de maintenance

Plan de maintenance					
	Action	S	M	A	O
Les modules	Inspection	X			
	Nettoyage		X		
Les coffrets	Mesure des tensions/courants des tables		X		
	Vérification des parafoudres	X			
Les onduleurs	Vérification et dépolssiérage			X	
	Vérification du couple de serrage avec une clé dynamométrique	X			
Le multi cluster	Inspection visuelle			X	
	Vérification du couple de serrage avec une clé dynamométrique			X	
Batteries	Vérification et dépolssiérage		X		
Test technique sur les équipements					X
Inspection visuelle à chaque tempête ou catastrophe					X
Après orage, contrôler les protections contre, surtensions					X

S: semaine, signifie que l'action sera réalisée sur l'équipement une fois par semaine.

M: mois, signifie que l'action sera réalisée sur l'équipement sera une fois par mois.

A: année, signifie que l'action sera réalisée sur l'équipement une fois par année.

O : occasionnelle, signifie que l'action sera réalisée sur l'équipement à l'occasion.

Couple de serrage: force serrage d'un écrou ou une vice

Clé dynamométrique : équipement qui permet d'effectuer des serrages des écrous ou vice

➤ Le nettoyage des modules

Les constructeurs de modules préconisent le nettoyage avec de l'eau uniquement (sans aucun produit additionnel) afin d'éviter de graisser ou de faire des traces sur le module [18]. Il faut également éviter l'eau calcaire, l'eau de javel et aussi le nettoyage avec l'eau chaude (la haute température n'est pas recommandée).

V. RESULTATS ET ANALYSE DES RESULTATS (DISCUSSION)

V.I Résultats

Pour le dimensionnement de la mini-centrale, les besoins journaliers ont été calculés. Une proposition, pour pouvoir couvrir la totalité des besoins énergétiques du CMA de Bousé, demande un champ de 116,70 kWc. Ainsi, la centrale de 60 kWc prévue dans le cadre de ce projet est insuffisante pour électrifier elle seule tout l'hôpital. Néanmoins, nous avons dimensionné la centrale de 60 kWc de façon injectée au réseau Sonabel du CMA pour régler ce problème. On a également choisi les charges de l'hôpital qui seront alimentées par le système de stockage vu que dans ce cas, les batteries seules devront supporter toute la charge qui leur sera allouée.

Soit le tableau récapitulatif des quantités d'équipements que nous avons dimensionnés pour la centrale de 60 kWc.

Tableau 18: Récapitulatif des équipements dimensionnés

Centrale photovoltaïque de Bousé		
Champs	Puissance unitaire des modules (Wc)	250
	Nombre	240
	Puissance installée (Wc)	60000
Onduleur réseau	Nombre total	3
Sunny Tripower 20000TL-	Puissance unitaire (W)	20000

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Bousé

US		
Onduleurs chargeurs Sunny island 6.0H	Nombres total	9
	Puissances unitaire (W)	4600
Batteries au plomb (hoppecke)	Nombre total	72
	Tension unitaire (V)	2
	Capacité unitaire (Ah)	2000
Coffrets (SMA) AC+DC	Nombre	3
Parafoudres	Nombre	9
Disjoncteurs	Nombre	12
SMA multi cluster box 12	Nombre	1
Fusible Batfuse	Nombre	3
Coffret de regroupement	Nombre	1
Inverseur	Nombre	1
Puit de terre	Nombre	4

Soit le tableau récapitulatif des Sections des câbles dimensionnées.

Tableau 19 : Section de câble calculée

Câbles				
Localisation	Entre modules PV et coffret DC	Entre coffret DC et onduleur réseau (entrée DC)	Entre onduleur chargeur (sortie AC) et multi cluster box 12	Entre multi cluster box (sortie AC) et le coffret de répartition.
Nature du conducteur	Aluminium rigide	Aluminium rigide	Cuivre rigide	Cuivre rigide
Sections calculées (mm ²)	6	6	10	95

V.II Analyse des résultats (discussion)

- Les modules

Notre entreprise d'accueil a proposé 240 modules de 275 Wc, et nous avons proposé 240 modules de 250 Wc. Nous constatons un écart entre leur offre et notre proposition. Cela a été justifié par le fait que l'entreprise devait respecter les délais de réalisation de la centrale or les modules de 250 Wc n'étaient pas disponibles dans le magasin.

- Les onduleurs chargeurs

Nous avons proposé 9 onduleurs chargeurs Sunny island 6.0H tandis que notre entreprise d'accueil a installé 8 onduleurs chargeurs Sunny island 8.0H. On constate que leur offre peut assurer une couverture de 48kW de charges et la nôtre 41,4 kW de charges. Cette offre est certes plus grande, mais ne respecte pas strictement le nombre d'onduleurs proposé par cluster au niveau du multi cluster box, car on en a 3 par cluster et 3 clusters dans le multi cluster choisi.

- Batteries au plomb (hoppecke)

Nous avons sélectionné les batteries de 2V/2000Ah tout comme notre entreprise d'accueil, mais en termes de quantités, nous avons eu 72 batteries tandis que celle-ci en a 48. Elle dit avoir eu ce nombre à cause de la contrainte de budget limité, mais que dans les normes réelles de dimensionnement, on devrait avoir 72 batteries pour exploiter de façon optimale le champ à notre disposition et avoir une plus grande autonomie.

➤ Les câbles

Soit le tableau suivant qui montre la comparaison entre les sections des câbles calculées et la proposition de notre entreprise d'accueil.

Tableau 20: Comparaison sections des câbles calculées et la proposition de PPS

Câbles				
Localisation	Entre modules PV et coffret DC	Entre coffret DC et onduleur réseau (entrée DC)	Entre onduleur chargeur (sortie AC) et multi cluster box 12	Entre multi cluster box (sortie AC) et le coffret de répartition.
Nature du conducteur	Aluminium rigide	Aluminium rigide	Cuivre rigide	Cuivre rigide
Sections calculées	6	6	10	95

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Bousé

(mm ²)				
Section proposée par l'entreprise (mm ²)	6	6	10	70
Appréciation	conforme	conforme	conforme	Non-conforme

Sur le plan financier, l'ensemble des résultats techniques nous a permis de faire un bilan financier de la centrale. On a pu estimer le coût global de la centrale à une valeur de 133 900 783 F CFA TTC et le coût de revient du kWh produit à une valeur de 162,07 F CFA/kWh. Le calcul de la valeur actuelle nette (VAN ou NPV) sur la durée (25 ans) de vie du projet a été estimé à hauteur de 54 305 317 F CFA. Le calcul du NPV par année nous a permis de voir à partir de quelle année le projet commence à être rentable et il s'est avéré que c'est à partir de la douzième année.

Conclusion: Le projet est donc très rentable, en plus du fait que l'énergie renouvelable utilisée permet une réduction de gaz à effet de serre.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Le travail effectué dans ce mémoire avait pour objectif de concevoir une installation photovoltaïque avec stockage destinée à électrifier le CMA de Boussé. Afin de proposer des solutions d'alimentation en énergie solaire photovoltaïque adéquates pour cet hôpital, dans la première partie nous avons procédé à la présentation de notre structure d'accueil et du cahier des charges du projet, puis dans la deuxième partie nous avons présenté le site de la centrale ainsi que quelques technologies d'équipements des centrales PV avec stockage, dans la troisième partie nous avons fait un dimensionnement de la centrale. Par la suite nous avons fait une étude économique, une notice d'impact environnemental et un plan de maintenance de l'installation. Après l'étude économique nous avons estimé le coût total de réalisation de la centrale à 133 900 783 F CFA, et un temps de retour sur investissement estimé à 12 ans. Il s'est avéré que le coût du kWh produit est d'environ 162,07 F CFA, donc au vu de ces résultats nous avons pu conclure que le projet est rentable.

On peut dire que, pour une puissance installée d'environ 60 kWc, qui produit environ 103,40 MWh/an, et, sachant que l'ensemble des hôpitaux étatiques subventionnés par ce projet produiront des quantités similaires d'énergies propres chaque année, que le projet «Energie et croissance économique durable» est fort intéressant pour l'environnement. L'autre point fortement intéressant est que ce projet contribuera à la réduction de la facture énergétique de ces hôpitaux vis-à-vis de la Sonabel.

Au regard de l'importance de l'énergie dans le développement socio-économique des populations et de son rôle dans l'amélioration des conditions de vie, les énergies renouvelables sont à promouvoir. Ainsi, nous avons formulé les recommandations suivantes :

- Pour le CMA de Boussé, il faut une réhabilitation complète des équipements afin d'améliorer les soins de santé dans l'hôpital car il regorge beaucoup d'appareils défectueux.
- Vu qu'un tel projet est rentable, nous recommandons que le gouvernement alloue davantage de fonds au financement des projets d'électrification d'établissements publics afin d'améliorer la qualité de vie des populations.

- Insérer les systèmes solaires dans les politiques sur le changement climatique et les objectifs de réduction des émissions mondiales.
- Signer des partenariats avec des gros bailleurs de fonds du solaire photovoltaïque dans le monde afin de construire des grandes centrales pouvant desservir une grande partie du pays.
- Inviter des microfinances à s'impliquer davantage dans le développement de populations rurales en particulier sur les questions d'accès à l'énergie photovoltaïque.
- Stimuler les institutions financières et les ONG à investir dans les projets d'électrification rurale comme celui-ci.
- Rendre le solaire financièrement abordable, en donnant l'accès à l'énergie photovoltaïque à tous, même aux plus démunis grâce aux initiatives gouvernementales.
- En adoptant une fiscalité favorable à l'importation et à la distribution des équipements de production d'énergies nouvelles sur le territoire national, le coût d'investissement diminuera et ceci augmentera la disponibilité de l'énergie électrique dans le pays.
- Informer et former les populations rurales sur l'enjeu de l'utilisation des énergies renouvelables et son impact environnemental intéressant du point de vue développement durable.
- Investir dans la recherche afin de fabriquer les équipements en Afrique et de ne plus avoir à les importer.
- Le monde doit renforcer la coopération internationale pour faciliter l'accès à la recherche dans le domaine des énergies propres, notamment des énergies renouvelables, à l'efficacité énergétique et à des technologies fossiles de pointe plus propres, ainsi que la promotion des investissements dans les infrastructures énergétiques et les technologies d'énergie propre.

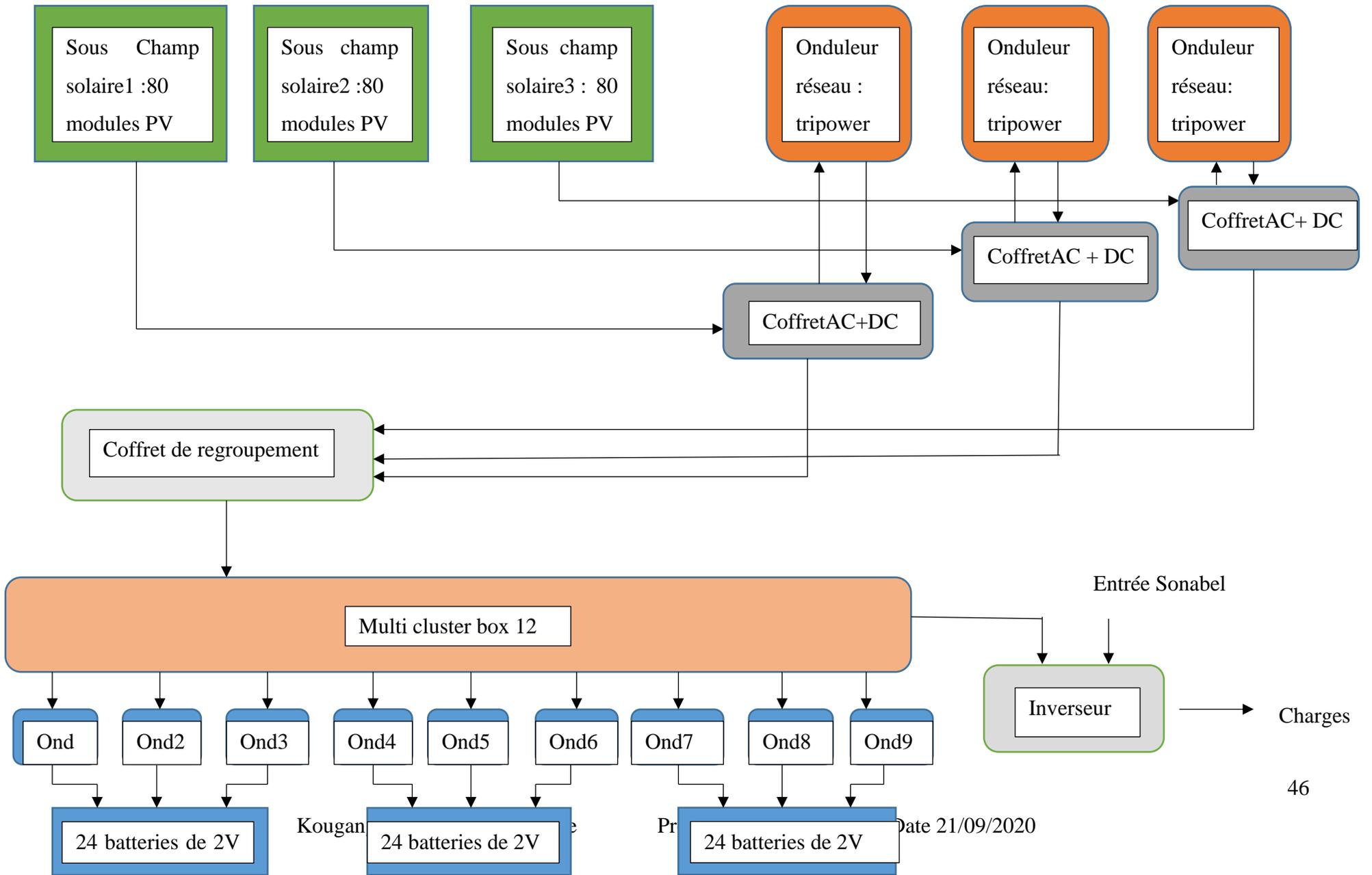
VI. BIBLIOGRAPHIE

- [1] d. l. s. e. d. d. d. Commission des questions sociales, 2016. [En ligne]. Available: <https://assembly.coe.int/nw/xml/XRef/Xref-XML2HTML-FR.asp?fileid=23190&lang=FR>. [Accès le 2 10 2020].
- [2] d. M. Serge POIGNANT, «rapport de la commission des affaires économiques sur l'énergie photovoltaïque,» Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale, 2009.
- [3] r. d. villages, «HDX–Open data Burkina,» 2006. [En ligne]. Available: <https://data.humdata.org/dataset/liste-des-villages-du-burkina-faso-recensement-2006>. [Accès le 01 05 2020].
- [4] L. p. ACONTRESENS, «Météo et climat,» [En ligne]. Available: https://planificateur.acontresens.net/afrique/burkina_faso/boucle_du_mouhoun/bousse/2361844.html. [Accès le 08 08 2020].
- [5] e. d. sud, «étude, réalisation d'une centrale photovoltaïque au sol raccordée au réseau électrique,» sud france.
- [6] LepanneauSolaire.net, «viteUnDevis.com,» [En ligne]. Available: <https://www.lepanneausolaire.net/les-onduleurs-reseau.php>.
- [7] E. douce, 2020. [En ligne]. Available: <https://www.energiesdouce.com/.../39-catalogue-pro-outback-power-convertisseurs-chargeurs-contrôleurs>.
- [8] wikipedia. [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Onduleur_hybride. [Accès le 15 06 2020].
- [9] wattneed. [En ligne]. Available: <https://www.wattneed.com/fr/11-batteries-solaires>. [Accès le 2020].
- [10] D. A. O. BAGRE, dimensionnement technique des installations pv connectées au réseau, ouagadougou.
- [11] P. syst, pré-dimensionnement système réseau, ouagadougou, 2020.
- [12] J. r. bocco, «relevé les défis du mix-énergétique et de l'électrification rurale en Afrique de l'ouest,» ouagadougou, 2016.

- [13] GUIDE PRATIQUE, Installations photovoltaïques raccordées au réseau, 2010.
- [14] o. zakaria, «conception et réalisation d'une centrale solaire,» 2019.
- [15] V. e. S. Le Secrétariat Général du WAPP, «Projet d'interconnexion 225 kV entre Bolgatanga (Ghana) et Ouagadougou (Burkina Faso),» 2018.
- [16] D. Y. M. SORO, «conception et conception et dimensionnement d'un système pv avec stockage,» ouagadougou, 2014.
- [17] N. K. Edem, «Thermique solaire,» ouagadougou, 2016.
- [18] D. K. Edem, «Tutorial on concentrating solar power,» 2017.
- [19] C. v. energie, «Aménagement d'un parc photovoltaïque,» 2016.
- [20] T. M. C. Le, «Couplage onduleurs photovoltaïques et réseau, aspects contrôle / commande et,» Université de Grenoble, grenoble, 2012. .
- [21] OCDE, «Energie: les cinquante prochaines années,» les éditions de l'ocde, paris, 1999.

VII. LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Schéma de raccordement	46
Annexe 2 : Fiche technique module PV	47
Annexe 3: Onduleur réseau	49
Annexe 4 : Vérification compatibilité entre SMA sunny tripower et le sous-champ	51
Annexe 5: Onduleur chargeur	53
Annexe 6: Fiche technique batteries	59
Annexe 7: Fiche technique multi cluster box12.....	62
Annexe 8: Bilan de puissance des services couverts par le système d'autonomie.....	64
Annexe 9 : Bilan de puissance total de l'hôpital.....	66
Annexe 10: Bilan financier installation.....	69
Annexe 11 : Notes de calcul rentabilité	70
Annexe 12 : Rentabilité projet	71
Annexe 13 : Local technique.....	74



Annexe 2 : Fiche technique module PV

AS-6P30

POLYCRYSTALLINE MODULE



Passionately
committed to
delivering innovative
energy solution

ADVANCED PERFORMANCE & PROVEN ADVANTAGES

- High module conversion efficiency up to 17.52% by using high efficient solar cells and advanced manufacturing technology.
- Low degradation and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- High reliability against extreme environmental conditions (passing salt mist, ammonia and hail tests).
- Potential induced degradation (PID) resistance.
- Positive power tolerance of 0 ~ +3 %.

CERTIFICATIONS

- IEC61215, IEC61730, IEC62716, IEC61701, CE, CQC, CGC, ETL(USA), JET(Japan), J-PEC(Japan), Kemco(South Korea), KS(South Korea), MCS(UK), CEC(Australia), FSEC(FL-USA), CSI Eligible(CA-USA), Israel Electric(Israel), InMetro(Brazil), TSE(Turkey)
- ISO9001:2008: Quality management system
- ISO14001:2004: Environmental management system
- OHSAS18001:2007: Occupational health and safety management system

SPECIAL WARRANTY

- 12 years limited product warranty.
- Limited linear power warranty: 12 years 91.2% of the nominal power output, 30 years 80.6% of the nominal power output.



ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT STC								
Nominal Power (P_{max})	250W	255W	260W	265W	270W	275W	280W	285W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	38.0V	38.1V	38.2V	38.3V	38.4V	38.5V	38.5V	38.7V
Short Circuit Current (I_{sc})	8.75A	8.83A	8.90A	8.98A	9.09A	9.20A	9.31A	9.42A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	30.3V	30.5V	30.7V	30.9V	31.1V	31.3V	31.5V	31.7V
Current at Nominal Power (I_{mp})	8.26A	8.37A	8.47A	8.58A	8.69A	8.79A	8.89A	9.00A
Module Efficiency (%)	15.37	15.67	15.98	16.29	16.60	16.90	17.21	17.52
Operating Temperature	-40°C to +85°C							
Maximum System Voltage	1000V DC							
Fire Resistance Rating	Type 1(in accordance with UL1703)/Class C(IEC61730)							
Maximum Series Fuse Rating	15A							

STC: Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25°C, AM1.5

ELECTRICAL CHARACTERISTICS AT NOCT								
Nominal Power (P_{max})	184W	188W	191W	195W	199W	202W	206W	210W
Open Circuit Voltage (V_{oc})	35.0V	35.1V	35.2V	35.3V	35.4V	35.5V	35.5V	35.7V
Short Circuit Current (I_{sc})	7.09A	7.15A	7.21A	7.27A	7.36A	7.45A	7.54A	7.63A
Voltage at Nominal Power (V_{mp})	27.6V	27.8V	27.9V	28.1V	28.3V	28.5V	28.7V	28.9V
Current at Nominal Power (I_{mp})	6.67A	6.77A	6.85A	6.94A	7.04A	7.09A	7.18A	7.27A

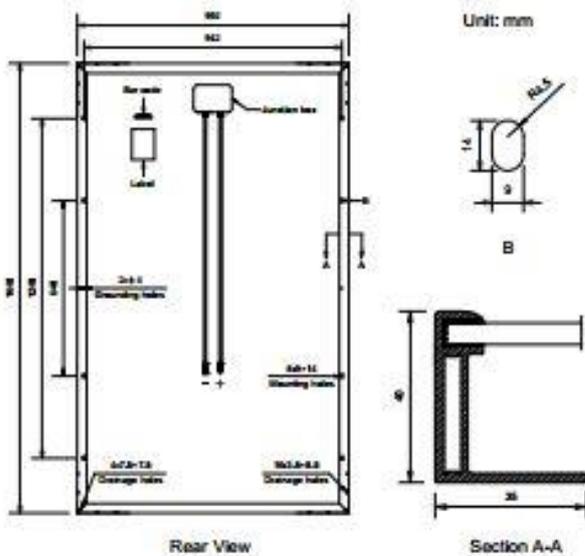
NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS	
Cell type	Polycrystalline 156x156mm (6x6inches)
Number of cells	60 (6x10)
Module dimensions	1640x992x40mm (64.57x39.06x1.57inches)
Weight	18.5kg (40.8lbs)
Front cover	3.2mm (0.13inches) tempered glass with AR coating
Frame	Anodized aluminum alloy
Junction box	IP67, 3 diodes
Cable	4mm ² (0.006inches ²), 900mm (35.43inches)
Connector	MC4 or MC4 compatible

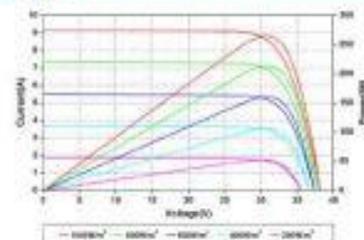
TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficients of P_{max}	-0.41%/°C
Temperature Coefficients of V_{oc}	-0.31%/°C
Temperature Coefficients of I_{sc}	0.05%/°C

PACKAGING	
Standard packaging	26pcs/pallet
Module quantity per 20' container	312pcs
Module quantity per 40' container	728pcs(GP)/784pcs(HQ)

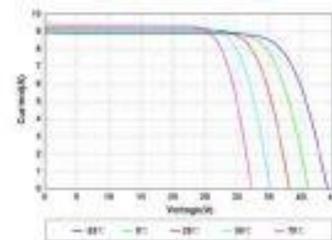
ENGINEERING DRAWINGS



IV CURVES



Current-Voltage and Power-Voltage Curves at Different Irradiances



Current-Voltage Curves at Different

Annexe 3: Onduleur réseau

SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US /
20000TL-US / 24000TL-US / 30000TL-US



Design flexibility

- 1000 V DC or 600 V DC
- Two independent DC inputs
- 15° to 90° mounting angle range
- Detachable DC Connection Unit

System efficiency

- 98.0% CEC, 98.6% Peak
- 1000 V DC increases system efficiency
- OptiTrac Global Peak MPPT

Enhanced safety

- Integrated DC AFCI
- Floating system with all-pole sensitive ground fault protection
- Reverse polarity indicator in combination with Connection Unit

Future-proof

- Complete grid management feature set
- Integrated Speedwire, WebConnect, ModBus interface
- Bi-directional Ethernet communications
- Utility-interactive controls for active and reactive power

**SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US /
20000TL-US / 24000TL-US / 30000TL-US**

The ultimate solution for decentralized PV plants, now up to 30 kilowatts

The world's best-selling three-phase PV inverter, the SMA Sunny Tripower TL-US, is raising the bar for decentralized commercial PV systems. This three-phase, transformerless inverter is UL listed for up to 1000 V DC maximum system voltage and has a peak efficiency above 98 percent, while OptiTrac Global Peak minimizes the effects of shade for maximum energy production. The Sunny Tripower delivers a future-proof solution with full grid management functionality, cutting edge communications and advanced monitoring. The Sunny Tripower is also equipped with all-pole ground fault protection and integrated AFCI for a safe, reliable solution. It offers unmatched flexibility with a wide input voltage range and two independent MPP trackers. Suitable for both 600 V DC and 1,000 V DC applications, the Sunny Tripower allows for flexible design and a lower levelized cost of energy.

www.SMA-America.com

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Bousé

Technical data	Sunny Tripower 12000TL-US	Sunny Tripower 15000TL-US	Sunny Tripower 20000TL-US	Sunny Tripower 24000TL-US	Sunny Tripower 30000TL-US
Input (DC)					
Max. array power	18000 Wp STC	22500 Wp STC	30000 Wp STC	36000 Wp STC	45000 Wp STC
Max. DC voltage		* 1000 V			1000 V
Rated MPPT voltage range	300 V...800 V	300 V...800 V	380 V...800 V	450 V...800 V	500 V...800 V
MPPT operating voltage range			150 V...1000 V		
Min. DC voltage / start voltage			150 V / 188 V		
Number of MPP tracker inputs			2		
Max. operating input current / per MPP tracker			66 A / 33 A		
Max. short circuit current per MPPT / string input			53 A / 53 A		
Output (AC)					
AC nominal power	12000 W	15000 W	20000 W	24000 W	30000 W
Max. AC apparent power	12000 VA	15000 VA	20000 VA	24000 VA	30000 VA
Output phases / line connections			3 / 3-NPE		3 / 3-NPE, 3-PE
Nominal AC voltage			480 / 277 V WYE		480 / 277 V WYE, 480 V Delta
AC voltage range			244 V...305 V		
Rated AC grid frequency			60 Hz		
AC grid frequency / range			50 Hz, 60 Hz / -6 Hz...+5 Hz		
Max. output current	14.4 A	18 A	24 A	29 A	36.2 A
Power factor at rated power / adjustable displacement			1 / 0.0 leading...0.0 lagging		
Harmonics			< 3%		
Efficiency					
Max. efficiency / CEC efficiency	98.2% / 97.5%	98.2% / 97.5%	98.5% / 97.5%	98.5% / 98.0%	98.6% / 98.0%
Protection devices					
DC reverse polarity protection			●		
Ground fault monitoring / grid monitoring			●		
All-pole sensitive residual current monitoring unit			●		
DC AFCI compliant to UL 1699B			●		
AC short circuit protection			●		
Protection class / overvoltage category			I / IV		
General data					
Dimensions (W / H / D) in mm (in)			665 / 650 / 265 (26.2 / 25.6 / 10.4)		
Packing dimensions (W / H / D) in mm (in)			780 / 790 / 380 (30.7 / 31.1 / 15.0)		
Weight			55 kg (121 lbs)		
Packing weight			61 kg (134.5 lbs)		
Operating temperature range			-25°C...+60°C		
Noise emission (typical) / internal consumption at night			51 dB(A) / 1 W		
Topology			Transformerless		
Cooling concept / electronics protection rating			OptiCool / NEMA 3R		
Features					
Display / LED indicators (Status / Fault / Communication)			- / ●		
Interface: RS485 / Speedwire, WebConnect			○ / ●		
Data interface: SMA Modbus / SunSpec ModBus			● / ●		
Mounting angle range			15°...90°		
Warranty: 10 / 15 / 20 years			● / ○ / ○		
Certifications and approvals	UL 1741, UL 1741SA, CA Rule 21, UL 1998, UL 1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1				
NOTE: US inverters ship with gray lids.	Data at nominal conditions, August 2017. * Suitable for 600 V DC max. systems				
● Standard features ○ Optional features - Not available					
Type designation	STP 12000TL-US-10	STP 15000TL-US-10	STP 20000TL-US-10	STP 24000TL-US-10	STP 30000TL-US-10

Accessories



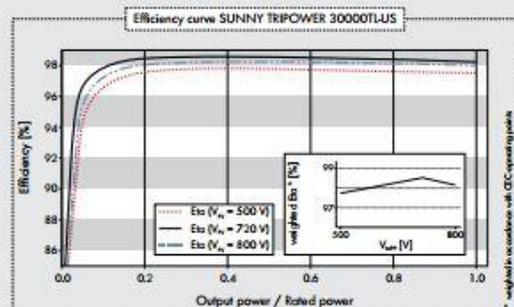
RS485 interface
DM-485CBUS-10



Connection Unit
CU 1000US-11



SMA Cluster Controller
CLCON-10



Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Bousé

Annexe 4 : Vérification compatibilité entre SMA sunny tripower et le sous-champ

Vérification compatibilité entre SMA sunny tripower TL-US (12000TL-US) et sous champ

Denomination	SMA sunny tripower TL-US(12000TL-US)	
	Calcul	Spécification
Tension nominal du systeme (V)	$20 \times 38 = 760 V$	< 1000 V ok bon
Plage de la tension MPP(V)	$\frac{300 V}{20}$ à $\frac{800 V}{20} = 15V$ à $40V$	Vmpp=30,3 ok bon
Courant d'entrée de l'onduleur (A)	$4 \times 8.75A = 35A$	< <i>courant maximal</i> = 66A ok bon
Ratio de puissance	$\frac{12000}{250 \times 20 \times 4} = 0,6$	Doit être compris entre 0,8 et 1,1 pas bon

Vérification compatibilité entre SMA sunny tripower TL-US (15000TL-US) et sous champ

Denomination	SMA sunny tripower TL-US(15000TL-US)	
	Calcul	Spécification
Tension nominal du systeme (V)	$20 \times 38 = 760 V$	< 1000 V ok bon
Plage de la tension MPP(V)	$\frac{300 V}{20}$ à $\frac{800 V}{20} = 15V$ à $40V$	Vmpp=30,3 ok bon
Courant d'entrée de l'onduleur (A)	$4 \times 8,75A = 35A$	< <i>courant maximal</i> = 66A ok bon
Ratio de puissance	$\frac{15000}{250 \times 20 \times 4} = 0,75$	Doit être compris entre 0,8 et 1,1 pas bon

Vérification compatibilité entre SMA sunny tripower TL-US (20000TL-US) et sous champ

Denomination	SMA sunny tripower TL-US(20000TL-US)	
	Calcul	Spécification
Tension nominal du systeme (V)	$20 \times 38 = 760 V$	< 1000 V ok bon

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Bousé

Plage de la tension MPP(V)	$\frac{380 V}{20}$ à $\frac{800 V}{20} = 19V$ à $40V$	$V_{mpp}=30,3$ ok bon
Courant d'entrée de l'onduleur (A)	$4 \times 8.75A = 35A$	<i>courant maximal</i> = 66A ok bon
Ratio de puissance	$\frac{20000}{250 \times 20 \times 4} = 1$	Doit être compris entre 0,8 et 1,1 ok bon

Vérification compatibilité entre SMA sunny tripower TL-US (24000TL-US) et sous-champ

Denomination	SMA sunny tripower TL-US(24000TL-US)	
	calcul	spécification
Tension nominal du systeme (V)	$20 \times 38 = 760 V$	< 1000 V ok bon
Plage de la tension MPP(V)	$\frac{450 V}{20}$ à $\frac{800 V}{20}$ $= 22,5V - 40V$	$V_{mpp}=30,3$ ok bon
Courant d'entrée de l'onduleur (A)	$4 \times 8.75A = 35A$	<i>courant maximal</i> = 66A ok bon
Ratio de puissance	$\frac{24000}{250 \times 20 \times 4} = 1,2$	Doit être compris entre 0,8 et 1,1 pas bon

Vérification compatibilité entre SMA sunny tripower TL-US (30000TL-US) et sous champ

Denomination	SMA sunny tripower TL-US(30000TL-US)	
	calcul	spécification
Tension nominal du systeme (V)	$20 \times 38 = 760 V$	< 1000 V ok bon
Plage de la tension MPP(V)	$\frac{500 V}{20}$ à $\frac{800 V}{20} = 25V$ à $40V$	$V_{mpp}=30,3$ ok bon
Courant d'entrée de l'onduleur (A)	$4 \times 8,75A = 35A$	< <i>courant maximal</i> = 66A ok bon
Ratio de puissance	$\frac{30000}{250 \times 20 \times 4} = 1,5$	Doit être compris entre 0,8 et 1,1 pas bon

Annexe 5: Onduleur chargeur



**UNE NOUVELLE SÉRIE DE SUNNY ISLAND.
SIMPLE. ROBUSTE. FLEXIBLE.**

Sunny Island 6.0H et 8.0H, bien plus qu'un nouveau nez, le Sunny Island révèle ses atouts au premier coup d'œil, à savoir une puissance de 6000 ou 8000 watts pendant 30 minutes. Comment ? En tenant compte des variations de consommation qu'une configuration basée sur la puissance nominale. Pourquoi faire compliqué quand on peut faire simple ?

Le partenaire idéal
Pour satisfaire aux mieux nos clients, nous leur avons simplement demandé de nous décrire l'onduleur idéal. Selon eux, il doit présenter les caractéristiques suivantes : être suffisamment robuste pour une utilisation dans le monde entier ; être simple d'emploi afin de garantir une manipulation aisée en tous lieux et être flexible, afin

de s'intégrer à des systèmes parfaitement adaptés aux besoins de l'utilisateur.

Un duo de choc
Conquérir toutes ces caractéristiques en un seul équipement est un réel défi. C'est pourquoi, nous proposons deux nouveaux modèles Sunny Island. Particulièrement robustes, ces appareils sont utilisables quasiment partout, que ce soit dans le désert, dans la forêt équatoriale, sur une île ou dans l'Arctique. L'astucieux concept de commande OptiUse les rend particulièrement intéressants, aussi bien pour le responsable du dimensionnement que pour l'installateur et l'utilisateur. Le système intelligent de gestion de la charge et de l'énergie OptiPower garantit quant à lui le fonctionnement sûr du réseau en

site isolé, même en situation critique. Les Sunny Island assurent par ailleurs une flexibilité maximum en matière de dimensionnement des installations. Les deux gammes de puissance offrent des possibilités quasiment illimitées pour satisfaire au mieux aux exigences de chaque configuration.

De par sa formule « tout compris », le Sunny Island s'impose par conséquent comme la solution idéale pour un approvisionnement énergétique fiable et autonome.



OptiUse



OptiBat



OptiPower



SIMPLE. CONTRÔLE TOTAL AVEC OPTIUSE

La grande simplicité du Sunny Island est due à notre nouveau concept de commande OptiUse, qui optimise l'installation, la mise en service et l'usage quotidien des appareils. Un cluster, c'est-à-dire un système comportant plusieurs Sunny Island, peut être configuré et piloté de façon centralisée depuis un appareil maître. Le Guide de configuration rapide permet de procéder à la mise en service en quelques étapes. Par ailleurs, la détection automatique des champs magnétiques relatifs signale immédiatement les éventuelles erreurs d'installation.

Commande intuitive
Tous les réglages deviennent un jeu d'enfant grâce au bouton tourne-pousser et aux menus intuitifs de l'unité de commande externe Sunny Remote Control. Les trois

niveaux d'utilisateurs facilitent la gestion des appareils : le mode USER permet de visualiser clairement les principales valeurs, tandis que les modes INSTALLER et EXPERT offrent un affichage plus détaillé.

Clair et complet
L'écran d'accueil vous donne un aperçu des flux énergétiques entre les appareils, la batterie et les sources d'énergie externes. L'indicateur STATE OF CHARGE informe sur l'état de charge de la batterie, à l'instar de la jauge d'essence d'une voiture. Éléments sensibles, les batteries sont gérées par le système dédié OptiBot, qui régule automatiquement les processus de charge et de décharge de manière à optimiser leurs durées de vie.

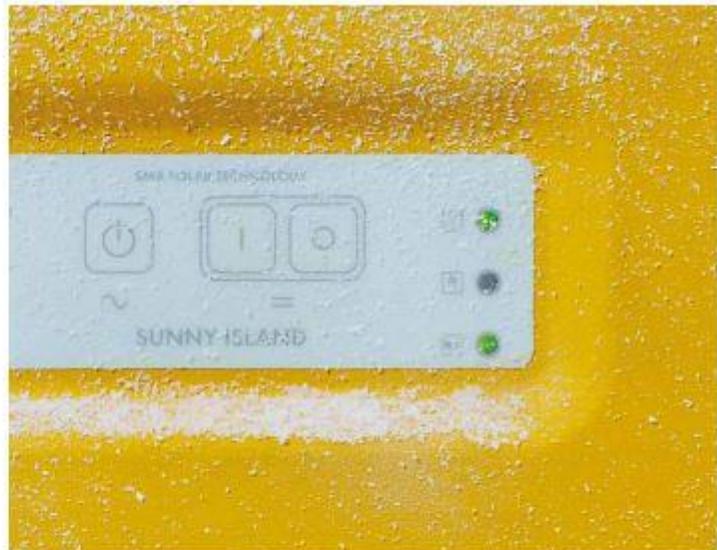


Résolution simple

- Facile à installer, à mettre en service et à gérer au quotidien
- Configuration et commande centralisées de cluster via la fonction Single-Point-of-Operation
- Utilisation simple et indépendante du lieu via l'écran externe Sunny Remote Control



Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Boussé



ROBUSTE. UTILISABLE DANS LE MONDE ENTIER

Si le Sunny Island est si robuste, c'est qu'il est conçu pour résister au sable du désert, qu'à l'humidité élevée des tropiques, aux brumes salines des régions côtières ou encore aux fortes amplitudes thermiques. Grâce à son indice de protection IP54 et au concept de refroidissement OptiCool, il affiche une excellente fiabilité, même dans des conditions extrêmes et ce, pendant 20 ans, sans la moindre concession en termes de capacité de surcharge et de rentabilité.

Conçu pour toutes les situations, le système intelligent de gestion de la charge et de l'énergie OptiPower garantit le fonctionnement du réseau en site isolé, même en situation critique. La fonction de démarrage progressif permet au

Sunny Island d'absorber le lancement de charges critiques. Aucun obstacle ne lui fait peur : il résiste également aux courants de démarrage élevés de certains appareils électriques. Et si l'énergie d'origine renouvelable s'avère insuffisante, le Sunny Island démarre automatiquement un générateur Diesel. Au besoin, il se charge de déconnecter les appareils du réseau afin d'éviter une décharge excessive de la batterie. Lorsque l'énergie solaire, éolienne ou hydraulique redevient disponible, les onduleurs reviennent en mode de charge de la batterie et reconnectent les appareils.

Gestion intelligente de l'énergie
L'énergie étant précieuse, c'est pourquoi le Sunny Island est conçu de manière à la gérer le plus économiquement possible. Si

aucun appareil ne doit être alimenté, par exemple la nuit, les onduleurs se désactivent automatiquement. En cas de besoin, il suffit d'une seconde pour les réactiver. Les ressources sont ainsi préservées.

Résolution robuste

- Utilisable partout grâce à l'indice de protection IP54.
- Plage de température élargie grâce à OptiCool.
- Combinaison de technologies éprouvées garantissant longévité et fiabilité.





FLEXIBLE.
DIMENSIONNEMENT ULTRA-PRÉCIS

Particulièrement flexible, le Sunny Island permet d'adapter avec précision la puissance de l'onduleur aux besoins du système. Cet aspect représente selon nous une condition essentielle à un fonctionnement fiable et efficace des systèmes non raccordés au réseau. En effet, si le dimensionnement du système est trop juste, celui-ci sera fréquemment surchargé et des coupures risquent de se produire. À l'inverse, un système surdimensionné atteindra trop rarement son point de fonctionnement optimal pour être efficace.

Installations dimensionnées sur mesure
Les nouveaux Sunny Island peuvent être combinés de manière très flexible, afin d'adapter l'installation très précisément à

la puissance requise par le système. De 3 à 300 kilowatts, le responsable du dimensionnement peut ainsi travailler quasiment sans la moindre contrainte. Les nouveaux appareils prennent évidemment en charge la technologie multicluster de SMA, autorisant à tout moment une extension du système en fonction de l'évolution des besoins. La conception d'installation n'a jamais été aussi efficace et économique.

Le SMA Off-Grid Configurator vous assiste pour le dimensionnement et la conception des systèmes non raccordés au réseau. Le logiciel intègre tous les aspects à prendre en compte, du dimensionnement de l'installation photovoltaïque aux calculs de rentabilité, en passant par la batterie et les onduleurs.



Résolution flexible

- Systèmes de toutes tailles de 3 à 300 kilowatts
- Dimensionnement ultra-précis des installations
- Possibilité d'extension ultérieure
- Prise en charge de la technologie multicluster de SMA



Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Boussé



CONFIGURATIONS SYSTÈME ILLIMITÉES

Pourquoi choisir le Sunny Island ? Parce qu'avec 99 configurations système possibles, il offre une liberté et une précision absolue en matière de dimensionnement d'installations.

Petits...

Le plus petit et le plus simple de nos systèmes, que nous appelons Single, convient à des puissances comprises entre 3 et 8 kilowatts. Composé d'un Sunny Island raccordé à une batterie, il est par exemple en mesure d'assurer l'approvisionnement électrique d'une maison isolée, ne pouvant être raccordée au réseau public.

... moyens...

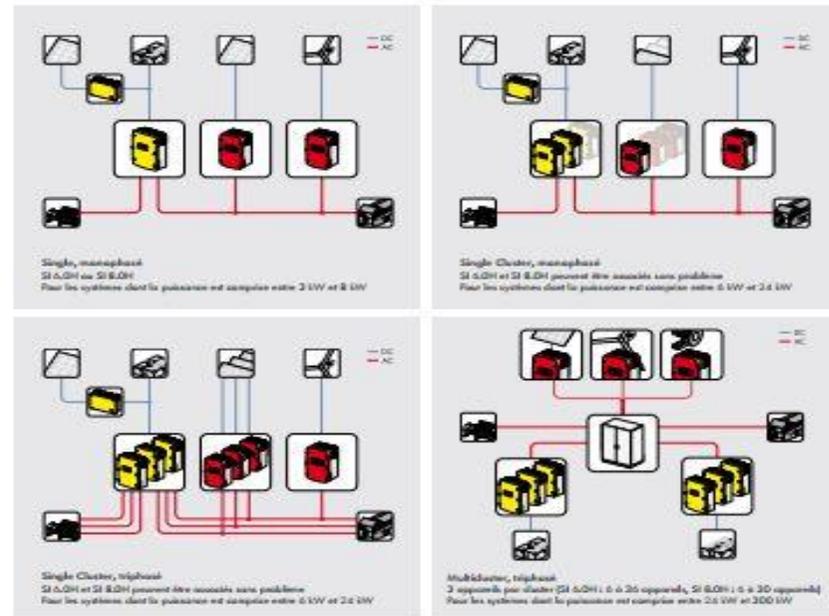
Avec un système Single Cluster, il est possible d'y raccorder trois Sunny Island à

un jeu de batteries. Les deux gammes de puissances du Sunny Island peuvent être combinées pour atteindre exactement le niveau de puissance souhaité. Les systèmes de 3 à 24 kilowatts sont configurables en monophasé ou en triphasé selon le cas. L'ensemble du cluster se commande via le Sunny Remote Control, qui est raccordé à l'appareil maître. Simple, fiable et économique, cette solution est adaptée aux fermes, clubs, gîtes ou ateliers éloignés du réseau.

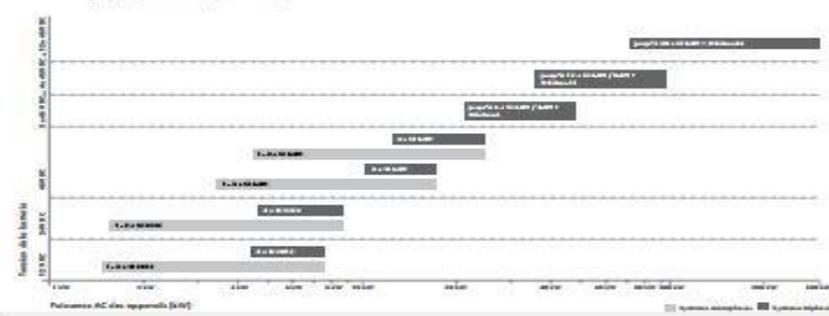
... et très gros systèmes

Le système Multicluster permet de réaliser des installations de 24 à 300 kilowatts. Chaque cluster se compose alors de trois Sunny Island de même type raccordés à un jeu de batteries. Jusqu'à douze clusters

de ce type peuvent être réunis via un même Multicluster Box. Cette répartition AC entièrement préconfigurée facilite le montage et le démontage de systèmes en site isolé ou hybrides de grande envergure. Elle garantit un approvisionnement énergétique stable et performant pour les hôtels ou les bâtiments industriels, mais aussi pour les flottes ou les localités dont l'infrastructure réseau est insuffisante voire inexistante. En effet, la coupure d'un appareil ou d'un cluster n'entraîne pas automatiquement l'arrêt de tout le système et préserve donc l'approvisionnement électrique.



Tension DC et plage de puissance des produits Sunny Island



Données techniques

Données techniques	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Sortie AC (appareil / site isolé)		
Tension de réseau assignée / plage de tension AC	230 V / 202 V ... 253 V	230 V / 202 V ... 253 V
Fréquence assignée / plage de fréquence (réglable)	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz	50 Hz / 45 Hz ... 65 Hz
Puissance assignée (pour Unom, Inom / 25 °C / cos φ = 1)	4 600 W	6 000 W
Puissance AC à 25 °C pendant 30 min / 5 min / 3 s	6 000 W / 6 800 W / 11 000 W	8 000 W / 9 100 W / 11 000 W
Courant assigné / courant de sortie maximal (crête)	20 A / 120 A	26 A / 120 A
Taux d'harmoniques de la tension de sortie / facteur de puissance à la puissance assignée	< 4 % / -1 ... +1	< 4 % / -1 ... +1
Entrée AC (générateur, réseau ou MC-Bax)		
Tension d'entrée assignée / plage de tension d'entrée AC	230 V / 172,5 V ... 264,5 V	230 V / 172,5 V ... 264,5 V
Fréquence d'entrée assignée / plage de fréquence d'entrée admissible	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz
Courant d'entrée AC maximum	50 A	50 A
Puissance d'entrée AC maximum	11 500 W	11 500 W
Entrée DC batterie		
Tension d'entrée assignée / plage de tension DC	48 V / 41 V ... 63 V	48 V / 41 V ... 63 V
Courant de charge maximal de la batterie / courant de charge assigné DC	110 A / 100 A	140 A / 115 A
Type de batterie / capacité de la batterie (plage)	FIA, VRLA / 100 Ah ... 10 000 Ah	FIA, VRLA / 100 Ah ... 10 000 Ah
Régulation de charge	Procédé de charge IUoU avec pleine charge et charge d'égalisation automatiques	Procédé de charge IUoU avec pleine charge et charge d'égalisation automatiques
Rendement / autoconsommation		
Rendement maximal	95 %	95 %
Autoconsommation sans charge / mode veille	< 26 W / < 4 W	< 26 W / < 4 W
Dispositif de protection (appareil)		
Court-circuit AC / surcharge AC	● / ●	● / ●
Protection contre l'inversion de polarité DC / fusible DC	- / -	- / -
Surtempérature / décharge profonde de la batterie	● / ●	● / ●
Classe de surtension selon IEC 60664-1	III	III
Données générales		
Largeur / Hauteur / Profondeur	467 mm x 612 mm x 242 mm	467 mm x 612 mm x 242 mm
Poids	63 kg	63 kg
Plage de température de fonctionnement	-25 °C ... +60 °C	-25 °C ... +60 °C
Classe de protection selon IEC 62103	I	I
Catégorie climatique selon IEC 60721	3K6	3K6
Indice de protection selon IEC 60529	IP54	IP54
Équipement / fonctions		
Commande et affichage / relais multifonction	externe via SRC-20 / 2	externe via SRC-20 / 2
Systèmes triphasés / montage en parallèle	● / ●	● / ●
By-pass intégré / fonctionnement en multicluster	- / ●	- / ●
Calcul de l'état de charge / pleine charge / charge d'égalisation	● / ● / ●	● / ● / ●
Démarrage progressif intégré / support du générateur	● / ●	● / ●
Capteur de température de la batterie / câbles de communication	● / ●	● / ●
Certificats et homologations	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Garantie (5 / 10 / 15 / 20 / 25 ans)	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Accessoires		
Câble de la batterie / protection de la batterie	○ / ○	○ / ○
Interface SICOMSMA (RS485) / SISYSKAN (Multicluster)	○ / ○	○ / ○
Démarrage étendu du générateur « GenMan »	○	○
Protection de délestage / mesure du courant de batterie externe	○ / ○	○ / ○
Désignation de type	SI6.0H-10	SI8.0H-10

Annexe 6: Fiche technique batteries





sun | power VR L type OPzV

Applications types :

- Réseaux d'électricité autonomes (sites isolés)
- Systèmes hybrides
- Peak shaving (couverture des pics de consommation)/ stabilisation de la tension
- Stations de relais mobile
- Tourisme vert
- Protection cathodique contre la corrosion
- Systèmes de pompage

Les avantages :

- Batterie faible entretien (pas de remise en eau) - grâce à la technologie GEL innovante
- Très bonne stabilité en cyclage - le design tubulaire optimisé des plaques permet une meilleure réception des courants de charge en mode PSoC (Partial State of Charge = en état de charge partielle)
- Compatibilité maximale - dimensions conformes à la norme DIN 40742
- Exploitation optimale de l'espace - possibilité d'installation à l'horizontale
- Protection contre les courts-circuits renforcée même pendant le montage - grâce à l'utilisation des connecteurs HOPPECKE

sun | power VR L type OPzV bloc

Applications types :

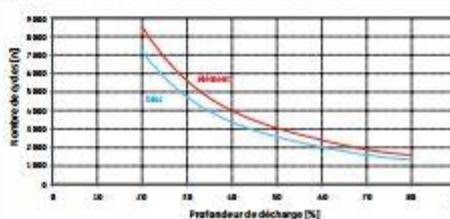
- Systèmes solaires domestiques
- Système hybrides
- Systèmes de signalisation
- Stations de relais mobile
- Éclairage solaire des rues
- Protection cathodique contre la corrosion
- Équipements en services médicaux

Les avantages :

- Batterie faible entretien (pas de remise en eau) - grâce à la technologie GEL innovante
- Très bonne stabilité en cyclage - le design tubulaire optimisé des plaques permet une meilleure réception des courants de charge en mode PSoC (Partial State of Charge = en état de charge partielle)
- Compatibilité maximale - dimensions conformes à la norme DIN 40744
- Montage et intégration simples - bouchon de batterie avec système de poignée intégré
- Protection contre les courts-circuits renforcée même pendant le montage - grâce à l'utilisation des connecteurs HOPPECKE



Espérance de vie en cycles par rapport à la profondeur de décharge



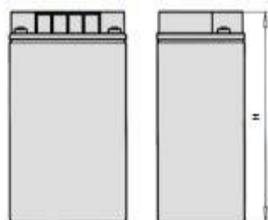
Capacités, dimensions et poids

Type OPzV bloc	Tension nominale V	C _{10h} /1,85 V Ah	C _{10h} /1,85 V Ah	C _{10h} /1,83 V Ah	C _{10h} /1,80 V Ah	C _{10h} /1,77 V Ah	Poids max* kg	Longueur max* L mm	Largeur max* W mm	Hauteur max* H mm	Fig.
Type OPzV											
sun power vRL 2-250	2	287	264	243	204	189	18,3	105	208	420	C
sun power vRL 2-310	2	359	329	304	255	236	22,3	126	208	420	C
sun power vRL 2-370	2	430	395	365	306	283	26,5	147	208	420	C
sun power vRL 2-420	2	478	453	428	391	346	29,9	126	208	535	C
sun power vRL 2-520	2	574	543	513	470	415	35,1	147	208	535	C
sun power vRL 2-620	2	670	634	599	548	485	42,1	168	208	535	C
sun power vRL 2-750	2	847	802	762	682	595	48,7	147	208	710	C
sun power vRL 2-875	2	990	935	888	796	694	61,3	215	193	710	D
sun power vRL 2-1000	2	1 130	1 070	1 016	909	793	65,9	215	193	710	D
sun power vRL 2-1125	2	1 271	1 203	1 143	1 023	893	75,6	215	235	710	D
sun power vRL 2-1250	2	1 412	1 337	1 270	1 137	992	80,5	215	235	710	D
sun power vRL 2-1375	2	1 553	1 471	1 397	1 250	1 091	89,3	215	277	710	D
sun power vRL 2-1500	2	1 695	1 604	1 524	1 364	1 190	94,6	215	277	710	D
sun power vRL 2-1700	2	1 955	1 870	1 785	1 545	1 372	110,0	215	277	855	D
sun power vRL 2-2000	2	2 281	2 182	2 082	1 802	1 601	136,5	215	400	815	E
sun power vRL 2-2300	2	2 607	2 493	2 380	2 060	1 829	152,9	215	400	815	E
sun power vRL 2-2600	2	2 933	2 805	2 677	2 317	2 058	173,0	215	490	815	F
sun power vRL 2-2900	2	3 258	3 117	2 975	2 574	2 287	186,5	215	490	815	F
sun power vRL 2-3200	2	3 584	3 428	3 272	2 832	2 515	214,7	215	580	815	F
sun power vRL 2-3500	2	3 910	3 740	3 570	3 089	2 744	222,3	215	580	815	F

C₁₀ et C₁₀₀ = Capacité pour une décharge en 10 et 100 heures

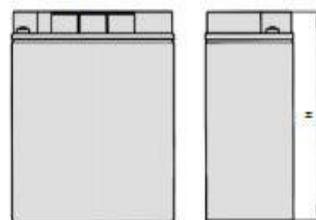
* conformément à la norme DIN 40742, ces données sont à considérer comme valeurs maximales

Fig. A Type OPzV bloc



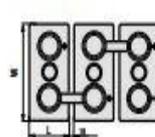
sun | power vRL 12-70 -
sun | power vRL 12-180

Fig. B Type OPzV bloc



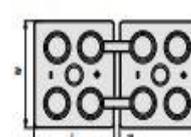
sun | power vRL 6-250 -
sun | power vRL 6-370

Fig. C Type OPzV



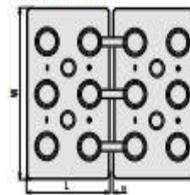
sun | power vRL 2-250 -
sun | power vRL 2-750

Fig. D Type OPzV



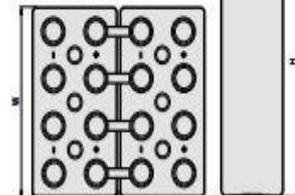
sun | power vRL 2-875 -
sun | power vRL 2-1700

Fig. E Type OPzV



sun | power vRL 2-2000 -
sun | power vRL 2-2300

Fig. F Type OPzV



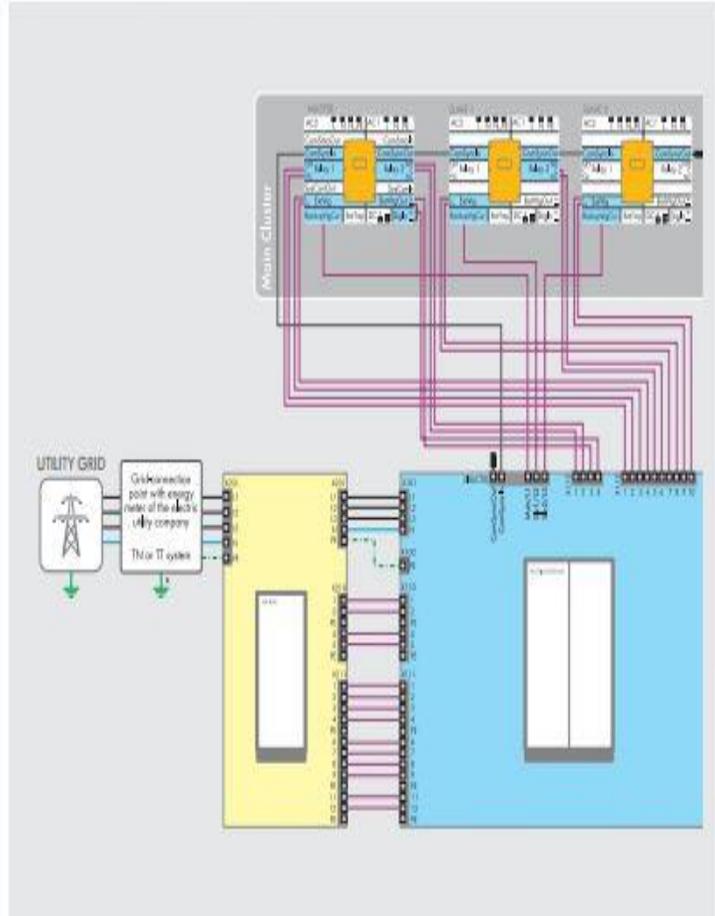
sun | power vRL 2-2600 -
sun | power vRL 2-3500

Éco-compatibilité optimale -
système de recyclage certifié, en circuit fermé
IEC 60896-21 · IEC 61427

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Boussé

Annexe 7: Fiche technique multi cluster box12

CIRCUITRY OF NA BOX WITH MULTICLUSTER BOX AND MAIN CLUSTER



LEGEND

- Line conductor
- Neutral conductor
- Grounding conductor
- Control cable
- Data cable for RS485 communication
- Terminator
- ☐ Sunny Island

Comment:

Extension cluster circuitry: see page 2
 Bridge DigIn- and BatVtg- on the master of the main cluster.
 * Ground the Multicenter system at the grid-connection point in accordance with the local standards and directives.

EXAMPLES FOR MULTICLUSTER SYSTEMS

Power*	Number of Sunny Island inverters		Number of Batteries**
	SI 8.0H	SI 6.0H	
36 kW	-	6	2
42 kW	3	3	
48 kW	6	-	3
54 kW	-	9	
60 kW	3	6	
66 kW	6	3	
72 kW	9	-	4
72 kW	-	12	
78 kW	3	9	
84 kW	6	6	
90 kW	9	3	-
96 kW	12	-	

* Power of the Sunny Island inverters for 30 minutes at 25°C
 ** 1 battery per cluster

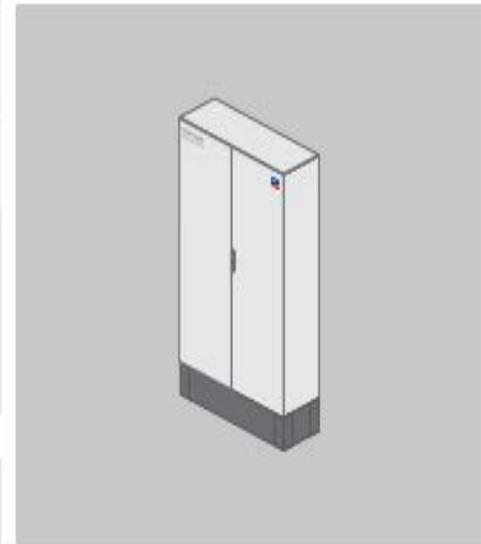
CONTACT

SMA Solar Technology AG
 Seewaldstr. 1
 34366 Niestetal (Germany)
 www.SMA.com

SMA Service Line
 Tel: +49 561 9522 309
 Fax: +49 561 9522 4697
 E-mail: SunnyIsland.Service@SMA.de



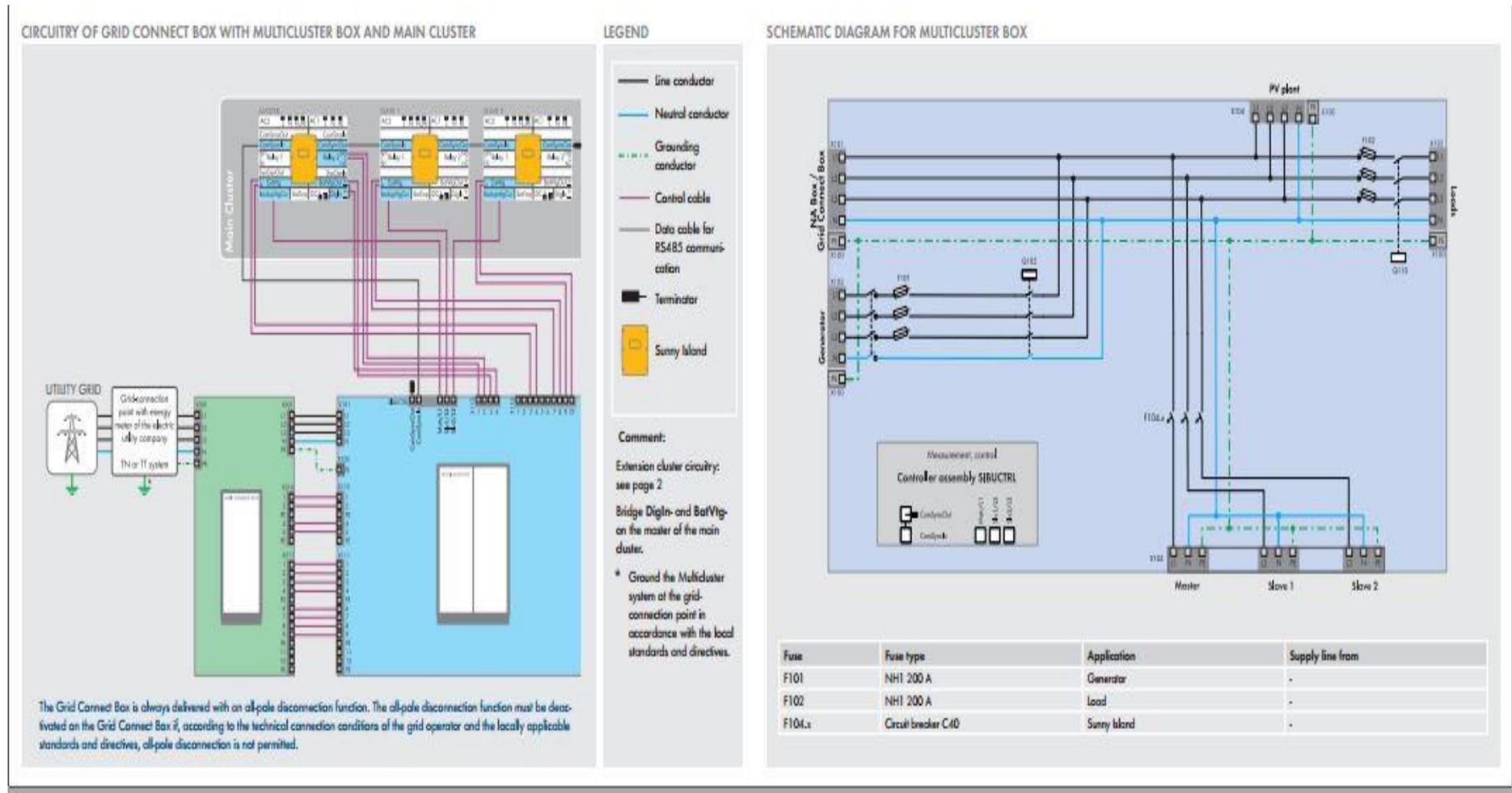
Installation - Circuitry Overview
 MULTICLUSTER BOX 12.3-20



MCDB-12.3-20_JA-ver-10 | Version 1.0

ENGLISH

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Boussé



Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Boussé

Annexe 8: Bilan de puissance des services couverts par le système d'autonomie

unités	appareils consommateurs	Pappelé unitaire(W)	nombre	Pappelée d'ensemble(W)	tension(V)	cos phi	courant (A)	(h/j)	besoin(wh/j)
bloc operatoire									
	leds longs	18	20	360	230	0,85	1,84143223	6	2160
	brasseurs	55	5	275	230	0,85	1,40664962	5	1375
	climatiseurs	1100	9	9900	230	0,85	50,6393862	5	49500
	ordinateurs dekstop	682	2	1364	230	0,85	6,9769821	5	6820
	autoclave	6000	1	6000	230	0,85	30,6905371	1	6000
	popinelle	950	1	950	230	0,85	4,85933504	1	950
	aspirateur	20,7	1	20,7	230	0,85	0,10588235	2	41,4
	spestoscope	76	1	76	230	0,85	0,3887468	2	152
	bistouri électrique	412	1	412	230	0,85	2,10741688	2	824
	lampe cialitique mobile	50	2	100	230	0,85	0,51150895	2	200
	ecran	85	1	85	230	0,85	0,43478261	2	170
hospitalisation et consultation chirurgie									
	leds longs	18	13	234	230	0,85	1,19693095	6	1404
	brasseurs	55	7	385	230	0,85	1,96930946	5	1925
	popinelle	950	1	950	230	0,85	4,85933504	1	950
maternité									
	leds	18	13	234	230	0,85	1,19693095	6	1404
	brasseurs	55	7	385	230	0,85	1,96930946	5	1925
	climatiseurs	1100	1	1100	230	0,85	5,62659847	5	5500
	ordinateurs dekstop	682	1	682	230	0,85	3,48849105	5	3410
cren									
	leds longs	18	13	234	230	0,85	1,19693095	5	1170
	brasseurs	55	4	220	230	0,85	1,12531969	5	1100
	congelateurs	1300	1	1300	230	0,85	6,64961637	6	7800
	climatiseurs	1100	1	1100	230	0,85	5,62659847	5	5500

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Boussé

programme élargie et vaccin									
	leds longs	18	7	126	230	0,85	0,64450128	5	630
	climatiseurs	1100	2	2200	230	0,85	11,2531969	5	11000
	imprimante	660	2	1320	230	0,85	6,75191816	5	6600
	congelateurs	1300	1	1300	230	0,85	6,64961637	6	7800
	petit congelateur	192	1	192	230	0,85	0,98209719	6	1152
	refrigérateurs	340	3	1020	230	0,85	5,2173913	6	6120
	ordinateurs dekstop	682	2	1364	230	0,85	6,9769821	5	6820
laboratoire analyse									
	leds longs	18	7	126	230	0,85	0,64450128	5	630
	brasseurs	55	2	110	230	0,85	0,56265985	5	550
	climatiseurs	1100	2	2200	230	0,85	11,2531969	5	11000
	refrigerateurs1	480	1	480	230	0,85	2,45524297	6	2880
	refrigérateurs2	120	1	120	230	0,85	0,61381074	6	720
	refrigérateurs/congelateu	130	1	130	230	0,85	0,66496164	6	780
	refrigérateurs/congelateu	1380	1	1380	230	0,85	7,05882353	6	8280
	microscope1	99	1	99	230	0,85	0,50639386	6	594
	microscope2	3	1	3	230	0,85	0,01534527	1	3
	centrifugeuse	308	1	308	230	0,85	1,57544757	1	308
	automate de dermatologie	188	1	188	230	0,85	0,96163683	2	376
	spectrophotometre	150	1	150	230	0,85	0,76726343	2	300
	ordinateurs dekstop	682	1	682	230	0,85	3,48849105	5	3410
somme				39864,7			203,911509		170233,4
nombre d'heures d'autonomie									24,3618467

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Boussé

Annexe 9 : Bilan de puissance total de l'hôpital

unités de l'hôpital	appareils consommateurs	Puissance appelé (W)	nombre d'appareils	Puissance appelée d'ensemble(W)	nombre heure par jour (h/j)	besoin journalier (Wh/j)	tension (V)	cos phi	courant (A)
cren									
	leds longs	18	13	234	5	1170	230	0,85	1,20
	brasseurs	55	4	220	5	1100	230	0,85	1,13
	congélateurs	1300	1	1300	6	7800	230	0,85	6,65
	climatiseurs	1100	1	1100	5	5500	230	0,85	5,63
hôpitalisation cren							230		
	leds longs	18	22	396	6	2376	230	0,85	2,03
	brasseurs	55	12	660	5	3300	230	0,85	3,38
salle polyvalente							230		
	climatiseurs	1100	2	2200	5	11000	230	0,85	11,25
	brasseurs	55	3	165	5	825	230	0,85	0,84
	leds longs	18	8	144	5	720	230	0,85	0,74
programme élargi et vaccin									
	leds longs	18	7	126	5	630	230	0,85	0,64
	climatiseurs	1100	2	2200	5	11000	230	0,85	11,25
	imprimante	660	2	1320	5	6600	230	0,85	6,75
	congélateur	1300	1	1300	6	7800	230	0,85	6,65
	petit congélateur	192	1	192	6	1152	230	0,85	0,98
	réfrigérateur	340	3	1020	6	6120	230	0,85	5,22
	ordinateurs dekstop	682	2	1364	5	6820	230	0,85	6,98

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Bousé

consultation médecine et pharmacie									
	leds longs	18	10	180	5	900	230	0,85	0,92
	brasseurs	55	5	275	5	1375	230	0,85	1,41
	climatiseurs	1100	3	3300	5	16500	230	0,85	16,88
	imprimante	660	2	1320	5	6600	230	0,85	6,75
	ordinateurs dekstop	682	3	2046	5	10230	230	0,85	10,47
laboratoire analyse									
	leds longs	18	7	126	5	630	230	0,85	0,64
	brasseurs	55	2	110	5	550	230	0,85	0,56
	climatiseurs	1100	2	2200	5	11000	230	0,85	11,25
	refrigérateur1	480	1	480	6	2880	230	0,85	2,46
	refrigérateur2	120	1	120	6	720	230	0,85	0,61
	refrigérateur/congela	130	1	130	6	780	230	0,85	0,66
	refrigérateur/congela	1380	1	1380	6	8280	230	0,85	7,06
	microscope1	99	1	99	6	594	230	0,85	0,51
	microscope2	3	1	3	1	3	230	0,85	0,02
	centrifugeuse	308	1	308	1	308	230	0,85	1,58
	automate de dermato	188	1	188	2	376	230	0,85	0,96
	spectrophotomètre	150	1	150	2	300	230	0,85	0,77
	ordinateurs dekstop	682	1	682	5	3410	230	0,85	3,49
bloc opératoire									
	leds longs	18	20	360	6	2160	230	0,85	1,84
	brasseurs	55	5	275	5	1375	230	0,85	1,41
	climatiseurs	1100	9	9900	5	49500	230	0,85	50,64
	ordinateurs dekstop	682	2	1364	5	6820	230	0,85	6,98
	autoclave	6000	1	6000	1	6000	230	0,85	30,69
	popinelle	950	1	950	1	950	230	0,85	4,86
	aspirateur	20,7	1	20,7	2	41,4	230	0,85	0,11
	spectroscope	76	1	76	2	152	230	0,85	0,39
	bistouri électrique	412	1	412	2	824	230	0,85	2,11
	lampe cialitique mobi	50	2	100	2	200	230	0,85	0,51
	écran	85	1	85	2	170	230	0,85	0,43

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Bousié

hospitalisation et consultation chirurgie									
	leds longs	18	13	234	6	1404	230	0,85	1,20
	brasseurs	55	7	385	5	1925	230	0,85	1,97
	popinelle	950	1	950	1	950	230	0,85	4,86
direction									
	leds longs	18	10	180	6	1080	230	0,85	0,92
	brasseurs	55	5	275	5	1375	230	0,85	1,41
	climatiseurs	1100	4	4400	5	22000	230	0,85	22,51
	congelateurs	1300	1	1300	6	7800	230	0,85	6,65
	ordinateurs dekstop	682	8	5456	5	27280	230	0,85	27,91
	imprimante	660	3	1980	5	9900	230	0,85	10,13
	photocopieuse	594	3	1782	3	5346	230	0,85	9,12
maternité									
	leds	18	13	234	6	1404	230	0,85	1,20
	brasseurs	55	7	385	5	1925	230	0,85	1,97
	climatiseurs	1100	1	1100	5	5500	230	0,85	5,63
	ordinateurs dekstop	682	1	682	5	3410	230	0,85	3,49
logements et dépôt pharmaceutique									
	leds longs	18	15	270	5	1350	230	0,85	1,38
	leds courts	9	9	81	5	405	230	0,85	0,41
	climatiseurs	1100	2	2200	5	11000	230	0,85	11,25
	réfrigérateur	480	1	480	6	2880	230	0,85	2,46
	ordinateurs dekstop	682	1	682	5	3410	230	0,85	3,49
centre de dépistage									
	leds	18	12	216	5	1080	230	0,85	1,10
	brasseurs	55	6	330	5	1650	230	0,85	1,69
somme				70182,7		320615,4			358,99
puissance du champ Pc nécessaire (kWc)							116,72937		
avec sécurité de 20%				84219,24		384738,48			

Annexe 10: Bilan financier installation

MATERIEL	NOMBRE	PRIX UNITAIRE(FCFA)	PRIX D'ENSEMBLE (FCFA)
Modules et supports	240	73 000	17 520 000
Onduleurs réseau	3	1 987 041	5 961 122
Onduleurs chargeurs	9	1 439 245	12 953 201
Batteries	72	800 000	57 600 000
Parafoudre	9	65 000	585 000
Disjoncteurs	12	55 000	660 000
Fusibles batfuse	3	676 781	2 030 342
Puits de terre	4	62 500	250 000
Coffret AC+DC	3	53 000	159 000
Coffret de regroupement	1	300 000	300 000
SMA multi cluster box 12.3	1	7 902 575	7 902 575
Inverseur	1	150 000	150 000
Support et intégration	240	17 000	4 080 000
Coûts estimés			
Câbles			300 000
Transport et montage			524 000
Ingénierie			2 500 000
Investissement sans taxes			113 475 240
Taxes sur investissement taux 18%			20 425 543
Investissement net(TTC)			133 900 783
Assurance/an			334 752
Coût d'exploitation /an			2 008 512

Exploitation=1,5% de investissement

Assurance = 0,25% de investissement

Annexe 11 : Notes de calcul rentabilité

Notes de calcul pour l'année 1.

Dépenses année n = cost(n) = coût assurance année n + coût exploitation année n

AN *Dépenses année 1 = 334 752 + 2 008 512*

$$\text{dépenses année 1} = 2\,343\,264 \text{ F CFA}$$

Actualisation année n = $(1+r)^n$, avec taux d'actualisation = 8% pour le PV.

AN *Actualisation année 1 = $(1 + 0,08)^1 = 1,08$*

$$\text{Dépenses actualisées année 1} = \frac{\text{dépenses année 1}}{\text{Actualisation année 1}}$$

AN *Dépenses actualisées année 1 = $\frac{2\,343\,264}{1,08}$*

$$\text{dépenses actualisées année 1} = 2\,169\,688 \text{ F CFA}$$

Energie produit à l'année n = $I \times Tf \times \eta \times (1 - d)^n \times Pc$

AN *Energie produit à l'année 1 = $2\,100 \times 1 \times 0,77 \times (1 - \frac{0,6}{100})^1 \times 60$*

$$\text{Energie produit à l'année 1} = 96\,437 \text{ kWh}$$

$$\text{Energie actualisée année 1} = \frac{\text{Energie produit à l'année 1}}{\text{Actualisation année 1}}$$

AN *Energie actualisée année 1 = $\frac{96\,437}{1,08}$*

$$\text{Energie actualisées année 1} = 89\,294 \text{ kWh}$$

CF année 1 = prix de vente de l'énergie année 1 – dépenses actualisées année 1

AN *CF année 1 = $0,332 * 655 * 89\,294 - 2\,169\,688$*

$$\text{CF année 1} = 17\,278\,257 \text{ F CFA}$$

Net Present Value année 1 = –coût installation + CF année 1

AN *Net Present Value année 1 = $-133\,900\,783 + 17\,278\,257$*

$$\text{Net Present Value année 1} = -116\,652\,525 \text{ F CFA}$$

$$\text{LCOE} = \frac{\text{coût installation} + \sum_{n=1}^N \frac{\text{cost}(n)}{(1+r)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{E(n)}{(1+r)^n}}$$

Avec $\sum_{n=1}^N \frac{\text{cost}(n)}{(1+r)^n}$ est la somme des dépenses pour 25 ans de vie de la centrale. $\sum_{n=1}^N \frac{E(n)}{(1+r)^n}$ est la somme de l'énergie produite pour 25 ans de vie de la centrale.

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Boussé

Annexe 12 : Rentabilité projet

SYSTEME PV	
Coût investissement TTC(FCFA)	133 900 783
coût assurance par an(FCFA)	334 751
coût exploitation par an(FCFA)	2 008 511

Parameter	Unit	PV
number of kW installed	W	60 000
Cost of the system installed	€·W-1	3,407
Operation and maintenance costs (share of the cost of the system installed)	%	1,5
Annual insurance rate (share of the cost of the system installed)	%	0,25
Solar resource (I)	kWh·m-2·year-1	2 100
Tracking factor (T_f)	-	1
Performance factor (η)	m ² ·kW-1	0,77
Annual output degradation rate (d)	%	0,6
Lifetime of the system	Year	25
kWh selling price	€/kWh	0,332

années	1	2	3	4	5
dépenses(FCFA)	2 343 263	2 343 263	2 343 263	2 343 263	2 343 263
Actualisation (1+r^n)	1,080	1,166	1,260	1,36	1,46
dépenses actualisés(FCFA)	2 169 688,614	2 008 970	1 860 158	1 722 368	1 594 785
énergie (kWh)	96 437	95 859	95 284	94 712	94 144
énergie actualisé (kWh)	89 294	82 183	75 639	69 616	64 072
cash flow (FCFA)	17 248 257	15 862 730	14 588 426	13 416 421	12 338 508
NPV par année(FCFA)	-116 652 525	-100 789 794	-86 201 368	-72 784 946	-60 446 438

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Bousié

années	6	7	8	9	10	11	12
dépenses(FCFA)	2 343 263	2 343 263	2 343 263	2 343 263	2 343 263	2 343 263	2 343 263
Actualisation (1+r^n)	1,587	1,714	1,851	1,999	2,159	2,332	2,518
dépenses actualisés(FCFA)	1 476 653	1 367 271	1 265 992	1 172 215	1 085 384	1 004 985	930 542
énergie (kWh)	93 579	93 017	92 459	91 904	91 353	90 805	90 260
énergie actualisé (kWh)	58 970	54 274	49 953	45 975	42 314	38 944	35 843
cash-flow (FCFA)	11 347 137	10 435 365	9 596 805	8 825 581	8 116 291	7 463 964	6 864 028
NPV par année(FCFA)	-49 099 301	-38 663 936	-29 067 131	-20 241 549	-12 125 257	-4 661 293	2 202 735

années	13	14	15	16	17	18	19
dépenses(FCFA)	2 343 263	2 343 263	2 343 263	2 343 263	2 343 264	2 343 264	2 343 264
Actualisation (1+r^n)	2,720	2,937	3,172	3,426	3,700	3,996	4,316
dépenses actualisés(FCFA)	861 613	797 790	738 694	683 976	633 311	586 399	542 962
énergie (kWh)	89 718	89 180	88 645	88 113,696	87 585	87 060	86 537
énergie actualisé (kWh)	32 989	30 362	27 944	25 719	23 672	21 787	20 052
cash-flow (FCFA)	6 312 278	5 804 847	5 338 177	4 908 996	4 514 295	4 151 305	3 817 480
NPV par année(FCFA)	8 515 013	14 319 861	19 658 038	24 567 035	29 081 331	33 232 636	37 050 116

Conception d'une mini-centrale avec stockage pour l'électrification du CMA de Bousé

années	20	21	22	23	24	25
dépenses(FCFA)	2 343 264	2 343 264	2 343 264	2 343 264	2 343 264	2 343 264
Actualisation (1+r^n)	4,661	5,034	5,437	5,871	6,341	6,848
dépenses actualisés(FCFA)	502 743	465 503	431 021	399 094	369 531	342 158
énergie (kWh)	86 018	85 502	84 989	84 479	83 972	83 468
énergie actualisé (kWh)	18 455	16 985	15 633	14 388	13 242	12 188
cash-flow (FCFA)	3 510 479	3 228 148	2 968 506	2 729 730	2 510 146	2 308 211
NPV par année(FCFA)	40 560 595	43 788 744	46 757 250	49 486 980	51 997 125	54 305 336

NPV(FCFA)	54 305 336
LCOE (FCFA)	162,075

Annexe 13 : Local technique

