



Soltech Burkina

**CONCEPTION ET ETUDE COMPARATIVE DE DEUX MINI
CENTRALES PHOTOVOLTAÏQUES DE MEME PUISSANCE EN
MILIEU RURAL AU BURKINA – FASO**

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

Présenté et soutenu publiquement le 28/01/2020

par **Fanta TOUNKARA 20110126**

Encadreur 2iE :
Dr Y. Moussa SORO
Chef du département Génie Electrique,
Energétique et Industriel à 2iE

Maître de stage :
Mme LILIANE OUBDA
Directrice technique de Soltech Burkina

Jury d'évaluation du stage :

Président : Ing Justin BASSOLE

Membre : Ing Madieumbe GAYE

Promotion [2019 / 2020]

DEDICACES



REMERCIEMENTS

C'est avec beaucoup de joie et d'émotion que j'achève ce mémoire. Ce travail n'aurait pas vu le jour sans l'appui et la confiance que m'ont témoigné de nombreuses personnes. Il est donc très important pour moi de remercier ici toutes ces personnes qui ont jouées un rôle dans l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements s'adressent à :

- ✚ **DIEU** Le Tout Puissant grâce à qui nous avons eu la santé, l'inspiration, la force et la connaissance tout le long de ce stage.
- ✚ **Dr Y. Moussa SORO**, mon encadreur de mémoire, pour ses soutiens multiformes : son temps, son assistance et ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail et de faire aboutir ce mémoire.
- ✚ La Directrice Générale de **SOLTECH BURKINA SARL** ainsi qu'à l'ensemble du personnel du service pour les conseils qu'ils ont pu me prodiguer au cours de mon stage.
- ✚ **Mme LILIANE OUBDA**, mon maître de stage. Ce fut pour moi un immense plaisir et une chance de pouvoir travailler à ses côtés.
- ✚ Mes remerciements vont également à l'endroit du Directeur de 2IE; tout le corps professoral et le personnel administratif, qui œuvrent sans cesse pour le rayonnement de cet Institut.
- ✚ Toute ma famille, pour l'intérêt et le soutien qu'ils nous ont généreusement accordé, et à tous ceux qui de près ou de loin, d'une façon ou d'une autre, ont participé à notre réussite.
- ✚ Mes ami(e)s et camarades.

RESUME

Le présent travail aborde la faisabilité de réalisation d'électrification dans les localités de Gorom Gorom et de Toma. L'étude s'inscrit dans l'optique de contribuer à l'amélioration de l'électricité en milieu rural au Burkina Faso. Dans le cadre de notre stage de fin de cycle d'ingénieur, SOLTECH nous a confié l'étude de la conception de deux centrales solaires photovoltaïques dans les localités de Gorom-Gorom et de Toma. Le projet sur l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour répondre aux besoins énergétiques des CMA était alors orienté vers le solaire photovoltaïque autonome. Pour ce faire, il était primordial de recueillir les données liés aux besoins énergétiques des districts sanitaires, afin d'évaluer leur demande énergétique. Une fois, les besoins connus, le dimensionnement des différents composants des centrales a été réalisé. Cependant, vu que les centrales étaient construites en parallèle et que les besoins énergétiques étaient quasiment identiques, il nous a été demandé de faire un même dimensionnement. Ce qui a permis d'obtenir une puissance crête de 30,72kWc dans chacun des CMA afin de compenser le déficit électrique lors des délestages. Par ailleurs, une étude comparative de la production électrique entre les deux centrales a été menée car elles avaient les mêmes puissances crêtes et étaient situées dans des localités différentes. De l'analyse comparative, nous retenons que les productions électriques étaient pratiquement similaires mais il faut noter que la centrale PV de Gorom produisait légèrement mieux que celle de Toma. Les résultats obtenus à l'issue du dimensionnement nous ont permis d'entamer l'étude économique afin de s'assurer de la faisabilité du projet. Ainsi, il a été noté que pour une demande énergétique de 115.728 kWh à satisfaire, les coûts totaux d'investissement s'élèvent à 146 353 374,85 FCFA dans les deux sites soit 76 877 101,95 FCFA pour la centrale de Gorom Gorom et 69 476 272,9 FCFA pour celle de Toma.

Mots clés :

1. Centrales solaires photovoltaïques
2. Autonome
3. Etude de faisabilité
4. Dimensionnement
5. Analyser expérimentalement

ABSTRACT

The present work deals with the feasibility of carrying out electrification in the localities of Gorom Gorom and Toma. The study is in line with the aim of contributing to the improvement of electricity in rural areas in Burkina Faso. Within the framework of our end-of-engineering cycle internship, we were therefore entrusted with the design study to design two photovoltaic solar power plants in the localities of Gorom-Gorom and Toma. The project on the use of photovoltaic solar energy to meet the energy needs of the CMAs was then oriented towards autonomous photovoltaic solar energy. In order to do so, it was essential to collect data related to the energy needs of the health districts in order to assess their energy demand. Once the needs were known, the dimensioning of the different components of the plants was carried out. However, since the plants were built in parallel and the energy needs were almost identical, we were asked to do the same dimensioning. This allowed us to obtain a peak power of 30.72 kWp in each of the MAC in order to compensate for the electricity deficit during load shedding. In addition, a comparative study of the power production of the two power stations was carried out because they had the same peak power and are located in different locations. From the comparative analysis, we note that the electricity production was almost similar but it should be noted that the Gorom PV plant produced slightly better than the Toma plant. The results obtained after the sizing allowed us to start the economic study in order to ensure the feasibility of the project. Thus, it was noted that for an energy demand of 115,728 kWh to be satisfied, the total investment costs amount to 146,353,374.85 FCFA in both sites, 76,877,101.95 FCFA for the Gorom Gorom central and 69,476,272.9 FCFA for the Toma central.

Keywords :

1. Photovoltaic solar power plants
2. Autonomous
3. Feasibility study
4. Sizing
5. Experimentally analyse

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

2IE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
A	:	Ampère
Ah	:	Ampèreheure
AC	:	Alternative Current
CdTe	:	Tellure de cadmuin
CIGS	:	Cuivre Indium Gallium et Sélénium
CIS	:	Cuivre Indium Gallium et Sélénium
CMA	:	Centres Médicaux avec Antenne chirurgicale
CO₂	:	Dioxyde de carbone
DC	:	Direct current
DG	:	Directrice Générale
Dn	:	Distance
E	:	Irradiance
E_i	:	Ensoleillement dans les condition de tests standard
Emoy	:	Ensoleillement moyen
h	:	Heure
kWc	:	Kilowatt crête
kWh	:	Kilo Watt Heure
L	:	Longueur
MC-BOX	:	Multi cluster Box
Min	:	Minute
N_{bs}	:	Nombre de batteries en série
N_{bp}	:	Nombre de batteries en parallèle
NO_x	:	Oxyde d'azote
Pc	:	Puissance crête

PNDES	:	Plan National de Développement Economique et Social
PV	:	Photovoltaïque
P	:	Puissance produite
Ray	:	Rayonnement
Rbat	:	Rendement de la batterie
SARL	:	Société Anonyme à Responsabilité Limitée
S	:	Section de câbles
SONABEL	:	Société National de Production d'Electricité du Burkina Faso
STC	:	Standard Test Condition
STP	:	Sunny TriPower
SO₂	:	Dioxyde de soufre
T_{amb}	:	Température ambiante
T_{mod}	:	Température modules
T_{moy}	:	Température moyenne des panneaux
Un	:	Tension nominale
U_{co}	:	Tension à vide
V_{sys}	:	Tension du système
V_{nbat}	:	Tension nominal des batteries
STP	:	Onduleur
V	:	Volts
W	:	Watt
W_c	:	Watt crête
X	:	Réactance

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

LISTE DES TABLEAU

Tableau 1 : Bilan de puissance du bâtiment à sécuriser de Gorom-Gorom	6
Tableau 2: Bilan de puissance du bâtiment à sécuriser de Toma	7
Tableau 3 : Caractéristique du rayonnement	8
Tableau 4 : Vue d'ensemble sur la Configuration des sites	17
Tableau 5 : Caractéristique du module SW 320	20
Tableau 6 : Valeur des sections de câble	22
Tableau 7 : Valeur de la chute de tension	23
Tableau 8 : caractéristiques des équipements de protection	28
Tableau 9 : Typologie de déchets	44
Tableau 10 : impacts et Mesures d'atténuations	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : l'organigramme de la société	4
Figure 2 : Géolocalisation des CMA de Gorom - Gorom et de Toma	5
Figure 3 : Inventaire des technologies PV	10
Figure 4 : Onduleur STP 15000 TL-30	11
Figure 5 : Batteries 2 V OPzV	13
Figure 6 : Onduleur Sunny Island 8.0H	14
Figure 7 : Le logiciel Sunny design	15
Figure 8 : Evaluation de la configuration de Gorom – Gorom et Toma	16
Figure 9 : Schéma et plans d'installation	19
Figure 10 : Schéma illustratif de l'installation du local technique	27
Figure 11 : Plan de l'aménagement du site de Gorom-Gorom	29
Figure 12 : Plan de l'aménagement du site de Toma	29
Figure 13 : Ensoleillement en fonction du temps	33
Figure 14 : Puissance en fonction du temps	34
Figure 15 : Production évolutive de l'ensoleillement	35
Figure 16 : Production évolutive de la puissance	36

Figure 17 : Pertes de puissance due à la température.....	37
Figure 18 : Production journalier : Puissance- Température.....	38
Figure 19 : Puissance en fonction du temps	39
Figure 20 : Puissance en fonction du temps	40

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Caractéristiques des modules photovoltaïques	50
Annexe 2 : Caractéristiques des onduleurs réseaux photovoltaïques.....	52
Annexe 3: Caractéristiques des batteries HOPPECKE, série OPzV	53
Annexe 4 : Sunny Remote Contrôle.....	54
Annexe 5 : Caractéristiques des Sunny Island	55
Annexe 6 : Résumé des calculs dans les différentes sections	56
Annexe 7 : Protection contre les surtensions	57
Annexe 8 : Caractéristiques du Multicluster	58
Annexe 9 : Liste des matériels	59
Annexe 10 : caractéristiques de la Webbox	60
Annexe 11 : caractéristiques de la Sensor box	61
Annexe 12 : Données mensuelles de la production des STP de Gorom-Gorom et Toma	62
Annexe 13 : Données journalières de la production des onduleurs de Gorom-Gorom et Toma	63
Annexe 14 : Les paramètres et valeurs de la production des STP à Toma	64
Annexe 15 : Les paramètres et valeurs de la production des STP à Toma	65
Annexe 16 : Estimation du coût d'investissement du projet.....	66

SOMMAIRE

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	vii
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES ANNEXES	viii
INTRODUCTION	1
CONTEXTE	2
CHAPITRE 1: GENERALITES	3
1.1 Objectif	3
1.2 Approches méthodologiques	3
1.3 Présentation de la structure d'accueil	3
CHAPITRE 2: CONCEPTION ET CHOIX DES COMPOSANTS DE LA CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE	5
1.4 2.1. Localisation des sites d'installations	5
1.5 2.2. Dimensionnement du champ photovoltaïque	6
1.6 2.3. Configuration des systèmes photovoltaïques	15
1.7 2.4. Fonctionnement des centrales	17
2.5. Dimensionnement des câbles électriques et calcul de chute de tension	20
1.8 2.6. Protection des installations	23
2.7. Plan de l'aménagement des centrales	29
2.8. Système de communication et de surveillance de l'installation	30
2.9. Maintenance et entretien de l'installation	30
CHAPITRE 3 : ETUDE COMPARATIVE DES DEUX SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES	32
3.1. Enregistrement des données	32
3.2 Evolution de l'ensoleillement journalière des centrales	33
3.3 Evolution de la puissance journalière des centrales	34
3.3 Evolution de l'ensoleillement solaire mensuelle des centrales	35
3.4 Evolution de la production solaire mensuelle des centrales	36
3.5 Estimation des pertes d'énergie dues à la température	36
CHAPITRE 4: ANALYSE SOCIO-ECONOMIQUE ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	41
4.1 Évaluation financières du projet	41
4.2. Impacts environnemental et social	42
4.3 Programme de suivi environnemental et social	46
RECOMMANDATIONS	47
CONCLUSION	48
BLIOGRAPHIE	49
ANNEXE	50
DEDICACES TABLE DES MATIERES	Erreur ! Signet non défini.

INTRODUCTION

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources fossiles de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et du développement de l'industrie ces dernières années. L'augmentation des coûts énergétiques et les contraintes environnementales poussent donc vers la mise au point de solutions technologiques permettant une meilleure maîtrise des ressources et de réduire les inconvénients climatiques. C'est ainsi que les énergies renouvelables et propres telles que le solaire, l'éolien et la bioénergie sont de plus en plus conseillées pour une préservation de l'environnement.

C'est dans ce cadre que le ministère de l'énergie pour l'un de ces projets de développement d'électrification dans les localités du Burkina, a décidé de mettre en place des systèmes solaires avec stockage pour l'alimentation électrique de deux districts sanitaires situés dans les localités de Gorom-Gorom et Toma afin d'assurer la continuité de service d'approvisionnement en énergie. Dans ce système de production d'énergie, la consommation de carburant lors de l'utilisation d'un groupe électrogène sera réduite pendant les délestages

Pour effectif de notre stage de fin de cycle, il nous a été donc confié l'étude de la conception des deux centrales solaires photovoltaïques de 30.72 kWc dans les localités de Gorom-Gorom et de Toma et d'en étudier leurs rentabilités énergétiques. Le thème de ce mémoire a donc été formulé dans l'optique de produire un document technique de faisabilité de l'installation des centrales solaires photovoltaïques pour la satisfaction des besoins en énergie de chaque site.

Les mini centrales photovoltaïques sont dimensionnées pour couvrir une partie des besoins énergétiques du CMA. C'est pourquoi dans le cadre de la présente étude, il a été ciblé les charges prioritaires à savoir ceux du bloc opératoire et le local techniques des centrales.

Ce document est subdivisé en quatre parties. La première partie qui est plus générale, présente les objectifs et la structure d'accueil. La deuxième partie traite le dimensionnement des centrales photovoltaïques. Quant à la troisième partie, il sera question d'analyser et de comparer les productions solaires des systèmes PV. La dernière partie est dédiée aux aspects, économiques, sociaux et environnementaux du projet.

CONTEXTE

Dans le cadre de son programme d'Électrification des Centres Médicaux avec Antenne Chirurgicale (CMA), le Ministère de l'énergie a lancé le début des travaux dans certaines localités du Burkina. De ce fait, 14 CMA et 26 villages sont en train d'être dotés de mini-réseau off-Grid solaires et 175 localités d'électrification solaire décentralisée.

Le contexte politique, économique et énergétique est actuellement favorable à une insertion des énergies renouvelables dans les réseaux électriques, notamment l'énergie solaire. Rendre l'énergie accessible, disponible et à moindre coût constitue une des priorités clairement affichée par le Ministère de l'Énergie. Cela est distinctement décliné dans le Plan National de Développement Economique et Social (PNDES) et le début de réalisation du vaste programme électrification solaire en est une preuve palpable.

Ainsi donc, la société SOLTECH BURKINA FASO SARL aura pour mission de mettre en place la construction de deux mini centrales solaires dans les CMA de Gorom-Gorom et Toma. Pour le corps soignant de ces localités, cette électricité en plus d'être de l'énergie propre, permettra de soulager ces hôpitaux en cas de déficit énergétique.

C'est dans ce cadre que SOLTECH BURKINA FASO SARL nous a confié la conception des deux centrales PV. Notre travail porte donc sur deux systèmes photovoltaïques ayant la même puissance crête soit 30.72 kWc situés dans des localités différentes. Notre objectif est de concevoir les mini centrales et d'effectuer expérimentalement une comparaison de leurs performances énergétiques.

CHAPITRE 1: GENERALITES

1.1 Objectif

L'objectif général de cette étude consiste à concevoir et à comparer les performances énergétiques photovoltaïques deux mini centrales de 30,72 kWc, l'un installé en toiture et l'autre au sol, respectivement à Gorom-Gorom et à Toma. Afin d'atteindre ces objectifs, un certain nombre d'étapes sera suivit et illustré dans l'approche méthodologique ci-dessous.

1.2 Approches méthodologiques

Pour mener à bien cette étude, l'approche méthodologique adoptée s'est articulée autour des principaux axes suivants :

- Identification des sites abritant les centrales ;
- Dimensionnement des centrales solaires;
- Définition des composantes clés de la centrale solaire ;
- Présentation des configurations;
- Détermination du système optimale.
- Evaluation financière ;
- Evaluation de l'impact social et environnementale du projet;

1.3 Présentation de la structure d'accueil

SOLTECH BURKINA FASO est une (SARL), créée en 1989, au capital social de 5 000 000 F CFA. Elle évolue dans le domaine de l'énergie. En effet, elle offre une large gamme de produits et accompagne dans la stratégie de développement. Cette entreprise intervient dans de nombreux projets majeurs. Soucieux des problèmes d'énergie et d'environnement, **SOLTECH BURKINA FASO** conçoit et fournit des solutions innovantes à base des énergies renouvelables afin d'appuyer la société nationale d'électricité.

SOLTECH BURKINA FASO est un bureau d'étude dont les domaines d'intervention portent sur l'énergie, l'environnement et le développement local. Ses activités s'étendent autour des principaux domaines suivants :

- Solaire (conception et installation des systèmes photovoltaïques autonomes, installation photovoltaïque secours avec ou sans groupe électrogène, kits solaires pour l'éclairage, électricité bâtiment, chauffe-eau solaire et pompes solaires) ;
- Expertise énergétique (étude en optimisation énergétique des bâtiments industriels et commerciaux, étude et conception de système industriel à très haut rendement, conseils en Ingénierie et Technologie).

L'entreprise dispose d'un personnel varié lui permettant d'intervenir dans différents niveaux de mise en œuvre d'actions de développement. Elle obéit à l'organisation structurelle suivante :

- ✓ Une directrice générale
- ✓ Une secrétaire
- ✓ Une direction technique
- ✓ Une direction administrative et financière
- ✓ Une direction logistique

Ainsi l'organigramme de la société est structuré comme l'indique à figure suivante :

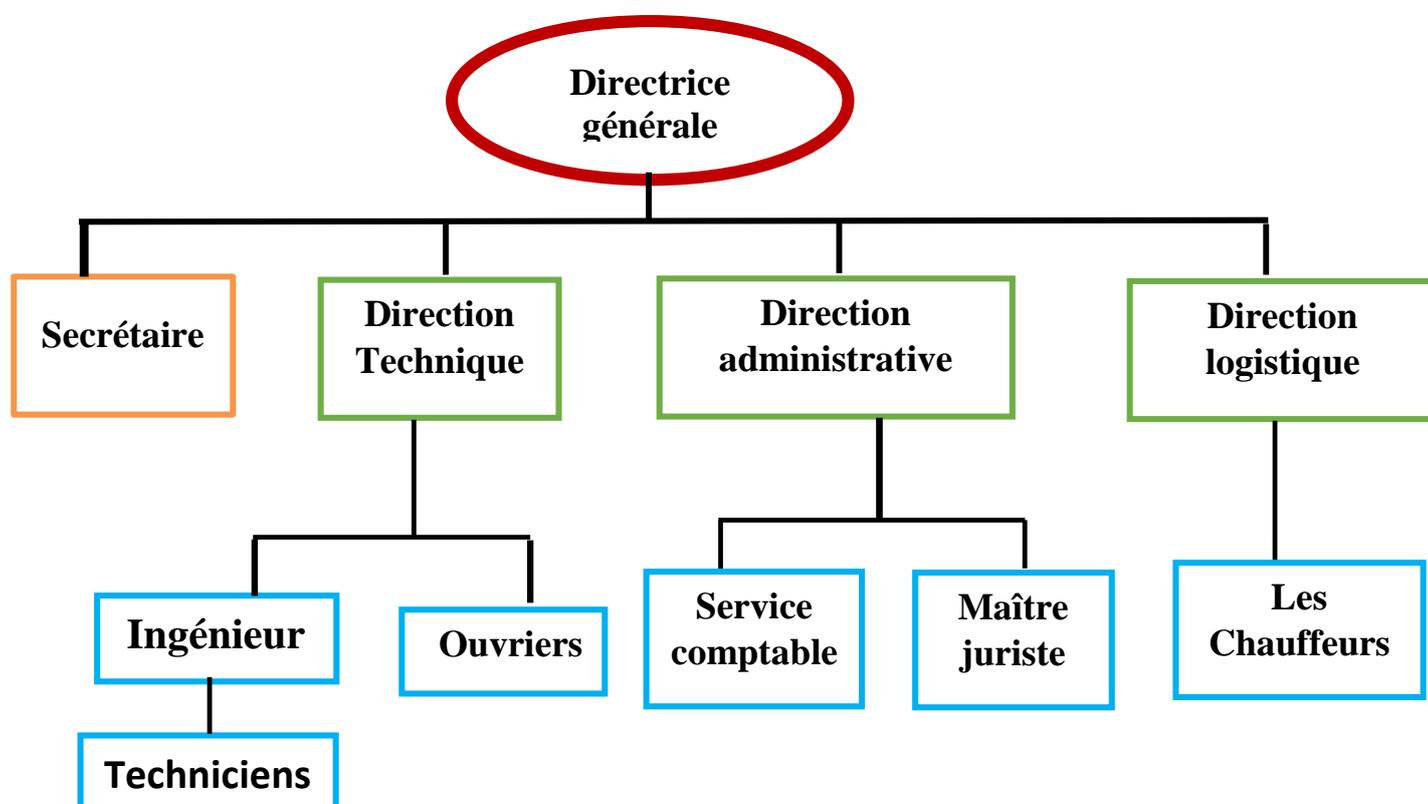


Figure 1 : l'organigramme de la société

CHAPITRE 2: CONCEPTION ET CHOIX DES COMPOSANTS DE LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

1.4 2.1. Localisation des sites d'installations

Les deux sites d'installation sont situés au Burkina Faso, l'un à Gorom-Gorom et l'autre à Toma.

- Gorom – Gorom est un département et une commune urbaine, situé dans la province de l'Oudalan et dans la région du Sahel, ayant pour coordonnées géographiques (14°26'48" Nord, 0°13'50" Ouest).
- Toma est un département situé dans la province de Nayala et dans la région de la boucle du Mouhoun avec pour coordonnées géographiques (12°46'12" Nord, 2°51'28" Ouest).



Figure 2 : Géolocalisation des CMA de Gorom - Gorom et de Toma

1.5 2.2. Dimensionnement du champ photovoltaïque

Le dimensionnement du champ PV a pour but de déterminer les composants de l'installation photovoltaïque en considérant certains paramètres de chaque site tels que les coordonnées géographiques, l'irradiation moyenne journalière de chaque mois de l'année via le site de RETScreen et le besoin énergétique. Ainsi, pour l'alimentation d'une installation solaire autonome, il est important de faire un certain nombre de calculs et de suivre des étapes afin de déterminer le matériel adapté permettant de satisfaire les besoins énergétiques. De ce fait, cette partie consiste à déterminer les principales caractéristiques techniques des centrales notamment le nombre de panneaux solaires, d'onduleurs, des batteries, les sections de câbles et les éléments de protection. Cependant il faut noter que le dimensionnement des deux centrales est identique.

2.2.1. Estimation du besoin

Le recensement des équipements des bâtiments à sécuriser des deux CMA ayant presque les mêmes puissances a permis d'établir la consommation globale énergétique journalière de chaque site estimée comme l'indique le Tableau 1 et le Tableau 2:

Tableau 1 : Bilan de puissance du bâtiment à sécuriser de Gorom-Gorom

Désignation	Puissance(W)	Nombre	Puissance totale(W)	Temps (h)	besoin journalière(Wh)
Lampes chirurgicale	1300	2	2600	8	20800
Stérilisateurs	1000	2	2000	2	8000
Réfrigérateur	165	1	165	8	1320
Moniteur de surveillance	150	1	150	8	1200
Défibrillateur automatique	300	1	300	2	2400
Climatiseurs	2200	4	6600	8	52800
Electro Bistouri	100	1	100	8	800
Lampes	20	7	140	8	1120
Energie totale jour (Wh)					96440
Energie totale jour (Wh) avec application d'un coefficient de sécurité de 20%					115 728

Tableau 2: Bilan de puissance du bâtiment à sécuriser de Toma

Désignation	Puissance(W)	Nombre	Puissance totale (W)	Temps (h)	Besoin journalière (Wh)
Lampes chirurgicale	1300	2	2600	8	20800
Stérilisateurs	1000	2	2000	2	16000
Réfrigérateur	75	1	75	8	600
Moniteur de surveillance	100	1	100	8	800
Défibrillateur automatique	300	1	300	2	900
Climatiseurs	2200	4	6600	8	52800
Electro Bistouri	100	1	100	8	800
Lampes	20	6	120	8	960
Energie totale jour (Wh)					95 160
Energie totale jour (Wh) avec application d'un coefficient de sécurité de 20%					114 192

Au regard de ces deux besoins énergétiques, le plus grand besoin a été utilisé pour le dimensionnement des centrales soit **115.728 kWh**.

2.2.2. Estimation de la ressource solaire

Les données météorologiques extraites du logiciel Retscreen pour la localité de Gorom - Gorom et de Toma sont présentées dans le tableau ci-dessous.

a) Estimation du rayonnement solaire

Tableau 3 : Caractéristique du rayonnement

Mois	Gorom - Gorom			Toma		
	Température ambiante	Ray solaire quotidien dans le plan des modules kWh/m ² /j	Ray solaire quotidien horizontale kWh/m ² /j	Température ambiante	Ray solaire quotidien dans le plan des modules kWh/m ² /j	Ray solaire quotidien horizontale kWh/m ² /j
Janvier	23,1	6,08	5,37	24,4	5,85	5,38
Février	26,4	6,93	6,33	26,6	6,52	6,23
Mars	30,2	6,86	6,64	29,7	6,65	6,7
Avril	33,5	6,47	6,62	31,9	6,42	6,59
Mai	34,7	5,94	6,32	31,3	6,12	6,6
Juin	32,1	5,73	6,21	28,3	5,72	6,25
Juillet	30,2	5,49	5,89	26	5,48	5,98
Août	28,5	5,74	5,97	25,6	5,54	5,85
Septembre	29,8	6,25	6,2	26,8	5,76	5,8
Octobre	30,8	6,56	6,13	28,6	6,07	6,08
Novembre	27,4	6,46	5,71	28	5,98	5,69
Décembre	23,6	5,98	5,18	25,1	5,66	5,11

Il ressort de ces données que le mois d'août présente le rayonnement moyen journalier le plus défavorable de l'année, soit 5.74 kWh/m²/j dans la localité de Gorom - Gorom et 5.54 kWh/m²/j dans celle de Toma.

Pour le dimensionnement des centrales, C'est la valeur minimale du rayonnement moyen journalier du mois d'Août des deux sites qui a été utilisée, à savoir celui de Toma qui est de **5.54 kWh/m²/j**.

b) Orientation des panneaux

Le Burkina Faso se situe dans l'hémisphère Nord par conséquent les panneaux solaires sont orientés en plein Sud.

c) Inclinaison des panneaux

Afin de recueillir le maximum de rayonnement sur les capteurs, les panneaux seront inclinés suivant la latitude des sites.

Gorom – Gorom, étant situé à la latitude 14°26' Nord et Toma à la latitude de 12°45', les panneaux seront inclinés d'un angle de 15° et orientés plein Sud afin d'éviter également une stagnation de l'eau de pluie sur les panneaux et aussi permettre un auto-nettoyage des panneaux.

- Système de positionnement solaire : Fixe
- Inclinaison (°) : 15

2.2.3. Calcul de la puissance crête

En tenant compte des données météorologiques, déterminons la puissance crête des systèmes PV.

$$P_C = \frac{B_j}{H_i \times R_{bat} \times R_{gen}}$$

- B_j : besoins journalier
- P_c : puissance des champs
- R_{gen} : Rendement du générateur PV (Pertes dues à la poussière, à l'échauffement des modules, au transport, etc.). Valeur estimée à 85%.
- R_{bat} : Rendement des batteries (80%)

Donc, la puissance de crête donnera :

$$P_C = \frac{115.728}{5.54 \times 0.8 \times 0.85} = 30.72 \text{ kWc}$$

$$P_c = 30.72 \text{ kWc}$$

2.2.4. Choix des composants

Le choix des composants pour la conception d'une centrale solaire PV est un aspect très important car la rentabilité de la centrale en dépend fortement. Une étude sommaire sur la production d'électricité et les coûts des équipements a permis de choisir les composants clés de la centrale. En effet ce choix est fait sur la base des fabricants reconnus sur le marché mondial du photovoltaïque.

2.2.4.1. Les panneaux PV

D'une manière générale, il existe deux types de panneaux photovoltaïques à savoir: les panneaux en silicium cristallin et les panneaux en couches minces.

La figure suivante montre l'inventaire des technologies PV.

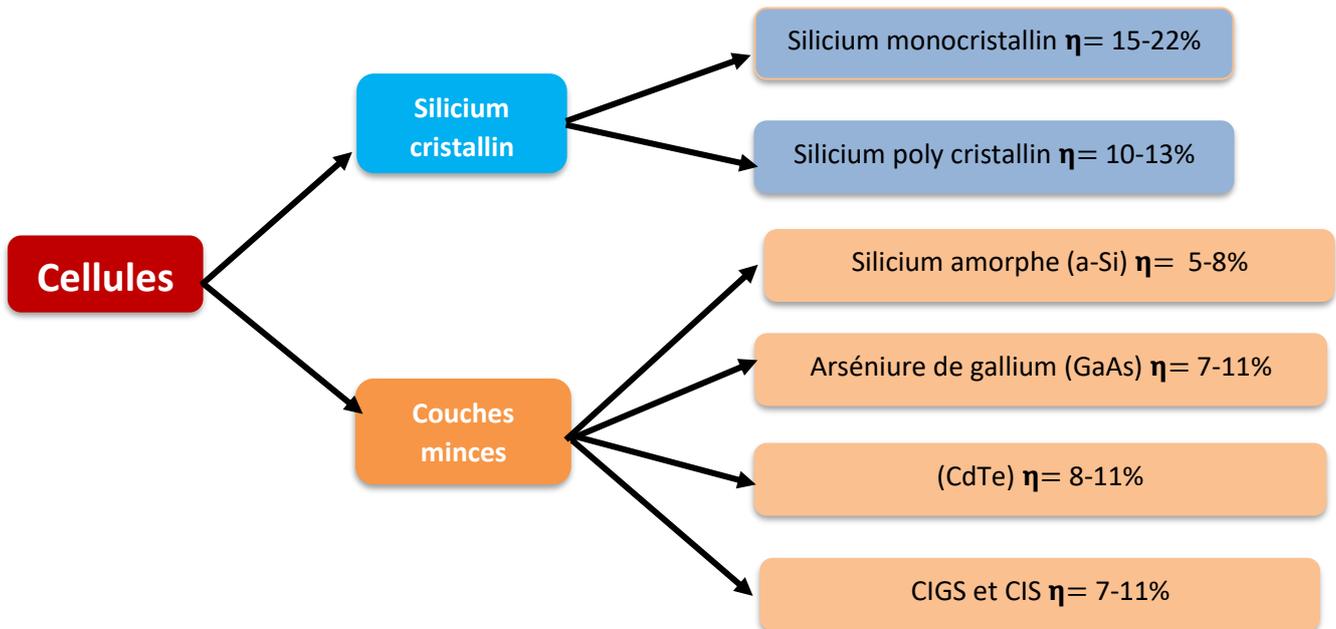


Figure 3 : Inventaire des technologies PV

Les modules en silicium monocristallin seront utilisés pour la centrale solaire PV. En effet, ce type de modules bénéficie d'un statut de technologie éprouvée et mature, donnant une meilleure visibilité sur les garanties de fabrication et d'installation, avec un très bon rendement (15-22%, voir figure 3) ce qui permet de réduire la surface d'utilisation.

Le panneau que nous choisissons est SPVS 320 Wc dont les caractéristiques et les conditions STC se trouve à (l'annexe 1).

2.2.4.2. Onduleurs réseaux

L'onduleur réseau, dispositif de transformation du courant continu en alternatif, est un composant très important dans un système PV devant alimenter des charges en courant alternatif. Il est directement raccordé à la sortie des chaînes des modules PV. Sa puissance

dépend exclusivement de la puissance crête du champ. Pour pallier la variation de cette dernière en fonction l'ensoleillement, la puissance de l'onduleur réseau, est souvent comprise entre 0.9 et 1.1 de la puissance crête.

$$P_{Ond} = 0.9 \times P_c \leq P_{Ond} \leq 1.1 \times P_c$$

Les onduleurs réseaux choisis sont de la marque SMA, de 15000TL triphasé et ont un rendement de 98,4%. (Voir fiche technique STP15000TL en annexe 2). Le fabricant Allemand SMA, en plus de sa gamme de produits mondialement reconnus avec des rendements élevés et des coûts relativement faibles.



Figure 4 : Onduleur STP 15000 TL-30

La configuration optimale devrait être celle qui respecte les critères suivants :

- intensité du courant maximal I_{cc} débité par le sous champ PV par entrée onduleur est 33A ;
- $U_{max,ond}$ est la tension entrée maximale à vide U_{oc} des modules est de 1000 V, par conséquent, le nombre maximal de panneaux en série est donné par l'équation suivante :

$$N_s = \frac{U_{max,ond}}{U_{oc} * 1.5} = 16 \text{ modules en série}$$

Nombre de branches parallèles :

$$N_p = \frac{P_c}{N_s * P_m} = 6 \text{ branches}$$

Avec P_m la puissance d'un module.

Le nombre total de module :

$$N = N_s * N_p = 96 \text{ modules}$$

2.2.4.3. Batteries de stockage

Le système de stockage d'énergie dans les installations photovoltaïques a pour rôle de permettre au système PV de fournir à tout moment de l'énergie aux équipements raccordés, quelles que soient les variations de l'ensoleillement pendant la journée et également la nuit. Ce dernier stocke l'énergie électrique sous forme chimique et la restitue pendant les périodes défavorables. Ce processus de stockage de l'énergie est dû à des réactions électrochimiques qui se produisent pendant l'opération de la charge et de la décharge de la batterie.

Pour, la détermination de la capacité des batteries, la formule ci-dessous sera utilisée:

➤ **Capacité minimal des batteries**

$$C_{\min} = \frac{B_j}{V_{\text{bat}} \times R_{\text{bat}} \times P_d} \times J_{\text{raut}}$$

Avec :

- B_j : Besoin journalier
- V_{bat} : Tension de la batterie
- R_{bat} : Rendement de la batterie
- P_d : Profondeur de décharge 80 %
- J_{raut} : Jour d'autonomie

Le nombre de jour d'autonomie est J_{raut} est fixé à de 19h de fonctionnement

La tension de la batterie correspond à celle admise à l'entrée de de l'onduleur/chargeur soit 48 V.

Donc, on aura :

$C_{\min} = 2982.35 \text{ Ah}$

L'accumulation de l'énergie produite est assurée par la combinaison de batteries solaires de la marque HOPPECKE, série OPzV à technologie Gel innovante avec une tension de 2 V avec une capacité de 3000 Ah voir (Fiche technique Batterie en annexe 3).

➤ **Nombre de batterie en série**

$$N_{bs} = \frac{V_{\text{syst}}}{V_{n_{\text{bat}}}}$$

Notons que la tension de service V_{sys} , est la tension DC maximale admise à l'entrée de l'onduleur chargeur.

$N_{\text{bs}} = 24$ batteries en série

➤ **Nombre de batterie en parallèle**

$$N_p = \frac{C_{\text{min}}}{C_{\text{bat}}}$$

$N_p = 2$ branches en parallèle

Ainsi, nous aurons au total deux (02) branches de 24 batteries connectées en série donnant ainsi une tension de 48V soit 24 batterie de 2V avec une capacité de 1500 Ah. Ces accumulateurs ont une durée de vie de 10 ans en maintien de charge (floating) et 1600 cycles à 80 % de décharge à 20°C.

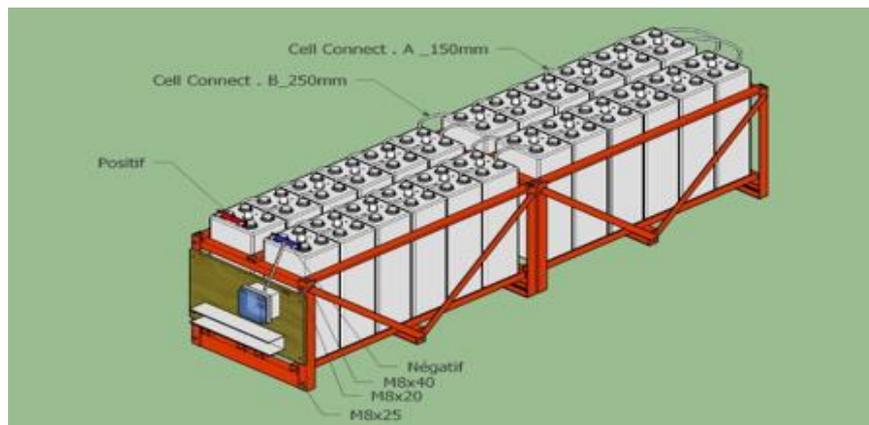


Figure 5 : Batteries 2 V OPzV

2.2.4.5. Les onduleurs chargeurs

Tout comme les onduleurs réseaux, l'onduleur chargeur choisit est le Sunny Island de marque SMA.



L'onduleur-chargeur est l'élément central d'un système à couplage AC. Il est le plus sollicité parce qu'il assure plusieurs fonctions à la fois. En effet, il assure en permanence l'équilibre entre puissance produite et puissance consommée, et dispose d'un système de gestion de batterie, de générateurs et de pilotage de charges. Il permet le fonctionnement en parallèle de la centrale. Ces onduleurs, dotés de multifonctions, assurent la conversion de l'énergie alternative en continue pour la charge des batteries et du continue en alternatif pour l'alimentation des récepteurs (le local technique et le bloc opératoire). Les Sunny Island sont accompagnés du Sunny Remonte Control (voir annexe 4) qui est une unité de commande et de visualisation permettant la programmation intelligente des Sunny Island.

Le choix de l'onduleur chargeur se fera en fonction de la puissance maximale du champ et la tension pouvant être délivrées par les batteries. Le choix des onduleurs chargeur est fait grâce au diagramme de tension DC et plage de puissance des produits Sunny Island (voir annexe 5). Compte tenu de la puissance installée et de la tension des batteries, nous choisissons l'onduleur chargeur type 8.0H dont les caractéristiques sont illustrées en annexe 6. Le raccordement des onduleurs chargeurs se fait via les systèmes multi-clusters qui sont composés de plusieurs clusters triphasés. Le système cluster consiste à connecter trois (03) onduleurs Sunny Island de même type à un jeu de batteries. nous aurons au total six (06) onduleurs Sunny Island repartis en deux (02) groupes (deux clusters) de trois (03) onduleurs dont le premier considéré comme Main (maitre) et le deuxième EXTENSION (l'extension). Chaque groupe assure la charge d'un banc de batteries de 48V.

Ainsi pour une bonne coordination des informations entre les Sunny Island, ils seront raccordés selon la configuration « maître-esclave » :

- Un seul est « maître »
- et les deux autres sont des « esclaves : du slave1 et du Slave2 ».

Le maître renferme l'affichage de l'état de la centrale et c'est lui qui enclenche la mise en service des autres dès qu'il atteint sa puissance nominale. Le deuxième groupe des trois autres onduleurs est constitué de l'Extension Master (maitre par extension), du slave1 et du Slave2.

Les différents clusters sont chacun raccordés à une Multi-cluster-Box. La MC-BOX 12 est un composant de la technologie multi-cluster SMA pour les réseaux en site isolé. Il joue le rôle de distributeur principal AC, auquel peuvent être raccordé quatre clusters.

2.3. Configuration des systèmes photovoltaïques

Le logiciel « Sunny Design », établi par SMA Solar Technology AG est un logiciel conçu pour la conception et le dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Dans notre cas, il servira d'aide à la configuration des systèmes.

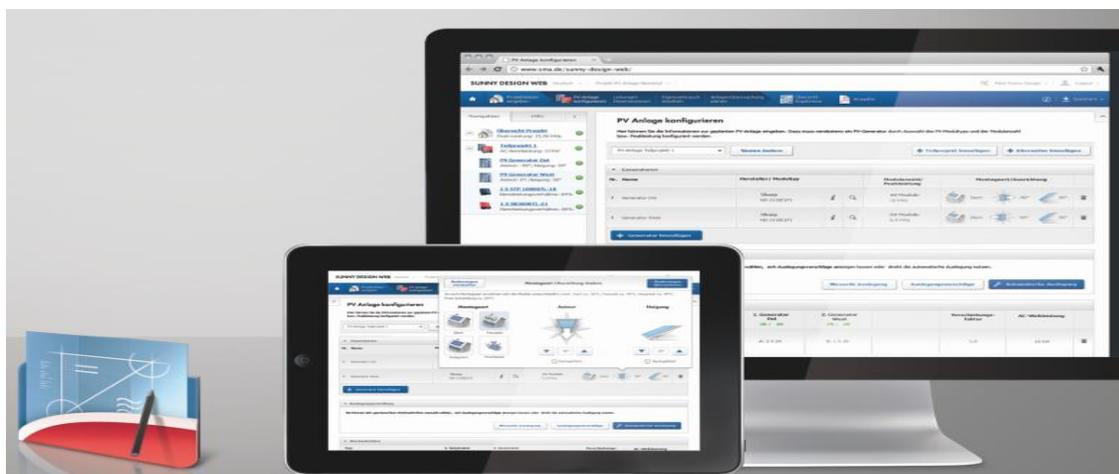


Figure 7 : Le logiciel Sunny design

Le logiciel tient compte des spécificités d'entrée des onduleurs réseaux. Parmi les paramètres à prendre en compte, nous avons la tension minimale d'entrée de l'onduleur, des seuils de tension de fonctionnement. Après simulation sur Sunny Design 3, la configuration suivante est adoptée comme indiquée sur la figure ci-dessous.

Évaluation de la configuration

Nom du projet: CMA de Gorom Gorom_30.72KW
 Numéro de projet: 01

Site: Burkina Faso / Dori
 Température ambiante:
 Température minimale: 14 °C
 Température de configuration: 32 °C
 Température maximale: 44 °C

部分項目 1

1 x STP 15000TL-30 (Array_1)

Puissance de crête:	15,36 kWp
Nombre total de panneaux photovoltaïques:	48
Nombre d'onduleurs photovoltaïques:	1
Puissance DC max. (cos φ = 1):	15,33 kW
Puissance active AC max. (cos φ = 1):	15,00 kW
Tension du réseau:	380V (220V / 380V)
Rapport de puissance nominale:	100 % 
Coefficient de dimensionnement:	102,4 %
Facteur de déphasage (cos φ):	1



STP 15000TL-30

	Entrée A:	Entrée B:	
Nombre de strings:	3		
Panneaux photovoltaïques par string:	16		
Puissance de crête (entrée):	15,36 kWp	---	
Tension photovoltaïque caractéristique:	 494 V	---	
Tension photovoltaïque min.:	453 V	---	
Tension DC min. (tension de red 220 V):	150 V	150 V	
Tension photovoltaïque max.:	 720 V	---	
Tension DC max.:	1000 V	1000 V	
Courant du générateur PV max:	 26,7 A	---	
Courant d'entrée max. par MPPT:	33 A	33 A	
Compatibilité PV/onduleur			

Figure 8 : Evaluation de la configuration de Gorom – Gorom et Toma

Le tableau 4 ci-dessous résume les différentes caractéristiques et configurations des équipements des systèmes.

Tableau 4 : Vue d'ensemble sur la Configuration des sites

Equipements	Spécification technique	Nombre	Configuration
Modules solaires	Monocristallin 320Wc	96	6 strings de 16 panneaux
Onduleurs réseaux	STP 15000TL-30	2	3 strings de panneau relié à chacun des onduleurs
Onduleurs chargeurs	SUNNY ISLAND 8.0H	6	2 clusters
Stockage (batteries)	Hoppecke OPzV 2V-1500Ah	48	24 batteries connectées à chaque cluster
Armoires inverseurs	Multiclusteur-Box For SI12)	1	2 clusters raccordes à MC-BOX

- **Entrée de l'onduleur STP 1** : 3 strings de 16 panneaux solaires PV en séries ;
- **Entrée de l'onduleur STP 2** : 3 strings de 16 panneaux solaires PV en séries.

1.6 2.4. Fonctionnement des centrales

Dans cette configuration, les charges sont alimentées par le réseau public, le solaire qui vient en appoint via un onduleur chargeur et par un groupe électrogène de secours.

Pendant la journée, les charges sont alimentées par le réseau public (la SONABEL). Le champ PV est utilisé en complément du réseau pour alimenter les charges à travers les sunny tripowers. Les sunny Island crée donc le réseau permettant ainsi au sunny tripowers de s'y connecter. Cependant les sunny Island tirent leur énergie du réseau afin de charger les batteries. En cas de défaillance du réseau SONABEL, le système bascule automatiquement sur les batteries avec le soutien du générateur photovoltaïque si le soleil est présent. Lorsque l'énergie produite par le champ PV et les batteries ne suffisent pas pour répondre à la demande de la charge, le groupe électrogène est utilisé.

La nuit, le champ PV ne produit pas. Le réseau SONABEL alimente donc les charges. En cas de délestage, les batteries alimentent les charges jusqu'à un certain niveau de décharge. Lorsque

le niveau de charge des batteries est tel que la demande ne peut être satisfaite par le champ solaire, ce dernier est déconnecté et le groupe électrogène est mis en marche pour alimenter directement les charges. En cas de surplus d'énergie, il complète la charge de la batterie.

Ce fonctionnement de la centrale permet de réduire les factures d'électricité grâce à la production solaire et permet d'assurer la continuité du service énergétique grâce aux batteries. Le principe de fonctionnement du système est illustré par la figure ci-après.

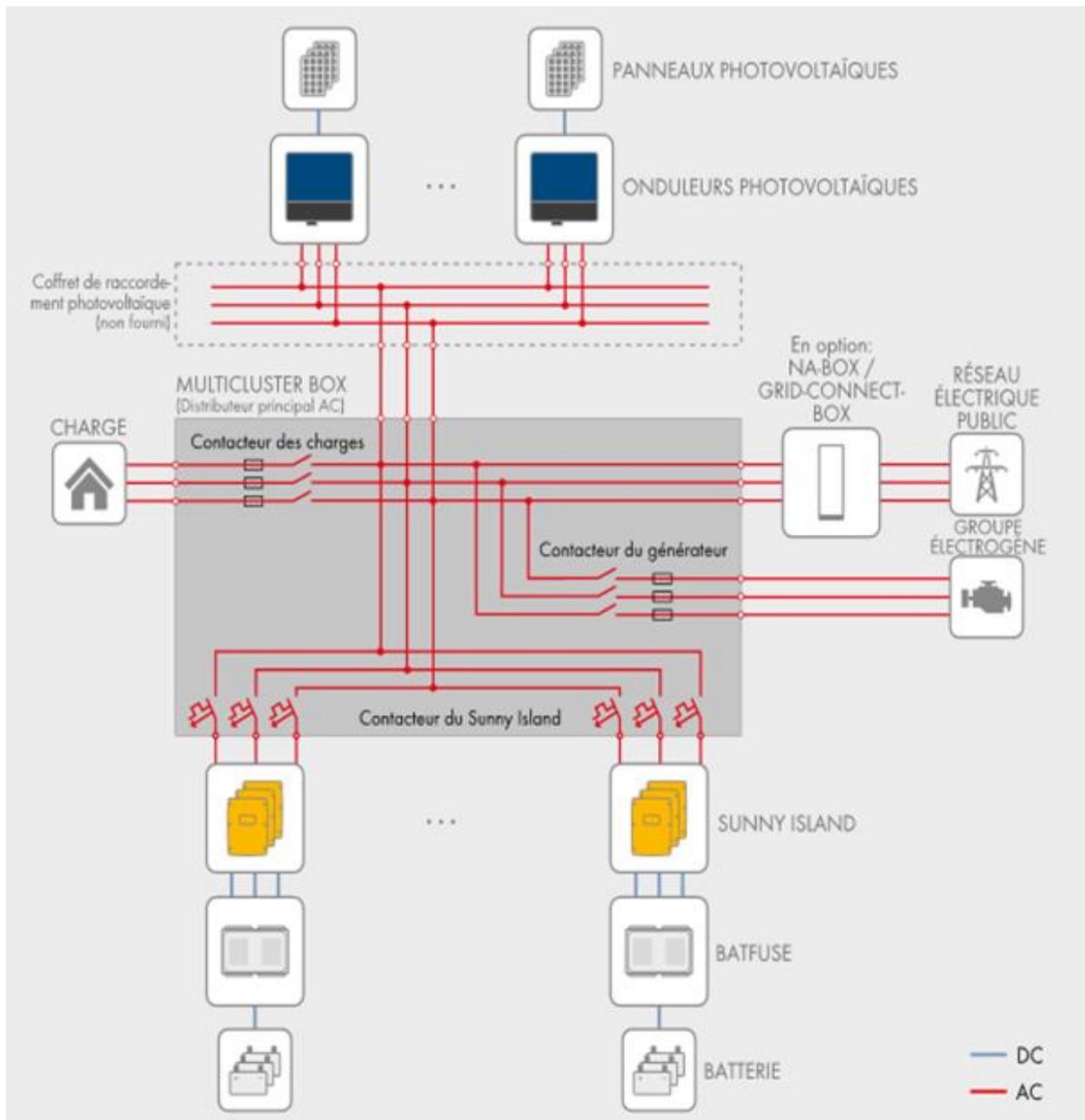


Figure 9 : Schéma et plans d'installation

2.5. Dimensionnement des câbles électriques et calcul de chute de tension

2.5.1. Dimensionnement des câbles électriques

2.5.1.1. Côté DC

Les sections de câbles doivent être dimensionnées de telle sorte que la chute de tension ne dépasse pas la limite admise soit 1% côté continu. Ainsi la formule suivante a été utilisée pour la détermination des sections de câble :

$$\Delta U = \frac{2(L \times I \times \rho)}{S} \quad \text{Avec :}$$

- ρ : la résistivité du cuivre (= 0,0225 mm²/m) ;
- ΔU : la limitation de la chute de tension (1%);
- L: la longueur du circuit du câble (m) ;
- I: le courant maximal d'emploi ;
- S: la section du câble (mm²).

2.5.1.2. Côté AC

Le dimensionnement des câbles nécessite la connaissance des données électriques du panneau. Pour cela les caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Caractéristique du module SW 320

Caractéristiques du module	SW 320
Puissance maximum P _{max} (Wp)	320
Tension en circuit ouvert V _{co} (V)	43.2
Tension maximale de pointe V _{mpp} (V)	36
Courant de court-circuit I _{sc} (A)	9.422
Courant maximal de pointe I _{mpp} (A)	8.889
Rendement du module η (%)	17.86
Tension max du module (V)	1000

Cote AC, nous avons déterminé le calibre des différents éléments de protections du MC-BOX, auquel nous avons appliqué les facteurs de corrections relatif au mode de pose, à la température ambiante, nombre de groupements des circuits, afin de déterminer l'intensité du courant fictif. Et notons que le calibre (I_{pro}) du dispositif de protection doit être inférieur ou égal au courant admissible du câble. Ce courant fictif, nous a permis de déterminer l'intensité admissible (I_z) et donc les sections correspondantes.

Ainsi pour obtenir l'intensité admissible (I_z), la formule suivante a été utilisée pour la détermination des sections de câble:

$$I_z(\text{cable}) \geq \frac{I_{pro} * K}{\text{Produits des coefficient de correction}}$$

Avec pour des fusibles gl:

- In 10 A \Rightarrow k = 1,31
- 10 A < In < 25 A \Rightarrow k = 1,21
- In > 25 A \Rightarrow k = 1,1
- Protection par disjoncteur : \Rightarrow k = 1

Le tableau détaillé avec affectation des coefficients de correction est illustré en annexe 6. En appliquant les règles de calcul, nous obtenons les résultats suivants illustrés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Valeur des sections de câble

Paramètres	Symbole	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Reference d'installation		B	D	F	F	F	F	F	D
Détermination des courants									
	Courant maximal (A)	9,422	9,422	29	58	26	115	115	58
	Courant nominal (A)	10	10	30	63	30	125	125	63
Courant admissible dans la canalisation $I_z = (k \cdot I_{pro})/K$	Protection par fusible $I_n \leq 10 \text{ A} \Rightarrow k = 1,31$								
	Protection par fusible $10 \text{ A} < I_n < 25 \text{ A} \Rightarrow k = 1,21$								
	Protection par fusible $I_n > 25 \text{ A} \Rightarrow k = 1,10$			33	69,3	33	137,5	137,5	69,3
	Protection par disjoncteur	10	10						
	$I_z = I_n/K$	23,22	36,30	43,11	90,52	48,014	158,05	158,05	145,246
Determination des sections de câbles									
	Nombre de phase	2	2	3	3	3	2	2	3
	Nature de l'isolant	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
	Section des câbles (mm ²)	4	4	10	35	10	50	50	35

D1 = câble entre les modules solaires et le coffret de protection DC

D2 = câble entre le coffret de protection DC et l'onduleur

D3 = câble entre l'onduleur et le coffret de regroupement AC

D4 = câble entre le coffret de regroupement AC et le coffret MC Box

D5 = câble entre le coffret MC Box et le régulateur Chargeur

D6 = câble entre le régulateur Chargeur et le coffret de protection des batteries

D7 = câble entre le coffret de protection des batteries et les batteries

D8 = câble entre le coffret MC Box et l'utilisation

2.5.2. Calcul de la Chute de tension

Par ailleurs, pour le calcul de chute de tension côté AC, la formule utilisée est :

$$\Delta U = \sqrt{3} \times I_b (0.0225 \times L/S \times \cos\phi + X_L \sin\phi)$$

Le tableau ci-dessous montre les résultats pour le calcul de la chute de tension

Tableau 7 : Valeur de la chute de tension

Paramètres	Symbole	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Section de câble	S mm ²	4	4	10	35	10	50	50	35
Longueur du câble	L (m)	10	10	10	5	10	2	2	15
I _b	I _b (A)	9,422	9,422	29	58	26	115	115	58
Réactance	X = 0,8.10 ⁻³ Ω/m	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
Cos phi		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Sin phi		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Tension de ligne	U (V)	691	691	230	230	230	48	48	230
Chute de tension en V	ΔU (V)			1,0756	0,513	0,964	0,353	0,353	1,539
Chute de tension en %	$\Delta U = \frac{\Delta U}{U_n} * 100$	1	1	0,467	0,223	0,419	0,154	0,154	0,669

1.7 2.6. Protection des installations

Le choix des organes de protections est régi par le guide UTE C15-712 et classé en deux groupes : la partie courant continu et la partie courant alternative.

2.6.1. Choix des Organes de Protection coté DC

❖ Fusible pour la protection des branches

La protection des modules contre les risques de surintensité est assurée par des fusibles. Ces risques sont éliminés par la présence de fusible sur chaque string. Le calibre I_n du fusible et sa tension de fonctionnement sont conditionnée par les équations suivantes :

Calibre du fusible :

$$1.5 \times I_{SC} \leq \text{Calibre fusible} \leq 2 \times I_{SC}$$

La tension de fonctionnement du fusible est donnée par l'équation suivante :

$$U_{fus}(V) \geq 1.15 \times U_{CO} \times N_s$$

Les fusibles sont placés dans des portes-fusibles eux-mêmes installés dans les coffrets de protection.

Dans la gamme des calibres disponibles, le fusible doit avoir un calibre de **15 A** et on s'assurera que sa tension assignée est supérieure ou égale à 794.88 V. le fusible retenu est de type JD Auspice DC 1000V 15 A.

❖ Protection des batteries

La protection des batteries se fera par Batfuse. Il s'agit d'un élément de protection (fusible interrupteur sectionneur) conçu par SMA. Il est placé entre les batteries et les onduleurs chargeurs. La boîte à fusibles de batterie Batfuse sécurise les câbles DC du Sunny Island. Elle permet la déconnexion côté DC et sert également de barre omnibus DC pour l'installation du Sunny Island Charger. Batfuse est disponible avec différentes cartouches-fusibles couvrant les diverses classes de puissance des Sunny Island. Ainsi pour un onduleur sunny Island il est associé un batfuse de 200A

❖ Parafoudre

La protection des modules contre les risques de surtensions induites dans les circuits de la partie continue est assurée par des parafoudres. Le choix du type de parafoudre dépend du niveau céramique du site. Pour la protection contre les surtensions d'origines atmosphériques, nous avons choisi un parafoudre de type 2 de chez Legrand. Le courant nominal de décharge est 10 kA.

La tension nominale U_n des parafoudres est donnée par l'équation suivante :

$$U_n(V) \geq 1.15 \times U_{CO}$$

❖ L'interrupteur sectionneur

Entre le panneau et l'onduleur doit être installé un interrupteur capable de couper le courant de cour circuit des panneaux. Cet organe est absolument nécessaire de façon à isoler la source de tension DC de l'onduleur avant toute intervention sur l'installation.

Remplissant la fonction de coupure, le sectionneur DC permet d'isoler électriquement le champ PV afin de permettre des opérations de maintenance en toute sécurité. L'interrupteur-sectionneur est dimensionné en multipliant le nombre de string à protéger par le courant de court-circuit des panneaux et par le coefficient de sécurité imposé par la norme.

La tension nominale de l'interrupteur sectionneur est donnée par l'équation

$$U_n = 1.15 * U_{oc}$$

Le courant nominal de l'interrupteur sectionneur est donné par l'équation

$$I_n = N_p * 1.25 * I_{sc}$$

2.6.2. Choix des Organes de Protection coté AC

La protection de la partie AC de notre installation obéi aux prescriptions des normes NFC 15-100 pour la protection des installations électriques. A partir des données de sortie des onduleurs nous avons dimensionné ces protections.

A la sortie de chaque onduleur, selon les normes en vigueur dans le domaine du photovoltaïque, il faut prévoir une protection contre les surintensités et les surcharges. Le choix de cette protection doit se faire en tenant compte du courant de sortie de l'onduleur.

❖ Interrupteur-sectionneur

Il possède 3 pôles avec le neutre car l'onduleur utilisé est triphasé. Il permet de protéger les onduleurs côté alternatif. Son calibre correspond au calibre normalisé directement supérieur à l'intensité maximale en sortie de l'onduleur.

❖ Disjoncteur différentiel

Chaque onduleur sera protégé par un disjoncteur. Il a pour rôle de réaliser la protection des biens et des personnes en protégeant notamment l'onduleur contre les surcharges et en éliminant les risques de contact indirect. Les calibres du disjoncteur et de son différentiel associé

correspondent au calibre normalisé directement supérieur au courant maximal de sortie fourni par l'onduleur (29 A). Le calibre de sensibilité du différentiel est 300 mA car l'installation n'est pas placée sur une habitation.

❖ **Parafoudre AC**

La protection contre les surtensions sera quant à elle assurée par des parafoudres. Leur dimensionnement tient compte du niveau kéraunique de la zone, des caractéristiques de l'installation mais aussi de la probabilité d'occurrence de la foudre. D'après la carte kéraunique mondiale, le niveau kéraunique du Burkina est compris entre 60 et 100. En se référant aux indications du tableau de protection contre les surtensions en Annexe 7, les côtés CC et CA de l'onduleur peuvent être protégés par des parafoudres de type 2. Leurs intensités nominales dépendront de l'appréciation du niveau de risque d'occurrence de la foudre. A titre indicatif, pour un niveau de risque faible, moyen et élevé, les calibres de parafoudre sont respectivement de 20 kA, 40 kA et 65 kA. Le parafoudre choisit est de type 2, sa tension correspond à celle en sortie de l'onduleur et son courant de décharge égale à 40 kA en choisissant en niveau de risque moyen.

❖ **Coffret de regroupement**

C'est un coffret MC Box (Fiche technique MC Box en annexe 8) dans lequel se regroupent toutes les sections de l'installation dont les onduleurs, les régulateurs chargeurs, les arrivées et départ pour l'utilisation. Il est le point de raccordement des équipements. La MC-BOX est un composant de la technologie multi-cluster SMA pour les réseaux en site isolé. C'est un distributeur AC auquel peut raccorder quatre clusters triphasés. Chaque cluster est composé de trois onduleurs Sunny montés en parallèle côté DC et connecté à un string de batteries de 48 V.

❖ **Local technique**

Le local technique est composé des onduleurs, des régulateurs, batteries, coffrets de protection, coffret de regroupement, des câbles, etc. Il est constitué d'un conteneur pré équipé et aménagé pour l'installation du matériel technique de la centrale solaire. Pour pallier aux questions de chaleur, l'intérieur est recouvert de matériaux isolant et il est prévu des climatiseurs afin de réguler la température interne du local. La liste des équipements est illustrée en annexe 9.

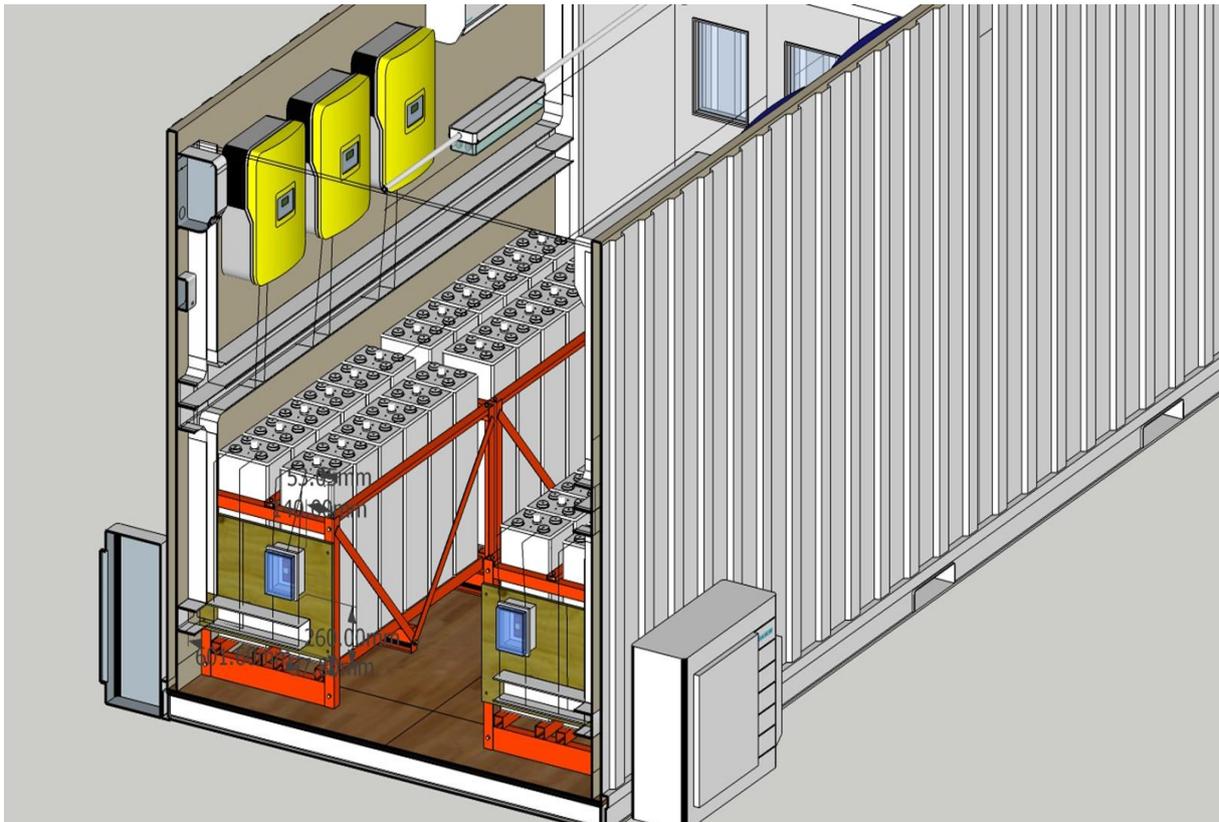


Figure 10 : Schéma illustratif de l'installation du local technique

D'autres mesures de protection sont à signaler :

- Mise à la terre pour la protection des équipements et des personnes ;
- Le paratonnerre

Ainsi, le choix des équipements de protection coté DC et AC est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 8 : caractéristiques des équipements de protection

Equipements	Colonne1	Caractéristiques
Fusible	$14,133 \leq \text{Calibre fusible} \leq 18,84$ $U_{\text{fus}} (\text{V}) \geq 794,88$	Fusible DC 1000V_15A JD Auspice Co.,Ltd.
Interrupteur sectionneur DC	$U_{\text{fus}} (\text{V}) \geq 794,88$ $70,665 \leq \text{Calibre Disjoncteur}$	Disjoncteur de tête 1000VDC Legrand 75A
Batfuse	-	Fusible de 200A*6pcs et boîtes à fusibles de batterie (Batfuse B.03)
Boitier électronique DC pour les modules	$14,133 \leq \text{Cal fusible} \leq 18,84$	DC 1000V 15A
Système de protection Parafoudres AC/DC	-	Système de protection (DC : Parafoudres du type II (DCSPD KIT3-10 kA) AC : Surge Protection Device Nimbus CPT-3 40kA)
Boitier / coffret électronique AC	-	disjoncteur de 2pcs*30A et 8 pcs*16A
Disjoncteurs AC tétra polaire	Calibre Disjoncteur ≥ 58	Disjoncteur Legrand AC 1000V 60 A
Interrupteur sectionneur AC	Calibre Disjoncteur ≥ 58	Disjoncteur Legrand AC 1000V 60 A
DDR	-	NG125N , 3P+N 30A , $I_n = 300I_n \text{ mA}$

2.7. Plan de l'aménagement des centrales

Ici, nous proposons une vue d'ensemble de l'implantation des centrales solaires dans les deux sites.



Figure 11 : Plan de l'aménagement du site de Gorom-Gorom



Figure 12 : Plan de l'aménagement du site de Toma

2.8. Système de communication et de surveillance de l'installation

Il est nécessaire de planifier la surveillance des centrales afin de faciliter la gestion et le contrôle de la production d'énergie. Grâce au monitoring, nous accédons aux données importantes de l'installation photovoltaïque. Le monitoring permet d'acquérir et analyser les données de production des panneaux solaires et des onduleurs mais également à intervenir le plus rapidement possible en cas d'anomalie sur l'installation. Il est assuré par le portail internet Sunny Portal associé aux dispositifs présents sur le site de la centrale constitué de la Webbox, du Sunny Sensor Box et les plaquettes de communications des onduleurs permettant la surveillance, la gestion et la présentation des données de l'installation (voir fiche technique de Sunny Webbox en annexe 10 de du Sunny Sensor Box en annexe 11). Nous avons aussi la Sunny Home Manager qui en plus à un dispositif de mesure intégré pour une gestion intelligente de l'énergie. Le rôle de chaque dispositif est défini ci-dessous :

- Sunny Portal : il permet la visualisation et l'archivage des données de l'installation
- Sunny Webbox : Enregistre et transmet les données de l'onduleur
- Sunny SensorBox : Mesure les données météorologiques (rayonnement solaire, température ambiante et la température des panneaux).
- Cartes d'interface RS485 : Elles permettent la connexion des onduleurs entre eux.

2.9. Maintenance et entretien de l'installation

L'absence d'une maintenance planifiée peut remettre en cause certaines clauses de garantie des équipements. Il faut donc prendre des précautions en vue de minimiser le temps d'immobilisation et maximiser les performances de la centrale.

Pour l'installation des panneaux solaire au sol, une repousse naturelle de la végétation sur le site permettra le maintien d'une couverture en herbacée basse, ce qui entrainera une stabilisation des poussières, d'où la prévention de tout éventuel envol de particules. Cette repousse fera l'objet d'une fauche régulière planifiée en fonction de la repousse de la végétation à travers le passage d'engins légers entre les allées et de débroussailluses sous les structures.

L'action naturelle de la pluie assurera un nettoyage des panneaux. Il faut noter cependant qu'un nettoyage artificiel des panneaux est prévu chaque mois.

La sécurité des personnes extérieures aux installations s'impose. En effet, l'accès aux centrales solaires sera limité de façon générale au personnel autorisé c'est à dire chargé des activités opérationnelles et d'entretien.

CHAPITRE 3 : ETUDE COMPARATIVE DES DEUX SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES

Dans cette partie, il sera question d'analyser la production énergétique des deux sites afin d'établir une comparaison de leur performance énergétique. Pour cela, un relevé des mesures des différentes grandeurs ont été fait.

3.1. Enregistrement des données

Les données sont enregistrées et stockées sur la mémoire interne de l'onduleur transmet ensuite à la Webbox. Elle enregistre périodiquement et en continue différentes valeurs. Dans notre étude, nous nous sommes intéressés aux données suivantes :

- La puissance produite par les onduleurs réseaux
- La température des panneaux
- La température ambiante
- Au rayonnement solaire ou l'ensoleillement

Les mesures utilisés dans cette étude sont prises entre 6 h 00 min et 18 h 00 min et collectés à chaque heure de la journée sur la période du 1er Juin 2018 au 30 juin 2018. Les données collectées de chaque site sont représentées en annexe 13 permettant ainsi d'établir l'évolution des productions solaires journalières et mensuelles. Pour la production journalière, nous avons choisi les données à la date du 7/06/2018 (voir annexe 12) afin d'établir l'évolution de la production énergétique de chaque site en ce jour.

3.2 Evolution de l'ensoleillement journalière des centrales

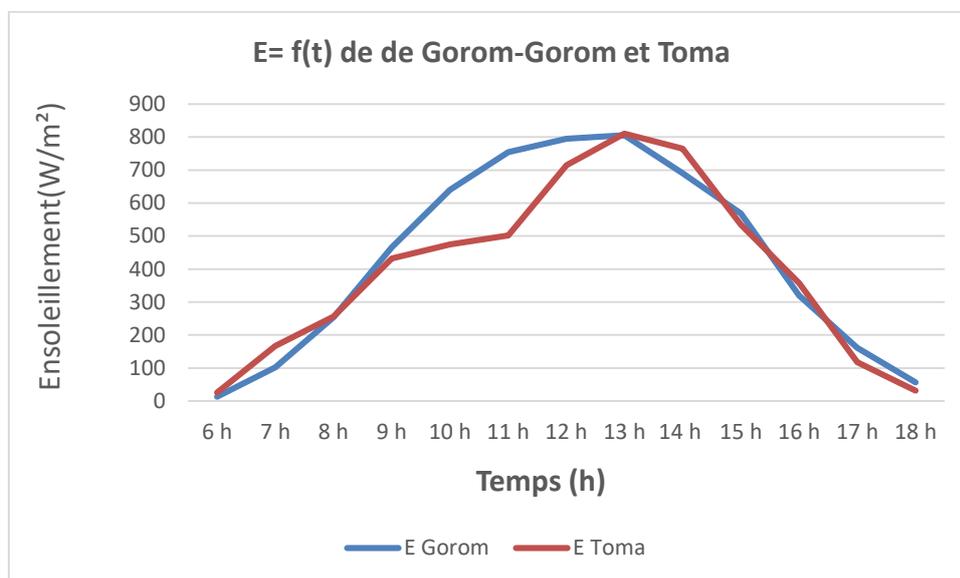


Figure 13 : Ensoleillement en fonction du temps

Dans la localité de Gorom-Gorom, nous observons une croissance progressive de l'ensoleillement qui suit une tendance linéaire de 6h à 13h avec des ensoleillements allant de 20 à 805W/m². Puis nous constatons une décroissance de l'ensoleillement de 13h à 18h

Le même phénomène est observé dans la localité de Toma. Nous observons augmentation de l'ensoleillement de 6h à 13h avec des ensoleillements allant de 26 à 810W/m². Cependant nous observons une cassure de 9h à 11h, cela montre la présence de nuages à ce moment. Ensuite nous constatons aussi une décroissance de l'ensoleillement de 13h à 18h pour des ensoleillements partant de 810 à 31 W/m². Nous remarquons qu'en ce jour, les ensoleillements des deux sites se chevauchent.

3.3 Evolution de la puissance journalière des centrales

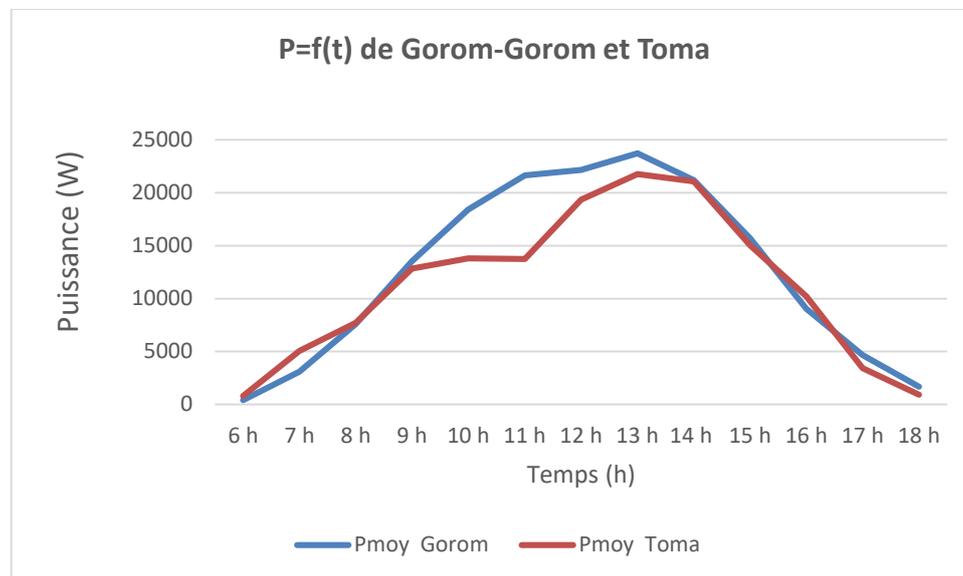


Figure 14 : Puissance en fonction du temps

Ici, dans la localité de Gorom-Gorom, nous observons une production qui évolue de manière croissante de 6h à 13h00. Le pic de puissance est atteint à 23743W. Puis entre 13h et 18h, nous constatons une baisse. Cette baisse de la production en ces moments est due aux faibles ensoleillements enregistrés.

A Toma, de 6h à 13h00, la production tend à augmenter pour atteindre un pic de 21754W. Cependant nous observons une cassure de 9h à 11h, cela montre la présence de nuages brusques à ces heures. On remarque donc qu'il y a une forte corrélation entre l'ensoleillement et la puissance. Ensuite la production décroît de 13h à 18h. Nous retenons que plus ensoleillements est faible plus, la production est faible et un pour un ensoleillement fort, nous obtenons, une production plus grande.

3.3 Evolution de l'ensoleillement solaire mensuelle des centrales

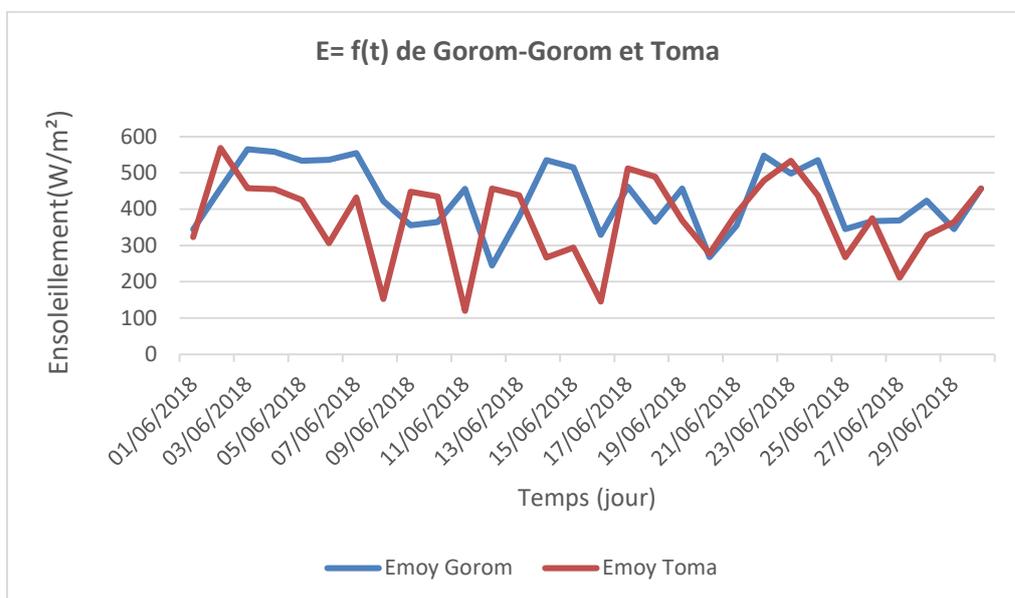


Figure 15 : Production évolutive de l'ensoleillement

De la figure ci-dessus, nous observons une irrégularité d'ensoleillements sur chaque site. Cela s'explique par variations de temps au cours de ce mois-ci. Pendant cette période, la saison pluvieuse avait déjà débuté d'où les faibles ensoleillements enregistrés certains jours du mois. Dans la localité de Gorom, nous avons un maximum de 565 W/m² et un minimum de 245 W/m². Par contre dans celle de Toma, nous retenons un maximum de 568 W/m² et un minimum de 120 W/m². En effet, nous remarquons que l'ensoleillement de Gorom-Gorom est légèrement plus élevé car cette localité se trouve dans une zone ensoleillée du Burkina Faso par rapport à celle de Toma.

3.4 Evolution de la production solaire mensuelle des centrales

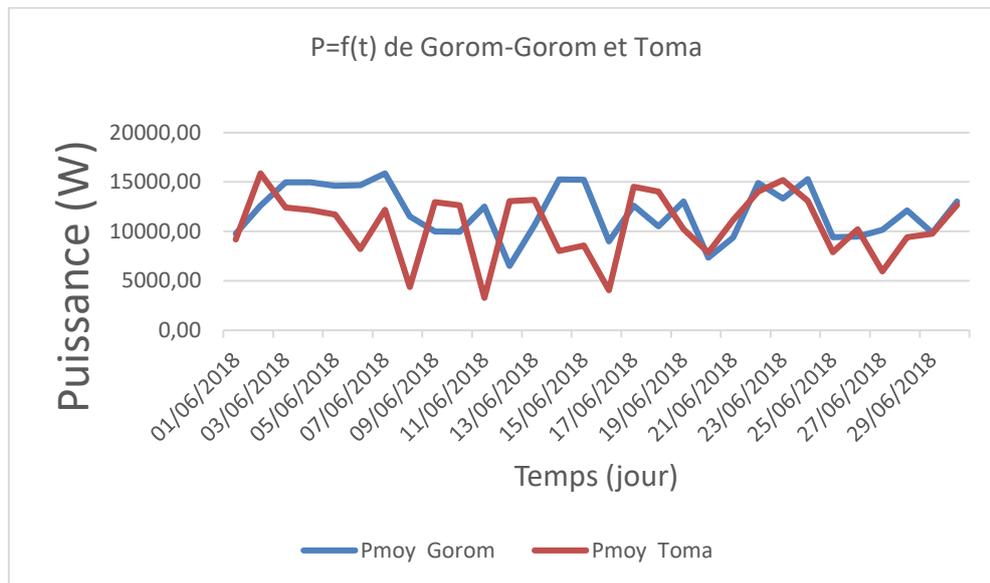


Figure 16 : Production évolutive de la puissance

La figure 16 montre l'évolution de la production mensuelle durant le mois de juin. Dans cette partie, nous constatons que l'évolution des courbes de puissance est similaire à celle de l'ensoleillement. Cela s'explique par le fait que la puissance dépend de l'ensoleillement. De la figure ci-dessus, nous retenons un maximum de 15865.69 W et un minimum de 6483.77W à Gorom-Gorom. En effet, le pic du mois est observé à la date du 07/06/2018. A Toma, nous retenons un maximum de 15859.85 W le 02/06/2018 et un minimum de 3272.69 W.

3.5 Estimation des pertes d'énergie dues à la température

$$P_{\text{predite}} = P_{\text{max,ref}} * \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} (1 + \gamma(T_{\text{mod}} - 25))$$

$$\Delta P = P_{\text{predite}} - P_{\text{webbox}}$$

$$\Delta T = T_{\text{mod}} - 25$$

Avec : $P_{\text{max,ref}}$, E_{ref} , γ et T_{mod} respectivement les paramètres de puissance maximale ; irradiance solaire, coefficient de température dans les conditions STC et la température du module dans les conditions ambiantes de fonctionnement des panneaux. Les tableaux

représentés en annexe 13 et 14 montrent les valeurs des pertes de puissances journalières et mensuelles estimées. Les figures ci-dessous représentent l'évolution des pertes de puissance et des écarts de température.

3.5.1. Estimation des pertes de puissance journalière dues à la température

- Gorom-Gorom

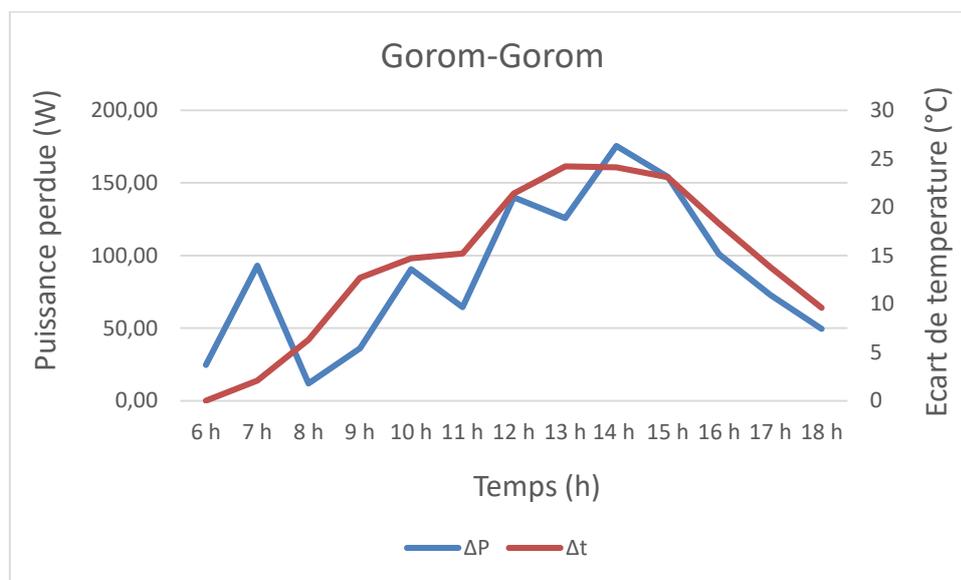


Figure 17 : Pertes de puissance due à la température

La figure ci-dessus présente à titre illustratif les pertes de puissance dues à la température. Dans la localité de Gorom-Gorom, Toma, plus l'écart de température augmente, plus les pertes de puissance sont grandes. Cependant à 7h du matin, nous observons une perte élevée pour un faible de 3°C. Ce phénomène peut être expliqué par d'autres facteurs comme la non-uniformité de température sur toute la surface arrière du module, les variations brusques d'irradiance solaire (nuages). Lorsque l'écart de température est faible, les pertes sont assez faibles.

- Toma

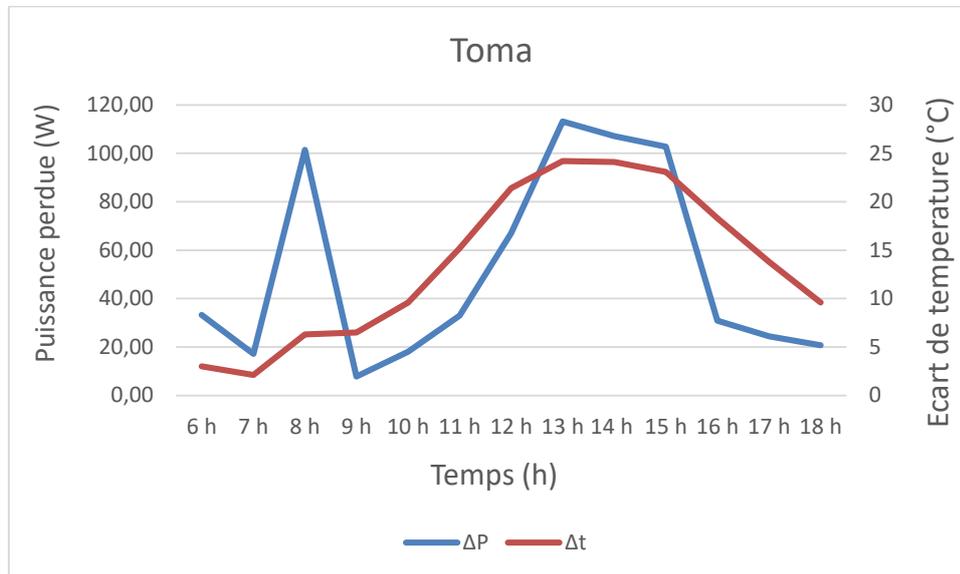


Figure 18 : Production journalier : Puissance- Température

De la figure ci-dessus, nous constatons qu'à Toma, plus l'écart de température est faible, plus une perte de puissance sont faibles. Cependant à 8h, nous observons une perte élevée enregistrée pour un faible écart. Cela peut être expliqué par autres facteurs. Lorsque l'écart de température est élevé, les pertes sont aussi élevées. On voit donc l'influence de la température sur la production.

3.5.2. Estimation des pertes de puissance journaliere dues à la température

- Gorom-Gorom

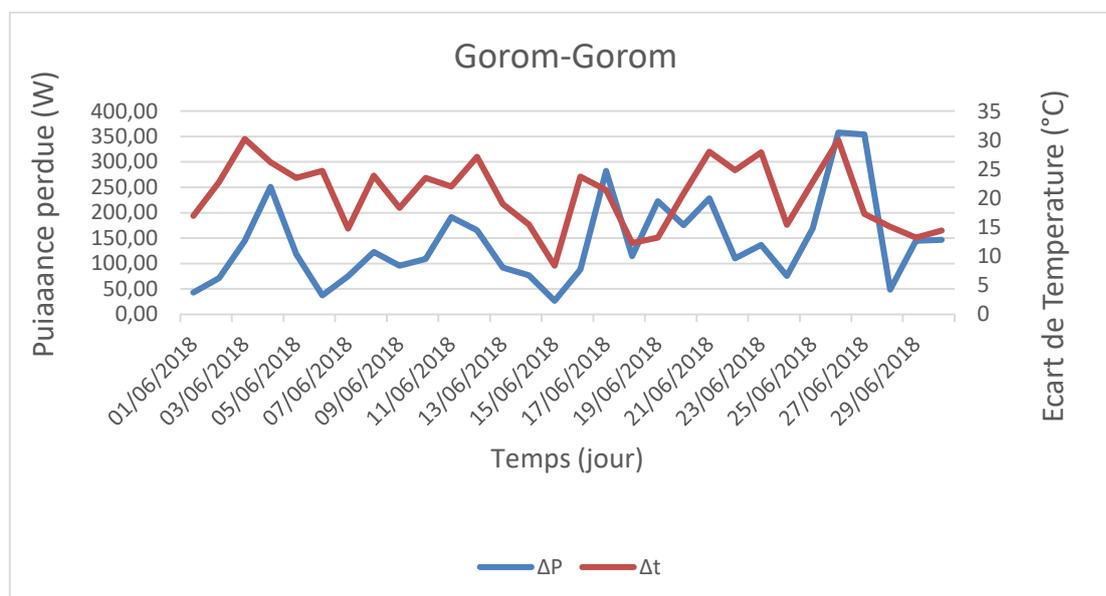


Figure 19 : Puissance en fonction du temps

Au regard des courbe des pertes de puissance illustre ci-dessus, lorsque l'écart est grand plus les pertes sont élevé. Dans certaine partie, nous constatons que pour de faible écart les pertes plus élevé. Cela peut être explique par le fait que les modules photovoltaïques sont soumis à d'autres facteurs externes comme le taux de poussière, ou les défauts de fabrication qui influencent aussi la production d'énergie photovoltaïque. C'est le cas par exemple des pertes enregistrées à la date du 27/06/2018 avec un écart de température de 17.3 (° C) correspondant à une perte de puissance de 354.26 W.

- Toma

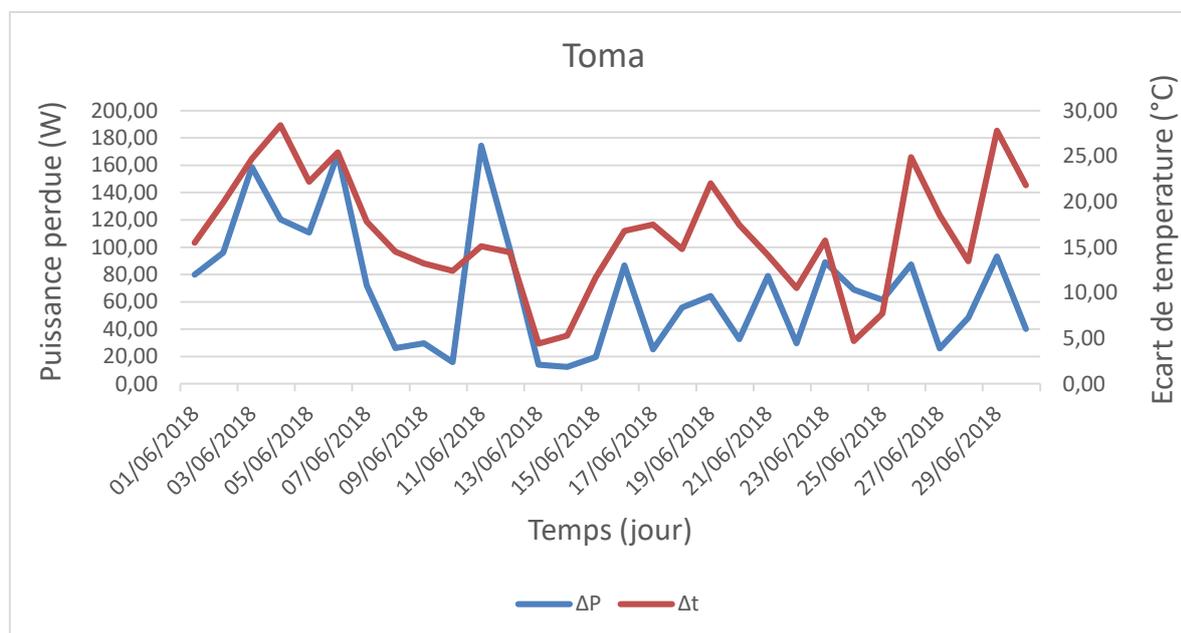


Figure 20 : Puissance en fonction du temps

Sur la figure illustre ci-dessus, nous observons aussi une irrégularité des pertes qui est due aux variations de temps. Cependant, il faut noter que l'influence de la température sur la production est relativement faible. Nous remarquons que l'allure des pertes de puissance de toma est similaire à celle de Gorom-Gorom. à la date du 27/06/2018, pour un écart de température de 14,45 ° C une perte de puissance élevée de 354.26 W est enregistrée. Ces pertes peuvent donc être expliquées par d'autres phénomènes autres que la température.

De toutes ces analyses, nous constatons la température influe la production photovoltaïque. Cependant il faut noter que cette influence est assez faible. En comparant les résultats des deux centrales solaire, nous nous rendons compte que la centrale de Gorom Gorom présente des pertes de puissance élevée par rapport à celle de Toma. Cela est due au fait que Gorom Gorom est une zone située dans le sahel.

CHAPITRE 4: ANALYSE SOCIO-ECONOMIQUE ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

L'analyse financière, environnementale et sociale d'un projet est une étape capitale dans la prise de décision, notamment pour les bailleurs de fonds.

Dans cette partie, une étude détaillée a permis de déterminer le coût d'investissement du projet et de mener une étude environnementale et sociale permettant d'évaluer les impacts positifs, négatifs et les mesures d'atténuation de ces impacts.

4.1 Évaluation financières du projet

Les quantités et les coûts des composantes de la centrale PV autonome des sites ont été estimées afin de déterminer l'investissement effectué par la structure. Le coût d'investissement est la somme des coûts du matériel et des travaux.

Le devis quantitatif et estimatif est consigné dans les tableaux joints en annexe 8:

❖ Les coûts du matériel

Afin d'assurer le fonctionnement en continue de la centrale, Il est prévu à l'achat de surplus des panneaux. Les coûts du matériel sont déterminés sur les sites des fabricants et sur la base des projets réalisés par SOLTECH BURKINA.

❖ Les coûts des travaux

Ils comprennent les travaux suivants :

- Aménagement des voies d'accès et de circulation ;
- Travaux de terrassement et nivèlement du site ;
- la réalisation de béton pour la pose des conteneurs ;
- fixation des supports des panneaux pour l'installation au sol.

❖ Les autres charges

Les frais divers qui englobent des imprévus sur le chantier s'élèvent à 1%
Ainsi, nous avons obtenus un coût du projet de 338 922 708 FCFA (voir annexe 8) soit 170 111 354 FCFA pour le site de GOROM – GOROM et 168 811 354 FCFA au niveau de TOMA

4.2. Impacts environnemental et social

L'étude environnementale et sociale nous montre l'impact que peut avoir l'installation des systèmes photovoltaïques sur l'environnement et sur la vie des bénéficiaires.

4.2.1. Les principaux impacts environnemental et social et risques liés au changement climatique.

Il s'agit dans cette partie d'identifier, d'analyser et d'évaluer l'ampleur des impacts environnementaux et sociaux du projet sur l'écosystème en présence et sur la vie humaine. Les principales activités et composantes du projet qui seront facteurs ou sources d'impacts environnementales et sociales sont données ci-dessous :

- **Sources d'impact en phase de préparation** : (i) Construction de la clôture de protection ; (ii) Acquisition de terres (route d'accès et site du projet) ;
- **Sources d'impact en phase de construction** : (i) exploitation des zones d'emprunt ; (ii) Transport/logistique pour approvisionnement ; (iv) présence de travailleurs ; (v) ouverture de tranchées ; (vi) construction de la ligne électrique souterraine ; (vii) Construction de bétons dans l'emprise du site de la centrale, (viii) terrassement et nivellement du terrain et ouverture de tranchées ;
- **Sources d'impact en phase d'exploitation** : (i) présence des travailleurs ; (ii) Présence des structures ; (iii) Approvisionnement en biens et services ; (iv) Besoin en eau pour le nettoyage des panneaux ; (vi) Production d'énergie électrique ;
- **Source d'impact en phase de fermeture** : (i) Démantèlement des équipements ; (ii) Démolition ; (iii) Transport routier ; (iv) Remblayage.

4.2.1.1. Les impacts négatifs

❖ Phase de préparation

En phase de préparation, les impacts négatifs sur le milieu physique sont tous classés d'importance faible. Ils comprennent la détérioration de la qualité de l'air liée aux activités de préparation : les bruits et vibrations générés par la construction de la clôture, l'exploitation des matériaux de construction (sable, graviers, latérite etc.), etc. Les impacts négatifs sur le milieu biologique de faible importance comprennent l'abattage de quelques arbres sur le tracé de

clôture (2 arbres abattus) et les voies d'accès, les risques d'accidents dus au trafic des véhicules, la destruction/perturbation des habitats de la micro faune. Les impacts négatifs sur le milieu humain sont d'importance moyenne et concernent les perturbations sonores.

❖ Phase de construction

En phase de construction, les impacts négatifs sur le milieu physique sont considérés négligeables. Ils concernent essentiellement la détérioration de la qualité de l'air par les dégagements de poussière, les pollutions atmosphériques gazeux (SO₂, NO_x et CO₂) dues aux engins de génie civil et de transport, les bruits et vibrations générées par les travaux de construction, l'exploitation des matériaux de construction (sable, graviers, latérite etc.), les risques de pollution diverses, etc. Les impacts négatifs sur le milieu biologique, sont constitués de la destruction du couvert herbacé, la présence de travailleurs et la dégradation du sol, les pollutions lumineuses, nuisances sonores, etc. Les autres impacts comprennent le risque d'attroupements et d'installations anarchiques près du chantier, l'interruption ou perturbation de services publics, la pression sur les infrastructures et services publics, la détérioration du réseau routier.

❖ Phase d'exploitation

En phase d'exploitation, les impacts négatifs sur le milieu physique sont considérés d'importance négligeable. Ils comprennent les pollutions atmosphériques gazeuses (SO₂, NO_x et CO₂) dues à l'élimination des déchets de maintenance, et dues au mouvement des véhicules de liaison et de service, les bruits et vibrations générées par les activités de maintenance, une légère modification de la géomorphologie locale, l'utilisation d'eau pour le nettoyage des panneaux. Les impacts négatifs sur le milieu humain sont considérés mineurs. Ils comprennent le flux migratoire, le risque d'accidents pour les travailleurs et pour la population locale. Les Risques d'incendie d'électrification voire électrocution liée à une éventuelle intrusion volontaire ou accidentelle d'une personne non habilitée à la maintenance électrique

❖ Phase de fermeture

En phase de fermeture, les impacts négatifs sur le milieu physique sont considérés d'importance faible. Ils comprennent la détérioration de la qualité de l'air pendant le démantèlement et la démolition, dues au transport des déchets industriels issus du démantèlement des installations, les bruits et vibrations générées par les activités de

démantèlement, l'impact du démantèlement et de la démolition des infrastructures sur l'esthétique visuelle et de la création de déchets industriels issus du démantèlement des infrastructures.

❖ Déchets

Les déchets qui seront générés pendant la phase de construction sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : Typologie de déchets

Typologie de déchets	Origine
Papiers-cartons	Emballage des équipements
Bois	Palette des équipements Bois de fardage
Déchets liés à la présence humaine (résidus, ordures domestiques, etc.)	Ordures domestiques Sanitaires
Déchets plastiques	Emballage des équipements
Boîtes et bidons	Equipements, consommables
Déchets huileux (vidange, graisses, etc.)	Voitures, engins, etc.
Déchets métalliques (recyclable)	En fin de construction

Les effluents aqueux et huileux se limiteront au gazole pour les véhicules et huile de moteur si nécessaire, et les effluents gazeux comprendront les fumées d'échappement des véhicules et engins de chantier.

En phase d'exploitation, aucun déchet notable ne sera produit. Les émissions se limiteront à des déchets huileux, eaux usées sanitaires et déchets sanitaires, gaz d'échappement issus des voitures.

4.2.1.2. Les mesures d'atténuation des impacts négatifs

Tableau 10 : impacts et Mesures d'atténuations

Nature de l'impact	Mesures d'atténuation
-Emissions de poussières et es pollutions atmosphériques gazeuses (SO ₂ , NO _x et CO ₂) dues aux engins pour le transport des matériaux et matériel de construction.	-Les véhicules doivent être conformes aux normes en vigueur -Arrosage léger des pistes pour limiter les soulèvements de poussières. -Sensibiliser le personnel sur le mode de conduite, les vitesses de circulation,
-Abattage des arbres	Minimiser le nombre d'arbres à abattre lors des phases préparation et construction -Planter des arbres en remplacement de ceux qui ont été abattus.
-Santé et sécurité des ouvriers (faible à modérer) -Risque de blessures,	-Dispenser des règles de base en matière de sécurité aux travailleurs du chantier. -Equiper les travailleurs d'EPI
Emissions de déchets	Elaborer un plan de gestion des déchets dangereux dans le plan de démantèlement du chantier. identification d'un site de stockage et élimination des déchets pour toutes les phases du projet
Risques d'incendie (faible car les matériaux ne sont pas dans l'ensemble inflammables) - Risques technologiques	- Des équipements de lutte contre l'incendie (extincteurs), des plans de prévention et d'intervention en cas d'incendie devront être mis en place. Les matériaux constitutifs de la centrale seront en majorité non combustibles (acier, cuivre, verre).
Nuisance sonore	limiter leur vitesse de circulation, utilisation des équipements moins bruyants
Risques de blessure dues aux Creuses de tranchées afin d'enfouir les câbles électriques	Reboucher immédiatement les tranchées une fois les câbles enterrés
incident et accident des personnes	mettre en œuvre un plan de communication/information/sensibilisation à l'intention de populations locales et travailleurs sur les thèmes retenus (santé, sécurité, principes d'installation, etc.) au niveau du projet

4.2.1.3. Les impacts positifs

Des impacts positifs d'importance modérée à majeure ont été mis en évidence :

- Opportunités d'emploi lors de l'exécution du projet
- amélioration des conditions de travail des médecins.
- Augmentation des revenus de certains opérateurs économiques
- Le projet permettra de rendre les entreprises plus compétitives
- Dans la mesure du possible, attirer des investisseurs

4.3 Programme de suivi environnemental et social

La surveillance et le suivi environnemental ont pour but de s'assurer de la mise en œuvre effective des mesures environnementales. Ses principaux objectifs sont les suivants : (i) veiller au respect des lois, règlements et stratégies en vigueur au sein des administrations impliquées ; (ii) veiller à la prise en compte et au respect des clauses contractuelles ; (iii) répondre aux directives gouvernementales concernant les orientations fixées ; (iii) présenter une évaluation environnementale en cas d'apparition d'impacts non prédits et proposer des solutions adéquates.

RECOMMANDATIONS

Il est vrai que les énergies solaires demeurent une solution alternative aux énergies fossiles en raison de la disponibilité abondante du soleil. Mais, il faut noter que certains aspects tels que leur intermittence et les coûts d'investissement demeurent une problématique à leur vulgarisation. Ainsi, nous recommandons :

- En tout état de cause l'utilisation rationnelle de l'énergie doit être une priorité pour le CMA, d'autant plus que la mise en place d'un projet solaire doit s'accompagner de mesures d'efficacité énergétique en vue d'assurer la fiabilité du système.
- Une attention particulière devrait être portée sur l'influence des facteurs agissant sur la production photovoltaïque. On pourrait aussi s'intéresser aux variations d'autres paramètres caractérisant les modules photovoltaïques comme l'intensité de court-circuit, la tension au point de puissance maximale ou l'intensité au point de puissance maximale, etc....
- une exonération des taxes (TVA et douane) sur les équipements d'énergie solaire.
- Soltech devrait aussi s'assurer du bon fonctionnement des équipements. Elle devrait songer à changer ou à réparer la Webbox car certaines données étaient erronées lors des relevés.

CONCLUSION

L'étude a permis de mettre en place un système photovoltaïque dans les districts sanitaires de Gorom-Gorom et de Toma à travers une source de production solaire. Les centrales installées, ont chacune une puissance de 30,72 kWc et assure la satisfaction des besoins d'énergie électrique du CMA lors des délestages électriques. Pour la mise en place des systèmes PV, Nous avons procédé au dimensionnement des centrales PV et aux choix des équipements. Ensuite une étude comparative des productions solaires a été menée. Ainsi cette partie s'est articulée autour du besoin de comprendre le comportement de la puissance en fonction de la température et de l'ensoleillement dans les conditions réelles de fonctionnement. De ce fait, des résultats obtenus de production énergétique obtenus, a permis d'évaluer et de comparer les productions solaires des deux centrales. En comparant les deux centrales PV, nous pouvons dire que la centrale de Gorom-Gorom produit mieux au mois de juin que celle de Toma car l'ensoleillement est plus élevé dans cette zone en cette période. Cependant, il faut retenir que la température a aussi une influence sur la production solaire. Mais nous remarquons que cette influence de la température est relativement faible et influence peu la production solaire. En outre la mise en œuvre du projet permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Pour finir, une évaluation financière et les impacts environnementaux ont été établis. Le coût total de l'installation a été estimé à 146 353 374,85 FCFA soit 76 877 101,95 FCFA pour Gorom Gorom et 69 476272,9 FCFA pour Toma.

BLIOGRAPHIE

- [1] “Conception et montage d’un système solaire PV/Diesel/Biocarburant de Cogénération (Electrique et froid)” Justin BASSOLE (2010-2011), option : Energie Renouvelable
- [2] JEAN JACQUES GRAFF (2011): Cours d’électrification rurale décentralisée, M2GEER de l’institut international d’ingénierie de l’eau et de l’environnement (2iE).
- [3] JEAN JACQUES GRAFF (2011): Cours de transport et de distribution d’électricité, M2GEER de l’institut international d’ingénierie de l’eau et de l’environnement (2iE).
- [4] AHMED O BAGRE (2011): Cours d’installation électrique, M2GEER de l’institut international d’ingénierie de l’eau et de l’environnement (2iE).
- [5] BAPIO BAYALA (2011): Cours de technologie électrique, M2GEER de l’institut international d’ingénierie de l’eau et de l’environnement (2iE).
- [6] ELODIE HANFF, NATHALIE WEISMAN (2009): Cours de source d’énergie et enjeux environnementaux, M2GEER à l’institut international d’ingénierie de l’eau et de l’environnement (2iE).
- [7] Pr ZACHARIE KOLAGA. (2011): Cours d’électricité photovoltaïque M2GEER de l’institut international d’ingénierie de l’eau et de l’environnement (2iE).
- [8] <http://www.abb.com/synchrotact.com/>; consulté le 20/03/2019.
- [9] <http://www.cder.net4sun.com/> ; consulté le 23 /03/2019.

ANNEXE

Annexe 1 : Caractéristiques des modules photovoltaïques

 宣德能源股份有限公司
Speedtech Energy Co., Ltd
5F, 568, Sec. 1, Ming-Sheng N. Road, Kwei-Shan Hsiang, Taoyuan Hsien, Taiwan
TEL: 886-3-3229959 FAX: 886-3-3223225

Module PV Standard 320W
Module silicium Monocristallin 6" (156*156mm)

SPVS320M



Certificats:

- ISO
- ISO14001
- ISO61215



Caractéristiques

- Haute puissance 6" cellules poly cristallin et verre
- Contre intempéries et
- -pass pour minimiser les pertes à
- Verre trempé optique, EVA, module avec cadre en aluminium pour usage

Garanties

- 10 ans de garantie sur 90% de
- 25 ans de garantie sur 80% de

Caractéristiques Electriques	
Module	SPVS-320M
Puissance Maximale (W) $\pm 5\%$	320W
Tension circuit-ouvert (Voc)	43.2V
Tension court-circuit (Isc)	9.422A
Tension Maximale (Vmp)	36V
Courant Maximal (Imp)	8.889A
Efficacité Module (%)	17.86%
Efficacité cellule (%)	19 %
Tension Maximale du Système	1000VDC
Terminaison	Câbleavec connecteur
Poids	23 kg
Dimensions (L*W*H)	1986*987* 50 mm
Nombre de cellules	72 en 6* 12 matrix en série
Type de cellule	Silicium Monocristalline
Taille de cellule	6"/ 156* 156 mm
Température Coeff. De Voc	-159 mV/
Température Coeff. De Isc	+7.54 mA/
Température Coeff. Pmax	-0.43 %/

Conception et étude comparative de deux mini centrales photovoltaïques de même puissance en milieu rural au Burkina Faso

Annexe 2 : Caractéristiques des onduleurs réseaux photovoltaïques

SUNNY TRIPOWER
15000TL / 20000TL / 25000TL



Caractéristiques techniques	Sunny Tripower 15000TL
Entrée (DC)	
Puissance max. du générateur photovoltaïque	27000 Wp
Puissance assignée DC	15330 W
Tension d'entrée max.	1000 V
Plage de tension MPP/tension d'entrée assignée	240 V à 800 V/600 V
Tension d'entrée min./tension d'entrée de démarrage	150 V/188 V
Courant d'entrée max. entrée A/entrée B	33 A/33 A
Nombre d'entrées MPP indépendantes/strings par entrée MPP	2/A:3; B:3
Sortie (AC)	
Puissance assignée (à 230 V, 50 Hz)	15000 W
Puissance apparente AC max.	15000 VA
Tension nominale AC	3/N/PE; 220 V/380 V 3/N/PE; 230 V/400 V 3/N/PE; 240 V/415 V
Plage de tension AC	180 V à 280 V
Fréquence du réseau AC/plage	50 Hz/44 Hz à 55 Hz 60 Hz/54 Hz à 65 Hz
Fréquence de réseau assignée/tension de réseau assignée	50 Hz/230 V
Courant de sortie max./courant de sortie assigné	29 A/21,7 A
Facteur de puissance pour la puissance assignée/Facteur de déphasage réglable	1/0 inductif à 0 capacitif
THD	≤ 3 %
Phases d'injection/phases de raccordement	3/3
Rendement	
Rendement max./européen	98,4 %/98,0 %
Dispositifs de protection	
Dispositif de déconnexion côté DC	●
Surveillance du défaut à la terre/Surveillance du réseau	● / ●
Parafoudre DC : type II	○
Protection inversion de polarité DC/résistance aux courts-circuits AC/séparation galvanique	● / ● / -
Unité de surveillance du courant différentiel, sensible tous les courants	●
Classe de protection (selon IEC 62109-1) / catégorie de surtension (selon IEC 62109-1)	I/AC: III; DC: II
Données générales	
Dimensions (L / H / P)	661/682/264 mm [26,0/26,9/10,4 pouces]
Poids	61 kg [134,48 lb]
Plage de température de fonctionnement	-25°C à +60°C [-13°F à +140°F]
Émission sonore (typique)	51 dB(A)
Autoconsommation (nuit)	1 W
Topologie/système de refroidissement	Sans transformateur/OptiCool
Indice de protection (selon CEI 60529)	IP65
Classe climatique (selon IEC 60721-3-4)	4K4H
Valeur maximale admissible d'humidité relative de l'air (sans condensation)	100%
Équipement / fonction / accessoires	
Raccordement DC/raccordement AC	SUNCLIX/borne à ressort
Ecran	○
Interface : RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●
Interface de données : SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●
Relais multifonction/Power Control Module	○ / ○
OptiTrac Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●
Compatible off-grid / compatible SMA Fuel Save Controller	● / ●
Garantie : 5 / 10 / 15 / 20 ans	● / ○ / ○ / ○

Annexe 3: Caractéristiques des batteries HOPPECKE, série OPzV



Type	C ₁₀₀ /1.85 V Ah	C ₅₀ /1.85 V Ah	C ₂₄ /1.83 V Ah	C ₁₀ /1.80 V Ah	C ₅ /1.77 V Ah	max.* Weight kg	max.* Length L mm	max.* Width W mm	max.* Height H mm	Fig.
4 OPzV solar.power 250	287	264	243	204	189	18.3	105	208	420	A
5 OPzV solar.power 310	359	329	304	255	236	22.3	126	208	420	A
6 OPzV solar.power 370	430	395	365	306	283	26.5	147	208	420	A
5 OPzV solar.power 420	478	453	428	391	346	29.9	126	208	535	A
6 OPzV solar.power 520	574	543	513	470	415	35.1	147	208	535	A
7 OPzV solar.power 620	670	634	599	548	485	42.1	168	208	535	A
6 OPzV solar.power 750	847	802	762	682	595	48.7	147	208	710	A
8 OPzV solar.power 1000	1130	1070	1016	909	793	65.9	215	193	710	B
9 OPzV solar.power 1125	1271	1203	1143	1023	893	75.6	215	235	710	B
10 OPzV solar.power 1250	1412	1337	1270	1137	992	80.5	215	235	710	B
11 OPzV solar.power 1375	1553	1471	1397	1250	1091	89.3	215	277	710	B
12 OPzV solar.power 1500	1695	1604	1524	1364	1190	94.6	215	277	710	B
12 OPzV solar.power 1700	1955	1870	1785	1545	1372	110.0	215	277	855	B
14 OPzV solar.power 2000	2281	2182	2082	1802	1601	136.5	215	400	815	C
16 OPzV solar.power 2300	2607	2493	2380	2060	1829	152.9	215	400	815	C
18 OPzV solar.power 2600	2933	2805	2677	2317	2058	173.0	215	490	815	D
20 OPzV solar.power 2900	3258	3117	2975	2574	2287	186.5	215	490	815	D

Annexe 4 : Sunny Remote Contrôle



Données techniques	Sunny Remote Control
Affichage et commande	
Écran	4 x 20 caractères
Utilisation	Commutateur rotatif
Interfaces	
Tension d'alimentation DC	12 V (du SI 2224 ou câble de communication SI 6.0H / 8.0H)
Courant nominal	200 mA
Mémorisation des données et service	Carte SD/MMC avec 128 Mo 1 Go
Communication	RS422
Câble de communication	Cordon patch FTP CAT5e (2 x connecteurs RJ45)
Longueur de câble max.	20 m
Données générales	
Largeur x hauteur x profondeur	225 x 140 x 65 mm
Poids	environ 400 g
Température ambiante	0 °C à +50 °C
Indice de protection de l'appareil selon DIN EN 60529	IP 20
Équipement / fonction / accessoires	
Carte SD/MMC	128 Mo (compris)
Câble de communication	Cordon patch FTP CAT5e, 5 m (compris)
Certification	CE
Version : octobre 2015	
Désignation de type	SRC-20

Annexe 5 : Caractéristiques des Sunny Island



SUNNY ISLAND 6.0H / 8.0H



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, from / 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-Box)		
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)	FLA, VRLA / 100 Ah ... 10 000 Ah	FLA, 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

Annexe 6 : Résumé des calculs dans les différentes sections

Paramètres	Symbole	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Reference d'installation		B	D	F	F	F	F	F	D
Canalisations non enterres	Facteur lie à la reference	0,9	0	1	1	1	1	1	0
	Facteur lie à l'influence mutuelle des circuits places	0,55	0	0,88	0,88	0,79	1	1	0
	facteur lie à la temperature ambiante (40°) et la nature de l'isolant	0,87	0	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0
Canalisations enterres	Facteur lie à la pose	0	0,8	0	0	0	0	0	0,8
	facteur lie à la temperature	0	0,84	0	0	0	0	0	0,84
	Facteur lie à la resistivites thermique du sol	0	1	0	0	0	0	0	1
	facteur lie au groupement de circuit	0	0,41	0	0	0	0	0	0,71
	facteur lie au conducteur du neutre charge	0	1	0	0	0	0	0	1
	Facteur de correction K	0,43	0,28	0,77	0,77	0,69	0,87	0,87	0,48
	Courant maximal (A)	9,422	9,422	29	58	26	115	115	58
	Courant nominal (A)	10	10	30	63	30	125	125	63
Courant admissible dans la canalisation $I_z = (k \cdot I_{pro})/K$	Protection par fusible $I_n 10 A \Rightarrow k = 1,31$	-	-	-	-	-	-	-	-
	Protection par fusible $10 A < I_n < 25 A \Rightarrow k = 1,21$	-	-	-	-	-	-	-	-
	Protection par fusible $I_n > 25 A \Rightarrow k = 1,10$	-	-	33	69,3	33	137,5	137,5	69,3
	Protection par disjoncteur	10	10	-	-	-	-	-	-
	$I_z = I_n/K$	23,2207	36,295	43,1034	90,517	48,014	158,05	158,05	145,246
	Nombre de phase	2	2	3	3	3	2	2	3
	Nature de l'isolant	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC
	Section des câbles (mm²)	4	4	10	35	10	50	50	35

Annexe 7 : Protection contre les surtensions

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

Annexe 8 : Caractéristiques du Multicluster



Données techniques	Multicluster-Box 12
Raccordement des consommateurs	
Nombre de raccordements	1 x triphasé
Puissance assignée	138 kW
Tension de réseau assignée	230 V / 400 V
Plage de tension AC	172,5 V - 265 V 300 V - 433 V
Courant pour les valeurs assignées	3 x 200 A
Bornes des raccordements N, L1, L2, L3	Bornes à ressort
Fusible / valeurs maximales autorisées pour les fusibles	NH1 / 200 A
Raccordements Sunny Island	
Nombre maximal d'appareils	12
Puissance assignée AC / courant AC pour les valeurs assignées	72 kW / 12 x 26 A
Tension d'exploitation assignée	230 V / 400 V
Bornes des raccordements N, PE, L	Bornes à ressort
Fusible	12 x disjoncteur de protection C40 A
Raccordement du groupe électrogène	
Nombre de raccordements	1 x triphasé
Puissance assignée	138 kW
Tension nominale	230 V / 400 V
Courant d'entrée AC	3 x 200 A
Bornes des raccordements N, PE, L1, L2, L3	Bornes à ressort
Fusibles / valeurs maximales autorisées pour les fusibles	NH1 / 200 A
Raccordement de l'installation PV	
Nombre de raccordements	1 x triphasé
Puissance assignée	138 kW
Tension d'exploitation assignée	230 V / 400 V
Courant AC pour les valeurs assignées	3 x 200 A
Bornes des raccordements N, PE, L1, L2, L3	Bornes à ressort
Fusible en amont maximal autorisé	200 A

Annexe 9 : Liste des matériels

N°	EQUIPEMENTS	SPECIFICATIONS TECHNIQUES	MARQUE ET MODELE
01	Modules solaires	Monocristallin 320Wc	Speedtech Energy
02	Onduleurs réseaux	Onduleurs STP 15000TL-30	SMA
03	Onduleurs chargeurs	Onduleurs chargeurs SUNNY ISLAND 8.0H	SMA
04	Boitier / coffret électronique AC	Boitier (disjoncteur de 4pcs*40Amp et 8 pcs*30Amp)	Speedtech Energy
05	Boitier électronique DC pour modules solaires	Boitier électronique DC (Fusibles de 6 Strings + disjoncteur de DC 1000V 16Amp)	Speedtech Energy
06	Câbles AC / DC	-	Câbles AC: ST CÂBLE CORPORATION Câble DC: Hong Tai Electric Industrial Co.,Ltd.
07	Câbles ligne de terre	Câble AWG#6 (14sq mm) Câble 10CM	CÂBLE CORPORATION
08	Câbles de communication	Câble PVC_2.5mm ² 600V_2C (Rouge) Câble PVC_2.5mm ² 600V_2C (Bleu)	CÂBLE CORPORATION
09	Stockage (batteries)	Batteries Hoppecke OPzV 2V-1500Ah	Hoppecke
10	Rack pour batteries	Rack pour batteries de 270 cm x 80 cm	Speedtech Energy
11	Protection cables	Protection câbles (Fusible DC 1000V_15Amp et bases de fusibles)	JD Auspice Co.,Ltd.
12	Disjoncteurs	Disjoncteurs (Fusible de 200A*6pcs & boîtes à fusibles de batterie (Batfuse B.03)	SMA
13	Système de protection Parafoudres AC/DC	Système de protection (DC : Parafoudres du type II (DCSPD KIT3-10) AC : Surge Protection Device Nimbus CPT-3)	SMA
14	Armoires inverseurs	Armoires inverseur (Multiclusteur-Box For SII2)	SMA
15	Equipements de commande e de synchronisation	Webbox, Sensor Box, Sunny remote control	SMA
16	Supports des modules	Support de modules (Aluminium anodisé + revêtement acrylique 45mm x 60mm)	Speedtech Energy
17	Terrassement / nivèlement	75m x 18m	Speedtech Energy
18	Clôture du champ et du local technique	En forme de U L75m*W18m	Speedtech Energy
19	Local technique	Conteneur de 40 pieds + 2 climatiseurs, circuit électrique, 02 lampes Led de 09W de 0,5m à l'intérieur et 04 lampes Led de 18W de 1 ; 20m à l'extérieur du local	Speedtech Energy
20	Main d'œuvre	Installation	Speedtech Energy

Annexe 10 : caractéristiques de la Webbox



Caractéristiques techniques	SUNNY WEBBOX
Communication	
Communication avec les onduleurs	RS485, Ethernet 10/100 Mbit (Sunny Central uniquement)
Communication PC	Ethernet 10/100 Mbit
Modem	analogique (en option), GSM (en option)
Nombre d'appareils SMA max.	
RS485 / Ethernet	50 / 50
Portée maximale de communication	
RS485 / Ethernet	1 200 m / 100 m
Alimentation	
Alimentation	bloc d'alimentation externe
Tension d'entrée	100 V - 240 V AC, 50 Hz/60 Hz
Consommation	typique 4 W / max. 12 W
Conditions ambiantes en service	
Température ambiante	-20 °C à +65 °C
Humidité relative de l'air	5 % à 95 %, sans condensation
Mémoire	
Interne	mémoire circulaire 8 Mo
Externe	carte SD 128 Mo / 512 Mo / 1 Go / 2 Go
Caractéristiques générales	
Dimensions (L / H / P) en mm	225 / 130 / 57
Poids	750 g
Lieu de montage	intérieur
Possibilités de montage	montage sur rail DIN, montage mural, appareil portatif
Affichage de l'état	diodes
Langue du logiciel/de la notice	allemand, anglais, coréen, espagnol, français, grec, italien, néerlandais, portugais, tchèque
Équipements	
Comande	serveur Web intégré (navigateur Internet)
Garantie	5 ans
Certificats et homologations	www.SMA-France.com
Accessoires	
Sunny SensorBox / Sunny Matrix	o/o
Carte SD 128 Mo / 512 Mo / 1 Go / 2 Go	o/o/o/o
Antenne GSM extérieure/Carte de données GSM	o/o
Câble de communication RS 485	o

Annexe 11 : caractéristiques de la Sensor box



Largeur x hauteur x profondeur	4 ³ / ₄ in. x 2 in. x 3 ¹ / ₂ in (120 mm x 50 mm x 90 mm)
Poids	500 g
Type de montage	Plaque de montage / équerre de toiture
Lieu de montage	extérieur

Alimentation électrique

Alimentation électrique par	RS485-Power Injector/ SMA Power Injector avec Bluetooth
Consommation	< 1 W

Conditions environnementales

Température ambiante	- 13 °F ... + 158 °F - 25 °C ... + 70 °C
Indice de protection	IP65

* Indice de protection selon DIN 60529

Communication

Communication	RS485 (RS485-Power Injector)/ Bluetooth (SMA Power Injector avec Bluetooth)
---------------	--

Capteur de rayonnement intégré

Type de cellules PV	Cellule PV ASI, amorphe
Plage de mesure	0 W/m ² ... 1 500 W/m ²
Précision de mesure	± 8 %
Résolution	1 W/m ²

Annexe 12 : Données mensuelles de la production des STP de Gorom-Gorom et Toma

Temps (h)	Gorom-Gorom			Toma		
	T _{moy} (°C)	E _{moy} (W/m ²)	P Gorom (W)	T _{moy} (°C)	E _{moy} (W/m ²)	Pmoy Gorom (W)
01/06/2018	41,95	343,92	9752,23	40,5	323	9181,23
02/06/2018	47,78	457	12592,77	44,9	568	15859,85
03/06/2018	55,2	389	14958,15	49,7	458	12416,85
04/06/2018	51,2	458	14959,92	53,4	455	12150,31
05/06/2018	48,5	433	14601,15	47,2	425	11699,00
06/06/2018	49,7	546	14679,85	50,4	306	8205,30
07/06/2018	39,73	554	15865,69	42,8	432	12183,23
08/06/2018	48,9	422	11509,08	39,5	152	4352,15
09/06/2018	43,3	356	9980,15	38,2	548	12951,85
10/06/2018	48,5	364	9943,38	37,4	435	12634,92
11/06/2018	47	456	12492,08	40,1	120	3272,69
12/06/2018	52,1	245	6483,77	39,45	457	13068,31
13/06/2018	44	379	10599,77	29,4	438	13186,85
14/06/2018	40,45	235	15266,77	30,3	267	8002,92
15/06/2018	33,4	128	15222,69	36,7	294	8557,62
16/06/2018	48,7	329	8988,85	41,8	145	4046,00
17/06/2018	46,4	462	12604,46	42,5	512	14519,92
18/06/2018	37,3	259	10505,08	39,78	489	14011,54
19/06/2018	38,2	107	13019,54	47	369	10199,00
20/06/2018	45,8	268	7321,38	42,45	277	7838,31
21/06/2018	53	355	9364,54	39,12	389	11145,62
22/06/2018	49,8	458	14901,92	35,5	479	14020,92
23/06/2018	52,9	298	13326,46	40,75	533	15175,85
24/06/2018	40,4	535	15271,00	29,7	437	13084,38
25/06/2018	47,8	245	9390,62	32,7	268	7898,85
26/06/2018	55	367	9461,92	49,9	375	10199,11
27/06/2018	42,3	369	10138,15	43,5	211	5940,31
28/06/2018	40,1	323	12102,08	38,47	327	9415,23
29/06/2018	38,2	245	9852,31	52,8	364	9752,08
30/06/2018	39,4	457	13023,00	46,8	457	12682,92

Annexe 13 : Données journalières de la production des onduleurs de Gorom-Gorom et Toma

Heure (h)	Température des panneaux (°C)	Température ambiante (°C)	E (W/m ²)	Puissance produite STP 1(W)	Puissance produite STP 2 (W)	P Toma (W)
Les données de Gorom-Gorom du 07/ 06/ 2018						
6 h	25	23,2	26	399	397	774
7 h	28,5	26,4	167	2528	2525	4960
8 h	29,8	27,6	256	3850	3848	7690
9 h	32,2	29,5	432	6425	6423	12824
10 h	37,5	30,7	475	6903	6898	13717
11 h	50,2	39,1	502	6875	6872	13686
12 h	52,6	39,9	715	9681	9677	19218
13 h	54,2	40,3	810	10879	10875	21633
14 h	49,1	38,4	765	10532	10530	20980
15 h	44,5	37,2	535	7526	7523	14903
16 h	41,3	37	358	5110	5108	10126
17 h	38,1	33,2	118	1712	1707	3348
18 h	33,5	30,4	31	456	454	868
Les données de Toma du 07/ 06/ 2018						
6 h	28	26,3	13	196	195	361
7 h	27,1	27,6	102	1551	1549	3088
8 h	31,3	30,5	254	3797	3793	7490
9 h	37,7	34,8	466	6769	6755	13524
10 h	39,7	35,2	640	9210	9207	18400
11 h	40,2	37,1	754	10824	10822	21616
12 h	46,4	38,6	795	11085	11083	22108
13 h	49,2	39,6	805	11873	11870	22043
14 h	49,1	39,2	690	10598	10595	18893
15 h	48,1	38,3	568	7857	7856	15613
16 h	43,3	36,7	320	4515	4511	9026
17 h	38,8	35,4	161	2326	2322	4628

Annexe 14 : Les paramètres et valeurs de la production des STP à Toma

Temps (h)	Ppredite	P Gorom	ΔP	ΔT
Gorom-Gorom				
6 h	798,72	774	24,72	3
7 h	5053,03	4960	93,03	2,1
8 h	7702,00	7690	12,00	6,3
9 h	12860,17	12824	36,17	12,7
10 h	13807,68	13717	90,68	14,7
11 h	13750,37	13686	64,37	15,2
12 h	19358,02	19218	140,02	21,4
13 h	21758,87	21633	125,87	24,2
14 h	21065,41	20890	175,41	24,1
15 h	15057,11	14903	154,11	23,1
16 h	10226,93	10126	100,93	18,3
17 h	3420,77	3348	72,77	13,8
18 h	917,51	868	49,51	9,6
Toma				
6 h	394,21	361	33,21	3
7 h	3105,15	3088	17,15	2,1
8 h	7591,50	7490	101,50	6,3
9 h	13533,75	13524	9,75	12,7
10 h	18418,04	18400	18,04	14,7
11 h	21648,95	21616	32,95	15,2
12 h	22175,05	22108	67,05	21,4
13 h	22156,24	22043	113,24	24,2
14 h	19000,18	18893	107,18	24,1
15 h	15715,75	15613	102,75	23,1
16 h	9056,85	9026	30,85	18,3
17 h	4652,43	4628	24,43	13,8
18 h	1678,76	1658	20,76	9,6

Annexe 15 : Les paramètres et valeurs de la production des STP à Toma

Gorom-Gorom				
Temps (h)	P _{predite}	P Gorom	ΔP	Δt
01/06/2018	9795,18	9752,23	42,95	16,95
02/06/2018	12663,86	12592,77	71,09	22,78
03/06/2018	15102,85	14958,15	144,69	30,2
04/06/2018	15210,57	14959,92	250,65	26,2
05/06/2018	14719,19	14601,15	118,04	23,5
06/06/2018	14717,07	14679,85	37,23	24,7
07/06/2018	15940,92	15865,69	75,23	14,73
08/06/2018	11631,55	11509,08	122,47	23,9
09/06/2018	10075,74	9980,15	95,59	18,3
10/06/2018	10052,13	9943,38	108,75	23,5
11/06/2018	12683,13	12492,08	191,06	22
12/06/2018	6649,35	6483,77	165,58	27,1
13/06/2018	10691,66	10599,77	91,89	19
14/06/2018	15343,33	15266,77	76,56	15,45
15/06/2018	15249,35	15222,69	26,66	8,4
16/06/2018	9076,89	8988,85	88,04	23,7
17/06/2018	12886,63	12604,46	282,17	21,4
18/06/2018	10619,76	10505,08	114,68	12,3
19/06/2018	13242,18	13019,54	222,65	13,2
20/06/2018	7496,60	7321,38	175,22	20,8
21/06/2018	9592,57	9364,54	228,03	28
22/06/2018	15011,88	14901,92	109,96	24,8
23/06/2018	13463,19	13326,46	136,73	27,9
24/06/2018	15346,86	15271,00	75,86	15,4
25/06/2018	9559,33	9390,62	168,72	22,8
26/06/2018	9819,86	9461,92	357,94	30
27/06/2018	10492,42	10138,15	354,26	17,3
28/06/2018	12150,82	12102,08	48,75	15,1
29/06/2018	9996,83	9852,31	144,53	13,2
30/06/2018	13169,74	13023,00	146,74	14,4

Annexe 16 : Estimation du coût d'investissement du projet

GOROM – GOROM

Cout d'investisseent de Gorom-Gorom			
Désignations	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
Modules solaires	99	200 900	19 889 100
Support des modules	1	1 750 000	1 750 000
Onduleurs réseaux	2	1 739 025	3 478 050
Onduleurs chargeurs	6	1 770 650	10 623 900
Batteries	48	334 641,66	16 062 799,7
Support des batteries	1	223 500	223 500
Câbles, connecteurs, Autres accessoires)	1	1 193 346	1 193 346
Système de surveillance (Sunny webbox, Sunny SensorBox, Sunny Home manager)	1	1 200 000	1 200 000
Commande et de protection(5% PV + Onduleur)	1	1 081 406,25	1 081 406,25
Armoires inverseurs	1	8 600 000	8 600 000
Local technique et accessoires	1	2 800 000	2 800 000
Clôture du champ	1	950 000	950 000
Génie civil (terrassement/ nivellement)	1	2 675 000	2 675 000
Transport et Dédouanement des matériels	1	1 350 000	1 350 000
Main d'œuvre	1	5 000 000	5 000 000
Investissement Total			76 877 101.95

TOMA

Cout d'investissement de TOMA

Désignations	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
Modules solaires	99	200 900	19 889 100
Support des modules	-	1 750 000	1 750 000
Onduleurs réseaux	2	1 739 025	3 478 050
Onduleurs chargeurs	6	1 770 650	10 623 900
Batteries	48	334 641,66	16 062 799,7
Support des batteries	-	223 500	223 500
Câbles,connecteurs, . Autres accessoires)	-	1 193 346	1 193 346
Système de surveillance (Sunny webbox,Sunny SensorBox)	-	1 200 000	1 200 000
Equipements de commande et de synchronisation	-	1 081 406,25	1 081 406,25
Armoires inverseurs	1	5 684 170,97	5 684 170,97
Local technique et accessoires	-	2 800 000	2 800 000
Génie civil (terrassement/ nivellement)	-	140 000	140 000
Transport et Dédouanement des matériels	-	1 350 000	1 350 000
Main d'œuvre	-	4 000 000	4 000 000
Investissement Total			69 476 272.9

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	vii
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES ANNEXES	viii
INTRODUCTION	1
CONTEXTE	2
CHAPITRE 1: GENERALITES	3
1.1 Objectif	3
1.2 Approches méthodologiques	3
1.3 Présentation de la structure d'accueil	3
CHAPITRE 2: CONCEPTION ET CHOIX DES COMPOSANTS DE LA CENTRALE PHOTOVOLTAIQUE	5
1.4 2.1. Localisation des sites d'installations	5
1.5 2.2. Dimensionnement du champ photovoltaïque	6
2.2.1. Estimation du besoin.....	6
2.2.2. Estimation de la ressource solaire.....	7
a) Estimation du rayonnement solaire.....	8
b) Orientation des panneaux.....	8
c) Inclinaison des panneaux	9
2.2.3. Calcul de la puissance crête	9
2.2.4. Choix des composants.....	9
2.2.4.1. Les panneaux PV.....	10
2.2.4.2. Onduleurs réseaux	10
2.2.4.3. Batteries de stockage	12
2.2.4.5. Les onduleurs chargeurs	13
2.3. Configuration des systèmes photovoltaïques	15
1.6 2.4. Fonctionnement des centrales.....	17
2.5. Dimensionnement des câbles électriques et calcul de chute de tension	20
2.5.1. Dimensionnement des câbles électriques.....	20

2.5.1.1. Côté DC	20
2.5.1.2. Côté AC	20
2.5.2. Calcul de la Chute de tension.....	23
1.7 2.6. Protection des installations	23
2.6.1. Choix des Organes de Protection coté DC.....	23
2.6.2. Choix des Organes de Protection coté AC.....	25
2.7. Plan de l'aménagement des centrales	29
2.8. Système de communication et de surveillance de l'installation	30
2.9. Maintenance et entretien de l'installation.....	30
CHAPITRE 3 : ETUDE COMPARATIVE DES DEUX SYSTEMES	
PHOTOVOLTAIQUES.....	32
3.1. Enregistrement des données	32
3.2 Evolution de l'ensoleillement journalière des centrales	33
3.3 Evolution de la puissance journalière des centrales	34
3.3 Evolution de l'ensoleillement solaire mensuelle des centrales	35
3.4 Evolution de la production solaire mensuelle des centrales	36
3.5 Estimation des pertes d'énergie dues à la température.....	36
3.5.1. Estimation des pertes de puissance journaliere dues à la température.....	37
3.5.2. Estimation des pertes de puissance journaliere dues à la température.....	39
CHAPITRE 4: ANALYE SOCIO-ECONOMIQUE ET IMPACTS	
ENVIRONNEMENTAUX.....	41
4.1 Évaluation financières du projet	41
4.2. Impacts environnemental et social	42
4.2.1. Les principaux impacts environnemental et social et risques liés au changement climatique.....	42
4.2.1.1. Les impacts négatifs.....	42
4.2.1.2. Les mesures d'atténuation des impacts négatifs	45
4.2.1.3. Les impacts positifs.....	46
4.3 Programme de suivi environnemental et social	46
RECOMMANDATIONS.....	47
CONCLUSION.....	48
BLIOGRAPHIE	49
ANNEXE	50
TABLE DES MATIERES	68