



CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIERIE 2iE AVEC
GRADE DE MASTER
SPECIALITE GENIE ELECTRIQUE, ENERGETIQUE ET INSDUSTRIEL
(GEEI)

Présenté et soutenu publiquement le 23 janvier 2023 par :

Bourama SIDIBE (20160329)

Travaux dirigés par :

Encadrant 2iE :

M. Madieumbe GAYE, Enseignant 2iE

Maitre de stage :

M. Aboubacrine DIALLO, Ingénieur énergétique chez ACCESS SA

Structure d'accueil : ACCESS SA

Jury d'évaluation du stage :

Président :

Dr. Moussa SORO, Maitre de Conférence (CAMES), Enseignant-Chercheur, 2iE

Membres et correcteurs :

Dr. Moussa KADRI, Enseignant-Chercheur, 2iE

M. Ahmed ZONGO, Enseignant 2iE

Promotion [2022/2023]

DEDICACES

Je dédie ce mémoire de fin d'étude

- ❖ A mes chères parents Monsieur SIDIBE Issa et Madame SIDIBE TALL Hassanatou pour leurs présence dans ma vie et leurs conseils toujours aussi précieux les uns que les autres. Recevez toute ma reconnaissance et ma gratitude pour n'avoir ménagé aucun effort afin que je sois à ce niveau aujourd'hui.
- ❖ À mon frère aîné SIDIBE Boubacar, pour avoir toujours été là pour moi. Je te remercie pour le sacrifice et l'effort abattue pour ma réussite.
- ❖ A ma tante Madame SIDIBE TOURE NANA, pour avoir été comme une seconde mère pour moi.
- ❖ À mes sœurs, pour leurs soutiens quotidiens, leurs conseils et encouragements.

CITATIONS

« Celui qui demande trop peut être agaçant, mais il ne mourra pas ignorant »
Amadou Hampaté BA

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier du fond du cœur tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail. Mes remerciements vont particulièrement à l'endroit des personnes dont les noms suivent :

- ❖ A Monsieur le Directeur Général de la Fondation 2iE ;
- ❖ Au corps professoral pour les enseignements fournis afin de nous donner une formation d'ingénieur répondant aux standards internationaux ;
- ❖ L'ensemble du personnel de l'institut 2iE grâce à qui je suis arrivée au terme de ma formation d'ingénieur ;
- ❖ A mon encadrant Monsieur Madieumbe GAYE, pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de ce travail. Je suis reconnaissant pour toutes ses critiques et suggestions qui m'ont permis d'avancer et d'améliorer mon travail. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect ;
- ❖ L'ensemble du personnel d'ACCESS SA pour leur accueil, leur bonne foi et leur soutien tout au long de mon stage ;
- ❖ A mon maître de stage M DIALLO Aboubacrine, ingénieur énergéticiens d'ACCESS SA pour ses conseils et son encadrement ;
- ❖ Mes camarades pour l'aide et le soutien qu'ils m'ont apporté durant toute la période du stage.

RESUME

Ouré est une localité située au Mali à 20 km de la région de Bougouni. Sa population est estimée à 2500 habitants et comme un grand nombre des localités éloignées des grandes villes, elle est sujette au manque d'électricité. Cela s'explique par l'incapacité de la société malienne d'électricité EDM.SA à couvrir les besoins en électricité de l'ensemble du territoire malien par faute de moyens. En effet, le Mali a un taux d'accès à l'électricité encore faible à savoir 41% en 2019 en globale et 22,1% en 2021 en rural. C'est dans ce contexte que des bailleurs financiers ont mis en place des stratégies permettant aux zones rurales telles qu'Ouré d'avoir accès à l'électricité et une agriculture moderne. Cette stratégie consiste à faciliter l'installation d'un système agrivoltaïque (une technologie qui associe la production d'électricité à la production d'agricole).

L'évaluation énergétique du village nous a permis d'avoir une puissance crête à installer. A partir de cette puissance (champ PV de 69 kWc) nous avons dimensionné les différents composants de l'installation pour obtenir 3 onduleurs réseau Sunny Tripower 25000TL de 25 kW, 9 onduleurs chargeurs Sunny island 8.0H de 6 kW et 3 séries de 24 batteries de 2V/2900 Ah pour le stockage.

L'investissement nécessaire pour la réalisation du projet est estimé à 120 123 449 F CFA. Le LCOE est de 116 F CFA/kWh sur une durée de 25 ans. Nous avons pu évaluer sa rentabilité en calculant le temps de retour sur investissement (TRI) qui est de 12 ans sur sa durée de vie.

Mots clés :

1- Agrivoltaïque

2- Centrale Solaire

3- Electrification

4- Ouré

ABSTRACT

Ouré is a locality located in Mali, 20 km from the region of Bougouni. Its population is estimated at 2,500 and, like many of the localities far from the big cities, it is subject to a lack of electricity. This is due to the inability of the Malian electricity company EDM.SA to cover the electricity needs of the entire country due to lack of resources. In fact, Mali still has a low rate of access to electricity, namely 41% in 2019 in general and 22.1% in 2021 in rural areas. It is in this context that financial backers have put in place strategies to enable rural areas such as Oure to have access to electricity and modern agriculture. This strategy consists of facilitating the installation of an agrivoltaic system (a technology that combines electricity production with agricultural production).

The energy assessment of the village allowed us to have a peak power to install. From this power (PV field of 69 kWp) we dimensioned the different components of the installation to obtain 3 Sunny Tripower 25000TL grid inverters of 25 kW, 9 Sunny island 8.0H charging inverters of 6 kW and 3 series of 24 batteries of 2V/2900 Ah for storage.

The investment required for the project is estimated at 120,123,449 F CFA. The LCOE is 116 F CFA/kWh over 25 years. We were able to assess its profitability by calculating the payback time (IRR) which is 12 years over its lifetime.

Key words

1-Agrivoltaics

2-Electrification

3-Oure

4-Solar Power Plant

LISTE DES ABREVIATIONS

AMADER: agence malienne pour le développement de l'énergie domestique et de l'électrification rurale

Ah: ampère-heure

Bj: besoin journalier

CA: courant alternatif

CC: courant continu

CRE: commission de régulation de l'énergie

KWc: kilowatt crete

KWh: kilowatt heure

MW: méga watt

ODD : objectif de développement durable

Pc : puissance crete

PR: Polyéthylène réticulé

LCOE: levelized cost of energy

UEMOA : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

SOMMAIRE

DEDICACES	i
CITATIONS.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
SOMMAIRE	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
INTRODUCTION.....	1
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE	2
I.1. Présentation de la structure d'accueil.....	2
I.2. Présentation de la zone d'étude.....	4
II. GENERALITE	6
II.1. Présentation du cahier de charges du projet	6
II.2. Travail demandé et résultats attendus.....	7
III. ETAT DE L'ART DES SYSTEMES AGRIVOLTAIQUES	9
III.1. Généralité sur l'agrivoltaïque.....	9
III.2. Classification des systèmes agrivoltaïques	10
III.3. Projets similaires dans le monde	12
IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION	14
IV.1. Fonctionnement de la centrale	14
IV.2. Collecte des données géographiques et climatiques	15
IV.3. Evaluation des besoins énergétiques.....	15
IV.4. Dimensionnement du système PV	16
IV.5. Dimensionnement de l'onduleur	17
IV.6. Dimensionnement système de stockage.....	18
IV.7. Estimation de la surface totale nécessaire pour l'installation	19
IV.8. Dimensionnement de système de protection.....	20

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

IV.9. Dimensionnement avec le logiciel pvsyst	21
V. ETUDE TECHNIQUE	22
V.1. Evaluation des besoins énergétiques	22
V.2. Dimensionnement du système PV	23
V.3. Dimensionnement de l'onduleur	24
V.4. Dimensionnement système de stockage	27
V.5. Estimation de la surface totale nécessaire pour l'installation.....	29
V.6. Dimensionnement des systèmes de protection	31
V.7. Dimensionnement avec le logiciel Pvsyst	39
VI. ESTIMATION FINANCIERE	42
VI.1. Etude financière	42
VI.2. Bilan financier.....	42
VI.3. Evaluer la rentabilité d'un projet	43
VII. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET SOCIAL DU PROJET.....	44
VII.1. Impacts positifs.....	44
VII.2. Impacts négatifs.....	48
VII.3. Mesures d'atténuation des impacts négatifs	49
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	52
BIBLIOGRAPHIE	53
ANNEXES	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Infrastructures éducatives et sanitaires.....	4
Tableau 2 : Projet de SA en cours en France	13
Tableau 3 : Consommation énergétique de Manankoro.....	22
Tableau 4 : Récapitulatif des besoins énergétiques.....	23
Tableau 5 : caractéristique du module.....	23
Tableau 6 : Spécifications techniques de l'onduleur Sunny Tripower 25.0.....	24
Tableau 7 : Vérification de la compatibilité du champ avec l'onduleur	26
Tableau 8 : Spécification techniques de l'onduleur Sunny Island 6.	26
Tableau 9 : Récapitulatif du dimensionnement du champ et des onduleurs	27
Tableau 10 : Tension recommandée en fonction de la puissance crête.....	27
Tableau 11 : Paramètres de vérification entre la batterie et l'onduleur bidirectionnel	28
Tableau 12 : récapitulatif du dimensionnement du système de stockage et l'onduleur chargeur	29
Tableau 13 : Récapitulatif des équipements dimensionnés.....	38
Tableau 14 : Section de câble.....	38
Tableau 15 : Bilan financier	42
Tableau 16 : Rentabilité du système	43
Tableau 17 : Planning de maintenance.....	51

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme d'ACCESS SA.....	3
Figure 2 : localisation de la zone d'étude.....	5
Figure 3 : Classification des systèmes agrivoltaiques	11
Figure 4 : Schéma synoptique de l'installation.....	14
Figure 5 : Irradiation d'Ouré	15
Figure 6 : Méthode de calcul de l'espacement entre deux rangées	19
Figure 7 Plan de masse.....	20
Figure 8 : Vue de dessus du champ.....	30
Figure 9 : schéma électrique.....	31
Figure 10 : positionnement des modules.....	39
Figure 11 dimensionnement du champ	40
Figure 12 dimensionnement du pack batteries	40
Figure 13 : résumé du système.....	41

INTRODUCTION

L'électrification rurale est urgente compte tenu des défis économiques et sociaux auxquels sont confrontées les zones rurales du Mali. Son ancrage dans les zones rurales concourt au relèvement des conditions de vie des populations et à la valorisation des secteurs productifs (agriculture, commerce, artisanat, élevage etc.). Dans toutes les régions administratives, l'électrification rurale aura des effets bénéfiques sur l'alimentation en eau potable (en permettant l'utilisation de pompes) qui aura des retombées sur la santé et sur la lutte contre la malnutrition. L'électricité est également nécessaire pour assurer la pleine efficacité des équipements scolaires et de santé dont les espaces de santé et les maternités. Elle aura des effets bénéfiques sur l'éducation des enfants et l'accès à l'information en particulier des femmes. En ce qui concerne les équipements productifs qui sont les moteurs du développement, les effets bénéfiques différeront en fonction des systèmes de production des différentes zones. Il est important de noter que l'électrification rurale a un impact particulièrement positif sur les femmes. Les femmes seront les premières bénéficiaires de l'électrification rurale. En effet, l'électrification rurale allègera leurs tâches ménagères et ainsi elles pourront dédier plus de temps à des activités leur apportant un revenu ou pour les jeunes filles à la scolarisation.

Dans le cadre de ce projet, il s'agit de la mise en place d'un système d'agriculture en serre alimenté par un système électrique photovoltaïque dans la zone rurale d'Ouré avec des avantages socio-économiques positifs dans et autour du village. Cet effet sera réalisé grâce à la fourniture d'une solution complète de serre comprenant l'irrigation, l'entreposage frigorifique, ainsi que la production de pesticides et d'engrais organiques. Il s'agit également à travers la mobilité électrique d'assurer le transport de la production sur les marchés locaux. Les membres de la communauté auront la possibilité de cultiver dans la serre, de laisser leurs produits refroidis, emballés ou livrés à une destination spécifique.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Présentation de la structure d'accueil

Créée en 2005 sous la forme d'une Société à Responsabilité Limitée avec un capital de départ de 20 millions de FCFA, la société a connu plusieurs modifications tant sur le plan Juridique qu'organisationnelle. Ainsi, en 2016, elle est constituée sous la forme de Société Anonyme dont le capital passe à 300 millions de FCFA, et prend la dénomination ACCESS SA. L'évolution de sa forme juridique, exige la révision de sa structure organisationnelle, avec à sa tête un Président Directeur Général.

ACCESS SA est une entreprise dynamique et innovante avec plus de 10 ans d'expérience dans le domaine d'énergie et se focalise sur le développement durable de l'électrification rurale en utilisant des énergies vertes pour fournir de l'électricité aux populations des zones rurales. Née d'une véritable passion pour la protection de l'environnement, ACCESS est le premier opérateur de mini réseaux au Mali et dispose d'une forte expérience dans les domaines suivants :

- Développement de projet de mini réseau solaire hybride
- Ingénierie, approvisionnement et construction EPC
- Opération de maintenance
- Conception et installation de réseau de distribution Basse Tension et Moyenne Tension
- Energie solaire, produits électriques, système solaire domestique, lanterne solaire, etc.
- Gestion de l'électrification rurale.

Depuis sa création, ACCESS œuvre pour l'amélioration des conditions de vie des populations rurales dans le respect des conditions environnementales. A cet effet, elle a sous sa gestion plus d'une vingtaine de centrales dans la zone de Bougouni-Yanfolila.

Elle a également conduit avec succès plusieurs projets EPC qui lui a permis d'asseoir sa notoriété auprès de partenaires internationaux :

- Projet SABRE : Cinq (5) villages financés par l'UEMOA
- Projet SHER : six (6) villages financés par la Banque Mondiale
- Projet PERSHY : 10 villages financés par le Fonds Abu Dhabi

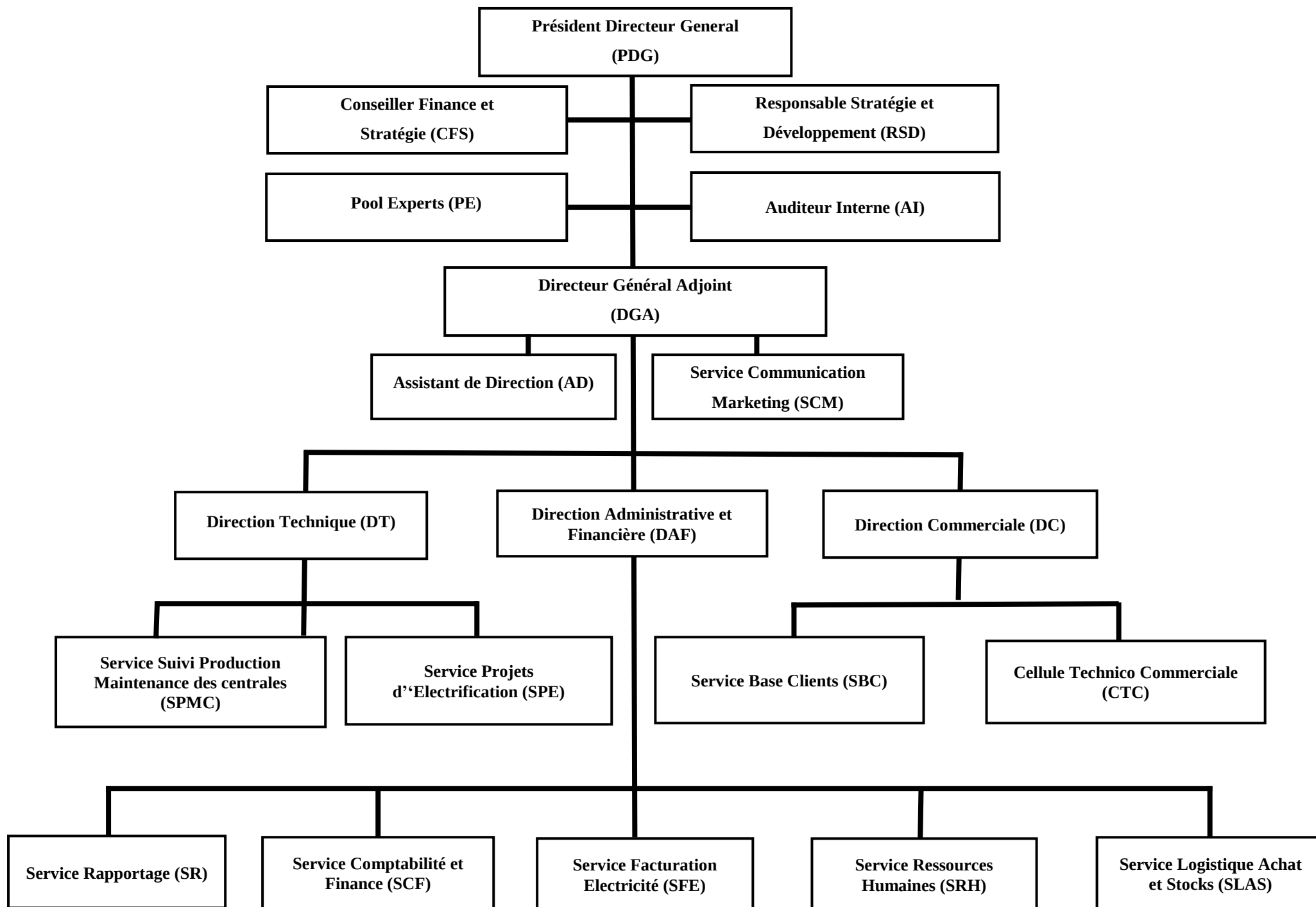


Figure 1 : Organigramme d'ACCESS SA

I.2. Présentation de la zone d'étude

Le village d'Ouré est situé dans la Commune de Zantiebougou, Arrondissement de Bougouni, Région de Sikasso. Il est très bien relié aux autres marchés du Mali par la route nationale n°7 (RN7). Il s'agit d'une autoroute à revêtement dur, le plus grand type de route au Mali. Il continue vers l'est jusqu'à la capitale régionale de Sikasso (188 km) et vers l'ouest jusqu'à la ville de Bougouni (15 km), puis vers le nord jusqu'à la capitale, Bamako (165 km).

En 1998 Ouré avait une population de 707 habitants RGPH 1998 (Recensement Général de la Population et de l'Habitat). En 2020, la population d'Ouré est estimée à plus de 2500 habitants.

Le village d'Ouré dispose de trois quartiers, à savoir : Zana, Diarra et Dossa. Il est caractérisé par deux zones climatiques se partageant en :

- Le soudano guinéen, occupe la partie sud du cercle avec des galeries forestières.
- Le soudanien Sud, intéresse la partie nord avec la savane boisée. La végétation se caractérise par une savane arborée avec des espèces comme le parkia biblobosa (néré), guira senegalensis (koundiè), vitellaria paradoxa (karité), andersonia digitata (sira), linnea microcarpa (benben), Borassus flabellifer Mart (Sébé), etc.

Sur le plan économique, le relief joue un rôle important dans le maintien de l'équilibre économique d'une part à travers la végétation qui contribue à travers les produits forestiers (ligneux et non ligneux) à l'amélioration des conditions de vie des populations. La pluie et les cours d'eaux ont d'autre part, une influence très grande sur les activités de production agricole et pastorale de la localité.

Le village d'Ouré dispose des infrastructures de base pour son développement socio-économique et culturel. Les détails des infrastructures existantes dans le village sont consignés dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Infrastructures éducatives et sanitaires

Infrastructures éducatives et sanitaires	Nombres
Hydraulique	(4) forages
Ecole	(1) Premier Cycle de 6 classes
Centre d'alphabétisation	(1) Salle d'alphabétisation
Centre de Santé	(1) Centre de Santé communautaire

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

Dans le village d'Ouré, les besoins en infrastructures scolaires et sanitaires sont réalisés dans le chef-lieu de commune qui est Zantiébougou. Dans le chef-lieu de commune, il y a un CSCOM, un Lycée Privé un premier et un second cycle. Pour l'éducation des enfants, ils sont soit logés à Zantiébougou chez un parent proche ou font le trajet tous les jours entre Zantiébougou et Ouré. Pour les besoins en eau potable, les populations utilisent les forages réalisés par certains partenaires.

Le village d'Ouré dispose d'une foire hebdomadaire, qui facilite les échanges entre la localité et l'extérieur. L'inaccessibilité à une source d'énergie fiable affecte certaines activités comme la menuiserie métallique, la transformation des produits de l'élevage et des produits agricoles et même, les lieux de cultes (Mosquée), etc

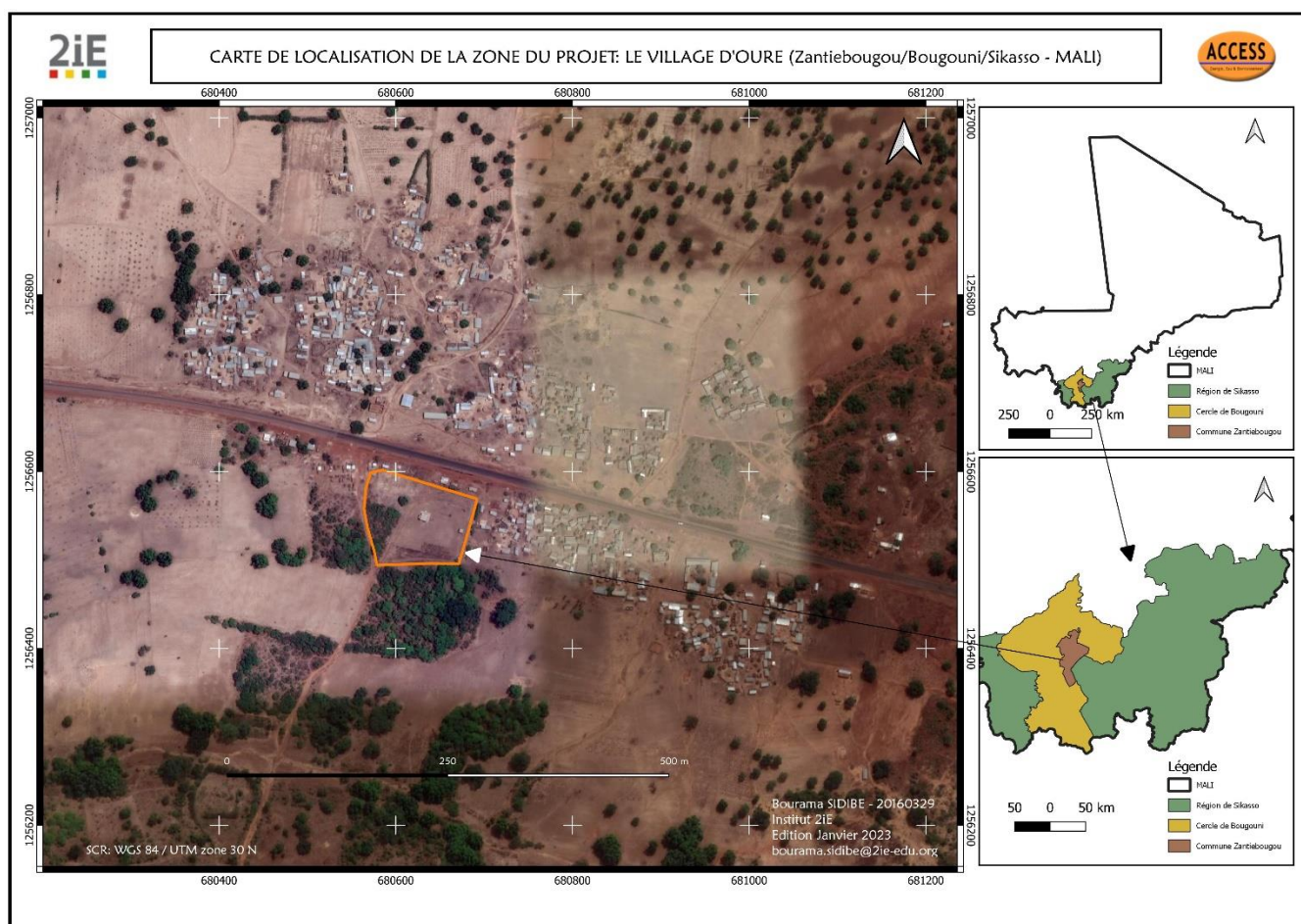


Figure 2 : localisation de la zone d'étude

II. GENERALITE

II.1. Présentation du cahier de charges du projet

Il est question de présenter le projet, ses différents axes ainsi que ses objectifs. Nous présenterons également le contexte du projet ainsi que les résultats attendus.

II.1.1. Contexte

Le Mali est un vaste pays de 1 241 248 km² situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, dans les zones sahélienne et saharienne. Le pays compte dix régions administratives : Kayes, Koulikoro, Sikasso, Ségou, Mopti, Tombouctou, Gao, Kidal, Ménaka, Taoudeni, et le district de Bamako. Elle comprend 49 cercles et 703 communes (dont 666 communes rurales). Le projet est mis en œuvre dans la région de Sikasso.

L'accès à l'énergie par les communautés rurales reste une grande priorité sans exception pour tout le Mali, mais reste une équation difficile à équilibrer. Pour cela, plusieurs politiques et programmes stratégiques ont été mis en place pour répondre aux besoins énergétiques des populations. Le Mali, il y a une dizaine d'années, a pris une option pour les énergies renouvelables et particulièrement le solaire, qui sont certainement l'une des solutions durables pour l'accès à l'énergie. Malgré les efforts importants déployés dans le secteur de l'énergie au Mali, le taux d'électrification rurale reste inférieur à 20%[2]. Le gouvernement malien a créé, en 2003, l'AMADER afin de soutenir l'électrification rurale. Le Mali a été l'un des premiers pays d'Afrique de l'Ouest à adopter un cadre réglementaire pour l'électrification rurale par des fournisseurs d'électricité indépendants, il y a plus de 15 ans. AMADER a déjà établi l'électrification dans plus de 200 villages avec des centrales hybrides diesel et solaires, ce qui représente moins de 2% de tous les villages maliens (plus de 12 000 au total). Par conséquent, le Mali a encore un long chemin à parcourir, et cela ne peut être réalisé sans l'exigence d'investissements étrangers.

La population malienne est massivement dépendante de l'agriculture. Plus de 80% de la population malienne travaille dans le secteur agricole, et dans les zones rurales, ce taux est encore beaucoup plus élevé[3]. Pour la plupart des gens, il s'agit encore d'une agriculture de subsistance à haut risque. Les techniques agricoles modernes font généralement défaut, ce qui signifie que les pertes après récolte dues aux ravageurs et au manque d'installations de stockage en particulier les chambres froides pour les légumes et autres produits de jardinage sont extrêmement élevées.

La population rurale fait partie des personnes les plus pauvres de la planète. Leur dépendance à l'égard de l'agriculture et du jardinage les place au premier rang des personnes subissant les

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

effets négatifs du changement climatique. Il s'agit notamment de la forte augmentation des températures, de l'imprévisibilité croissante de la variabilité des précipitations, qui se manifeste par la fréquence accrue des sécheresses mais aussi des inondations, et de la réduction de la productivité agricole et de la disponibilité de l'eau.

Le Mali est aujourd'hui confronté à une triple crise sans précédent : la pauvreté, les impacts catastrophiques du changement climatique et les effets de la pandémie mondiale de Covid-19. Le Mali est un pays enclavé d'Afrique de l'Ouest qui présente des taux d'électrification rurale parmi les plus bas et des taux de pauvreté parmi les plus élevés au monde. Cette situation a un impact négatif sur la qualité de vie et constitue un obstacle à l'amélioration des opportunités économiques pour les populations rurales.

II.1.2. Projet

Pour le moment, l'électricité n'est pas disponible dans le village. L'entreprise installera une unité de production d'énergie basée sur le photovoltaïque dans le cadre du projet.

Une partie du projet est le système agrivoltaïque qui consiste à l'installation d'une serre de 500 m², un système d'irrigation goutte à goutte, 2 unités de stockage frigorifique (totalisant 10 000 kg ou 10 m³), une unité de production d'engrais organique et pesticide, une unité de conditionnement, une salle de vente et un tricycle électrique avec recharge pour sécuriser l'accès aux marchés. Mon travail se limite à la partie d'électrification du village par une centrale photovoltaïque

II.1.3. Objectif du projet

Le projet contribuera à l'amélioration de la vie de la population dans et autour du village cible d'Ouré, notamment en créant des emplois verts, en réduisant la pauvreté, en améliorant la sécurité alimentaire et l'électrification du village, grâce à la fourniture d'une serre à énergie photovoltaïque. Pour répondre à notre objectif principal qui est :

- ❖ D'électrifiera le village d'oure par une centrale photovoltaïque avec des avantages socio-économiques positifs pour le village.

Nous nous sommes fixés 3 objectives spécifiques qui sont :

- Dimensionner les équipements de la centrale
- Evaluer la rentabilité économique de la centrale conçue
- Evaluer l'impact environnemental et social du projet.

II.2. Travail demandé et résultats attendus

Le travail demandé ici consistera à :

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

- La conception de la centrale photovoltaïque pour l'électrification rurale ;
- La réalisation d'une étude économique ;
- Faire le planning de maintenance ;
- Faire la notice d'impact environnemental liée au projet ;

III. ETAT DE L'ART DES SYSTEMES AGRIVOLTAIQUES

III.1. Généralité sur l'agrivoltaïque

La population mondiale continue de croître. Dans le même temps, les effets du changement climatique, notamment la progression du réchauffement climatique. En effet, les secteurs de l'agriculture et de l'énergie font face à de nombreux défis qui doivent être surmontés. L'agrivoltaïsme semble apporter une solution aux préoccupations dans ces domaines. Celle-ci consiste à lier la production d'énergie électrique à la production agricole par l'installation de systèmes photovoltaïques. Ces installations sont conçues pour fournir de l'ombre afin de protéger les plantes et les animaux des intempéries tout en assurant la production d'électricité. L'agrivoltaïque (agrivoltaïsme ou agri-photovoltaïque) sont des systèmes hiérarchisés qui associent photovoltaïque et production agricole sous un même plan. La coexistence de panneaux solaires et de cultures implique un partage de la lumière entre ces deux types de production. Certaines cultures, notamment l'arboriculture fruitière, et certains élevages (volailles, moutons, etc.) peuvent bénéficier de cette pratique. Adolf Goetzberger et Armin Zastrow ont d'abord proposé l'idée de faire coexister le photovoltaïque et la production agricole en 1981 pour améliorer l'efficacité globale[4]. Ils ont cherché à résoudre le conflit entre la production d'énergie et la production agricole concernant l'utilisation de la terre et de la lumière. La « saturation photosynthétique » décrit le seuil de développement des plantes auquel l'augmentation de l'intensité lumineuse n'affecte plus la photosynthèse. En 2004, Akira Nagashima a été le premier au Japon à utiliser des panneaux solaires pour améliorer l'excès d'intensité lumineuse inutile à la photosynthèse sans endommager les cultures. La technologie agrivoltaïque, presque inconnue en Afrique, a de très forts impacts positifs, tant pour les producteurs d'énergie que pour les personnes employées dans l'agriculture et le jardinage.

Il est également possible de faire évoluer le système de dizaines de kW à plusieurs MW, et avec ou sans structures de serre.

L'Afrique connaît une croissance démographique énorme et une demande de nouveaux emplois verts. Alors que les prix des terrains augmentent inévitablement, la technologie agri - voltaïque, avec sa plus grande efficacité d'utilisation des terres grâce à sa double production intelligente d'énergie propre et de nourriture, deviendra de plus en plus pertinente à l'avenir.

Par conséquent, le Réseau Agri - voltaïque Africain aura un rôle stratégique dans la promotion et l'adoption de la technologie, de manière similaire à EUROSOLAR (<https://www.eurosolar.de/en/>) en Allemagne et en Europe, et le World Wind Energy

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

Association (WWEA, <https://wwindea.org>) et les World Community Power Conferences (WCPC) le font au niveau mondial.

III.2. Classification des systèmes agrivoltaïques

L'agrivoltaïque est disponible dans une variété de configurations. Notre système peut être ouvert ou fermé. Le système fermé a deux types de construction : des serres photovoltaïques et des bâtiments opaques, tandis que le système ouvert est de type hangars au-dessus des cultures.

Dans les deux cas, les panneaux photovoltaïques peuvent être fixes ou dynamiques sur l'axe de rotation.

Panneaux photovoltaïques fixes :

Le moyen le plus simple consiste à installer un panneau solaire fixe dans une serre agricole ou dans un champ ouvert au-dessus ou entre les cultures. Une installation optimale est possible en modifiant la densité des panneaux solaires et l'inclinaison des panneaux.

Panneaux photovoltaïques Dynamique :

Dans une configuration plus sophistiquée, les panneaux solaires sont mobiles et peuvent être contrôlés pour optimiser le placement afin de faciliter la production agricole. Le premier équipement agricole dynamique est développé au Japon. Le panneau est réglable manuellement. Les agriculteurs changent la position des panneaux en fonction de la saison et du stade de croissance des cultures pour augmenter ou diminuer l'ombrage et la production d'électricité. Les entreprises japonaises ont également développé des systèmes plus sophistiqués. Par exemple, les plantes poussent sous un système constitué d'une table orientable à deux axes (25 panneaux solaires) fixée à un poteau central. Les panneaux peuvent être positionnés pour améliorer la production d'électricité ou ombrager les plantes selon les besoins. Le premier prototype a été construit en Autriche en 2007. REM TEC a installé plusieurs centrales électriques en Italie et en Chine, équipées de systèmes de rotation de panneaux solaires sur deux axes. Leur système permet un placement très précis des panneaux.

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

Ils ont également développé un système équivalent pour équiper les serres agricoles

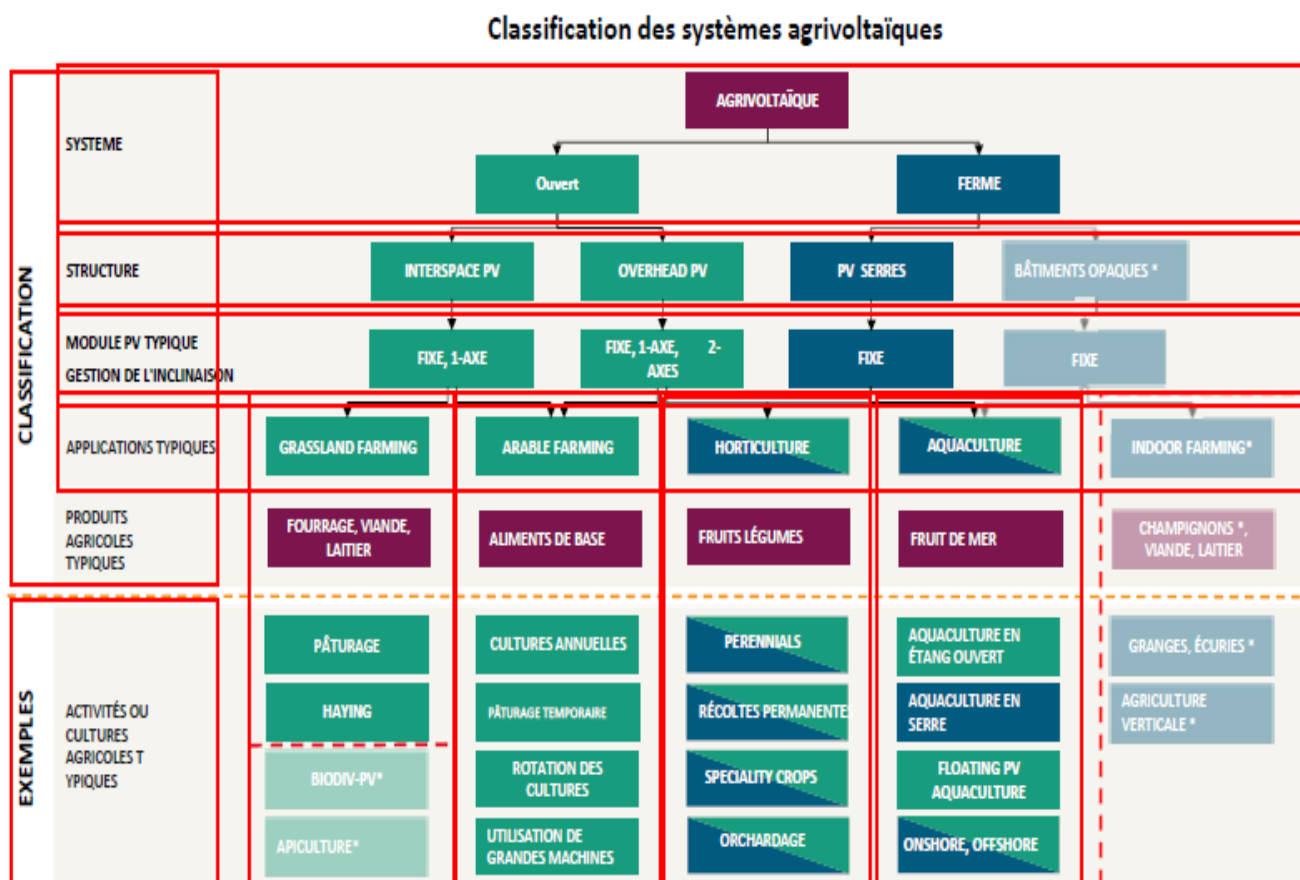


Figure 3 : Classification des systèmes agrivoltaiques

III.3. Projets similaires dans le monde

Au Japon

En 2004, Nagashima Akira du Japon a développé une structure détachable et l'a testée sur plusieurs cultures dans le champ. Depuis lors, de nombreux projets de terrain portant sur diverses cultures (agrumes, arachides, aubergines, concombres, choux, riz, vigne, champignons, etc.) et l'élevage ont été initiés au Japon. La construction amovible permet aux agriculteurs de retirer et de déplacer l'équipement en fonction de la rotation des cultures et des besoins. Depuis 2004, des centrales encore plus grandes avec des structures permanentes et des systèmes dynamiques ont été développées et peuvent atteindre des puissances de plusieurs MW. Par exemple, en 2017, une centrale électrique de 35 MW a été mise en service sur 54 hectares de cultures de plein champ.

En Chine

Ils ont construit une centrale électrique agricole de 0,5 MWc. Les entreprises chinoises ont développé plusieurs centrales solaires GW qui combinent agriculture et production d'énergie solaire, soit dans des serres solaires, soit dans des systèmes au sol. Par exemple, en août 2016, Panda Green Energy a installé des panneaux solaires sur un vignoble à Turpan, dans la région autonome ouïghoure du Xinjiang. Une centrale de 0,2 MW a été raccordée au réseau. Le projet a été audité en octobre 2017 et l'entreprise a reçu l'autorisation de déployer le système à l'échelle nationale. Des dizaines de projets MW sont déployés sur le terrain. Par exemple, en 2016, une centrale électrique agricole de 70 MW a été installée dans les cultures agricoles et forestières du Jiangxi.

En France

Le gouvernement français a chargé la Commission de régulation de l'énergie (CRE) d'organiser un appel d'offres pour réglementer la production d'énergie renouvelable subventionnée par l'État. Les CRE élaborent les cahiers des charges, analysent les offres et proposent des classements. Grâce à ces appels d'offres, de nombreuses serres photovoltaïques ont été développées. La Centrale Agricole de Tresserre a également bénéficié du troisième appel d'offres lancé en 2014. Il concerne la construction et l'exploitation de centrales solaires au sol, dans les auvents des parcs et sur les grandes toitures. Le 14 mars 2017, la ministre de l'Environnement Ségolène-Royal a lancé un appel d'offres pour les technologies solaires innovantes. Divisé en plusieurs familles, dont la famille « Agrivoltaik », divisée en trois périodes d'application consécutives. La période d'appel d'offres s'étend du 2 octobre 2017 au 30 septembre 2019, avec une puissance appelée cumulée de 210 MW, dont 45 MW pour les

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

familles « agricoles ». Les résultats de la première période ont été annoncés le 8 février 2018. Les sociétés Akuo Energy, Tenergy et Valtalia se sont partagé les 15 MW alloués pour cette première période[5]. Tableau 2 : Projet de SA en cours en France

Tableau 2 : Projet de SA en cours en France

Société	Nom du projet	Puissance de l'installation (MWc)	Région
Akuo Energy	Agrinergie de la Nesque	2	Provence - Alpes - Côte d'Azur
Akuo Energy	Agrinergie de Sainte Marthe	1,1	Centre - Val de Loire
Tenergy	CASSAL1248	1,449	Provence - Alpes - Côte d'Azur
Tenergy	MARELN2648	0,939	Occitanie
Tenergy	MARELN2649	1,477	Occitanie
Tenergy	OBOALI1210	2,312	Auvergne Rhône-Alpes
Tenergy	OURPEX782	2,53	Occitanie
Tenergy	PASFEL1296	0,5	Occitanie
Valtalia	Champ agrivoltaïque du Cabanon	2,996	Provence - Alpes - Côte d'Azur
Total		15,303	

IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

IV.1. Fonctionnement de la centrale

Un champ PV produit un courant continu et cette énergie électrique est envoyée à un onduleur de réseau où elle est convertie en courant alternatif. Cette énergie en courant alternatif est renvoyée au boîtier multicluster, qui est le tableau de distribution principal en courant alternatif. Les onduleurs Sunny Island gèrent l'équilibre entre l'énergie fournie et l'énergie consommée et disposent des systèmes de gestion suivants : Batterie, Générateur, Consommateur. Lorsqu'il reste de l'énergie (rayonnement solaire fort et faible, etc. consommation), l'onduleur Sunny Island prélève de l'énergie sur le réseau alternatif et l'utilise pour charger les batteries. À l'inverse, lorsque l'énergie se fait rare (pas ou peu de rayonnement solaire et forte consommation), L'onduleur Sunny Island alimente le réseau alternatif à partir des batteries[6]. Le schéma synoptique de la centrale photovoltaïque est représenté par la Figure 4

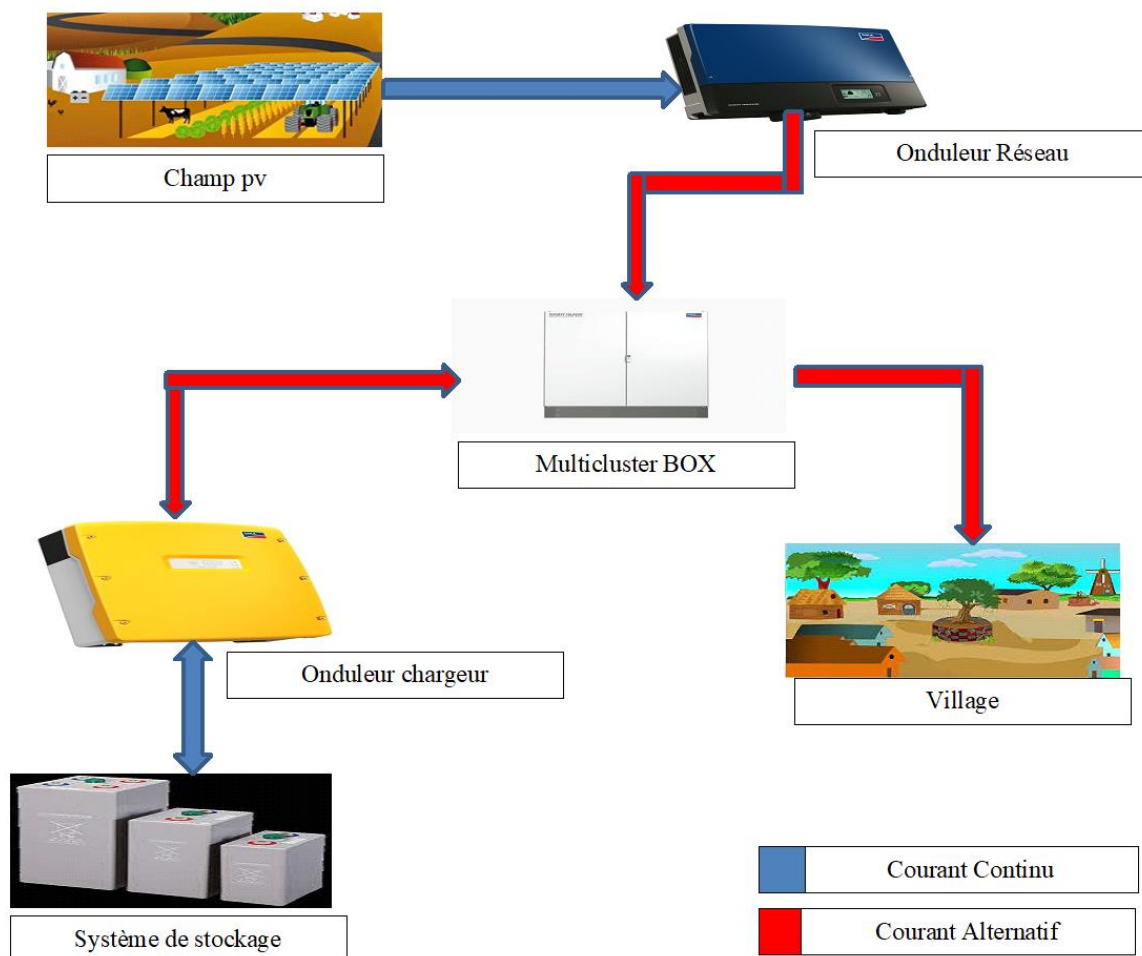


Figure 4 : Schéma synoptique de l'installation

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

IV.2. Collecte des données géographies et climatiques

La pluviométrie moyenne avoisine les 1 000 mm/an et s'étale presque sur une durée allant de quatre à cinq mois. Les eaux de pluies alimentent les, rivières non pérennes, qui constituent les cours d'eau principal du village. La faune est moins abondante de nos jours à cause des actions anthropiques et des effets des changements climatiques. Les quelques rares animaux et oiseaux sauvages qu'on peut rencontrer sont entre autres : les singes rouges, les lapins, les pintades, les perdrix. L'irradiation moyenne journalière la plus faible dans la zone d'intervention du projet est de 4,87 kWh/m²/jour, ce qui correspond au mois de décembre.

Les coordonnées géographiques de la ville d'Ouré sont :

- Latitude : 11.878°N
- Longitude : -7.711°
- Altitude : 341m

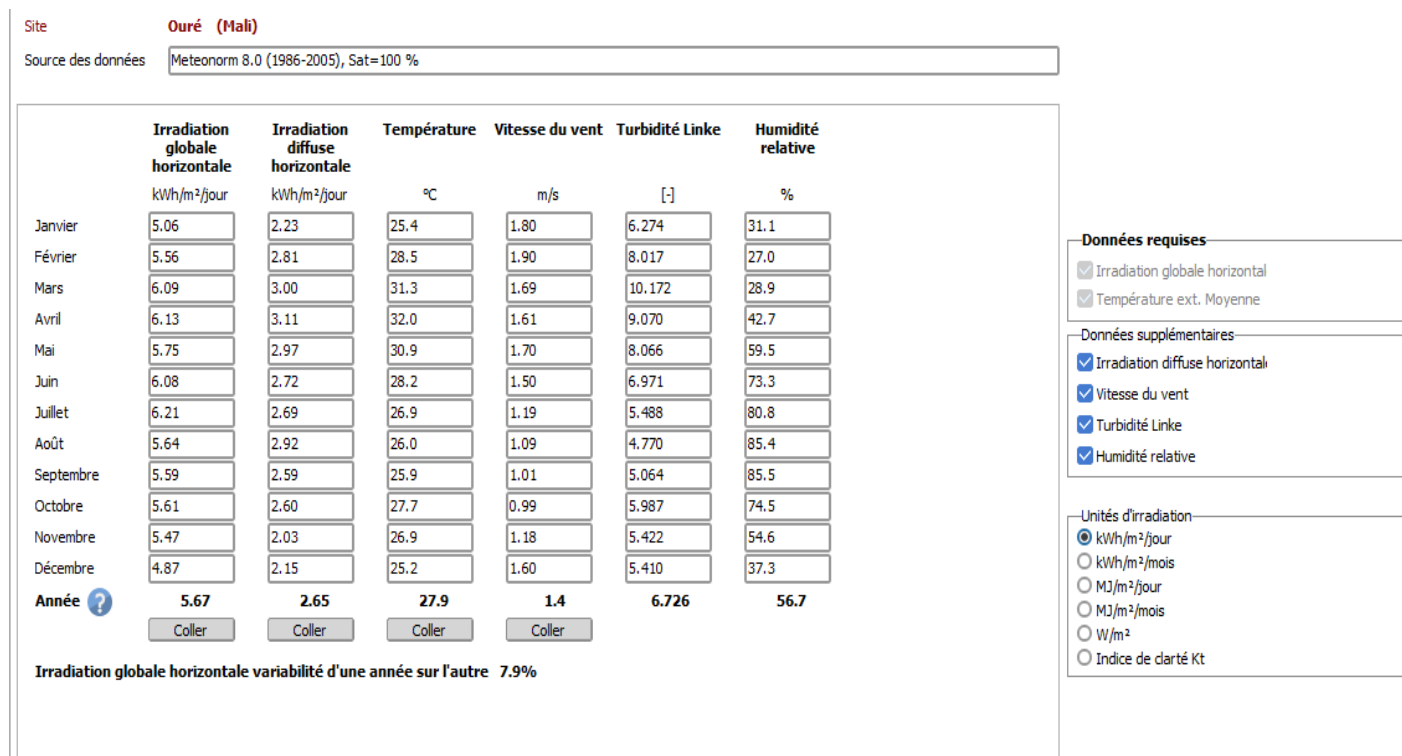


Figure 5 : Irradiation d'Ouré

IV.3. Evaluation des besoins énergétiques

Ici, la demande d'énergie quotidienne est définie comme l'énergie électrique consommée quotidiennement par un site ou une région qui doit être satisfaite à partir d'une seule source pour que le consommateur fonctionne correctement. Le village n'étant pas électrifier donc pour évaluer cela dans notre cas, les données collectées sur un village dans la même zone en

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

l'occurrence celui de manankoro ont été utilisées par analogie pour avoir le besoin énergétique du village d'Ouré. Après avoir obtenu la consommation mensuelle, le besoin journalier est obtenu par l'Équation 1 :

Équation 1 : besoin journalier

$$B_j = \frac{C_m}{30}$$

Avec C_m la consommation mensuelle

IV.4. Dimensionnement du système PV

La puissance de crête du champ photovoltaïque nécessaire pour couvrir notre besoin énergétique journalier est calculée à l'aide de l'équation suivante :

Équation 2 puissance crete

$$P_c(W_c) = \frac{B_j}{R_{bat} * R_{gen} * H_i}$$

Avec :

B_j : Le besoin journalier en électricité de la centrale photovoltaïque.

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

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

H_i : L'irradiation solaire ou rayonnement solaire journalier du mois le plus défavorable

Le choix s'est porté sur les modules monocristallins 550 W de marque Jinko à cause de son faible coefficient de température pour minimiser la diminution de la puissance de sortie causée par une augmentation de température du fait de son meilleur rendement et de sa disponibilité.

Le nombre de module d'une installation PV connaissant la puissance crête, est obtenu par l'équation suivante :

Équation 3 nombre de module

$$N_m = \frac{P_c}{p_m}$$

Avec :

P_c : Puissance crête du champ (Wc)

p_m : Puissance unitaire du module choisi (Wc).

IV.5. Dimensionnement de l'onduleur

✚ L'onduleur sera choisi en fonction des critères suivants :

- La tension MPP du générateur PV > la tension minimale admise à l'entrée de l'onduleur
- La tension en circuit ouvert du générateur PV < la tension maximum admise à l'entrée de l'onduleur
- Préférer la tension nominale à l'entrée de l'onduleur, car elle donne le meilleur rendement
- Le ratio de puissance doit être compris entre 95% et 110%
- Tous les strings (branches) connectés à un même onduleur doivent avoir la même tension nombre de modules à mettre en série N_{ms}

Équation 4 : nombre de module en série

$$\frac{V_{mpmin\ ond}}{V_{mpmin\ mod}} * 1,1 < N_{ms} < \frac{V_{mpmax\ ond}}{V_{mpmax\ mod}} * 0,95$$

Avec

Coefficient de sécurité : 1,1 et 0,95

N_s : nombre de modules en série

$V_{mpmin\ ond}$: Tension minimale de l'onduleur (V)

$V_{mpmax\ ond}$: Tension maximale de l'onduleur (V)

$V_{mpmin\ mod}$: Tension minimale du module (V)

$V_{mpmax\ mod}$: Tension maximale du module (V)

Un onduleur est également caractérisé par son courant maximal à l'entrée qui correspond au courant maximal que peut supporter l'onduleur côté DC.

Lorsque le courant à l'entrée de l'onduleur côté DC est supérieur au courant maximal admissible par l'onduleur celui-ci continue de fonctionner mais fournit au réseau la puissance correspondante à son courant maximal. Dans ce cas, nous devons nous assurer que le courant débité par le générateur PV ne dépasse pas la valeur du courant maximal admissible I_{max} de l'onduleur.

✚ **Nombre de string de modules N_{str}**

A l'aide de l'équation, nous déterminons le nombre de string pouvant être mis sur l'entrée d'un onduleur

Équation 5 : nombre de string

$$N_{str} = \frac{I_{max\ ond}}{I_{cc\ mod}}$$

 Onduleur bidirectionnel

Notre installation est une installation photovoltaïque en site isolé avec une option de stockage. Pour alimenter nos batteries, nous aurons besoin des onduleurs chargeurs. L'autonomie est utilisée pour assurer la prise en charge nocturne de l'ensemble du site, ou pendant les jours nuageux. La puissance totale des onduleurs chargeurs est déterminée à l'aide de la puissance totale des onduleurs PV[6].

Équation 6 : puissance onduleur chargeur

$$P_{ondtotalcharg} = 0,8 \times P_{ond\ PV}$$

IV.6. Dimensionnement système de stockage

La capacité minimum (C) en Ah des batteries est déterminée par l'équation ci-dessous.

Équation 7 : capacité minimal de la batterie

$$C_{batmin} = \frac{B_j \times J_{raut}}{V_{syst} \times R_{bat} \times DM}$$

La batterie devra être choisie puis la tension du système, la profondeur de décharge et le rendement des batteries devront être définis par la suite. Le nombre de batteries en série sera calculé de la façon suivante :

Équation 8 : nombre de batterie en série

$$N_{bats} = \frac{V_{syst}}{\text{tension nominale batterie}}$$

Le nombre de strings de batterie sera calculé de la façon suivante :

Équation 9 nombre de branche de batterie

$$N_{batp} = \frac{C_{batmin}}{\text{Capacité batterie}}$$

La capacité totale des batteries est donnée par l'équation suivante

Équation 10 : Capacité totale des batteries

$$(C_{bat}) = N_{batp} \times \text{capacité batterie}$$

IV.7. Estimation de la surface totale nécessaire pour l'installation

Pour savoir si la surface choisie est suffisante, il est nécessaire de déterminer la surface totale occupée des modules PV et du local technique. La surface totale du champ PV est déterminée et prise en compte en fonction des dimensions réelles du module. La mise en place d'un tel système est fonction de plusieurs facteurs car il constitue principalement l'association d'un système de production d'électricité et production agricole.

Donc la mise en place d'un système photovoltaïque au-dessus des spéculations agricole est influencée par des facteurs qui sont :

- La taille des spéculations
- Une inclinaison suffisante pour permettre la photosynthèse
- La taille et le volume des engins utilisés pour la production agricole

Pour notre installation, il en ressort que la population d'OURE pratique plus la production des spéculations comme : la pomme de terre, la patate douce, le mil, le sorgho et les cultures maraichères etc.

Pour le choix de la hauteur à laquelle les modules seront positionnés, il s'est fait en considérant la spéculation qui a la plus grande taille à maturation dont le sorgho allant jusqu'à 2m.

Soit la Figure 6 : Méthode de calcul de l'espacement entre deux rangées qui illustre notre méthodologie de calcul de D.

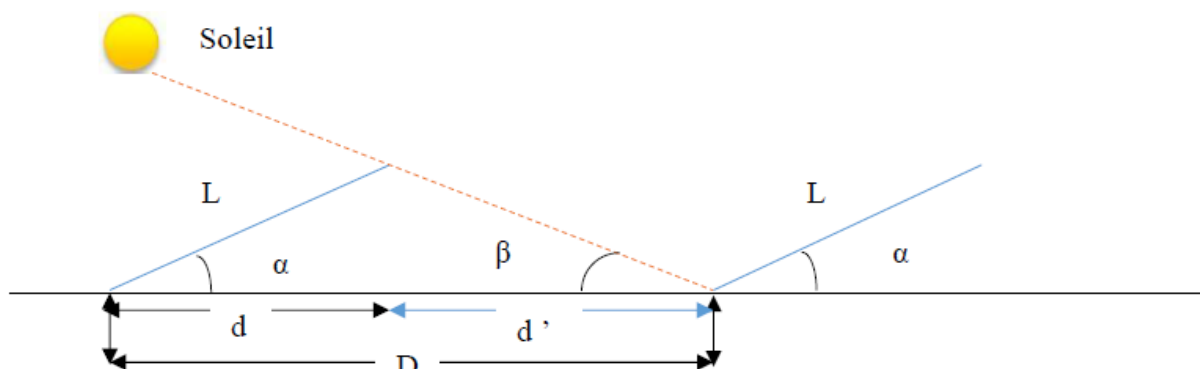


Figure 6 : Méthode de calcul de l'espacement entre deux rangées

$\alpha = 15^\circ$, β est la plus basse altitude du Soleil. Il est calculé pour qu'une table n'occulte pas la suivante. Où L est la longueur de la table, prise comme une valeur de $2 \times l$. Où l est la largeur du module. C'est parce qu'il y en a 2 sur le sol de la table, disposés verticalement. La latitude de l'emplacement est de : 11.878°N .

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

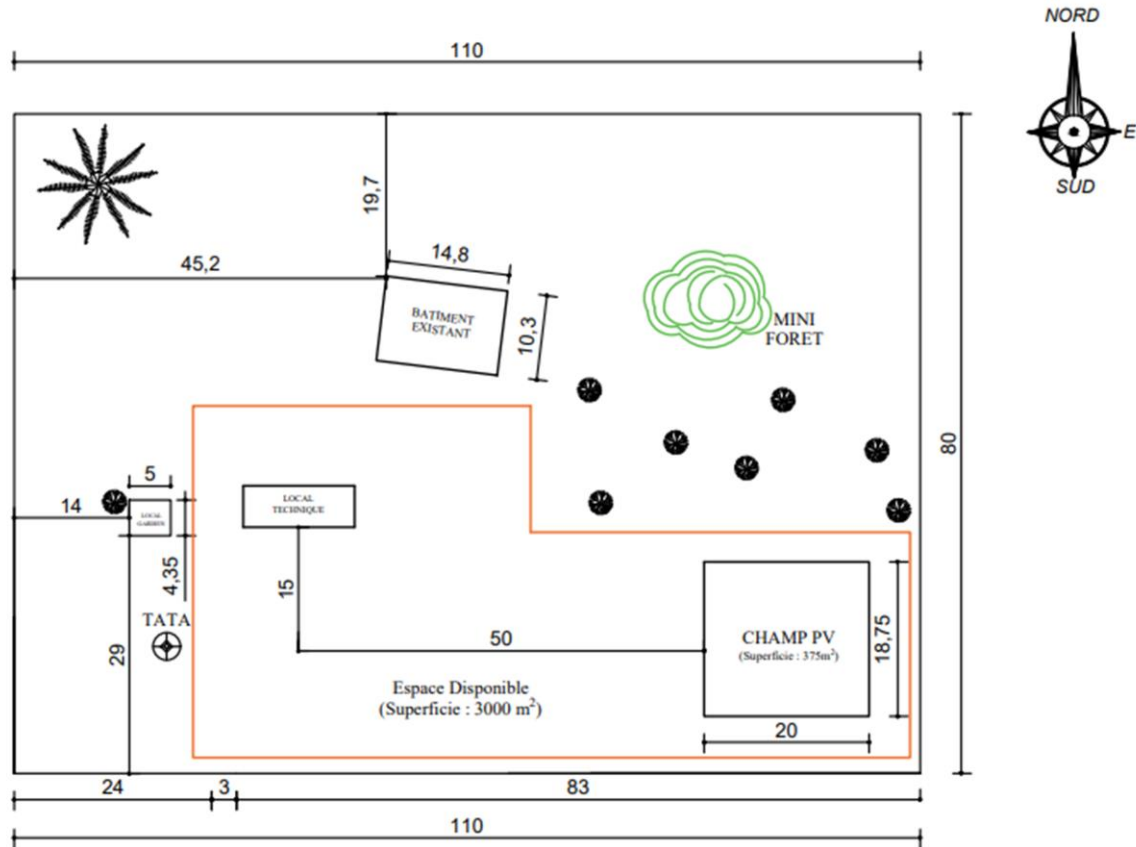


Figure 7 Plan de masse

IV.8. Dimensionnement de système de protection

La sélection des organes de protection peut être divisée en plusieurs groupes : Terre, protection CC, protection CA. Les équipements de protection sont réglementés par la directive UTE C15-712-1[8].

- Puits de terre

La réalisation du puits au sol est une mesure très importante dans les systèmes photovoltaïques. Il s'agit de protéger l'ensemble du système en dissipant les courants de fuite à la terre. Nous recommandons d'en créer deux pour les deux tables (sous-champs) et une pour la salle technique.

- Coffret AC et DC

Le boîtier DC et AC est un dispositif de montage qui intègre des éléments de protection AC et DC. Dans notre installation, il y en a deux au total (un pour chaque sous champ). Le boîtier dispose de 8 entrées DC, dont 4 bornes + et 4 bornes -. Chaque paire d'entrées courant continues (borne +, borne -) représente une chaîne. Chaque entrée de chaîne est protégée par un sectionneur DC avant d'être connectée au convertisseur de ligne. Ainsi, la sortie courant

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

alternative de l'onduleur de réseau (énergie du champ PV) parvient à nouveau au boîtier, mais cette fois au niveau du disjoncteur AC, le boîtier de regroupement (le boîtier chargé de regrouper les alimentations) avec deux onduleurs réseaux.

- Câble

Les câbles, qui sont des canaux, sont nécessaires pour transférer l'énergie de la production à la consommation. Il existe deux types de câbles selon le type de courant circulant : les câbles DC pour le raccordement entre les modules et les coffrets DC et les câbles AC entre les coffrets AC, les onduleurs, le multicluster et les charges.

IV.9. Dimensionnement avec le logiciel pvsyst

Le dimensionnement est fait de manière empirique d'une part à l'aide d'un tableur Excel monté à nos soins, et d'autre part le logiciel PVsyst (version 7.5.1) est utilisé dans le but de confirmer et d'optimiser le dimensionnement précédemment fait.

V. ETUDE TECHNIQUE

V.1. Evaluation des besoins énergétiques

Tableau 3 : Consommation énergétique de Manankoro

TABLEAU RECAPITULATIF DE LA CONSOMMATION DU VILLAGE DE MANANKORO 2022	
PERIODE	CONSO kWh
Année 2021	
février-22	4802
mars-22	5105
avr.-22	5640
mai-22	5893
juin-22	6 027
juil.-22	6 090
août-22	6432
sept.-22	6480
oct.-22	6937
nov.-22	5429
déc.-22	5550
TOTAL	64 385

Le Tableau 3 nous montre la consommation du village de manankoro sur l'année 2022. Une moyenne de cette consommation a été retenue. On a une consommation mensuelle de 5853,18 kWh, le besoin journalier est donné par l'Équation 1 :

$$B_j = \frac{5853,18}{30}$$

$$B_j = 195,10 \text{ kWh}$$

Un coefficient d'extension de 10% sera pris en compte pour notre dimensionnement.

$$B_j = 214,61 \text{ kWh}$$

V.2. Dimensionnement du système PV

La puissance de crête du champ photovoltaïque nécessaire pour couvrir notre besoin énergétique journalier est :

$$Pc(Wc) = \frac{214,61}{0,8 \times 0,8 \times 4,87}$$

$$Pc = 69000 Wc$$

Avec : $B_j=214,61$ kWh/j ; $R_{bat}=80\%$; $R_{gen}=80\%$; $H_i = 4,87$ kWh·m⁻²·j⁻¹

Après calcul, la puissance du champ nécessaire pour satisfaire la demande énergétique du système agrivoltaïque est de **69 kWc**. Les résultats des calculs sont récapitulés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Récapitulatif des besoins énergétiques

Besoin journalier total de la charge (kWh/j)	Puissance crête du champ nécessaire (kWc)
214,61	69

Choix des modules

Les modules choisis sont ceux de 550 Wc chez Jinko solar dont les caractéristiques sont résumées dans le Tableau 5. Voir en ANNEXE 1 : Fiche technique JinKo Solar

Tableau 5 : caractéristique du module

Reference	JKM550M-72HL4-V
Pmpp (W)	550
Vmpp (V)	40,90
Voc (V)	49,62
Isc (A)	14,03
Impp (A)	13,45
Coefficient de température Voc	-0,28/°C
Coefficient de température Isc	+0,048/°C

Calcul du nombre de modules Nm

$$Nm = \frac{69000}{550}$$

$$Nm = 126 \text{ modules}$$

V.3. Dimensionnement de l'onduleur

Pour que l'onduleur puisse fonctionner à sa puissance maximale, ce ratio doit être compris entre à 0,95 et 1,10.

$$0,9 < \frac{p_{nom}}{p_c} < 1,1$$

$$0,95 < \frac{p_{nom}}{69} < 1,1$$

$$65,5 < p_{nom} < 75,9$$

Pour ne pas fragiliser notre système en raison d'une panne ou de l'entretien, nous avons choisi 3 onduleurs SUNNY TRIPOWER de 25 kW. Voir ANNEXE 2 : Fiche technique onduleur dont les caractéristiques techniques est résumées dans le Tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6 : Spécifications techniques de l'onduleur Sunny Tripower 25.0

Référence	Sunny Tripower 25
Puissance maximale Générateur PV (Wc)	45000
Puissance AC (Wc)	25000
Rendement%	98
Puissance DC assignée (Wc)	25550
Plage de fonctionnement MPP (V)	[390 ; 800]
Tension maximale (V)	1000
Intensité du courant d'entrée (A)	33
Plage de température de fonctionnement	[-25 °C à +60 °C]

Nombre de modules à mettre en série N_{ms}

- Déterminons V_{max_mod}

$$V_{max_mod} = V_{oc} - K_{t,voc}(T_{min_cellule} - 25)$$

Avec :

V_{oc} = tension en circuit ouvert (V)

$K_{t,voc}$: coefficient de température du module par rapport à V_{oc} , ici $K_{t,voc}$ est égal à -0,14.

$T_{min_cellule}$ vaut ici 10,81°C [9]

$$V_{max_mod} = 49,62 - (-0,14(10,81 - 25))$$

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

La tension du module maximale est égale à 47,63.

- Déterminons V_{min_mod}

$$V_{min_mod} = V_{mp} + K_t V_{mp} (T_{max_cellule} - 25) \quad (8)$$

Avec

V_{mp} = tension à puissance maximum (V)

K_t, v_{mp} : coefficient de température du module par rapport à V_{mp} , qui est d'une valeur de -0,14

$T_{max_cellule}=72,03$ [9]

$$V_{min_mod} = 40,90 + (-0,14(72,03 - 25))$$

La tension minimale du module est de 34,31V.

$$\frac{390}{34,31} * 1,1 < N_{ms} < \frac{800}{47,63} * 0,95$$

$$12,50 < N_{ms} < 15,95$$

$$N_{ms} = 14$$

Pour le bon fonctionnement de notre onduleur réseau, on ne peut pas dépasser 15 modules en série sur une entrée MPPT donc nous allons mettre 14 modules à série sur une entrée.

✚ **Nombre maximal de rangées parallèles de modules à connecter à chaque entrée des onduleurs**

$$N_p < \frac{43}{14,03}$$

$$N_p < 2,35$$

$I_{max_onduleur}$: courant admissible maximal à l'entrée de l'onduleur (A)

I_{cc} : courant de court-circuit du module

L'entrée de notre onduleur peut prendre 2 rangées pour ne pas être endommagée. Les résultats de la vérification de la compatibilité du champ avec l'onduleur sont résumés dans le Tableau

7

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

Tableau 7 : Vérification de la compatibilité du champ avec l'onduleur

Denomination	SMA sunny tripower (25000TL)	
Calcul	Specification	
Tension nominale du système (V)	$14 \times 49,62 = 695,66 \text{ V}$	$< 1000 \text{ V ok}$
Plage de la tension MPP(V)	$\frac{390}{14} \text{ à } \frac{800}{14} = 27,85 \text{V à } 57,14 \text{V}$	$V_{mpp} = 40,90 \text{ ok}$
Courant d'entrée de l'onduleur (A)	$3 \times 14,03 \text{A} = 42,09 \text{A}$	$< \text{courant maximal} = 43 \text{A ok bon}$
Ratio de puissance	$\frac{25000}{550 \times 14 \times 3} = 1,08$	Compris entre 0,8 et 1,1 ok

 Onduleur chargeur

$$P_{\text{ondtotalcharg}} = 0,8 \times 70000 \text{ W} = \mathbf{56000 \text{ W}}$$

 Nombre d'onduleurs chargeurs

Pour les onduleurs Sunny island 8.0H on a :

$$\text{Nombre} = \frac{P_{\text{ondtotalcharg}}}{P_{\text{ondcharg}}}$$

$$\text{AN Nombre} = \frac{56000}{6000} = \mathbf{9,33}$$

Nous utilisons 9 onduleurs de charge Sunny Island 9, car un cluster du multi-cluster fonctionne avec 3 onduleurs de charge simultanément. Donc 9 au total pour former 3 clusters.

Voir ANNEXE 3 : Fiche technique SUNNY ISLAND

La puissance totale pouvant être satisfaite par les onduleurs chargeurs Sunny island 6.0H sera de $6000 \times 9 = 54000 \text{ W}$.

Tableau 8 : Spécification techniques de l'onduleur Sunny Island 6.

Puissance assignée (pour U_{nom} , $f_{\text{nom}} / 25 \text{ °C} / \cos \varphi = 1$) (W)	6000
Puissance d'entrée AC maximale (W)	11500
Tension de batterie assignée (V)	48
Intensité du courant d'entrée (A)	20
Rendement maximal (%)	95,8

 Le multi cluster box 12

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

Le multi cluster box est un distributeur principal AC qui a une entrée pour toutes les sources d'énergie du système (les onduleurs réseau, les onduleurs chargeurs).

En effet, les sorties AC (production des onduleurs réseau) passent par les disjoncteurs AC, sont regroupées au niveau du coffret de regroupement avant d'être acheminées au niveau du multi cluster box. Cet équipement permet aux onduleurs chargeurs d'utiliser la source d'énergie du champ PV pour charger les batteries et aussi permet à ces onduleurs chargeurs de créer le réseau pour les onduleurs réseau. Sa fiche technique se trouve ANNEXE 4 : Fiche technique MC BOX.

Configuration du système:

Après notre dimensionnement, nos résultats se résument dans le Tableau 9. Pour une puissance de 69 kWc installé, nous avons 3 strings 14 modules de 550 Wc en série et sur chacun des de nos 3 onduleurs sonny tripower.

Tableau 9 : Récapitulatif du dimensionnement du champ et des onduleurs

Puissance crête de champ	Nombre de modules total	Nombre de modules série	Nombre de modules parallèle	Puissance de l'onduleur choisie	Nombre d'onduleurs	Puissance module choisi
69 kWc	128	14	1	25 kWc	3	550 W

V.4. Dimensionnement système de stockage

Soit le Tableau 10 qui représente le tableau de choix de la tension du système en fonction de la puissance du champ PV

Tableau 10 : Tension recommandée en fonction de la puissance crête

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

Il y a 69 kW répartis en 3 sous-champs de 25 kW chacun, alors pour 1 sous-champ on a 25 kW ce qui implique que la tension recommandée du système est $\geq 48V$. La tension de notre système est 48V car d'après la fiche technique, les onduleurs chargeurs ont une tension assignée d'entrée DC (batteries) de 48 V.

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

- La capacité minimum (C) en Ah des batteries est déterminée par l'Équation 7.

$$C_{batmin} = \frac{214,61 \times 1}{48 \times 0,8 \times 0,8}$$

$$C_{batmin} = 6986 \text{ Ah}$$

$$Bj=214,61 \text{ kWh/j} ; jr= 1 ; V_{syst}= 48V ; R_{bat} = 80\% ; DM= 80\%$$

- Le nombre de batteries en série sera calculé de la façon suivante :

$$Nbats = \frac{48}{2}$$

De cela, nous pouvons conclure qu'il n'y a qu'une rangée de 24 batteries par sous-réseau.

- Le nombre de strings de batterie sera calculé de la façon suivante :

Le système comprend 3 clusters et chaque cluster marche avec un banc de stockage de 48 V.

On limitera le nombre de branche en parallèle à 3.

$$C_{bat} = \frac{6986}{3}$$

$$C_{bat} = 2328,66 \text{ Ah}$$

On prendra une batterie de 2900 Ah

$$C_{bat} = 2900 \text{ Ah}$$

- La capacité totale des batteries est donnée par l'équation suivante

$$C_{bat} = 3 \times 2900$$

$$C_{bat} = 8700 \text{ Ah}$$

La compatibilité de l'onduleur chargeur et de la batterie de l'onduleur peut être trouvée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11 : Paramètres de vérification entre la batterie et l'onduleur bidirectionnel

Paramètre de vérification	Sunny island 8.0H/6.0H
Tension batteries : $2V \times 24 = 48 \text{ V}$	41V...63V <i>ok</i>
Capacité système de batteries: 8700Ah	100 Ah ...10 000 Ah <i>ok</i>
Type de batteries: au plomb	FLA, VRLA (plomb, lithium) <i>ok</i>

On peut conclure que les batteries Opzv-sun-power-vrl de 2 V/3220 Ah tel que configurées sont compatibles avec les onduleurs chargeurs Sunny island. Voir ANNEXE 5 : Fiche technique batterie.

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

Tableau 12 : récapitulatif du dimensionnement du système de stockage et l'onduleur chargeur

Capacité du parc de batteries	Soc min	Soc max	Nombre batterie en série	Nombre strings	Type de batterie	Puissance onduleur chargeur	Tension système
8700 Ah	20%	95%	24	3	2V Pb-acide gel 2900 Ah	54 kW	48V

V.5. Estimation de la surface totale nécessaire pour l'installation

Les dimensions du module (L x l) = (2,274 m x 1,134 m). On a 128 modules PV disposés de 14 modules en série sur chaque entrée de nos onduleurs.

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

La distance optimale D est telle que :

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

- Calcul de β

Puisque on est dans l'hémisphère nord, la déclinaison la plus basse est le 31 décembre et est égale à 23,45°.

$$\beta = 90^\circ - \text{latitude} - 23,45^\circ$$

$$\beta = 90^\circ - 11,878 - 23,45^\circ$$

$$\beta = 54,672$$

$$D = \frac{2,268 \times \sin (180^\circ - 15 - 54,672)}{\sin 54,672}$$

$$D = 2,60$$

- Calcul de d

$$d = L \times \cos \alpha$$

$$d = 2 \times 1,134 \times \cos 15^\circ = 2,19 \text{ m}$$

- Calcul de d'

$$d' = D - d$$

$$d' = 2,60 - 2,19 = 0,41 \text{ m}$$

Donc on aura une allée de 0,41 m chacune

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

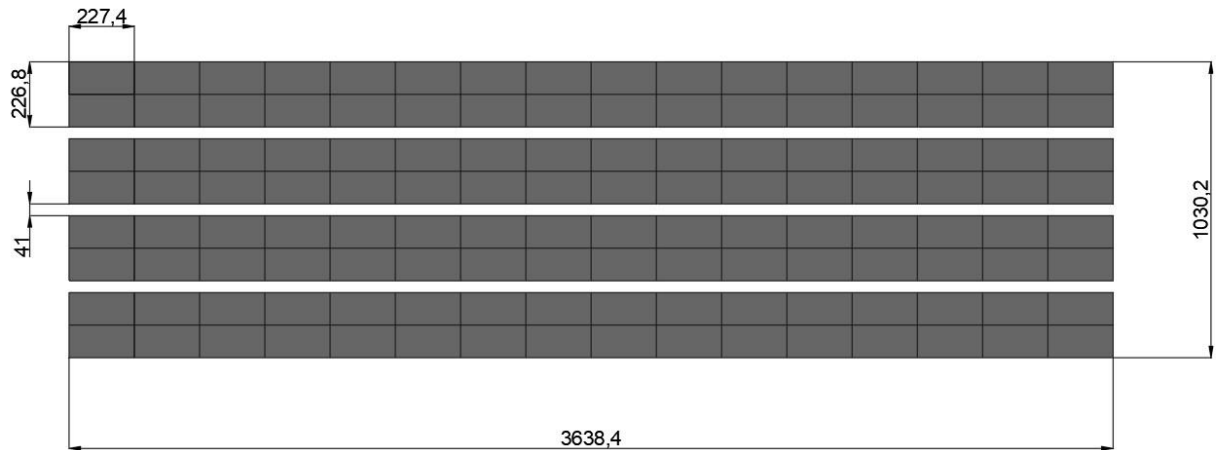


Figure 8 : Vue de dessus du champ

La surface totale requise pour la production d'énergie solaire est d'environ 375 m², ce qui est beaucoup plus petit que la surface totale supposée pour l'installation de la centrale photovoltaïque (500 m²), laissant suffisamment d'espace pour l'ingénierie locale.

V.6. Dimensionnement des systèmes de protection

✚ Schéma électrique de l'installation

La Figure 9 présente le schéma électrique de notre installation avec les organes de protection choisis.

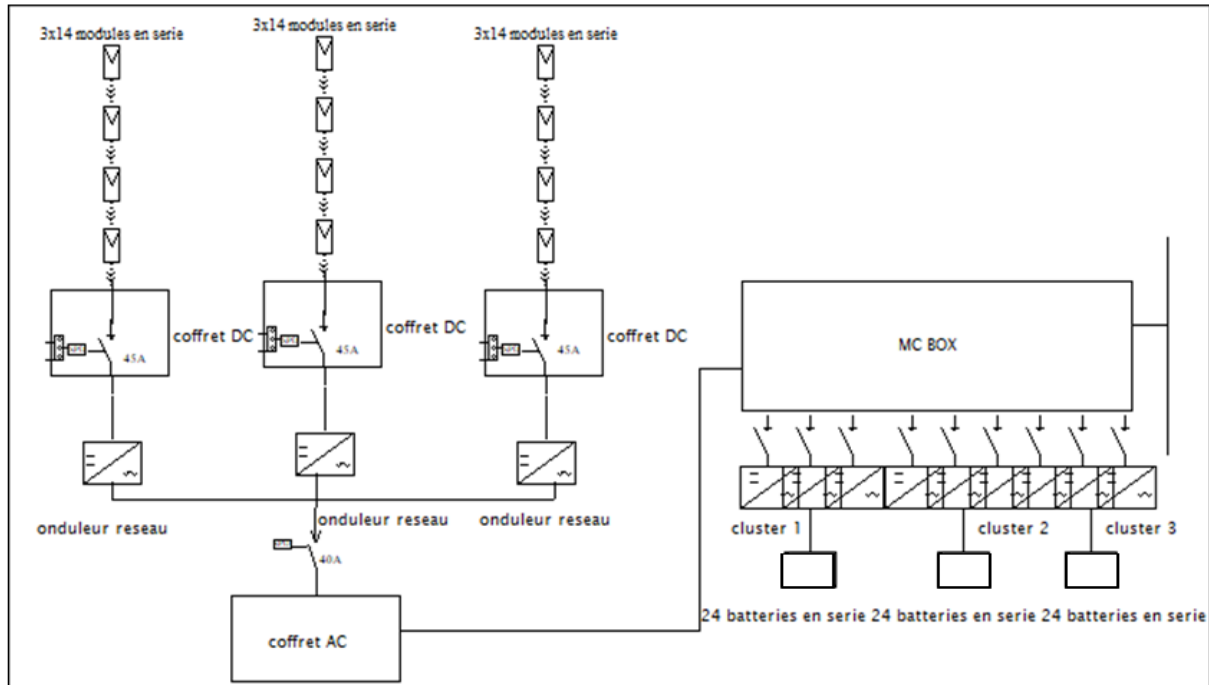


Figure 9 : schéma électrique

- Choix un disjoncteur DC

Dans une installation, le disjoncteur DC a pour mission de protéger le reste du circuit (en aval) des risques de surintensités pouvant être provoquées par le courant des modules PV. En effet, lorsqu'un défaut électrique survient, le courant sera anormalement élevé par rapport au courant nominal de la ligne. Un disjoncteur DC sert à déconnecter l'appareil. Nous avons choisi de protéger nos 3 chaînes avec un disjoncteur DC. Le courant de court-circuit à la sortie de la chaîne est de 42,09 A. Ainsi, la prochaine valeur nominale la plus élevée est de 16 A et un disjoncteur CC de 45 A devrait suffire.

- Choisir un disjoncteur AC

Ils protègent de manière fiable les équipements contre les surcharges et les personnes en éliminant le risque de contact indirect. Le calibre du disjoncteur est conforme à un calibre normalisé qui est directement supérieur au courant maximum fourni par le convertisseur de ligne en sortie AC. L'onduleur réseau utilisé ici délivre un courant maximal de 36,2 A. En appliquant un facteur de correction (0,91) dû à la température ambiante maximale du site d'environ 40 °C, on conclut que $I=39,78$ A. Un disjoncteur de 40 A suffi ici.

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

- Sélection du câble CC

Seuls des câbles dits solaires à double isolation et protection UV peuvent être utilisés pour connecter des modules dans le but de former des chaînes. Il doit également être certifié pour fonctionner à des températures comprises entre -20°C et 80°C.

Pour des raisons de sécurité et d'efficacité énergétique, le câble CC principal doit être dimensionné et connecté conformément à certaines normes obligatoires. [3] :

- Résiste à une tension de $1,25 \times V_{oc}$ (tension en circuit ouvert)
- Adapter la capacité des câbles au transport de courant continu et alternatif (section de ligne) et aux pertes résistives dues à la chute de tension.
- Utiliser un connecteur adapté (connecteur MC4).

- Calcul de la section de câble entre PV et l'onduleur PV

Calcul du courant admissible du conducteur (I_z) :

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t}$$

Avec

I_b : Courant d'emploi

$I_b = 14,03 \times 3$ (Voir schéma de configuration des strings)

K_m : Coefficient de mode de pose ;

$K_m = 0,95$ Mode de pose choisie : Câble placés sous caniveaux

K_n : Coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble

$K_n = 0,70$ Encastrés ou noyés dans les parois (catégorie B) ; nombre de circuit est égale à 3.

K_t : Coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble.

$K_t = 0,91$ Pour un câble isolé au PR qui se trouve dans un local où la température ambiante atteint 40°C.

$$I'_z = \frac{42,09}{0,95 \times 0,70 \times 0,91} = 69,55 \text{ A}$$

Détermination de I_z :

L'isolant du câble est du type PR. Le nombre de conducteur chargés est de 2. Donc il faut donc se rapporter à la colonne PR 2 correspondant à la catégorie B. Il faut choisir I_z immédiatement supérieur I'_z donc

$$I_z = 75 \text{ A}$$

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

Tableau 13 choix des sections

Méthode de référence	ISOLANT ET NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGES								
B	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR2			
C		PVC 3		PVC 2	PR 3		PR2		
E			PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2	
F				PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2
S (mm ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cuivre									
1,5					22	23	24		
2,5		17,5	18,5	19,5	30	31	33	26	
4		24	25	27	40	42	45	36	
6	15,5	32	34	36	51	54	58	49	
10	21	41	43	48	70	75	80	63	161
16	28	57	60	63	94	100	107	86	200
25	36	76	80	85	119	127	138	115	242
35	50	96	101	112	147	158	169	149	310
50	68	119	126	138	179	192	207	185	377
70	89	144	153	168	229	246	268	225	437
95	110	184	196	213	278	298	328	289	504
120	134	223	238	258	322	346	382	352	575
150	171	259	276	299	371	395	441	410	679
185	207	299	319	344	424	450	506	473	783
240	239	341	364	392	500	538	599	542	940
300		403	430	461	576	621	693	641	1083
400		464	497	530	656	754	825	741	1254
500					749	868	946		
630					855	1005	1088		

Cette valeur de Iz correspond à un câble de **10 mm²** Cuivre. Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

DE CALCUL DE CHUTE DE TENSION

$$\Delta V = b \left(\rho \cdot \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda \cdot L \cdot \sin \varphi \right) \times I_b$$

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

Avec :

- ❖ b : Facteur de longueur du câble
- ❖ $b = 1$ pour triphasé phase-neutre, 2 mono, et racine de 3 pour le tri entre phases.
- ❖ ρ : La résistivité du câble $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
- ❖ L : La longueur câble (m)
- ❖ S : La section du câble (mm^2)
- ❖ I_b : Intensité du courant de la charge (A)
- ❖ $\cos \varphi$ Facteur de puissance, en absence de détails précise facteur de puissance est pris égal à 0,8 ($\sin \varphi = 0,6$)
- ❖ λ : la réactance par unité de longueur du conducteur, elle prise égale à $0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$ en cas d'absence d'autres détails.
- ❖ Note : La Résistivité du câble augmente avec la température. La résistivité du cuivre atteint $0,02313 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ à 100°C et celle de l'Aluminium $0,03729 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ à 100°C .
- ❖ Usuellement, pour le calcul de chute de tension en accordance avec les standards électriques, c'est la résistivité à 100°C qui est utilisé (par exemple NF C15-100).

Pour le calcul de la chute de tension en CC :

- $b = 2$
- $\cos \varphi = 1$ et $\sin \varphi = 0$

L'équation devient

$$\Delta V = 2 \times \rho \times \frac{L}{S} \times I_b \text{ [V]}$$

Tension nominale: $49,62 \times 14 = 694,68 \text{ V}$

$$\Delta V = 2 \times 0,02313 \times \frac{50}{10} \times 42,09$$

$\Delta V = 9,73 \text{ V}$ Soit 1,4% de la tension nominale

- **calcul de la section des câbles entre CC batteries-onduleurs batteries**

Calcul du courant admissible du conducteur (I_z) :

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t} \text{ [A]}$$

Détermination de I'_z :

$$I_b = \frac{6000 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 125 \text{ A}$$

K_m : Coefficient de mode de pose ;

$K_m=1$ Mode de pose choisie : Câbles mono-conducteurs sur chemins de câble perforés

K_n : Coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble

$K_n=0,82$ Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales (catégorie E) ; nombre de circuit est égale à 3.

K_t : Coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble.

$K_t=0,91$ Pour un câble isolé au PR qui se trouve dans un local où la température ambiante atteint 40°C.

$$I'_z = \frac{125}{1 \times 0,82 \times 0,91} = 167,51 \text{ A}$$

Détermination de I_z :

L'isolation du câble est du type PR. Le nombre de conducteurs chargés est de 2. Donc il faut donc se rapporter à la colonne PR2 correspondant à la catégorie E. Il faut choisir I_z immédiatement supérieur à I'_z donc

$$I_z = 185 \text{ A}$$

Cette valeur de I_z correspond à un câble de **35 mm² Cuivre**. Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable**.

➤ CALCUL DE LA CHUTE DE TENSION

Tension nominale: 48 V

$$\Delta V = 2 \times 0,02313 \times \frac{3}{35} \times 167,51$$

$\Delta V=0,66 \text{ V}$ soit 1,43 % de la tension nominale

- Sélection du câble CA

Le dimensionnement des câbles AC est réalisé selon les règles de la norme NFC 15-100 et de la directive UTE C15-105[8] et s'appuie sur des câbles à isolation PR (câble en polyéthylène réticulé) pour traverser le courant maximum. Pour déterminer le courant admissible, les câbles

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

sont dimensionnés à l'aide des facteurs de correction de courant conventionnels (facteur pour le mode de pose, facteur pour le nombre de câbles posés ensemble, facteur pour la température ambiante et le type de câble).

- **calcul de la section de câble entre Onduleur PV – Coffret AC**

Calcul du courant admissible du conducteur (I_z) :

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t} \quad [A]$$

Détermination de I'_z :

I_b : Courant d'emploi

$I_b=36,2$ A (Voir spécification Technique onduleur STP 25000TL)

K_m : Coefficient de mode de pose ;

$K_m=1$ Mode de pose choisie : câbles multiconducteurs sur chemins de câble perforés.

K_n : Coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble

$K_n = 0,77$; Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales, catégorie (E). Nombre de circuit est égale à 4.

K_t : Coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble.

$K_t = 0,91$ Pour un câble isolé au PR qui se trouve dans un local où la température ambiante atteint 40°C.

$$I'_z = \frac{36,2}{1 \times 0,77 \times 0,91} = 51,66 \text{ A}$$

Détermination de I_z :

L'isolant câble est du type PR. Le nombre de conducteur chargés est de 3. Donc il faut donc se rapporter à la colonne PR 3 correspondant à la catégorie E.

Il faut choisir I_z immédiatement supérieur à I'_z donc

$$I_z = 54 \text{ A}$$

Cette valeur de I_z correspond à un câble de **6 mm² Cuivre**

➤ **CALCUL DE LA CHUTE DE TENSION**

Application Numérique :

$$\Delta V = 0,02313 \times \frac{4}{6} \times 36,2$$

$\Delta V=0,55$ V soit 0,24 % de la tension nominale

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

- **Calcul de la section de câble Coffret AC – Multicluster Box**

Calcul du courant admissible du conducteur (I_z) :

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t} \quad [A]$$

Détermination de I'_z :

I_b : Courant d'emploi

$I_b = 36,2 \times 3 = 108,6$ A (Voir spécification Technique onduleur STP 25000TL)

K_m : Coefficient de mode de pose ;

$K_m = 0,95$ Mode de pose choisie : câbles multiconducteurs sous caniveaux.

K_n : Coefficient prenant en compte le nombre de câbles posés ensemble

$K_n = 1$; encastrés ou noyés dans les parois, catégorie (B). Nombre de circuit est égale à **1**.

K_t : Coefficient tenant compte de la température ambiante et du type de câble.

$K_t = 0,91$ Pour un câble isolé au PR qui se trouve dans un local où la température ambiante atteint 40°C.

$$I'_z = \frac{108,6}{0,95 \times 1 \times 0,91} = 125,62 \text{ A}$$

Détermination de I_z :

L'isolant du câble est du type PR. Le nombre de conducteur chargés est de 3. Donc il faut donc se rapporter à la colonne PR 3 correspondant à la catégorie B.

Il faut choisir I_z immédiatement supérieur à I'_z donc

$$I_z = 138 \text{ A}$$

Cette valeur de I_z correspond à un câble de **35 mm² Cuivre**. Voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable**.

➤ **CALCUL DE LA CHUTE DE TENSION**

$$\Delta V = 0,02313 \times \frac{5}{35} \times 136,24$$

$\Delta V = 0,45$ V soit 0,19 % de la tension nominale

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

Tableau 14 : Récapitulatif des équipements dimensionnés

Centrale photovoltaïque		
Champs	Puissance unitaire des modules (Wc) Nombre	550 128
Puissance installée (Wc)		70000
Onduleur réseau Sunny Tripower 25000TL-	Nombre total	3
	Puissance unitaire (W)	25550
Onduleurs chargeurs Sunny island 6.0H	Nombres total	9
	Puissances unitaire (W)	6000
Batteries au plomb (hoppecke)	Nombre total	48
	Tension unitaire (V)	2
	Capacité unitaire (Ah)	2900
Coffrets (SMA) AC+DC	Nombre	4
Disjoncteurs	Nombre	4
SMA multi cluster box 12	Nombre	1
Fusible Batfuse	Nombre	2

Le Tableau 14 nous présente le récapitulatif des différents équipements dimensionnés pour l'installation de la centrale.

Tableau 15 : Section de câble

Désignation	Longueur câble [m]	Section câble [mm²]	Matériau câble	Courant d'emploi I_b [A]	ΔV %
Coffret cc- onduleur pv	50	10	cuivre	42,09	1,4
Onduleur- batterie	3	35	cuivre	125	1,43
Onduleurs PV- Coffret AC	4	6	Cuivre	36,2	0,24

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

Coffret AC-MCBOX	5	35	Cuivre	108,6	0,19
------------------	---	----	--------	-------	------

Le Tableau 15 nous résume les différentes sections de câble, leurs longueurs ainsi que la chute de tension.

V.7. Dimensionnement avec le logiciel Pvsyst

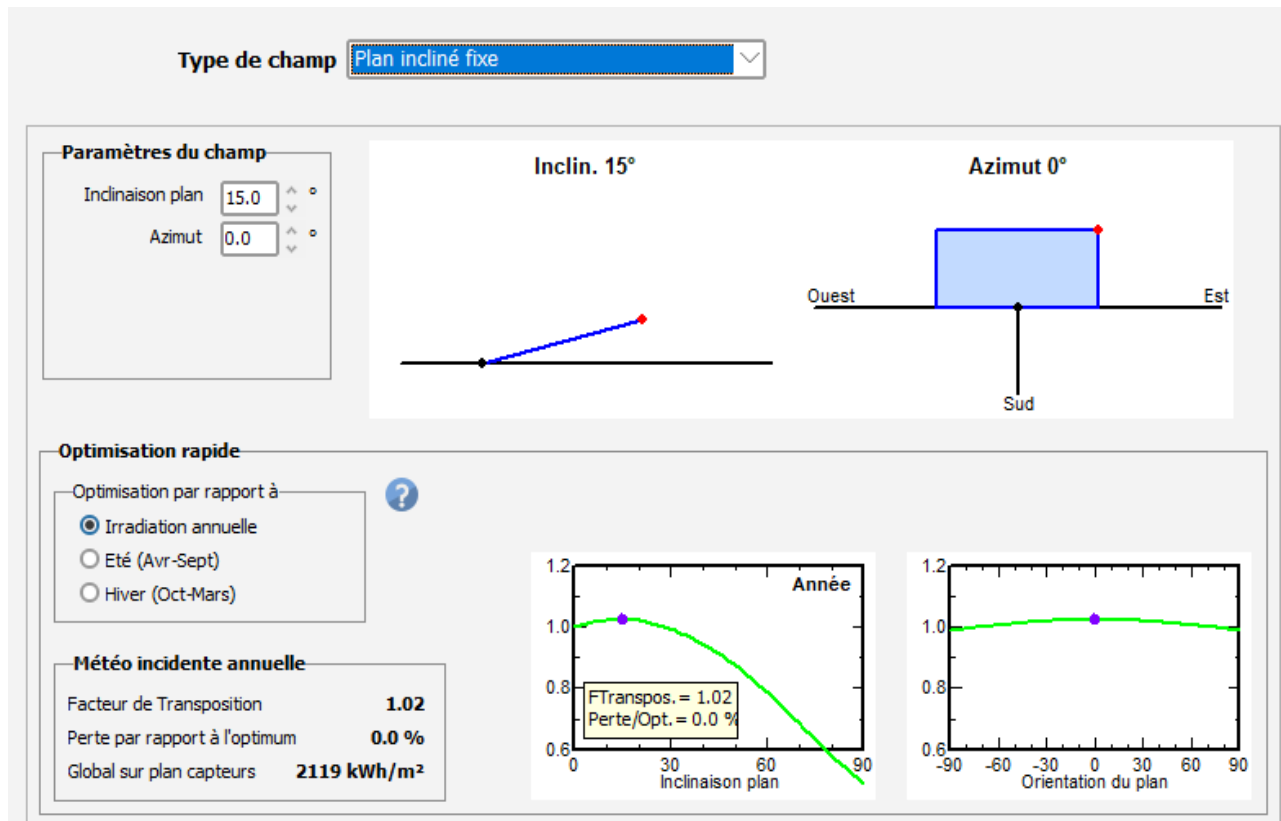


Figure 10 : positionnement des modules

La Figure 10 nous montre l'inclinaison choisie pour nos modules, du fait de la latitude du village qui est de 11.878°. Les modules sont inclinés de 15°.

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

-Nom et orientation du sous-champ

Nom:

Orient.: **Plan incliné fixe**

Inclinaison: **15°**
Azimut: **0°**

Aide au dimensionnement

☐ Pas de prédim. ☒ Entrez Pnom désirée: kWc

☒ Redimens. ☐ ... ou surface disponible(modules): m²

Sélection du module PV

Disponibles: Filtre:

Module bifacial: ☒ Système bifacial

Jinkosolar: **550 Wp 34V Si-mono JKM-550M-72HL4-TV Depuis 2021 Datasheets 2021**

☐ Utiliser optimiseur

Dimens. des tensions: Vmpp (60°C) **36.0 V**
Vco (-10°C) **54.6 V**

Sélection de l'onduleur

Disponibles: Tension de sortie: **420 V Tri 50Hz** ☒ 50 Hz ☒ 60 Hz

SMA: **25 kW 390 - 800 V TL 50/60 Hz Sunny Tripower 25000TL-JP-30 Depuis 2015**

Nbre d'onduleurs: **3** ☐ Tension de fonctionnement: **390-800 V** Puissance globale ond.: **75.0 kWac**

☐ Utilise multi-MPPT Tension entrée maximale: **1000 V** **onduleur avec 2 MPPT**

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série: **14** ☐ entre 11 et 18

Nb. chaînes: **9** ☐ seule possibilité 10

Perte surpuissance: **0.0 %**
Rapport Pnom: **0.92**

Nbre modules: **126** Surface: **325 m²**

Cond. de fonctionnement

Vmpp (60°C) **504 V**
Vmpp (20°C) **589 V**
Vco (-10°C) **764 V**

Irradiance plan: **1000 W/m²**

Imp (STC) **121 A**
Isc (STC) **126 A**

Isc (aux STC) **126 A**

La puissance de l'onduleur est légèrement surdimensionnée.

☐ Max. données ☒ STC

Puiss. max. en fonctionnement (à 1000 W/m² et 50°C): **63.3 kW**

Puiss. nom. champ (STC): **69.3 kWc**

Résumé système global

Nombre de modules	126
Surface modules	325 m²
Nbre d'onduleurs	3
Puissance PV nominale	69.3 kWc
Puissance PV maximale	69.0 kWDC
Puissance AC nominale	75.0 kWAC
Rapport Pnom	0.924

Figure 11 dimensionnement du champ

Le besoin journalier du village renseigné dans PVsyst a permis d'obtenir la même configuration que notre dimensionnement analytique. La Figure 11 ci-dessus nous montre les résultats du dimensionnement du champ et de l'onduleur. Les mêmes équipements choisis seront pareils que ceux du dimensionnement analytique à savoir même panneau solaire, même onduleur.

Définition du pack de batteries

Trier les batteries selon: ☒ tension ☐ capacité ☐ fabricant

☐ batteries en série ☐ batteries en parallèle

Nombre de batteries: **72**
Nombre d'éléments: **72**

Tension du pack batteries: **48 V**
Capacité globale (C10): **8700 Ah**
Energie stockée (80% DOD): **334 kWh**
Poids total: **15300 kg**
Nbre de cycles à 50 % DOD: **2809**
Energie totale stockée durant la vie de la batterie: **652.3 MWh**

% Etat d'usure initial (nb. de cycles)
 % Etat d'usure initial (statique)

Température batterie en opération

Mode tempér.:

Température fixée: °C

La température est importante pour la durée de vie de la batterie
Une augmentation de 10 °C diminue la durée de vie "statique" d'un facteur 2

Information système

PNom du champ PV: **69.3 kWc**
Puissance max. de l'utilisateur: **69.0 kW**

Ce pack de batteries représente environ :

Durée de charge en plein soleil	4.8 heures
Décharge sous consommation moyenne	4.8 heures
Décharge sous consommation maximale	4.8 heures

Figure 12 dimensionnement du pack batteries

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

Résumé du système					
Système couplé au réseau		Pas de scène 3D, pas d'ombrages		Besoins de l'utilisateur	
Orientation plan capteurs		Ombres proches		Charge constante fixée	
Plan fixe		Sans ombrages		69.0 kW	
Inclinaison/Azimut	15 / 0 °			Global	
				604 MWh/Année	
Information système		Onduleurs		Pack de batteries	
Champ PV				Stratégie de stockage : Autoconsommation	
Nombre de modules	126 unités	Nombre d'unités	3 unités	Nombre d'unités	72 unités
Pnom total	69.3 kWc	Pnom total	75.0 kWac	Tension	48 V
		Rapport Pnom	0.924	Capacité	8700 Ah

Résumé des résultats					
Energie produite	121.3 MWh/an	Productible	1751 kWh/kWc/an	Indice perf. PR	82.83 %
Energie utilisée	604.4 MWh/an			Fraction solaire (SF)	20.10 %

Figure 13 : résumé du système

Le dimensionnement avec logiciel s'avère plus précis que la méthode analytique. Elle donne l'énergie produit par notre système pendant une année ainsi que l'indice de performance du système. La Figure 13 nous montre le résumé de notre système.

VI. ESTIMATION FINANCIERE

VI.1. Etude financière

Cette partie équilibre d'abord le système, puis calcule le coût de production par kWh (LCOE) sur la durée de vie du projet, et enfin évalue le temps d'investissement.

VI.2. Bilan financier

Les états financiers du projet tiennent compte de tous les coûts associés comme coûts des matériaux, ingénierie (mise en œuvre), taxes, transport, etc. Le coût d'investissement de l'installation installée est estimé à 120 123 450 FCFA taxes comprises. Voir Tableau 16 ci-dessous.

Tableau 16 : Bilan financier

Bilan financier			
materiel	nombre	prix unitaire	prix total
modules	128	145,000.00 CFA	18,560,000.00 CFA
support	128	20,000.00 CFA	2,560,000.00 CFA
onduleurs reseau	3	1,325,906.00 CFA	3,977,718.00 CFA
onduleurs chargeur	9	2,469,053.00 CFA	22,221,477.00 CFA
batteries	72	804,260.00 CFA	57,906,720.00 CFA
multi cluster box	1	3,011,040.00 CFA	3,011,040.00 CFA
coffret AC/DC	4	60,000.00 CFA	240,000.00 CFA
fusible batfuse	3	559,830.00 CFA	1,679,490.00 CFA
disjoncteurs	4	50,000.00 CFA	200,000.00 CFA
puits de terre	5	40,000.00 CFA	200,000.00 CFA
cables et accessoires	1	1,500,000.00 CFA	1,500,000.00 CFA
cout estimés			
Transport			350,000.00 CFA
investissement HT			93,846,445.00 CFA
Ingenierie			9,384,644.50 CFA
TVA (18)			16,892,360.10 CFA
investissement TTc			120,123,450 CFA
Assurance/an			4,204,321 CFA
cout d'exploitation/an			3,603,703 CFA

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

VI.3. Evaluer la rentabilité d'un projet

Evaluer la rentabilité d'un projet d'installation d'une centrale solaire consiste à déterminer le coût du kWh produit (LCOE) et le retour sur investissement[10]. Nous effectuons ces calculs en utilisant le tarif de rachat. Cette approche tient compte du fait que toute l'énergie produite est vendue à un prix du kWh fixé par l'État.

En prenant en compte du renouvellement du parc de batterie (4 fois) On obtient un cout d'investissement de 351 750 330 CFA sur 25 ans.

$LCOE = \text{cout d'investissement total sur 25 ans} / \text{productible du champ sur 25 ans}.$

$\text{Temps de retour sur investissement} = (\text{cout total du projet sur 25 ans} / \text{valeur du productible sur 25 (240 francs/kWh)}) * 25 \text{ ans}$

Tableau 17 : Rentabilité du système

LCOE	116 CFA
COUT REMPLACEMENT BATTERIE	231 626 880 CFA
COUT TOTAL SUR 25 ANS	351 750 330 CFA
COUT DE REVENTE DU KWH	240,00 CFA
COUT DU PRODUIT SUR 25 ANS A 240 FRANCS	727 800 000 CFA
TEMP DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT	12 ans
PRODUCTIBLE PAR ANS	121300 kWh

VII. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET SOCIAL DU PROJET

Le projet permet au Mali de respecter ses engagements internationaux et politiques nationales en matière de l'environnement et de climat, y compris les accords cadre des Nations Unies (convention sur la diversité biologique, convention des nations unies sur la lutte contre la désertification et convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques), la Politique nationale de l'environnement, Le Plan National d'Action Environnementale (PNAE), la Politique Nationale de Protection de l'Environnement (PNPE), Programme d'Action National pour l'Adaptation, etc.

Dans le cadre de la promotion des énergies renouvelables et de l'accès à l'électricité, le projet est conforme à la Politique Énergétique Nationale du Mali et à la politique d'énergies renouvelables de la Communauté Economique des Etats d'Afrique de l'Ouest, à la Stratégie Nationale pour le Développement des Énergies Renouvelables, au Programme de valorisation à grande échelle des énergies renouvelables dans les pays à faible revenu[11].

Ces politiques visent d'une part à la protection de l'environnement, à l'atténuation et à l'adaptation des effets des changements climatiques et d'autres part à accroître la part de pénétration des énergies renouvelables et l'accès à l'électricité des populations rurales à travers les systèmes décentralisés d'énergies renouvelables.

La mise en œuvre du projet aura des impacts positifs et négatifs sur le milieu biophysique et humain de la zone du projet.

VII.1. Impacts positifs

Le projet transférera de nouvelles technologies et connaissances techniques au Mali. Il s'agira d'un nouvel exemple fonctionnel concret de meilleures pratiques pour les technologies durables à faible émission de carbone qui apportent des impacts socio-économiques positifs maximisés pour les groupes cibles. Il aura également des impacts environnementaux positifs par rapport aux alternatives aux combustibles fossiles.

Il s'agit d'un projet pionnier, apportant ces technologies éprouvées au Mali pour la première fois. Ces solutions d'énergies renouvelables durables créeront une nouvelle référence et renforceront la capacité nécessaire pour un fonctionnement durable à long terme.

Le projet contribuera à des impacts transformationnels pour la population dans et autour du village cible, y compris l'amélioration des conditions de vie et la création d'emplois verts.

Le projet contribue à l'ODD 1 (Pas de pauvreté), à l'ODD 2 (Faim zéro), à l'ODD 8 (Travail décent), à l'ODD 9 (Infrastructure résiliente et innovation), à l'ODD 11 (Communautés durables), à l'ODD 13 (Action pour le climat) et à l'ODD 15 (Utilisation durable des terres).

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

La mise en œuvre du projet d'électricité à travers des centrales photovoltaïques, contribuera à l'amélioration des conditions de vie des populations bénéficiaires à travers :

- **Création de l'emploi**

La réalisation du projet, nécessite l'engagement de certains nombres de travaux qui auront des retombées certaines sur l'économie locale, avec l'utilisation des compétences et de la main d'œuvre (notamment locale) pour les travaux de construction et d'exploitation de la centrale. Les emplois qui seront créés, lors de la phase de construction et d'exploitation de la centrale et du site maraicher sous serre vont contribuer à une réduction de la pauvreté au sein de la population locale, au développement de nouvelles perspectives aux jeunes autres que le chemin de l'aventure avec des risques énormes de perte de vie et d'exploitation des jeunes filles comme domestique avec tous les risques qui encours ce métier. Ce qui explique que la mise en œuvre du projet contribuera à l'amélioration des conditions de vie, en améliorant l'accès aux services sociaux de base.

- **Promotion et renforcement des capacités techniques des entreprises**

La mise en œuvre du projet, implique l'utilisation des compétences locales dans un premier temps. Dans un second temps, avec la création des conditions requises (site maraicher), Il soutiendra la promotion de la production maraichère sous serre. Le projet est donc, un moyen de promotion d'innovation dans le domaine de la production maraichère. La mise en œuvre sera donc une opportunité pour les entreprises locales existantes d'acquérir davantage d'expérience pour la consolidation de leur savoir-faire. Le projet permettra alors la création et le rapprochement des services inexistants aux populations bénéficiaires. Les distances habituelles parcourues pour satisfaire ces besoins vont disparaître d'une part et fortement diminuer pour les villages environnants en permettant à la population de consacrer ce temps à d'autres activités.

- **Développement des activités socio-économiques et réduction de la pauvreté**

Les travaux de construction de la centrale contribueront à la création de richesse pour les populations bénéficiaires à travers l'exploitation de l'espace maraicher et le développement des activités connexes (transformation des produits locaux, menuiserie, coupe couture, etc.) et les différentes activités de commerce contribueront à accroître les revenus des populations, développer les opportunités de partenariat et à réduire la pauvreté. Le développement des activités économique, assure aussi la création de l'emploi.

- **Sur le plan de la santé**

Les informations collectées sur le terrain, montre que l'accès à l'énergie va jouer un rôle très important dans le système sanitaire de localité. Elle permettra de faciliter l'accès à l'eau

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

potable dont la consommation permettra de réduire les maladies diarrhéiques causées par l'insuffisance d'accès à l'eau potable. Elle renforcera le système unitaire des populations par la consommation de légumes sains provenant de la production locale du projet. En plus, l'amélioration des canaux de communication avec l'accès élargi à la télévision vont contribuer à la sensibilisation de la population sur les bonnes pratiques sanitaires.

- Sur le plan de l'éducation

Bien que le village ne possède pas d'école, l'accès à l'éclairage améliorera le niveau des élèves par la facilitation de la révision des leçons le soir. Ainsi, L'accès à l'électricité aura, un impact positif sur le temps que les élèves pourront passer à apprendre les leçons.

- Les activités productives :

L'accès à l'énergie aura une bonne influence sur les activités économiques locales dans le cadre de la transformation des produits forestiers non ligneux et des produits agricoles. L'électricité au travers le système de conservation au frais mis à la disposition par le projet permettra de diminuer les pertes provenant du manque de transformation et de conservation des produits maraichers. Ouré, dispose des potentialités importantes en production céréalière (maïs, mil, arachide, etc.) et des produits forestiers non ligneux comme le parkia biblobosa (nééré), vitellaria paradoxa (karité), andersonia digitata (sira), Borassus flabellifer Mart (Sébé), qui ne sont soumis à aucune transformation sérieuse. L'électrification contribuera au développement des activités locales et d'offrir les conditions de transformation des produits.

- Diminution de la dégradation des ressources forestières

Les informations, montre que les modes de production à Ouré sont intensifs pour l'agriculture et extensif pour l'élevage. Cela, suppose une diminution des ressources forestières ligneuses et le rétrécissement des terres agricoles et pousse les agricultures à se maintenir sur la parcelle pour ces besoins de production et pratiquer la transhumance en saison sèche.

En accédant à l'électricité, une réorientation des acteurs des activités dégradantes des ressources naturelles vers des nouvelles activités (transformation des produits agricole et forestier, corps de métier, etc.) pourra contribuer à la baisse de la pression anthropique.

- Stimuler le développement local

L'utilisation de sources d'énergie fiable et durable à des fins de production peut être un puissant moteur de développement rural. L'électrification peut favoriser considérablement la transformation et la diversification des économies rurales, dans la mesure où elle permet l'adoption de nouvelles technologies et l'amélioration de la productivité des activités existantes, tout en rendant possible la création de nouvelles activités et de nouveaux produits. Elle peut également contribuer au développement des activités agricoles, par exemple en

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

facilitant l'irrigation et en améliorant le stockage des produits et la transformation des aliments, augmentant ainsi la valeur ajoutée des produits issus de l'agriculture locale.

- Promouvoir l'équité entre le genre

La mise en œuvre du projet va permettre directement à la population de Ouré d'accéder à l'énergie provenant d'une source propre. Cette énergie va servir au développement des activités économiques comme le maraichage, la transformation des produits agros forestiers, le commerce. Les activités développées par l'accès à l'électricité permettront à l'amélioration des services fournis, de la qualité de la situation socio-sanitaire, de la qualité de l'éducation et de l'économie. Ces différentes améliorations dues à l'électrification toucheront directement et indirectement la population de Ouré et environnant et les femmes occuperont une place importante surtout que le maraichage est une activité traditionnellement dédiée aux femmes.

Le développement des activités de maraichage, la transformation des produits forestiers non ligneux, les petits commerces, l'accès à la santé et à l'éducation sont des activités qui toucheront spécifiquement les femmes. Toutes choses qui contribueront à la l'amélioration du statut social et les responsabilités des femmes au sein de la société.

- La disponibilité continue des produits maraichers

L'accès à l'électricité va contribuer à la conservation des produits maraichers. Ces produits seront commercialisés au niveau local et dans d'autres localités du pays, précisément à Bougouni dans la mesure du possible. Avec la chambre froide, les pertes de produits seront fortement diminuées.

Cette situation favorisera, une production constante de produits horticoles. Elle diminuera les pertes de produits

- Atténuer les effets des changements climatiques

La sortie de la pénurie énergétique est une condition essentielle pour un développement socio-économique et humain. Mais l'utilisation de certaines sources d'énergie contribue à la dégradation de l'environnement à travers l'émission de gaz à effet de serre. Ce présent projet sera focalisé totalement sur l'utilisation d'une centrale Solaire.). En plus des fonctions d'atténuation, l'accès à l'énergie va renforcer la capacité d'adaptation de la population face aux effets des changements climatiques.

VII.2. Impacts négatifs

Les impacts du projet ne sont pas que positifs, il peut engendrer aussi des effets négatifs sur le milieu biophysique et humain.

- Détérioration de la qualité de l'air liée aux activités de préparation

Les travaux sont susceptibles d'entraîner très localement des émissions de poussière dans l'air, qui seront toutefois circonscrites dans l'enceinte du chantier en rapport avec :

- Les opérations de terrassement et de déblayage ;
- Les mouvements des engins pour le transfert des matériaux (évacuation des déblais et gravats, apport de matériaux, etc.).

A ces envols de poussières, s'ajoute l'émission de gaz d'échappement du fait du déplacement des engins motorisés ;

- Impact sur la végétation et la flore terrestre

Les travaux de construction vont entraîner l'abattage des arbres et des arbustes sur le site. En outre, ils entraîneront la destruction du couvert herbacé. Chose qui pourra entraîner l'érosion des terrains sensibles et la modification de la qualité du sol affectant les végétaux ;

- Impact sur les sols

La construction de nouvelles infrastructures va nécessiter d'importants mouvements de sols (démolition, excavation/creusement, etc.). Aussi, les travaux sur le chantier entraîneront potentiellement une production de déchets solides et liquides, constitués essentiellement de déblais qui seront générés lors des travaux ; résidus de matériaux de construction (bois, fers, restes de béton, de matériaux d'emballage, de papier, de carton, de plastique, restes de peinture, etc.) ; d'huiles de vidange, etc. Ces différents déchets ou restes de produits sont susceptibles de polluer le sol ;

- Bruits et vibrations générés par la phase de construction

Durant la phase de construction sur le chantier, les différentes activités sur le chantier vont entraîner l'émission des bruits sonores.

Impact sur le milieu humain

- Impact sur le foncier :

Dans le cadre de la réalisation du projet, des superficies de terrain seront utilisées pour l'installation de la centrale et les activités connexes du projet. Chose qui pourra conduire à une expropriation ou empiètement de terre de certains de villageois qui sont majoritairement agriculteurs.

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

- Impact sur le cadre de vie des populations riveraines

Dans le cadre du déroulement des activités de construction, le rejet anarchique des déchets issus des travaux et de la base de chantier pourrait dégrader le cadre de vie des populations riveraines du site.

- Impact sur la santé des populations riveraines

Les travaux vont générer des poussières qui peuvent indisposer les riverains et augmenter les infections respiratoires aiguës (IRA). La présence des personnes étrangères venant d'autres localités pourrait accentuer le risque de propagation des infections sexuellement transmissibles (IST) et le VIH /SIDA et les maladies de COVID 19.

- Risques d'accidents liés au chantier : Pendant la phase des travaux

Il existe des risques d'accidents liés à la manipulation des engins/instruments de chantier, à l'absence de balisage des fouilles et à la présence de matériaux de construction mal protégés/utilisés.

- Impacts sur les rapports sociaux entre populations et personnel de chantier

La mise en œuvre du projet pourrait susciter des risques de conflits sociaux entre les populations locales et le personnel de chantier. En effet, les travaux nécessiteront de la main d'œuvre locale, ce qui constituera une source réelle d'augmentation des revenus au niveau local. La non-utilisation de la main d'œuvre locale pourrait engendrer des frustrations et générer des conflits, compte tenu du chômage surtout en saison sèche ; ce qui peut nuire à la bonne marche des travaux. En outre, avec la présence des travailleurs d'autres localités avec des valeurs culturelles différentes, on peut craindre des conflits sociaux en cas de non-respect des valeurs traditionnelles des populations locales et de leurs mœurs.

VII.3. Mesures d'atténuation des impacts négatifs

Pour réduire les impacts négatifs des centrales hybrides solaires avec réseau Basse Tension les mesures suivantes sont préconisées :

- Suivre les routes et chemins déjà existants dans les localités pour les tracés des lignes du réseau électrique pour limiter les abattages d'arbres et les impacts sur le milieu naturel et éviter d'empiéter sur des propriétés privées.

Schéma d'implantation réseau/Plan d'aménagement

- Prendre, surtout dans les zones appropriées, les précautions nécessaires pour réduire les risques d'érosion ou de glissement de terrain qui pourrait provoquer des chutes de poteaux électriques et des dangers d'électrocution,

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

- Consulter les populations et respecter quelques principes paysagistes simples pour préserver l'aspect esthétique des lieux de cultes ou sites remarquables,
- Arroser les routes poussiéreuses pour atténuer les émissions de poussière et ses impacts sur les populations les plus proches,
- Installer les centrales légèrement à l'écart des habitations, la végétation et des cours d'eau pour éviter une pollution accidentelle, les nuisances de bruit, les fumées et la dégradation de l'environnement,
- Installer sur les groupes des systèmes d'insonorisation,
- Prévoir des équipements de protection antibruit pour les travailleurs au niveau des centrales
- Mettre en place un dispositif de récupération/régénération des huiles usagées, des chutes et rebus de consommables,
- Satisfaire le maximum de besoin électrique avec les champs solaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre,
- Mettre en place une filière de récupération des batteries pour réduire leurs impacts sur le milieu naturel,
- Assurer les mesures d'hygiène et de sécurité dans et aux environs du site de la centrale.
- Faire inspecter les systèmes photovoltaïques individuels par un technicien de maintenance qui sera soit un spécialiste de la société concessionnaire ou une personne du village formé par le constructeur.
- Vérifier périodiquement les sources et les conduites d'énergie dans les concessions.
- Informer les populations des mesures d'usage de l'énergie et leurs risques éventuels.
- Sensibiliser les populations sur l'usage optimal et nécessaire de l'énergie
- Sensibiliser les populations pour le règlement correct des factures.
- Inviter la population à s'approprier et à s'impliquer dans la gestion de l'électricité.
- Faire la clôture pour la sécurisation des équipements et les mettre à l'abri des animaux.

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

PLANNING DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

La maintenance du système est effectuée par l'administrateur. Par conséquent, nous avons créé le tableau ci-dessous qui montre le calendrier des travaux d'entretien des installations.

Tableau 18 : Planning de maintenance

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

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

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

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

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

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

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

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'objectif général de cette étude est de couvrir les besoins d'énergie électrique du village d'Oure de manière efficace et fiable à partir d'une centrale photovoltaïque de 69 kWc avec stockage. Afin de proposer des solutions d'alimentation en énergie solaire photovoltaïque adéquates du village, dans la première partie nous avons procédé à la présentation de notre structure d'accueil et de la zone d'étude du projet, puis dans la deuxième partie nous avons présenté le cahier de charge du projet ainsi que l'état de l'art du concept de l'agrivoltaïque et finalement dans la troisième partie nous avons fait un dimensionnement de la centrale. Par la suite nous avons fait une étude économique, une notice d'impact environnemental et un plan de maintenance de l'installation. Après l'étude économique nous avons estimé le coût total de réalisation de la centrale à 120 123 449 F CFA, et un temps de retour sur investissement estimé à 10 ans. Il s'est avéré que le coût du kWh produit est d'environ 145 F CFA, donc au vu de ces résultats nous avons pu conclure que le projet est rentable.

Compte tenu de l'importance de l'énergie pour le développement socio-économique du village d'Oure, les énergies renouvelables doivent être encouragées. Par conséquent, nous avons faits la recommandation suivante :

Vu que c'est un projet pilote, nous recommandons au gouvernement d'investir davantage pour avoir beaucoup de systèmes agrivoltaïques sur le territoire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] « Agrivoltaïque | Industrial Solar ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.industrial-solar.de/fr/technologies-fr/photovoltaique/agrivoltaique/>. [Consulté le: 15-déc-2022].
- [2] « maliweb.net - AMADER : Le taux d'accès à l'électricité en milieu rural passe de 15,56% en 2017 à 22,1 en 2021 ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.maliweb.net/economie/amader-le-taux-dacces-a-lelectricite-en-milieu-rural-passe-de-1556-en-2017-a-221-en-2021-2964683.html>. [Consulté le: 18-déc-2022].
- [3] « Agriculture et sécurité alimentaire | Basic Page | Mali », U.S. Agency for International Development, 06-déc-2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.usaid.gov/fr/mali/agriculture-and-food-security>. [Consulté le: 18-déc-2022].
- [4] « L'agrivoltaïque, définition et enjeux ». [En ligne]. Disponible sur: <https://blog.lendopolis.com/energies-renouvelables/agrivoltaique-agriculture-photovoltaique-definition/>. [Consulté le: 15-déc-2022].
- [5] « A l'occasion du colloque du SER, Sébastien Lecornu annonce les résultats de deux nouveaux appels d'offre photovoltaïque | Ministères Écologie Énergie Territoires ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ecologie.gouv.fr/loccasion-du-colloque-du-ser-sebastien-lecornu-annonce-resultats-deux-nouveaux-appels-doffre>. [Consulté le: 15-déc-2022].
- [6] « OffGrid-System-PL-fr-25.pdf ». .
- [7] « Dimensionnement PV connecté reseau_AO_BAGRE_MK_Partie_2.pptx ». .
- [8] « LA NORME NF C 15-100_3_4.pdf ». .
- [9] « Systèmes PV connectes réseau Dr Tossa 26-04-2021_VF0.pdf ». .
- [10] « ST9 Aspects économiques.pdf ». .
- [11] « evaluation environnemental stratégique du secteur de l'énergie _2015_.pdf ». .

**CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE**

ANNEXES

ANNEXE 1 : Fiche technique JinKo Solar	55
ANNEXE 2 : Fiche technique onduleur	57
ANNEXE 3 : Fiche technique SUNNY ISLAND.....	59
ANNEXE 4 : Fiche technique MC BOX	61
ANNEXE 5 : Fiche technique batterie	62

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

ANNEXE 1 : Fiche technique JinKo Solar

www.jinkosolar.com



Tiger Pro 72HC 530-550 Watt MONO-FACIAL MODULE

P-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)

ISO9001:2015: Quality Management System

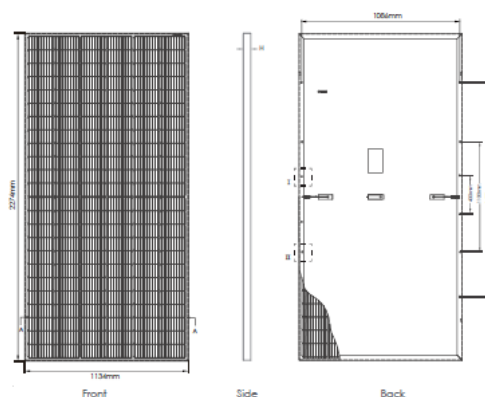
ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018

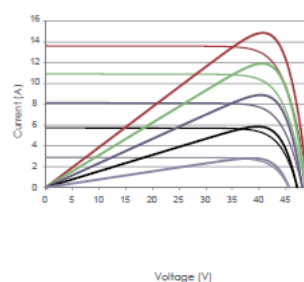
Occupational health and safety management systems



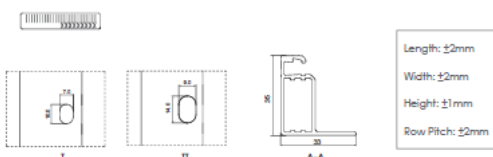
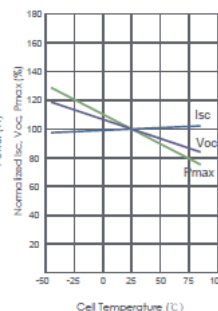
Key Features



Current-Voltage & Power-Voltage
Curves (540W)



Temperature Dependence of
Is_c, V_{oc}, P_{max}



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2274×1134×35mm (89.53×44.65×1.38 inch)
Weight	28.9 kg (63.7 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

31 pcs/pallets, 62 pcs/stack, 620 pcs/ 40'HQ Container

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

SPECIFICATIONS											
Module Type	JKM530M-72HL4		JKM535M-72HL4		JKM540M-72HL4		JKM545M-72HL4		JKM550M-72HL4		
	JKM530M-72HL4-V		JKM535M-72HL4-V		JKM540M-72HL4-V		JKM545M-72HL4-V		JKM550M-72HL4-V		
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	
Maximum Power (Pmax)	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp	
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.56V	37.84V	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.25V	40.90V	38.42V	
Maximum Power Current (Imp)	13.07A	10.42A	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A	
Open-circuit Voltage (Voc)	49.26V	46.50V	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V	
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A	
Module Efficiency STC (%)	20.55%		20.75%		20.94%		21.13%		21.33%		
Operating Temperature(°C)	-40°C~-+85°C										
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)										
Maximum series fuse rating	25A										
Power tolerance	0~+3%										
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C										
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C										
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C										
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C										

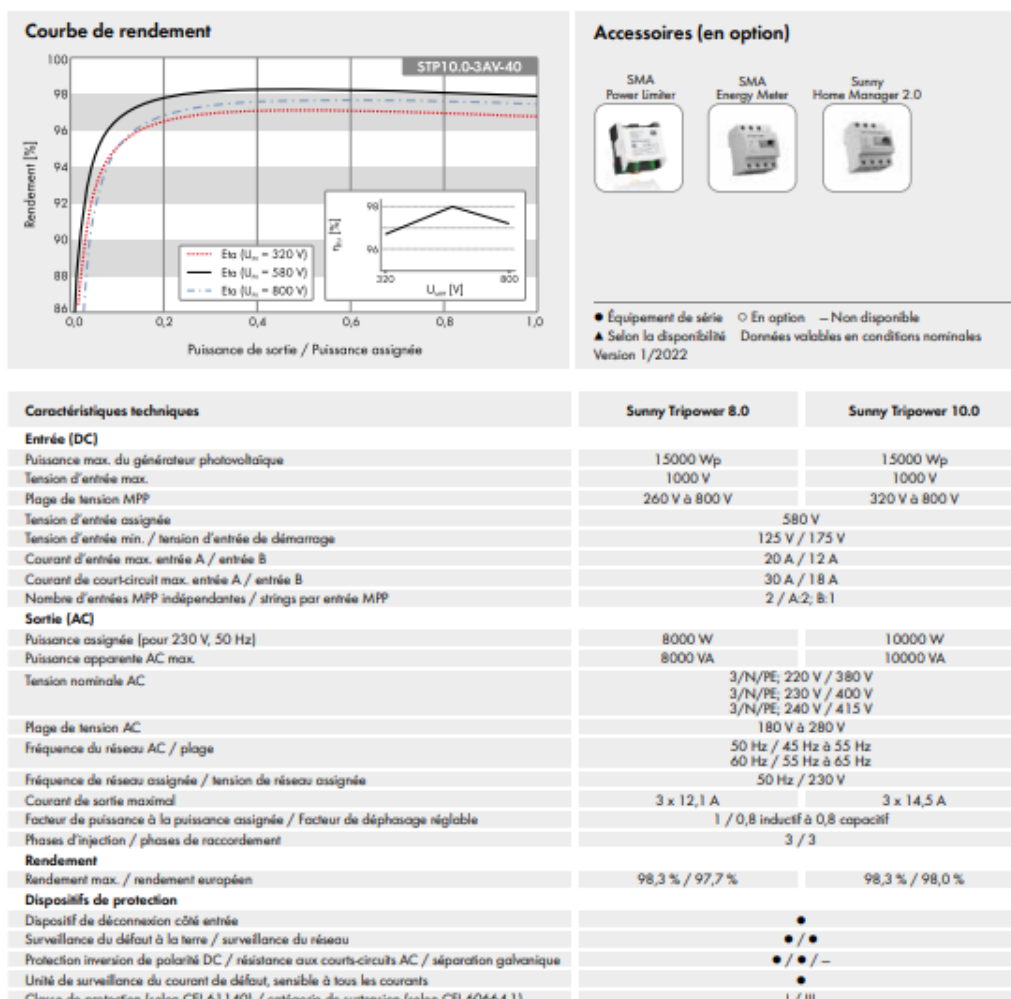
*STC:  Irradiance 1000W/m²  Cell Temperature 25°C  AM=1.5
 NOCT:  Irradiance 800W/m²  Ambient Temperature 20°C  AM=1.5  Wind Speed 1m/s

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE
DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

ANNEXE 2 : Fiche technique onduleur



CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE



CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

ANNEXE 3 : Fiche technique SUNNY ISLAND

SUNNY ISLAND 4.4M / 6.0H / 8.0H

POUR INSTALLATIONS EN SITE ISOLÉ ET RACCORDÉES AU RÉSEAU



Interactif

- Sunny Portal powered by ennexOS
- Communication via Ethernet
- Mise en service via réseau local sans fil
- Webconnect
- Enregistrement des données optimisé

Fiable

- Garantie 5 + 5 ans
- Capacité de surcharge très élevée
- IP54 pour un fonctionnement fiable dans des conditions extérieures

Souple

- Pour les systèmes d'autoconsommation, d'alimentation de secours et en site isolé
- Pour les systèmes monophasés et triphasés

- Structure modulaire extensible
- Pour les batteries ou plusieurs batteries
- Réalisation adaptable de différents layouts

LE SUNNY ISLAND 4.4M / 6.0H / 8.0H

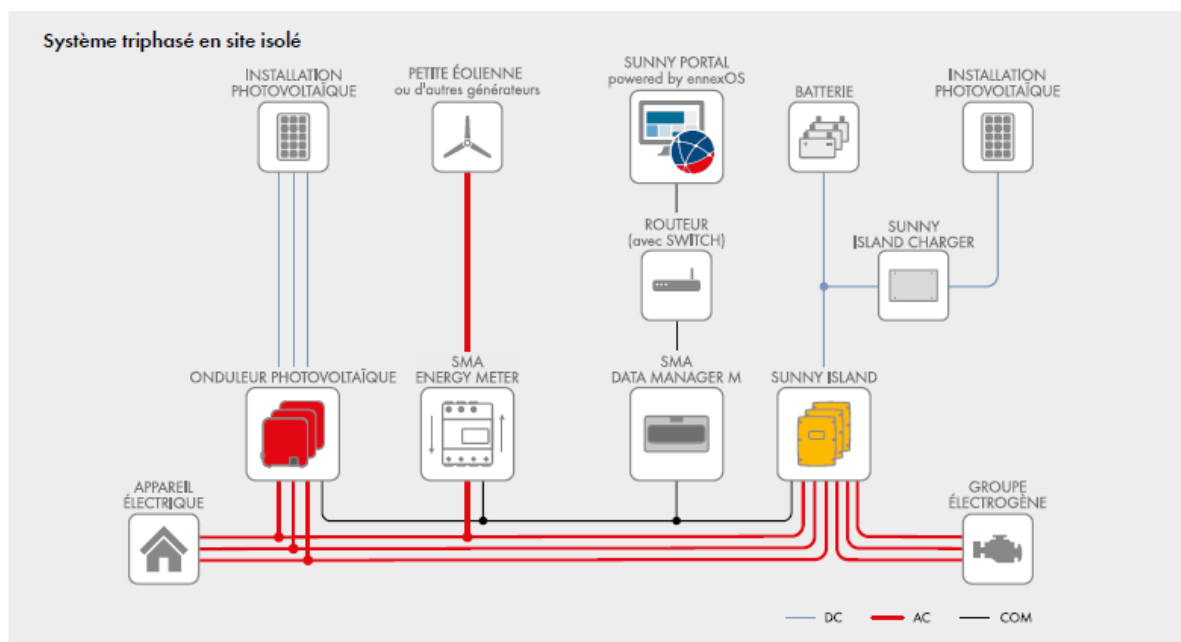
L'onduleur polyvalent le plus fiable – d'une simplicité inégalée

Qu'il s'agisse de le mettre en œuvre dans des régions éloignées du réseau ou dans des maisons reliées au réseau public, l'onduleur chargeur Sunny Island se prête aussi bien à une utilisation dans des installations en site isolé que raccordées au réseau. Les utilisateurs profitent de l'expérience de 100 000 Sunny Island installés partout dans le monde. Grâce à l'interface Webi intégrée et aux interfaces standard WLAN et Ethernet, le Sunny Island 4.4M/6.0H/8.0H est facile à mettre en service et à configurer depuis un smartphone ou une tablette. En tant qu'élément clé du SMA Flexible Storage System, le Sunny Island stocke temporairement le courant autoproduit dans la batterie, permettant ainsi une utilisation de l'électricité solaire 24h/24. La classe de protection élevée, la grande plage de température et la capacité de surcharge très élevée assurent en continu la sécurité nécessaire aux toutes les installations. La gestion intelligente de la charge et de l'énergie garantit le fonctionnement même dans des situations critiques.

Le Sunny Island est un onduleur véritablement polyvalent, bénéficiant d'une garantie de 10 ans*.

*) en cas de l'enregistrement dans Sunny Portal

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE



Caractéristiques techniques	Sunny Island 4.4M	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Fonctionnement avec réseau public ou générateur			
Tension de réseau assignée / Plage de tension AC	230 V / 172,5 V à 264,5 V		
Fréquence de réseau assignée / plage de fréquence autorisée	50 Hz / 40 Hz à 70 Hz		
Courant alternatif maximal pour l'optimisation de l'autoconsommation (gestion du réseau)	14,5 A	20 A	26 A ⁽¹⁾
Puissance apparente AC maximale pour une optimisation de l'autoconsommation (gestion du réseau)	3,3 kVA	4,6 kVA	6 kVA ⁽¹⁾
Courant d'entrée AC maximal	50 A	50 A	50 A
Puissance d'entrée AC maximale	11500 W	11500 W	11500 W
Facteur de déphasage réglable	0,8 inductif à 0,8 capacitif		
Mode de fonctionnement en site isolé ou mode de backup			
Tension de réseau assignée / Plage de tension AC	230 V / 202 V à 253 V		
Fréquence assignée / Plage de fréquence (réglable)	50 Hz/45 Hz à 65 Hz		
Puissance assignée (pour Unom, f _{nom} / 25 °C / cos φ = 1)	3300 W	4600 W	6000 W
Puissance AC à 25 °C pendant 30 min / 5 min / 3 s	4400 W / 4600 W / 5500 W	6000 W / 6800 W / 11000 W	8000 W / 9100 W / 11000 W
Puissance AC à 45 °C	3000 W	3700 W	5430 W
Courant assigné / Courant de sortie maximal (crête)	14,5 A / 60 A	20 A / 120 A	26 A / 120 A
Taux de distorsion harmonique tension de sortie / Facteur de puissance à la puissance assignée	< 5 % / -1 à +1	< 1,5 % / -1 à +1	< 1,5 % / -1 à +1
Entrée DC batterie			
Tension d'entrée assignée / Plage de tension DC	48 V / 41 V à 63 V	48 V / 41 V à 63 V	48 V / 41 V à 63 V
Courant de charge maximal de la batterie / Courant de charge assigné DC / Courant de décharge assigné DC	75 A / 63 A / 75 A	110 A / 90 A / 103 A	140 A / 115 A / 130 A
Type de batterie / Capacité de batterie (plage)	Li-Ion ⁽¹⁾ , FLA, VRLA / 100 Ah à 10000 Ah (plomb) 50 Ah à 10000 Ah (Li-Ion)		
Régulation de charge	Procédé de charge IUoU avec pleine charge et charge d'égalisation automatiques		
Rendement / Autoconsommation de l'appareil			
Rendement maximal	95,5 %	95,8 %	95,8 %
Consommation en circuit ouvert / Mode veille	18 W / 6,8 W	25,8 W / 6,5 W	25,8 W / 6,5 W
Dispositif de protection (appareil)			
Court-circuit AC / Surcharge AC	● / ●		
Protection inversion de polarité DC / Fusible DC	- / -		
Surtempérature / Décharge excessive de la batterie	● / ●		
Catégorie de surtension selon CEI 60664-1	III		
Caractéristiques générales			
Dimensions (L/H/P)	467 mm / 612 mm / 242 mm (18,4 / 24,1 / 9,5 po.)		

CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

ANNEXE 4 : Fiche technique MC BOX

Caractéristiques techniques	Multicluste-Box 12	Grid-Connect-Box 12
Raccordement des appareils consommateurs au MC-Box 12 / Raccordement du Grid-Box 12 au réseau électrique public**		
Tension assignée	230 V (L, N), 400 V (L1, L2)	230 V (L, N), 400 V (L1, L2)
Plage de tension AC	172,5 V à 265 V 300 V à 433 V	172,5 V à 265 V 300 V à 433 V
Fréquence assignée / plage de fréquences	50 Hz, 60 Hz/45 Hz à 65 Hz	50 Hz, 60 Hz / 45 Hz à 65 Hz
Nombre de connexions	1 x triphasé	1 x triphasé
Puissance assignée	138 kW	138 kW
Courant AC pour les valeurs assignées	3 x 200 A (AC1)	3 x 200 A (AC1)
Fusibles	NH1	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	—
Puissance AC à 45 °C / courant AC à 45 °C	65 kW / 3 x 94 A	—
Puissance AC (25 °C, 30 min)	96 kW	—
Puissance AC (25 °C, 5 min)	110 kW	—
Fusibles	12 Disjoncteur miniature C 40 A	—
Raccordement du générateur		
Nombre de connexions	1 x triphasé	—
Puissance assignée	138 kW	—
Courant d'entrée AC	3 x 200 A	—
Fusibles	NH1	—
Raccordement de l'installation photovoltaïque		
Nombre de connexions	1 x triphasé	—
Puissance assignée de l'installation photovoltaïque	138 kW	—
Courant AC pour les valeurs assignées	3 x 200 A	—
Fusibles	—	—
Caractéristiques générales		
Nombre de phases	Triphasé	Triphasé
Configuration de réseau autorisée	TN-S, TN-C-S et TT	TN-S, TN-C-S et TT
Dimensions (L/H/P)	1200 / 1600 / 435 mm	600 / 1400 / 435 mm
Type de montage	Monté sur socle	Monté sur socle
Poids	200 kg	103 kg
Température ambiante	-25 °C à +60 °C	-25 °C à +60 °C
Indice de protection (selon CEI 60529)	IP55	IP55
Valeur maximale admissible d'humidité relative (sans condensation)	0 % à 100 %	0 % à 100 %
Altitude max. de l'installation au-dessus du niveau moyen de la mer ≤ 2000 m	●	●

ANNEXE 5 : Fiche technique batterie



CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

sun | power VR L type OPzV bloc

Applications types :

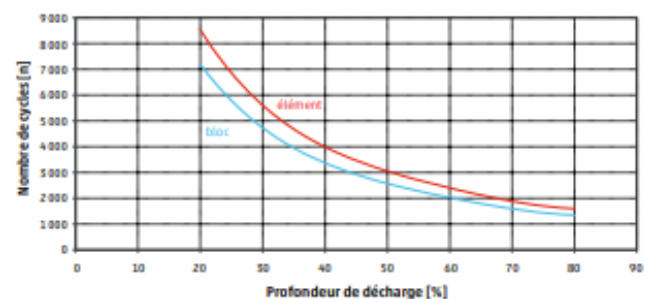
- Systèmes solaires domestiques
- Système hybrides
- Systèmes de signalisation
- Stations de relais mobile
- Éclairage solaire des rues
- Protection cathodique contre la corrosion
- Équipements en services médicaux

Les avantages :

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



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



CONCEPTION D'UNE CENTRALE SOLAIRE POUR L'ELECTRIFICATION DU VILLAGE D'OURE DANS LE CADRE DU PROJET SYSTEME AGRIVOLTAIQUE

Capacités, dimensions et poids

Type OPzV bloc	Tension nominale V	C ₁₀₀ /1,85 V Ah	C ₁₀₀ /1,85 V Ah	C ₂₀ /1,83 V Ah	C ₁₀ /1,80 V Ah	C ₅ /1,77 V Ah	Poids max ^o kg	Longueur max ^o L mm	Largeur max ^o W mm	Hauteur max ^o H mm	Fig.
sun power varl 12-70	12	70	65	58	51	45	40,0	272	205	383	A
sun power varl 12-120	12	130	125	118	103	91	52,5	272	205	383	A
sun power varl 12-180	12	200	190	175	154	136	75,5	380	205	383	A
sun power varl 6-250	6	270	250	235	205	181	51,0	272	205	383	B
sun power varl 6-300	6	330	315	293	250	226	66,0	380	205	383	B
sun power varl 6-370	6	400	375	350	308	272	73,0	380	205	383	B
Type OPzV											
sun power varl 2-250	2	287	264	243	204	189	18,3	105	208	420	C
sun power varl 2-310	2	359	329	304	255	236	22,3	126	208	420	C
sun power varl 2-370	2	430	395	365	306	283	26,5	147	208	420	C
sun power varl 2-420	2	478	453	428	391	346	29,9	126	208	535	C
sun power varl 2-520	2	574	543	513	470	415	35,1	147	208	535	C
sun power varl 2-620	2	670	634	599	548	485	42,1	168	208	535	C
sun power varl 2-750	2	847	802	762	682	595	48,7	147	208	710	C
sun power varl 2-875	2	990	935	888	796	694	61,3	215	193	710	D
sun power varl 2-1000	2	1 130	1 070	1 016	909	793	65,9	215	193	710	D
sun power varl 2-1125	2	1 271	1 203	1 143	1 023	893	75,6	215	235	710	D
sun power varl 2-1250	2	1 412	1 337	1 270	1 137	992	80,5	215	235	710	D
sun power varl 2-1375	2	1 553	1 471	1 397	1 250	1 091	89,3	215	277	710	D
sun power varl 2-1500	2	1 695	1 604	1 524	1 364	1 190	94,6	215	277	710	D
sun power varl 2-1700	2	1 955	1 870	1 785	1 545	1 372	110,0	215	277	855	D
sun power varl 2-2000	2	2 281	2 182	2 082	1 802	1 601	136,5	215	400	815	E
sun power varl 2-2300	2	2 607	2 493	2 380	2 060	1 829	152,9	215	400	815	E
sun power varl 2-2600	2	2 932	2 805	2 677	2 317	2 048	173,0	215	490	815	F
sun power varl 2-2900	2	3 258	3 117	2 975	2 574	2 287	186,5	215	490	815	F
sun power varl 2-3200	2	3 584	3 428	3 272	2 832	2 515	214,7	215	580	815	F