



Étude et conception d'une mini-centrale solaire photovoltaïque dans la localité de Fètèkou

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE
OPTION : **Energétique**

Réalisé par :

Jean-Régis Martial BOCCO

Travaux dirigés par :

Dr Moussa SORO, Enseignant au 2iE, Encadreur pédagogique

Gratien CODJO, Directeur Technique de l'entreprise ASEMI, Maître de stage

Promotion [2015/2016]

Dédicaces

Je dédie ce travail,

- ✿ À Dieu, le Père Tout Puissant pour sa grâce, sa bonté infinie, le courage, la force, la santé parfaite, les moyens de travail, dont il m'a gratifié et les innombrables bienfaits qu'il me réserve. Que son saint nom soit loué pour l'éternité !
- ✿ À mon père **Alain Faustin BOCCO**, qui n'a ménagé aucun effort pour l'éducation de ses enfants, qui a toujours su me mettre en confiance face aux difficultés de la vie et qui m'a donné l'amour et le soutien nécessaires tout au long de ma formation. Ce travail est pour lui prouver que ses efforts ne sont pas vains.
- ✿ À ma très chère mère **Joanita Michelle BOCCO**, la vie, l'assistance, les conseils, les prières et tous les soutiens de tous genres que tu m'as donnés se manifestent ici, dans ce travail. Merci maman.
- ✿ À mes frères, pour leur soutien et affection.

« Votre présence à mes côtés, a été une perpétuelle source de motivation. Retrouvez dans ce document, un gage de ma réussite dans mes aspirations académiques relatives aux sacrifices que vous avez consentis à mon égard. Je ne l'oublierai jamais »

Remerciements

Je ne saurais commencer la rédaction de ce mémoire sans toutefois remercier ceux qui de loin ou de près ont contribué à la mise en œuvre de ce document. Ainsi, je voudrais remercier :

- Dieu tout puissant, car Il a dit : « si Je ne bâtis pas la maison, alors, celui qui la bâtit, le fait en vain ». Merci Seigneur pour toute cette grâce et tant de bonté à mon égard ;
- Le Dr. Moussa SORO, enseignant au 2iE, mon Encadreur pédagogique, pour son extrême dévouement et son encadrement tout au long de ce travail ;
- Monsieur Félix EBO, PDG du GROUPEMENT ASEMI, pour sa disponibilité et les conseils prodigués tout au long de la rédaction de ce document ;
- M. Gratien CODJO, Directeur Technique du Groupement ASEMI, notre tuteur de stage, pour son encadrement, les conseils et soutien apportés au cours de notre stage ;
- L'ensemble des Professeurs du Département de Génie Électrique et Énergétique des 2iE qui ont participé et contribué à la réussite de notre formation ;
- M. Narcisse LANTEYI, M. Jean- Luc ABAÏ, M. Ibrahim KOUTAROU, M. Mathieu ADJANON, Ingénieurs au Groupement ASEMI, pour tous leurs efforts et contributions à la réussite de notre stage ;
- Tous les membres du personnel du Groupement ASEMI, pour leur accueil et collaboration tout au long du stage ;
- Mes frères, pour l'amour fraternel et vos conseils ;
- Mes oncles et tantes pour leurs soutiens ;
- Mes Grands-parents pour leur accueil, suivi et conseils tout au long du stage ;
- Mes amis ;
- Mes camarades et amis de promotion de Master en Génie Électrique et Énergétique aux 2iE, pour l'atmosphère de fraternité qui a régné au cours de notre formation.
- Tous ceux dont les noms ne sont pas mentionnés et qui ont pourtant contribué à la rédaction de ce mémoire.

Listes des abréviations

ACRONYMES

ABERME	Agence Béninoise d'Électrification Rurale et de Maîtrise d'Énergie
2iE	Institut Internationale de l'Eau et de l'Environnement
ANADER	Agence Nationale pour le Développement des Énergies Renouvelables
ASEMI	Groupement de Africa Solar Energy et de Miert International
BT	Basse Tension
CEB	Communauté Électrique du Bénin
FEM	Fond Mondial pour l'Environnement
INSAE	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique
IRED	Initiative Régionale pour l'Énergie Durable
MPPT	Recherche du point de puissance maximal : Maximum Power Point Tracking
NOCT	Température d'utilisation normale de la cellule (°C)
PDG	Président Directeur Générale
PMA	Pays les Moins Avancés
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PRO- DERE	Programme Régional de Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique
PROVES	Projet de Valorisation de l'Énergie Solaire
PV	Photovoltaïque
RGPH	Recensement Général de la population et de l'Habitat
SABER	Société Africaine des Biocarburants et des Énergies Renouvelables
SBEE	Société Béninoise d'Énergie Électrique
SEM	Son Excellence Monsieur
SMA	System-, Mess- und Anlagentechnik (technique des systèmes, de mesure et des équipements)
TAG	Turbines à Gaz
TBE	Tableau de Bord de l'Énergie du Bénin
TGBT	Tableau Général Basse Tension
THD	Taux de Distorsion Harmonique
UEMOA	Union Économique et Monétaire Ouest Africaine

UNESCO United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization / L'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

NOTATIONS

W	Watt
kWe	Kilowatt crête
kW	Kilowatt
U	Tension
I	Courant
Pc	Puissance crête
Wh	Wattheure
VA	Volt Ampère
Isc	Short circuit current / Courant de court-circuit
Voc	Tension de circuit ouvert
Cos phi	Facteur de puissance
Ke	Facteur d'extension de la demande énergétique
AC	Alternative Current / Courant Alternatif
DC	Direct Current / Courant Continu
H	Irradiation solaire ($\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$)
PR	Prix de Revient du kilowattheure
VAN	Valeur Actuelle Nette
kWh	Kilowattheure
A	Ampère
V	Volt
ktep	Kilotonne équivalent pétrole
PR	Ratio de performance
Ddp	Décharge Profonde
°C	Degré Celsius
Ah	Ampère-heure
kWh/j	Kilowattheure par jour

Sommaire

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Listes des abréviations	iii
Sommaire	v
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	ix
Résumé	x
Abstract	xii
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : ETAT DES LIEUX DU SECTEUR ENERGETIQUE AU BENIN	6
Introduction partielle.....	7
I.1. SITUATION ENERGETIQUE DU BENIN	7
I.2. Politique et orientation énergétique du Bénin	13
Conclusion partielle	14
CHAPITRE II : ETAT DES LIEUX DE LA LOCALITE DE FETEKOU	15
Introduction partielle.....	16
II.1. Présentation de la localité de Fètèkou [4].....	16
II.2. Résultats des enquêtes dans la localité	20
II.3. Bilan de puissance de Fètèkou.....	23
Conclusion partielle	33
CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DE LA MINI-CENTRALE SOLAIRE PV	34
Introduction partielle.....	35
III.1. Cahier de charge de la mini-centrale.....	35
III.2. Méthodologie du dimensionnement	36
III.3. Dimensionnement de la mini-centrale photovoltaïque autonome [12] [13]	37
III.5. Proposition de réalisation	57
III.6. Caractéristiques du réseau de distribution BT existant	58
Conclusion partielle	60
CHAPITRE IV : Analyse économique et Impacts	61
Introduction partielle.....	62
IV.1. Analyse économique [15]	62
IV.2. Impacts socio-économiques et environnementaux du projet	70
IV.3. Analyses et discussions.....	73
Conclusion	75
RECOMMANDATIONS.....	76
CONCLUSION GENERALE	78
BIBLIOGRAPHIES.....	81
ANNEXES.....	83

Annexe 1 : Fiche technique de module 305 W Suntech.....	84
Annexe 2 : Fiche technique de l'onduleur PV 20000TL choisi.....	85
Annexe 3 : Fiche technique des batteries OPZV 2900 Ah	86
Annexe 4 : Fiche technique des onduleurs Sunny Island 8.0H choisi.....	87
Annexe 5 : Fiche technique du Sunny Remote Control	88
Annexe 6 : Fiche technique du multicluster 12.0.....	89
Annexe 7 : Fiche technique du Batfuse B.06	90
Annexe 8 : Fiche technique coffret AC	91
Annexe 9 : Fiche technique coffret DC	92

Liste des tableaux

<i>Tableau 1-1: Heures d'ensoleillement par jour</i>	9
<i>Tableau 1-2: Centrales électriques du Bénin, importations, locations et minicentrales solaires photovoltaïques</i>	12
<i>Tableau 2-3: Données géographiques de Fètèkou [5]</i>	19
<i>Tableau 2-4: Caractéristiques démographiques de Fètèkou</i>	20
<i>Tableau 2-5: Résultats de l'évolution démographique</i>	23
<i>Tableau 2-6: Bilan de puissance pour un ménage moyen</i>	25
<i>Tableau 2-7: Bilan de puissance pour un ménage aisé</i>	25
<i>Tableau 2-8: Bilan de puissance du secteur professionnel</i>	26
<i>Tableau 2-9: Bilan de puissance pour l'école primaire public (EPP)</i>	27
<i>Tableau 2-10: Bilan de puissance pour le centre de santé</i>	28
<i>Tableau 2-11: Bilan de puissance pour éclairage publique</i>	29
<i>Tableau 2-12: Bilan de puissance pour un lieu de culte</i>	29
<i>Tableau 2-13: Bilan de puissance pour autres consommations</i>	30
<i>Tableau 2-14: Résultats du bilan de puissance du village</i>	31
<i>Tableau 2-15: Récapitulatif du bilan</i>	32
<i>Tableau 2-16: Résultats de la consommation en énergie électrique du village</i>	32
<i>Tableau 3-17: Résultats de la consommation en énergie électrique du village</i>	36
<i>Tableau 3-18: Données du panneau de 305 Wc</i>	38
<i>Tableau 3-19: Résultats du dimensionnement du champ PV</i>	40
<i>Tableau 3-20 : Dimensionnement du champ PV</i>	41
<i>Tableau 3-21: Résultats dimensionnement de la puissance de l'onduleur</i>	43
<i>Tableau 3-22: Caractéristiques électriques de deux gammes d'onduleur SMA</i>	44
<i>Tableau 3-23: Tableau de vérification</i>	45
<i>Tableau 3-24: Résultats du dimensionnement du système de stockage</i>	47
<i>Tableau 3-25: Résultat du dimensionnement de l'onduleur chargeur</i>	50
<i>Tableau 3-26: longueur des câbles entre composant</i>	51
<i>Tableau 3-27: Résultats du choix des câbles DC</i>	53
<i>Tableau 3-28: Résultats du choix des câbles AC</i>	54
<i>Tableau 3-29: Équipements à utiliser</i>	57
<i>Tableau 3-30: Caractéristique du réseau BT existant</i>	59

Tableau 4-31: Résultats du calcul du coût d'investissement initial 63

Tableau 4-32: Résultats des coûts de fonctionnement et, de suivi, évaluation et formation ... 68

Tableau 4-33: Données utilisées pour les calculs..... 68

Tableau 4-34: Résultats de la rentabilité du projet 69

Liste des figures

<i>Figure 1-i: Carte hydrologique du Bénin.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 1-ii : Consommation finale d'énergie (ktep/ secteurs d'activités)</i>	<i>11</i>
<i>Figure 1-iii: Consommation suivant les formes d'énergie</i>	<i>11</i>
<i>Figure 2-iv: Carte de la commune de Kérou montrant Fètèkou.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 2-v: Trajet Cotonou-Fètèkou [5].....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 2- vi: Courbe de la variation moyenne mensuelle des températures de Fètèkou.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 2-vii: Courbe de la variation moyenne mensuelle de l'ensoleillement de Fètèkou [4]</i>	<i>19</i>
<i>Figure 3-viii: Principe d'orientation et d'inclinaison d'un module PV.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 3-ix: Schéma électrique de l'installation</i>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<i>Figure 3-x: Réseau électrique de Fètèkou</i>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>

Résumé

Au Bénin, l'énergie électrique fait sérieusement défaut dans les zones rurales et cela est dû notamment à l'insuffisance de la production. De nos jours, avec les progrès technologiques et la libéralisation du secteur de l'énergie, ainsi que le développement des énergies renouvelables, de nouvelles solutions sont proposées. L'énergie solaire devient une solution pour combler l'insuffisance de la production. Nous assistons ainsi, depuis peu, à l'installation de mini-centrales dans les zones rurales. La question est alors de savoir, si ces mini-centrales sont correctement dimensionnées pour subvenir aux besoins énergétiques de ces zones rurales à long terme, et aussi si cela apporte une amélioration de l'électrification du pays, notamment dans les zones rurales. Sur le plan financier, l'installation de telles centrales peut permettre à la population de la classe moyenne d'obtenir de l'énergie électrique à moindre coût et sans interruption.

Le présent travail porte sur l'étude et la conception d'une mini-centrale photovoltaïque, en vue de contribuer, non seulement à l'amélioration de l'accès à l'électricité en milieu rural en République du Bénin, mais également à permettre à ce pays de relever le défi du mix-énergétique. Ici, le cas d'étude s'est porté sur le Village de Fètèkou, situé dans le Département de l'Atacora, dans la Commune de Kérou. Afin de mener notre étude à bien, nous avons dans un premier temps effectué des enquêtes préalables, afin de recueillir :

- auprès des services météorologiques les valeurs mensuelles de l'ensoleillement et les températures de la zone d'étude,
- auprès des populations les données indispensables pour évaluer leurs besoins énergétiques.

Il ressort de ces enquêtes ce qui suit :

- en moyenne la population dépense 3 500 F CFA par mois pour l'éclairage et la radio, au moyen des lampes tempêtes et des piles;
- la consommation journalière totale du village en électricité est évaluée à 214,06 kWh /Jour en 2016.

Ces données nous ont permis de dimensionner la mini-centrale photovoltaïque à 39,04 kWc, en considérant acquise la mini-centrale de 40 kWc du projet PROVES. Ainsi, nous avons obtenu un champ photovoltaïque de 128 modules de 305 Wc chacun, avec un système de stockage de

72 batteries de 2 900 Ah chacune. Cette puissance crête devrait permettre de satisfaire les besoins en électricité du village en 2016.

Sur le plan financier, la réalisation du projet peut être estimée à **440 088 849 F CFA** et le prix de revient actualisé du kWh à **213 F CFA / kWh**. Le calcul de la Valeur Actuelle Nette (VAN) sur la période de vie du système, nous donne un montant de **48 898 761 F CFA**. Le calcul de la Période de Retour sur Investissement (PRI) de ce projet sur sa durée de vie (25 ans), nous a permis d'apprécier sa rentabilité. Nous obtenons donc une période de retour sur investissement de **22 ans et 06 mois**.

L'étude des impacts socio-économiques et environnementaux nous ont permis de mesurer sur le plan socio-économique, l'amélioration des conditions de vie à travers une modernisation véritable des services de santé, d'éducation, de commerce, de transformation des produits agricoles et des habitations villageoises, et un développement des activités économiques. Et sur le plan environnemental, le résultat le plus important est la substitution des lampes traditionnelles et des groupes électrogènes individuels par l'énergie électrique issue de la mini-centrale. On peut ainsi conclure que le projet est techniquement réalisable et économiquement rentable.

Mots Clés : Zones rurales - Mini-centrale photovoltaïque – Besoins énergétiques - Rentabilité financière - Étude des impacts socio-économiques et environnementaux.

Abstract

In Benin, the lack of electric energy in rural areas is mainly due to production shortage. Nowadays, thanks to technological progress, innovations and above all the liberalization of energy sector as well as the development of renewable energies, some new solutions are proposed to users. Solar energy is becoming an efficient solution for filling the gap of electric energy production shortage. We recently observe the growing settlement and implementation of mini power stations in rural areas. The key question is to know if those mini power stations are correctly dimensioned for complying and satisfying the energetic needs in those rural areas in a long run and if it improves the country's level of electrification more precisely in rural areas. On the financial level, settling such mini power stations can allow middle class populations to get electric energy at lower costs and with no interruption.

The present graduation thesis paper for a master II is a survey on the conception of a mini photovoltaic power station, in order to efficiently contribute to the improvement of electricity access in rural areas in Benin Republic, as well as allowing this country to face the energetic mix. Here, the case study or epicenter is the village of Fètèkou, located into the Atacora Department, in Kérou rural community. In order to successfully lead our survey, we first led some preliminary investigations and inquiries for collecting pertinent data from :

- Meteorological services regarding monthly sunshine values and temperatures thanks to the epicenter or survey area ;
- From populations for compulsory data concerning their energetic needs assessing them more accurately.

The results coming out from those investigations are the following ones:

- As an average the population spends monthly 3 500 F CFA Francs for lighting purposes, radio listening lamps storms' use and batteries ;
- The whole village daily electric consumption is assessed at 214,06 kWh /Day in 2016.

These data allowed us to dimension the photovoltaic mini power station at 39,04 kWc, considering as acquired the 40 kWc from the PROVES Project. Therefore we obtained a 128 modules photovoltaic field of 305 Wc each, with a storage system of batteries of 72 batteries of 2

900 Ah each. This power crest should permit to satisfy the electrical needs for the village of Fètèkou in 2016.

On the financial level the achievement of such a project can be estimated at **440 088 849 CFA Francs and the updated cost price at of the kWh at 213 CFA Francs / kWh**. The VAN calculation for the system living time produces the amount of **48 898 761 CFA F**. The calculation of the Investment Return Period (IRP) for this project within its life duration period (25years) allowed us to appreciate its profitability. Therefore, we get an investment return period of **22 years and 06 months**.

The survey on the socio-economic and environmental impacts allowed to measure at the socio-economic level, the improvement of living conditions through a real modernization of health services, education, trade, the transformation of agricultural products and as a whole the betterment of economic activities. And at the environmental level, the most important result and achievement is the substitution of traditional lamps and individual power generators by the electric energy produced by the mini power station. Incidentally we can conclude that the project was technically achievable and economically profitable.

Key words : Rural areas – Photovoltaic mini power station – Energetic needs – Financial profitability – Survey on socio-economic and environmental impacts.

INTRODUCTION GENERALE

Si en matière d'électrification, de nombreuses disparités existent entre les pays en voie de développement, c'est bien l'Afrique Subsaharienne, qui se retrouvent en fin de classement et en particulier dans le domaine de l'électrification rurale. En effet, alors que l'on estime que 56 % des zones rurales dans les pays en voie de développement sont électrifiées, seules 8 % des zones rurales en Afrique Subsaharienne le sont.

Le Bénin, classé par le **PNUD** en 2004, parmi les Pays les Moins Avancés (**PMA**), et qui est situé en Afrique de l'Ouest, ne fait donc pas exception à cette règle.

D'une superficie de 114 763 km², pour une population de 11 236 687 habitants avec une majorité de ruraux (61,1 % de population rurale contre 38,9 % d'urbains), le Bénin, en 2016, tout comme la majorité des pays ouest africains, est un pays faiblement électrifié (28 %), avec une grande différence entre les villes et les campagnes (7 % en milieu rural contre 56 % en milieu urbain). En plus de cela, le Bénin fait face à un déficit d'énergie électrique de plus de 200 MW.

En effet, ces dernières années, à l'instar de ses voisins, le Bénin a vécu une situation de crise énergétique grave, marquée par des délestages constants, avec comme conséquences notamment, une baisse de l'activité économique. Le système énergétique de la Communauté Électrique du Bénin (**CEB**), auquel participent le Bénin et le Togo, est confronté à des défis interdépendants de l'accès à l'énergie, de la sécurité énergétique et de l'adaptation aux changements climatiques.

En 2010, l'électricité ne représentait que 2,2 % (**TBE**, 2010) de la consommation totale finale d'énergie. La consommation d'électricité par secteurs d'activités vaut 1,8 % dans les ménages, 25,8 % dans les industries et 9,6 % dans le secteur des services (**TBE**, 2010). En 2011, le taux d'accès à l'électricité se situait à 27,93 % au niveau national, 53,85 % au niveau des centres urbains et 3,82 % pour les zones rurales. On note ainsi, une consommation disparate de l'énergie électrique entre milieu urbain et milieu rural.

Aujourd'hui, dans les pays en développement et tout particulièrement au Bénin, il subsiste une importante proportion de la population qui n'a toujours pas d'accès pérenne à l'électricité conventionnelle. Ces populations utilisent les moyens de substitution dont ils disposent comme les groupes électrogènes, la lampe à pétrole, le charbon de bois, le bois de feu... Cette dernière ressource issue de la biomasse, fortement émettrices de gaz à effet de serre, fournit plus de 80 %

de l'offre primaire dans tous les pays de l'Afrique subsaharienne, y compris les pays exportateurs de pétrole. Au regard des défis liés au changement climatique, il est donc nécessaire d'agir au plus vite, pour modifier les habitudes énergétiques, tant par une sensibilisation aux effets néfastes du changement climatique, que par une promotion des nouvelles sources d'énergies durables, très peu nuisibles à l'environnement.

À cet égard, l'accès à l'électricité constitue une préoccupation majeure pour le Gouvernement béninois, qui entend donner une réponse durable à ce défi, par le développement des énergies renouvelables et la mise en œuvre d'une politique d'efficacité énergétique, en cohérence avec le Programme Régional de Développement des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique (**PRODERE**) un des programmes-clés de l'Initiative Régionale pour l'Énergie Durable (**IRED**) de l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine (**UEMOA**).

S'inspirant des objectifs assignés à l'**IRED** de l'**UEMOA**, les ébauches de solutions envisagées par le Gouvernement béninois, vont d'une couverture plus large de la population en matière d'électrification, en passant par un accroissement de la production d'énergie électrique, à la diversification des sources et types d'énergie, plus particulièrement, l'énergie solaire.

Le développement de l'électrification et de la fourniture permanente des populations en énergie électrique de qualité et à prix abordable, représente donc un défi important à relever, pour ce pays d'Afrique de l'Ouest.

L'accès durable à l'énergie électrique peut être amélioré de plusieurs manières et à partir de différentes technologies. En effet, le choix peut se faire entre l'électrification centralisée ou décentralisée, la production de l'électricité à partir de technologies diversifiées, à savoir le thermique, l'hydraulique, le solaire ou l'éolienne ou encore une combinaison de celles-ci. La technologie nucléaire n'est pas ignorée, mais, n'est pas encore une option dans la région, au regard des inquiétudes et risques environnementaux et humains liés à cette source d'énergie, suite aux accidents survenus à Tchernobyl (Ukraine) en 1986 et à la Centrale nucléaire de Fukushima au Japon en 2011. Il convient également de noter que l'importance des pertes techniques, lors du transport de l'énergie électrique sur les réseaux de distribution, constitue un élément important et déterminant dans le choix entre les systèmes centralisé et décentralisé.

Avec une irradiation moyenne annuelle de **5 kWh·m²·jour**, le Bénin, comparé à ses voisins sahéliens, notamment le Burkina Faso (**6 kWh·m²·jour**) et le Niger (**7 kWh·m²·jour**) qui

jouissent d'un meilleur ensoleillement, peut faire figure de parent pauvre. Toutefois, en comparaison avec un pays comme l'Allemagne qui, avec une irradiation assez faible (**3 kWh·m²·jour**), tire quand même une partie importante de son approvisionnement en énergie électrique du solaire (près du quart), le Bénin reste en bonne position pour l'utilisation de la technologie solaire. L'énergie solaire reste donc une option valable et pertinente pour l'électrification rurale qui se développe dans ce pays.

Dans le cas du Bénin, l'option de la promotion de la décentralisation, pour faciliter l'accès d'un plus grand nombre de ses populations à l'électricité a été faite. Celle-ci est promue notamment via l'Agence Nationale pour le Développement des Énergies Renouvelables (**ANADER**), avec la mise en place de différentes technologies, tel que le solaire photovoltaïque. Des projets d'électrification, par le solaire photovoltaïque, sont également mis en œuvre par des organisations internationales gouvernementales et non gouvernementales dans différentes zones rurales du Bénin.

Les mini-centrales construites sont généralement de petite puissance mais, permettent de mettre à la disposition des populations éloignées, de l'énergie propre et à faible coût. C'est le cas du **Projet de Valorisation de l'Énergie Solaire (PROVES)** qui consiste en l'installation de 15 000 lampadaires solaires photovoltaïques dans 76 localités et l'installation des microcentrales solaires photovoltaïques dans 105 Chefs-lieux d'arrondissement. Il a été initié par le Gouvernement béninois, à travers l'ANADER. Il bénéficie dans sa mise en œuvre de l'expertise technique de la Société Africaine des Biocarburants et des Énergies Renouvelables (**SABER**), en sa qualité de Maître d'Ouvrage Délégué. [1]

Dans l'optique d'accompagner le Gouvernement dans cette vision et son ambition de promouvoir l'énergie solaire, de nombreuses entreprises privées se sont mises à la tâche. C'est le cas du **GROUPEMENT ASEMI** où s'est déroulé mon stage de mémoire ; cette entreprise qui est présente dans le domaine de l'expertise énergétique et qui a été choisie pour la réalisation des travaux d'installation des lampadaires et microcentrales solaires Photovoltaïques du PROVES.

Le thème de mon mémoire, qui s'intitule : « **Relever les défis du mix-énergétique et de l'électrification rurale en Afrique de l'Ouest : Étude et conception d'une mini-centrale solaire photovoltaïque dans la localité de Fètèkou** », s'inscrit dans cette optique et constitue une

contribution à la promotion des énergies renouvelables, ainsi qu'à celle de l'électrification rurale, par le truchement du solaire.

La présente étude est structurée en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, il s'agira de faire l'État des lieux de la situation énergétique du Bénin, suivi, dans le deuxième chapitre, par une présentation du village de Fètèkou et l'évaluation de sa demande en énergie électrique. Le troisième chapitre consistera à établir le dimensionnement aussi bien de la mini-centrale que du réseau électrique de distribution. Enfin, le dernier chapitre sera réservé à l'analyse financière et à l'impact socio-économique et environnemental du projet.

CHAPITRE I : ETAT DES LIEUX DU SECTEUR ENERGETIQUE AU BENIN

Introduction partielle

L'énergie électrique est importante pour tous les pays et surtout ceux de l'Afrique Subsaharienne qui ont connu différentes crises énergétiques ces dernières années. Ces crises sont le plus souvent dues à l'inadéquation entre l'offre et la demande énergétiques dans ces pays.

Le BENIN, par le biais de son Gouvernement, a décidé d'accorder une place de choix au secteur de l'énergie, dans le but de résoudre les différents problèmes liés à son développement économique et social. L'actuel Chef de l'État Béninois, SEM Patrice TALON, a martelé lors de son investiture, sa ferme volonté d'endiguer progressivement le délestage (disparité entre l'offre et la demande énergétiques) et d'apporter un mieux-être énergétique aux citoyens béninois. Afin de donner une idée du défi que ce dernier s'est engagé à relever, nous présentons dans ce chapitre, un état des lieux de la situation énergétique du Bénin.

I.1. SITUATION ENERGETIQUE DU BENIN

I.1.1.Sources énergétiques disponibles [2]

Au Bénin, les sources d'énergies les plus utilisées sont l'énergie fossile, la biomasse, le solaire photovoltaïque et l'hydroélectricité.

I.1.1.1. Énergies hydroélectriques

Le Bénin a un système hydrique comprenant un certain nombre de sites permettant l'installation de petites et parfois d'importantes centrales hydrauliques. La carte hydrologique du Bénin montre que le pays a un important potentiel en termes de sites de production d'énergie d'origine hydroélectrique (réservoirs ou sites situés sur les cours d'eau).

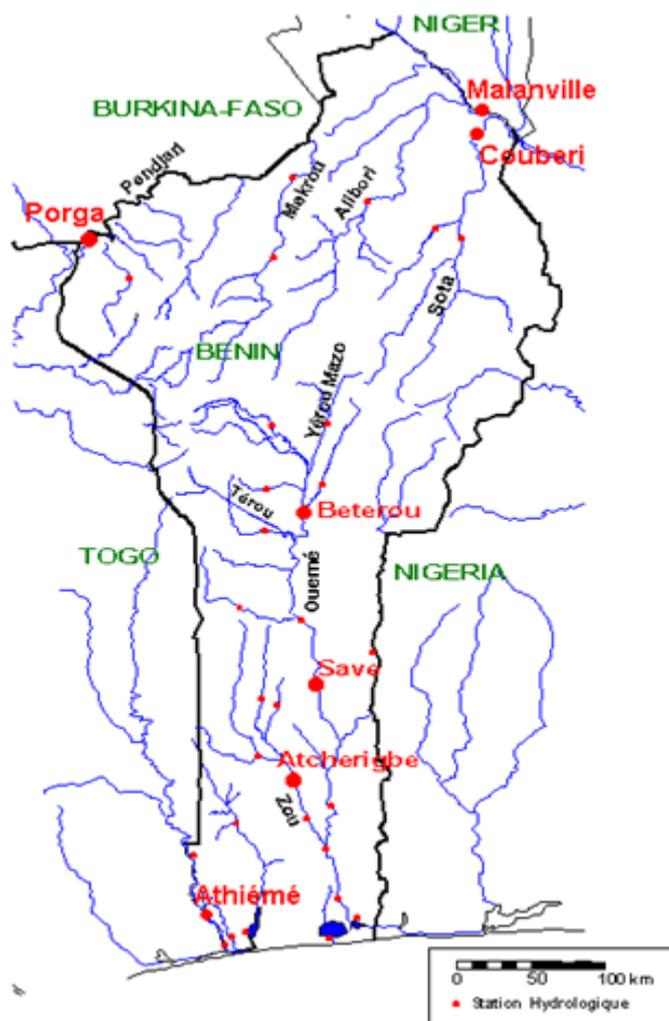


Figure 1-i: Carte hydrologique du Bénin

Le potentiel hydroélectrique du Bénin est estimé à 882 MW en 2016 mais demeure globalement inexploité. De nombreux projets sont en cours d'étude et d'exécution. La part de l'hydroélectricité sur la production énergétique du Bénin s'avère insuffisante, mais, avec les nombreux projets en cours d'études et d'exécution, cette part devrait fortement augmenter. L'hydroélectricité est donc une technologie prometteuse pour la production de l'énergie électrique au Bénin.

I.1.1.2. Énergies fossiles

La plupart des pays d'Afrique au Sud du Sahara disposent généralement de sources d'énergies fossiles, en quantités non négligeables, pouvant faire l'objet d'exploitation. Au Bénin, elles sont

estimées, en ce qui concerne les hydrocarbures, à 87 millions de barils de pétrole (Agence Eco-fin).

I.1.1.3. Énergies solaires

Les stations météorologiques existant au Bénin ne permettent pas d'avoir une carte précise des taux d'énergie solaire reçue (mesurée par un pyromètre, et capable de calculer la puissance du rayonnement global reçue sur une surface, en W/m²). De ce fait, les seules données disponibles sont pour le moment limitées à la mesure des heures d'ensoleillement (mesurées par un héliographe). Le nombre moyen d'heures d'ensoleillement par jour et par mois pour des stations météorologiques de Natitingou et Kandi sont retranscrites dans le tableau ci-dessous. Le maximum est observé en février et le minimum en août.

Tableau 1-1: Heures d'ensoleillement par jour

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Natitingou	8,9	9,08	8,21	8,38	7,87	7,36	5,45	4,61	5,73	7,22	8,80	8,51	7,50
Kandi	9,32	9,64	8,98	9,07	8,97	9,05	7,59	6,54	7,68	8,95	9,58	9,32	8,71

Les données officielles se réfèrent généralement à des documents stratégiques, montrant un rayonnement solaire journalier en moyenne de 3,9 kWh/m² au Sud et 6,2 kWh/m² au Nord. Le potentiel de développement de l'énergie solaire au Bénin est pourtant considéré comme significatif, même s'il est nécessaire d'étayer davantage les données existantes.

I.1.1.4. Biomasse

Le Bénin a un grand potentiel en biomasse renouvelable, et plus précisément en résidus agricoles, tel que le souligne le projet du FEM (*Promotion of sustainable biomass based electricity generation in Benin*¹). Statistiquement, la biomasse pourrait produire plus de 700 MW/an d'électricité en utilisant des techniques de pyrolyse simples comme la gazéification des résidus agricoles. 27 % des résidus agricoles peuvent être vraiment exploités, ce qui laisse envisager une production électrique de 300 MW ; et ce qui permettrait au Bénin d'économiser près de 300 millions de dollars par an en importation d'énergies fossiles et d'électricité. En général, la biomasse se compose de résidus agricoles et d'animaux, ainsi que du charbon de bois. Une étude sur la consommation de biomasse au Bénin en 2010 a estimé la consommation nationale à 4 297 522 tonnes de bois et 245 197 tonnes de charbon de bois. Avec 68,08 % de la superficie nationale du pays recouvert de forêts, la biomasse a énormément de potentiel.

I.1.1.5. Énergies éoliennes

La vitesse du vent varie entre 3 et 5 m/s à 10 m d'altitude ; mais une étude détaillée manque toujours pour évaluer avec précision le potentiel éolien du pays. Ce potentiel semble néanmoins prometteur dans le Golfe de Guinée, même s'il est quasiment inexploité actuellement par le Bénin.

Au total et au vu de cette brève présentation, il ressort que le Bénin dispose d'un potentiel important en énergies renouvelables, qu'il s'agisse de micro-hydro, de solaire ou encore d'exploitation plus durable de la biomasse.

¹ http://www.theFEM.org/FEM/project_detail?projID=5752

I.1.2. Structure de la consommation finale d'énergie

En 2015, la consommation d'énergie était en grande partie composée d'énergies fossiles, de biomasse traditionnelle et, à faible part d'énergie électrique, du fait de l'accès très faible à l'énergie électrique au Bénin. Les figures suivantes montrent les différents taux :

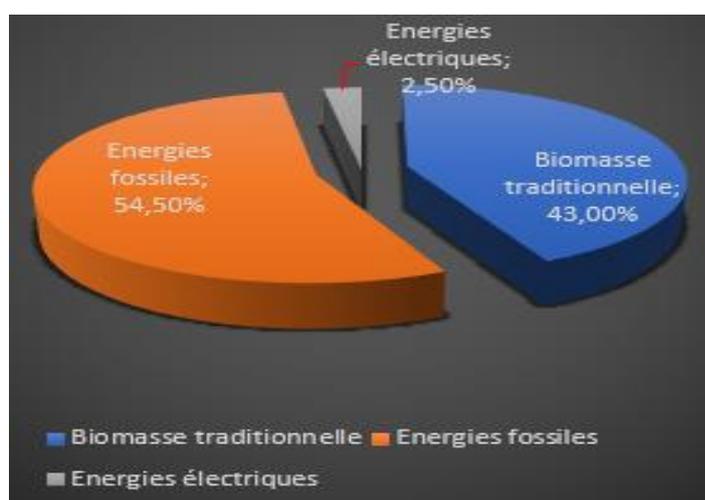


Figure 1-iii: Consommation suivant les formes d'énergie en 2015

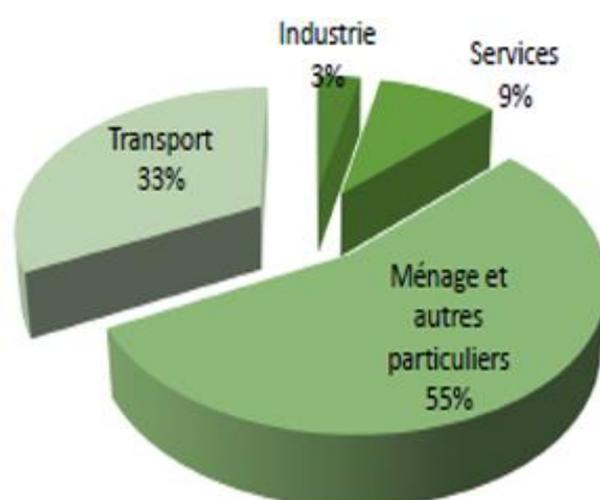


Figure 1-ii : Consommation finale d'énergie (ktep/ secteurs d'activités)

I.1.3. Production énergétique nationale

Bien que disposant d'un potentiel pas complètement révélé, le Bénin n'est pas réellement considéré comme pays producteur de produits pétroliers. De ce fait, il dépend à 100 % de l'extérieur pour son approvisionnement en produits pétroliers. Il est également dépendant à 80 % des importations d'électricité.

La production d'énergie électrique nationale est générée non seulement par la Société Béninoise d'Énergie Électrique (SBEE) et par la CEB, mais aussi par l'ANADER. Ce parc de production est composé de centrales thermiques, de centrales hydroélectriques, de centrales de Turbines à Gaz (TAG) et de mini-centrales solaires PV.

La CEB assure l'importation, la production et le transport de l'énergie pour le Bénin et le Togo. Le tableau ci-dessous présente les chiffres indicatifs des différentes productions des centrales électriques du Bénin, ainsi que ceux des importations.

Tableau 1-2: Centrales électriques du Bénin, importations, locations et minicentrales solaires photovoltaïques

TYPES	CENTRALES (villes)	SOUS TUTELLE DE	PUISSANCE (MW)	ETAT
Hydroélectriques	Yéripao	SBEE	0,5	Arrêt
	Adjaralla	CEB	145	Démarrage des travaux
	Kétou	CEB	5	Arrêt
	Nangbéto	CEB	65	Marche en discontinue
Thermiques	Natitingou	SBEE	8	Réhabilitation
	Porto Novo	SBEE	10	
	Parakou	SBEE	12	
	Sèmè-Podji	SBEE	20	Arrêt
	Akpakpa	SBEE	28	Arrêt (à réhabiliter)
Turbines à gaz	Maria Gléta 1	CEB	80	Arrêt / reprise par un privée
	TAG CEB	SBEE	20	Marche
Location	Gbégamè/ Akpakpa	Aggreko	80	Marche
	Vèdoko/ Parakou	MRI	50	Marche
	Maria Gléta 2	Aggreko/ APR ENERGY/SBEE	150	Démarrage des travaux
Importations	Nigéria	CEB	200	Pas stable
	Ghana		50	
	Côte d'Ivoire		100	
Mini-centrales solaires PV	Projet UNESCO			
	Projet PRODERE			
	Projet PROVES			

I.2. Politique et orientation énergétique du Bénin

I.2.1. Options de politiques énergétiques du Gouvernement

Entre un bois de plus en plus rare et un pétrole dont le prix fluctue de plus en plus, les sources d'énergies renouvelables constituent une alternative crédible, pour la réalisation du Mix énergétique de plus en plus promu en Afrique. Parmi les grandes familles de sources d'énergie alternative au pétrole et au bois, on peut citer la bioénergie, le solaire, l'hydroélectricité, la géothermie, le nucléaire et l'éolien qui se présentent aujourd'hui comme des filières d'avenir. À la vue des différentes luttes menées contre le réchauffement et le changement climatique, le choix d'une source de production d'énergie, capable de fournir de l'électricité de qualité et en quantité suffisante dans les régions rurales, doit prendre en compte ses impacts sur l'environnement et le climat. Il ressort que l'énergie solaire est celle qui affecte le moins le climat et l'environnement. Ceci est l'une des raisons pour lesquelles, le Gouvernement béninois mise sur une politique axée sur le développement et la promotion des énergies renouvelables. Sans compter que, de plus en plus, les bailleurs de fonds favorisent plus les projets qui n'auront pas d'effets indésirables conséquents sur le climat et l'environnement. Les énergies renouvelables sont prônées au Bénin, pour lutter contre la crise énergétique qui secoue le pays depuis quelques années. C'est ainsi que le pays a adhéré aux projets comme PRODÈRE et PROVES qui participent grandement à l'accès à l'énergie des zones rurales.

I.2.2. Politique et orientation énergétique du Bénin [3]

Inscrit au rang de priorité du Gouvernement, l'énergie est un maillon très important dans le processus de développement, compte tenu du rôle prépondérant qu'elle joue tant au niveau du secteur productif que du capital social des populations. Le secteur de l'énergie a ainsi depuis longtemps focalisé l'attention des Gouvernements successifs. Cependant, malgré les investissements incessants dont il fait l'objet, ce secteur continue de rencontrer de nombreuses difficultés, au nombre desquelles on peut citer :

- l'inadéquation entre l'offre et les besoins exprimés ;

- la faiblesse des infrastructures de production, de transport et de distribution de l'énergie.

Pour pallier ses insuffisances, la priorité du Gouvernement dans ce secteur est de doter le pays de moyens permettant de disposer des services d'énergie électrique de qualité, en quantité suffisante, dans des conditions optimales de coût et de sécurité des approvisionnements. De façon précise, il s'agira :

- D'accroître les capacités de production ainsi que les moyens de transport et de distribution de l'énergie.
- De renforcer les capacités institutionnelles, réglementaires et les ressources humaines dans le secteur de l'énergie.
- De mettre en place une politique de diversification des sources et types d'énergie plus particulièrement, en matière d'énergie rurale, d'énergie solaire et la Biomasse.

Conclusion partielle

Au terme de notre présentation, il apparaît que le secteur de l'énergie est caractérisé au Bénin par une forte consommation de la biomasse traditionnelle, entraînant la dégradation des ressources forestières, une dépendance totale de l'extérieur pour les approvisionnements en produits pétroliers et une dépendance quasi-totale pour les approvisionnements en énergie électrique.

Le Bénin a notamment connu plusieurs crises énergétiques dues à une disparité entre l'offre et la demande. Les besoins énergétiques du Bénin sont actuellement estimés à environ 250 MW pour une production actuelle aux environs de 100 MW (car la majorité des centrales en fonctionnement sont ceux de la CEB qui fournissent le Bénin et le Togo). C'est pour cela que, le Gouvernement, dans le but de fournir de l'énergie de qualité et en quantité aux peuples béninois, a adopté un plan énergétique permettant à l'État de produire de façon indépendante à travers une politique de diversification des sources et types d'énergie, tout particulièrement les énergies renouvelables.

CHAPITRE II : ETAT DES LIEUX DE LA LOCALITE DE FETEKOU

Introduction partielle

Le village de Fètèkou est un village du Nord-Bénin qui ne bénéficie pas encore de l'électricité ; ce qui est un frein pour son développement. La contribution au développement de l'électrification de ce village passe par une connaissance bien précise de ces réalités, de ces besoins ainsi que de ces attentes. Nous nous sommes donc permis, dans ce chapitre, de nous imprégner des réalités de ce milieu à travers ces quelques lignes, afin de proposer un dimensionnement de la mini-centrale.

II.1. Présentation de la localité de Fètèkou [4]

Fètèkou est un village de l'arrondissement de Kérou, commune de Kérou, du département de l'Atacora en République du Bénin. C'est l'un des villages bénéficiaires du Projet PROVES. La Commune de Kérou est limitée :

- au Nord par le Burkina Faso ;
- au Nord-Ouest par la commune de Tanguiéta ;
- au Sud par la commune de Ouassa - Péhunco;
- au Sud-Est par la commune de Sinendé ;
- à l'Est par les communes de Banikoara et de Gogounou;
- à l'Ouest, elle fait frontière avec la commune de Kouandé.

Elle compte 04 arrondissements dont l'arrondissement de Kérou. Ce dernier compte 12 villages dont Fètèkou, le site choisi pour notre étude. Fètèkou est situé à 9 km de l'arrondissement de Kérou. Les images suivantes montrent la commune de Kérou contenant Fètèkou ainsi que, le trajet Cotonou-Fètèkou.

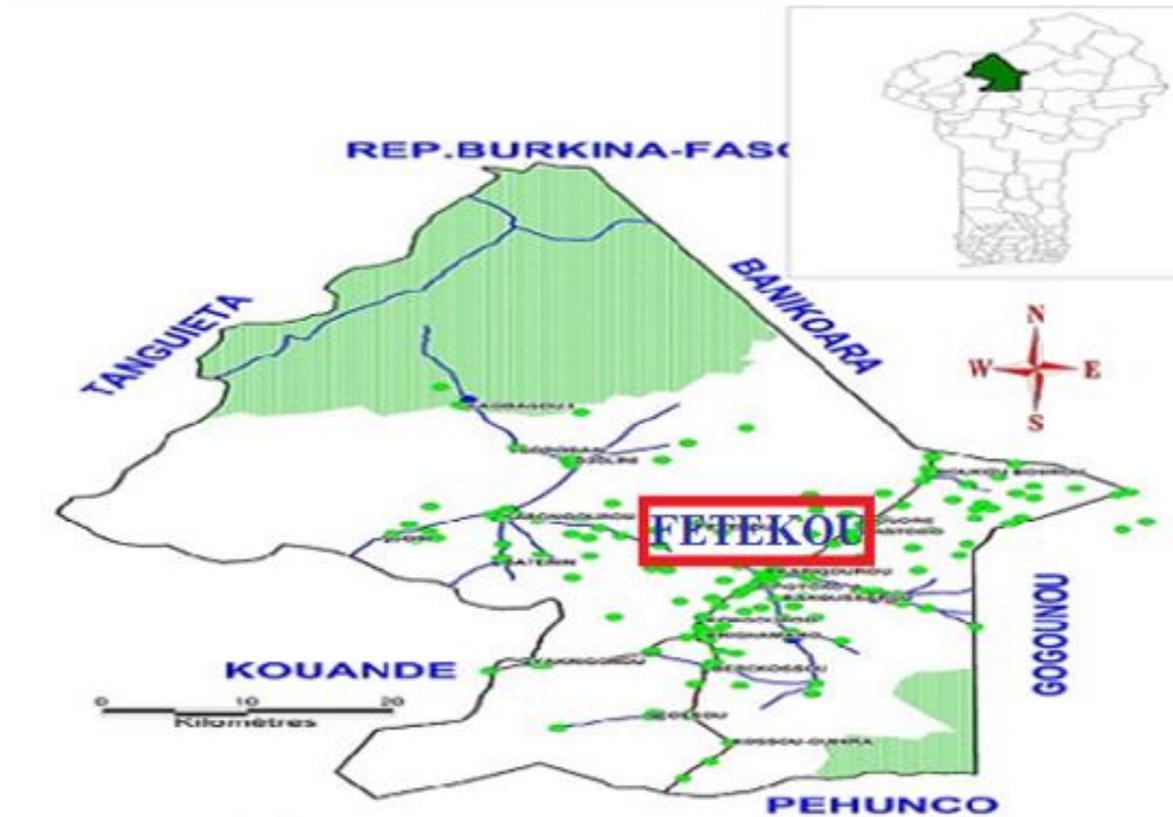


Figure 2-iv: Carte de la commune de Kérou montrant Fètèkou



Figure 2-v: Trajet Cotonou-Fètèkou [5]

Le climat de Fètèkou est caractérisé par une saison de pluie allant de mi-avril à mi-octobre et une saison sèche allant de mi-octobre à mi-avril. La température moyenne varie entre 25 °C en août et 31 °C en avril. L'harmattan, un vent froid et sec, souffle entre décembre et mi-mars entraînant parfois une amplitude thermique (écart entre la température minimale et maximale en un même lieu pendant une durée de temps déterminée) de plus de 10 °C [6]. Les valeurs moyennes mensuelles des températures du village Fètèkou sont présentées sur la figure ci-dessous :

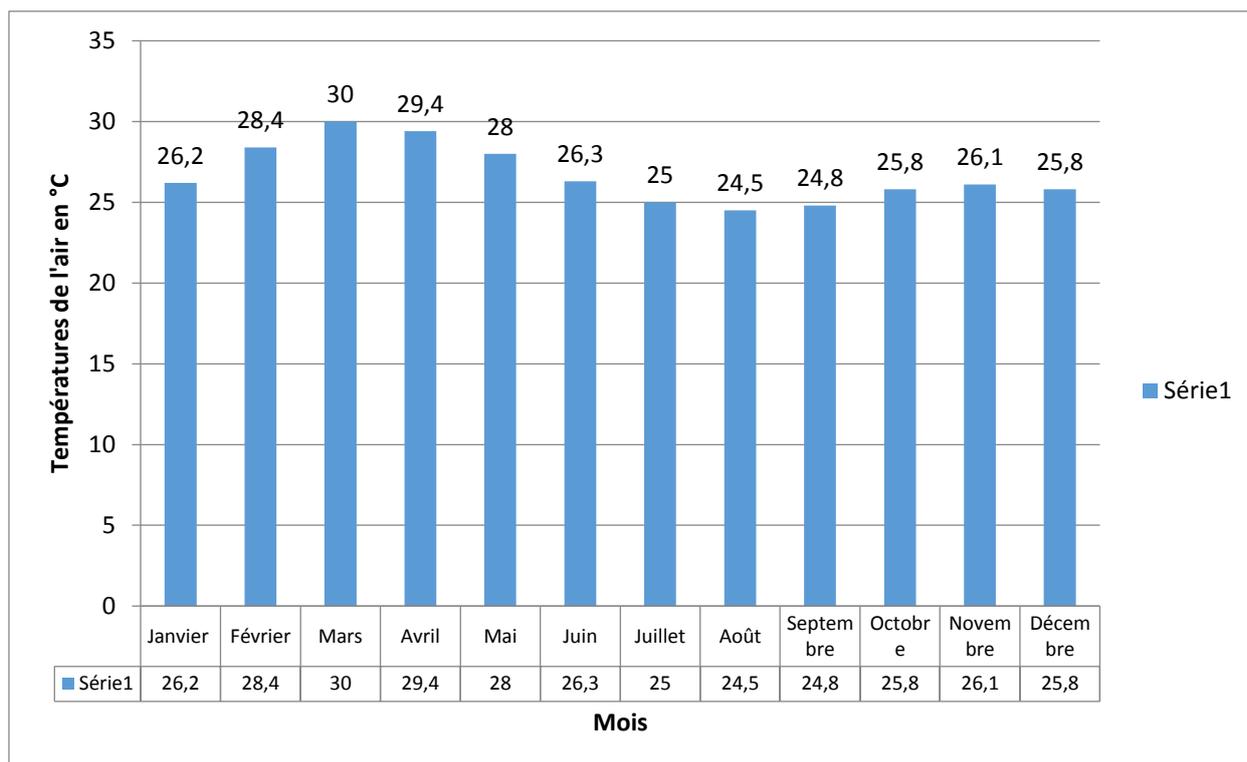


Figure 2- vi: Courbe de la variation moyenne mensuelle des températures de Fètèkou

Il dispose de trois types de sols, à savoir les sols ferrugineux tropicaux, les sols ferralitiques rencontrés dans les zones marécageuses et les sols noirs très riches rencontrés dans les zones des forêts classées.

II.1.1. Données géographiques et ensoleillement

❖ Données géographiques

Les données géographiques de Fètèkou se résument dans le tableau suivant :

Tableau 2-3: Données géographiques de Fètèkou [5]

Latitude	10,7993300°N
Longitude	2,1804400 °E
État de la route	Piste en terre en mauvais état

❖ Données d'ensoleillement

L'angle d'inclinaison optimale pour Fètèkou est de 15 ° (logiciel en ligne PVGIS). Les valeurs moyennes mensuelles de l'ensoleillement du village Fètèkou sont présentées sur la figure ci-dessous :

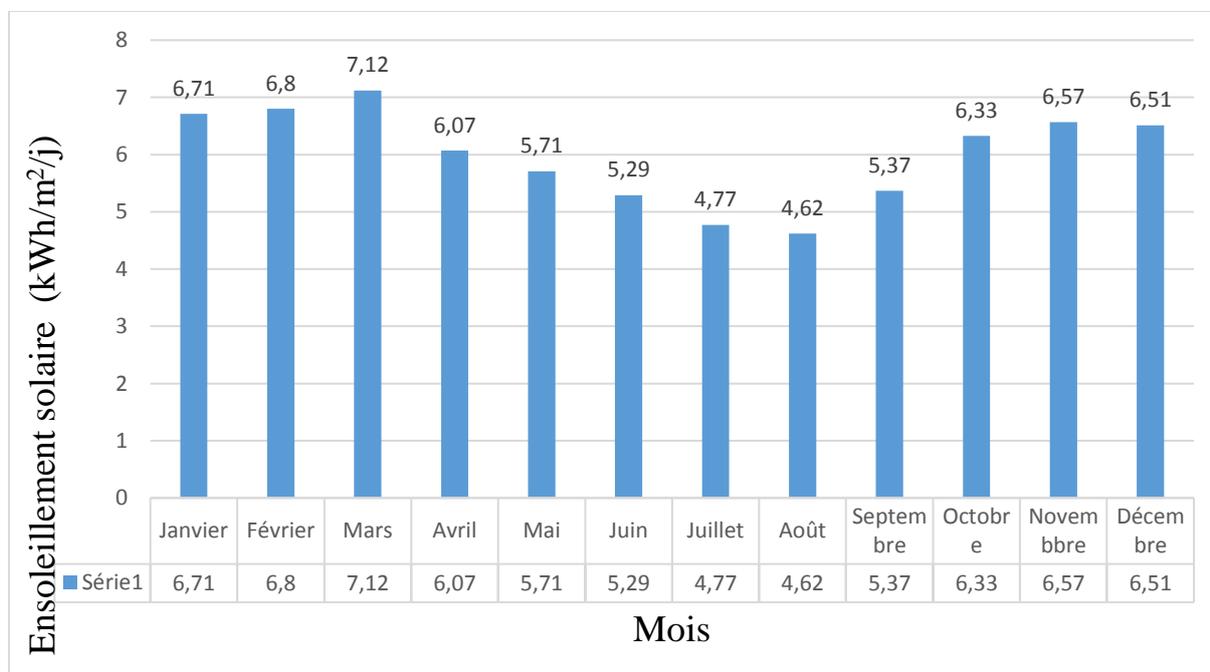


Figure 2-vii: Courbe de la variation moyenne mensuelle de l'ensoleillement de Fètèkou [4]

II.1.2. Caractéristiques démographiques de Fètèkou

Les Recensements Généraux de la Population et de l'Habitation (RGPH2, RGPH3 et RGPH4) publié respectivement en 1992 [7], 2002 [8] et en 2012 [9] par l'INSAE nous permettent d'avoir le tableau suivant :

Tableau 2-4: Caractéristiques démographiques de Fètèkou

Année	Nombre de ménage	Taille de la population	Population		Taille des ménages	Taux d'accroissement (%)
			Masculin	Féminin		
1992	-	3522	-	-	-	2,22
2002	438	4836	2144	2242	10,0	3,2
2012	515	5629	2756	2756	10,9	1.53

À l'instar de la plupart des villages du Nord du Bénin, l'économie de Fètèkou repose essentiellement sur l'agriculture (maïs, riz, arachide, coton, tubercules, céréales etc...). Néanmoins, les autres activités tels que l'élevage, la chasse, la pêche etc. ne manquent d'importance et permettent aux populations de subvenir à leurs besoins vitaux.

L'industrie est encore au stade embryonnaire et se caractérise par de petites entreprises artisanales (forgerons, potiers et tisserands).

II.2. Résultats des enquêtes dans la localité

II.2.1. Infrastructures de Fètèkou

On compte 05 ateliers de coiffure, 07 ateliers de tresses et 04 ateliers de couture à Fètèkou. Le commerce y est très peu développé ; on compte seulement 05 structures de commerce. Comme services sociaux, nous avons :

- ✓ une école primaire publique constituée de 09 salles, dont 08 salles de classe et une pour la Direction ;

- ✓ un centre de santé constitué de deux bâtiments de 04 chambres, dont un pour la maternité et un pour le dispensaire ;
- ✓ un magasin de stockage agricole ;
- ✓ une salle de loisir (maison des jeunes) ;
- ✓ 05 mosquées ;
- ✓ une église catholique et une église évangélique.

II.2.2. Différentes sources d'énergie utilisées

Comme sources énergétiques, la population de Fètèkou utilise du bois de chauffe, du charbon de bois, des piles et des hydrocarbures tels que le pétrole, le gasoil pour les moulins et l'essence pour les groupes électrogènes. Néanmoins, on prendra en compte le fait que dans le cadre du projet PROVES, une mini-centrale PV de 40 kWc devrait être construite.

II.2.3. Secteurs concernés par l'électrification de Fètèkou

L'électrification de ce village interviendra au niveau de quatre secteurs de consommation d'énergie électrique qui sont :

- Consommation du secteur domestique : ce secteur regroupe les ménages dont les habitants font usage de l'énergie électrique, dans le but essentiel de satisfaire leurs besoins domestiques.
- Consommation du secteur professionnel : ce secteur regroupe l'ensemble des commerçants et artisans utilisant l'énergie électrique pour la transformation puis la conservation de leurs produits et, la promotion de leurs services.
- Consommation du secteur public : ce secteur comprend les administrations étatiques, les postes de police, les écoles publiques, l'éclairage public et les structures sanitaires publiques.
- Consommation de divers : ce secteur concerne toutes sortes de consommation qui n'ont pas pu être classées dans les précédentes.

II.2.4. Évaluation de l'évolution démographique de Fètèkou

Il s'agira ici d'estimer la taille de la population, le nombre de ménages ainsi que les ménages demandeurs potentiels d'énergie en 2016 en utilisant différentes équations [10].

❖ Évolution de la population

La taille de la population de Fètèkou en 2012 étant connue, nous pouvons évaluer sa taille en 2016. La méthode d'accroissement par formule géométrique sera utilisée pour estimer la taille de la population de Fètèkou en 2016. La formule s'écrit :

$\mathbf{Pop_{2016} = Pop_{2012}(1 + t_1)^\alpha}$	$\mathbf{(2.1)}$
--	------------------

Avec :

Pop₂₀₁₆ : la taille de la population de Fètèkou en 2016

Pop₂₀₁₂ : la taille de la population de Fètèkou en 2012

t₁ : le taux d'accroissement de la population qui est de **2,32 %** en moyenne [11]

α : différence entre l'année 2016 et l'année 2012

❖ Évolution du nombre de ménage

Le nombre de ménages en 2016 sera évalué à partir de celui de 2012. La formule suivante sera donc utilisée :

$\mathbf{M_{2016} = M_{2012} \times (1 + t_2)^\alpha}$	$\mathbf{(2.2)}$
--	------------------

Avec :

M₂₀₁₆ : Le nombre de ménages en 2016

M₂₀₁₂ : Le nombre de ménages en 2012

t₂ : Taux d'accroissement des ménages qui est de **1,63 %** (moyenne des différents taux des RGPH)

α : différence entre l'année 2016 et l'année 2012

❖ *Évolution du nombre de demandeurs potentiels d'énergie électrique*

Nous allons également évaluer le nombre de demandeurs potentiels par la formule suivante :

$D_{2016} = M_{2016} \times t_3$	(2.3)
----------------------------------	--------------

Avec :

D_{2016} : Nombre de demandeurs potentiels d'énergie en 2016 ;

M_{2016} : Nombres de ménages en 2016 ;

t_3 : Taux de demande d'énergie électrique en milieu rural qui est de 2,23 % [11].

❖ **Résultats de l'évolution démographique**

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2-5: Résultats de l'évolution démographique

	Population	Nombre de ménages	Nombre de ménages de demandeurs potentiels d'énergie
Taux	2,32 %	1,63 %	2,23 %
Année			
2012	5 629	515	11
2016	5 760	524	12

II.3. Bilan de puissance de Fètèkou

Un bilan de puissance peut se définir comme étant une évaluation de la puissance des équipements électriques que possèdent tous les utilisateurs du village. Ainsi, en se référant aux données collectées dans le village, nous avons dressé le bilan de puissance totale du village.

En effet, il est question pour nous de répertorier au niveau des différents utilisateurs possédant des groupes électrogènes, les puissances électriques des différents récepteurs existants et de proposer aux utilisateurs n'en possédant pas, en fonction des besoins exprimés les équipements électriques susceptibles d'améliorer leurs conditions de vie existentielles une fois qu'ils auront accès à l'électricité et de payer des factures moins coûteuses. Nous avons réuni dans des tableaux la puissance et le temps d'utilisation de chaque appareil. Ce qui nous a permis de calculer la consommation journalière de chaque utilisateur C_{jr} par les formules suivantes :

- ✓ Soient P_i la puissance de chaque équipement électrique i , n_i le nombre d'équipement i . La puissance $P_{tot i}$ de l'équipement i est donnée par la relation :

$P_{tot i} = P_i \times n_i$	(2.4)
------------------------------	--------------

- ✓ Soient $t_{i \text{ fonctionnement}}$ le temps de fonctionnement de l'équipement i dans la journée, la consommation journalière $C_{jour i}$ en énergie électrique de l'équipement i sont données par :

$C_{jour i} = P_{tot i} \times t_{i \text{ fonctionnement}}$	(2.5)
--	--------------

Pour faciliter notre travail, nous avons dans un premier temps dressé séparément le bilan de puissance des différents secteurs de consommation, avant de faire un bilan de puissance pour le village.

II.3.1. Consommation du secteur domestique

Ici, les ménages sont classés en deux catégories, à savoir les ménages moyens et les ménages demandeurs potentiels que nous allons qualifier de ménages aisés. Ainsi, les bilans de puissance pour un ménage moyen (tableau 2-4) et pour un ménage aisé (tableau 2-5) ont été définis. Il y a environ onze personnes par ménage (tableau 2-2), avec une moyenne de deux femmes au foyer et un père de famille.

Tableau 2-6: Bilan de puissance pour un ménage moyen

Equipement	Nombre	Puissance (W)	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement (h/j)	Energie journalière (Wh/j)
Radio K7	1	16	16	2	32
Lampe LED (intérieur)	2	5	10	5	50
Lampe LED (extérieur)	1	5	5	6	30
Portable	3	4	12	2	24
Bilan ménage moyen	-	-	43	-	136

Tableau 2-7: Bilan de puissance pour un ménage aisé

Equipement	Nombre	Puissance (W)	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement (h/j)	Energie journalière (Wh/j)
Poste TV (Sharp)	1	65	65	5	325
Radio K7	1	16	16	2	32
Lampe LED	4	5	20	6	120
Lampe LED (extérieur)	2	5	10	6	60
Portable	4	4	16	2	32
Ventilateur	2	40	80	5	400
Lecteur DVD	1	20	20	4	80
Woofers	1	55	55	2	110
Décodeur	1	20	20	5	100
Congélateur	1	85	85	4	340
Bilan ménage aisé	-	-	387	-	1 599

II.3.2. Consommation du secteur professionnel

Les équipements utilisant l'énergie électrique ont été définis pour un commerçant, un atelier de coiffure et un atelier de couture.

Tableau 2-8: Bilan de puissance du secteur professionnel

Équipement	Nombre	Puissance (W)	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement (h/j)	Énergie journalière (Wh/j)
Centre commercial					
Congélateur solaire	1	85	85	7	595
Recharge de portable	15	4	60	4	240
Lampe LED	4	5	20	5	100
Bilan centre commercial	-	-	165	-	935
Atelier de coiffure					
Lampe LED	2	5	10	3	30
Tondeuse à courant	1	75	75	5	375
Recharge de portable	2	4	8	2	16
Bilan coiffure	-	-	93	-	421
Atelier de tresse					
Lampe LED	2	5	10	3	30
Recharge de portable	2	4	8	2	16
Séchoir	1	150	150	3	450
Bilan tresse	-	-	168	-	496
Atelier de couture					
Lampe LED	2	5	10	3	30
Recharge de portable	2	4	8	2	16
Bilan couture	-	-	18	-	46

II.3.3. Consommation du secteur public

Le bilan de puissance des secteurs publics se définit par secteur dans les tableaux suivants :

Tableau 2-9: Bilan de puissance pour l'école primaire public (EPP)

Equipement	Nombre	Puissance (W)	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement (h/j)	Energie journalière (Wh/j)
Module de 8 classes+ 1 direction pour EPP					
Lampe LED (classe)	16	18	288	3	864
Lampe LED (Direction)	2	9	18	2	36
LED extérieure	3	18	54	4	216
Ventilateur	1	40	40	5	200
Radio K7	1	16	16	2	32
Bilan EPP	-	-	416	-	1 348

Tableau 2-10: Bilan de puissance pour le centre de santé

Equipement	Nombre	Puissance (W)	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement (h/j)	Energie journalière (Wh/j)
Bâtiment de 3 chambres + bureau pour maternité					
Lampe LED	6	9	54	5	270
Lampe LED (bureau)	2	9	18	5	90
Ventilateur	4	40	160	4	640
Recharge de portable	4	4	16	2	32
Radio K7	1	16	16	3	48
Bilan Maternité	-	-	264	-	1 080
Bâtiment de 3 chambres+ bureau pour dispensaire					
Lampe LED (chambre)	12	9	108	5	540
Lampe LED (bureau)	2	9	18	5	90
Conservateur vaccin 200L	1	85	85	10	850
Ventilateur	4	40	160	4	640
Recharge de portable	4	4	16	2	32
Radio K7	1	16	16	3	48
Bilan dispensaire	-	-	403	-	2 200
Maison Docteur					
Poste TV (Sharp)	1	65	65	5	325
Radio K7	1	16	16	2	32
Lampe LED (intérieur)	4	5	20	3	60
Lampe LED (extérieur)	2	5	10	5	50
Portable	3	4	12	2	24
Ventilateur	2	40	80	5	400
Décodeur	1	30	30	5	150
Woofers	1	40	40	2	80
Congélateur	1	85	85	5	425
Lecteur DVD	1	20	20	5	100
Bilan maison Docteur	-	-	378	-	1 646

Tableau 2-11: Bilan de puissance pour éclairage publique

Equipement	Nombre	Puissance (W)	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement (h/j)	Energie journalière (Wh/j)
Projecteur à LED	10	36	360	10	3 600
Bilan éclairage public	-	-	360	-	3 600

II.3.4. Consommation d'autres secteurs

Ici, il s'agira de dresser le bilan de puissance pour les lieux de culte, les magasins agricoles, et d'autres équipements qui peuvent consommer de l'énergie.

Tableau 2-12: Bilan de puissance pour un lieu de culte

Equipement	Nombre	Puissance (W)	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement (h/j)	Energie journalière (Wh/j)
Mosquée					
Lampe LED (intérieur)	3	9	27	2	54
Lampe LED (extérieur)	2	9	18	5	90
Micro Ampli	1	50	50	3	150
Bilan Mosquée	-	-	95	-	294
Eglise					
Lampe LED (intérieur)	4	9	36	4	144
Lampe LED (extérieur)	2	9	18	5	90
Micro Ampli	1	50	50	3	150
Bilan église	-	-	104	-	384

Tableau 2-13: Bilan de puissance pour autres consommations

Equipement	Nombre	Puissance (W)	Puissance totale (W)	Temps de fonctionnement (h/j)	Energie journalière (Wh/j)
Magasin agricole					
Lampe LED	4	18	72	2	144
Bilan Magasin	-	-	72	-	144
Maison de loisir					
Lampe LED	6	5	30	6	180
Télévision LED	1	45	45	6	270
DVD	1	20	20	6	120
Micro Ampli	1	50	50	6	300
Bilan maison de loisir	-	-	145	-	870
Autres					
Machine décortiqueuse	2	5 500	11 000	6	66 000
Bilan autres	-	-	11 000	-	66 000

II.3.5. Consommation journalière en énergie électrique du village

La puissance et la consommation totale de la journée de chaque utilisateur seront calculées ici. Les formules suivantes seront utilisées pour remplir le tableau des résultats du bilan de puissance du village.

Ainsi, on a :

- ✓ La puissance totale $P_{tot\ x}$ demandée par les utilisateurs x est donnée par :

$$P_{tot x} = P_{unitaire x} \times n_x \quad (2.6)$$

Avec n_x le nombre d'utilisateur x , et $P_{unitaire x}$ la puissance unitaire d'un utilisateur.

- ✓ La consommation totale journalière $C_{totale jour x}$ en énergie électrique des utilisateurs x dans la journée est donnée par la relation :

$$C_{totale jour x} = C_{unitaire jour x} \times n_x \quad (2.7)$$

Tableau 2-14: Résultats du bilan de puissance du village

Désignation	Quantité	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)	Consommation journalière unitaire (Wh /j)	Consommation totale journalière (Wh /j)
Ménage moyen	512	43	22 016	136	69 632
Ménage aisé	12	387	4 644	1 599	19 188
Centre commercial	5	165	825	935	4 675
Atelier de coiffure	5	93	465	421	2 105
Atelier de tresse	7	168	1 176	496	3 472
Atelier de couture	4	18	72	46	184
Ecole primaire	1	416	416	1 348	1 348
Maternité	1	264	264	1 080	1 080
Dispensaire	1	403	403	2 200	2 200
Maison Docteur	1	378	378	1 646	1 646
Eclairage publique	1	360	360	3 600	3 600
Eglise	2	104	208	384	768
Mosquée	5	95	475	294	1 470
Magasin agricole	1	72	72	144	144
Maison de loisir	1	145	145	870	870
Autres	1	11 000	11 000	66 000	66 000
Total	-	-	42 919,0	81 199	178 382

Les données suivantes peuvent alors se calculer :

- ✓ La puissance totale P_{tv} demandée par le village par l'équation :

$$P_{tot\ village} = \sum P_{tot\ x} \quad (2.8)$$

- ✓ La consommation totale journalière du village $C_{tot\ jour\ vill}$ par l'équation :

$$C_{tot\ jour\ vill} = \sum C_{totale\ jour\ x} \quad (2.9)$$

Ces résultats sont confinés dans le tableau suivant :

Tableau 2-15: Récapitulatif du bilan

Puissance totale (W)	Consommation totale journalière (Wh /j)
42 919,0	178 382

On a donc une puissance totale de 42,92 kW pour une consommation totale journalière de 178,382 kWh/j. Pour les calculs de dimensionnement, on prendra en compte un coefficient de sécurité qu'on fixera à 1,2. Ce coefficient nous permettra d'avoir une certaine marge sur la consommation effective du village, permettant de répondre à une augmentation de la consommation non prévue. On utilisera donc les résultats du tableau suivant :

Tableau 2-16: Résultats de la consommation en énergie électrique du village

Puissance totale (kW)	Consommation totale journalière (kWh /j)	Coefficient de sécurité ks
51,5	214,06	1,2

Les calculs nous donnent comme résultats 51,5 kW de puissance et 214,06 kWh/jour pour la consommation totale du village.

Conclusion partielle

Nous avons présenté le village selon les aspects utilisés pour estimer la demande en énergie électrique du village, puis évalué la consommation journalière en énergie électrique du village de 2016 en prévoyant un coefficient d'extension. Ainsi le village Fètèkou demande une puissance de **51,5 kW** et une énergie électrique de **214,06 kWh** dans la journée. Nous allons utiliser ces données pour dimensionner la mini-centrale solaire.

CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DE LA MINI-CENTRALE SOLAIRE PV

Introduction partielle

Il s'agit, dans ce chapitre, d'utiliser les résultats de l'estimation de la consommation en énergie électrique du village de Fètèkou, pour proposer un dimensionnement de la centrale photovoltaïque qui pourrait satisfaire ou couvrir la demande potentielle. Cet exercice consistera à dimensionner les différents composants (le champ photovoltaïque, le système de stockage, l'onduleur PV, l'onduleur chargeur etc.) de la centrale photovoltaïque. Avant de procéder au dimensionnement proprement dit de la mini-centrale PV, nous allons définir son cahier de charge.

III.1. Cahier de charge de la mini-centrale

Le bilan de puissance réalisé nous présente de manière détaillée, le besoin que nous devons satisfaire, et pour cela nous avons jugé nécessaire de définir pour notre mini-centrale PV un cahier de charge qui devrait nous orienter dans les choix liés à sa conception. Le cahier de charge de la mini-centrale sera présenté dans le paragraphe suivant.

III.1.1. Exigence

- **La charge :**
 - ✓ Les équipements alimentés par le générateur solaire sont tous en AC (monophasé, triphasé).
 - ✓ Tous les départs des consommateurs doivent être protégés.
- **Générateur PV :**
 - ✓ Le générateur PV devra fournir la puissance nécessaire pour le bon fonctionnement des équipements.
 - ✓ La tension de sortie du système PV doit être adaptée à l'onduleur choisi.
 - ✓ La sortie de la centrale PV est électriquement protégée.
- **Les batteries de stockage :**
 - ✓ La tension de la batterie est fixée à 48V
 - ✓ L'autonomie de la batterie est fixée à une journée

- ✓ La profondeur de décharge de la batterie est de 80% (voir fiche technique à l'[Annexe 3](#))
- ✓ La batterie devra avoir un rendement minimal de 85%.
- **Système de régulation**
Le système de régulation aura pour fonction de contrôler la charge et la décharge des batteries de stockage. Pour ce faire, le couplage des batteries devra respecter la tension de charge.

III.1.2. Présentation de la demande du village

La demande en énergie électrique du village est rappelée dans le tableau suivant :

Tableau 3-17: Résultats de la consommation en énergie électrique du village

Puissance totale (kW)	Consommation totale journalière (kWh /j)	Coefficient de sécurité ks
51,5	214,06	1,2

III.2. Méthodologie du dimensionnement

Nous allons dimensionner la centrale par rapport au besoin en énergie électrique du village de Fètèkou de 2016. L'énergie photovoltaïque est une énergie qu'on peut facilement décentraliser, c'est à dire qu'il permet de donner une certaine autonomie. Ainsi, nous allons utiliser la consommation d'énergie électrique totale de la journée, pour déterminer la puissance crête du champ.

III.3. Dimensionnement de la mini-centrale photovoltaïque autonome [12] [13]

III.3.1. Dimensionnement du champ photovoltaïque

Il s'agira ici de :

- déterminer la puissance crête totale P_c (W_c) de la centrale ;
- déterminer le nombre total de modules à utiliser, à mettre en série et en parallèle.

III.3.1.1. Détermination de la puissance crête de la centrale PV

La puissance crête P_c , qui est la puissance fournie par les modules PV pour un ensoleillement de 1000 W/m^2 , est calculée par la formule (3.10) suivante :

$P_c (W_c) = \frac{C_{jv}}{\eta_{bat} \times \eta_{ond} \times \eta_{gén} \times H}$	(3.10)
--	--------

Avec :

C_{jv} : la consommation journalière en électricité du village : **214,06 kWh/j** en 2016 ;

η_{bat} : Rendement de la batterie d'accumulateurs que l'on prendra égal à 85 % ;

η_{ond} : Rendement de l'onduleur qui sera pris égal à 90 % car les onduleurs sur le marché ont des rendements de plus en plus élevés ;

$\eta_{gén}$: 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 : l'irradiation solaire ou rayonnement solaire journalier du mois d'Août qui est égal à **4,62 kWh·m⁻²·j⁻¹** (mois le plus défavorable).

III.3.1.2. Choix et détermination du nombre de module

Il faut nécessairement choisir le module à utiliser pour constituer le champ PV. Ainsi, nous allons choisir le module polycristallin (Suntech) de puissance crête 305 Wc compte tenu de ses caractéristiques (surtout du rendement). La fiche technique de ce module se trouve à l'[Annexe 1](#). Le tableau suivant récapitule quelques données relatives du module polycristallin 305 Wc :

Tableau 3-18: Données du panneau de 305 Wc

Puissance maximale (Wc)	305
Tension V_{mpp} (V)	36,2
Intensité I_{mp} (A)	8,43
Tension en circuit ouvert V_{oc} (V)	44,7
Intensité de court-circuit I_{sc} (A)	8,89
Rendement du module (%)	15,7

En fonction du module photovoltaïque choisi, on déterminera le nombre de modules en série et le nombre de branches en parallèle.

- Nombre total de modules

Le nombre total de modules à utiliser, peut-être déterminé par :

$N_m = \frac{P_c}{P_{cm}}$	(3.11)
----------------------------	--------

Avec :

P_c : la puissance crête totale

N_m : le nombre de modules PV à utiliser ;

P_{cm} : la puissance crête d'un module.

- Nombre de modules en série

Pour limiter les pertes en ligne liées à l'effet Joule ($P=RI^2$), il faut abaisser le courant (I^2), et donc élever la tension. C'est pourquoi, on relie les modules en série.

Ainsi, au vue de la technologie SMA utilisée, le champ PV sera directement connecté à un onduleur PV qui se chargera de convertir l'énergie continue du champ PV en énergie alternative.

Le nombre de modules branchés en série dans une branche est alors limité par la tension d'entrée de l'onduleur.

Le nombre de modules à monter en série est donné par :

$N_{ms} = \frac{V_{gén}}{V_{mod}}$	(3.12)
------------------------------------	---------------

Avec :

N_{ms} : le nombre de modules en série ;

V_{mod} : la tension de circuit ouvert maximale d'un panneau calculée en tenant compte de la température ;

$V_{gén}$: tension maximale du générateur PV = 1 000 V dans notre cas (voir fiche technique [Annexe 1](#)).

NB : il est à noter que le nombre de modules à monter en série, doit satisfaire à la condition sur la tension maximale (équation 3.15) et la tension minimale (équation 3.16) du choix de l'onduleur.

- Nombre de branches à monter en parallèle

Le nombre de branches de modules en parallèle N_{bmp} sera donc :

$N_{bmp} = \frac{P_c}{P_{cm} \times N_{ms}}$	(3.13)
--	---------------

Avec :

P_{cm} : Puissance crête d'un module.

Ainsi, nous pouvons déterminer la puissance crête totale installée P_{cin} par :

$P_{cin} = N_{bmp} \times N_{ms} \times P_{cm}$	(3.14)
---	---------------

III.3.1.3. Résultat du dimensionnement du champ PV

Nous présentons les résultats du dimensionnement du champ PV dans le tableau suivant :

Tableau 3-19: Résultats du dimensionnement du champ PV

Dimensionnement champs PV	
Irradiation solaire ($\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{j}^{-1}$)	4,62
Rendement de l'onduleur	0,90
Rendement de la batterie	0,85
Rendement du générateur	0,80
Consommation journalière du village (kWh)	214,06
Puissance crête totale P_c (kWc)	75,71
Puissance d'un module (Wc)	305
Nombre de modules	250
Tension max du générateur	1 000
Tension de circuit ouvert panneau	44,70
Nombre de modules en série	22
Nombre de module en série à installer	17
Nombre de branches en parallèle	15
Nombre total de modules à installer	255
Puissance à installer (kWc)	77,78

Le résultat obtenu, après calcul, de **77,78 kWc** à installer pour couvrir les besoins de la population en **2016**, est nettement supérieur à la puissance de 40 kWc que prévoit le projet PROVES pour le village de Fètèkou. Ce résultat montre que la mini-centrale prévue par le projet PROVES, devrait rapidement se montrer insuffisante pour répondre aux besoins énergétiques de Fètèkou calculés pour 2016. On prendra donc la différence entre la puissance calculée et celle de 40 kWc pour poursuivre le dimensionnement. La puissance crête totale à installer sera donc de **37,78 kWc**.

Les résultats pour le dimensionnement du champ PV seront donc :

Tableau 3-20 : Dimensionnement du champ PV

Puissance crête totale Pc (kWc)	37,78
Puissance d'un module (Wc)	305
Nombre de module	124
Tension d'entrée DC max MPP	800
Tension de circuit ouvert panneau	44,70
Nombre de modules en série	17
Nombre de module en série à installer	16
Nombre de branches en parallèle	8
Nombre total de modules à installer	128
Puissance à installer (kWc)	39,04

Donc, nous avons une puissance crête de **39,04 kWc** pour notre mini-centrale à installer.

III.3.1.4. Orientation et inclinaison des modules

L'orientation optimale de l'angle d'inclinaison des modules photovoltaïques, s'avère être la méthode idéale pour optimiser le rendement du champ PV. L'orientation idéale d'un module PV obéit à une règle vers l'équateur :

- ✓ Orientation vers le Sud dans l'hémisphère Nord ;
- ✓ Orientation vers le Nord dans l'hémisphère Sud.

En ce qui concerne le Bénin, il se retrouve dans l'hémisphère Nord. Les modules seront donc orientés vers le Sud.

L'aspect inclinaison indique l'angle que fait le panneau avec le plan horizontal. L'angle d'inclinaison est égal à 15° car la latitude du site est inférieure à 20° et surtout pour assurer l'auto-nettoyage des modules PV (cet angle est pris au niveau du logiciel en ligne PVGIS).

La figure ci-dessous illustre le principe d'orientation et d'inclinaison d'un module PV.

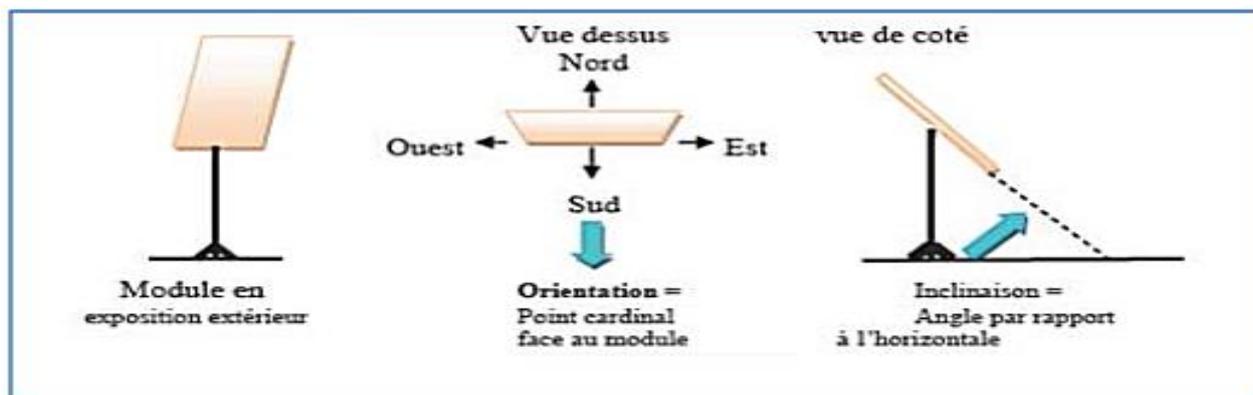


Figure 3-viii: Principe d'orientation et d'inclinaison d'un module PV

III.3.2. Choix et dimensionnement du système de conversion

L'énergie continue produite par le champ PV sera convertie en énergie alternative par un onduleur PV.

III.3.2.1. Dimensionnement de la puissance de l'onduleur PV

De façon générale, il est de bonne pratique de procéder à un sous dimensionnement (*de-rating*) de la puissance AC de l'onduleur comparée à la puissance crête de la (ou des) branche(s) connectée(s). Ce sous-dimensionnement est toléré jusqu'à 80 % de la puissance crête.

La compatibilité onduleur / branche consiste à vérifier que :

- la puissance nominale de l'onduleur est comprise entre 80 % et 110 % de la puissance crête ;
- les tensions générées doivent être dans les limites acceptables de l'onduleur :

$U_{max\ ond} \geq M \times (V_{oc} \mp \mu V_{oc} \times (-5))$	(3.15)
$U_{min\ ond} \leq M \times (V_{MPP} \mp \mu V_{oc} \times 15)$	(3.16)

Avec :

M : nombre de modules d'une branche (16)

V_{oc} : tension de circuit ouvert d'un module

μV_{oc} : coefficient de température qui est égal à **-0,33 % / °C** (Voir [Annexe 1](#))

V_{MPP} : tension au point de puissance maximale

Tableau 3-21: Résultats du dimensionnement de la puissance de l'onduleur

Compatibilité onduleur / branche	
$U_{max\ ond}$ (V)	$\geq 715,164$
$U_{min\ ond}$ (V)	$\leq 578,408$
P_{ond} (W)	$31\ 232 \leq 39\ 040 \leq 42\ 944$

III.3.2.2. Choix de l'onduleur PV

Nous devons utiliser des onduleurs de puissance totale supérieure à **39 040 W**. Notre choix se portera donc sur les onduleurs de type SMA Sunny Tripower. Le **tableau 3-22** qui suit, regroupe quelques caractéristiques en entrée et en sortie de deux onduleurs SMA de puissances différentes parmi lesquels nous ferons notre choix :

Tableau 3-22: Caractéristiques électriques de deux gammes d'onduleur SMA

Caractéristiques techniques	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Entrée (DC)		
Puissance DC max. (quand $\cos \varphi = 1$) / puissance assignée DC	20440 W/20440 W	25550 W/25550 W
Tension d'entrée max.	1000 V	1000 V
Plage de tension MPP/tension d'entrée assignée	320 V à 800 V/600 V	390 V à 800 V/600 V
Tension d'entrée min./tension d'entrée de démarrage	150 V/188 V	150 V/188 V
Courant d'entrée max. entrée A/entrée B	33 A/33 A	33 A/33 A
Nombre d'entrées MPP indépendantes/strings par entrée MPP	2/A :3 ; B :3	2/A :3 ; B :3
Sortie (AC)		
Puissance assignée (à 230 V, 50 Hz)	20000 W	25000 W
Puissance apparente AC max.	20000 VA	25000 VA
Tension nominale AC	3/N/PE ; 220 V/380 V 3/N/PE ; 230 V/400 V 3/N/PE ; 240 V/415 V	
Plage de tension AC	180 V à 280 V	
Fréquence du réseau AC/plage	50 Hz/44 Hz à 55 Hz 60 Hz/54 Hz à 65 Hz	
Fréquence de réseau assignée/tension de réseau assignée	50 Hz/230 V	
Courant de sortie max./courant de sortie assigné	29 A/29 A	36,2 A/36,2 A
Facteur de puissance pour la puissance assignée/Facteur de déphasage réglable	1/0 inductif à 0 capacitif	
THD	≤ 3 %	
Phases d'injection/phases de raccordement	3/3	
Rendement	98,4 %/98,0 %	98,3 %/98,1 %

En se référant aux caractéristiques ci-dessus, on a le **tableau 3-23** de vérification suivant :

Tableau 3-23: Tableau de vérification

	Sunny Tripower 20000 TL		Sunny Tripower 25000 TL	
	Calcul	Spécifications	Calcul	Spécifications
V_{oc} (String)	44,7 x 16 = 715,2 V	< 1000V OK	44,7 x 16 = 715,2 V	< 1000 OK
U_{MPP} (String)	36,2 x 16 = 579,2 V	320 V < 579,2 V < 800 V OK	36,2 x 16 = 579,2 V	390 V < 579,2 V < 800 V OK
Courant d'entrée onduleur (I_{PVMAX})	2 x 8,89 = 17,78 A	< 33 A OK	2 x 8,89 = 17,78 A	< 33 A OK
Max DC power (P_{DCMAX})	39 040 W	< 2 * 20 440 W OK	39 040 W	< 2 * 25 550 W OK

À partir de ce tableau de vérification, notre choix porte sur l'**onduleur PV SMA Sunny Tripower 20000 TL** (l'onduleur triphasé pour les installations en site isolé) qui satisfait à tous les points de vérification ; il a un très bon rendement et est adapté à ce projet. Sa fiche technique est présentée en [Annexe 2](#).

On prendra donc **02 Onduleurs PV SMA Sunny Tripower 20000TL**.

III.3.3. Dimensionnement du système de stockage

Les systèmes de stockage couramment utilisés dans les installations photovoltaïques sont les batteries d'accumulateur au plomb avec des taux de décharge maximum respectifs de l'ordre de 50% à 80% [14]. La capacité de stockage de notre mini-centrale est évaluée par la formule 3.8 suivante :

$$C_s = \frac{C_{tot\ vill}(Wh/j) \times N_{aut}}{V_{bat} \times \eta_{bat} \times \eta_{ond} \times Ddp} \quad (3.17)$$

Avec

- ✓ η_{bat} : le rendement de la batterie, on le prend ici égal à 0,85 compte tenu des types de batteries sur le marché qui ont des rendements de plus en plus élevés ;
- ✓ η_{ond} : le rendement de l'onduleur, on le prend ici égal à 0,9 car les onduleurs utilisés dans le système SMA ont des rendements très élevés;
- ✓ V_{bat} : La tension assignée à l'entrée batterie de l'onduleur chargeur choisi qui est **48V** dans notre cas (voir fiche technique onduleur chargeur choisi en [Annexe 4](#)) ;
- ✓ N_{aut} : Nombre de jours d'autonomie ; on le prendra égal à 01 pour tenir compte du contexte économique ;
- ✓ Ddp : Décharge profonde de la batterie qui dépend des prescriptions du fabricant, il sera ici égal à 0,7 permettant de ne pas atteindre la décharge complète des batteries ;
- ✓ $C_{tot\ vill}$: Consommation totale du village en énergie en Wh par jour.

III.3.3.1. Choix de la batterie

La batterie choisie est : la batterie **OPZV-solar-power-2 900 Ah-2V**. Sa fiche technique est présentée en [Annexe 3](#). La Batterie solaire Hoppecke OPZV Solar power 2 900 - 2V est appropriée pour une utilisation en site isolé. Leur durée de vie est supérieure à 20 ans en maintien de charge à 20°C.

➤ Nombre de batteries en série

Le nombre de batteries à mettre en série N_{bs} dépend de la tension assignée à l'entrée de l'onduleur chargeur. Il est donné par :

$N_{bs} = \frac{V_{ond\ bat}}{V_{bat}}$	(3.18)
---	---------------

Avec :

V_{bat} : la tension d'une batterie qui est de **2 V** dans notre cas (voir fiche technique de la batterie choisie en [Annexe 3](#)).

➤ **Nombre de batteries en parallèle**

Le nombre de branche N_{bp} de N_{bs} batteries à mettre en parallèle est déterminé par :

$$N_{bp} = \frac{C_s}{C_{bat}} \quad (3.19)$$

Avec :

C_{bat} : la capacité d'une batterie qui est 2 900 Ah dans notre cas (voir fiche technique de la batterie choisie en [Annexe 3](#)).

➤ **Nombre total de batteries**

Nous pouvons alors déterminer le nombre total de batteries $N_{Batteries}$ de la centrale PV par :

$$N_{Batteries} = N_{bs} \times N_{bp} \quad (3.20)$$

III.3.3.2. Résultats du dimensionnement du système de stockage

Les résultats pour le dimensionnement du système de stockage sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3-24: Résultats du dimensionnement du système de stockage

Dimensionnement du système de stockage	
Tension de l'entrée batterie de l'onduleur chargeur (V)	48
Rendement Batterie	85%
Rendement onduleur	90%
Profondeur de décharge	70%
Consommation totale du village (Wh/j)	214 058,40
Capacité totale (Ah)	8 327,82
Batterie choisie 2V	2900
Nombre de branches en parallèle	3
Nombre de batteries en série	24
Nombre totale d'accumulateurs	72
Capacité totale installée (Ah)	8700

On a donc au final 72 batteries de 2900 Ah pour une capacité totale installée de 8700 Ah.

III.3.4. Système de régulation de charge de la batterie

À la sortie de l'onduleur qui est directement raccordé au champ PV, on obtient une énergie électrique alternative. Puisque les batteries sont à courant continu, il faut nécessairement convertir l'énergie issue de l'onduleur PV (alternatif) en courant continu, avant de pouvoir charger les batteries. Le SMA Sunny Island est un onduleur bidirectionnel avec régulateur intégré communément appelé onduleur chargeur. Il convertit l'énergie AC issue de l'onduleur PV en DC pour charger la batterie, tout en contrôlant sa charge et décharge. Dans la nuit ou dans les moments de faible ensoleillement, il convertit l'énergie DC des batteries en AC, pour alimenter les charges.

III.3.4.1. Dimensionnement de l'onduleur chargeur

La puissance de l'onduleur chargeur (onduleur bidirectionnel) est déterminée grâce à la puissance maximale appelée par les charges.

La puissance totale des onduleurs chargeurs $P_{t_{ond\ ch}}$ est évaluée de la manière suivante :

$P_{t_{ond\ ch}} = 0,8 \times P_{ond\ PV}$	(3.21)
--	--------

Avec $P_{ond\ PV}$ la puissance totale des onduleurs PV.

III.3.4.2. Choix de l'onduleur chargeur

Nous avons choisi l'onduleur Sunny Island 6.0H. Qu'il s'agisse de l'utiliser dans des régions éloignées du réseau ou pour la gestion de l'énergie personnelle, le Sunny Island 6.0H peut être utilisé à la fois dans des installations raccordées au réseau ou en site isolé. Polyvalent, il séduit aussi par sa durée de vie de plus de 25 ans. La classe de protection élevée, la grande plage de température et la capacité de surcharge extrême assurent la sécurité nécessaire aux installations éloignées du réseau. Une gestion intelligente de la charge et de l'énergie garantit le fonctionnement même dans des situations critiques. Le Sunny Island possède un avantage de taille : il permet une gestion optimale de l'énergie stockée et assure une gestion intelligente de l'énergie

au sein de la centrale PV. Le Sunny Island 6.0H offre la solution polyvalente appropriée pour les installations raccordées au réseau ou en site isolé. La fiche technique Sunny Island 6.0H se trouve à l'[Annexe 4](#).

- Le Sunny Remote Control

Avec le Sunny Remote Control, les systèmes Sunny Island sont flexibles et simples à utiliser : pour un confort maximal de l'utilisateur, SMA a transféré l'unité de commande à l'extérieur. Il a une portée de 20 mètres et peut traiter les informations de trois appareils. Sa fiche technique est présentée à l'[Annexe 5](#).

III.3.4.3. Nombre d'onduleur chargeur

Le nombre d'onduleur chargeur $N_{ond\ ch}$ à utiliser est le rapport de la puissance totale des onduleurs chargeurs sur la puissance de l'onduleur chargeur choisi $P_{ond\ ch}$ (6 000W dans notre cas). Il est à noter que ces onduleurs sont des onduleurs monophasés ; il faudra donc un nombre multiple de trois, pour pouvoir produire le système d'énergie électrique triphasée grâce au Multicluster.

$N_{ond\ ch} = \frac{P_{t_{ond\ ch}}}{P_{ond\ ch}}$	(3.22)
---	--------

III.3.4.4. Résultats du dimensionnement de l'onduleur chargeur

Les résultats du dimensionnement de l'onduleur chargeur sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3-25: Résultat du dimensionnement de l'onduleur chargeur

Dimensionnement de l'onduleur chargeur	
Puissance totale des onduleurs chargeurs (W)	32 000
Puissance d'un onduleur chargeur (W)	6 000
Nombre d'onduleurs chargeurs	06
Nombre d'onduleurs chargeurs pratique	06
Nombre de Multicluster 6.3	01

On installera donc 06 onduleurs chargeurs Sunny Island 6.0H et 01 Multicluster 6.3.

❖ Notion de Multicluster

Le Multicluster permet la synchronisation des Sunny Island. Les onduleurs SMA Sunny Island existent seulement en modèle monophasé. On regroupe alors trois Sunny Island pour former un système triphasé à travers le Multicluster. Un Multicluster prend au minimum six Sunny Island 8.0H ou 6.0H ainsi que le système de stockage associé. À l'intérieur du Multicluster, un Sunny Island constitue le **maître**, les deux autres sont les **esclaves**, ceci en paire de trois. Ainsi le choix du Multicluster se fait en fonction du nombre de Sunny Island pouvant s'y connecter. Nous choisirons ainsi le Multicluster Box 6.3 qui prend au maximum 06 Sunny Island ; ce qui est égal au nombre d'onduleur chargeur choisi. Sa fiche technique est présentée à [l'Annexe 6](#).

III.3.5. Dimensionnement de la section des câbles

Avant la phase de dimensionnement proprement dit des câbles, il est important de définir le plan de câblage électrique global de l'installation. Pour faciliter cette étape, nous avons fait une

estimation des longueurs, susceptibles d'exister entre les différents composants de la centrale PV.

Tableau 3-26: longueur des câbles entre composant

N°	Différentes distances	Longueurs
1	Modules PV- Coffret DC	10 m
2	Coffret DC – Onduleur PV	5 m
3	Onduleur PV- Coffret AC	5 m
4	Coffret AC – Multicluster Box	5 m
5	Multicluster Box – Onduleur chargeur	5 m
6	Onduleur chargeur – Batfuse	5 m
7	Batfuse – Batterie	5 m

III.3.5.1. Détermination des sections de câble DC

Nous utiliserons des conducteurs électriques en cuivre souple de résistivité $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega/m$. La chute de tension maximale admissible (voir guide UTE C15-712) relative aux installations ne devant pas excéder 3% de la tension nominale dans la partie DC (idéalement 1%), nous fixerons une chute de tension de 3 % pour le câblage des différents composants du système. La section S des conducteurs est calculée à partir de l'expression ci-après :

$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta U \times U_n}$	(3.23)
--	---------------

Avec :

ΔU : Chute de tension en pourcentage ;

ρ : Résistivité du cuivre en $\Omega.m$;

L : Longueur d'un conducteur en m ;

I : Intensité du courant en ampère ;

(Pour le calcul nous prenons le maximum de courant sur chaque portion du circuit)

U_n : Tension du système en Volts ;

S : Section des conducteurs (mm^2).

✓ Courant entre le Champ PV- Coffret DC

Le courant qu'il y'aura entre le champ PV et le coffret DC sera égal au courant d'une branche :

$I = I_{sc}$	(3.24)
--------------	---------------

Avec :

I_{sc} : le courant de court-circuit du panneau de 305 Wc ;

✓ Courant entre le Coffret DC et l'Onduleur PV

Le Coffret DC choisi a une sortie et peut recevoir jusqu'à 04 branches. Alors son courant de sortie sera évalué comme suit :

$I_{SM} = I_{sc} \times 2$	(3.25)
----------------------------	---------------

✓ Courant entre la batterie et le batfuse

Le batfuse est une boîte à fusible pour batterie. Le fusible DC externe batfuse sécurise les câbles de raccordement de la batterie au Sunny Island. En outre, le batfuse permet la déconnection du Sunny Island coté DC. On prendra donc le courant maximal entre ceux de la décharge et de la charge des batteries inscrite dans la fiche technique de l'onduleur Sunny Island 6.0H. Il est de **110 A**.

✓ Courant entre Batfuse – onduleur Chargeur

On prendra le courant maximal entre celui de décharge et de charge des batteries inscrite dans la fiche technique de l'onduleur Sunny Island 6.0H (**110 A**).

Le tableau ci-dessous résume les différentes sections choisies pour notre dimensionnement :

Tableau 3-27: Résultats du choix des câbles DC

Composants	I en (A)	ΔU	L(m)	Un(V)	S (mm ²)	S normalisée choisit (mm ²)
Modules PV - Coffret DC	8,83	3%	10,00	759,9	0,13	1,5
Coffret DC - Onduleur PV	17,66	3%	5,00	759,9	0,13	2,5
Batterie – Batfuse	110	3%	5,00	48	12,99	25
Batfuse – onduleur chargeur	110	3%	5,00	48	12,99	25

III.3.5.2. Détermination des sections de câble AC

La section en AC se calcule par :

$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta U \times U_n}$	(3.26)
--	--------

Avec :

ΔU : Chute de tension en pourcentage ;

ρ : Résistivité du cuivre en $\Omega.m$;

L : Longueur d'un conducteur en m ;

I : Intensité du courant du côté AC en ampère ;

(Pour le calcul, nous prenons le maximum de courant sur chaque portion du circuit)

U_n : Tension du système en Volts ;

S : Section des conducteurs (mm²).

On aura donc les résultats suivants :

Tableau 3-28: Résultats du choix des câbles AC

Composants	I en (A)	ΔU	L(m)	Un(V)	S (mm ²)	S normalisée choisit (mm ²)
Onduleurs PV - Coffret AC	36,2	3%	5,00	220	0,93	2,5
Coffret AC - Multicluster Box	181	3%	5,00	220	4,66	6
Multicluster Box-Onduleur chargeur	120	3%	5,00	220	3,09	6
Multicluster Box-Armoire TGBT	181	3%	5,00	220	4,66	6

III.3.6. Protections du système

La mini-centrale PV, pour son bon fonctionnement, doit-être protégée afin d'assurer la continuité de la fourniture d'énergie électrique ainsi que la sécurité des personnes.

III.3.6.1. Protection contre la foudre

Un parafoudre est nécessaire pour protéger l'installation des tensions transitoires élevées. Il fait partie du coffret DC qui sera choisi et, est relié à la terre. C'est un **parafoudre 1 000 V dc In 12,5 kA / I_{max} 25 kA**.

III.3.6.2. Mise à la terre

Les coupures de production liées aux surtensions doivent être prévenues par des mesures de protection. Il est donc indispensable de prévoir des mises à la terre pour toutes les parties de la centrale.

III.3.6.3. Le Coffret de protection DC

Le sous-répartiteur DC offre la possibilité de monter plusieurs strings en parallèle. Il surveille et détecte les défaillances, empêchant ainsi des pertes de puissance et de rendement. Les fusibles de branches dans le Coffret DC séparent les branches défectueuses, qui par exemple ont été endommagés par un court-circuit dans le panneau ou le câblage du champ photovoltaïque. Il permet la surveillance des varistances intégrées (résistance électrique variable notamment en fonction de la tension). Les varistances intégrées protègent l'onduleur contre les surtensions transitoires. Le choix de ce dispositif s'effectue par rapport au courant maximum qui peut le traverser.

Nous allons choisir le **Coffret de protection DC-2+2ST/MC4 1000V dc** de marque Eutélec.

Le courant maximale que peut supporter ce coffret est de 150 A.

Le nombre de coffrets DC sera calculé en prenant le nombre total de branches en parallèle (8) divisé par le nombre de branches connectables au coffret (4) :

$$N_{SSM} = \frac{8}{4}$$

$$N_{SSM} = 2$$

D'où **02 Coffrets de protection DC 2+2ST 1000V dc** seront utilisés, en raison d'un par onduleur PV. Sa fiche technique est présentée en [Annexe 9](#).

III.3.6.4. Le coffret de protection AC

Le coffret AC est destiné au raccordement du champ photovoltaïque au réseau, et a également un rôle de protection. Il est généralement composé de :

- 01 interrupteur sectionneur différentiel pour la protection des personnes ;
- 01 disjoncteur de calibre voulu pour la protection du réseau contre des surtensions ;
- 01 parafoudre pour la protection du réseau contre des surtensions.

Il est placé, d'un point de vue électrique, après l'onduleur PV, juste à côté afin de limiter la section du câble de liaison. Nous choisissons le **Coffret de protection AC100kW-5OND/TRI20kW**. Le calibre des disjoncteurs sera augmenté pour être conforme à notre dimensionnement. Sa fiche technique sera présentée à l'[Annexe 8](#).

III.3.6.5. Le Batfuse

Le batfuse est une boîte à fusible pour batterie. Le fusible DC externe batfuse sécurise les câbles de raccordement de la batterie au Sunny Island. En outre, le batfuse permet la déconnexion du Sunny Island coté DC. Le batfuse est disponible avec différents fusibles couvrant les diverses gammes de puissance des Sunny Island. Il est doté d'une prise de tension de batterie sécurisée de 8 A pouvant être utilisée pour l'alimentation de consommateur DC. Celui utilisé pour les Sunny Island 6.0H est muni de six fusibles de 200A : c'est le Batfuse-B.03. Il peut donc être relié à 03 Sunny Island à l'entrée et 02 branches de batteries comme stipulées dans sa fiche technique en [Annexe 7](#).

III.4. Fonctionnement de la centrale

Le champ photovoltaïque PV se charge de convertir le rayonnement solaire en énergie électrique de nature continue. Le courant / tension continu est envoyé à l'onduleur PV Sunny Tri-power qui, se charge de convertir le courant/tension continu venant du champ photovoltaïque PV en courant /tension alternatif et, l'injecte dans le réseau électrique de distribution à travers

le Multicluste Box. L'excédent est utilisé par les onduleurs chargeurs (Sunny Island) pour charger les accumulateurs. Le Sunny Island est un onduleur bidirectionnel. Il se charge de redresser le courant/tension alternatif en continu pendant la journée pour charger les batteries tout en contrôlant leurs charges. Lorsqu'il n'y a plus d'ensoleillement, le Sunny Island se charge de prendre le courant/tension continu des batteries, de le convertir en courant/tension alternatif et, à travers toujours le Multicluste Box, d'alimenter la charge la nuit et pendant les moments de faible ensoleillement. Une vue d'ensemble du schéma de câblage est présentée en [Annexe 10](#).

III.5. Proposition de réalisation

Pour la construction de la nouvelle mini-centrale, l'installation se fera sur la base des calculs faits à partir des besoins énergétiques de 2016 ; c'est-à-dire que l'installation sera faite pour satisfaire les besoins du village de Fètèkou, calculés au préalable. La puissance crête à considérer est celle obtenue en soustrayant la mini-centrale de 40 kWc prévue par le projet PROVES. Le tableau 3-29, ci-dessous, fait le point des équipements à utiliser pour la construction de la nouvelle mini-centrale.

Tableau 3-29: Équipements à utiliser

Désignation	Quantité du matériel à installer
Module PV 305 Wc	128
Coffret DC	2
Coffret AC	1
Onduleur PV Sunny Tripower 20000TL	2
Batterie 2 900 Ah	72
Sunny Island 6.0H	6
Batfuse 200 A	2
Multicluste box 6.3	1
Armoire TGBT	1

III.6. Caractéristiques du réseau de distribution BT existant

Les réseaux BT aériens sont utilisés généralement dans les zones rurales et, chaque fois que c'est possible, en milieu urbain, quand des raisons d'ordre technique ou économique ne font pas préférer les réseaux souterrains. Ils sont constitués de conducteurs isolés torsadés assemblés en faisceaux.

Selon le mode de pose, on distingue :

- Les réseaux tendus sur poteaux (bois et béton) : Ce mode de construction est utilisé pour les lignes d'écart en zone rurale et pour les lignes en agglomération lorsque les façades ne sont pas accessibles depuis la voie publique.
- Les réseaux posés en façade et tendus sur façade : Le choix entre les modes de construction posés ou tendus se fait en fonction de la solidité et de la régularité des façades. Lorsque l'intérêt esthétique du site est reconnu, le réseau est du type posé ou tendu et son tracé est choisi de manière à obtenir une dissimulation presque totale, en passant sous les avancées des toits, le long des corniches et, d'une manière générale, en utilisant tous les éléments architecturaux ou fonctionnels existant sur les façades.

Un faisceau comprend un conducteur porteur en alliage d'aluminium de section 54, 6 mm², autour duquel sont torsadés les 3 conducteurs de phase en aluminium de section 70 ou exceptionnellement 150 mm², et éventuellement les conducteurs d'éclairage public en aluminium de section 16 ou 25 mm².

Tous les conducteurs sont revêtus d'une gaine isolante en polyéthylène réticulé (PER).

C'est le réseau de distribution qui assurera la distribution de l'énergie produite au niveau de la centrale PV jusqu'au niveau des utilisateurs. Précisons ici qu'il sera question de donner les caractéristiques du réseau de distribution BT aérien triphasé existant sur le site. Ses caractéristiques sont données dans le Tableau 3-30 suivant :

Tableau 3-30: Caractéristique du réseau BT existant

Paramètre pour les calculs								
Pression du vent à 25°C en daN/m ²	120							
Longueur du réseau en m	2960							
Hauteur des supports (H _T) en m	12/9							
Porté équivalente (a _{éq}) en m	40							
Paramètre à 40°C sans vent (p) en m	300							
Nombre de conducteurs (n)	6							
Coefficient de déclassement armement d'alignement (k)	0,9							
Coefficient de déclassement armement d'ancrage (k)	1							
Puissance réseau (W)	90 444,28							
Tension du réseau U (V)	380							
Facteur de puissance	0,9							
Choix de section de câble								
Intensité de courant transporté I _T (A)	89							
Section et type de câble choisis	Câble Alu faisceau de 3 x 35 + 54,6 + 2 x 16							
Choix des supports								
	FL	F _{arme-} ment	V	F _v	F _T	F (daN)	Support choisi	Nombre
	(daN)	(daN)	(daN/m)	(daN)	(daN)			
Support d'alignement	450	15	0,17	35,4	39,33	530,33	9A800	12
Support d'angle	450	15	0,17	35,4	39,33	-	9A200	23
Support de traversé	450	15	0,17	35,4	451,39	-	9A800	14
Support d'arrêt	450	15	0,17	35,4	451,39	-	12A800	06
Choix des armements								
Armement d'alignement							27	
Armement d'ancrage							28	
Mise à la terre de type B							1	
Mise à la terre de type C							9	
Valeur de la flèche							0,17	
Valeur de la profondeur de fouille							1,7	

III.6.1. Plan cartographique du réseau de distribution

C'est une carte sur laquelle nous avons une vue spatiale de la disposition géographique des principaux éléments qui composent le réseau de distribution et les différents points de réalisation des mises à la terre. Elle a été réalisée avec le Logiciel AUTOCAD et est présentée en [Annexe 11](#).

Conclusion partielle

Nous avons dimensionné la centrale photovoltaïque PV, présenté le réseau qui assurera la distribution de l'énergie électrique produite par la centrale et donné son plan de réalisation. À partir de là, il est nécessaire maintenant d'évaluer la rentabilité du projet, afin de conclure si le village de Fètèkou devrait être alimenté, ou pas, par une source d'énergie photovoltaïque autonome.

CHAPITRE IV : Analyse économique et Impacts

Introduction partielle

Il est bon d'élaborer un projet, mais il est encore plus important de le réaliser. Ceci passe donc par l'évaluation de son coût, sa rentabilité et les changements qu'il pourrait apporter à l'environnement. Ce chapitre est ainsi consacré à l'évaluation du coût et de la faisabilité de notre projet, ainsi qu'aux impacts socio-économiques et environnementaux du projet.

IV.1. Analyse économique [15]

L'analyse économique est indispensable pour quantifier la rentabilité du projet, afin de convaincre les décideurs et les utilisateurs de pouvoir juger de la compétitivité de la production par un système d'énergie solaire PV autonome, avec une source d'énergie électrique de référence, particulièrement celle de la SBEE. Il s'agira donc pour nous, de faire une liste du matériel nécessaire pour la construction et d'en collecter dans un premier temps les coûts unitaires des équipements à acquérir pour l'implantation de la mini centrale, et, par la suite, les coûts d'exploitation qui seront engagés chaque année. Tous ces éléments nous permettront de calculer le prix de revient du kWh d'électricité produit et transporté. Nous calculerons enfin la VAN sur la durée de vie du projet, afin d'apprécier la rentabilité financière du projet.

IV.1.1. Évaluation du coût d'investissement initial de la mini-centrale

Comme matériel nécessaire à la construction de la mini-centrale, nous avons :

- Les modules PV de 305 Wc ;
- Les onduleurs PV STP 20 000 ;
- Les onduleurs chargeurs 6.0H ;
- Le Multi cluster box 6.3 ;
- Les batteries de 2 900 Ah ;
- Les batfuses ;

- Les équipements de protection tels que les coffrets DC et AC, l'armoire TGBT ;
- Les différents accessoires nécessaires ;
- Les câbles de différents diamètres (6, 10, 25 mm²).

Le coût d'investissement initial est calculé sur la base des coûts unitaires des composants de la mini-centrale : c'est la somme des coûts des composants de la mini-centrale PV et du coût de réhabilitation du réseau de distribution. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 4-31: Résultats du calcul du coût d'investissement initial

Désignation	Quantité	Prix unitaire	Prix
Coût des modules PV	128	130 000	16 640 000
Coût des onduleurs PV	2	4 500 000	9 000 000
Coût des onduleurs chargeurs	6	3 500 000	21 000 000
Coût du Multi cluster	1	10 500 000	10 500 000
Coût des batteries	72	950 000	68 400 000
Coût des Batfuses	2	1 250 000	2 500 000
Coût du Génie Civil	1	15 000 000	15 000 000
Coût des accessoires	1	10 000 000	10 000 000
Équipements de protection	1	6 000 000	6 000 000
Câbles de 6 mm² (rouleau)	3	45 000	135 000
Câbles de 10 mm² (rouleau)	1	75 000	75 000
Câbles de 25 mm² (rouleau)	1	95 000	95 000
Coût de transport	1	10 070 800	10 070 800
Total 1			169 415 800
Coût des imprévus	5% du total 1		8 470 790
Prestation de service	5% du total 1		8 470 790
Terrain	1	5 000 000	5 000 000
Total 2			191 357 380
Autres	5 % du total 2		9 567 869
Coût d'investissement total initial en FCFA			200 925 249

Au regard des chiffres obtenus dans le tableau qui précède, le coût d'investissement initial de notre projet est évalué à un total de **200 925 249 F CFA**.

IV.1.2. Rentabilité du projet

Pour évaluer la rentabilité du projet, nous allons déterminer le prix du kilowattheure de l'énergie produite par la mini-centrale, la recette annuelle réalisée, la valeur actuelle nette, puis la période de retour sur investissement.

IV.1.2.1. Prix du kilowattheure de l'énergie produite par la mini-centrale

Le principe de base pour le calcul du prix actualisé de revient du kWh de la mini-centrale, consiste à établir la valeur actualisée des coûts sur la durée de vie du projet (n), qui devrait permettre de choisir les durées d'amortissement et qui doivent évidemment être inférieures à la durée de vie du système. Ces coûts sont les suivants :

- Coût d'investissement initial de l'installation ;
- Coûts annuels d'exploitation et de maintenance ;
- Coûts de remplacement des équipements ;
- Valeur de rachat du système.

Les autres paramètres importants que nous avons considérés, lors de ce calcul, sont :

- le taux d'intérêt permettant de financer notre projet, en se plaçant dans l'hypothèse d'un emprunt pour sa matérialisation ;
- les taux d'actualisation de la valeur future des différents coûts ;

Le taux d'intérêt, est souvent fonction du crédit que l'investisseur peut obtenir. Dans le cadre de notre projet, nous allons considérer un taux d'intérêt (τ_{int}) de **10%** qui est considéré comme relativement bas. Le taux d'actualisation est, par ailleurs, fonction du taux d'inflation (τ_{inf}) et du taux d'investissement (τ_{inv}) disponibles pendant la durée de vie du système. Nous avons fixé le taux d'inflation à un niveau de **3%** (moyenne acceptable retenue dans le cadre du Pacte de

convergence de l'UEMOA) et le taux d'investissement à **8%**, nous donnant un taux d'actualisation (τ_{act}) de **5%** ($\tau_{act} = \tau_{inv} - \tau_{inf}$).

Les coûts d'investissement initial (C_{init}) comprennent les dépenses qui seront effectuées lors de la réalisation de notre projet, c'est-à-dire les composantes du système, les coûts de génie civil associés et les frais généraux couvrant les frais de transport et leur installation. Nous avons également associé les coûts de réhabilitation du réseau de distribution.

Ce sont ces dépenses qui doivent être payées et éventuellement financées par le promoteur du projet. Ces frais peuvent être payés en une fois ou par **annuités** (V_{ann}) sur les durées d'amortissement et calculés selon la formule suivante :

$$V_{ann} = \frac{C_{init} \times (1 + \tau_{int})^n \times \tau_{int}}{[(1 + \tau_{int})^n - 1]} \quad (4.27) [15]$$

Où :

- ✓ V_{ann} = la valeur de l'annuité ;
- ✓ C_{init} = le coût initial de l'investissement ;
- ✓ τ_{int} = le taux d'intérêt ;
- ✓ n = la durée de vie du projet (25 ans).

Pour les frais ponctuels qui sont généralement liés aux équipements (Onduleur, batteries, Convertisseur, etc.) susceptibles d'être remplacés sur la durée d'amortissement, on procède à une **actualisation simple** de la valeur présente de l'équipement pour l'année (n') de la dépense. La formule ci-dessous permet de calculer la valeur actuelle de cette dépense (V_{as}), par rapport au moment futur où elle sera effectuée :

$$V_{as} = \frac{C_{init} E}{(1 + \tau_{act})^{n'}} \quad (4.28)$$

Où :

- ✓ V_{as} = la valeur actualisée simple de l'équipement ;
- ✓ C_{init} = le coût initial de l'équipement ;
- ✓ τ_{act} = le taux d'actualisation ;
- ✓ n' = la durée de vie de l'équipement.

Pour les frais annuels, on procède à une **actualisation uniforme** de cette valeur annuelle, pour la durée de vie du système. La formule ci-dessous permet d'effectuer ce calcul :

$$V_{au} = \frac{C_{ann} \times [1 - (1 + \tau_{act})]^{-n}}{\tau_{act}} \quad (4.29)$$

Où :

- ✓ V_{au} = la valeur actualisée uniforme de l'annuité ;
- ✓ C_{ann} = le coût initial de l'annuité ;
- ✓ τ_{act} = le taux d'actualisation ;
- ✓ n = la durée de vie du système.

Ainsi, le Prix de Revient Actualisé est le rapport entre la somme actualisée des dépenses ($\sum D_n$), y compris les dépenses d'investissement (V_{int}), la valeur de rachat du système ($-10\% \times V$) et la somme des productions physiques actualisée ($\sum Q_n$) en kWh pendant la période concernée.

$$PR = \frac{C_{init} + \sum D_n - (10\% \times C_{init})}{\sum Q_n} \quad (4.30)$$

IV.1.2.2. Recette annuelle réalisée

La recette annuelle réalisée chaque année, grâce à cette installation, sur le budget de l'électricité est notée R et est calculée par la formule 4.5.

$$R = PR \times Q_{ans} \quad (4.31)$$

Où :

- ✓ R : Recette annuelle réalisée ;
- ✓ PR : Coût de vente de l'énergie (en FCFA / kWh) ;
- ✓ Q_{ans} : Énergie produite par an.

IV.1.2.3. La Valeur Actuelle Nette

La rentabilité d'un projet se mesure une fois que la VAN de son investissement est obtenue. La VAN est la richesse que génère cet investissement durant sa durée de vie ; c'est aussi la rentabilité finale qu'il dégage au profit de son promoteur. Elle se calculera avec la formule suivante :

$VAN = (R \times n) - C_{\text{projet}}$	(4.32)
--	--------

Avec :

- ✓ R : Recette annuelle réalisée ;
- ✓ C_{projet} : Coût du projet ;
- ✓ n : la durée de vie du projet.

IV.1.2.4. Période de retour sur investissement

La période de retour sur investissement (PRI) est le ratio entre le coût économique global du cycle de vie du système et le coût de l'énergie produite par le système en une année. Elle est l'un des facteurs essentiels qui permettent de vérifier si une installation est économiquement réalisable ou pas. Elle se calcule par :

$PRI = \frac{C_{\text{projet}}}{R}$	(4.33)
-------------------------------------	--------

Avec :

- ✓ PRI : Période de retour sur investissement ;
- ✓ R : Recette annuelle réalisée ;
- ✓ C_{projet} : Coût actualisé du projet ;

IV.1.2.5. Résultats de la rentabilité du projet

Les différents résultats des calculs effectués sont représentés dans les tableaux suivants.

Tableau 4-32: Résultats des coûts de fonctionnement et, de suivi, évaluation et formation

	Pourcentages	Coût (F CFA)
Poste de fonctionnement		
Centrale photovoltaïque		
Coût de maintenance (0,5 % du total 2)	0,5%	956 787
Coût d'exploitation (2 % du total 2)	2%	3 827 148
Total coût annuel de fonctionnement Générateur PV		4 783 935
Réseau de transport et de distribution		
Coût de maintenance (0,5 % du coût)	0,5%	1 004 626
Coût d'exploitation (1 % du coût)	1%	2 009 252
Total coût annuel de fonctionnement du réseau		3 013 879
Coût de fonctionnement		7 797 813
Poste Suivi et Évaluation et Formation		
Coût Suivi et Évaluation (1% Inv Total)	1%	2 009 252
Coût pour formation (0,3% Coût Inv Total)	0,3%	602 776
Coût Total Suivi, Évaluation et Formation		2 612 028

Ainsi donc, le coût de fonctionnement de la mini-centrale reviendrait à **7 797 813 F CFA** et celui du coût de suivi, évaluation et formation à **2 612 028 F CFA**.

Tableau 4-33: Données utilisées pour les calculs

Description Du Projet	
Durée de vie du système (ans)	25,00
Puissance de la mini centrale (kWc)	39,04
Production Journalière (kWh / jour)	214,06
Production annuelle (kWh / ans)	78 131,90
Production sur la durée de vie totale du projet (kWh / 25 ans)	1 757 967,75
Paramètres économiques	
1. Taux d'intérêt annuel (τ_i)	10%
2. Taux d'investissement (τ_{inv})	8%
3. Taux d'inflation (τ_{inf})	3%
4. Taux d'actualisation net (2-3) (τ_{act})	5%
2. Durée de la période d'Amortissement (ans)	25

Tableau 4-34: Résultats de la rentabilité du projet

		Quantités	Durée de la période (ans)	Valeur présente (en F CFA)	Coeff. pour annuité	Coeff. D'act. simple	Coeff. D'act. Uniforme	Valeur actualisé (en F CFA)
Amortissement								
Annuités	C_{init}		25	200 925 249	0,1102		14,094	223 060 796
	Coût batteries		13	68 400 000		0,530		36 273 980
	Coût de fonctionnement		25	7 797 813			14,094	109 901 947
	Coût de suivi, évaluation et formation		0	2 612 028		1		2 621 028
Valeur de rachat	-10%		25	-20 092 525		0,295		-5 933 378
C_{projet} (en F CFA)								365 915 374
PR du kWh (en F CFA / kWh)								208
R (en F CFA)								16 262 906
VAN (en F CFA)								40 657 264
PRI (ans)								22,50

Au vue de ce qui précède, le coût global du projet est donc de **365 915 374 F CFA**, le prix du kWh nous revient à **208 F CFA / kWh** pour une recette annuelle de **16 262 906 F CFA**. La valeur actuelle nette est de **40 657 264 F CFA**. Le retour sur investissement est de **22 ans et 06 mois**.

IV.2. Impacts socio-économiques et environnementaux du projet

IV.2.1. Impacts socio-économiques du projet

L'étude d'impacts socio-économiques de notre projet permettra d'apprécier l'impact de l'implantation d'une mini-centrale photovoltaïque, sur les conditions de vie des populations du village de Fètèkou et sur le développement de son économie. Ainsi, nous avons répertorié plusieurs aspects sur le plan socio-économique susceptibles d'être modifiés avec l'accès à l'électricité, notamment grâce à l'implantation de la mini-centrale.

L'implantation de la mini-centrale photovoltaïque a comme impacts positifs sur le plan socio-économique :

- ✓ les opportunités d'emplois et la création de nouvelles activités ;
- ✓ l'augmentation de la qualité des services et des revenus ;
- ✓ la stimulation des activités économiques ;
- ✓ la prise de conscience des populations sur les modes de vie vis-à-vis du projet ;
- ✓ la construction ou l'aménagement de route d'accès à la zone ;
- ✓ la construction ou l'amélioration des infrastructures et de services publics ;
- ✓ l'amélioration de la qualité de vie, en raison de la production d'énergie électrique pour l'éclairage nocturne et le fonctionnement des équipements électriques.

Les impacts négatifs socio-économiques du projet peuvent être assez importants. On peut citer :

- ✓ l'afflux de travailleurs et de personnes à la recherche d'opportunités d'emplois ou d'affaires ;
- ✓ la densification de la population, avec pour effet la dégradation potentielle du cadre de vie ;
- ✓ le risque d'accidents dû au trafic des véhicules ;
- ✓ la modification possible du ratio homme/femme ;
- ✓ le risque de l'augmentation de l'incidence des maladies ;
- ✓ l'inflation des prix des biens et services de première nécessité ;
- ✓ la pression accrue sur les infrastructures et services publics ;

- ✓ et la détérioration du réseau routier.

Des solutions visant à atténuer les impacts négatifs de la mini-centrale seront proposées plus loin.

IV.2.2. Impacts environnementaux du projet

L'étude d'impacts environnementaux d'un projet peut être définie, comme un outil qui s'intéresse à l'identification et à l'évaluation des effets du projet sur l'environnement en général et sur ses composantes biophysiques et humaines en particulier.

Nous avons répertorié plusieurs aspects positifs et négatifs sur le plan environnemental, susceptibles d'être modifiés avec l'implantation de la mini-centrale photovoltaïque. Pour les aspects négatifs, la proposition d'une série d'actions susceptibles de les atténuer sera faite.

Les impacts positifs environnementaux du projet peuvent être :

- ✓ la construction ou l'aménagement de route d'accès à la zone ;
- ✓ le remplacement des lampes à pétrole et des groupes électrogènes très polluants par l'électricité en provenance de la mini-centrale PV ;
- ✓ la réduction de l'insécurité grâce à l'éclairage public ;
- ✓ l'amélioration des conditions de vie de la population ;
- ✓ l'amélioration de l'accès aux soins médicaux.

On peut citer comme impacts négatifs sur l'environnement :

- ✓ la détérioration de la qualité de l'air liée aux activités de préparation ;
- ✓ les bruits et les vibrations générés par la construction de la clôture ;
- ✓ l'exploitation des matériaux de construction (sable, graviers, latérite etc.) ;
- ✓ l'abattage de la végétation sur le tracé de la clôture, des voies d'accès et aussi sur le site d'implantation ;
- ✓ la destruction ou la perturbation des habitats de la micro faune ;
- ✓ les pollutions atmosphériques gazeuses (SO₂, NO_x et CO₂) dues aux engins de génie civil et de transport ;
- ✓ les impacts du déboisement des zones concernées par les installations sur l'esthétique visuelle ;

- ✓ l'augmentation de la turbidité des eaux, si le site est proche d'une source d'eau ;
- ✓ et les risques de pollutions diverses.

Quant à la pollution atmosphérique, elle est très faible, comparée aux autres types de centrales.

IV.2.3. Propositions de mesures à prendre pour lutter contre les impacts négatifs possibles

Les mesures d'atténuation les plus importantes comprennent entre autres (sans être exhaustif) :

- la réalisation d'un état de référence de la qualité de l'air et du bruit, et un suivi de la qualité des eaux ;
- la gestion des poussières pendant la phase de préparation, de construction et d'exploitation, la gestion des activités apportant une nuisance sonore et/ou lumineuse (par la mise en place d'actions d'atténuation diverses) et la protection des travailleurs ;
- la gestion des matériaux d'emprunts pour les activités de construction ou réhabilitation de routes ;
- l'élaboration d'un plan de gestion des déchets, l'identification d'un site de stockage et d'élimination des déchets pour toutes les phases du projet ;
- l'aménagement des réseaux d'assainissement des eaux pluviales de surface ;
- la sensibilisation du personnel aux risques de contamination du milieu naturel et des bonnes pratiques environnementales de façon générale ;
- la limitation au minimum nécessaire des zones à défricher et du nombre d'arbres à abattre lors des phases de préparation et construction ;
- la sensibilisation du personnel sur le mode de conduite, les vitesses de circulation et le comportement sur le site ;
- la remise en état de tous les sites ayant été perturbés par les travaux, avant réception provisoire des travaux, accès compris ;

- la documentation (à l'aide de photographies en couleur datées et géo-référencées) sur la situation de tous les sites, du démarrage des travaux jusqu'à leur réception définitive ;

IV.3. Analyses et discussions

IV.3.1. Analyse des résultats du dimensionnement de la mini-centrale photovoltaïque

Pour le dimensionnement de la mini-centrale, la consommation de 2016 a été calculée, puis augmentée par un coefficient de sécurité. C'est ainsi que la proposition, pour couvrir les besoins énergétiques de la population de Fètèkou de 2016, est une mini-centrale de **77,78 kWc**. La centrale de **40 kWc** prévue dans le cadre du projet PROVES, se montre donc insuffisante dans le long terme. Pour remédier à ce problème, la proposition finale est la construction d'une nouvelle mini-centrale de **39,04 kWc** pour pallier le manque, afin de pouvoir satisfaire les besoins énergétiques. Ainsi, le matériel utilisé au total est le suivant :

- 128 modules PV de 305 Wc de 8 rangées, de 16 modules en série, montées en parallèles ;
- 02 Coffret de protection DC 2+2ST 1000V dc ;
- 01 Coffret de protection AC ;
- 72 batteries de 2 900 Ah de 2 V organisées en 03 branches montées en parallèles de 24 batteries chacune en série ;
- 06 Onduleur chargeurs Sunny Island 6.0 H ;
- 01 Multiclusteur 6.3 pour les onduleurs chargeurs Sunny Island 6.0 H ;
- 02 Bat Fuse B.03;
- 02 Onduleur PV Sunny Tripower 20 000 TL.

Le réseau de distribution en place sera utilisé pour supporter le total des deux puissances.

IV.3.2. Analyse des résultats de l'étude économique

La valeur globale des différents coûts pour la réalisation de ce projet, est de **200 925 249 F CFA** pour un montant actualisé global de **365 915 374 F CFA**.

Le montant actualisé global est obtenu en considérant qu'initialement, les coûts d'achat des équipements et de construction de la mini centrale qui s'élèvent à 200 925 249 F CFA peut être obtenu par le promoteur auprès des investisseurs moyennant un taux d'intérêt de 10 % et remboursable par annuité sur 25 ans. Les coûts relatifs au suivi, évaluation et formation devraient être entièrement financés par le promoteur du projet à hauteur de **2 612 028 F CFA**.

Le montant des dépenses actualisées relatif aux coûts de fonctionnement et de remplacement de certains équipements de la centrale sur sa durée de vie nous donne **109 901 947 F CFA**.

Ainsi, pour une production globale actualisée de **1 757 967,75 kWh / 25 ans**, nous avons obtenu un montant de **208 F CFA** pour le **prix de revient actualisé** du kWh.

Le calcul de la VAN nous donne **40 657 264 F CFA** et le délai de récupération est de **22 ans et 06 mois**.

IV.3.3. Analyse de faisabilité économique du projet

L'intérêt d'un tel projet pour les promoteurs potentiels, serait le marché de l'électrification rurale. Au niveau du village de Fètèkou, les dépenses effectuées mensuellement par les ménages aisés s'élèvent à **3 350 F CFA** pour l'éclairage au moyen de lampes à pétrole et pour l'achat des piles utilisées par les radiocassettes et lampes torches. Or l'énergie électrique consommée par ces charges, selon le profil de charge pour un ménage aisé (tableau 2.5) est de **6,360 kWh** par mois. Ce qui entraîne un coût de **1 323 F CFA** par mois avec notre prix du kWh calculé.

Ce qui revient à dire que les villageois seraient prêts à déboursier **208 F CFA** pour **1 kWh** d'énergie électrique, pour subvenir à leur besoin.

Ainsi, le projet, tel que dimensionné, se révèle économiquement réalisable.

Conclusion

L'étude économique nous a permis de calculer le coût global actualisé du projet, prenant en compte toutes les dépenses réalisables pendant la durée de vie du projet. Après le calcul du prix du kWh et du VAN, il en ressort que le projet est rentable. En effet, le temps de récupération des investissements du projet est inférieur à la durée de vie du projet. Quant aux impacts environnementaux, la centrale solaire photovoltaïque autonome offre de nombreux impacts positifs. Il ressort également quelques impacts négatifs, mais ceux-ci peuvent être atténués en suivant les solutions appropriées proposées.

RECOMMANDATIONS

Compte tenu de l'importance de l'énergie électrique dans le développement socio-économique des populations rurales et de son rôle prépondérant dans la lutte contre la pauvreté, l'énergie solaire est à promouvoir. Pour cela, nous formulons les recommandations ci-dessous :

- À l'endroit des États Africains et de l'État Béninois :
 - Renforcer la bonne gouvernance, en vue de stimuler les actions des institutions financières et les intéresser davantage aux initiatives gouvernementales.
 - Participer aux efforts visant à rendre le solaire financièrement abordable, en soutenant les systèmes qui donnent aux pauvres l'accès à la technologie photovoltaïque.
 - Investir dans la recherche et le développement de la technologie photovoltaïque.
 - Insérer les systèmes solaires dans les politiques sur le changement climatique et les objectifs de réduction des émissions mondiales.
 - Trouver des fonds nécessaires au premier investissement qui seront récupérables à long terme.
 - Mettre en place une politique fiscale idoine, à même de contribuer à la promotion et au développement des énergies renouvelables et en particulier du solaire.
 - Rompre la contrainte de l'importance des premiers investissements à laquelle doit faire face le monde rural pour s'équiper des technologies photovoltaïques.
 - Mettre en place les mesures de promotion de l'investissement privé, prévues par la politique d'électrification rurale.
 - Augmenter les crédits alloués à l'ABERME pour assurer la gestion et le suivi des projets d'électrification rurale par les systèmes PV.
 - Doter l'ABERME de personnels qualifiés pour mieux faire face aux défis contemporains.
 - Aider l'ABERME à formuler des requêtes de financement des projets d'électrification rurale par le PV auprès des institutions bancaires.
- À l'endroit des institutions financières :
 - Que les bailleurs de Fonds du solaire photovoltaïque dans le monde en développement, telle que la Banque Mondiale, subventionnent les projets d'installation de système photovoltaïque.
 - Initier des microcrédits à l'endroit du monde rural, pour faciliter l'accès aux systèmes PV.

- À l'endroit des entreprises solaires privées :
 - Faciliter le micro financement, aider les clients à entrer en contact avec des fournisseurs de micro financement.
 - Former les exploitants des installations PV, pour la maintenance des équipements.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, le constat effectué est que la conception d'une mini-centrale solaire photovoltaïque autonome, nécessite une bonne connaissance des principes de dimensionnement de ses différents composants.

Ainsi, les enquêtes menées dans le cadre de ce projet, nous ont permis de procéder dans un premier temps, à l'estimation de la demande en énergie électrique actuelle du village de Fètèkou, puis, de montrer l'insuffisance de la capacité de la mini-centrale photovoltaïque de 40 kWc prévue dans le cadre du projet PROVES, à l'initiative des Autorités béninoises. Eu égard à ce constat, nous avons, dans un second temps, proposé le dimensionnement d'une mini-centrale solaire photovoltaïque autonome, en complément de celle du projet PROVES ; et pour finir nous avons procédé à l'analyse financière de ce projet.

Les calculs de dimensionnements ainsi effectués, devraient permettre d'implanter dans le village de Fètèkou une mini-centrale solaire photovoltaïque autonome, en complément de celle prévue, pour assurer la disponibilité de l'énergie pour couvrir les besoins de cette population. Cette installation qui devrait certainement résorber le problème de l'électrification de ce village, contribuera aussi à l'atteinte des objectifs du Gouvernement du Bénin, d'axer sa politique énergétique sur le développement des énergies renouvelables. C'est également, le principal objectif poursuivi dans le cadre de cette étude.

Pour atteindre cet objectif, nous avons, grâce aux données recueillies au village Fètèkou, estimé la puissance électrique totale à installer à 77,78 kWc, pour subvenir aux besoins de la population. Ainsi, étant donné l'implantation de la mini-centrale de 40 kWc du projet PROVES, après soustraction de celle-ci, il a été retenu, comme puissance de la mini-centrale à installer, une capacité de **39,04 kWc**. Les données obtenues nous ont ensuite permis de dimensionner les différentes composantes de notre mini-centrale.

Ainsi, nous avons obtenu un champ photovoltaïque de 128 modules de 305 Wc chacun, avec un système de stockage de 72 batteries de 2 900 Ah chacune.

L'énergie ainsi produite par notre mini centrale sera acheminée vers les différents utilisateurs du village, par un réseau de distribution existant à travers le projet PROVES.

L'étude économique a permis, quant à elle, de déterminer le coût de réalisation de ce projet qui se chiffre à **365 915 374 F CFA**. À partir de ce coût, le prix de vente du kilowattheure de l'énergie produite, qui est de **208 F CFA / kWh** ici, a été déduit. Ce prix du kWh nous donne

une période de retour sur investissement de **22 ans et 06 mois**. Le calcul de la VAN sur la période de vie de notre système, nous donne un montant de **40 657 264 F CFA**.

Sur le plan environnemental, l'impact positif le plus important est la substitution des lampes traditionnelles et des groupes électrogènes individuels, gros contributeurs au réchauffement climatique, par l'énergie électrique, issue de la mini-centrale solaire photovoltaïque autonome. Certes, des impacts négatifs ont été également identifiés, mais des actions appropriées devront être menées, pour en atténuer les effets.

Au terme de nos travaux, nous pensons que l'étude ainsi réalisée dans le cadre de ce projet, représente un début de solution pour la résolution du problème d'électrification des zones rurales isolées au Bénin et, pour la promotion d'un développement durable en milieu rural, dans la mesure où le Bénin, tout comme la plupart des États membres de l'UEMOA, dispose de valeurs d'ensoleillement favorables à la production de l'électricité d'origine solaire. Ce faisant, les Autorités de la République du Bénin pourront aussi, à juste titre, revendiquer le statut d'État contribuant à l'effort de l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine, de réaliser, à travers son programme IRED, le mix-énergétique, à l'horizon 2030.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] SABER, Présentation - Proves - Bénin, 2014.
- [2] Programme des Nations Unies pour le Développement, GEF ID 5431 - ProDoc - VF 13052016 PANA ENERGIE_2, Cotonou, 2014.
- [3] D. G. D. P. D. DEVELOPPEMENT, Programme d'Actions du Gouvernement (PAG), COTONOU, 2016-2021.
- [4] A. Conseil, Monographie de la commune de Kérou, COTONOU, 2006.
- [5] «Google Maps,» [En ligne]. Available: <http://www.googlemaps.com>. [Accès le 15 Novembre 2016].
- [6] P. (. d. a. d. d. communes, «Schéma directeur d'aménagement de la commune de Kérou,» MGE Conseil Direction Cotonou, Cotonou, juin 2006.
- [7] INSAE, Deuxième recensement général de la population et de l'habitation,» Direction des études démographiques, Kérou, 1992.
- [8] INSAE, RGPH3/ Cahier des villes et de villages de l'Atacora,» Direction des études démographiques, Kérou, ATACORA, 2003.
- [9] INSAE, RGPH4/ Cahier des villes et de villages de l'Atacora, Direction des études démographiques, Kérou, 2013.
- [10] K. Idrissa, «SEMINAIRE NATIONAL D'ANALYSE DES DONNEES DE RECENSEMENT: Méthodologies de projections de population,», Ouagadougou, 2011.
- [11] C. SEMASSOU, «Thèse: AIDE A LA DECISION POUR LE CHOIX DE SITES ET SYSTEMES ENERGETIQUES ADAPTES AUX BESOINS DU BENIN,», Bordeaux, 2011.
- [12] A. O. BAGRE, «Cour 2iE/CHAPITRE 4:CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT,» 2006.
- [13] Y. AZOUMAH, IV-Dimensionnement-solaire-PV, Cotonou, 2016.
- [14] P. Z. KOALAGA, «Cours d'électricité solaire photovoltaïque,» Université de Ouagadougou: INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT (2iE), Ouagadougou, 2011.
- [15] T. D. E. S. B. S. S. Jimmy Royer, LE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE: Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Québec: Éditions MultiMondes, 1998.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche technique de module 305 W Suntech



Caractéristiques électriques

Conditions de tests standard(STC)	STP305-24/Ve	STP300-24/Ve
Puissance maximale en conditions de tests standard (STC) (Pmax)	305 W	300 W
Tension de fonctionnement optimale (Vmp)	36.2 V	35.9 V
Intensité de fonctionnement optimale (Imp)	8.43 A	8.36 A
Tension en circuit ouvert (Voc)	44.7 V	44.5 V
Intensité de court-circuit (Isc)	8.89 A	8.83 A
Rendement du module	15.7%	15.5%
Température de fonctionnement du module	-40 °C à +85 °C	
Tension maximale du système	1 000 V CC (IEC)	
Calibre unitaire des fusibles en série/ courant inverse	20 A	
Tolérance de puissance	0/+5 %	

Caractéristiques de température

Température de fonctionnement nominale de la cellule (NOCT)	45 ±2 °C
Coefficient de température de Pmax	-0,43 %/°C
Coefficient de température de Voc	-0,33 %/°C
Coefficient de température d'Isc	0,067 %/°C

Caractéristiques mécaniques

Cellule solaire	Silicium polycristallin 156 × 156 mm (6 pouces)
Nombre de cellules	72 (6 × 12)
Dimensions	1 956 × 992 × 40 mm (77,0 × 39,1 × 1,6 pouces)
Poids	25,8 kg (56,9 lbs.)
Verre face avant	Verre trempé de 4,0 mm (0,16 pouces)
Châssis	Alliage d'aluminium anodisé
Boîte de jonction	Classe IP67 (3 diodes de bypass)
Câbles de sortie	TÜV (2Pfg1169:2007) 4,0 mm ² (0,006 pouces ²), longueurs symétriques (-) 1 100 mm (43,3 pouces) et (+) 1 100 mm (43,3 pouces)
Connecteurs	Connecteurs H4 (Amphenol) originaux

Annexe 2 : Fiche technique de l'onduleur PV 20000TL choisi

Caractéristiques techniques	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Entrée (DC)		
Puissance DC max. (quand $\cos \phi = 1$)	20440 W	25550 W
Tension d'entrée max.	1000 V	1000 V
Plage de tension MPP/tension d'entrée assignée	320 V - 800 V / 600 V	390 V - 800 V / 600 V
Tension d'entrée min./tension d'entrée de démarrage	130 V / 188 V	130 V / 188 V
Courant d'entrée max. entrée A/entrée B	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Nombre d'entrées MPP indépendantes/strings par entrée MPP	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
Sortie (AC)		
Puissance assignée (à 230 V, 50 Hz)	20000 W	25000 W
Puissance apparente AC max.	20000 VA	25000 VA
Tension nominale AC	3/N/PE; 220/380 V 3/N/PE; 230/400 V 3/N/PE; 240/415 V	3/N/PE; 220/380 V 3/N/PE; 230/400 V 3/N/PE; 240/415 V
Plage de la tension nominale AC	160 V - 280 V	160 V - 280 V
Fréquence du réseau AC/plage	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz
Fréquence de réseau assignée/tension de réseau assignée	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Courant de sortie max.	29 A	36,2 A
Facteur de puissance pour la puissance assignée	1	1
Facteur de déphasage réglable	0 inductif à 0 capacitif	0 inductif à 0 capacitif
Phases d'injection/phases de raccordement	3 / 3	3 / 3
Rendement		
Rendement max. / européen	98,4 % / 98,0 %	98,3 % / 98,1 %
Dispositifs de protection		
Dispositif de déconnexion côté DC	●	●
Surveillance du défaut à la terre/Surveillance du réseau	● / ●	● / ●
Parafoudre DC de type II	○	○
Protection inversion de polarité DC / résistance aux courts-circuits AC/séparation galvanique	● / ● / -	● / ● / -
Unité de surveillance du courant différentiel, sensible tous les courants	●	●
Classe de protection (selon IEC 62103) / catégorie de surtension (selon IEC 60664-1)	I / III	I / III
Données générales		
Dimensions (L / H / P)	665 / 690 / 265 mm (26,2 / 27,2 / 10,4 pouces)	665 / 690 / 265 mm (26,2 / 27,2 / 10,4 pouces)
Poids	61 kg (134,48 lb)	61 kg (134,48 lb)
Plage de température de fonctionnement	-25°C à +60°C (-13°F à +140°F)	-25°C à +60°C (-13°F à +140°F)



Économique

- Rendement maximal de 98,4 %

Sûr

- Parafoudre DC (type III) intégrable

Flexible

- Tension d'entrée DC jusqu'à 1 000 V
- Dimensionnement souple de l'installation grâce au concept multistring

Innovant

- Fonctions novatrices de gestion du réseau grâce au Integrated Plant Control*
- Fourniture de puissance réactive 24 h/24 (QonDemand24/7)*

Annexe 3 : Fiche technique des batteries OPZV 2900 Ah

Vos avantages avec HOPPECKE OPzV solar.power

- Sans maintenance en ce qui concerne le remplissage d'eau - par la technologie innovante du gel
- Très bonne stabilité de cycle pendant l'utilisation en PSoC² - par le design tubulaire des plaques permet un de courant de charge efficace
- Compatibilité maximale - mesures conformes à la norme DIN 40742
- Utilisation d'espace optimale - par le réglage² horizontal et vertical
- Sécurité de court-circuit renforcée dès le montage - par l'utilisation des connecteurs de système HOPPECKE



Domaines d'application typiques de HOPPECKE OPzV bloc solar.power

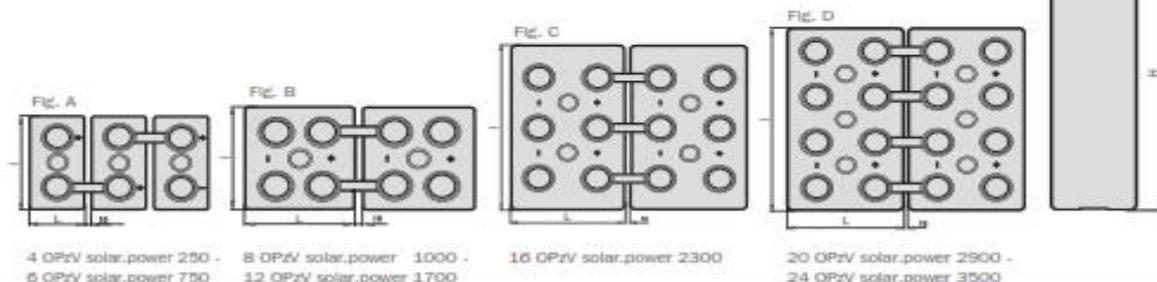
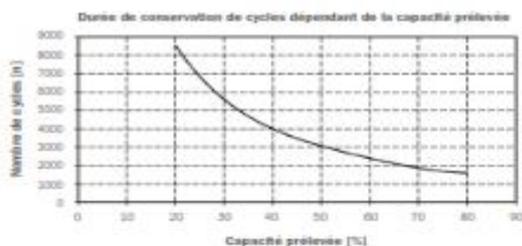
- **Utilisations solaires/hors réseau**
Utilisation d'énergie pour l'utilisateur sans réseau et le système de réseau séparé, le système de traitement d'eau potable, les équipements de traitement médical
- **Télécommunication**
Stations radio mobiles
Stations BTS
Systèmes de traitement d'énergie hors réseau/en réseau
- **Système pour trafic**
Signalisation
Éclairage

Capacités, mesures et poids

Type	C ₂₀₀ /1,85 V Ah	C ₁₀₀ /1,85 V Ah	C ₅₀ /1,85 V Ah	C ₂₄ /1,80 V Ah	C ₁₀ /1,80 V Ah	C ₅ /1,77 V Ah	Poids max ^a kg	Longueur L max ^a mm	Largeur l max ^a mm	Hauteur H max ^a mm	Fig.
4 OPzV solar.power 250	286,9	263,5	243,0	204,1	188,7	18,3	18,3	105	208	420	A
5 OPzV solar.power 310	308,6	329,3	303,8	255,1	235,8	22,3	22,3	126	208	420	A
6 OPzV solar.power 370	430,3	395,2	364,6	306,1	283,0	26,5	26,5	147	208	420	A
5 OPzV solar.power 420	478,2	452,9	427,8	391,4	346,1	29,9	29,9	126	208	535	A
6 OPzV solar.power 520	573,9	543,4	513,4	489,7	415,3	35,1	35,1	147	208	535	A
7 OPzV solar.power 620	609,5	634,0	599,0	548,0	484,5	42,1	42,1	168	208	535	A
6 OPzV solar.power 750	847,3	802,2	762,1	682,0	585,0	48,7	48,7	147	208	710	A
8 OPzV solar.power 1000	1129,8	1069,6	1016,2	909,3	793,3	65,9	65,9	215	193	710	B
10 OPzV solar.power 1250	1412,2	1337,0	1270,2	1136,7	991,7	80,5	80,5	215	235	710	B
12 OPzV solar.power 1500	1694,7	1604,4	1524,2	1364,0	1190,0	94,6	94,6	215	277	710	B
12 OPzV solar.power 1700	1895,0	1870,0	1784,9	1544,6	1371,9	110,0	110,0	215	277	855	B
16 OPzV solar.power 2300	2606,7	2493,3	2379,8	2059,5	1829,2	152,9	152,9	215	400	815	C
20 OPzV solar.power 2900	3258,3	3116,7	2974,8	2574,3	2286,5	186,5	186,5	215	490	815	D
24 OPzV solar.power 3500	3910,0	3740,0	3569,8	3089,2	2743,8	222,3	222,3	215	580	815	D

C₁₀₀, C₅₀, C₂₄, C₁₀ et C₅ = capacité de charge en 100, 50, 24, 10 et 5 heures

^a conformément à la norme DIN 40742 ces données sont à comprendre comme les valeurs maximales



Annexe 4 : Fiche technique des onduleurs Sunny Island 8.0H choisi

Caractéristiques techniques	Sunny Island 6.0H	Sunny Island 8.0H
Service sur le réseau électrique public ou générateur		
Tension de réseau assignée / Plage de tension AC	230 V / 172,5 V à 264,5 V	230 V / 172,5 V à 264,5 V
Fréquence de réseau assignée / plage de fréquence autorisée	50 Hz / 40 Hz à 70 Hz	50 Hz / 40 Hz à 70 Hz
Courant alternatif maximal pour l'optimisation de l'autoconsommation (gestion du réseau)	20 A	26 A
Puissance AC maximale pour une optimisation de l'autoconsommation (gestion du réseau)	4,6 kVA	6 kVA
Courant d'entrée AC maximal	50 A	50 A
Puissance d'entrée AC maximale	11 500 W	11 500 W
Mode îlotage ou mode alimentation de remplacement		
Tension de réseau assignée / Plage de tension AC	230 V / 202 V à 253 V	230 V / 202 V à 253 V
Fréquence assignée / Plage de fréquence (réglable)	50 Hz / 45 Hz - 65 Hz	50 Hz / 45 Hz - 65 Hz
Puissance assignée (pour Unom, from / 25 °C / cos φ = 1)	4 600 W	6 000 W
Puissance AC à 25 °C pendant 30 min / 5 min / 3 s	6 000 W / 6 800 W / 11 000 W	8 000 W / 9 100 W / 11 000 W
Puissance AC à 45 °C	3 700 W	5 430 W
Courant assigné / Courant de sortie maximal (crête)	20 A / 120 A	26 A / 120 A
Taux de distorsion harmonique tension de sortie / Facteur de puissance à la puissance assignée	< 4 % / -1 à +1	< 4 % / -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
Courant de charge maximal de la batterie / Courant de charge assigné DC / Courant de décharge assigné DC	110 A / 90 A / 103 A	140 A / 115 A / 130 A
Type de batterie / Capacité de batterie (plage)	Li-Ion*, FLA, VRLA / 100 Ah à 10 000 Ah (plomb) 50 Ah à 10 000 Ah (Li-Ion)	Li-Ion*, FLA, VRLA / 100 Ah à 10 000 Ah (plomb) 50 Ah à 10 000 Ah (Li-Ion)
Régulation de charge	Procédé de charge IUoU avec pleine charge et charge d'égalisation automatiques	Procédé de charge IUoU avec pleine charge et charge d'égalisation automatiques
Rendement / Autoconsommation de l'appareil		
Rendement maximal	96 %	96 %
Consommation en circuit ouvert / Mode veille	26 W / 7 W	26 W / 7 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	III
Données générales		
Dimensions (L / H / P)	467 mm / 612 mm / 242 mm (18,4 pouces / 21,1 pouces / 9,5 pouces)	467 mm / 612 mm / 242 mm (18,4 pouces / 21,1 pouces / 9,5 pouces)
Poids	63 kg (138,9 lb)	63 kg (138,9 lb)
Plage de température de fonctionnement	-25 °C à +60 °C	-25 °C à +60 °C



Souple

- Pour les systèmes d'autoconsommation et d'alimentation de secours dans des installations raccordées au réseau ou en site isolé

- Conçu pour toutes les batteries au plomb et de nombreuses batteries ion-lithium
- Possibilité d'équipement ultérieur et d'extension modulaire pour les systèmes monophasés et triphasés

Efficace

- Jusqu'à 96 % de rendement maximal
- Grande efficacité du système global
- Installation et mise en service simples et rapides

Sûr

- Sécurité contrôlée garantie par une certification externe
- Gestion de batterie intelligente pour une grande longévité
- Fonctionnement fiable grâce à une capacité de surcharge extrêmement élevée

Annexe 5 : Fiche technique du Sunny Remote Control

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



Flexible

- Unité de commande et de visualisation
- Jusqu'à 20 mètres de portée
- Montage mural ou sur rail DIN

- Pour systèmes avec Sunny Island 3.0M / 4.4M
- Sunny Island 6.0H / 8.0H

Simple

- Un seul câble pour l'alimentation et la communication
- Utilisation intuitive par commutateur rotatif
- Un seul SRC-20 par système

Interactif

- Écran clair et précis à quatre lignes
- Carte SD en guise d'interface de service

Annexe 6 : Fiche technique du multicluster 12.0



Flexible

- Three different power ranges from 30 kW to 300 kW
- Different generators, PV and load magnitudes

Simple

- Integrated AC distribution for Sunny Island, generator, PV
- Integrated load-shedding contactor

Reliable

- Automatic bypass for the generator
- Active Anti-Islanding
- Reverse current monitoring

Durable

- High protection class IP65
- 5-year SMA warranty

Technical Data	SUNNY ISLAND 5048 Multicluster Box 6	SUNNY ISLAND 5048 Multicluster Box 12
General		
Phase number	3-phase	3-phase
Nominal AC voltage	230 V (L, N), 400 V (L1, L2)	230 V (L, N), 400 V (L1, L2)
AC voltage range	172.5 V - 265 V 300 V - 433 V	172.5 V - 265 V 300 V - 433 V
Nominal AC frequency / range	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz	50 Hz / 40 Hz ... 70 Hz
Reliable grid configuration	TN	TN
Dimensions (W / H / D)	760 / 760 / 210 mm	1000 / 1400 / 300 mm
Assembly type	Suspended	Standing on base
Weight	60 kg	140 kg
Terminals for Sunny Island		
Maximum number of devices	6	12
Nominal AC power / nominal AC current at 25 °C	30 kW / 3 x 44 A	60 kW / 3 x 87 A
Nominal AC power / nominal AC current at 45 °C	24 kW / 3 x 35 A	48 kW / 3 x 70 A
AC power (25 °C, 30 minutes)	40 kW	80 kW
AC power (25 °C, 1 minute)	50 kW	100 kW
Fuses	Miniature circuit-breaker C 32A	Miniature circuit-breaker C 32A
Load connection		
Number	1 (3-phase)	1 (3-phase)
Nominal AC power (25 °C, unlimited)	55 kW	110 kW
Nominal AC current (25 °C)	3 x 80 A	3 x 160 A
Fuses	LV / HRC (size 00)	LV / HRC (size 00)
PV plant connection		
Number	1 (3-phase)	1 (3-phase)
Nominal AC power (25 °C, unlimited)	55 kW	110 kW
Nominal AC current (25 °C)	3 x 80 A	3 x 160 A
Fuses	-	-
Generator connection		
Number	1 (3-phase)	1 (3-phase)
Nominal AC power (25 °C, unlimited)	55 kW	110 kW
Nominal AC current (25 °C)	3 x 80 A	3 x 160 A
Fuses	LV / HRC (size 00)	LV / HRC (size 00)
Features		
Warranty (5 / 10 / 15 / 20 / 25 years)	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Certificates	CE	CE
Ambient conditions		
Ambient temperature	-25 °C ... +50 °C	-25 °C ... +50 °C
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Humidity	0 % ... 100 %	0 % ... 100 %
Accessories		
Communication lines	●	●
Multicluster Piggy-Back	○	○

Annexe 7 : Fiche technique du Batfuse B.06

Technical Data	BatFuse-B.01	BatFuse-B.03
Fuse		
Type	LV/HRC size 01	LV/HRC size 01
Permissible fuse sizes/values	63 A to 250 A	63 A to 250 A
Bracket	Fuse switch-disconnector	Fuse switch-disconnector
Quantity	2	6
Electrical data		
Rated voltage	12 / 24 / 48 V	12 / 24 / 48 V
Rated current depending on fuse link	63 / 100 / 160 / 200 / 250 A	63 / 100 / 160 / 200 / 250 A
Rated current for battery voltage tap	8 A	8 A
Battery connections		
Number of connections	1	2
Tube terminal lug	M8	M8
Max. terminal lug width	25 mm	25 mm
Max. conductor cross-section	1 x 95 mm ²	2 x 95 mm ²
External diameter of cable	1 x 14 - 21 mm	2 x 14 - 21 mm
Sunny Island Charger connections		
Number of connections	2	4
Tube terminal lug	M8	M8
Max. terminal lug width	16 mm	16 mm
Max. conductor cross-section	4 x 16 mm ²	8 x 16 mm ²
External diameter of cable	4 x 9 - 16 mm	8 x 9 - 16 mm
Connections for Sunny Island		
Number of connections	1	3
Tube terminal lug	M8	M8
Max. cable cross-section	95 mm ²	95 mm ²
External diameter of cable	14 - 21 mm	14 - 21 mm
Connection for battery voltage tap		
Quantity	1	1
Max. conductor cross-section	6 mm ²	6 mm ²
Max. external diameter of cable	9 - 16 mm	9 - 16 mm
Cylindrical fuse	2 x 8 A	2 x 8 A
Mechanical data		
Dimensions (W / H / D)	250 / 375 / 150 mm	500 / 375 / 225 mm
Weight	7 kg	16 kg
Ambient conditions		
Operating temperature range	-20°C to +60°C	-20°C to +60°C
Moisture (no condensation)	100 %	100 %
General data		
Degree of protection	IP65	IP65
Certificates and approvals	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Mounting	Wall-mounting	Wall-mounting
● Standard features ○ Optional features – Not available		
Type designation	BatFuse B.01	BatFuse B.03



Functional

- External, cost-effective DC fuse and distribution board
- For currents of between 63 A and 250 A
- Easy wall mounting

- Standardized connections with M8 tube terminal lugs
- Can be used for off-grid and on-grid applications

Flexible

- Variants available for all Sunny Islands
- Up to three Sunny Islands can be connected on the inverter side and up to six DC connections on the battery side
- Battery voltage tap for DC loads

Safe and Reliable

- All-pole battery fusing
- Easy disconnection of the inverters
- High degree of protection IP 65

Annexe 8 : Fiche technique coffret AC



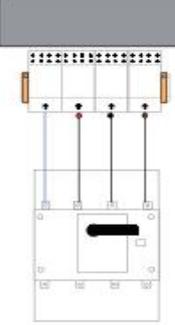
AC100KW-5OND/TRI20KW/M

Armoire de protection AC 100kW

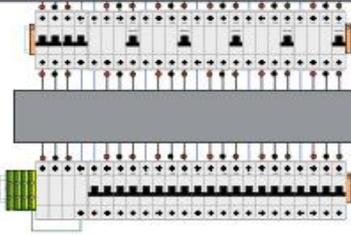
Armoire de protection précablée intégrant cinq entrées onduleurs, un parafoudre ET2-40DVG/335-4 et sa protection pour installation photovoltaïque, partie courant alternatif, conforme au guide UTE C 15-712-1.

- Armoire IP65 IK10
- Coupure générale 200A avec poignée extérieure
- Interrupteurs différentiel 300 mA + disjoncteurs 32A
- Parafoudre type 2 In 20 kA / I_{max} 40 kA
- Protection mode commun et différentiel
- Pouvoir de coupure 10kA
- (Autre version sur demande)

Schémas



Raccordement Réseau



Raccordement onduleurs

Caractéristiques	
Références	AC100KW-5OND/TRI20KW/M
Type de réseau	TT
Tension nominale Un	230/400 V
Protection contre les surintensités (x 5)	32 A
Protection contre les contacts indirects (x 5)	Interrupteur diff. 300 mA
Type / Courbe de déclenchement	Type AC / Courbe C
Protection du parafoudre	Disjoncteur 4P 32A courbe C
Déconnecteur thermique	Intégré au parafoudre (Avec visualisation)
Courant de court-circuit admissible	10kA / 50Hz
Coupure générale	
Intensité nominale	Interrupteur sectionneur 4P 200A
Parafoudre	ET2-40DVG/335-4
Tension nominale Un	230 VAC
Tension max. de service perm. Uc	335 VAC / 255 VAC
Tenue aux surtensions temporaires U _T	> 400 VAC
Courant nominal de décharge In (8/20μs) (L-N / N-PE)	20 kA / 20 kA
Courant maximal de décharge I _{max} (L-N / N-PE)	40 kA / 40 kA
Niveau de protection Up sous In (L-N / N-PE)	1,5 kV / 1.5 kV
Signalisation fin de vie	oui
Normes	NF EN 61643-11 / IEC 61643-1
Coffret	
Degré de protection	IP 65 IK 10
Matériau / classe	Métal
Dimensions externes LxHxP en mm	1000x800x300
Raccordement	
Passage câbles	Par presse-étoupe
Raccordement réseau (Interrupteur sectionneur)	max. 150 mm ² (Autre sur demande)
Raccordement onduleur (Disjoncteur)	max. 25 mm ² (Autre sur demande)
Raccordement terres (Borniers)	max. 16 mm ² (Autre sur demande)

Références		
Code	Désignation	Description
113165	AC100KW-5OND/TRI20KW/M	Armoire de protection AC 100KW

Annexe 9 : Fiche technique coffret DC



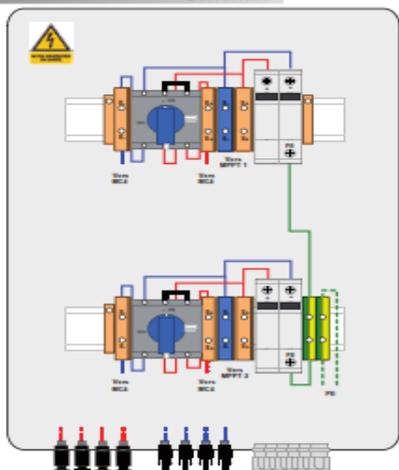
DC-2+2ST/MC4

Coffret de protection DC
2+2 strings / 2 MPPT

Coffret de protection précablé intégrant deux interrupteurs sectionneurs, deux parafoudres ET2-25DTC/1000-2 pour installation photovoltaïque, partie courant continu, conforme au guide UTE C 15-712-1.

- Coffret étanche IP65
- Parafoudre 1000Vdc In 12.5 kA / I_{max} 25 kA
- Interrupteur sectionneur DC
- 2+2 strings raccordables
- Disponible avec bobine de déclenchement à distance (MX,MN)
- (Autre version sur demande)

Schémas



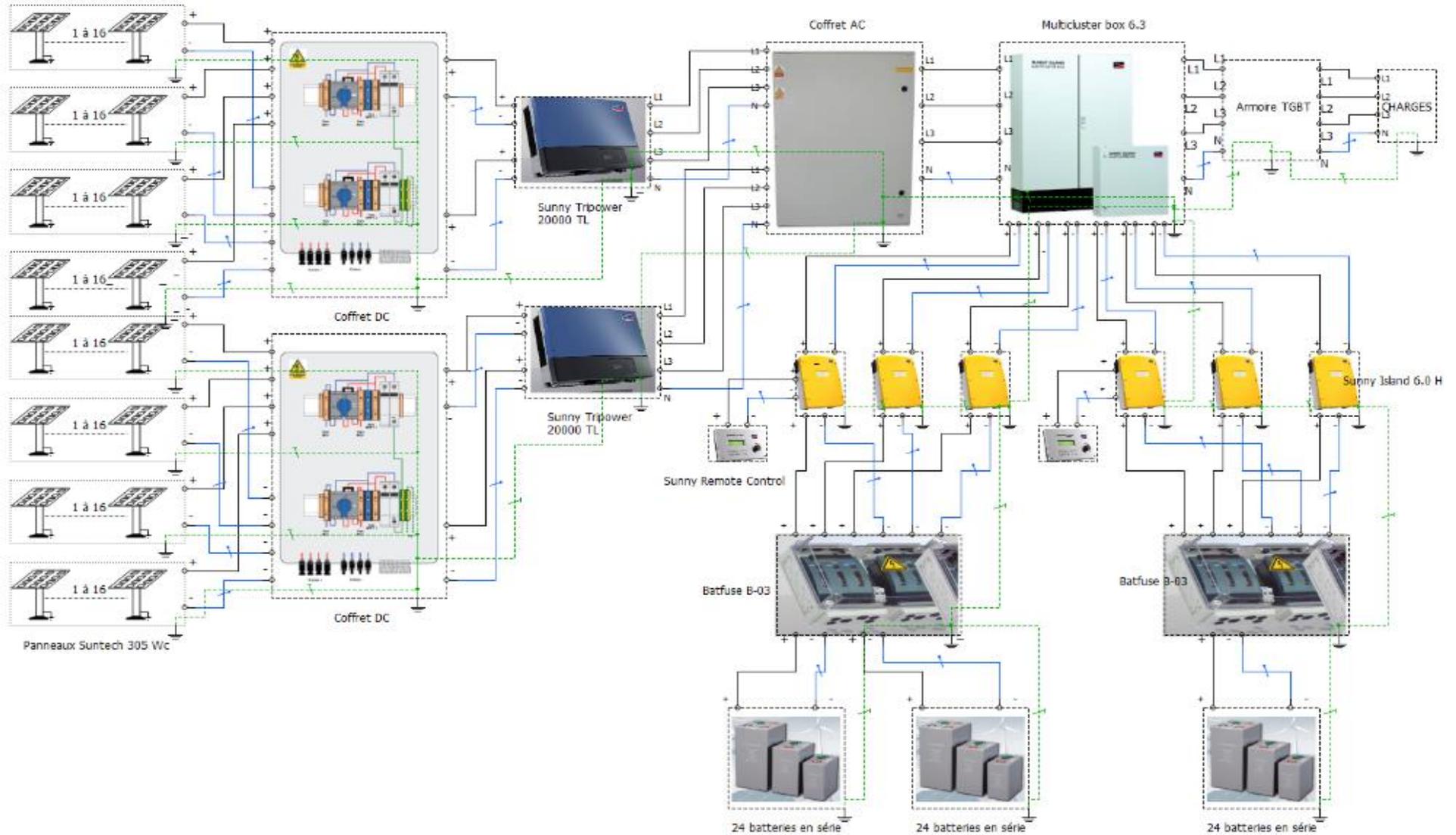
Caractéristiques

Références	DC-2+2ST/MC4	
Nombre de strings raccordables	2 + 2	
Tension nominale	1000 Vdc	
Courant nominal	25A (40A/600Vdc)	25A (40A/600Vdc)
Interrupteur sectionneur	oui	oui
Protection surintensité par fusible	oui	non
Déconnecteur thermique	Intégré au parafoudre (Avec visualisation)	
Parafoudre	ET2-25DTC/1000-2	
Norme	NF EN 61643-11 / IEC 61643-1 / UTE C 61-740-51	
Classe d'essai	II	
Tension max. de service permanent U _{cpv}	1000 VDC	
Courant nominal de décharge I _n (8/20 μs)	12.5 kA	
Courant maximal de décharge I _{max} (8/20 μs)	25 kA	
Niveau de protection U _p sous I _n	< 2,8 kV	
Courant I _{sc} WPV	150 A	
Courant de fonctionnement permanent I _{cpv}	< 0,1 mA	
Temps de réponse	< 25 ns	
Signalisation fin de vie	oui	
Coffret		
Degré de protection	IP 65	
Matériau / classe	Isolant auto-extinguible, essai au fil incandescent 650°C / classe II	
Dimensions externes LxHxP en mm	296x420x140	
Raccordement		
Raccordement strings	Multicontact MC4	
Raccordement onduleur (Bornier)	max. 16 mm ²	
Raccordement terres (Bornier)	max. 16 mm ²	

Références

Code	Désignation	Description
113415	DC-2+2ST/MC4	Coffret de protection DC 2+2ST 1000Vdc

Annexe 10 : Schéma électrique de l'installation



Annexe 11 : Réseau électrique de Fètèkou

