

**DIMENSIONNEMENT ET INSTALLATION D'UN
SYSTEME SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE CONNECTE AU RESEAU
SONABEL**



Présenté par :

NDE SIKADIE STEPHANE LANDRY

Période du stage : Du 01/07/2019 au 30/08/2019

Travaux dirigés par :

M.YIWALO BATIONO

Table de matières

INTRODUCTION	3
PRESENTATION DU CHANTIER.....	4
I. OBJECTIF DU TRAVAIL	4
II. GENERALITES	5
A. LES TECHNOLOGIES	5
i. Le silicium cristallin.....	5
ii. Les couches minces.....	6
iii. Cellules organiques et plastiques	7
B. LES DIFFERENTES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES.....	7
i. Les installations sur site isolé.....	7
ii. Les installations raccordées au réseau de distribution public	9
C. LES ELEMENTS D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE	10
III. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE DE L'INSTALLATION	16
A. Détermination de la Puissance crête de l'installation (Po).....	17
B. Calcul de la Production journalière de l'énergie solaire.....	17
C. Calcul des besoins énergétiques journalières totales	18
D. Calcul du Taux de couverture de l'énergie solaire (τ)	20
E. Choix de protection	24
F. Section des câbles en fonction de la chute de tension	27
G. Schéma de câblage.....	28
H. Bilan estimatif de l'installation.....	29
IV. AUTRES ACTIVITES EXERCES PENDANT LE STAGE DANS L'ENTREPRISE	30
A. Maintenance des systèmes photovoltaïques	30
B. Mesures de la résistance de terre	31
i. Méthode utilisée.....	31
CONCLUSION GENERALE.....	36
ANNEXE	i
Annexe 1 : Fiche technique de l'onduleur	i
Annexe 2 : Fiche technique du module	iii
Annexe 3 : Horaires d'utilisation des appareils domestiques	iv
Annexe 4 : Bilan estimatif de l'installation	vi
Annexe 5 : Carte céramique du monde.....	viii
BIBLIOGRAPHIE.....	ix

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme graphique de SYSAID FASO.....	3
Figure 2: Présentation du chantier.....	4
Figure 3: Evolution de la production mondiale des différentes technologies de cellules PV [EER08].....	5
Figure 4: Photos de cellules monocristalline et multi cristalline	5
Figure 5: Deux exemples de modules utilisant le Sia (Silicium amorphe)	6
Figure 6: Cellule PV organique (CEA)	7
Figure 7: Installation sur site isolé	8
Figure 8: Exemple d'utilisation de site isolé	8
Figure 9: Solution raccordé au réseau avec injection totale.....	9
Figure 10: Solution raccordé au réseau avec injection de surplus	10
Figure 11: Exemple d'utilisation avec exemple de surplus	10
Figure 12: Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général	11
Figure 13: Coupe transversale d'une cellule PV.....	11
Figure 14: Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque	12
Figure 15: Caractéristique d'un groupement en série de ns cellules	13
Figure 16 : Caractéristique d'un groupement constitué de np cellules identiques en parallèle.....	13
Figure 17: Schéma d'un module photovoltaïque	14
Figure 18 : Configuration des onduleurs lors de l'installation dans le dit chantier	24
Figure 19: Principe de choix simplifié	26
Figure 20: Présentation des éléments de protection dans le boîtier.....	26
Figure 21: Schéma de câblage	29
Figure 22: Répartition du cout de dépense de l'installation	30
Figure 23: Maintenance dans un domicile à ouagadougou	31
Figure 18: Principe de mesure.....	32
Figure 25: Eurotest	33
Figure 26: mesure de résistance à kossodo	35

Liste des tableaux

Tableau 1: Surface disponible pour l'installation.....	16
Tableau 2: Estimation des besoins énergétiques journaliers.....	18
Tableau 3 : choix de l'onduleur	20
Tableau 4: Section en fonction du courant admissible.....	27
Tableau 8: Bilan estimatif de l'installation	29
Tableau 5: Instructions.....	33
Tableau 6: Tableau de résultat	34
Tableau 7: courbe de la mesure de la résistivité	34

Listes des sigles et abréviations

Désignation	Général
2iE	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
PV	Photovoltaïque
RDC	Rez-de-chaussée
SONABEL	Société Nationale d'électricité du Burkina Faso
MLI	Modulation de Largeur d'Impulsion
MPPT	Maximum Power Point Tracking
TOR	Tout ou Rien
CA	Courant Alternative
CC	Courant Continu
A	Ampères
V	Volt
SARL	Société a responsabilité limité
kWh	Kilo Watts heures

REMERCIEMENT

Je ne saurais commencer sans remercier **DIEU** pour la santé, le succès, la grâce qu'il m'accorde chaque jour de ma vie.

J'exprime en particulier ma profonde gratitude à l'endroit de mon maitre de stage, Monsieur YIWALO BATIONO, Ingénieur en génie électrique et énergétique pour sa disponibilité sans faille tout au long du processus d'élaboration de ce document.

Je voudrais vous présenter mes très sincères remerciements pour toute la sollicitude dont vous avez fait montre depuis le début de ce stage jusqu'à son aboutissement, sanctionné par ce document.

Je voudrais aussi remercier ;

- Tous les membres de l'administration de l'entreprise SYSAID FASO pour le cadre convivial de travail, sympathie et conseils qu'ils nous ont données.
- M.ZAN SEKOU, Directeur Technique de SYSAID FASO
- Ing Rosine OUEDRAOGO chef de département Energies Renouvelables de SYSAID FASO pour ses conseils, son expérience et les compétences professionnelles mais aussi pour sa sympathie qui a facilité mon intégration au sein du service.
- Tous les techniciens de SYSAID qui m'ont initié sur l'installation et la maintenance des systèmes photovoltaïques.

PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL : SYSAID FASO SARL

SysAid Faso SARL est une société d'ingénierie burkinabè située sur l'avenue de l'hôtel de ville de Ouagadougou. Elle occupe le 2e et le 3e étage de l'immeuble NOURIA HOLDING de la rue du travail sis à 100 m de la place des cinéastes.

La Société SysAid Faso appartient au groupe SODJI HOLDING GmbH qui, créé en août 2002 à Berlin, s'est rapidement imposé comme un leader mondial dans le développement de l'énergie, des télécommunications, de la transmission de données, du traitement des données numériques (cartes à puce), des logiciels bancaires et des solutions de e-gouvernement. Le groupe est fort de 5 filiales que sont IMET TOGO, SysAid Sénégal, SysAid Faso, SysAid France et SysAid Côte d'Ivoire. Il a également su nouer des partenariats forts avec d'importantes sociétés internationales que sont WAPCOS (Asie), TELEMENIA Ltd (Israël), AGREETECH (Chine), RISEN, AASTRA (Suisse), SIEMENS (Allemagne), KRONE (Allemagne), HITEC POWER (Hollande), 3M (France), Denso (Allemagne), AF Electrification (France) ; Samex (France), RADWIN (Israël), WAVEIP (Israël), etc.

Aujourd'hui, la filiale SysAid Faso offre de nombreux services dans le domaine de l'énergie tels l'étude en optimisation énergétique de bâtiments industriels et commerciaux, la fourniture et l'installation de groupes électrogènes, la construction de centrales thermiques, la conduite de projets d'électrification rurale, l'installation de systèmes solaires photovoltaïques, la vente de panneaux solaires, de groupes solaires, de convertisseurs, de régulateurs, de batteries, etc

ORGANIGRAMME GRAPHIQUE DE SYSAID FASO

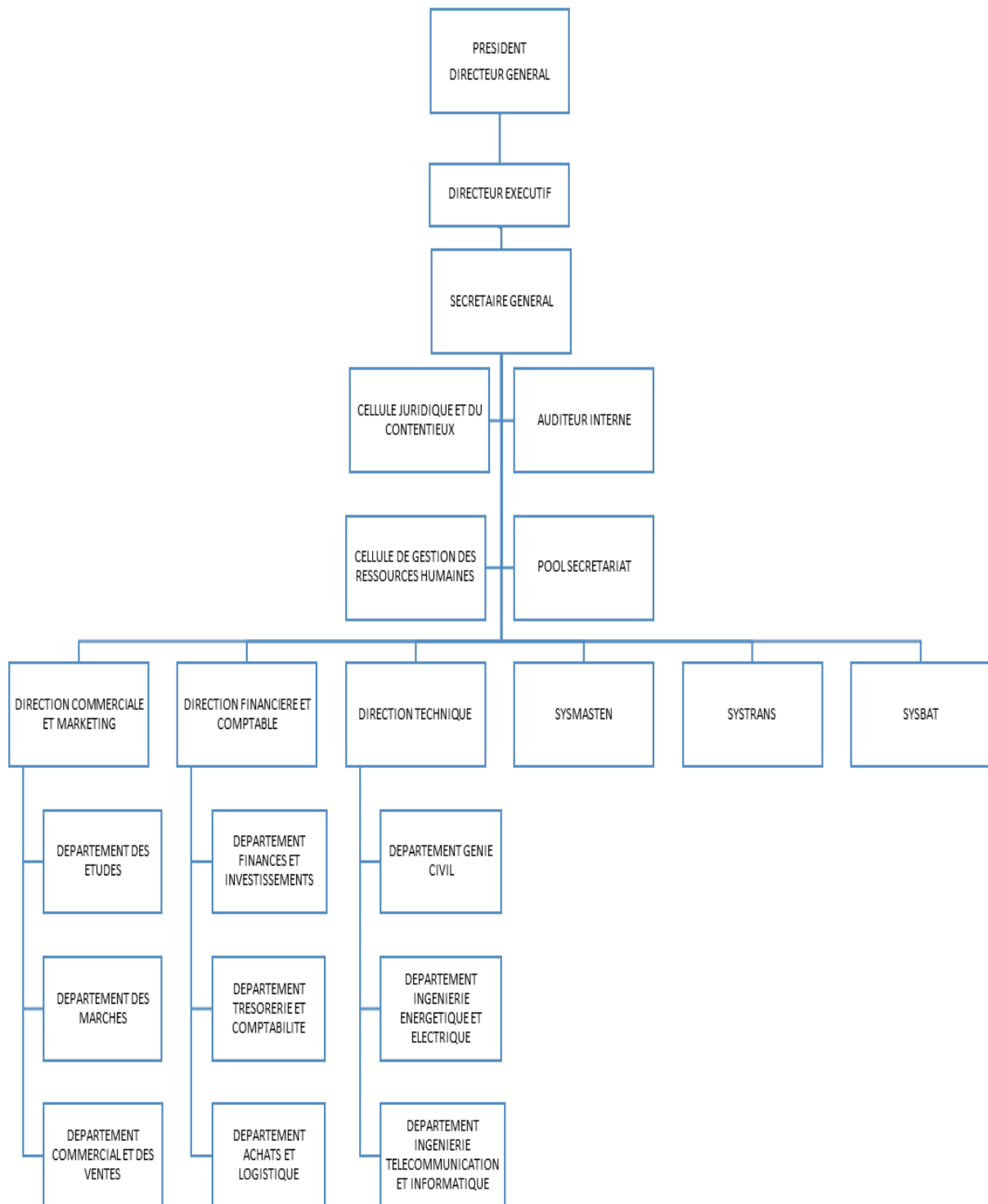


Figure 1: Organigramme graphique de SYSAID FASO

INTRODUCTION

L'énergie est généralement définie comme la capacité d'un système à réaliser un travail. La quantité d'énergie que possède un système représente la quantité de travail qu'il peut réaliser.

Pour assurer le développement durable, faire reculer la pauvreté tout en laissant en héritage aux générations futures un environnement viable, il est indispensable de faire la promotion des énergies renouvelables.

Depuis l'aube des temps l'humanité a vécu au rythme de la lune et du soleil. Certaines civilisations leur ont défiés. A la base du développement des sociétés humaines structurées, on trouve des techniques liées aux sources naturelles d'énergies dont le soleil est le moteur. Il est donc important de réfléchir à la conception des systèmes utilisant cette ressource qui est gratuitement disponible et en quantité inépuisable.

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique, l'effet photovoltaïque découvert par Alexandre Edmont Becquerel en 1839.

Selon les estimations, l'énergie rayonnée par le soleil représenterait chaque année 40 000 fois les besoins énergétiques que l'humanité consomme sous forme d'énergies fossiles. Malgré cela, l'énergie solaire reste un domaine assez peu exploité. Néanmoins la prise de conscience collective en fait une énergie douce d'avenir. Aujourd'hui le solaire photovoltaïque est en plein développement et beaucoup de politiques sont mises en place par le gouvernement pour promouvoir l'utilisation de ladite technologie.

Cette situation, rend de plus en plus aigüe la nécessité pour chaque structure de l'Etat ou domicile de produire surplace une bonne partie, voire l'intégralité de son besoin en énergie électrique. Dans cette optique, le recours aux énergies renouvelables est évident. C'est ce qui nous porte à faire des recherches sur le thème « **Dimensionnement et installation d'un champ photovoltaïque dans un domicile à OUAGA 2000 au BURKINA FASO** ».

PRESENTATION DU CHANTIER



Figure 2: Presentation du chantier

Notre installation du système photovoltaïque connecté au réseau s'est fait dans le domicile ci-dessus.

La maison est composée de :

- Rez de chaussé constitué 01 cuisine, 01 salon, 01 salle à manger, ,02 chambres
- Niveau R+1 constitué d'un salon, 05chambres, 01 terrasse
- Niveau R+2 constitué d'une chambre, 01 petit salon et 01 terrasse

I. OBJECTIF DU TRAVAIL

Le but de ce travail se traduit par un objectif général, décliné en objectifs spécifiques.

- OBJECTIF GENERAL

Il s'agit de produire l'énergie électrique avec un système photovoltaïques connecté au réseau SONABEL dans le domicile d'un particulier sis au quartier OUAGA 2000 dans la ville OUAGADOUGOU au BURKINA FASO.

- OBJECTIF SPECIFIQUES

- ✓ Il s'agit d'identifier et choisir quelques charges pour lesquelles on veut produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire via les systèmes photovoltaïques.
- ✓ Faire le choix des onduleurs en fonction de ses charges.

- ✓ Choisir les modules photovoltaïques et les batteries.

II. GENERALITES

A. LES TECHNOLOGIES

Une cellule photovoltaïque peut être réalisée avec de nombreux semi-conducteurs. En réalité il existe aujourd'hui trois principales filières technologiques : le silicium cristallin, les couches minces et les cellules organiques. Ces filières se partagent inégalement le marché comme le montre la Figure 3.

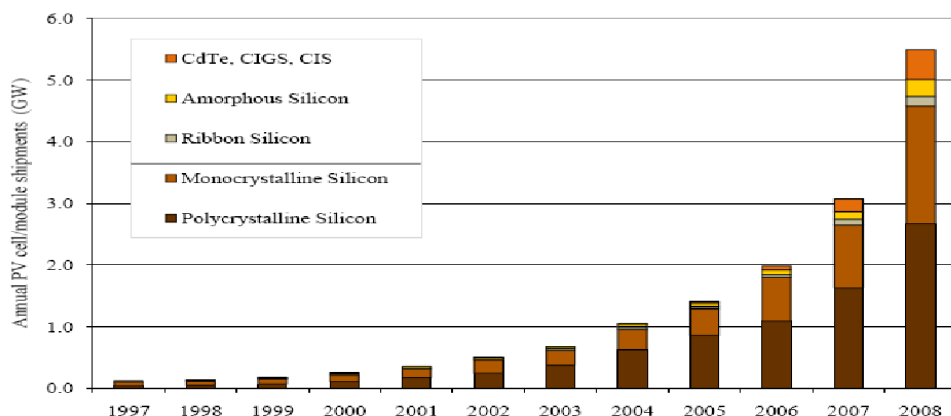


Figure 3: Evolution de la production mondiale des différentes technologies de cellules PV [EER08]

Ces technologies coexistent sur le marché dans des proportions équivalentes depuis de nombreuses années malgré des prix et des rendements très différents (cf. Figure 3).

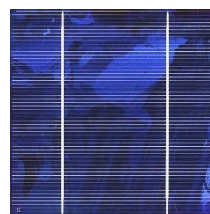
i. Le silicium cristallin

Le silicium cristallin domine le marché à plus de 80%. La fin de cette technologie gourmande en matière première est annoncée depuis de nombreuses années mais les progrès technologiques réalisés par cette filière aux cours des 10 dernières années lui ont permis de garder sa place prédominante sur le marché. Cette filière, de part de son très fort développement actuel, semble partie pour garder cette place encore quelques années. Cette filière comporte deux technologies : le silicium monocristallin et le silicium multi cristallin.

Le silicium mono cristallin est difficile à obtenir. En effet, il nécessite un taux de pureté très élevé et donc plusieurs étapes de purification. Ces étapes sont délicates et donc coûteuses. Le rendement du silicium monocristallin est le plus élevé, il est compris entre 12 et 20% pour les cellules industrielles. Son coût élevé est aujourd'hui un handicap et le silicium monocristallin perd du terrain devant le silicium multi cristallin.



Monocristallin



Multi cristallin

Figure 4: Photos de cellules monocristalline et multi cristalline

Le silicium multi cristallin est devenu aujourd'hui la technologie la plus utilisée. A elle seule elle représente près de 50% du marché. Ces cellules sont obtenues par coulage de cristaux de silicium ce qui rend sa structure hétérogène (cf. Figure 4). Son rendement est légèrement inférieur au silicium monocristallin il est compris entre 10 et 14% selon les fabricants. En revanche sa fabrication est beaucoup plus simple, les coûts de production sont donc plus faibles.

L'un des points faibles de ces deux technologies est la quantité de matière utilisée, même si actuellement la taille des lingots et des cellules augmente continuellement. Les lingots de silicium, mono ou multi cristallin, sont sciés en tranche de 150 à 300 microns, par des scies à fils. Le diamètre du fil de découpe étant de 180 microns d'épaisseur, il entraîne une perte en matière première de près de 50%.

Notre étude se consacrera à **des systèmes PV utilisant la technologie cristalline qui reste aujourd'hui la technologie dominante.**

ii. Les couches minces

Le principal frein au développement du photovoltaïque à très grande échelle reste encore aujourd'hui, malgré la baisse de ces dernières années, le prix trop élevé du kWc. Le kilo watt crête (kWc) est l'unité qui définit la puissance d'un générateur PV aux Conditions de Test Standard (STC) (1000W.m⁻² et 25°C). La majorité du prix d'un générateur photovoltaïque provient du silicium et du procédé de purification. Plusieurs types de cellules photovoltaïques visant à diminuer la quantité de matière nécessaire à leur fabrication sont aujourd'hui développés et commencent à être industrialisés. Ces technologies appelées couches minces font appel à des procédés de fabrication (dépôt sur ruban) visant la diminution de l'épaisseur des cellules.



Figure 5: Deux exemples de modules utilisant le Sia (Silicium amorphe)

Module rigide Sharp (115Wc, 1,42 m²)

Module souple Uni Solar (68Wc, 1,12 m²)

La technologie à couche mince dont la plus mûre est le silicium amorphe (Sia) représentait en 2008 plus de 7% du marché mondial. L'avantage de cette technique est l'utilisation de substrats à bas coût. Le silicium est déposé à basse température sur un substrat en verre. De plus il est possible de déposer ces cellules sur des substrats souples (cf. Figure 5) et ainsi de fabriquer des cellules souples. Son prix est plus faible que les cellules cristallines ; en revanche, le rendement d'une cellule en Sia est inférieur à celui des cellules cristallines, il est d'environ 7%. L'utilisation de ce type de cellules nécessite l'utilisation d'une isolation galvanique entre les modules et le réseau. Sans cette isolation galvanique les cellules amorphes se dégradent très rapidement. La raison physique de ce phénomène reste encore obscure. Les cellules amorphes captent très bien le rayonnement diffus et sont donc moins sensibles aux variations de rayonnement direct. Ces cellules sont donc une très bonne alternative aux cellules cristallines sur des sites soumis à des ombrages sévères.

D'autres matériaux sont également utilisés dans les filières à couches minces comme le Tellure de Cadmium (CdTe), le di séléniure de cuivre et d'indium (CIS) et de gallium (CIGS). Ces technologies possèdent de bons rendements, pouvant aller jusqu'à 19%. Malgré les potentialités de ces trois technologies, les problèmes de toxicité sur l'environnement et d'approvisionnement en matières premières qu'elles soulèvent les cloisonneront au laboratoire ou à des applications très spécifiques.

iii. Cellules organiques et plastiques

Les cellules organiques (cf. Figure 6) sont aujourd'hui un sujet d'étude très actif et restent actuellement un sujet de laboratoire. Ces cellules comprennent deux voies : la voie des cellules « humides » et la voie des cellules polymères organiques dites aussi cellules « plastiques ». Les progrès de ces technologies sont très rapides, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%). Le principal frein à ces technologies est actuellement la stabilité de leur performance ainsi que leur durée de vie (actuellement environ 1000 heures).

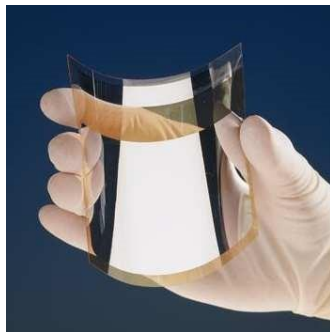


Figure 6: Cellule PV organique (CEA)

Les nanosciences ouvrent cependant de nouvelles voies à leurs améliorations. Leur avenir industriel n'est pas encore établi mais ces technologies ouvriraient la voie à des modules à très bas coût, biodégradable et pouvant être intégrés à toutes formes de surface. Par exemple des encres photovoltaïques sont actuellement étudiées. Ces encres pourraient être intégrées à un très large éventail de matériaux.

B. LES DIFFERENTES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES

i. Les installations sur site isolé

Ce type de montage est adapté aux installations ne pouvant être raccordées au réseau. L'énergie produite doit être directement consommée et/ou stockée dans des accumulateurs pour permettre de répondre à la totalité des besoins

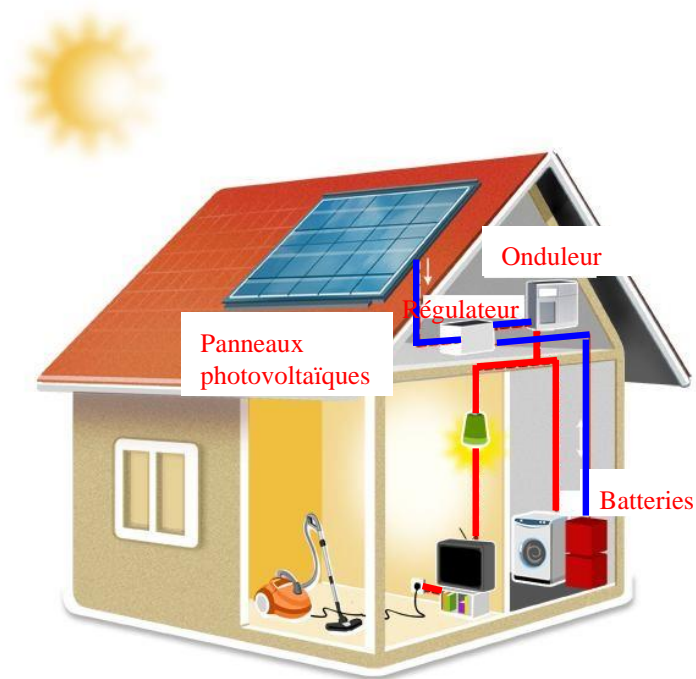


Figure 7: Installation sur site isolé

Les panneaux photovoltaïques produisent un courant électrique continu.

Le régulateur optimise la charge et la décharge de la batterie suivant sa capacité et assure sa protection.

L'onduleur transforme le courant continu en alternatif pour alimenter les récepteur AC.

Les batteries sont chargées de jour pour pouvoir alimenter la nuit ou les jours de mauvais temps.

Des récepteurs DC spécifiques sont utilisables. Ces appareils sont particulièrement économes.

Exemple d'utilisation

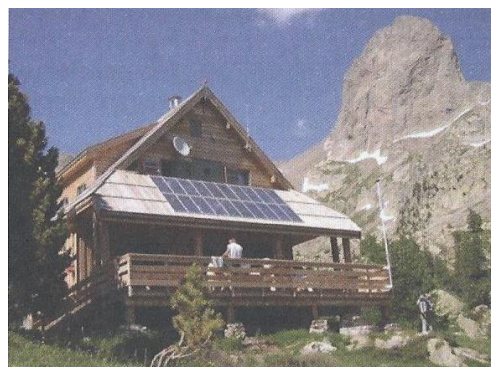


Figure 8: Exemple d'utilisation de site isolé

ii. Les installations raccordées au réseau de distribution public

▪ SOLUTION AVEC INJECTION TOTALE

Toute l'énergie électrique produite par les capteurs photovoltaïques est envoyée pour être revendue sur le réseau de distribution.

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en deux points :

Le raccordement du consommateur qui reste identique avec son compteur de consommation (on ne peut pas utiliser sa propre production),

Le nouveau branchement permettant d'injecter l'intégralité de la production dans le réseau, dispose de deux compteurs :

L'un pour la production,

L'autre pour la non-consommation (permet de vérifier qu'aucun soutirage frauduleux n'est réalisé).

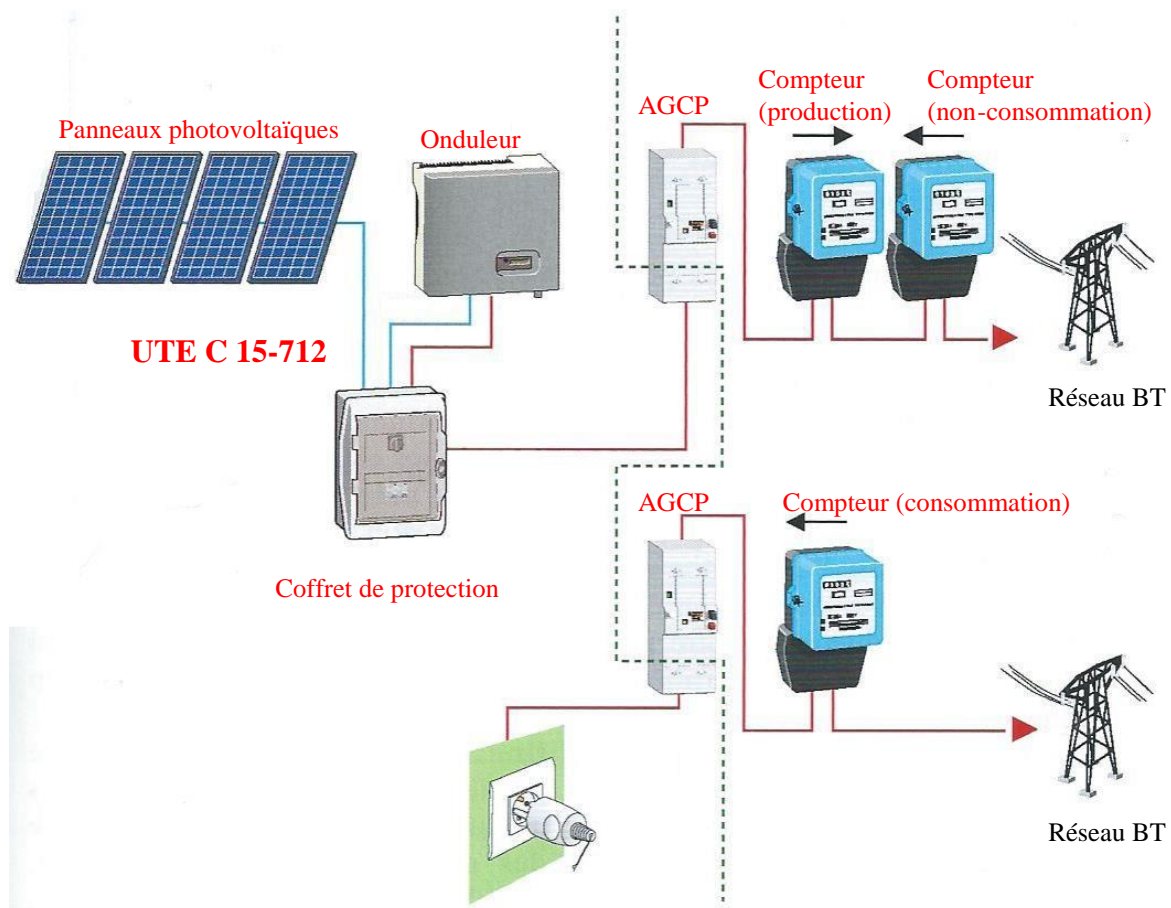


Figure 9: Solution raccordé au réseau avec injection totale

▪ SOLUTION AVEC INJECTION DE SURPLUS

Cette solution est réalisée avec le raccordement au réseau public en un point : l'utilisateur consomme l'énergie qu'il produit avec le système solaire et l'excédent est injecté dans le réseau. Quand la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'énergie nécessaire. Un seul compteur supplémentaire est ajouté au compteur existant

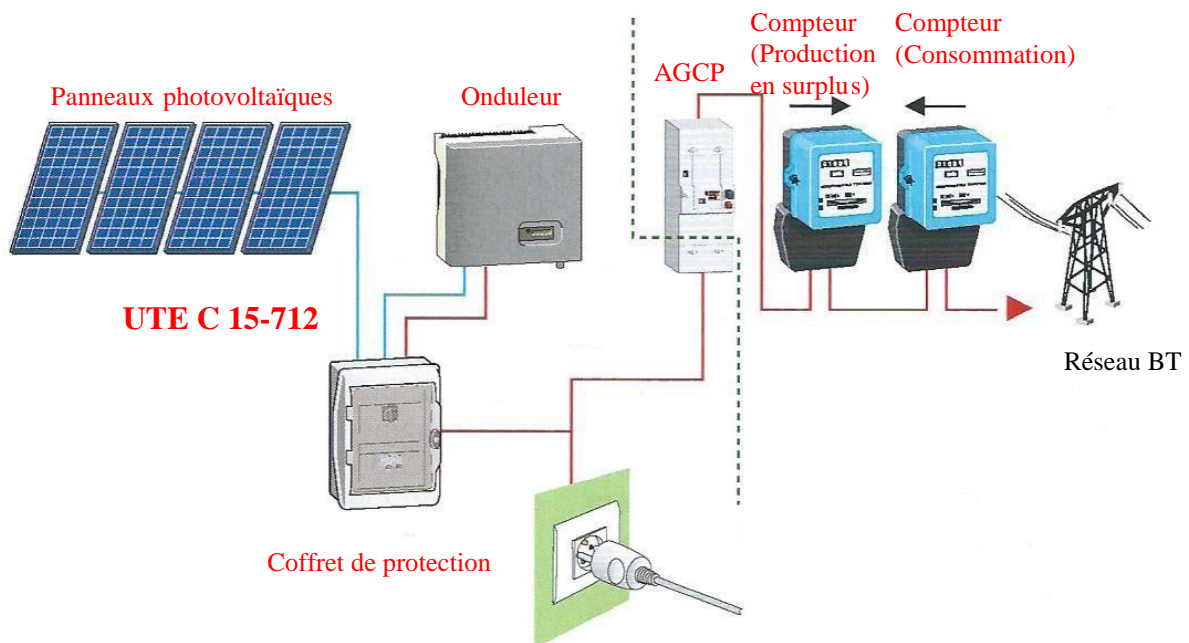


Figure 10: Solution raccordé au réseau avec injection de surplus

Par exemple



Figure 11: Exemple d'utilisation avec exemple de surplus

C. LES ELEMENTS D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE

Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grande chose : pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer étroitement à un système complet correspondant à une application bien spécifique.

Un système photovoltaïque sera donc constitué du générateur précédemment décrit, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants :

- Un système d'orientation ou de suivi (rencontré assez rarement sous nos latitudes),
- Une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie),

- Un stockage palliant la nature aléatoire de la source solaire,
- Un convertisseur CC/CA
- Une charge en courant continu basse tension ou en courant alternatif standard.

La Figure 9 représente symboliquement les divers éléments du système le plus général. Dans la pratique, bien sûr, les systèmes utilisent les éléments appropriés au type de charge et aux conditions locales.

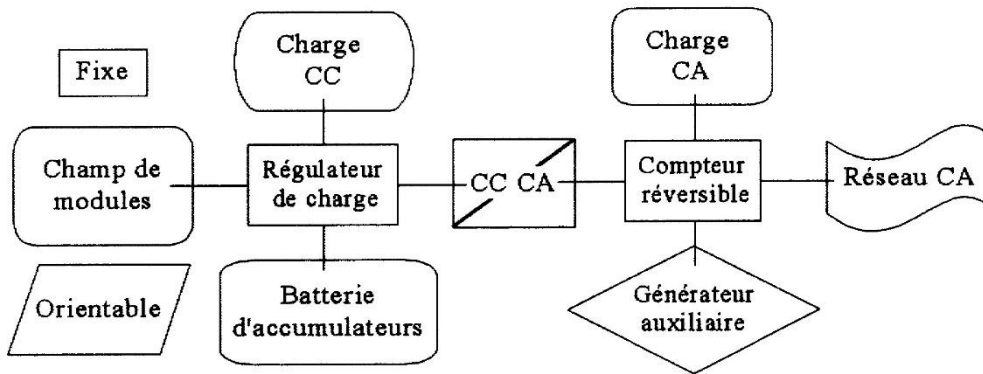


Figure 12: Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général

▪ LA CELLULE PV

La cellule PV est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Nous allons ici présenter rapidement le fonctionnement du phénomène photovoltaïque.

➤ L'effet photovoltaïque

Le fonctionnement de la cellule PV est basé sur un phénomène physique appelé l'effet photovoltaïque. La Figure 10 illustre la coupe d'une cellule PV.

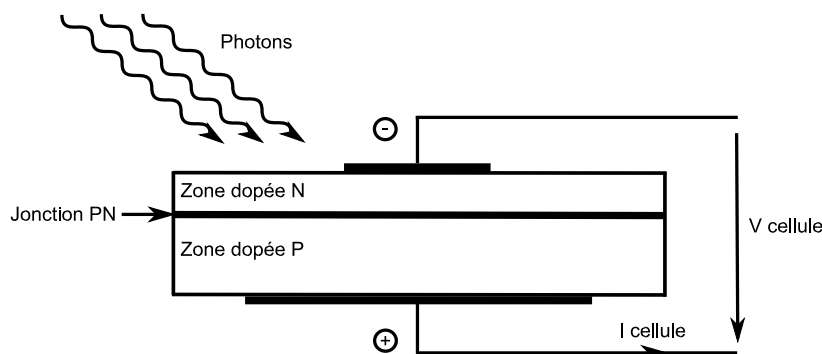


Figure 13: Coupe transversale d'une cellule PV

Une cellule PV est réalisée à partir d'un matériau semi-conducteur (par exemple le silicium). Sa réalisation est comparable à une diode classique. La cellule est composée de deux différentes couches. La couche

supérieure est dopée N et la couche inférieure est dopée P créant ainsi une jonction PN. Cette jonction PN crée une barrière de potentiel. Lorsque les grains de lumière (les photons) heurtent la surface de ce matériau, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la matière. Ce gain d'énergie libère des électrons de ces atomes, créant des trous et des électrons. Ceci engendre donc une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel crée un champ E qui draine les porteurs libres vers les contacts métalliques des régions P et N. Il en résulte alors un courant électrique et une différence de potentiel dans la cellule PV. Le courant et la tension fournis par une cellule PV dépendent de différents paramètres que nous allons expliciter dans la suite de l'exposé.

➤ Caractéristique électrique – Modélisation

La cellule photovoltaïque possède une caractéristique I(V) non linéaire (cf. Figure 11). La caractéristique d'une cellule photovoltaïque balaie 3 quadrants sur les 4 existants [ABE90]. Une cellule PV est un récepteur dans le quadrant 2 et dans le quadrant 4. Le fonctionnement dans ces deux quadrants est à proscrire car un risque de destruction par phénomène d'échauffement local (hot spot) est possible. Le fonctionnement dans le quadrant 1 est le fonctionnement normal, en effet dans ce cas la cellule est un générateur, elle produit donc de l'énergie. L'objectif est donc de faire travailler la cellule dans ce quadrant.

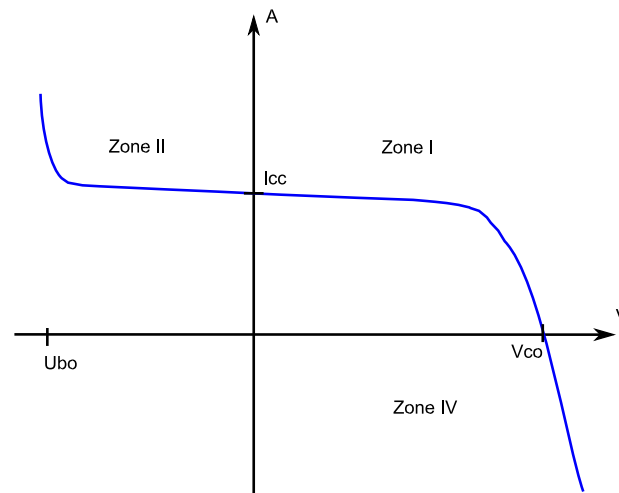


Figure 14: Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque

▪ LE MODULE PV

Un module PV est le plus petit ensemble de cellules solaires interconnectées et complètement protégées contre l'environnement. Généralement il contient également des protections pour protéger les cellules PV d'un fonctionnement qui peut être destructif. Les connexions peuvent être réalisées en parallèle ou en série. Nous allons présenter le comportement de cellules PV lors de ces différentes connexions.

➤ Mise en parallèle / série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par addition des tensions à courant donné. La caractéristique d'un groupement de n_s cellules PV identiques est présentée sur la Figure 12.

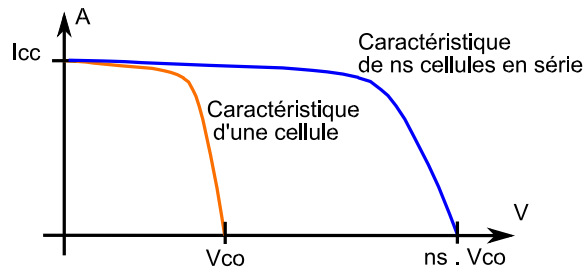


Figure 15:Caractéristique d'un groupement en série de n_s cellules Identiques

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. La caractéristique résultant d'une mise en parallèle de n_p cellule PV identiques en série est présentée sur la Figure 13.

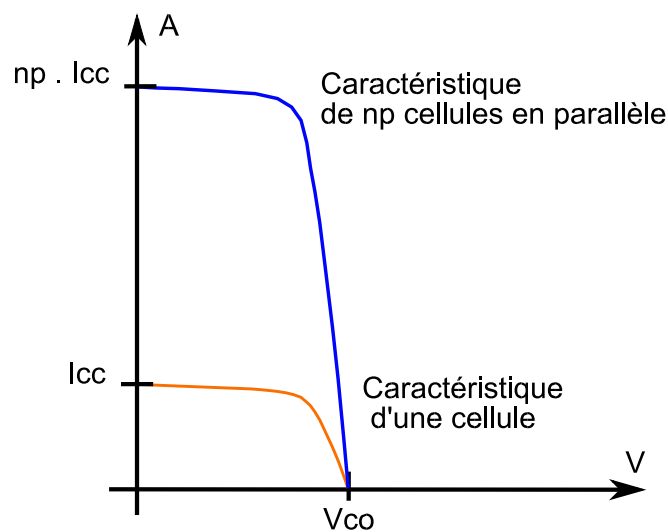


Figure 16 :Caractéristique d'un groupement constitué de n_p cellules identiques en parallèle

En résumé, pour tracer la caractéristique équivalente d'un groupement de cellules PV :

- En parallèle, il faut se placer à tension donnée et sommer les courants de chaque cellule. Il faut renouveler cette opération pour toutes les tensions entre 0V et V_{co}
- En série, il faut cette fois-ci se placer à courant donné et sommer les tensions des différentes cellules à ce courant.

➤ Conception d'un module

Au sein d'un module PV les cellules interconnectées sont rassemblées en bloc de x cellules et un module PV est constitué de la mise en série d' a blocs et de b blocs en parallèle.

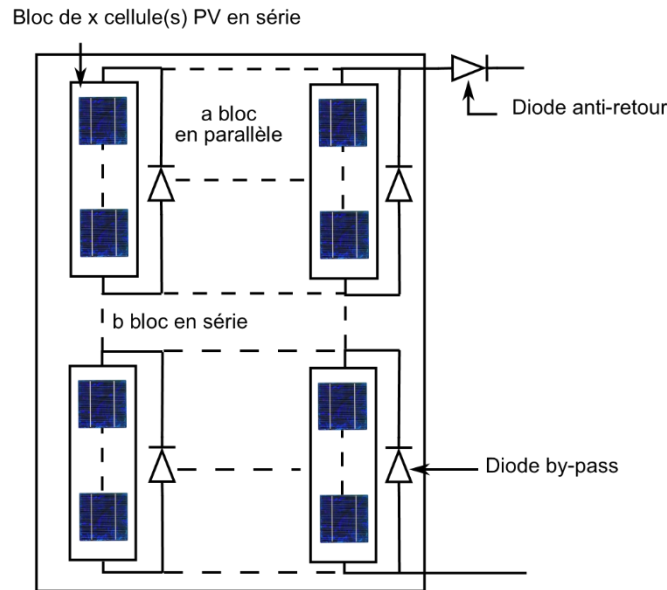


Figure 17: Schéma d'un module photovoltaïque

La conception d'un module PV repose encore aujourd'hui sur des raisons historiques. A l'origine, l'énergie solaire était réservée aux applications en sites isolés. La tension de fonctionnement de ces installations était donc imposée par la tension des batteries utilisées pour stocker l'énergie. Ces systèmes fonctionnant avec des batteries au plomb, leurs tensions étaient de 12, 24V ou 48V. Cette raison historique explique que la quasi-totalité des modules existants aujourd'hui aient encore une tension de sortie de 12 ou 24V.

▪ **LES PANNEAUX**

Pour obtenir des puissances importantes, les modules solaires doivent être associés en série - parallèle pour constituer un panneau solaire. Ceux-ci sont reliés électriquement et assemblés sur un châssis.

On a l'habitude de donner la taille d'un panneau solaire par sa puissance crête. Mais ce paramètre n'est pas suffisant pour définir le système, aussi est-il nécessaire de définir le mode de groupement des modules.

Selon la puissance de l'utilisation, la tension de la batterie peut être différente (6, 12, 24 ou 48 V par exemple). Un module de 36 cellules au silicium monocristallin étant adapté pour la charge d'une batterie de 12 V, la tension d'utilisation détermine le nombre de modules à mettre en série (2 pour 24 V, 4 pour 48 V). Le dimensionnement du système solaire détermine le nombre de branches à mettre en parallèle pour un fonctionnement satisfaisant de l'ensemble en fonction de la consommation de l'utilisation et de l'ensoleillement du lieu.

▪ **LE CHASSIS**

Dans la plupart des systèmes isolés, le panneau solaire est constitué de modules photovoltaïques assemblés sur un support généralement métallique. Cette charpente est réalisée le plus souvent en aluminium ou en acier galvanisé. Ce choix de matériau est justifié par certains contraintes.

De nombreux types de châssis existent et sont fonction du nombre de modules et de leur taille, du support d'implantation (dalle, mur, toit, ...), de leur hauteur, et de leur inclinaison.

Leur hauteur doit être telle que les modules solaires soient hors de portée d'éléments indésirables (flore, faune ...). Leur inclinaison est généralement fixe et déterminée par l'hémisphère et la latitude du lieu.

▪ **LE CÂBLAGE.**

Le câblage a pour but de regrouper électriquement les modules solaires. Généralement, les modules sont câblés tout d'abord en série pour réaliser des branches qui comportent chacune leur diode en série. La mise en parallèle de branches est réalisée, pratiquement, à l'aide de boîtes de jonction fixées sur les châssis. Il est indispensable d'apporter un soin particulier au serrage des cosses et au câblage de l'installation. Une chute de tension trop importante dans les connexions et dans les câbles peut réduire le courant de charge de la batterie. Cette chute de tension est loin d'être négligeable lorsque de forts courants sont fournis sous de faibles tensions. Cette contrainte impose l'utilisation de câbles résistant aux intempéries et dont la section sera fonction de la distance entre panneau solaire et batterie.

▪ **LE RÉGULATEUR DE CHARGE/DÉCHARGE**

La charge/décharge est associée à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle, entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Sa fonction est primordiale car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

On trouve sur les installations plusieurs technologies de contrôleur de charge :

- Régulation tout ou rien (TOR) par coupure électromagnétique. Ce type de régulateur n'est plus commercialisé et est amené à disparaître.
- Régulation MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) avec deux types de couplage sur la batterie.
- Couplage direct appelé PWM (Pulse With Modulation).
- Couplage par adaptateur d'impédance appelé MPPT (Maximum Power Point Tracking)

▪ **LES BATTERIES D'ACCUMULATEURS**

Dans un système photovoltaïque, la ressource solaire ne pouvant être disponible à tout moment, il est indispensable de stocker de manière journalière ou saisonnière de l'énergie électrique produite par les panneaux solaires. On utilise pour cela des batteries d'accumulateurs. Les batteries les plus courantes sont de type plomb-acide à plaque plane pour les installations de faible puissance et de type plomb-acide à plaque tubulaire pour les installations de grandes puissances. Il existe aussi des accumulateurs de type nickel-cadmium qui sont chères et qui posent des problèmes de régulation de tension. A long terme, on pourra voir apparaître d'autres systèmes de stockage.

Une batterie est constituée essentiellement des deux électrodes (une positive et une négative) qui représentent ses bornes et un électrolyte (solution d'acide sulfurique de viscosité variable) [1]. Les batteries sont connectées au régulateur électronique car elles sont chargées à travers le régulateur et elles alimentent les charges par le biais du même régulateur.

On associe plusieurs batteries en série pour obtenir une tension adaptée à l'utilisation et on les associe en parallèle pour avoir la capacité et la puissance nécessaire à l'autonomie désirée.

Les tensions des batteries seront déterminées par rapport à celle aux bornes des récepteurs à courant continu et la tension des modules. Le nombre de batterie sera déterminé à partir de l'autonomie désirée.

▪ L'ONDULEUR

La tension produite par les modules photovoltaïques est continue et celle fournie par les batteries pour l'alimentation des charges est aussi de nature continue. Dans ces conditions, il faudra intégrer obligatoirement un onduleur au système PV destiné à alimenter des charges alternatives. L'onduleur est un convertisseur CC/CA, c'est-à-dire convertir la sortie continue (CC) du champ de module ou des batteries en électricité alternative (AC) standard comme celle fournie par la SONABEL.

▪ LES RÉCEPTEURS

Les récepteurs ou charges (utilisations) font partie du système PV. Leurs tensions d'usage et leurs puissances déterminent les caractéristiques des éléments du système. Les récepteurs doivent être choisis avec soin. Lorsque c'est possible, il faut choisir les récepteurs de grand rendement. Après le choix des charges à alimenter par notre mini-centrale PV, nous relèverons leurs caractéristiques qui nous permettront de déterminer la puissance à installer.

III. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE DE L'INSTALLATION

Le bon dimensionnement d'une installation est une étape essentielle à maîtriser. Ci-dessous, deux méthodes de dimensionnement. Il va de soi qu'outre la superficie et la consommation, les budgets disponibles sont le troisième facteur déterminant le dimensionnement d'une installation.

Dans le cas de notre installation, nous avons utilisé la première méthode parce que nous avons aucune idée sur la consommation énergétique de cette maison car c'est une maison en construction.

Nous avons évalué la surface disponible du toit et de la dalle avec l'aide d'un mètre ruban. Pour la facilitation des mesures nous avons scindés les surfaces disponibles en quatre.

Tableau 1: Surface disponible pour l'installation

Surface disponible (m ²)	Largeur (m)	Longueur (m)	Surface (m ²)
Surface 1	6.85	5	34.25
Surface 2	6.10	3.2	19.52
Surface 3	10.9	2	21.8
Surface 4	10.5	1.956	20.538

Surface disponible totale = $S = S1 + S2 + S3 + S4$

AN

$$S = 34.25 + 19.52 + 21.8 + 20.538 = 96.108m^2$$

$$S = 96.108m^2$$

- **Calcul de la surface d'un module**

Largeur (L) = 1.956m

Longueur(l) = 0.992m

Surface d'un module y compris intercalaire de 20mm

$$S_{mod} = (1.956+0.02) \cdot (0.992+0.02) = 1.99712m^2$$

Calcul du nombre de modules de l'installation (Nm)

$$N_m = \frac{\text{Surface disponible de l'installation}}{\text{Surface d'un module}} = \frac{N}{N_m}$$

AN

$$= \frac{96.108}{1.99712} = 48.06 \approx 48$$

On a 48 modules de 340Wc

A. Détermination de la Puissance crête de l'installation (Po)

$$P_o = \text{Nombre de modules} \cdot P_{mod}$$

$$= 48 \cdot 340 = 16320Wc$$

$$P_o = \mathbf{16.32kWc}$$

B. Calcul de la Production journalière de l'énergie solaire

$$E_{AC} = PR \cdot H \cdot P_o$$

PR = Ratio de performance (%)

Po = Puissance crête de l'installation (kWc)

H : Irradiation rayonnement solaire en moyenne par jour sur le plan incliné (kWh/m²/jour)

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

$$EAC = 0.75 \cdot 6.03 \cdot 16.32$$

$$EAC = \mathbf{74.052 kWh/jour}$$

Dans notre cas de figure, nous avons pris un rayonnement solaire incliné moyen de **6.03 kWh/m²/j.**

Comme avantage, avec cette valeur annuelle du rayonnement la puissance crête du champ va diminuer et ce qui va entrainer à une réduction de moyens mis dans l'installation.

L'inconvénient est que pendant les périodes les plus défavorables, comme au mois d'Aout,

L'énergie produite par les modules photovoltaïques ne pourra pas couvrir les besoins énergétiques de la maison.

C. Calcul des besoins énergétiques journalières totales

Nous avons calculé les besoins énergétiques totales du domicile sous une feuille de calcul Excel représenté ci-dessous

Tableau 2: Estimation des besoins énergétiques journaliers

Estimation des besoins énergétiques journaliers						
Coté DC						
Equipements	Nombre	Puiss Unitaire (kW)	Durée Utils (h/j)	Puiss totale (kW)	Puiss appelée (kW)	Energie Cons (kWh/j)
Climatiseurs 1	6,00	1,70	8,00	10,20	10,20	81,60
Climatiseurs 2	8,00	1,20	8,00	9,60	9,60	76,80
Ventilateurs	25,00	0,08	8,00	1,88	1,88	15,00
Lampes LED	1,00	1,00	8,00	1,00	1,00	8,00
Bilan DC				22,68	22,68	181,40
Coté AC						
Ordinateurs	6,00	0,03	5,00	0,18	0,20	1,00
Lave-vaisselle	1,00	1,50	1,00	1,50	1,67	1,67
Téléviseur	2,00	0,30	16,00	0,60	0,67	10,67
Mixer	1,00	0,20	1,00	0,20	0,22	0,22
congélateur	1,00	0,70	20,00	0,70	0,78	15,56
Microonde	1,00	0,80	2,00	0,80	0,89	1,78
Sèche-linge	1,00	3,00	1,00	3,00	3,33	3,33
Réfrigérateur	1,00	0,30	20,00	0,30	0,33	6,67
Machine à laver	1,00	3,00	1,00	3,00	3,33	3,33
Fer a repassé	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,11
Cafetière	1,00	1,00	0,50	1,00	1,11	0,56
Four électrique	1,00	2,50	3,00	2,50	2,78	8,33
Bilan AC				14,78	16,42	54,22
Bilan énergétique						
Consommation journalière DC : 181,4						
Consommation journalière AC : 54,22						
Consommation journalière totale : Bj = 235,62						
Puissance appelée maximale : 37,45						

D. Calcul du Taux de couverture de l'énergie solaire (τ)

$$\text{Taux de couverture} = \frac{\text{Production journaliere du solaire}}{\text{Besoins énergetiques journalieres totales}}$$

AN

$$\mathbf{T} = \frac{74.052}{235.62} * \mathbf{100}$$

$$\mathbf{T} = \mathbf{31.4\%}$$

Choix de l'onduleur

Tableau 3 : choix de l'onduleur

CHOIX DES ONDULEURS DE L'INSTALLATION

NIVEAU	Equipements	Puissance Unitaire(kW)	Nombres	Puissance totale (kW)	Départs par Niveau	Puissance totale par départ	Répartition des charges
RDC	Four électrique	2,5	1	2,5	14,48	22,655	*Un onduleur (03 climatiseurs de 1,2) *Un onduleur (02 climatiseurs de 1,7) *Un onduleur (Ventilateurs+ lampes LED) *Un onduleur (Tout les appareils domestique)
	Cafetière	1	1	1			
	Fer a repassé	1	1	1			
	Machine à laver	3	1	3			
	Réfrigérateur	0,3	1	0,3			
	sèche-linge	3	1	3			
	Microonde	0,8	1	0,8			
	ordinateurs	0,03	6	0,18			
	Lave-vaisselle	1,5	1	1,5			
	Téléviseur	0,3	1	0,3			
	Mixer	0,2	1	0,2			
	Congélateur	0,7	1	0,7			
	Climatiseurs_1	1,7	2	3,4	7		
	Climatiseur_2	1,2	3	3,6			
Ventilateurs	0,075	9	0,675	1,175			
lampes LED	0,5	1	0,5				
R+1	Téléviseur	0,3	1	0,3	0,3	11,6	*Un onduleur (02 climatiseurs de 1,7) *Un onduleur(03 climatiseurs de 1,2) *Un onduleur (pour 01climatiseurs de 1,2 + lampes LED + ventilateurs +téléviseur)
	Climatiseurs_1	1,7	3	5,1	9,9		
	Climatiseurs_2	1,2	4	4,8			
	Ventilateurs	0,075	12	0,9	1,4		
	lampes LED	0,5	1	0,5			
R+2	Climatiseurs_1	1,7	1	1,7	2,9	3,7	*Un onduleur (Climatiseurs de 1,7 + Climatiseur de 1,2 + ventilateurs + lampes LED)
	Climatiseurs_2	1,2	1	1,2			

	Ventilateurs	0,075	4	0,3	0,8	
	lampes LED	0,5	1	0,5		
	TOTAL			37,955	(kW)	08 ONDULEURS

✚ Commentaires:

Pour les raisons économiques nous avons installés **06 onduleurs** repartie comme suit

03 onduleurs pour le RDC

02 onduleurs pour le R+1

01 onduleurs pour le R+2

L'installation de notre système couvre prioritairement les climatiseurs dans les chambres, les climatiseurs du salon n'est pas couvert par le PV.

- Vérification de l'adéquation entre onduleur et champ PV et configuration du générateur PV

✚ HYPOTHESE

Considérons la configuration suivante et faisons la vérification de l'adéquation entre onduleur et champ PV

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Nombre de strings : } 01 \\ \text{Nombre de modules de } 340Wc \text{ par string ; } 08 \\ \text{Nombres d'onduleurs : } 06 \end{array} \right.$$

- Tension nominale (V_{nom})

$$V_{nom} = (Nms) * Voc_{mod} < Voc_{ond}$$

Nms = Nombres de modules par string

Voc_{mo} = Tension en circuit ouvert du module

Voc ond = Tension en circuit ouvert de l'onduleur

$$V_{\text{nom}} = 08 * 45.8 = 366.4 < 580V \text{ (ok)}$$

- Plage de la tension MPP

$$V_{\text{mpp}} \in \frac{(PMPP)}{Nms}$$

Nms = Nombre de modules par string

PMPP = Plage de tension MPPT de l'onduleur

$$\left(\frac{125}{8} - \frac{550}{8}\right)V = (15.6 - 68.8)V$$

$$\text{Or } V_{\text{MPP}} = 37.9 \text{ V (ok)}$$

- Courant d'entrée onduleur (I_e)

$$I_e = (Ns) * I_{\text{scmod}} < I_{\text{sccond}}$$

Ns = Nombre de strings

Isc = Courant de court-circuit

$$I_e = 1 * 9.74 = 9.74 < 13.8A \text{ (ok)}$$

- Ratio de puissance (Rp)

$$R_p = \frac{P_e}{P_c}$$

Pe = Puissance d'entrée de l'onduleur

Pc = Puissance du champ

AN

$$R_p = \frac{4600 * 6}{16320} = 1.7$$

Normalement le ratio de puissance doit être situé dans cet intervalle $0.9 < Rp < 1.1$, mais dans notre cas le ratio de puissance n'est pas dans cette plage. Cela veut dire que l'onduleur n'est pas utilisé à sa puissance maximale.

Configuration retenue

Après vérification on retient la configuration suivante :

- Nombre de strings : 01
- Nombre de sous champs : 06
- Nombres de modules de 340Wc par string : 08
- Nombre d'onduleurs : 06



Figure 18 : Configuration des onduleurs lors de l'installation dans le dit chantier

E. Choix de protection

Sachant que l'onduleur est au cœur d'un système photovoltaïque il doit être protégé. Il a notamment une protection des batteries, une protection du champ photovoltaïque et une protection au niveau des charges.

- Au niveau du champ la protection est mise pour empêcher les sur intensités et les sur tensions au niveau du champ photovoltaïque.
- Au niveau du réseau publique la protection est mise pour empêcher les sur intensités et les sur tensions au niveau du réseau.
- Au niveau des charges, la protection est mise pour protéger les appareils et les équipements domestiques et pour l'onduleur.

✓ Choix de Disjoncteur

Coté CC

Le choix des disjoncteurs doit respecter les conditions suivantes

$$\begin{cases} U_{disj} \geq 1.15 * N_{ms} * Voc_{mod} \\ 1.5 * I_{scmod} \leq I_{cal}(disj) \leq 2I_{sc}(mod) \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_{disj} \geq 1.15 * 8 * 45.8 \\ 1.5 * 9.74 \leq I_{cal}(disj) \leq 2 * 9.74 \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_{disj} \geq 421.4V \\ 14.6 \leq I_{cal}(disj) \leq 19.48 \end{cases}$$

Nous avons utilisé un disjoncteur CC de calibre 16A de marque Legrand.

Coté CA

Le choix des disjoncteurs doit respecter les conditions suivantes

$$\begin{cases} U \geq 1.15 * N_{ms} * V_{ocmod} \\ K * I_{ond} \leq Cal \end{cases} \quad \text{Si} \begin{cases} I_n = 10A, k = 1.31 \\ 10A < I_n < 25A, k = 1.21 \\ I_n > 25A, k = 1.10 \end{cases} \quad \text{pour le fusible}$$

Pour un disjoncteur $k = 1$

$$\begin{cases} U_{disj} \geq 1.15 * 8 * 45.8 \\ 1 * 16 \leq Cal_{disj} \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_{disj} \geq 421.36 \\ 16 \leq Cal_{disj} \end{cases}$$

Nous avons utilisé un disjoncteur AC de calibre 20A de marque Legrand.

✓ Choix des parafoudres

Le parafoudre est un dispositif qui vise à protéger l'ensemble des installations électriques et électroniques d'un habitat contre les surtensions provoquées par la foudre et le champ photovoltaïque. En effet, un excès de tension délivrée par le champ PV peut aisément détruire plusieurs appareils.

Le parafoudre fonctionne à peu près comme un interrupteur qui, au-delà d'une certaine tension, va laisser échapper un courant électrique pour l'amener jusqu'à la terre afin d'éviter qu'il aille au sein des appareils électriques et électroniques raccordés et les endommager.

Les normes actuelles définissent trois catégories de parafoudres pour une installation électrique basse tension :

- Type 1 : ils sont capables d'écouler un courant de foudre très important, généralement de la Terre vers le réseau de distribution d'énergie. En effet, ils sont installés dans le tableau électrique principal lorsque le bâtiment est équipé d'un paratonnerre.
- Type 2 : il s'agit des parafoudres destinés à écouler les courants générés par les coups de foudre indirects et provoquant des surtensions induites ou conduites sur le réseau de distribution d'énergie. Ils sont installés dans le tableau principal de distribution.
- Type 3 : ils caractérisent des parafoudres installés en complément des types 2 et sont destinés à réduire la surtension aux bornes des équipements sensibles. Leur capacité d'écoulement de courant est très limitée. En conséquence ils ne peuvent être utilisés seuls.

Le parafoudre est choisi à partir du niveau céramique, des caractéristiques de la zone mais aussi de la probabilité d'occurrence de la foudre (**figure 2**) :

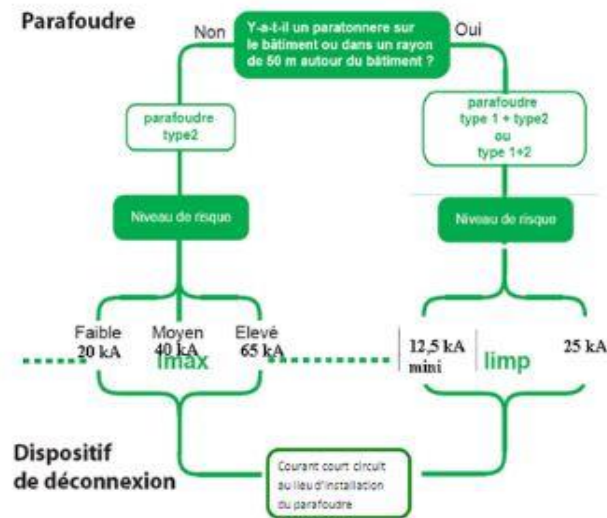


Figure 19: Principe de choix simplifié

1

En se référant à la **figure 19**, nous considérons qu'il n'y a pas un paratonnerre sur le bâtiment ou dans un rayon de 50 m autour du bâtiment. Ce qui nous amène à choisir le parafoudre de type 2. D'après la carte céramique du monde (**annexe 5**), le niveau céramique du Burkina est compris entre 60 et 100. L'intensité nominale du parafoudre dépend de l'appréciation du niveau de risque d'occurrence de la foudre que nous considérons faible pour le Burkina Faso. Par conséquent, toujours en se référant à la **figure 19**, nous choisissons un parafoudre de calibre **20 kA**.



Figure 20:Présentation des éléments de protection dans le boitier..

F. Section des câbles en fonction de la chute de tension

Nous allons choisir une section de câble dans le tableau 4 en fonction du courant admissible et ensuite vérifier la condition $\Delta V_{cable} < \Delta V_{admissible}$, si cette condition est vérifiée alors la section est adéquate.

Avec

$$\Delta V_{cable} = \frac{2(L * I * \phi)}{S}$$

$$\phi = \text{Résistivité} \left(\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right) \text{ en cuivre} = 0.0183 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

L = longueur du câble (m)

S = Section du câble (mm²)

I = Courant de service (A) = I_{sc}

Et $\Delta V_{admissible} = N_{ms} * V_{mppmod} * 2\%$

N_{ms} = Nombre de modules par string

V_{mppmod} = Tension nominale du module

Choix de la section du câble

Section en fonction du courant admissible.

Tableau 4: Section en fonction du courant admissible

Câbles size (mm ²)	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
Courant admissible (A)	13	21	28	36	46	61	81	99	125	160	195	220	250	285	340	395

$I_{maxcc_ond} = 11A$, nous choisissons un disjoncteur CC de calibre 16A.

Le tableau (Section du courant admissible) nous amène à choisir une section de $2.5mm^2$ Cu avec un courant admissible de 21A.

Calcul de ΔV_{cable} et $\Delta V_{admissible}$

AN

$$\Delta V_{cable} = 2 * \left(\frac{20 * 9.74 * 0.0183}{2.5} \right)$$

$$\Delta V_{cable} = 2.85V$$

$$\Delta V_{admissible} = 8 * 37.9 * 0.02 = 6.06V$$

- Vérification

$\Delta V_{cable} < \Delta V_{admissible}$, donc la section est adéquate

Une section de $2.5mm^2$ a été choisi.

Les câbles utilisés dans la partie courant alternatif pour l'alimentation des équipements restent sans changement.

G. Schéma de câblage.

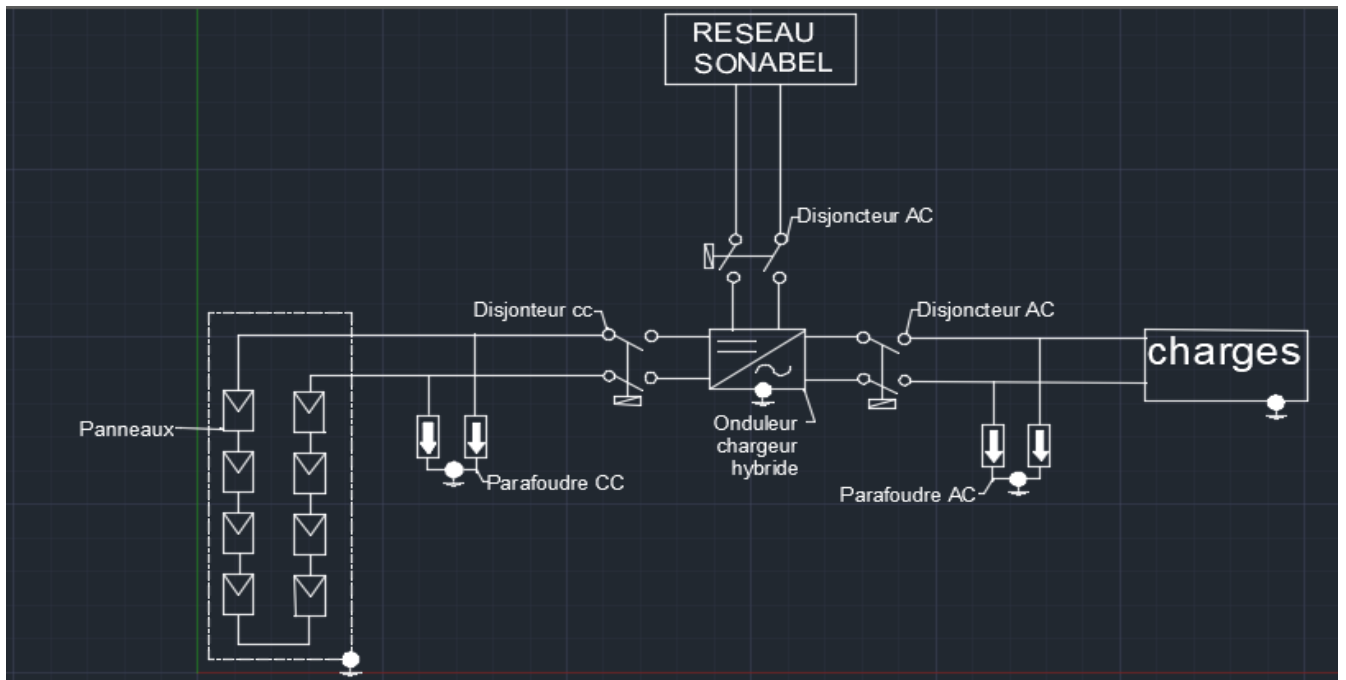


Figure 21: Schéma de câblage

H. Bilan estimatif de l'installation

Tableau 5: Bilan estimatif de l'installation

Bilan estimatif de l'installation	
Accessoires	1159400
Modules + onduleurs	16076220
Câbles et fils	739000
Totale (FCFA)	17974620

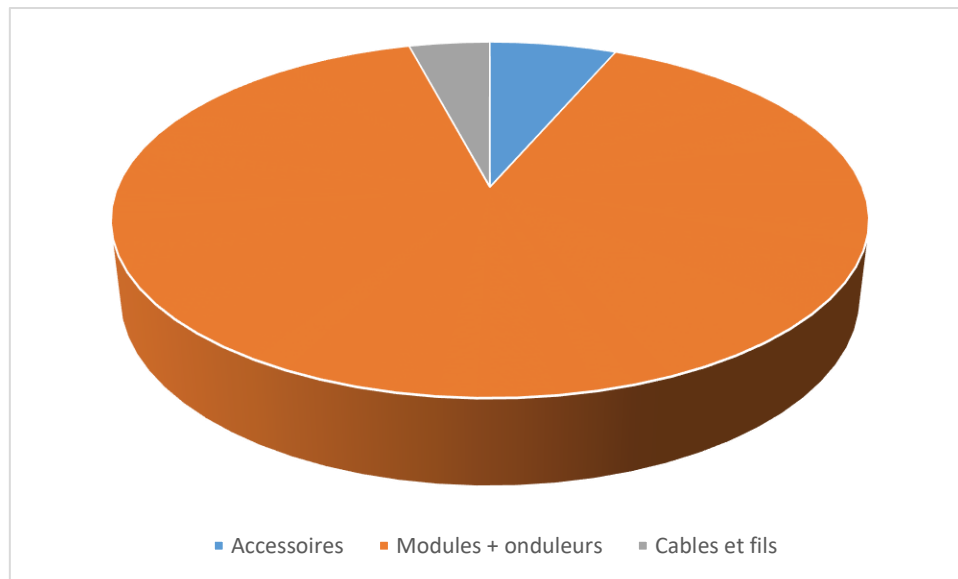


Figure 22: Répartition du coût de dépense de l'installation

Nous constatons que le coût global de notre installation est environ **18 millions de FCFA**.

De même les onduleurs et les modules occupent la plus grande partie du coût global de l'installation.

Les calculs détaillés du bilan estimatif sont en annexe.

IV. AUTRES ACTIVITES EXERCES PENDANT LE STAGE DANS L'ENTREPRISE

A. Maintenance des systèmes photovoltaïques

Lors du stage nous avons fait la maintenance d'une installation dans un domicile au quartier sis à OUAGADOUGOU. Cela consiste à :

- Nettoyer les modules photovoltaïques.
- Vérifier le câblage et les supports de fixation des modules.
- Vérifier le fonctionnement des batteries et onduleurs.



Figure 23: Maintenance dans un domicile à Ouagadougou

B. Mesures de la résistance de terre

Nous avons procédé à la mesure de la résistance du sol à la centrale de Kossodo dans le cadre de la construction de la centrale thermique de 50MWc. Cette mesure consiste à connaître la capacité du sol à conduire le courant électrique et elle permettra de

Choisir l'emplacement et la forme des prises de terre et des réseaux de terre avant leur construction,

De prévoir les caractéristiques électriques des prises de terre et réseau de terre.

La mesure de résistivité est donc utilisée sur un terrain en construction où il est important de choisir avec exactitude le meilleur emplacement pour les prises de terre.

i. Méthode utilisée

Le procédé utilisé pour déterminer la résistivité des sols est la méthode **Wenner**. Les mesures ont été faites suivant les données ci-dessous :

Espacement 'a' des électrodes	Distance "x" aux électrodes de potentielles (m)	Distance "y" aux électrodes de courant (m)	Max. Profondeur 'P' des électrodes (cm)	Lecture de résistance à partir de l'instrument R (Ω)	Résistivité du sol Profondeur 'd'(m) (3/4 de 'a')	Résistivité moyenne du sol ρ à la profondeur 'd' (Ωm) (voir note ci-dessous)
0.5	0.5	1.5	5		0.38	
1	0.5	1.5	5		0.75	
2	1	3	10		1.5	
3	1.5	4.5	15		2.25	
5	2.5	7.5	20		3.75	
10	5	15	20		7.5	
15	7.5	22.5	20		11.25	
20	10	30	20		15	
25	12.5	37.5	20		18.75	
30	15	45	20		22.5	

N.B : La résistivité moyenne du sol (ρ) est basée sur la formule : $\rho = 2 \pi a R$ (où $\pi = 3.142$).

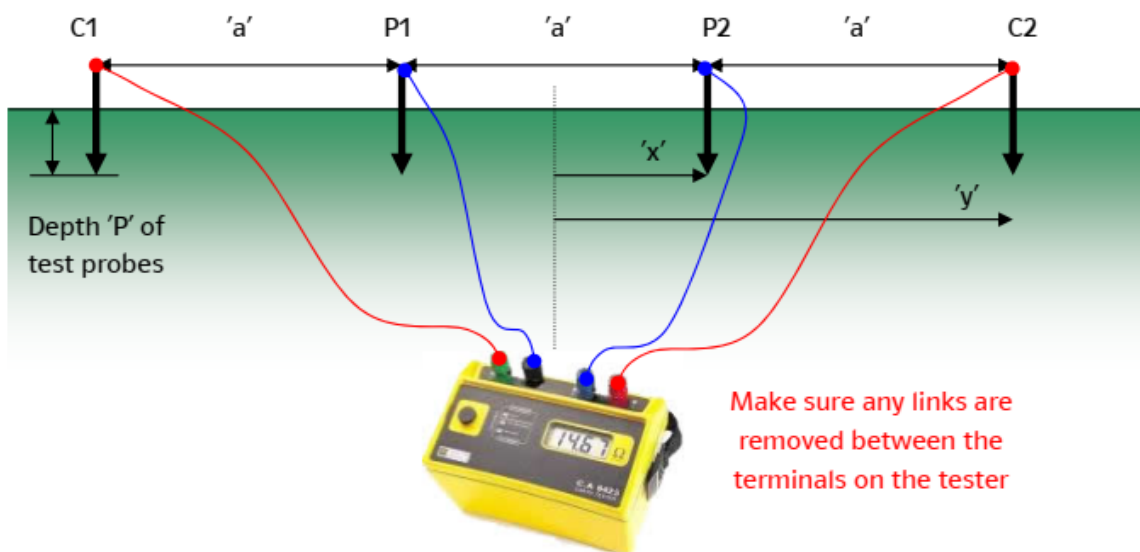


Figure 24:Principe de mesure

Matériel utilisé

Nous avons utilisé pour la mesure de la résistivité du sol l'appareil Eurotest 61577 du fabricant METREL. Voir figure ci-dessous :

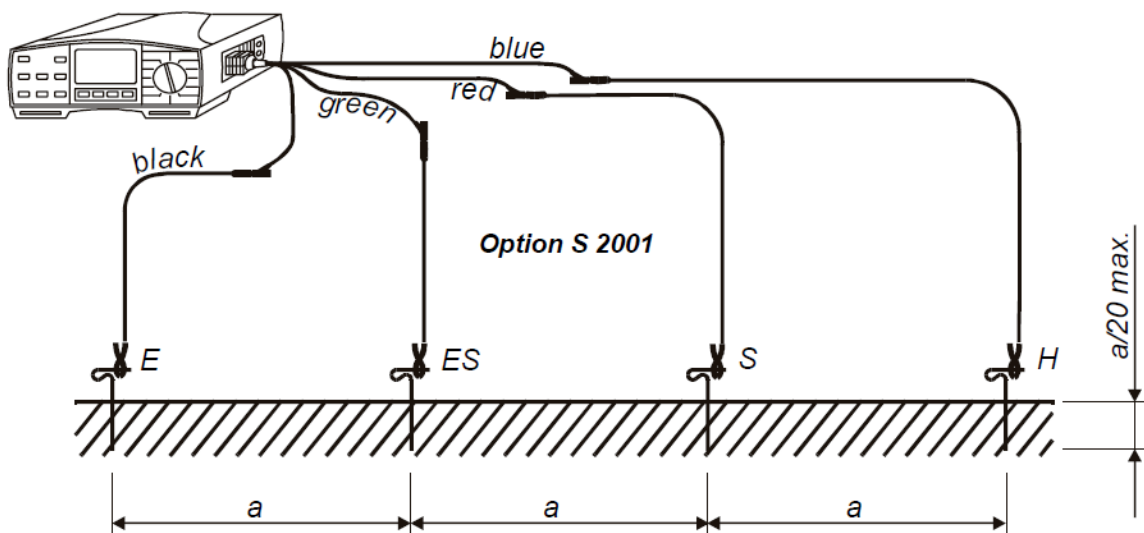


Figure 25: Eurotest

Les mesures se sont déroulées à kossodo, sur le site où sera construit la nouvelle centrale thermique de 50 MW, à l'aide du plan nommé point de mesure de la résistivité du sol n° 17451 - 07 - EP - DWG - 901, sur lequel est indiqué les différents points de mesures

Les résultats

Les séries de dix lectures consécutives des trois points de mesures :

Tableau 6: Instructions

Location 9	Location 7	Location 8
23,6	48,7	49,8
23,7	48,8	49,9
23,8	48,9	50

23,9	49	50,1
24	49,1	50,2
24,1	49,2	50,3
24,2	49,3	50,4
24,3	49,4	50,5
24,4	49,5	50,6
24,5	49,6	50,7
Moyenne		
24,05	49,15	50,25

Nous avons pour résultat :

Tableau 7:Tableau de résultat

Numéro	Points de mesure	Espacement 'a' des électrodes	Distance "x" aux électrodes de potentielles (m)	Distance "y" aux électrodes de courant (m)	Max, Profondeur 'P' des électrodes (cm)	Lecture de résistance à partir de l'instrument R (Ω)	Résistivité du sol Profondeur 'd'(m) (3/4 de 'a')	Résistivité moyenne du sol ρ à la profondeur 'd' (Ωm) (voir note ci-dessous)
1	Location 2	1	0,5	1,5	5	0,64	0,75	3,03
2	Location 6	2	1	3	10	72,35	1,5	682
3	Location 4	3	1,5	4,5	15	50,14	2,25	709
4	Location 3	5	2,5	7,5	20	1,46	3,75	34,3
5	Location 1	10	5	15	20	1,04	7,5	48,8
6	Location 5	15	7,5	22,5	20	0,66	11,25	46,9
7	Location 8	20	10	30	20	0,53	15	50,25
8	Location 7	10	12,5	37,5	20	1,04	7,5	49,15
9	Location 9	10	15	45	20	0,51	7,5	24,05

Tableau 8: courbe de la mesure de la résistivité

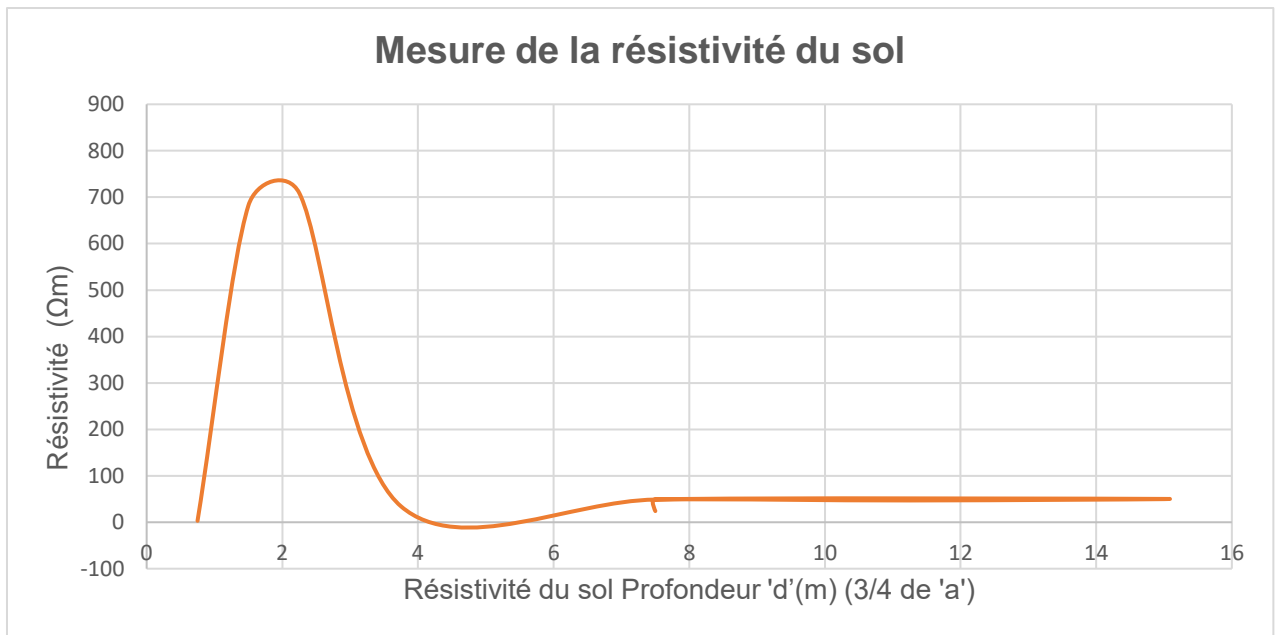


Figure : Mesure de la résistivité du sol



Figure 26: mesure de résistance à kossodo

CONCLUSION GENERALE

L'objectif général de cette étude est de produire l'énergie électrique avec un système photovoltaïques connecté au réseau SONABEL dans un domicile sis au quartier OUAGA 2000 à OUAGADOUGOU-BURKINAFASO.

Ainsi après avoir estimé la surface disponible pour les modules, nous avons ensuite estimé les besoins énergétiques et quantité d'énergie solaire que les modules vont produire, ensuite le taux d'énergie solaire de l'installation.


Ensuite les éléments des systèmes PV ont été dimensionnés. Puis nous avons fait installation du système PV de 16.3kWc dans le dit domicile.

Dans un pays du Sahel comme le Burkina Faso la notion des énergies renouvelables doit être encouragée en particulier l'énergie photovoltaïque puisque le soleil est pratiquement gratuit.

Je recommande que d'autres domiciles puis copier le bon exemple d'installer les systèmes photovoltaïques dans leurs domiciles et au gouvernement de promouvoir plus de politiques pour augmenter l'utilisation des énergies photovoltaïque au Burkina Faso.

ANNEXE

Annexe 1 : Fiche technique de l'onduleur

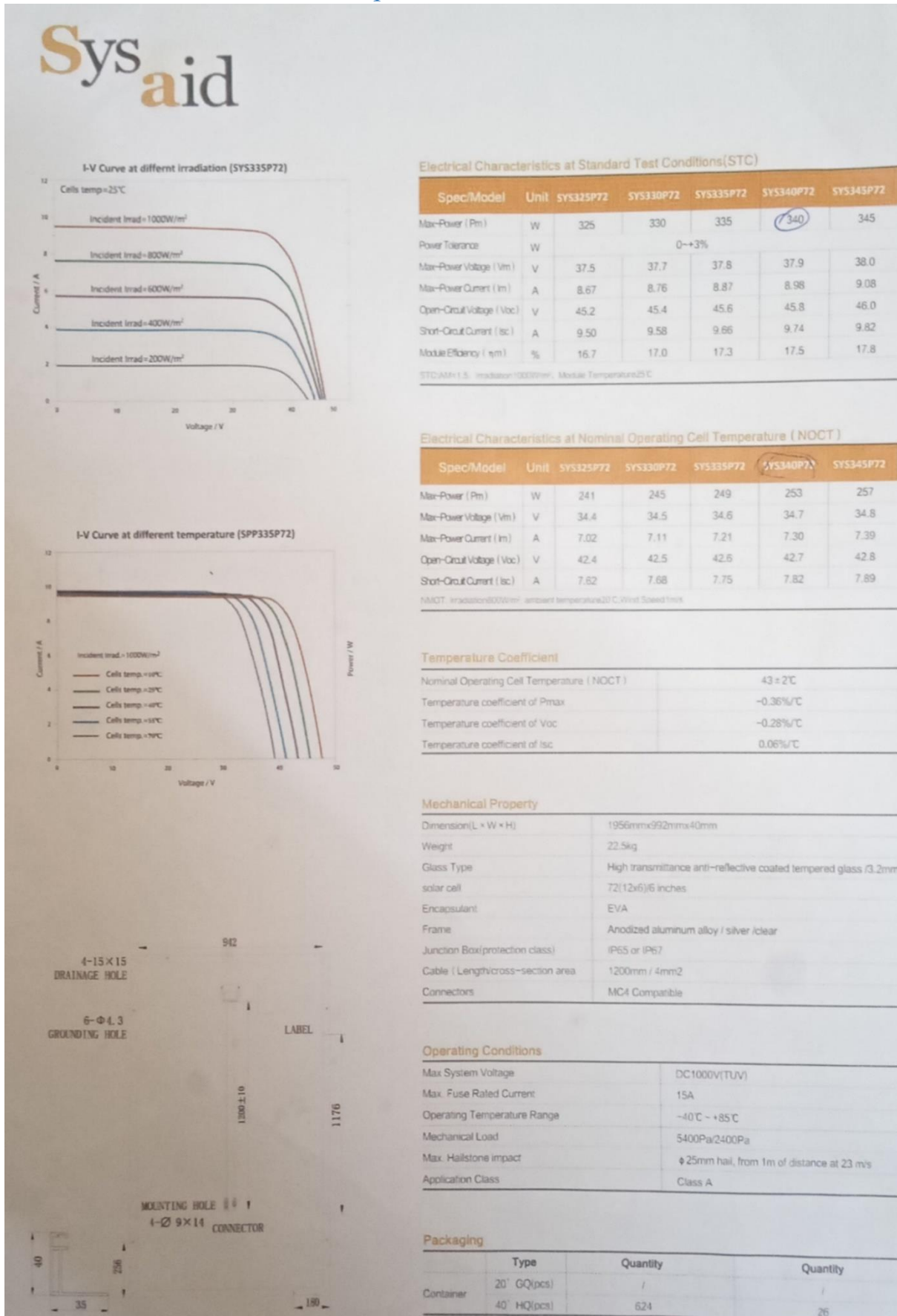


The image shows the Sysaid logo in orange and grey, a photograph of the SysGW5048-ES inverter unit with a control panel and a tablet displaying the Sysaid mobile application interface. The model number 'SYSGW5048-ES' is printed on the right side of the image.

Caractéristiques techniques	SysGW3648-ES	SysGW5048-ES
Entrée batterie		
Type de batterie	Lithium/plomb	Lithium/plomb
Tension nominale de la batterie (V)	48	48
Tension maximale de charge (V)	60 (réglable)	60 (réglable)
Courant de charge maximum (A)	75	100
Courant de décharge maximum (A)	75	100
Capacité de la batterie (Ah)	50-2000	50-2000
Régulation de la charge des batteries lithium	Adaptation automatique au BMS	Adaptation automatique au BMS
Entrée PV		
Puissance d'entrée maximale (W)	4600	6500
Tension d'entrée maximale (V)	580	580
Plage MPPT (V)	125-550	125-550
Tension d'amorçage (V)	150	150
Plage de tension MPPT en pleine charge (V)	170-500	170-500
Tension d'entrée nominale (V)	360	360
Courant d'entrée maximal (A)	11/11	11/11
Courant maximal de court-circuit (A)	13,8/13,8	13,8/13,8
Nombre d'entrée MPPT	2	2
Nombre de string par entrée MPPT	1	1
Sortie AC (connecté réseau)		
Puissance apparente de sortie nominale (VA)	3680	4600
Puissance apparente maximale de sortie (VA)	3680	5100
Puissance apparente maximale d'entrée du réseau (VA)	7360	9200
Tension nominale de sortie (V)	230	230
Fréquence nominale de sortie (Hz)	50/60	50/60
Courant maximal de sortie (A)	16	24,5
Courant maximal d'entrée du réseau (A)	32	40
Facteur de puissance	1	
TDH	≤ 3%	≤ 3%

Sortie AC (back up)		
Puissance apparente maximale (VA)	3680	4600
Pic de puissance apparente (VA)	5520, 10s	6900, 10s
Courant de sortie maximal (A)	16	20
Tension nominale de sortie (V)	230(±2%)	230(±2%)
Fréquence nominale de sortie (Hz)	50/60 (±0,2%)	50/60 (±0,2%)
TDH	≤ 3%	≤ 3%
Rendement		
Rendement maximal	97,60%	
Rendement de conversion batterie	94%	
Rendement Européen	97%	
Protections		
Dispositif de déconnection	Intégré	
Protection inversion de polarité DC	Intégré	
Détection de la résistance d'isolement	Intégré	
Unité de surveillance du courant de défaut	Intégré	
Protection contre les surintensités	Intégré	
Protection contre les courts circuits à la sortie AC	Intégré	
Protection contre les surtensions	Intégré	
Données générales		
Plage de température de fonctionnement (°C)	-25+60	-25+60
Humidité relative	0-95%	0-95%
Altitude de fonctionnement (m)	≤ 4000	≤ 4000
Système de refroidissement	Convection naturelle	Convection naturelle
Interface utilisateur	LED et Application	LED et Application
Bruit (dB)	≤ 25	≤ 25
communication avec le BMS	RS485; CAN	RS485; CAN
communication avec les équipements de mesure	RS485	RS485
Communication avec le portail SEMS	Wi-Fi	Wi-Fi
Poids (kg)	28	30
Dimensions (LxHxP mm)	516*440*184	516*440*184
Fixation	Murale	Murale
Indice de protection	IP65	IP65
Autoconsommation (W)	≤ 13	≤ 13
Topologie	Isolation haute fréquence	Isolation haute fréquence
Certifications et homologations		
Régulation du réseau	VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1, AS4777.2, G83/2, CEI 0-21, NRS 097-2-1, EN50438	
Régulation de la sécurité	IEC/EN62109-1et2, IEC62040-1	
CEM	EN61000-6-1, EN61000-6-2, EN61000-6-3, EN61000-6-4, EN61000-4-16, EN61000-4-18, EN61000-4-29	

Annexe 2 : Fiche technique du module



Annexe 3 : Horaires d'utilisation des appareils domestiques

Horaires d'utilisation des appareils domestiques		
Horaires	Appareils utilisé	Puissance totale (kW)
00h	Congélateur + réfrigérateur	1
01h	Congélateur + réfrigérateur	1
02h	Congélateur + réfrigérateur	1
03h	Congélateur + réfrigérateur	1
04h	Congélateur + réfrigérateur	1
05h	Congélateur + réfrigérateur	1
06h	microonde + téléviseur + fer a repassé	3,1
07h	Congélateur + réfrigérateur + + microonde + téléviseur	2,1
08h	Congélateur + réfrigérateur + + microonde + téléviseur	2,1
09h	Congélateur + réfrigérateur + + téléviseur	1,3
10h	Congélateur + réfrigérateur + + téléviseur	1,3
11h	Congélateur + réfrigérateur +four électrique + téléviseur	3,8
12h	Four électrique + téléviseur	2,68
13h	Congélateur + réfrigérateur + téléviseur	1,3
14h	Congélateur + réfrigérateur + téléviseur	1,3
15h	Lave-vaisselle + réfrigérateur + congélateur + téléviseur	2,8
16h	Lave-vaisselle + réfrigérateur + congélateur + téléviseur	2,8
17h	Réfrigérateur + congélateur + téléviseur + ordinateur	1,48
18h	Réfrigérateur + congélateur + téléviseur + ordinateur	1,48

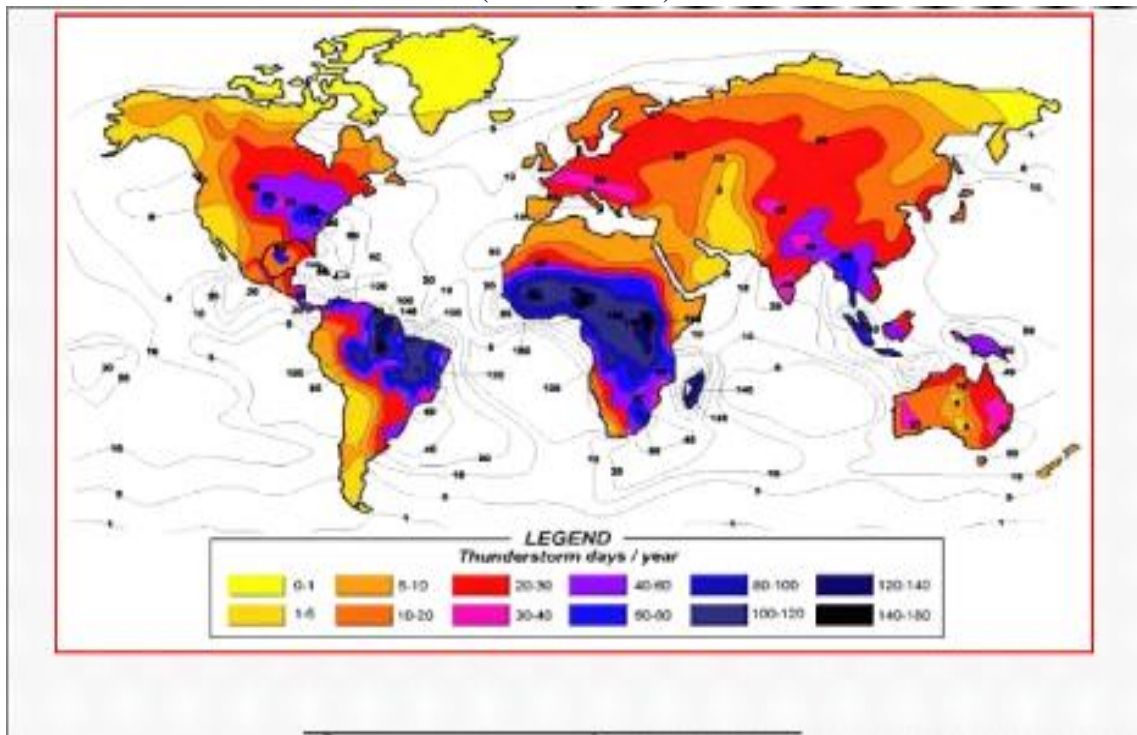
19h	Machine à laver	3
20h	Four électrique + téléviseur + ordinateur	2,98
21h	Réfrigérateur + congélateur + ordinateur + téléviseur	2,48
22h	Réfrigérateur + congélateur + téléviseur + ordinateur	1,48
23h	Réfrigérateur + congélateur + téléviseur + ordinateur	1,48

Annexe 4 : Bilan estimatif de l'installation

Bilan estimatif de l'installation				
Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire(FCFA)	Prix totale(FCFA)
Coffret électrique apparent 36M	U	3	12500	37500
Disjoncteur DC-16A-1000V	U	12	12500	150000
Parafoudre DC type II 20kA	U	6	50000	300000
Disjoncteur AC monophasé 40A	U	6	10000	60000
Disjoncteur AC monophasé 20A	U	12	10000	120000
Parafoudre AC type II 20kA	U	6	47500	285000
Goulotte 100*45	U	3	7000	21000
Tube PVC 63	U	4	4500	18000
Collier colson 10mm	Paquet de 100	1	1500	1500
Collier colson 30mm	paquet de 100	2	3500	7000
Caoutchouc (scotch goudron)	U	3	1000	3000
Cheville de 8	Paquet de 100	1	1000	1000
Vis de 8	Paquet de 100	1	1000	1000
Prise et support pour goulotte 100*45	U	1	4000	4000
Vis et écrou de 6	Paquet de 100	1	250	250
Rondelle plate de 6	paquet de 100	1	150	150

Inverseur manuel 32A	U	6	20000	120000
Boite a grille 70mm ²	U	3	9000	27000
Cosses a sertir de 6mm ² "SC 6-10"	U	14	200	2800
Cosses a sertir de 6mm ²	paquet de 100	1	200	200
Fil souple rouge 25mm ² Cu	m	18	2000	36000
Fil souple jaune-vert 6mm ² Cu	m	150	2000	300000
câble souple 4*6mm ² Cu	m	108	2250	243000
Câble souple 2*6mm ² Cu	m	52	1000	52000
Fil solaire rouge 4mm ² Cu	m	212	250	53000
Fil solaire noir/bleu 4mm ² Cu	m	220	250	55000
Modules de 340Wc de type Sunport	U	48	150000	7200000
Onduleurs de 3,6kW de type Goodwe	U	6	1479370	8876220
Totale				17974620

Annexe 5 : Carte céramique du monde
(VIGHETTI)



BIBLIOGRAPHIE

- BAGRE, D. A. (s.d.). *DIMENSIONNEMENT TECHNIQUE DES INSTALLATIONS PV CONNECTEES AU RESEAU.*
- CAILLAUD, J. (s.d.). *L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE .*
- OUEDRAOGO, R. N. (s.d.). *AUDIT ENERGETIQUE D'UN BATIMENT ADMINISTRATIF DANS LA VILLE DE OUAGADOUGOU.*
- RICAUD, A. (s.d.). *SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES.*
- SORO, D. M. (s.d.). *CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME PV AVEC STOCKAGE.*
- VIGHETTI, S. (s.d.). *SYSTEMES PV RACCORDES AU RESEAU : CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DES ETAGES DE CONVERSION.*
- YOTTO, C. H. (s.d.). *ETUDE ET CONCEPTION D'UNE MINI-CENTRALE PV POUR L'ALIMENTATION D'UNE PARTIE DE L'INSTALLATION ELECTRIQUE DE LA PRESIDENCE DE LA REPUBLIQUE DU BENIN.*