

**UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR**



**UFR Sciences et Technologies**

\*\*\*\*\*

**Département de physique**

\*\*\*\*\*

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master 2**

Mention : Physique et Applications

Spécialité : Physique des Matériaux

**Année académique 2022-2023**

**Etude et réalisation d'un projet d'installation solaires photovoltaïques dans  
le village de Thioffior au sud de Kaolack (Sénégal)**

Présenté par : **Adji Khady FALL**

Sous l'encadrement du Dr Momath NDIAYE

et la Supervision du Pr Moustapha THIAME

Soutenu publiquement le 03/02/2024 devant un jury composé de :

<b>Noms</b>	<b>Prénoms</b>	<b>Grades CAMES</b>	<b>Qualité</b>	<b>Etablissement</b>
<b>KOBOR</b>	DIOUMA	Professeur Titulaire	Président de jury	UFR-ST, UASZ
<b>DIENG</b>	Babacar	Assistant	Rapporteur	UFR-SFI, USSEIN
<b>FAYE</b>	Issa	Assistant	Examineur	UFR-ST, UASZ
<b>NDIAYE</b>	Momath	Maitre-assistant	Encadrant	UFR-SFI, USSEIN
<b>THIAME</b>	Moustapha	Maitre de conférences	Superviseur	UFR-ST, UASZ

## Tables des matières

Tables des matières .....	i
Dédicace.....	iv
Remerciements.....	v
Liste des figures .....	vi
Listes des tableaux.....	vii
Listes des sigles et abréviations .....	viii
RESUME.....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCTION.....	- 1 -
<b>I. GENERALITES SUR LES CONCEPTS DE L'ETUDE .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>I.1. Electrification.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>I.2. Energie solaire photovoltaïque .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>I.3. Dimensionnement.....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>II. PRESENTATION DU PROJET .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>II.1. Présentation du village de Thioffior .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>II.2. Présentation des infrastructures à électrifier.....</b>	<b>- 6 -</b>
<b>II.2.1. Case de santé.....</b>	<b>- 6 -</b>
<b>II.2.2. Ecole primaire .....</b>	<b>- 7 -</b>
<b>II.2.3. Collège .....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>II.3. Collaboration entre l'ENSEA et l'USSEIN.....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>II.4. Objectifs, solutions, mesure de l'impact et financements du projet .....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>II.4.1. Objectifs du projet.....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>II.4.2. Solutions du projet .....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>II.4.3. Mesure de l'impact du projet.....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>II.4.4. Financement du projet.....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>III. DIMENSIONNEMENT .....</b>	<b>- 10 -</b>

<b>III.1. Dimensionnement des infrastructures à électrifier</b> .....	- 10 -
<b>III.2. Les expressions utilisées</b> .....	- 11 -
<b>III.3. Choix des composants</b> .....	- 11 -
<b>III.4. Choix de la tension du système (Usyt)</b> .....	- 11 -
<b>III.5. Dimensionnement des batteries</b> .....	- 12 -
<b>III.6. Régulateur de charge</b> .....	- 13 -
<b>III.7. Calcul du courant du régulateur</b> .....	- 13 -
<b>III.8. Onduleurs</b> .....	- 13 -
<b>III.9. Choix des Câbles</b> .....	- 14 -
<b>III.10. Dimensionnement par EXCEL</b> .....	- 14 -
<b>III.10.1. École Primaire</b> .....	- 14 -
<b>III.10.2. Collège</b> .....	- 15 -
<b>III.10.3. Dispensaire</b> .....	- 17 -
<b>III.11. Dimensionnement par le logiciel PVsyst</b> .....	- 18 -
<b>III.11.1. Ecole Primaire</b> .....	- 19 -
<b>III.11.2. Collège</b> .....	- 20 -
<b>III.11.3. Dispensaire</b> .....	- 23 -
<b>III.12. Comparaison des résultats issus de la feuille Excel et ceux du logiciel PVsyst</b> .....	- 23 -
<b>III.13. Financement du projet</b> .....	- 24 -
<b>IV. Installations</b> .....	- 25 -
<b>IV.1. Matériels</b> .....	- 25 -
<b>IV.2. Diagnostic des endroits du système solaire photovoltaïque</b> .....	- 27 -
<b>IV.3. Installation du système solaire photovoltaïque</b> .....	- 28 -
<b>IV.4. Quelques photos illustratives prises pendant et après les installations</b> .....	- 34 -
<b>V. Maintenance des systèmes PV</b> .....	- 35 -
<b>V.1. Types de maintenances</b> .....	- 36 -
<b>V.2. Plan de maintenance</b> .....	- 36 -

<b>V.2.1. Nettoyage des panneaux.....</b>	<b>- 36 -</b>
<b>V.2.2. Entretien des batteries.....</b>	<b>- 36 -</b>
<b>V.2.3. Entretien régulateur .....</b>	<b>- 37 -</b>
<b>V.2.4. Entretien de l'onduleur .....</b>	<b>- 37 -</b>
<b>V.3. Formation des villageois à la maintenance basique des systèmes solaires photovoltaïques</b>	<b>- 37 -</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>- 38 -</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>- 39 -</b>
<b>ANNEXE .....</b>	<b>- 40 -</b>

## Dédicace

Je dédie ce travail :

- ☞ à toute ma famille, particulièrement à ma mère Awa NDIAYE. Recevez-en ce jour solennel, le témoignage d'une reconnaissance sans cesse pour tous vos efforts consentis pour mon éducation et ma formation. Que votre souci permanent de me voir réussir soit apaisé !
- ☞ à mon très cher époux Babacar FAYE, de m'avoir soutenu et pour sa compréhension j'espère que tu trouveras dans ce travail toute ma gratitude et tout mon amour.
- ☞ à mon père Barra FALL, pour tous les sacrifices quotidiennement consentis pour vos progénitures et le souci de notre réussite académique.

## Remerciements

Je rends grâce à *Allah*, pour tous ses bienfaits et de m'avoir donné la santé et la force me permettant d'accomplir ce travail. Très sincèrement, je voudrais remercier :

☞ Dr Momath NDIAYE, enseignant-chercheur à l'Université du Sine Saloum El hadji Ibrahima NIASS (USSEIN), d'avoir accepté de m'encadrer pour la réalisation de ce mémoire. La rigueur sans faille et la pédagogie exemplaire dont vous avez fait preuve ont constitué ma principale motivation ;

☞ Dr. Moustapha THIAME, Maître de Conférences qui en plus de ses multiples occupations, s'est montré très disponible à superviser ce travail. Vos pertinentes remarques m'ont été d'une grande utilité ;

☞ Pr Diouma KOBOR, d'avoir accepté de présider ce jury malgré ses multiples occupations. Recevez en ces mots mes sincères reconnaissance et admiration ;

☞ Dr Babacar DIENG et Dr Issa FAYE respectivement rapporteur et examinateur de ce jury, vos remarques et suggestions en tant que membres du jury ont contribué énormément à l'amélioration de la qualité scientifique de ce document ;

☞ Dr Ansoumane DIEDHIOU enseignant et chercheur à UASZ pour sa disponibilité, son soutien et ses conseils ;

☞ Dr Babacar DIENG, enseignant-chercheur à l'USSEIN, pour sa disponibilité et ses conseils précieux et avisés ;

☞ l'association étudiante Hum'ENSEA (Ecole Nationale Supérieure de l'Electronique et de ses Applications, Cergy, France) ;

☞ les autorités administratives et traditionnelles du village de Thioffior. Particulièrement à Mr Moussa DIOUF président de l'association des jeunes ainsi que tous ses habitants de l'accueil chaleureux qu'ils nous ont réservé ;

☞ ma belle-mère Adam NGOM pour sa compréhension et toute la famille FAYE ;

☞ tous les membres de ma famille particulièrement mon frère Dame FALL pour son aide précieux à la correction de ce document ;

☞ Tonton Elhadji Ousseynou SEYE ;

☞ tous mes camarades de promotion de master en physique des matériaux de l'Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ) ;

☞ Tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce document.

## Liste des figures

Figure 1 : Schéma simplifié d'un Système Photovoltaïque (PSV).....	- 4 -
Figure 2 : Carte de localisation du village de Thioffior .....	- 6 -
Figure 3 : Case de santé du village Thioffior .....	- 7 -
Figure 4 : Bâtiments de l'école primaire de Thioffior à électrifier .....	- 7 -
Figure 5 : Bâtiments du collège à électrifier .....	- 8 -
Figure 6 : Besoins énergétiques de l'école primaire .....	- 19 -
Figure 7 : Résultats de dimensionnement de l'école primaire .....	- 19 -
Figure 8 : Besoins énergétiques des salles japonaises du collège .....	- 20 -
Figure 9 : Dimensionnement des salles japonaises .....	- 20 -
Figure 10 : Besoins énergétiques du bâtiment en face des salles japonaises .....	- 21 -
Figure 11 : Résultats de dimensionnement du bâtiment en face des salles japonaises .....	- 21 -
Figure 12 : Besoins énergétiques de la salle des professeurs et les salles de derrière.....	- 22 -
Figure 13 : Résultats de dimensionnement de la salle des professeurs et des salles annexes ...	- 22 -
Figure 14 : Besoins énergétiques du dispensaire .....	- 23 -
Figure 15 : Résultats de dimensionnement du dispensaire .....	- 23 -
Figure 16 : Module polycristalline de 24 V/350 W ; Voc = 45,82V et Isc = 9,1A.....	- 26 -
Figure 17 : Batteries GEL de 12 V /150 Ah et 24V 200Ah .....	- 26 -
Figure 18 : Onduleurs 200 W et 600 W .....	- 26 -
Figure 19 : Régulateur de charge PWM 12/24V .....	- 27 -
Figure 20 : Câble LCS 1,5mm <sup>2</sup> .....	- 27 -
Figure 21 : Panneaux solaires montés en série.....	- 28 -
Figure 22 : Panneaux solaires montés en parallèle.....	- 29 -
Figure 23 : Batteries solaires montées en parallèle .....	- 30 -
Figure 24 : Batteries solaires montées en série .....	- 30 -
Figure 25 : Batteries solaires branchées en étoile .....	- 31 -
Figure 26 : schéma synoptique d'une installation d'un système photovoltaïque.....	- 32 -
Figure 27 : Schémas unifilaires des lampes .....	- 34 -
Figure 28 : Branchement des panneaux en parallèle.....	- 34 -

Figure 29 : Branchement disjoncteur-régulateur- l'onduleur.....	- 34 -
Figure 30 : Montage des panneaux du dispensaire .....	- 35 -
Figure 31 : Câblage des lampes d'une salle.....	- 35 -
Figure 33 : Salle de classe électrifiée .....	- 35 -
Figure 32 : Salle d'hospitalisation électrifiée .....	- 35 -

### Listes des tableaux

Tableau 1 : Choix de la tension du système (Usyt).....	- 12 -
Tableau 2 : Caractéristiques des modules et des batteries.....	- 12 -
Tableau 3 : Besoins énergétiques de l'école primaire .....	- 14 -
Tableau 4 : Résultats de dimensionnement de l'école primaire .....	- 15 -
Tableau 5 : Besoins énergétiques du bâtiment en face des salles japonaises .....	- 15 -
Tableau 6 : Résultats de dimensionnement du bâtiment en face des salles japonaises .....	- 15 -
Tableau 7 : Besoins énergétiques de la salle des professeurs et des salles annexes .....	- 16 -
Tableau 8 : Résultats de dimensionnement de la salle des professeurs et les salles de derrières .....	- 16 -
Tableau 9 : Besoins énergétiques salles japonaises.....	- 16 -
Tableau 10 : Résultats de dimensionnement des salles japonaises .....	- 16 -
Tableau 11 : Besoins énergétiques du dispensaire .....	- 17 -
Tableau 12 : Résultats de dimensionnement du dispensaire .....	- 17 -
Tableau 13 : Données météorologiques moyennes mensuelles de Thioffior .....	- 18 -
Tableau 14 : Tableau de comparaison des dimensionnements Excel et PVsyst.....	- 24 -

## Listes des sigles et abréviations

Ah : Ampère heure

CA : Courant alternatif

$C_b$  : capacité de la batterie

CC : Courant continu

$C_s$  : constante de sécurité souvent égale à 1,25

$C_{tot}$  : capacité totale

Daut : Durée d'autonomie

Dt : durée

Econs : consommation journalière de l'installation

Econs : énergie consommée

E<sub>max</sub> : énergie maximale

ENSEA : Ecole Nationale Supérieure de l'Electronique et de ses Applications

FCFA : Franc de la Communauté Financière Africaine.

GAP : Groupe de Physique Appliquée

H : heure

$I_{cc}$  : courant de court-circuit

Ir : Irradiation

KWh : kilo watt heure

$m^2$  : mètre carré

$mm^2$  : millimétré carré

$N_{bp}$  : Nombre de batteries en parallèle

$N_{bs}$  : Nombre de batteries en séries

$N_{mp}$  : Nombre de modules en parallèle

$N_{ms}$  : Nombre de modules en séries

$N_{tb}$  : Nombre totales de batteries

$N_{tm}$  : Nombre totales de modules

$P_c$  : puissance crête

$P_d$  : Profondeur de décharge

$P_i$  : puissance unitaire

$P_m$  : Puissance du module

PV : Photovoltaïque

UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor

$U_b$  : tension de la batterie.

$U_m$  : tension du module

USSEIN : Université du Sine Saloum El Ibrahima NIASS

$U_{syst}$  : tension du système

V: volt

$V_b$  : tension de la batterie

$V_{OC}$  : tension de circuit ouvert

$V_r$  : tension du régulateur

$W_C$ : kilowatt crête

$W_h$ : watt heure

## **RESUME**

Cette étude se justifie par la problématique de l'accès à l'électricité dans certaines zones rurales du Sénégal malgré ses potentialités en énergies renouvelables notamment le solaire photovoltaïque. Elle porte sur la réalisation d'un projet d'installation de systèmes solaires photovoltaïques dans le village de Thioffior au sud de la région de Kaolack. L'objectif de cette étude est d'effectuer l'étude technique et la réalisation d'installations solaires photovoltaïques pour les établissements scolaires (école primaire et collège) et le dispensaire.

Spécifiquement, il a été question : (i) d'effectuer le dimensionnement des installations photovoltaïques du dispensaire, de l'école primaire et du collège du village ; (ii) de procéder à l'installation proprement dite des systèmes solaires photovoltaïques ; (iii) de mettre en place un comité local d'entretien des installations photovoltaïques.

L'étude technique a consisté de faire un dimensionnement par Excel et par le logiciel PVsyst pour connaître les installations requises (panneaux, batteries, régulateurs, onduleurs et sections de câbles) pour chaque infrastructure à électrifier. La connaissance de ces équipements ont permis de procéder à l'installation proprement dite des systèmes solaires photovoltaïques. Sur le plan financier, le coût de réalisation du projet a été de 68 000 000 FCFA. Un comité local d'entretien des installations photovoltaïques a été mise en place après une semaine de formation sur la maintenance basique par un groupe d'étudiants de l'ENSAE et de l'USSEIN et moi-même.

Au terme de cette étude, trois (3) panneaux solaires de puissance 350 Wc, cinq (5) batteries de 12V /150 Ah, un (1) régulateur 12 V/24 V et trois (3) onduleurs de 600 W ont été installés dans le collège pour alimenter quarante-trois (43) lampes de 8 W chacune et une (1) prise de 75 W dans onze (11) salles de classes. Pour l'école primaire, un (1) panneau solaire de puissance 350 Wc, deux (2) batteries de 12 V /150 Ah, un (1) régulateur 12 V/24 V et un (1) onduleur de 600 W ont été installés pour alimenter seize (16) lampes de 8 W chacune dans quatre (4) salles de classes. Et en fin, trois (3) panneaux solaires de puissance 350 Wc, quatre (4) batteries de 12 V/150 Ah et 24 V/200 Ah, un (1) régulateur 12 V/24 V et un (1) onduleur de 600 W ont été installés dans le dispensaire pour alimenter treize (13) lampes de 8 W chacune, deux (2) prises de 75 W chacune, un (1) ordinateur de 225 W et deux (2) ventilateurs de 55 W chacun.

**Mots clés** : Electrification-Energie solaire photovoltaïque-Thioffior-Sénégal

## **ABSTRACT**

This study is justified by the problem of access to electricity in certain rural areas of Senegal despite its potential in renewable energies, particularly solar energy. It concerns the realization of a project to install photovoltaic solar systems in the village of Thioffior in the south of the Kaolack region. The objective of this study is to carry out the technical study and construction of photovoltaic solar installations for educational establishments (primary school and middle school) and the dispensary.

Specifically, the project involved: (i) sizing the photovoltaic installations at the village's elementary school and middle school; (ii) installing the solar photovoltaic systems themselves; (iii) setting up a local photovoltaic maintenance committee. The technical study consisted of sizing using Excel and PVsyst software to determine the installations required (panels, batteries, regulators, inverters and cable cross-section) for each infrastructure to be electrified. The knowledge of these parameters allowed us to proceed with the actual installation of the solar photovoltaic systems. In financial terms, the project cost 68 000 000 FCFA. A local photovoltaic maintenance committee was set up after a week's training on basic maintenance by a group of ENSAE and USSEIN students and myself.

Au terme de cette étude, trois (3) panneaux solaires de puissance 350 Wc, cinq (5) batteries de 12V /150 Ah, un (1) Régulateur 12 V/24 V et trois (3) onduleurs de 600 W ont été installés dans le collège pour alimenter quarante-trois (43) lampes de 8 W chacune et une (1) prise de 75 W dans onze (11) salles de classes. For the elementary school, one (1) 350 Wc solar panel, two (2) 12 V /150 Ah batteries, one (1) 12 V/24 V regulator and one (1) 600 W inverter were installed to power sixteen (16) 8 W lamps in four (4) classrooms. Finally, three (3) 350 Wp solar panels, four (4) 12 V/150 Ah and 24 V/200 Ah batteries, one (1) 12 V/24 V regulator and one (1) 600 W inverter were installed in the dispensary to power thirteen (13) lamps of 8 W each, two (2) sockets of 75 W each, one (1) computer of 225 W and two (2) fans of 55 W each.

**Key words:** Electrification-Solar photovoltaic energy-Thioffior-Senegal

## **INTRODUCTION**

La montée en puissance des pays en voie de développement, de même que l'augmentation de la population mondiale et l'accroissement du revenu moyen par habitant, nous amènent à une hausse des besoins énergétiques (Mambrani, 2014).

Le pétrole est devenu une arme politique, comme l'ont démontré les chocs pétroliers des années 1970 et 1979. Les taxes qui frappent la production du pétrole brut et la vente des produits pétroliers participent de façon importante au budget des Etats. La hausse vertigineuse du prix du pétrole survenue en 1973, des gaz à effet de serre avec ses conséquences sur le climat, l'économie et la santé ont accéléré les recherches sur les sources d'énergie renouvelables pour un développement durable (Mambrani, 2014).

Les principales caractéristiques des énergies renouvelables suscitant l'intérêt qu'on lui porte en Afrique, particulièrement dans la zone intertropicale, restent disponibles, ses coûts de fonctionnement réduits par rapport aux sources d'énergies conventionnelles. Le développement des énergies renouvelables est lié à ses avantages économiques qui grandissent au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminuent. Il y a également des considérations liées à la protection de l'environnement : pas de rejets de polluants (fumées contenant du CO<sub>2</sub> et des NO<sub>x</sub> par les centrales thermiques), pas de dangers radioactifs et de déchets encombrants (centrales nucléaires), possibilité de limitation de l'emploi des Chloro Fluro Carbure (Mambrani, 2014).

L'Afrique dispose d'énormes potentialités en énergies renouvelables très peu exploitées. Ce potentiel africain est de 25% de la biomasse mondiale et 20% des ressources mondiales en énergie. Ainsi, 74% du continent reçoit plus de 1900 kWh/m<sup>2</sup>/an d'énergie solaire et 1440 TWh/an en énergie hydraulique (Yamegueu, 2015). L'électricité est un facteur clé du développement socioéconomique local. Les 70% de la population en Afrique subsaharienne vivent en zones rurales. La raréfaction des ressources en énergies fossiles, le réchauffement climatique (émission de gaz à effet de serre), le faible taux d'accès à l'électricité en Afrique subsaharienne augmentent le sous-emploi de la jeunesse, la pauvreté et le sous-développement rural. Les énergies renouvelables sont des alternatives majeures pour pallier à ces problèmes (Yamegueu, 2015).

Avec en moyenne 3000 heures d'ensoleillement par an et une énergie journalière d'irradiation globale de 5,8 kWh/m<sup>2</sup>/jour (PLHA, 2014), le Sénégal dispose d'un potentiel important favorable à la valorisation de cette ressource. Son exploitation s'est faite à travers deux sous filières : la sous filière solaire photovoltaïque et la sous filière solaire thermique (Senpetrogaz, 2021).

C'est dans ce contexte que l'association étudiante l'HUM'ENSEA (Ecole Nationale Supérieure de l'Electronique et de ses Applications), Cergy, France, en partenariat avec l'Université du Sine Saloum El Hadji Ibrahima NIASS (USSEIN) de Kaolack, a eu l'initiative de contribuer à l'électrification du village de Thioffior à partir de l'énergie photovoltaïque. Cette étude qui s'est inscrite dans le cadre de cette collaboration entre l'USSEIN et l'UASZ, nous a permis de mettre en pratique les connaissances apprises tout au long de notre formation universitaire.

L'objectif général de cette étude était d'effectuer l'étude technique et la réalisation d'installations solaires photovoltaïques pour les établissements scolaires (école primaire et collège) et le dispensaire.

Spécifiquement, il s'agissait :

- ❖ d'effectuer le dimensionnement des équipements photovoltaïques de l'école primaire, du collège et du dispensaire ;
- ❖ de procéder à l'installation proprement dite des systèmes solaires photovoltaïques ;
- ❖ de mettre en place un comité local d'entretien des installations photovoltaïques.

Ce mémoire comporte d'abord une introduction générale, ensuite cinq (5) chapitres et enfin une conclusion générale retraçant les principaux bénéfices et difficultés rencontrés le long de cette étude ainsi que les principales recommandations formulées.

Les cinq (5) chapitres sont structurés de la manière suivante :

- ☞ un premier chapitre qui aborde sur une généralité sur les concepts de l'étude ;
- ☞ deuxièmement, un chapitre consacré à la présentation du projet ;
- ☞ un troisième chapitre portant sur le dimensionnement ;
- ☞ un quatrième chapitre qui présente les résultats de l'installation proprement dite,
- ☞ un cinquième et dernier chapitre qui met en évidence le plan de maintenance des installations.

## **I. GENERALITES SUR LES CONCEPTS DE L'ETUDE**

### **I.1. Electrification**

L'électrification c'est le fait de doter un matériel électrique, une installation ou un ouvrage de l'énergie électrique. L'accès à l'électricité est l'un des défis qui n'est toujours pas encore relevé par la grande partie des Etats en Afrique Sub-saharienne et plus particulièrement en zone rurale qui est un milieu caractérisé d'une part, par la prépondérance de l'agriculture comme secteur économique et d'autre part par le manque d'infrastructures et la faible densité d'habitat (Senpetrogaz, 2021).

### **I.2. Energie solaire photovoltaïque**

Par définition le mot "photovoltaïque" vient du grec "photo" qui signifie lumière et de "voltaïque" qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754-1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité (Boukhers, 2017). En d'autres termes, un système solaire photovoltaïque permet de produire du courant électrique par transformation directe de l'énergie provenant de la lumière du soleil en énergie électrique.

L'énergie solaire est l'énergie rayonnée par le soleil, elle est à l'origine de nombreux phénomènes physiques tels que la photosynthèse, le vent ou le cycle de l'eau. Elle provient de la fusion nucléaire se produisant au cœur du Soleil. Elle circule dans l'espace sous forme d'un rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est composé de photons, petites particules d'énergie élémentaires. Le soleil est la première et la principale source d'énergie renouvelable. Ces rayons sont retenus par des capteurs solaires vitrés et sont transformés pour produire de l'énergie électrique ou pour réchauffer de l'eau destinée à un usage sanitaire.(Khadraoui, 2017).

### **I.3. Dimensionnement**

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque consiste à déterminer en fonction de l'ensoleillement, les sollicitations et le profil de charge, l'ensemble des éléments de la chaîne du système photovoltaïque, à savoir, la taille du générateur (puissance crête), la capacité de stockage, le cas échéant la puissance d'un convertisseur, voire l'inclinaison des modules et la tension d'utilisation. Dimensionner un système photovoltaïque (Figure 1) requiert une importance capitale dans la mesure où il a un impact sur la qualité le coût et la durée de vie des installations photovoltaïques (Thiam, 2023).

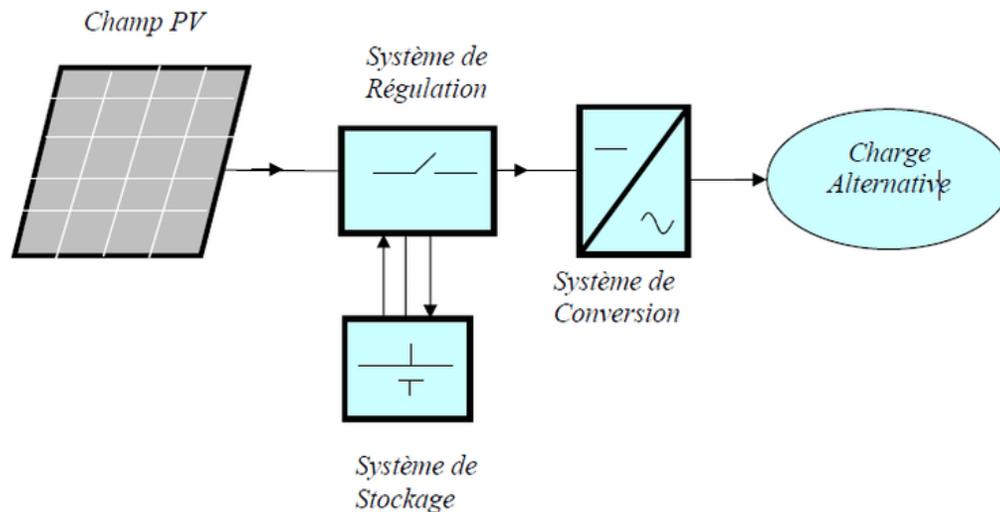


Figure 1 : Schéma simplifié d'un Système Photovoltaïque (PSV)

L'exploitation de l'énergie solaire, nécessite des panneaux solaires photovoltaïques qui sont placés sur les toits des bâtiments ou sur tout autre endroit, où ils pourraient être en contact direct avec les rayons solaires. Ces panneaux sont composés de cellules photovoltaïques qui retiennent la lumière du soleil grâce au semi-conducteur présent dans chacune de ces cellules et qui relâche des électrons pour créer de l'électricité. Cette dernière peut être transformée en courant alternatif à l'aide d'un onduleur et utilisée immédiatement (utilisation individuelle) ou stockée dans les batteries ou encore injectée dans le réseau (Khadraoui, 2017). Ainsi, le dimensionnement détaillé d'une installation a pour objectif de fixer les modalités de construction, en fonction de critères techniques, économiques et d'efficacité énergétique (Dieng, 2021).

## **II. PRESENTATION DU PROJET**

### **II.1. Présentation du village de Thioffior**

Thioffior est un village de la commune de Ndiaffate, de l'arrondissement de Ndiédieng dans le département de Kaolack. Il est situé à proximité des villages de Keur Sélé Diabong et Keur Baka à 8 Km du chef-lieu de l'arrondissement avec une latitude de 14,02126° Nord et une longitude de -16,15015° ou 16°9'1'' (Figure 2).

Le climat est de type soudano-sahélien marqué par des vents avec une longue saison sèche de novembre à mai, et une saison humide et pluvieuse qui s'étend approximativement de mi-juin à mi-octobre. Le relief est relativement plat et la végétation est essentiellement constituée d'herbes, d'arbustes et d'arbres qui sont menacées par la salinisation des sols.

L'économie du village repose essentiellement sur l'agriculture qui constitue, d'une part la principale source de revenu de la population, et d'autre part la grande activité consommatrice de main d'œuvre. Elle est cependant tributaire de la pluviométrie qui la rend aléatoire. Les systèmes agraires sont dominés par les exploitations de type familial. Les spéculations cultivées dans le village sont : l'arachide, le mil, le sorgho, le maïs, le coton et les légumes.

L'élevage est de type extensif avec un système traditionnel et contemplatif. Il joue un rôle très important dans l'économie du village surtout dans le secteur agricole où les animaux de trait (chevaux, ânes, bœufs de labour) ont contribué à l'augmentation des productions et à l'allègement des efforts physiques. La restauration de la fertilité des sols passe par l'emploi de fumier en général qui joue également un rôle majeur sur les revenus agricoles. L'élevage constitue aussi une source de revenus pour la population à travers la vente du lait ou du bétail.

La population de Thioffior est constituée majoritairement de jeunes. Elle est également composée de wolof, peulh et de sérère. Sur le plan confessionnel, les musulmans sont majoritaires suivis par les chrétiens.

Le village de Thioffior dispose d'une école primaire, d'un collège, une case de santé, d'un château d'eau et d'une mosquée. Nous comptons 950 élèves et 1500 habitants bénéficiaires du projet (PLHA, 2014).

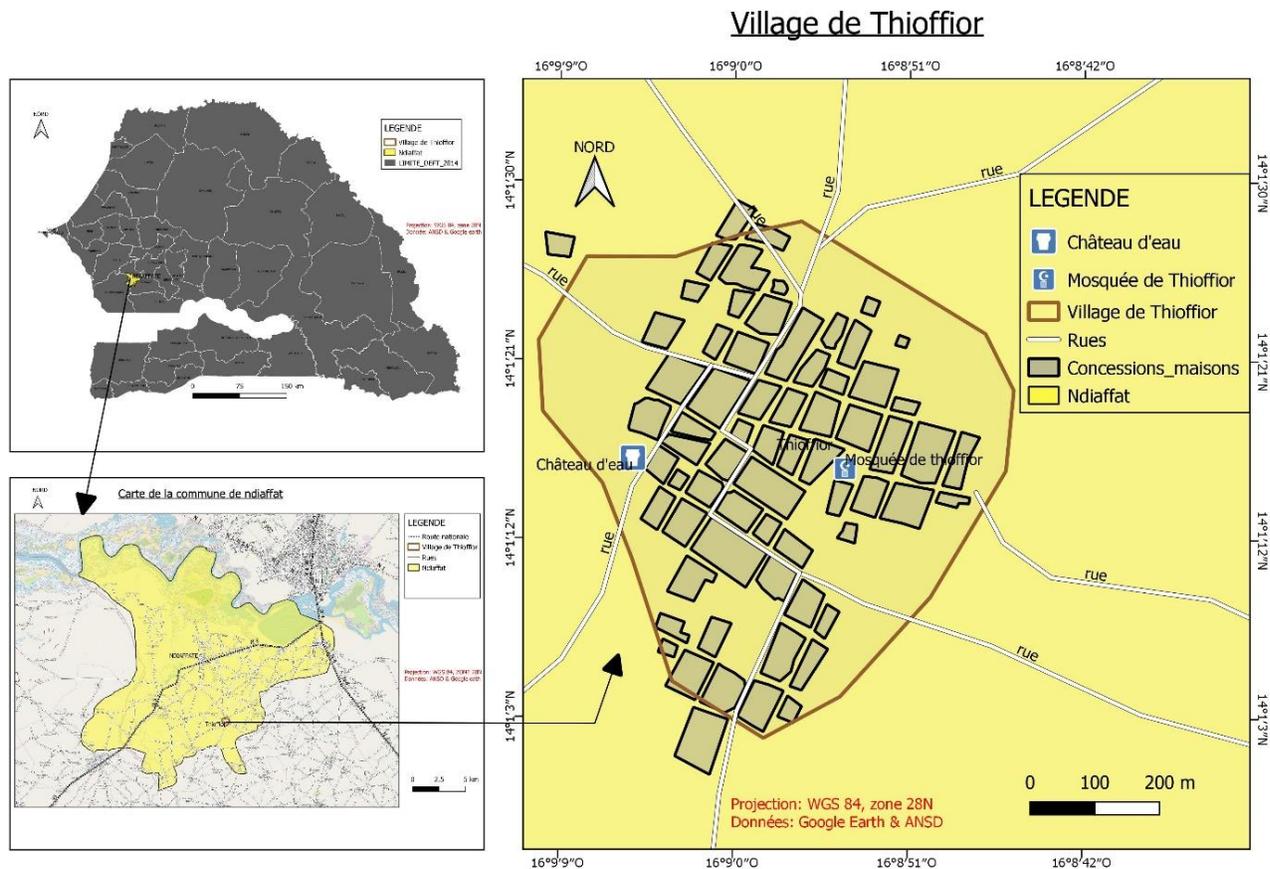


Figure 2 : Carte de localisation du village de Thioffior

## II.2. Présentation des infrastructures à électrifier

### II.2.1. Case de santé

La case de santé de Thioffior est composée de deux bâtiments et une salle annexe d'hospitalisation (Figure 3). Le premier bâtiment est composé d'une salle d'accouchement et d'hospitalisation, d'une salle de consultation, d'une salle de pharmacie, d'un couloir d'attente et deux Toilettes (Figure 3A). Le deuxième bâtiment est réservé pour le logement du personnel soignant. Dans le cadre de cette étude, seul le premier bâtiment a été électrifié au solaire, car les ressources financières et techniques n'étaient pas suffisantes (Figure 3C). Il faut noter aussi que le dispensaire disposait déjà de l'électricité mais qui ne fonctionne plus par défaut de factures impayées.

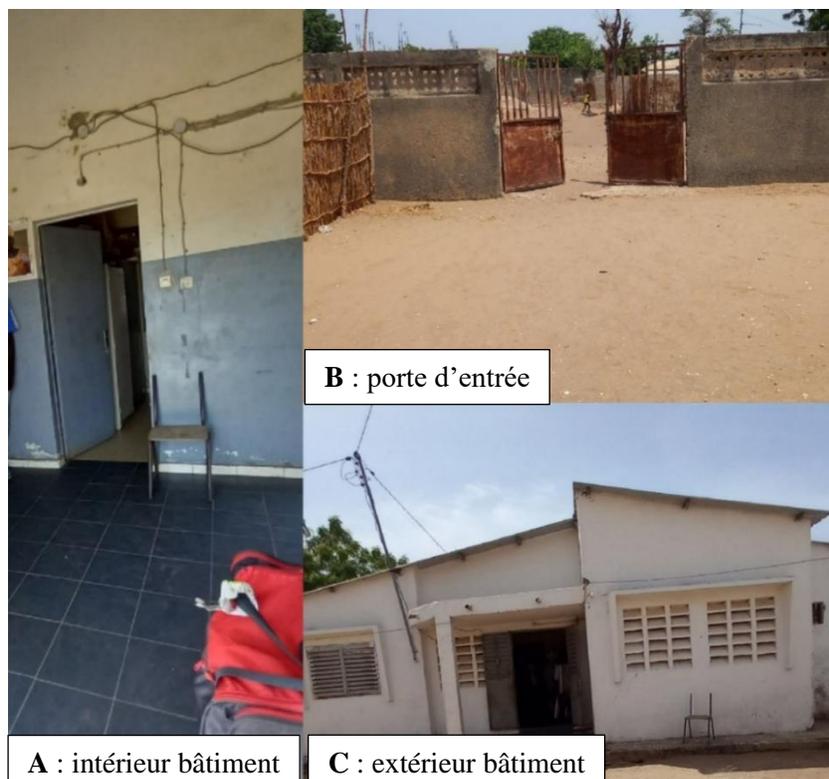


Figure 3 : Case de santé du village Thioffior

### II.2.2. Ecole primaire

L'école primaire de Thioffior est composée de 6 bâtiments dont 2 salles pour chaque bâtiment ce qui fait un total de 12 salles et deux toilettes. Seul deux (2) bâtiments ont été électrifié, c'est-à-dire 4 salles de classe (Figure 4). Chaque bâtiment contient deux salles de classe avec 4 lampes chacune.



Figure 4 : Bâtiments de l'école primaire de Thioffior à électrifier

### II.2.3. Collège

Le collège est composé de 5 bâtiments dont les 4 constituent des salles de classe (Figure 5B, C et D) et le cinquième constitue une direction comprenant le bureau du principal et la salle des professeurs (Figure 5A). Chaque bâtiment contient deux salles de classe avec 4 lampes chacune.

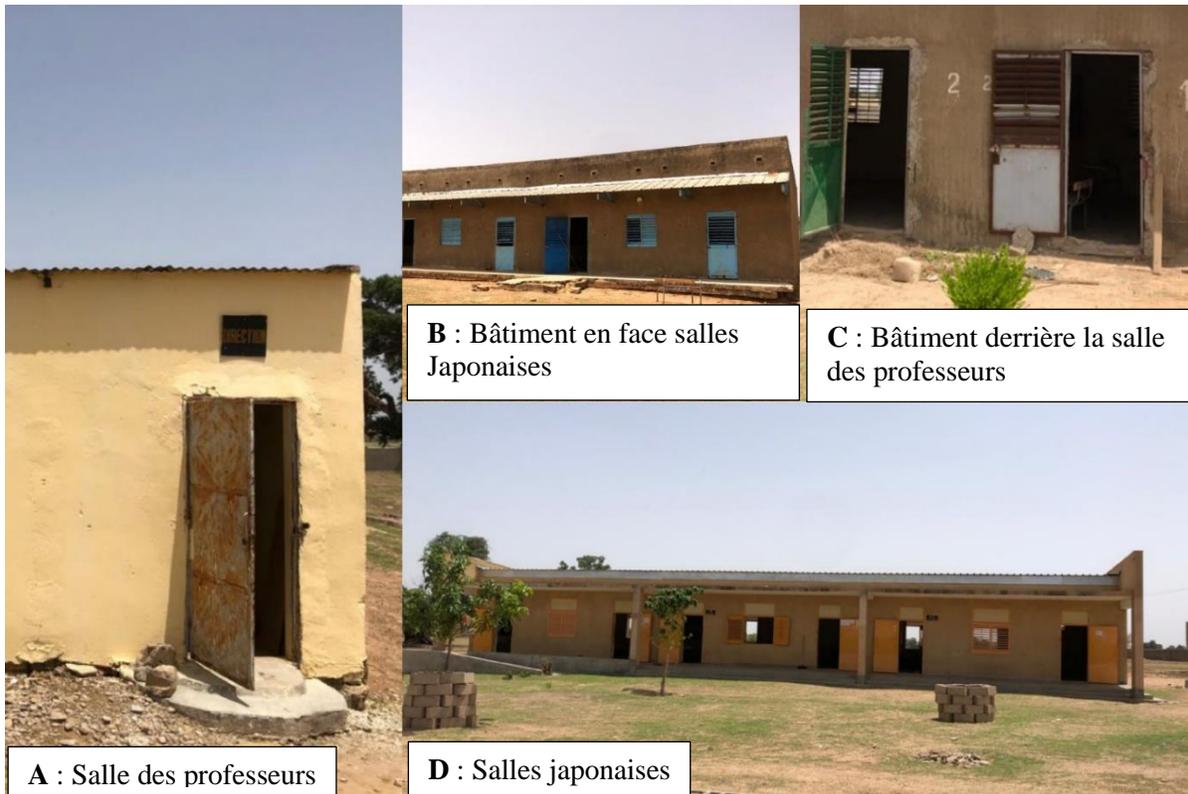


Figure 5 : Bâtiments du collège à électrifier

### II.3. Collaboration entre l'ENSEA et l'USSEIN

ENSEA (Ecole Nationale Supérieure de l'Electronique et de ses Applications, Cergy, France) est une école d'ingénierie publique formant des électroniciens, énergéticiens, informaticiens et mécaniciens de niveau Master. Chaque année, l'association étudiante Hum'ENSEA (association à but non lucratifs) organise des missions d'aménagement du territoire et d'électrification dans différents pays du monde afin de mettre en pratique leurs enseignements en collaboration avec des institutions locales et, bien souvent, à l'initiative d'étudiants eux-mêmes originaires des régions visitées. Cette année, l'équipe d'Hum'ENSEA effectue une mission d'installation de systèmes solaires photovoltaïques et de système de toilettes publiques dans le village de Thioffior, au sud de Kaolack, d'où sont originaires deux des étudiants impliqués dans l'organisation du projet. Les étudiants sont accompagnés d'un enseignant en ingénierie électrique avec ceux de l'Université de

Sine Saloum El Ibrahima NIASS (USSEIN) spécialisés en Energies Renouvelables ont assisté le chantier et participé à la formation de l'entretien des installations par les habitants. Nous avons partagé cette expérience avec les étudiants de l'USSEIN dans une démarche de collaboration universitaire et de partage des compétences.

Nous avons organisé une collaboration entre les étudiants de l'ENSEA et de l'USSEIN dans le cadre de ce chantier technique afin que les deux groupes puissent construire ensemble ce beau projet. Les étudiants de l'ENSEA ont financé entièrement le matériel installé. La participation de l'USSEIN est uniquement humaine et technique, dans l'idée de créer une expérience d'apprentissage et de partage collective pour les étudiants des deux institutions.

## **II.4. Objectifs, solutions, mesure de l'impact et financements du projet**

### **II.4.1. Objectifs du projet**

Le projet TABAX AK ENSEA est une organisation créée par une association des étudiants de l'ENSEA de France. Le projet permettra de :

- ☞ favoriser l'accès à une éducation de qualité (bénéficiaire 950 élèves) ;
- ☞ répondre à des besoins primaires liés à l'eau (bénéficiaire 1500 habitants) ;
- ☞ répondre à des besoins primaires liés à l'électricité (bénéficiaire 1500 habitants).

### **II.4.2. Solutions du projet**

Les solutions apportées par ce projet pour le village de Thioffior et ses populations sont :

- ☞ la rénovation et l'éclairage des salles de classes ;
- ☞ l'apport en matériel scolaire et informatique ;
- ☞ l'implémentation d'un système de récupération d'eau de pluie ;
- ☞ l'installation de panneaux solaires ;
- ☞ la formation à la maintenance des installations pour la population

### **II.4.3. Mesure de l'impact du projet**

Pour mesurer l'impact du projet, nous avons considéré les phases avant (en amont), pendant et après (en aval) du projet.

En amont :

- ☞ réalisation d'analyse d'impact (SWOT, Matrices des risques)
- ☞ test de certaines solutions afin de vérifier leur efficacité

Pendant :

☞ collaboration avec les villageois et les étudiants sénégalais afin de les former à la maintenance des installations.

En aval :

☞ retour des étudiants sénégalais six mois après la mission ;

☞ retour des villageois (amélioration plus ou moins importantes de leurs conditions de vie).

#### **II.4.4. Financement du projet**

Chaque projet nécessite un financement et à travers les partenaires, les campagnes, les courses curatives et les concerts TABAX AK ENSEA a pu réaliser le projet par le biais de quatre (4) paliers :

☞ installation de dix (10) panneaux solaires pour 15 000 euros ;

☞ implémentation de toilettes sèches pour 18 000 euros ;

☞ installation d'un système de récupération d'eau de pluie pour 32 000 euros ;

☞ Aide financier à la rénovation des classes pour 40 000 euros.

### **III. DIMENSIONNEMENT**

#### **III.1. Dimensionnement des infrastructures à électrifier**

L'objectif de cette partie est d'effectuer le dimensionnement de l'installation photovoltaïque de l'école primaire, du collège et du dispensaire de la localité.

En ce qui concerne le collège, cinq (5) bâtiments ont été répertoriés et partagés en 3 dimensionnements : Salle japonaise (24 lampes de 8 W), salle des professeurs et les salles qui sont derrière les salles japonaises (11 lampes de 8 W et une prise) et l'autre bâtiment en face des salles japonaises (8 lampes de 8 W) pour une autonomie de 6h par jour.

Pour l'école primaire, les deux (2) salles de classe de chaque bâtiment ont chacune 4 lampes de 8W pour une autonomie de 6 h par jour.

Concernant le dispensaire, le bilan est de 13 lampes de puissance 8 W, deux (2) ventilateurs de 55 W et deux (2) prises pour une autonomie de 8 h par jour.

L'école primaire, le collège et le dispensaire sont alimentés en courant alternatif ce qui nécessite le dimensionnement d'un onduleur, d'un régulateur et des batteries pour le stockage. Le dimensionnement commencera par un bilan de puissance, en suite aux choix des batteries, des panneaux solaires, du régulateur et va terminer par le choix de l'onduleur.

### III.2. Les expressions utilisées

#### ☞ Bilan d'énergie

$$E_{cons} = \sum_{k=1}^n Ni \times Pi \times Dt$$

Équation 1: calcul de l'énergie consommée

$$E_{max} = 1.25 \times E_{cons}$$

Équation 2 : calcul de l'énergie maximale

#### ☞ Puissance crête

Pour la puissance crête nous utiliserons la formule suivante :

$$PC = \frac{E_{max} * \left(\frac{1KWH/J}{m^2}\right)}{Ir}$$

Équation 3 : Calcul de la puissance crête

$E_{max}$  : l'énergie maximale en Wh

$Ir$  : l'irradiation en KWh/m<sup>2</sup>/jr

### III.3. Choix des composants

#### ☞ Panneaux solaires :

Comme nous avons décidé de privilégier la puissance plutôt qu'à la quantité, nous utiliserons des panneaux polycristallins d'une puissance de 350 Watts. Ces derniers coûtent moins chers que les monocristallins et sont également recommandés pour les régions très ensoleillées.

$$N_{ms} = \frac{U_{syst}}{U_m}$$

Équation 4 : calcul du nombre de module en séries

$$N_{mp} = \frac{P_c}{P_m \times N_{ms}}$$

Équation 5 : calcul du nombre de module en parallèles

Avec :  $P_c$  : Puissance crête ;  $P_m$  : puissance du module

$$N_{tm} = N_{ms} * N_{mp}$$

Équation 6 : calcul du nombre total de batteries

$N_{tm}$  : Nombre totales de modules

$N_{ms}$  : Nombre de modules en séries

$N_{mp}$  : Nombre de modules en parallèle

### III.4. Choix de la tension du système ( $U_{syst}$ )

La valeur de la tension recommandée dépend de celle de la puissance crête de l'installation.

Tableau 1 : Choix de la tension du système (Usyt)

Puissance de l'installation $P_{syst}$ en kWc	Tension recommandée (V)
$P_{syst} \leq 0,5$	12
$0,5 < P_{syst} \leq 2$	24
$2 < P_{syst} \leq 10$	48
$P_{syst} > 10$	96

### III.5. Dimensionnement des batteries

Elles stockent l'énergie provenant des panneaux photovoltaïques pour ensuite la restituer pendant la nuit ou les périodes de faible ensoleillement. Selon la technologie, la durée de vie moyenne des batteries est estimée entre 3 et 15 ans. Mais généralement, elles ne tiennent pas plus de 10 ans du fait des conditions climatiques et plus particulièrement la température. Pour les batteries nous avons utilisé des batteries au plomb de 12 V-150 Ah, ces dernières présentent deux avantages principaux : le coût et la fiabilité mais également en termes de recyclage.

Tableau 2 : Caractéristiques des modules et des batteries

Irradiation	5,7 kWh/m <sup>2</sup> /j
Tension du module	38 V
Puissance module	350 W
Autonomie	2 j
Profondeur de décharge	80%
Tension batterie ( $V_r$ )	12 V
Capacité batterie ( $C_b$ )	150 Ah
Courant de court-circuit	9,1 A
Tension de circuit ouvert	45,82 V
Kt	0,55

$$Nbs = \frac{v_r}{v_b}$$

Équation 7 : calcul du nombre de batteries en séries

$$Nbp = \frac{C_{tot}}{C_b}$$

Équation 8 : calcul du nombre de batteries en dérivation

$$C_{tot} = \frac{E_{cons} \times D_{aut}}{U_{syst} \times P_d} * 1,25$$

Équation 9 : calcul de la capacité total des batteries

$$N_{tb} = N_{bs} * N_{bp}$$

Équation 10 : calcul du nombre total de batteries

$E_{cons}$  : consommation journalière de l'installation

$U_{syst}$  : tension du système

$P_d$  : Profondeur de décharge

$U_b$  et  $C_b$  : tension et capacité d'une batterie.

$D_{aut}$  : Durée d'autonomie

### III.6. Régulateur de charge

Le régulateur permet de rallonger la durée de vie des batteries en veillant sur la charge excessive et la décharge profonde de ces dernières, il y a deux (2) types de régulateurs PWM et MPPT. Pour notre cas nous partirons sur les régulateurs PWM. Ce type de régulateur constitue une bonne alternative pour les petites installations ou dans les climats où la lumière du soleil est abondante. Ils offrent également le meilleur rapport efficacité prix.

$$U_{max} = 1,1 * N_{ms} * V_{oc}$$

Équation 11 : calcul de la tension maximale du régulateur

Avec :

$N_{ms}$  : nombre de module en séries

$V_{oc}$  : tension à vide d'un module

### III.7. Calcul du courant du régulateur

$$I_{rég} = N_{mp} * I_{cc} * CS$$

Équation 12 : calcul du courant de démarrage du régulateur

$N_{mp}$ : nombre de module en parallèle ;

$I_{cc}$  : courant de court-circuit

$CS$ : constante de sécurité souvent égale à 1,25

### III.8. Onduleurs

Les onduleurs assurent la conversion de la tension continue en tension alternative. Dans la plupart des centrales d'aujourd'hui, on rencontre de plus en plus des onduleurs multi fonctionnels ou à batterie qui gèrent les fonctions du régulateur et de l'onduleur. Il en existe également d'autres types comme l'onduleur photovoltaïque, l'onduleur string et l'onduleur central pour les centrales de grandes puissances. Nous partirons sur des onduleurs de type PWM de 200W,150Ah et de

600W,200Ah hors réseau qui sera connecté à nos batteries car le choix de l'onduleur dépend de certains paramètres comme :

- ❖  $U_{max}=1,1 \times N_{ms} \times V_{oc}$
- ❖  $U_{co} * N_{ms} < U_{max}, \text{ ond}$  : sinon l'onduleur sera détruit ;
- ❖  $U_m * N_{ms} > U_{min}, \text{ ond}$  où  $U_m$  est la tension nominale d'une chaîne ;
- ❖  $I_{cc} < I_{max}, \text{ ond}$
- ❖  $0,7 < P_{ond} / P_{syst} < 1,2$

### III.9. Choix des Câbles

Les câbles sont les éléments qui transportent l'énergie électrique d'un composant vers un autre. Ils doivent être bien dimensionnés, car un mauvais dimensionnement des câbles peut conduire à des pertes d'énergies non négligeable et par conséquent exposer l'installation à des risques de surchauffe ou même d'incendie. La section des câbles est déterminée en fonction de l'intensité du courant exprimée en A et de la distance à parcourir. La section standard d'un câble solaire varie entre 4 et 6 mm<sup>2</sup> ce qui convient à la plupart des installations, elle sera donc la valeur supérieure standard la plus proche de la valeur calculée. Quelques valeurs standards des sections sont : 1,5 mm<sup>2</sup> ; 2,5 mm<sup>2</sup> ; 4 mm<sup>2</sup> ; 6 mm<sup>2</sup> ; 10 mm<sup>2</sup> ; 16 mm<sup>2</sup> ; 25 mm<sup>2</sup> ; 35 mm<sup>2</sup> ; 50 mm<sup>2</sup> ; 70 mm<sup>2</sup> ; 95 mm<sup>2</sup> ; 120 mm<sup>2</sup>... Nous avons utilisé pour notre projet d'après les calculs la section 2.5 mm<sup>2</sup>.

$$S(\text{mm}^2) = \frac{2\rho \times L \times I}{U_A \times \varepsilon} \quad \text{Équation 13 : section du câble DC}$$

Avec :

$\rho$  : est la résistivité du câble ( $\Omega.m$ ) qui dépend du matériau. Elle est de  $1,7.10^{-8} \Omega.m$  pour un câble en cuivre ;

L : L est la longueur du câble en m ;

I : est le courant que traverse le câble en A ;

$\varepsilon$  : est la chute de tension en V ;

$U_A$  : est la tension au départ du câble en V.

### III.10. Dimensionnement par EXCEL

Le dimensionnement par Excel a pour but de calculer le bilan énergétique pour déterminer le nombre de panneaux (en série et en parallèle), nombre de batteries (en série et en parallèle), du régulateur et leurs caractéristiques. En utilisant les expressions ci-dessus.

#### III.10.1. École Primaire

Tableau 3 : Besoins énergétiques de l'école primaire

Désignations	Nombres	CC/CA	Puissance (W)	Durée (h)	Puissance (W)	Econs (Wh/j)
Lampes	16	CA	8	6	128	768

Tableau 4 : Résultats de dimensionnement de l'école primaire

Econs (Wh/j)	768
P <sub>C</sub> (Wc)	168,42
P <sub>syst</sub> (W)	350
U <sub>syst</sub> (V)	12
N <sub>ms</sub>	1
N <sub>mp</sub>	1
N <sub>tm</sub>	1
C <sub>tot</sub> (Ah)	200
N <sub>bs</sub>	1
N <sub>bp</sub>	2
N <sub>tb</sub>	2
P <sub>min</sub> onduleur (W)	245
P <sub>max</sub> onduleur (W)	420
U <sub>min</sub> onduleur (V)	12
U <sub>max</sub> onduleur (V)	45,82
U <sub>mx</sub> régulateur (V)	50,402
I <sub>rég</sub> (A)	10,92

### III.10.2. Collège

#### ❖ Bâtiment des salles japonaises

Tableau 5 : Besoins énergétiques du bâtiment en face des salles japonaises

Désignations	Nombres	CC/CA	Puissance (W)	Durée (h)	Puissance (W)	Econs (Wh/j)
Lampes	24	CA	8	6	192	1152

Tableau 6 : Résultats de dimensionnement du bâtiment en face des salles japonaises

Econs (Wh/j)	1152
P <sub>C</sub> (Wc)	252,63
P <sub>syst</sub> (W)	350
U <sub>syst</sub> (V)	12
N <sub>ms</sub>	1
N <sub>mp</sub>	1
N <sub>tm</sub>	1
C <sub>tot</sub> (Ah)	300
N <sub>bs</sub>	1
N <sub>bp</sub>	2
N <sub>tb</sub>	2
P <sub>min</sub> onduleur (W)	245
P <sub>max</sub> onduleur (W)	420

Umin onduleur (V)	12
Umax onduleur (V)	45,82
Umax régulateur (V)	50,402
I régulateur (A)	10,92

### ❖ Salle des professeurs

Tableau 7 : Besoins énergétiques de la salle des professeurs et des salles annexes

Désignations	Nombres	CC/CA	Puissance (W)	Durée (h)	Puissance (W)	Econs (Wh/j)
Lampes	11	CA	8	6	88	528
Prise	1	CA	75	6	75	450
<b>Total</b>					<b>163</b>	<b>978</b>

Tableau 8 : Résultats de dimensionnement de la salle des professeurs et les salles de derrière

Econs (Wh/j)	978
P <sub>C</sub> (Wc)	214,47
P <sub>syst</sub> (W)	350
U <sub>syst</sub> (V)	12
N <sub>ms</sub>	1
N <sub>mp</sub>	1
N <sub>tm</sub>	1
C <sub>tot</sub> (Ah)	254,68
N <sub>bs</sub>	1
N <sub>bp</sub>	2
N <sub>tb</sub>	2
P <sub>min</sub> onduleur (W)	245
P <sub>max</sub> onduleur (W)	420
U <sub>min</sub> onduleur (V)	12
U <sub>max</sub> onduleur (V)	45,82
U <sub>max</sub> régulateur (V)	50,402
I régulateur (A)	10,92

### ❖ Bâtiment en face les salles japonaises

Tableau 9 : Besoins énergétiques salles japonaises

Désignations	Nombres	CC/CA	Puissance (W)	Durée (h)	Puissance (W)	Econs (Wh/j)
Lampes	8	CA	8	6	64	384

Tableau 10 : Résultats de dimensionnement des salles japonaises

Econs (Wh/j)	384
P <sub>C</sub> (Wc)	84,21
P <sub>syst</sub> (W)	350
U <sub>syst</sub> (V)	12
N <sub>ms</sub>	1

Nmp	3
Ntm	3
Ctot (Ah)	100
Nbs	1
Nbp	1
Ntb	1
Pmin onduleur (W)	245
Pmax onduleur (W)	420
Umin onduleur (V)	12
Umax onduleur (V)	45,82
Umax régulateur (V)	50,402
I régulateur (A)	10,92

### III.10.3. Dispensaire

Tableau 11 : Besoins énergétiques du dispensaire

Désignations	Nombres	CC/CA	Puissance W)	Durée (h)	Puissance (W)	Econs (Wh/j)
Lampes	13	CA	8	6	104	624
Prises	2	CA	75	8	150	1200
Ordinateurs	1	CA	225	8	225	1800
Ventilateurs	2	CA	55	8	110	880
<b>Total</b>					<b>589</b>	<b>4504</b>

Tableau 12 : Résultats de dimensionnement du dispensaire

Econs (Wh/j)	4504
P <sub>c</sub> (Wc)	1022,80
P <sub>syst</sub> (W)	350
U <sub>syst</sub> (V)	24
N <sub>ms</sub>	1
N <sub>mp</sub>	3
N <sub>tm</sub>	1
Ctot (Ah)	607,29
N <sub>bs</sub>	1
N <sub>bp</sub>	4
N <sub>tb</sub>	4
Pmin onduleur(W)	245
Pmax onduleur(W)	420
Umin onduleur(V)	24
Umax onduleur(V)	45,82
Umax régulateur(V)	50,402
I régulateur(A)	32,76

A partir de ces dimensionnements par Excel, nous avons constaté que l'énergie journalière de la case de santé est plus importante que celle de l'école primaire et du collège. Cela peut être expliqué par le fait qu'il y a plus d'appareils au niveau de la case de santé.

### III.11. Dimensionnement par le logiciel PVsyst

PVsyst est un logiciel de simulation qui offre de nombreux outils pédagogiques et pratiques performants pour les systèmes photovoltaïques. Il permet d'importer les données météo d'une douzaine de sources différentes ainsi que des données personnelles. Il est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec un guide pour le développement d'un projet. PVsyst est développé initialement par le Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'université de Genève ([www.unige.ch](http://www.unige.ch)). Le logiciel Pvsyst permet de confirmer les résultats obtenus par Excel.

Tableau 13 : Données météorologiques moyennes mensuelles de Thioffior

	<b>GlobHor</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>GlobEff</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>E_Avail</b> kWh	<b>EUnused</b> kWh	<b>E_Miss</b> kWh	<b>E_User</b> kWh	<b>E_Load</b> kWh	<b>SolFrac</b> ratio
<b>January</b>	138.0	156.1	133.0	0.004	10.85	129.5	140.4	0.923
<b>February</b>	142.6	153.4	128.8	0.008	1.97	124.8	126.8	0.984
<b>March</b>	182.4	185.1	152.3	3.764	0.00	140.4	140.4	1.000
<b>April</b>	186.3	176.9	145.3	5.841	0.00	135.8	135.8	1.000
<b>May</b>	187.0	167.6	139.3	0.000	7.03	133.3	140.4	0.950
<b>June</b>	177.5	155.2	130.8	0.004	8.23	127.6	135.8	0.939
<b>July</b>	185.9	163.5	138.7	0.012	6.54	133.8	140.4	0.953
<b>August</b>	174.3	161.0	136.9	0.000	10.92	129.4	140.4	0.922
<b>September</b>	154.8	152.3	128.8	1.425	14.74	121.1	135.8	0.891
<b>October</b>	156.7	164.2	137.3	0.000	6.69	133.7	140.4	0.952
<b>November</b>	138.4	154.7	129.7	0.000	13.19	122.7	135.8	0.903
<b>December</b>	130.8	149.5	127.7	0.000	19.03	121.3	140.4	0.864
<b>Year</b>	1954.8	1939.4	1628.6	11.059	99.20	1553.5	1652.7	0.940

#### Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		

### III.11.1. Ecole Primaire

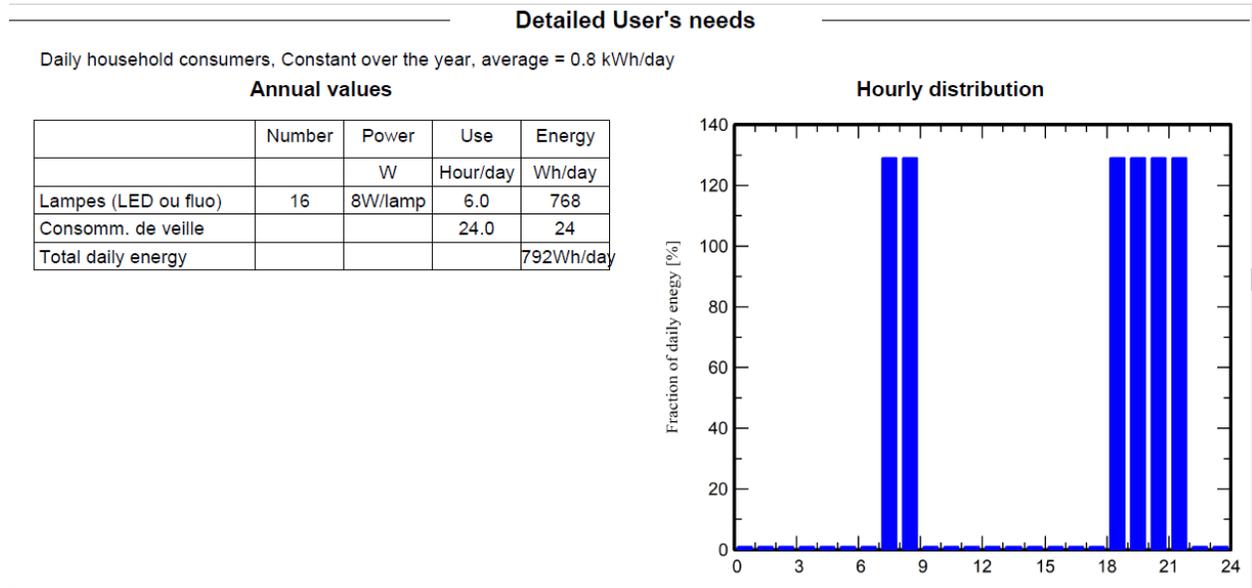


Figure 6 : Besoins énergétiques de l'école primaire

**PV Array Characteristics**

<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer	AE Solar	Manufacturer	Generic
Model	AE 350M6-72 (1000)	Model	Solar 12V / 160 Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	350 Wp	Nb. of units	2 in parallel
Number of PV modules	1 Unit	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	350 Wp	Stored energy	3.1 kWh
Modules	1 String x 1 In series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Voltage	12 V
Pmpp	317 Wp	Nominal Capacity	320 Ah (C10)
U mpp	35 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	9.1 A	<b>Battery Management control</b>	
<b>Controller</b>		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.90 / 0.75
Technology	MPPT converter	approx.	13.3 / 12.5 V
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
<b>Converter</b>		approx.	11.8 / 12.2 V
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	0 kWp		
Total	1 modules		
Module area	1.9 m <sup>2</sup>		
Cell area	1.8 m <sup>2</sup>		

Figure 7 : Résultats de dimensionnement de l'école primaire

### III.11.2. Collège

#### ❖ Salles japonaises

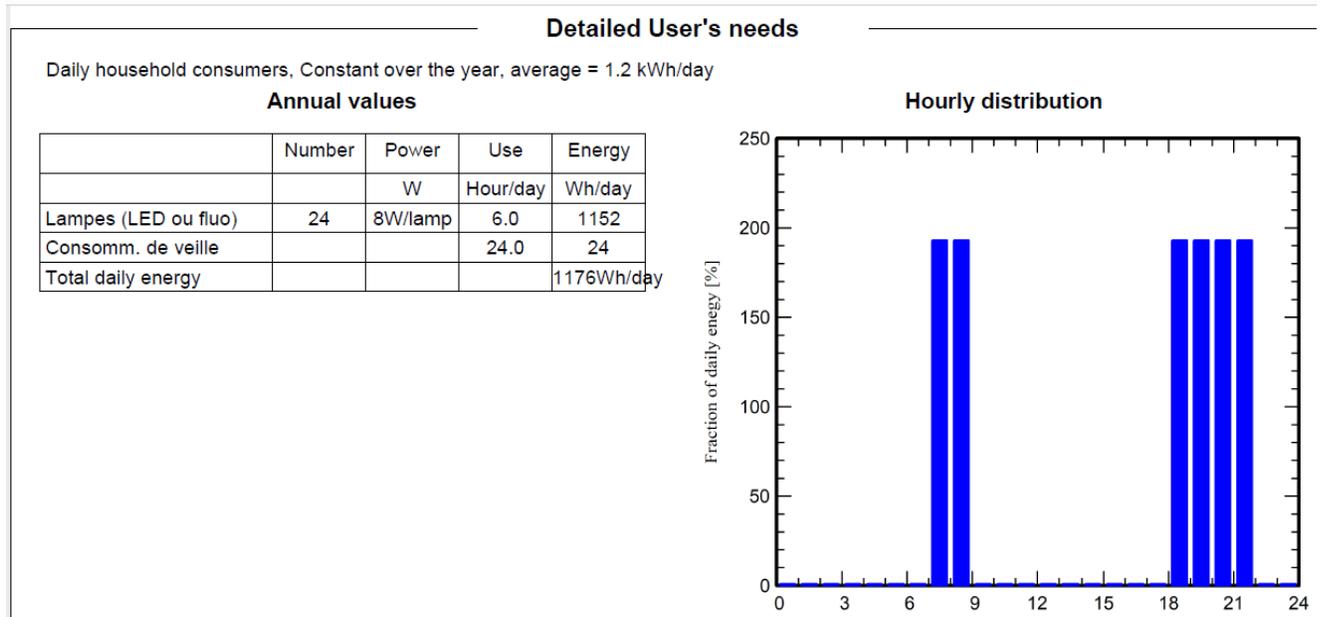


Figure 8 : Besoins énergétiques des salles japonaises du collège

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer	AE Solar	Manufacturer	Generic
Model	AE 350M6-72 (1000)	Model	Solar 12V / 160 Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	350 Wp	Nb. of units	2 in parallel
Number of PV modules	1 Unit	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	350 Wp	Stored energy	3.1 kWh
Modules	1 String x 1 In series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Voltage	12 V
Pmpp	317 Wp	Nominal Capacity	320 Ah (C10)
U mpp	35 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	9.1 A	<b>Battery Management control</b>	
<b>Controller</b>		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.90 / 0.75
Technology	MPPT converter	approx.	13.3 / 12.5 V
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
<b>Converter</b>		approx.	11.8 / 12.2 V
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	0 kWp		
Total	1 modules		
Module area	1.9 m <sup>2</sup>		
Cell area	1.8 m <sup>2</sup>		

Figure 9 : Dimensionnement des salles japonaises

#### ❖ Bâtiment en face les salles japonaises

### Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 0.4 kWh/day

#### Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lampes (LED ou fluo)	8	8W/lamp	6.0	384
Consomm. de veille			24.0	24
Total daily energy				408Wh/day

#### Hourly distribution

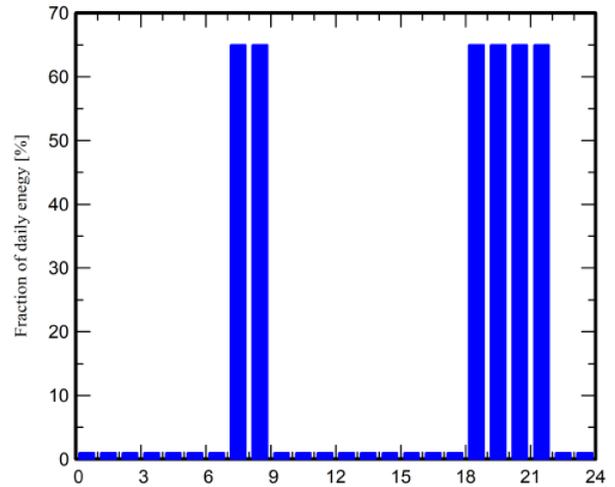


Figure 10 : Besoins énergétiques du bâtiment en face des salles japonaises

### PV Array Characteristics

#### PV module

Manufacturer	AE Solar
Model	AE 350M6-72 (1500)
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	350 Wp
Number of PV modules	1 Unit
Nominal (STC)	350 Wp
Modules	1 String x 1 In series
<b>At operating cond. (50°C)</b>	
Pmpp	317 Wp
U mpp	35 V
I mpp	9.1 A

#### Controller

Universal controller	
Technology	MPPT converter
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.

#### Converter

Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %
----------------------------	---------------

#### Total PV power

Nominal (STC)	0 kWp
Total	1 modules
Module area	1.9 m <sup>2</sup>
Cell area	1.8 m <sup>2</sup>

#### Battery

Manufacturer	Generic
Model	Solar 12V / 160 Ah
Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Nb. of units	1 Unit
Discharging min. SOC	20.0 %
Stored energy	1.5 kWh

#### Battery Pack Characteristics

Voltage	12 V
Nominal Capacity	160 Ah (C10)
Temperature	Fixed 20 °C

#### Battery Management control

Threshold commands as	SOC calculation
Charging	SOC = 0.90 / 0.75
approx.	13.5 / 12.5 V
Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
approx.	11.8 / 12.2 V

Figure 11 : Résultats de dimensionnement du bâtiment en face des salles japonaises

### ❖ Salle des professeurs et les salles de derrière

### Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 1.0 kWh/day

#### Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lampes (LED ou fluo)	11	8W/lamp	6.0	528
prise	1	75W/app	6.0	450
Consomm. de veille			24.0	24
Total daily energy				1002Wh/day

#### Hourly distribution

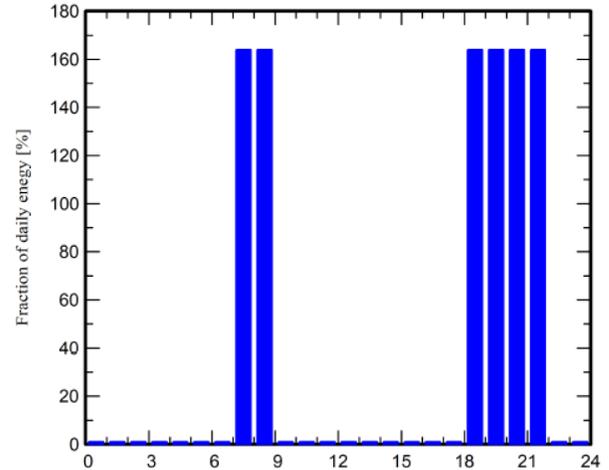


Figure 12 : Besoins énergétiques de la salle des professeurs et les salles de derrière

### PV Array Characteristics

#### PV module

Manufacturer	AE Solar
Model	AE 350M6-72 (1500)
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	350 Wp
Number of PV modules	1 Unit
Nominal (STC)	350 Wp
Modules	1 String x 1 In series
<b>At operating cond. (50°C)</b>	
Pmpp	317 Wp
U mpp	35 V
I mpp	9.1 A

#### Controller

Universal controller	
Technology	MPPT converter
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.

#### Converter

Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %
----------------------------	---------------

#### Total PV power

Nominal (STC)	0 kWp
Total	1 modules
Module area	1.9 m <sup>2</sup>
Cell area	1.8 m <sup>2</sup>

#### Battery

Manufacturer	Generic
Model	Solar 12V / 160 Ah
Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Nb. of units	1 Unit
Discharging min. SOC	20.0 %
Stored energy	1.5 kWh

#### Battery Pack Characteristics

Voltage	12 V
Nominal Capacity	160 Ah (C10)
Temperature	Fixed 20 °C

#### Battery Management control

Threshold commands as	SOC calculation
Charging	SOC = 0.90 / 0.75
approx.	13.5 / 12.5 V
Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
approx.	11.8 / 12.2 V

Figure 13 : Résultats de dimensionnement de la salle des professeurs et des salles annexes

### III.11.3. Dispensaire

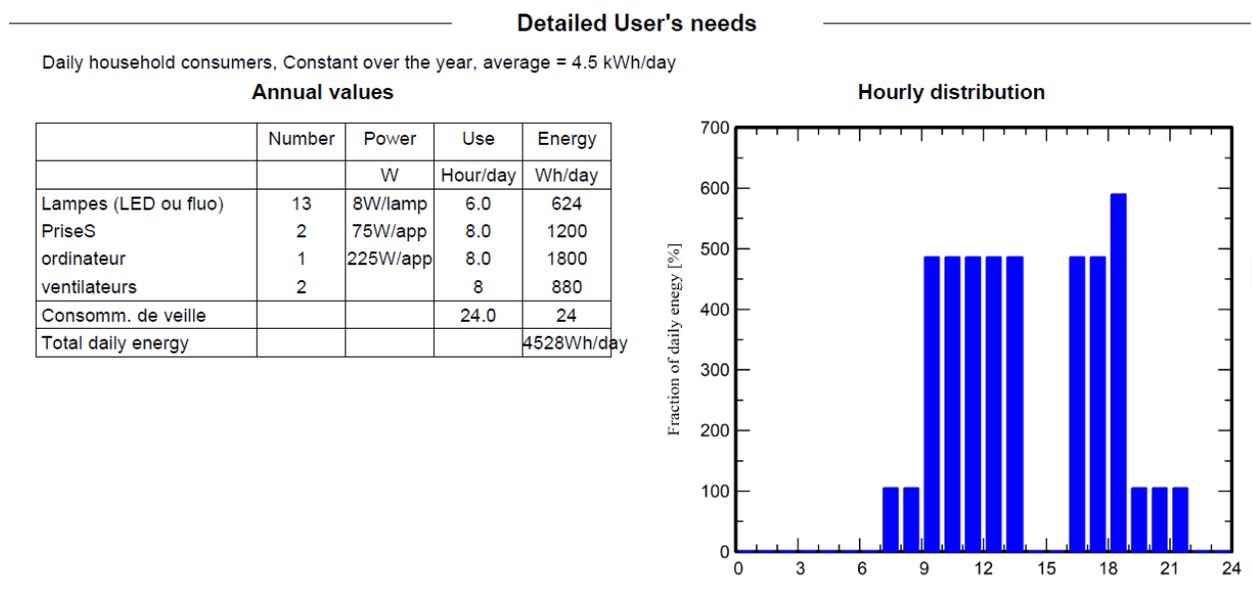


Figure 14 : Besoins énergétiques du dispensaire

<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>		<b>Battery</b>	
Manufacturer	AE Solar	Manufacturer	Generic
Model	AE 350M6-72 (1500)	Model	Solar 12V / 160 Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	350 Wp	Nb. of units	4 in parallel
Number of PV modules	3 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	1050 Wp	Stored energy	6.1 kWh
Modules	3 Strings x 1 In series	<b>Battery Pack Characteristics</b>	
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Voltage	12 V
Pmpp	952 Wp	Nominal Capacity	640 Ah (C10)
U mpp	35 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	27 A	<b>Battery Management control</b>	
<b>Controller</b>		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.90 / 0.75
Technology	MPPT converter	approx.	13.4 / 12.5 V
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
<b>Converter</b>		approx.	11.8 / 12.2 V
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
<b>Total PV power</b>			
Nominal (STC)	1 kWp		
Total	3 modules		
Module area	5.8 m <sup>2</sup>		
Cell area	5.3 m <sup>2</sup>		

Figure 15 : Résultats de dimensionnement du dispensaire

### III.12. Comparaison des résultats issus de la feuille Excel et ceux du logiciel PVsyst

Pour plus de clarté, deux types de dimensionnement ont été effectué : l'un avec une feuille Excel et l'autre avec le logiciel PVsyst nécessitant ainsi une comparaison.

Les résultats obtenus par la feuille de calcul Excel lors du dimensionnement sont : 1 panneau solaire de 350 W, 2 batteries pour le primaire ; 3 panneaux solaires de 350W, 5 batteries pour l'ensemble des installations du collège ; 3 panneaux solaires de 350W, 4 batteries pour le dispensaire, qui a été confirmé par celles du dimensionnement du logiciel PVsyst. D'après l'étude comparative, nous pouvons dire que les résultats obtenus après dimensionnement en Excel ont été confirmés par ceux trouvés précédemment dans le logiciel PVsyst.

En définitive, la feuille de calcul Excel est aussi efficace que le logiciel PVsyst qui est un outil important pour l'industrie photovoltaïque.

Tableau 14 : Tableau de comparaison des dimensionnements Excel et PVsyst

Infrastructures à électrifier	Nombre de composante	Excel	PVsyst
Ecole primaire	Nms	1	1
	Nmp	1	1
	Nbs	1	1
	Nbp	2	2
Salles japonaises	Nms	1	1
	Nmp	1	1
	Nbs	1	1
	Nbp	2	2
Bâtiment en face des salles japonaises	Nms	1	1
	Nmp	2	2
	Nbs	1	1
	Nbp	1	1
Salle des professeurs et les salles de derrières	Nms	1	1
	Nmp	1	1
	Nbs	1	1
	Nbp	1	1
Dispensaire	Nms	1	1
	Nmp	3	3
	Nbs	1	1
	Nbp	4	4

### III.13. Financement du projet

Pour financer le projet, des ressources financières ont été mobilisées à travers :

- ☞ des entreprises et associations : envoi des dossiers à nos entreprises partenaires (Electriciens sans frontières, Energy Assistance France...) et démarchage de nouvelles entreprises
- ☞ des concours et subventions/dons : participation à des concours (Social Cup...), rédaction de dossiers de subventions (CVEC, CIJ, ENSEA...), réalisation d'une campagne de crowdfunding

☞ des événements : réalisation de tombolas/ concours (via nos réseaux), participation aux événements de l'ENSEA (portes ouvertes, soirées...), réalisation d'une course caritative et d'un concert, semaine autour de la culture sénégalaise et diverses ventes (ex : chocolats à Noël).

## **IV. Installations**

### **IV.1. Matériels**

Une bonne installation nécessite différents équipements tels que :

☞ les panneaux solaires photovoltaïques : ils ont comme rôles de capter l'énergie du soleil pour transformer en électricité à l'aide des cellules photovoltaïques (Figure 16) ;

☞ les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (Figure 17) ;

☞ le régulateur permet de contrôler la charge c'est-à-dire qu'il permet de contrôler l'intensité du courant et de la tension entre les modules producteurs d'électricité et les batteries (Figure 19) ;

☞ l'onduleur solaire permet de convertir une tension continue de la batterie en tension alternative (Figure 18) ;

☞ les câbles de connexions permettent de réaliser des liaisons électriques et de conduire le courant électrique d'un point à un autre (Figure 20).

Pour pouvoir effectuer les installations d'électrification du village de Thioffior (dispensaire, école primaire et collège), différents méthodes et matériels vont être utilisés pour mener à bien ce travail. Avant cela, une connaissance des sujets de cette étude s'impose. Le matériel et les outils utilisés pour atteindre notre objectif sont :

☞ panneaux solaires de puissance 350 Wc et tension 38 V,  $I_{mp} = 8,52$ ,  $V_{mp} = 36,6$  V,  $V_{oc} = 45,82$  V,  $I_{sc} = 9,1$  A

☞ régulateurs de charge PWM de 12 V/24 V

☞ onduleurs de 600 W et 200W ;

☞ batteries de 12 V/150 Ah ; 24V et 200Ah



Figure 16 : Module polycristalline de 24 V/350 W ;  $V_{oc} = 45,82V$  et  $I_{sc} = 9,1A$



Figure 17 : Batteries GEL de 12 V /150 Ah et 24V 200Ah



Figure 18 : Onduleurs 200 W et 600 W



Figure 19 : Régulateur de charge PWM 12/24V



Figure 20 : Câble LCS 1,5mm<sup>2</sup>

#### IV.2. Diagnostic des endroits du système solaire photovoltaïque

La durée de vie d'une installation photovoltaïque est soumise à de nombreux facteurs. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire :

- ☞ de prendre soin des matériaux et de les installer à des endroits adéquats qui leur permettra d'être plus productifs sur une longue durée ;
- ☞ d'orienter en plein sud des panneaux solaires photovoltaïques pour capter le maximum d'énergie (l'ombre peut affaiblir la production d'énergie) ;

☞ disposer les batteries solaires en position debout et s'assurer que le local où se trouve la batterie est ventilé correctement ;

☞ mettre le régulateur à la portée de l'utilisateur dans un endroit à l'abri du soleil et de la chaleur.

☞ placer l'onduleur sur une surface plate (mur) et au plus proche du reste de l'installation solaire afin de garantir le meilleur rendement possible.

Avant d'entamer l'installation proprement dite de nos systèmes solaires photovoltaïques, nous avons procédé à l'inspection du site. Ceci nous a permis :

☞ d'identifier une zone ensoleillée sans ombrage (pas d'arbre)

☞ de trouver une parfaite inclinaison ( $15^\circ$  au Sud) pour la pose des panneaux

☞ d'identifier un local pour le stockage des batteries

### **IV.3. Installation du système solaire photovoltaïque**

Pendant notre installation, les panneaux solaires ont été branchés en parallèle et en série : le câblage des panneaux solaires en parallèle entraîne une augmentation de l'ampérage, mais la tension reste la même et pour cela il faut que la borne positive d'un panneau soit connectée à la borne positive d'un autre panneau et les bornes négatives des deux panneaux soient connectées ensemble. Ainsi, si vous câblez les mêmes panneaux qu'auparavant en parallèle, la tension du système resterait à 40 volts, mais l'ampérage augmenterait à 10 ampères. Le câblage en parallèle permettra d'avoir plus de panneaux solaires qui produisent de l'énergie sans dépasser les limites de tension de fonctionnement de votre onduleur. Les onduleurs ont également des limites d'ampérage, que nous pouvons respecter en câblant nos panneaux solaires en parallèle.

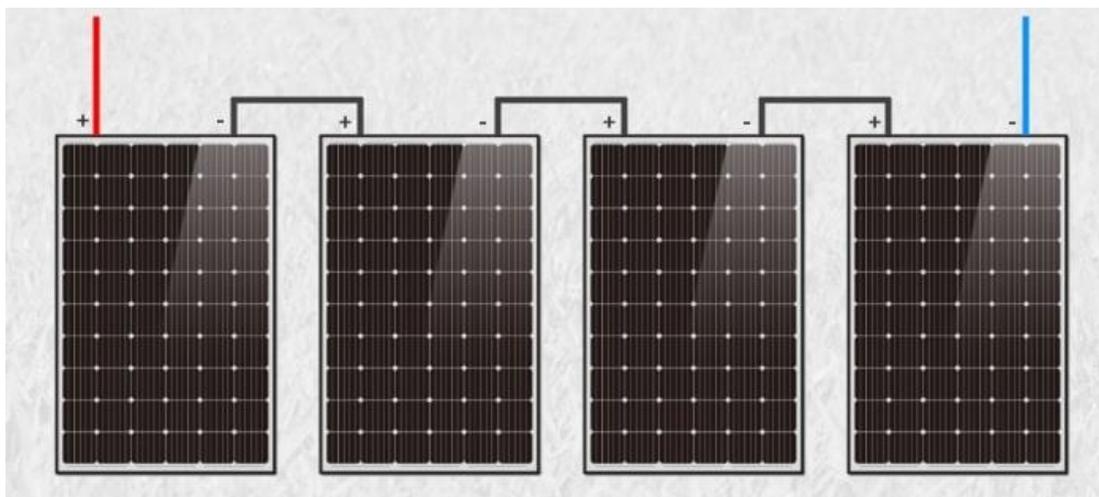


Figure 21 : Panneaux solaires montés en série

Le montage en série des panneaux photovoltaïques est sans conteste le type de montage le plus utilisé. Et ce, surtout lorsqu'on souhaite produire de l'électricité en 230 volts, que ce soit pour la revendre sur le réseau, ou l'autoconsommer chez soi. Pour réaliser ce câblage, rien de plus simple : il suffit de brancher les panneaux les uns à la suite des autres, c'est à dire la sortie de l'un sur l'entrée de l'autre (autrement dit : le câble « + » d'un panneau sera à brancher sur le câble « - » du panneau suivant, et ainsi de suite).

Ils seront donc au final branchés « à la chaîne » (d'où l'appellation « String » en anglais).

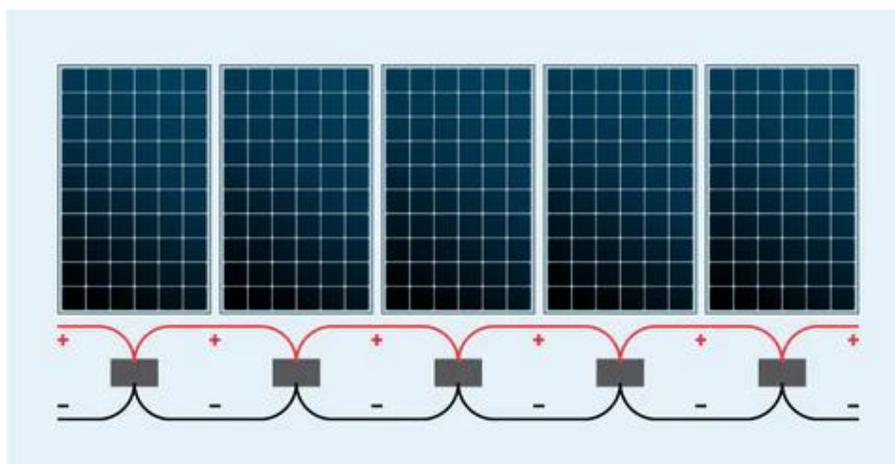


Figure 22 : Panneaux solaires montés en parallèle

Les batteries peuvent être branchées en parallèles pour augmenter la capacité de stockage et les intensités s'additionnent, la tension reste la même.

Le montage des batteries en parallèle consiste à :

- ☞ brancher la borne moins (-) du régulateur sur la borne moins (-) de la première batterie ;
- ☞ brancher la borne moins (-) de la première batterie sur la borne moins (-) de la deuxième batterie ;
- ☞ brancher la borne plus (+) de la première batterie sur la borne plus (+) de la deuxième batterie ;
- ☞ brancher la borne plus (+) de la deuxième batterie sur la borne plus (+) du régulateur.

Pour illustrer tout ça, voici un petit schéma :

Exemple : 2 batteries de 12V/100Ah en parallèle la tension et ampérage feront : 12V/200Ah

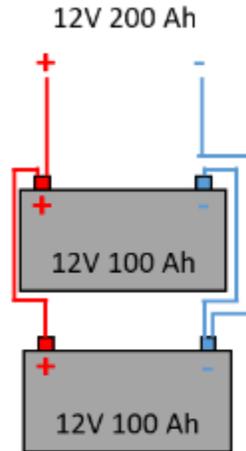


Figure 23 : Batteries solaires montées en parallèle

Les batteries peuvent être branchées en série pour augmenter la tension de la batterie et conserver la capacité de stockage. Son branchement consiste à :

- ☞ brancher la borne moins (-) du régulateur sur la borne moins (-) de la première batterie ;
- ☞ brancher la borne plus (+) de la première batterie sur la borne moins (-) de la deuxième batterie ;
- ☞ brancher la borne plus (+) de la deuxième batterie sur la borne moins (-) de la troisième batterie ;
- ☞ brancher la borne plus (+) de la quatrième batterie sur la borne plus (+) du régulateur.

Pour illustrer tout ça, voici un petit schéma :

Exemple : 4 batteries de 12V/100Ah en série la tension et ampérage feront : 48V/100Ah

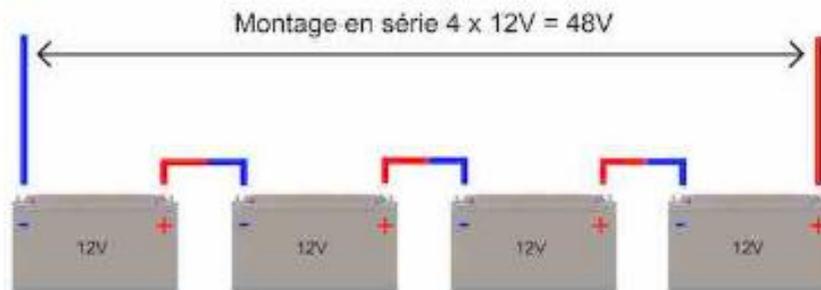


Figure 24 : Batteries solaires montées en série

Dans notre cas sur notre dimensionnement sur Excel dans la case de santé, les batteries sont branchées en série et en parallèle (branchement en Etoile). Ce branchement consiste à :

- ☞ brancher la borne moins (-) du régulateur sur la borne moins (-) de la première batterie ;
- ☞ brancher la borne moins (-) de la première batterie sur la borne moins (-) de la deuxième batterie ;
- ☞ brancher la borne plus (+) de la première batterie sur la borne moins (-) de la troisième batterie ;
- ☞ brancher la borne plus (+) de la deuxième batterie sur la borne moins (-) de la quatrième batterie ;

- ☞ brancher la borne plus (+) de la troisième batterie sur la borne plus (+) de la quatrième batterie ;
- ☞ brancher la borne plus (+) de la quatrième batterie sur la borne plus (+) du régulateur.

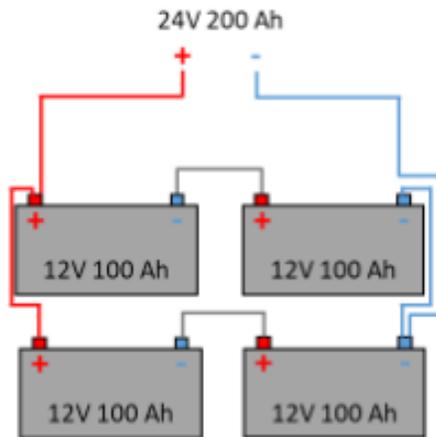


Figure 25 : Batteries solaires branchées en étoile

De manière générale, la connexion des différents éléments de l'installation doit se faire de manière suivante :

- ☞ du régulateur vers la batterie ;
- ☞ des panneaux vers le régulateur ;
- ☞ consommation vers le régulateur.

Pour le branchement des kits solaires nous avons raccordé les batteries en parallèle pour augmenter la capacité de stockage avant de brancher le régulateur vers les batteries, ensuite, nous avons branché les panneaux en parallèle pour augmenter l'intensité puis les connectées au régulateur. L'onduleur permet de convertir le courant continue en courant alternatif. De ce fait, il sera relié directement au régulateur de charge.

Panneau solaire 350W

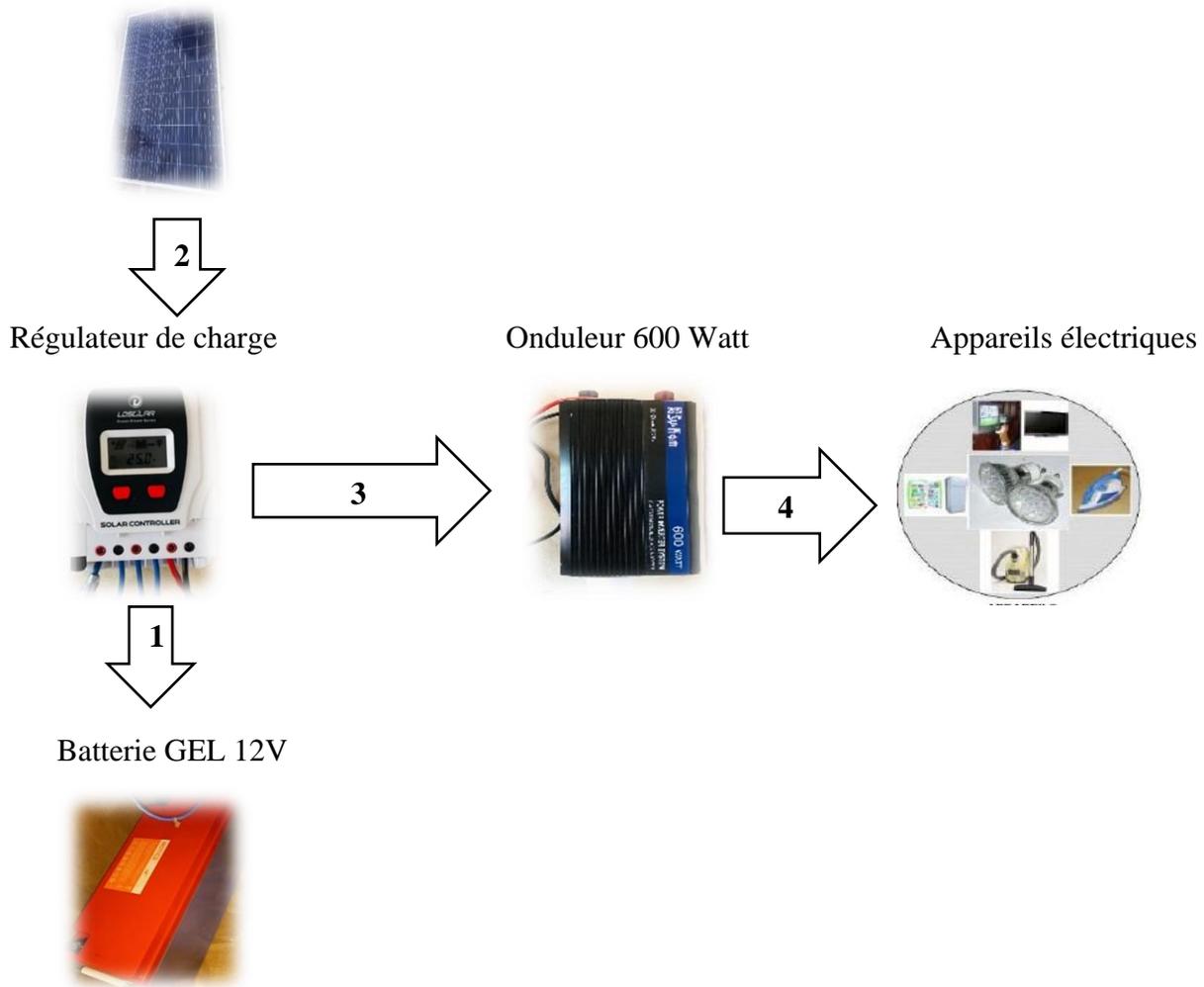


Figure 26 : schéma synoptique d'une installation d'un système photovoltaïque

Le schéma de principe est constitué du panneau solaire, de la batterie, du régulateur et de l'onduleur (Figure 26). Le régulateur contient 6 bornes dont 2 qui seront reliées aux 2 bornes (la phase et le neutre) du champ photovoltaïque, 2 autres bornes seront reliées avec les 2 bornes du parc de batteries qui permet de stocker l'énergie produite, car c'est le régulateur qui assure et régule la charge de la batterie. Le régulateur empêche la surcharge et la décharge profonde de la batterie, il peut aussi parfois transférer directement le courant qui vient du panneau aux utilisateurs dans le cas où la batterie est bien chargée, et les 2 dernières bornes du régulateur seront liées à l'onduleur, ce dernier permet de convertir le courant continu en courant alternatif.

Nous avons réalisé une installation domestique qui consiste à faire des câblages électriques : déterminer les points lumineux et les interrupteurs pour les faire fonctionner en suivant le type de

montage qu'on souhaite adopter. Pour le branchement, nous avons choisi un double allumage pour les salles de classe et simple allumage pour la salle des professeurs et le dispensaire (Figure 27).

Au niveau du collège, les salles japonaises et celles annexes ont la même installation électrique que l'école primaire. Les panneaux solaires sont installés sur les toits (Figure 28) et les batteries sont installées dans les salles.

Les salles japonaises étaient déjà câblées mais n'ayant pas de source de courant c'est pour cela qu'on avait effectué des tests de continuité en utilisant le testeur et le multimètre pour connaître le type de câblage. Après avoir distingué les deux fils, nous avons monté les lampes dans les deux bâtiments.

Le schéma de disposition des ampoules : nous avons mis 4 lampes dans chaque salle de l'école primaire, 2 lampes au-dessus du tableau d'affichage et les 2 autres au milieu du plafond de la salle. Pour le collège, nous avons mis sur chaque façade une lampe.

Au terme de cette étude, 3 panneaux solaires de puissance 350 Wc, 5 batteries de 12 V /150 Ah, 1 Régulateur 12 V/24 V et 3 onduleurs de 600 W ont été installés dans le collège pour alimenter 43 lampes de 8 W chacune et 1 prise de 75 W dans 11 salles de classes.

Pour l'école primaire, 1 panneau solaire de puissance 350 Wc, 2 batteries de 12 V /150 Ah ,1 Régulateur 12 V/24 V et 1 onduleur de 600 W ont été installés pour alimenter 16 lampes de 8 W chacune dans 4 salles de classes ; et enfin , 3 panneaux solaires de puissance 350 Wc, 4 batteries de 12 V /150 Ah, 1 Régulateur 12 V/24 V et 1 onduleurs de 600 W ont été installés dans le dispensaire pour alimenter 13 lampes de 8 W chacune, 2 prises de 75 W chacune, un ordinateur de 225 W et 2 ventilateurs de 55 W chacun.

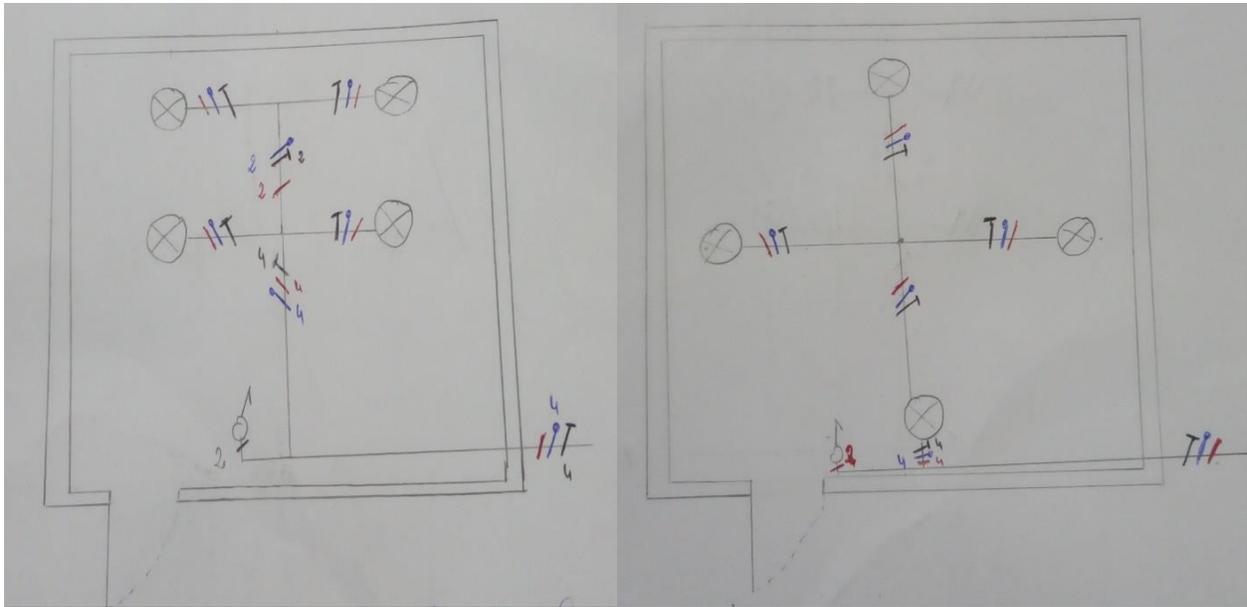


Figure 27 : Schémas unifilaires des lampes

#### IV.4. Quelques photos illustratives prises pendant et après les installations

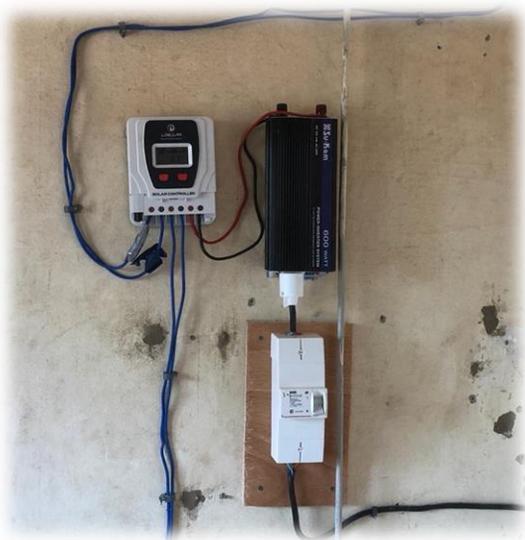


Figure 29 : Branchement disjoncteur- régulateur- l'onduleur



Figure 28 : Branchement des panneaux en parallèle



Figure 30 : Montage des panneaux du dispensaire



Figure 31 : Câblage des lampes d'une salle



Figure 33 : Salle d'hospitalisation électrifiée

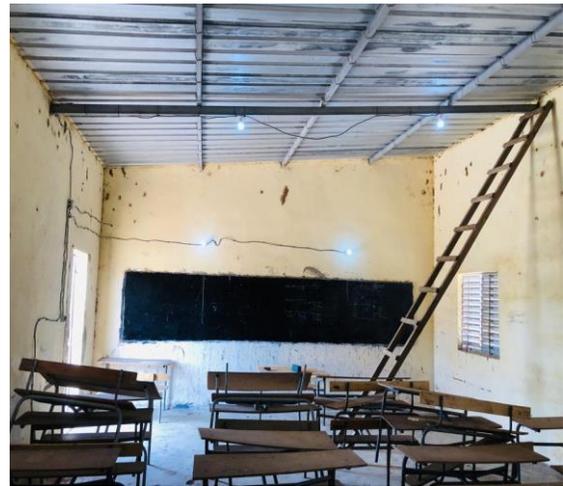


Figure 32 : Salle de classe électrifiée

## V. Maintenance des systèmes PV

La maintenance d'un équipement peut être définie comme l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un équipement dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Pour une bonne maintenance d'un système photovoltaïque, un entretien est nécessaire pour maintenir sa durée de vie qui est estimée entre 15 et 20 ans et de garantir un bon niveau de production d'électricité. Par ailleurs, si le système photovoltaïque est mal entretenu, sa durée de vie peut facilement être réduite de moitié. Une revue de maintenance rigoureuse tous les 3 à 6 mois est recommandée par les fabricants et fournisseurs de matériels pour maintenir l'installation photovoltaïque en un bon état de fonctionnement. Par ailleurs, l'entretien d'un champ photovoltaïque nécessite la plupart du temps la signature d'un contrat d'entretien généralement

requis par les contrats d'assurance pour la couverture des dommages. Les deux principaux composants qui méritent d'être bien entretenus sont le panneau photovoltaïque et la batterie.

### **V.1. Types de maintenances**

Par définition, ces installations sont en permanence soumises aux intempéries et aux phénomènes naturels. Pour prévenir les pannes, on effectue sur les sites de contrôles et d'entretiens : il s'agit d'une maintenance préventive. Lorsque l'on intervient sur un défaut ou une panne : il s'agit d'une maintenance corrective. On parle d'une maintenance curative lorsqu'on fait des interventions planifiées après détection d'un problème. Bien que la technologie photovoltaïque ne possède pas d'éléments mobiles et donc fait preuve d'une grande fiabilité, l'investissement important au départ s'attend à une longue durée afin de garantir sa rentabilité. La maintenance préventive et corrective de l'installation s'effectue sur l'ensemble des équipements et sur son environnement proche. Elle permet avant tout de prévenir ou de corriger les défauts de l'installation photovoltaïque.

### **V.2. Plan de maintenance**

Une fois les panneaux solaires sont opérationnels, il est important d'en prendre soin pour assurer leur durabilité et leur efficacité à long terme.

#### **V.2.1. Nettoyage des panneaux**

Le nettoyage des modules photovoltaïque se fait le soir ou tôt le matin quand les panneaux ne sont pas encore exposés à un fort ensoleillement (Dieng, 2021). Pour cela, il nécessite simplement de se servir d'eau et d'un morceau de tissu souple et propre. L'eau de rinçage ne doit presque pas contenir de calcaire car une quantité trop élevée de ces substances a pour effet de produire à la surface une mince couche qui risque de bloquer l'arrivée du rayonnement solaire (Nicolas, 2022). On essuiera doucement la surface des panneaux en partant du haut vers le bas. On évitera de marcher sur les panneaux ou de s'y appuyer.

#### **V.2.2. Entretien des batteries**

En ce qui concerne les batteries, il faut nécessairement un entretien pointu qui s'effectue à plusieurs niveaux (Edilizi, 2022), dont les principaux sont : nettoie de la connexion ou la borne corrodée à l'aide d'une brosse métallique, appliquer une couche mince de graisse anti-corrosion haute température, raccorder l'élément et serrer les connexions (selon les prescriptions du fabricant), rebrancher la batterie dans le circuit raccordement au régulateur de charge et à l'onduleur. La formation de dépôts de matériaux conducteurs peut également causer des arcs

électriques et des explosions d'éléments. Avec un chiffon, nettoyer les dépôts d'électrolyte sur les bacs des éléments. Pour ce faire, utiliser uniquement de l'eau propre exempte de tout additif (Dieng, 2021).

### **V.2.3. Entretien régulateur**

La maintenance du régulateur consiste à nettoyer le coffret du régulateur avec un chiffon propre et sec, car la poussière et les nids d'insectes peuvent réduire le refroidissement du régulateur. Il faut s'assurer que le boîtier soit bien fixé, vérifier qu'aucun câble n'ait été ajouté puis vérifier et resserrer chacune des connexions. Vérifier que les valeurs de seuils de coupure et de reconnexion des utilisations sont conformes avec les valeurs indiquées sur la notice du constructeur. Vérifier que les valeurs de seuils de tension en fin de charges sont en conformité avec les valeurs indiquées sur la notice du constructeur « Allumer » quelques récepteurs. Puis, aux bornes du régulateur, comparez la tension du panneau à celle de la batterie au cours de la charge. La tension du panneau doit être supérieure à celle de la batterie (de 0,1 à 1 V maximum). Aux bornes des régulateurs, comparez la tension de la batterie à celle du circuit des récepteurs, avec au moins un récepteur en fonctionnement. La tension de la batterie doit être supérieure à celle du circuit des récepteurs (de 0,1 à 0,5 V).

### **V.2.4. Entretien de l'onduleur**

Vérification de la propreté de l'onduleur : présence de poussière et d'insectes. Vérification de l'aération de l'onduleur.

## **V.3. Formation des villageois à la maintenance basique des systèmes solaires photovoltaïques**

Comme la majeure partie des habitants de Thioffior n'ont pas fait des études avancées dans le domaine de l'énergie solaire et que nous devrions retourner sur les lieux après l'installation, nous avons fait subir une formation d'une semaine aux habitants pour leurs expliquer le mécanisme de fonctionnement d'un système solaire, comprendre comment on fait la maintenance préventive et comment dépanner le système en cas de panne, nous leur avons juste parlé de la maintenance préventive que nous pensons être plus facile à comprendre pour eux. Nous leur avons parlé des batteries qui sont les maillons très sensibles du système photovoltaïque, car la chute de leurs rendements est souvent provoquée par la poussière qui s'y accumule. C'est pourquoi il faut régulièrement les nettoyer et éviter la délamination, la corrosion ou la décoloration.

## CONCLUSION

L'énergie solaire photovoltaïque reste une source d'énergie durable et accessible à moindre coût dans le temps, dont l'utilisation est prometteuse pour contribuer à l'électrification rurale. L'objectif de cette présente étude était de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire photovoltaïque pour les établissements scolaires (école primaire et collège) et le dispensaire du village de Thioffior. Le projet en question est le fruit d'un partenariat entre l'ENSEA (Ecole Nationale Supérieure de l'Electronique et de ses Applications) et l'USSEIN (Université du Sine Saloum El Hadj Ibrahima NIASS) pour donner aux habitants l'accès à une éducation de qualité (bénéficiaire 950 élèves) ; répondre à des besoins primaires liés à la santé (bénéficiaire 1500 habitants).

Ainsi, il a permis la rénovation et l'éclairage des salles de classes ; la dotation du matériel scolaire et informatique ; l'installation de panneaux solaires et la formation à la maintenance des installations pour les populations. Au terme de cette étude, trois (3) panneaux solaires de puissance 350 Wc ont été installés dans le collège pour alimenter onze (11) salles de classes. Pour l'école primaire, un (1) panneau solaire de puissance 350 Wc pour alimenter quatre (4) salles de classes. Trois (3) panneaux solaires de puissance 350 Wc ont été installés dans le dispensaire.

La principale difficulté rencontrée pendant la réalisation du projet est le retard dans la livraison du matériel qui était commandé à l'extérieur, les ressources financières limitées qui n'ont pas permis d'électrifier la salle d'hospitalisation en annexe et le bâtiment de logement du personnel soignant.

Nous recommandons à cet effet :

- ☞ à l'USSEIN et l'UASZ de multiplier des partenariats de ce type d'activités pour permettre à leurs étudiants de mettre en pratique leurs connaissances et de participer au développement de leur pays ;
- ☞ aux étudiants participants de partager cette belle expérience avec leurs camarades une fois de retour au niveau de leurs universités respectives ;
- ☞ aux populations du village de Thioffior de mettre en place un comité de gestion pour l'entretien des installations et la promotion des initiatives de ce type.

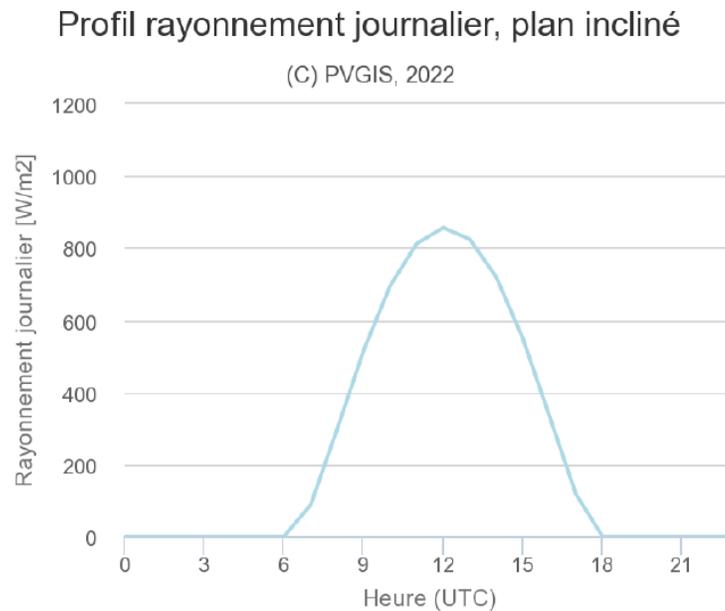
En perspective, vu le succès de ce projet, l'élargissement de la réalisation de panneaux solaires photovoltaïques dans les villages enclavés du Sénégal serait une solution durable d'électrification des zones rurales afin d'améliorer les conditions de vie et de bien-être de la population.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Boukhers, D. (2017).** Optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage. Université Mentouri de Constantine.
- Dieng, B. (2021).** Montage et maintenance des installations solaires photovoltaïques. Université Sine Saloum El hadji Ibrahima Niass.
- Edilizi. (2022).** Nettoyage et entretien du système photovoltaïque. Edilizi Acrobatica France.  
<https://edilziacrobatica.fr/nettoyage-et-entretien-du-systeme-photovoltaique>
- Khadraoui, Z. (2017).** Etude d'une centrale thermique. Université BADJI MOKHTAR ANNABA.
- Mambrani, T. (2014).** Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies. [Thèse]. Paris Sud.
- Nicolas. (2022).** Entretien des panneaux photovoltaïques : L'essentiel à savoir.  
[www.depanneo.com/guide/entretien-panneaux-photovoltaiques](http://www.depanneo.com/guide/entretien-panneaux-photovoltaiques)
- PLHA. (2014).** Plan local d'hydraulique et d'assainissement. communauté rurale de Ndiaffate-pepam. [pepam.gouv.sn](http://pepam.gouv.sn)
- Senpetrogaz. (2021, février 5).** Système d'information énergétique (SIE) du Sénégal, rapport 2019. [senpetrogaz.sn. https://senpetrogaz.sn/2021/02/05/systeme-dinformation-energetique-du-senegal-rapport-2019/](https://senpetrogaz.sn/2021/02/05/systeme-dinformation-energetique-du-senegal-rapport-2019/)
- Thiam, M. (2023).** Dimensionnement d'un système photovoltaïque isolé.
- Yamegueu, D. (2015).** Présentation du Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie. Fondation 2iE. [www.2ie-edu.org](http://www.2ie-edu.org)

## ANNEXE

### Annexe 1 : Irradiation journalière de la région de Kaolack en Novembre 2022



### Annexe 2 : Irradiation mensuelle de la ville de Kaolack en 2022

