

CONCEPTION D'UNE MICROCENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE POUR L'ALIMENTATION PARTIELLE DE LA ZONE D'OBOBOGO

Mémoire présenté et soutenu publiquement en vue de l'obtention du Diplôme
de Professeur de l'Enseignement Secondaire Deuxième Grade (DIPES II)

Par :

NGO NGOS Marthe Désirée

Licenciée ès sciences

Matricule : 14K2450

Sous la direction du

Professeur **BEGUIDE BONOMA**

(Maître de conférences)

Membres du jury

Président : **TCHAWOUA Clément**, Professeur(Université de Yaoundé I)

Rapporteur : **BEGUIDE BONOMA**, Maître de Conférences(ENS Yaoundé)

Examineur : **ENYEGUE Françoise**, Chargé de Cours(Université de Yaoundé I)

Année Académique : 2018/2019

Dédicace

A mes très chers parents, le Docteur NGOS François et Madame NGO PEMHA SOM Ruth Merveille épouse NGOS.

« Votre présence à mes côtés a toujours été une perpétuelle source de motivation. Retrouvez dans ce mémoire l'expression de ma profonde gratitude, de mon amour et un gage de mes aspirations académiques à la hauteur des sacrifices que vous avez consentis à mon égard ; Merci maman, Merci papa. »

Remerciements

Que tous ceux qui moralement, matériellement et spirituellement ont contribué à l'élaboration de ce travail de mémoire trouvent ici un signe de ma reconnaissance. J'aimerais à cet effet remercier particulièrement :

- Le seigneur Dieu tout puissant, pour toute sa grâce et sa bonté à mon égard ;
- Le professeur MBALA ZE Barnabé, directeur de l'école normale supérieure de Yaoundé ;
- Le professeur BEGUIDE BONOMA, mon directeur de mémoire pour toute l'attention accordée dans le suivi de ce travail ;
- Les membres du jury qui par leurs remarques et critiques constructives m'aideront à m'améliorer ;
- Tous les enseignants du département de physique de l'école normale supérieure de Yaoundé pour les enseignements reçus et le sérieux dans notre formation au métier d'enseignant ;
- Tous les enseignants de l'école normale supérieure de Yaoundé pour l'encadrement durant ces deux années ;
- Monsieur SEUTCHE Jean Calvin pour son encadrement d'ainé et son sérieux dans le suivi de mon travail ;

- Ma mère, mon adorable maman, celle sans qui tout ceci n'aurait pas été rendu possible, merci pour tout l'amour, l'attention, l'affection, les encouragements depuis mes premiers pas jusqu'à ce jour ;
- Mon père, pour le soutien permanent, les conseils, merci de croire en moi et d'être toujours à mes côtés, je te rendrai fier ;
- Mon grand frère chéri, le docteur MBEM NGOS Pierre Patrick pour toujours avoir été un modèle de droiture pour tous ses petits frères et sœurs ;
- Mes petits frères NGOS NGOS Franck, PEMHA NGOS Thierry, NTAMACK NGOS Maxime, MAHOP MA NGOS Jean-Luc, pour leur amour et leur soutien ;
- Ma grand-mère Marthe Désirée pour son affection et ses conseils ;
- Mes oncles et tantes pour leur soutien sans faille ;
- Toute la grande famille pour toujours avoir été à mes côtés ;
- Tous mes camarades de la 58ème promotion de l'école normale supérieure de Yaoundé pour l'ambiance bon enfant tout au long de notre formation ;
- Tous mes amis, pour toujours avoir été là lorsque j'en avait besoin ;
- Tous ceux qui de près ou de loin ont participé à l'élaboration de ce travail.

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Table de matières	vii
Résumé	viii
Abstract	ix
Liste des abréviations	x
Liste de figures	xiii
Liste de tableaux	xiv
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 Généralités sur les systèmes photovoltaïques	4
1.1 Énergie solaire	4
1.1.1 Quelques données générales sur le soleil	5
1.1.2 Gisement solaire	6

1.2	Potentiel solaire camerounais	8
1.3	Principe photovoltaïque	8
1.4	Technologie des cellules photovoltaïques	10
1.4.1	Silicium monocristallin	11
1.4.2	Silicium polycristallin (multi cristallin)	12
1.4.3	Silicium amorphe	13
1.4.4	Cellule multi jonction	13
1.4.5	Cellules GIS (Cuivre/Indium/Gallium/Sélénium) et cellule en tellurure de cadmium (CdTe)	14
1.4.6	Cellule organique	14
1.5	Caractéristiques des modules photovoltaïques	14
1.5.1	Caractéristiques électriques d'un module PV	15
1.5.2	Association des modules PV	16
1.6	Généralités sur les systèmes PV	18
1.6.1	Historique des systèmes PV : quelques dates importantes	18
1.6.2	Système PV autonome	19
1.6.3	Système PV connecté au réseau	20
1.6.4	PV dans un système hybride	20
1.7	Le stockage de l'énergie électrique	21
1.8	Les onduleurs pour systèmes photovoltaïques	23
1.8.1	Onduleurs avec transformateur BF - Onduleurs en pont avec transformateur BF	24
1.8.2	Onduleurs avec transformateur HF - Onduleur en pont avec convertisseur DC/DC Flyback et transformateur HF (THF1)	25

1.8.3	Les onduleurs sans transformateurs	26
1.9	Conclusion	26
2	Dimensionnement de la microcentrale PV	27
2.1	Introduction	27
2.2	Méthodologie du dimensionnement de la microcentrale	27
2.2.1	Méthodologie de collecte de données au quartier Obobogo .	27
2.2.2	Estimation du besoin en électricité du quartier	28
2.3	Dimensionnement des différents équipements de la microcentrale PV	29
2.3.1	Dimensionnement du champ photovoltaïque	29
2.3.2	Dimensionnement du système de conversion (onduleur) . . .	33
2.3.3	dimensionnement de la capacité de stockage (batteries) . . .	34
2.3.4	Dimensionnement du système de régulation de charge de la batterie	35
2.3.5	Dimensionnement du réseau de transport et de distribution : câbles électriques	36
2.4	Récapitulatif des différents éléments utilisés pour le dimensionne- ment de la microcentrale	38
2.5	Conclusion	38
3	Résultats du dimensionnement de la microcentrale PV et dis- cussions : cas d'étude de la zone d'OBOBOGO	39
3.1	Introduction	39
3.2	présentation de la zone d'OBOBOGO	39
3.3	Données météorologiques du quartier OBOBOGO	40

3.4	Résultats de la collecte de données du quartier OBOBOGO	44
3.4.1	Résultats de la collecte de données du secteur résidentiel . .	44
3.4.2	Résultats de la collecte de données du secteur industriel . .	47
3.4.3	Résultats collecte de données du secteur public	48
3.4.4	Résultats bilan de puissance du quartier OBOBOGO	49
3.4.5	Résultats du dimensionnement de la microcentrale PV . . .	53
3.5	Conclusion	53
4	Implication dans le système socio-éducatif	55
4.1	Introduction	55
4.2	Intérêt didactique	55
4.2.1	Définition de quelques concepts de base	55
4.2.2	Exemples d'applications didactique	56
4.3	Intérêt pour le développement	57
4.4	conclusion	58
	CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	59
	Bibliographie	60
	Annexes	63

RÉSUMÉ

Le présent travail qui traite de la conception d'une microcentrale photovoltaïque pour l'alimentation partielle de la zone d'OBOBOGO s'inscrit dans l'optique de contribuer à l'amélioration de l'accès à l'électricité au quartier Obobogo et à la limitation maximale des désagréments causés par les coupures intempestives sur le réseau de distribution actuel.

L'objectif général de ce travail est donc de produire de l'énergie électrique pour alimenter partiellement le quartier Obobogo à l'aide de l'énergie solaire en utilisant des systèmes photovoltaïques. Pour ce faire, nous avons réalisé auprès de la population une enquête après avoir obtenu les données météorologiques de la zone grâce au logiciel PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) ceci afin de collecter les données indispensables à l'évaluation du besoin en électricité du quartier afin de dimensionner la microcentrale PV. Il ressort de cette enquête que les utilisateurs du secteur résidentiel (dont la plus grande majorité se situe dans un seuil de revenus moyens) sont ceux qui consomment la plus grande partie de la production journalière en électricité. Nous avons donc ainsi évalué le besoin en électricité journalier d'Obobogo à $2337,178kWh$ équivalent à un besoin de puissance de $285,908kW$. A partir de cette estimation, nous avons dimensionné la puissance crête de la centrale à $921,065kW_c$ nous permettant en utilisant des panneaux solaires de puissance crête $305W_c$ et d'autres équipements de dimensionner une microcentrale satisfaisant largement la demande en électricité du quartier Obobogo. L'étude de l'impact de ce travail sur le développement nous a permis de mesurer l'amélioration des conditions de vie des habitants du quartier Obobogo à travers la réduction des problèmes de délestage car étant une zone en voie de développement (Projet d'autoroute Yaoundé-Nsimalen), elle abrite et est appelée à abriter d'énormes sites énergétiques.

Mots clés : microcentrale, conception, solaire photovoltaïque, dimensionnement, besoin en électricité

ABSTRACT

The present work, which deals with the design of a photovoltaic micro-power plant for the partial supply of the OBOBOGO area, is part of the objective of contributing to the improvement of access to electricity in Obobogo district and to the maximum limitation of inconvenience caused by untimely power cuts on the current distribution network.

The overall objective of this work is therefore to produce electrical energy to partially power the Obobogo district using solar energy using photovoltaic systems. To do this, we conducted a survey of the population after obtaining meteorological data from the area using the PVGIS software (Photovoltaic Geographical Information System) in order to collect the data needed to assess the electricity needs of the area. Neighborhood to size the micro-PV. The survey shows that residential users (the vast majority of whom are in the middle-income range) are those who consume most of the daily electricity output. We have therefore assessed Obobogo's daily electricity requirement at $2337.178kWh$ equivalent to a power requirement of $285.908kW$. From this estimate, we have sized the peak power of the plant to $921,065kW_p$ allowing us by using solar panels of peak power $305W_p$ and other equipment to size a micro largely satisfying the electricity demand of Obobogo district. . The study of the impact of this work on the development allowed us to measure the improvement of the living conditions of the inhabitants of the Obobogo district through the reduction of the load shedding problems because being a zone in the process of development (Project of Yaoundé-Nsimalen motorway), it houses and is called to house enormous energy sites.

Key words : micro central, design, solar photovoltaic, sizing, electricity requirement

LISTE DES ABRÉVIATIONS

W : Watt

kW : kilowatt

W_c : Watt crête

kW_c : kilowatt crête

Wh : wattheure

$kWh/jour$: kilowattheure par jour

$^{\circ}C$: degré celsius

PV : photovoltaïque

Ah : Ampère-heure

P : puissance

P_c : puissance crête

A : Ampère

V : Volt

C_{ju} : Consommation journalière unitaire

C_{jt} : Consommation journalière totale

C_{jv} : Consommation totale en énergie du quartier/jour

Ddp : Décharge profonde

Nbre : Nombre

Temps de fcmt : Temps de fonctionnement

LED : Diode électroluminescente (en anglais, DEL : light-emitting diode)

ENEO : Nouvelle énergie au Cameroun

Table des figures

1.1	schéma illustratif du soleil	5
1.2	repérage du soleil dans le ciel [3]	6
1.3	Orientation des modules PV	7
1.4	Irradiation globale horizontale sur la terre et le Cameroun. [5]	8
1.5	Schéma du silicium sans et avec dopage [6]	9
1.6	Principe effet photovoltaïque	10
1.7	Répartition des technologies des cellules PV sur le marché [6]	11
1.8	Cellule silicium monocristallin [7]	11
1.9	Cellule silicium polycristallin [7]	12
1.10	Cellule Silicium amorphe [7]	13
1.11	schéma électrique d'un module PV [11]	15
1.12	Caractéristique tension-intensité	16
1.13	modules non identiques en série	17
1.14	modules non identiques en parallèle	17
1.15	Réseau de modules en série-parallèle	18
1.16	Système PV autonome	19
1.17	Système PV connecté au réseau	20
1.18	Système hybride	21
1.19	Un onduleur pour une centrale solaire photovoltaïque [16]	24
1.20	onduleur en pont avec transformateur BF [17]	25
1.21	onduleur en pont avec transformateur HF	25
1.22	onduleur en pont sans transformateur	26

3.1	Découpage administratif de la ville de Yaoundé faisant ressortir le quartier Obobogo	40
3.2	courbe des variations mensuelles de : Hh, Hopt, H(90), DNI [25]	42
3.3	courbe des variations mensuelles de Iopt [25]	43
3.4	rayonnement journalier sur un panneau fixe	43
3.5	rayonnement direct normal	44
3.6	graphique donnant les différents utilisateurs en fonction de leur nombre à Obobogo [26]	50
3.7	Graphique donnant les différents équipements en fonction de la puissance consommée [26]	50
3.8	Graphique donnant les puissances unitaires des différents consommateurs [26]	51
3.9	Profil de consommation en électricité d'OBOBOGO [26]	52
3.10	Profil de consommation électrique du quartier Obobogo [26]	52

Liste des tableaux

1.1	caractéristiques physiques générales du soleil [3]	5
1.2	variations mensuelles de la déclinaison [3]	7
1.3	Principaux moyens de stockage d'électricité caractéristiques et coûts d'investissement [11]	22
1.4	présentation de quelques batteries pour le stockage de l'énergie [12]	23
2.1	Comparaison des trois principales technologies de panneaux solaires	31
2.2	caractéristiques de l'onduleur SMA sunny boy 2100 TL	34
2.3	Tableau récapitulatif des différents équipements utilisés pour le dimensionnement de la microcentrale PV	38
3.1	coordonnées géographiques du quartier Obobogo	39
3.2	Irradiation globale incidente pour la zone dObobogo	41
3.3	bilan de puissance maison de famille aisée	45
3.4	bilan de puissance maison de famille moyenne	45
3.5	bilan de puissance maison de famille modeste	46
3.6	bilan de puissance grande villa	46
3.7	bilan de puissance du secteur industriel	47
3.8	bilan de puissance du secteur public	48
3.9	bilan de puissance du quartier Obobogo	49
3.10	Résultats du dimensionnement de la microcentrale PV	53

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dès le début des années 2000, le Cameroun est tombé dans une crise énergétique qui se traduit par des délestages réguliers, des pénuries de gaz de pétrole liquéfié, la baisse de la production pétrolière et la flambée des prix de carburant [1]. A ces problèmes, s'ajoute également ceux des baisses de tension (tension inférieure à 220V) régulières observées dans la grande partie des quartiers de la cité capitale Yaoundé ; l'augmentation incessante de la demande en électricité. La plus grande partie de la production électrique mondiale vient des combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel) ce qui entraîne leur épuisement rapide et favorise la production des gaz à effet de serre. On pourrait ainsi se poser la question suivante : comment produire de l'électricité en utilisant le rayonnement solaire ? Le thème du travail que nous avons développé ici est « **conception d'une microcentrale photovoltaïque pour l'alimentation partielle de la zone d'OBOBOGO** » et s'inscrit en juste ligne pour palier à ces problèmes ci-dessus cités. L'objectif général de ce travail est de produire de l'énergie électrique pour alimenter une partie du quartier Obobogo situé à Yaoundé à l'aide de l'énergie solaire en utilisant des systèmes photovoltaïques. L'atteinte de l'objectif général de ce travail nous amène inéluctablement à des objectifs spécifiques liés au dimensionnement et à l'implantation de la microcentrale PV.

Dans notre travail que nous avons organisé en quatre chapitres, nous aurons pour

but la réalisation de l'objectif général et pour ce faire nous procéderons de façon méticuleuse ainsi qui suit :

Dans le premier chapitre consacré à la revue de la littérature, nous présenterons les différents types de systèmes PV (autonome, réseau, hybride), nous ferons également une présentation détaillée des différents équipements utilisés dans les centrales photovoltaïques tout en faisant des études comparatives ,nous parlerons du potentiel solaire camerounais qui dispose déjà du deuxième potentiel hydro-électrique d'Afrique juste derrière la république démocratique du Congo [2], nous parlerons également des moyens couramment utilisés pour le stockage de l'énergie électrique .

Le second chapitre sera consacré au dimensionnement proprement dit de la microcentrale c'est-à-dire qu'après avoir présenté la méthodologie utilisée pour la collecte de données, nous dimensionnerons chacune des composantes de la microcentrale en détaillant à chaque fois avec le maximum d'informations possibles les méthodes de calcul et de choix de ces équipements.

Dans le troisième chapitre, il sera question exclusivement de présenter les résultats de la collecte de données au quartier Obobogo que nous avons regroupé en différents secteurs en fonction des utilisateurs, de donner les résultats de l'étude météorologique du quartier réalisée grâce au logiciel PVGIS ; de tracer des graphes permettant de matérialiser les différentes consommations en électricité ainsi que de donner un profil de consommation en électricité du quartier à travers le logiciel Excel.

Le quatrième et dernier chapitre nous permettra dans un premier temps de faire le lien entre la réalisation d'un tel projet,son impact sur le système éducatif et

son implication dans la pédagogie éducative ; et dans un second temps de donner son impact sur le développement du quartier Obobogo en particulier qui entraîne celui de la ville de Yaoundé et par ricochet celui du Cameroun en général.

GÉNÉRALITÉS SUR LES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES

Introduction

L'énergie solaire au fil des années a gagné une grande place dans le domaine de l'électrification et le Cameroun n'est pas en reste. L'énergie hydroélectrique produite pour alimenter les villes Camerounaises se fait de plus en plus insuffisante cela se traduisant par des coupures intempestives de l'énergie électrique d'où la nécessité de se tourner vers de nouvelles sources d'énergie. Dans ce chapitre, nous présenterons quelques généralités importantes sur les systèmes photovoltaïques.

1.1 Énergie solaire

L'énergie solaire peut être subdivisée en trois catégories : le solaire passif, le solaire photovoltaïque et le solaire thermique. Chaque catégorie ayant de nombreuses applications tant bien en application directe que en application indirecte .Le solaire passif renvoi à l'utilisation directe du rayonnement solaire ; le solaire photovoltaïque s'applique essentiellement dans les centrales électriques photovoltaïques solaires et pour ce qui est du solaire thermique ,elle a de nombreuses applications parmi lesquels :les centrales électriques thermodynamiques, la climatisation solaire, les cuisinières solaires, les séchoirs solaires et le chauffage des bâtiments [3]. Disponible presque partout à la surface de la terre, Toutes les énergies renouvelables sont issues directement ou indirectement du soleil. Son rayonnement direct peut être utilisé de deux manières :

- Sa chaleur peut être concentrée pour chauffer de l'eau sanitaire, des immeubles, des séchoirs, ou bien un liquide en circulation afin de produire de l'électricité par l'intermédiaire d'un alternateur ou d'une dynamo : c'est le solaire thermique.

- Sa lumière peut être transformée directement en courant électrique grâce à l'effet photovoltaïque.

L'énergie solaire qui touche la terre par année représente environ $1540 * 10^{15} kWh$. Ce qui est 15000 fois plus que la consommation d'électricité mondiale annuelle [4]. Elle est donc une très bonne candidate pour la couverture des besoins d'électrification. Cependant il faut prendre en compte l'ensoleillement local, enlever les surfaces des mers ainsi qu'intégrer des systèmes de conversion performants de celle-ci. À cet effet pouvons-nous parler d'énergie solaire au Cameroun

1.1.1 Quelques données générales sur le soleil

TABLE 1.1 – caractéristiques physiques générales du soleil [3]

Caractéristiques	Grandeur
Age	4,5 x 10 ⁹ ans
Durée de vie estimée	1010 ans
Distance à la terre	150 x 10 ⁶ km
Diamètre	1,4 x 10 ⁶ km (Terre = 12 600 km)
Masse	2 x 10 ³⁰ kg (Terre = 6 x 10 ²⁴ kg)
Masse volumique	1,41 g.cm ⁻³ (eau = 1 g.cm ⁻³ ; Terre = 5,5 g.cm ⁻³)
Puissance rayonnée	4 x 10 ²⁶ W
Energie reçue par la terre	1353 J.m ⁻² s ⁻¹
Température au centre	15 x 10 ⁶ K
Température de surface	5 800 K

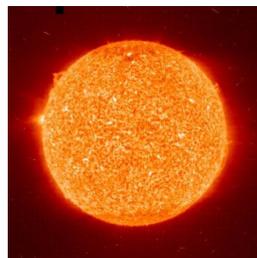


FIGURE 1.1 – schéma illustratif du soleil

1.1.2 Gisement solaire

Pour repérer la position du soleil dans le ciel, il est nécessaire d'utiliser deux coordonnées. Ce sont l'azimut et la hauteur.

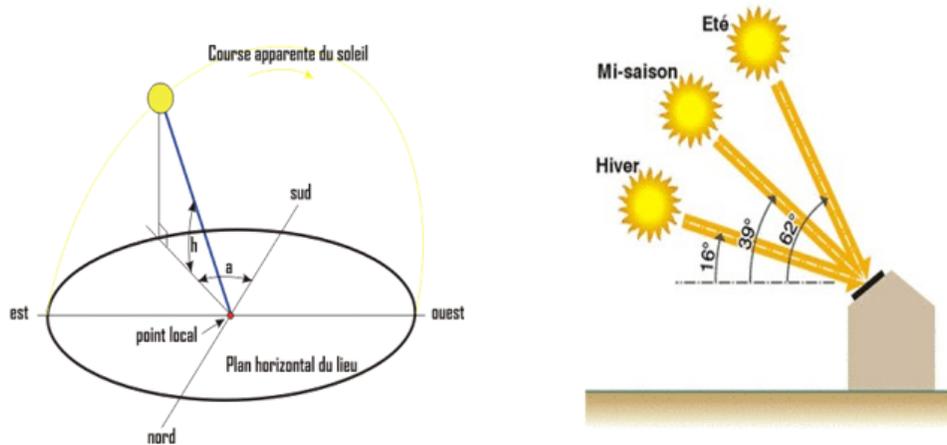


FIGURE 1.2 – repérage du soleil dans le ciel [3]

- **L'azimut solaire** est l'angle que fait le plan vertical du soleil avec le plan méridien du lieu. On le mesure à partir du Sud, vers l'Est ou vers l'Ouest (0 pour le Sud, 180 pour le Nord).
- **La hauteur du soleil** est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal.

Notons ici que la position des modules PV influence la production et que le rendement d'un module PV varie avec l'angle d'incidence des rayons solaires. La position d'un module PV est définie par :

- Son orientation, ou azimut, c'est-à-dire l'angle qu'il fera avec l'axe nord-sud dans le plan horizontal ;
- Son inclinaison, c'est-à-dire l'angle qu'il fera avec le plan horizontal.

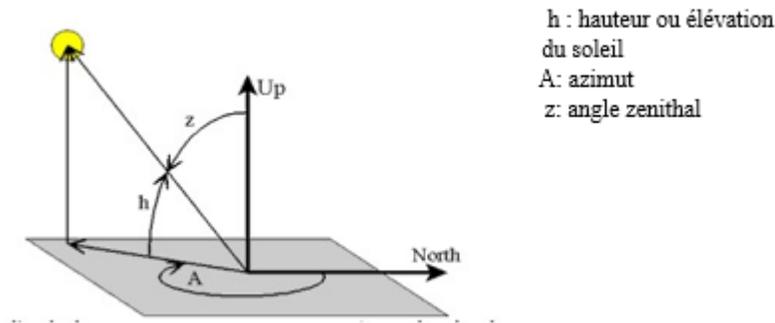


FIGURE 1.3 – Orientation des modules PV

Orientation optimale

C'est relativement simple quand l'horizon est dégagé :

Dans l'hémisphère nord, orienter le module PV vers le sud ; Dans l'hémisphère sud, orienter le module PV vers le nord ; à proximité de l'équateur, l'inclinaison optimale est quasiment l'horizontale, par conséquent, l'orientation n'a plus trop d'importance.

Inclinaison optimale

Inclinaison optimale, celle qui permet d'optimiser la production des module PV pendant le mois le moins ensoleillé. (C'est ce mois qui est utilisé pour le dimensionnement).

$$\beta = \lambda + \delta$$

λ : latitude de la localité

δ : la déclinaison, angle entre le rayon solaire et le plan de l'équateur

TABLE 1.2 – variations mensuelles de la déclinaison [3]

Mois	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
δ	+13	+7	0	-7	-13	-20	-13	-7	0	+7	+13	+20

Mais, Pour les régions à proximité de l'équateur, l'inclinaison optimale est proche de 0. Il faut donner une inclinaison d'au moins 5 à 10. L'inclinaison doit faciliter l'écoulement de l'eau de pluie et l'évacuation des objets et des poussières qui pourraient se déposer sur le module.

Toutefois, la production d'un panneau solaire diminue peu si l'écart avec l'inclinaison optimale est faible. Mais, ces pertes augmentent rapidement si l'écart est supérieur à 20°.

1.2 Potentiel solaire camerounais

L'énergie solaire représente un gisement très important au niveau de la surface du globe terrestre. Les cartes ci-dessous présentent le rayonnement solaire global annuel de la terre en générale et celui du Cameroun en particulier. Le constat est frappant, le Cameroun dispose d'un potentiel important en énergie solaire surtout dans la région septentrionale avec une irradiation globale horizontale, moyenne somme annuelle estimée supérieure à 2200kWh/m² de la période 1994 à 2010 comme on peut le voir sur la figure1.4. Cette énergie pourra ainsi être directement transformée en électricité au moyen des cellules PV comme on le verra par la suite.

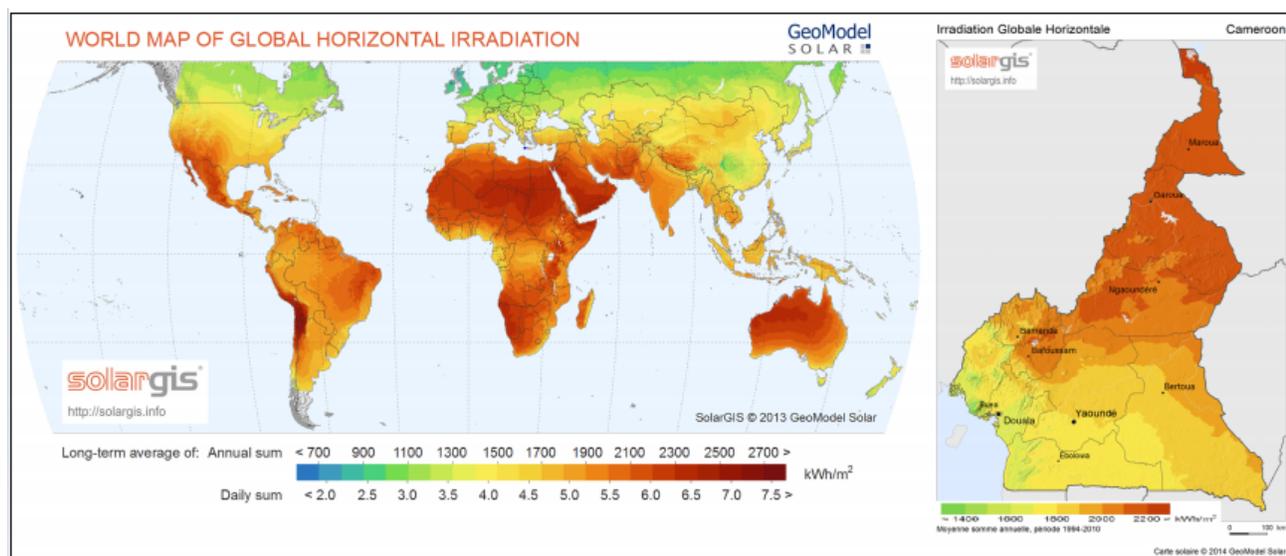


FIGURE 1.4 – Irradiation globale horizontale sur la terre et le Cameroun. [5]

1.3 Principe photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité. Ce phénomène est propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs. Ces matériaux comportent deux parties dont l'une possède un excès d'électrons et l'autre un déficit, dites respectivement dopée n et dopée p. comme on peut l'observer sur la figure1.5.

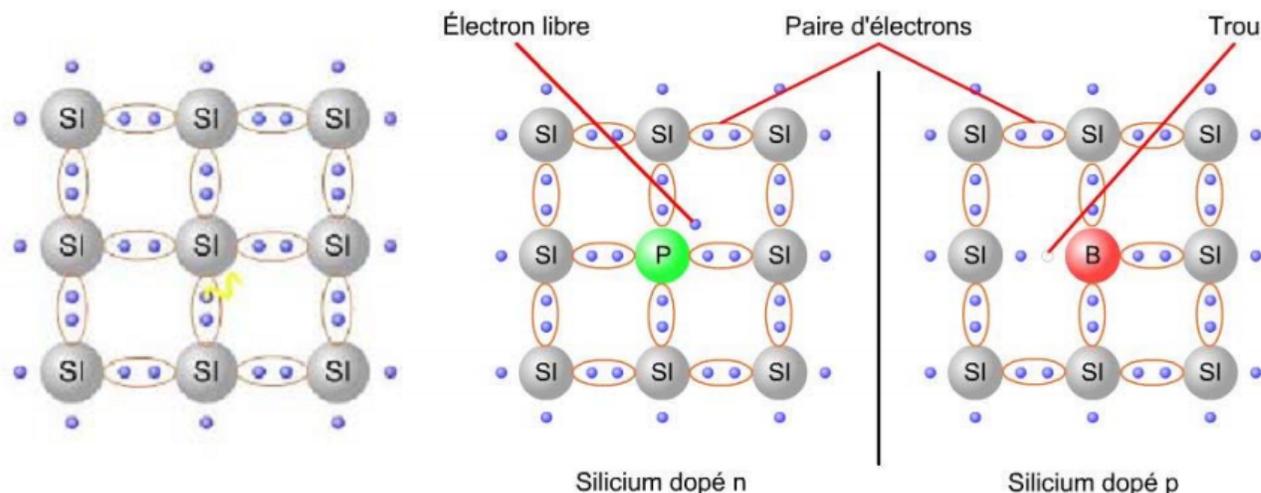


FIGURE 1.5 – Schéma du silicium sans et avec dopage [6]

Le dopage n est obtenu en introduisant une quantité relativement faible de phosphore dans le silicium, celui-ci va se substituer à des atomes de silicium. Or, il possède 5 électrons de valence. Quatre d'entre-deux vont être utilisés pour les liaisons avec les atomes voisins de silicium comme peut le voir à la figure 1.5 et le cinquième électron qui n'a pas participé aux liaisons interatomiques, pourra très facilement être libéré afin de participer au processus de conduction.

Le processus est similaire pour le dopage p. on utilise plutôt le Bore. Ce dernier n'ayant que 3 électrons de valence. Ces trois vont être utilisés pour les liaisons avec les atomes de voisins (silicium) Il devient alors Ion négatif stable et fait apparaître un trou. Mais la quatrième liaison est pendante. Un électron de valence voisin est aisément piégé pour assurer cette liaison, laissant un trou dans la bande de valence. Ce trou se déplace facilement de proche en proche à travers le cristal.

Lorsque la première partie est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p : une jonction dite p-n a été formée.

En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite « qui est l'intervalle d'énergie entre la bande de valence et la bande de conduction dans lequel on n'y retrouve aucun porteur de charge » communiquent leur énergie aux atomes, chacun faisant

passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laissant aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron-trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel : variant de $0.3V$ à $0.7V$ en fonction du matériau utilisé, sa disposition, de la température de la cellule et du vieillissement celle-ci[5].

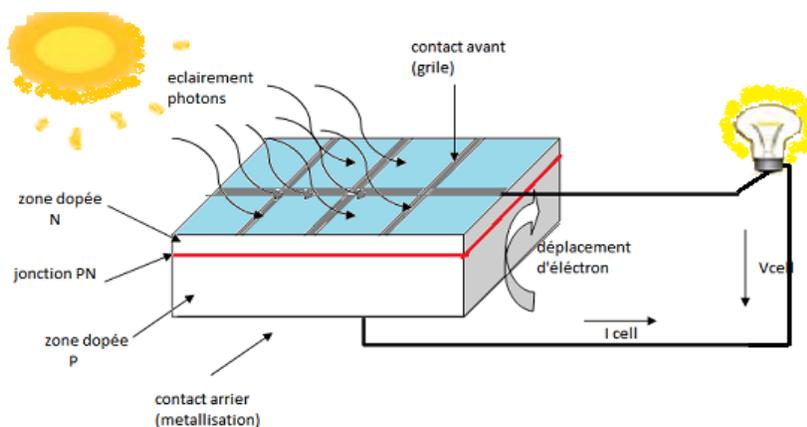


FIGURE 1.6 – Principe effet photovoltaïque

1.4 Technologie des cellules photovoltaïques

Les technologies des cellules PV sont multiples et variées. Le matériau le plus utilisé est le silicium, représentant 90% du marché des cellules PV elle présente le meilleur rendement de conversion de la photopile (énergie produite/énergie reçue). Nous avons aussi les cellules PV à couche mince et celles utilisant d'autres matériaux semi-conducteurs ont été récemment découvertes et sont toujours en phase d'élaboration afin d'accroître leur rendement et leur commercialisation.

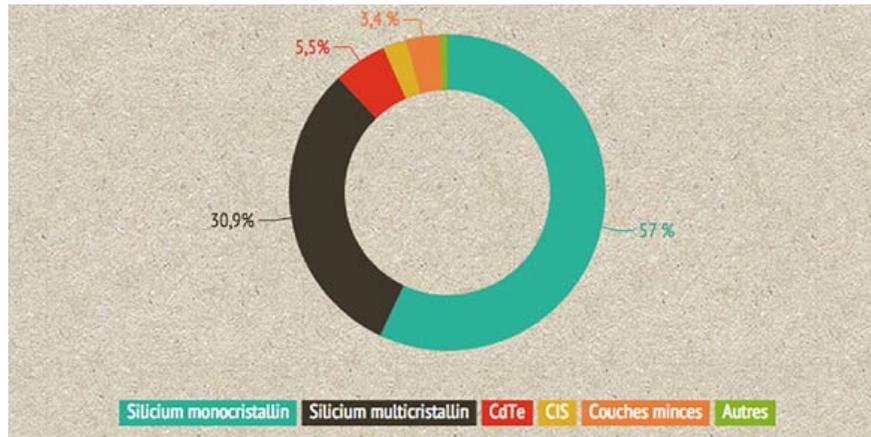


FIGURE 1.7 – Répartition des technologies des cellules PV sur le marché [6]

1.4.1 Silicium monocristallin

Les cellules en silicium monocristallin représentent la première génération des générateurs photovoltaïques. La fabrication se fait selon les procédés suivants : Le silicium est extrait de la silice ou des silicates et purifié afin d'être utilisé pour la fabrication de cellules solaires. Il est chauffé à 1500°C et après un refroidissement lent et maîtrisé, on obtient un lingot de silicium solidifié ne formant qu'un seul cristal. Le lingot est ensuite découpé en briques à l'aide d'une scie à câble ou diamantée refroidie à l'eau. Les briques sont découpées en fines tranches d'épaisseur d'environ 200 microns. Ces fines tranches sont soumises à l'opération de jonction p-n dans un four à diffusion chauffé à 800°C . Cette opération est suivie de la métallisation (pose des électrodes pour le captage du courant) permet d'obtenir enfin les cellules solaires qui reçoivent un revêtement antireflet et ayant un aspect bleu uniforme.



FIGURE 1.8 – Cellule silicium monocristallin [7]

Avantages :

- Bon rendement par rapport aux autres technologies, de 12% à 18%

- Bon ratio Wc/m^2 (environ $150Wc/m^2$) ce qui permet un gain de place si nécessaire
- Nombre de fabricants élevé
- Durée de vie : 20 à 30 ans

Inconvénients :

- Sa fabrication demande une quantité d'énergie importante, ce qui entraîne un coût élevé ;
- Rendement faible sous un faible éclaircissement.

1.4.2 Silicium polycristallin (multi cristallin)

Les cellules au silicium polycristallin ont le même procédé de fabrication que celles au silicium monocristallin à la seule différence que, dans le cas des cellules au silicium polycristallin le refroidissement est bien plus rapide, avec formation de plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté non uniforme et on distingue des motifs créés par les différents cristaux.



FIGURE 1.9 – Cellule silicium polycristallin [7]

Avantages :

- Cellule carrée (à coins arrondis dans le cas du Si monocristallin) permettant un meilleur foisonnement dans un module
- Moins chère qu'une cellule monocristalline (car moins énergétivore)
- Durée de vie : 20 à 30ans

Inconvénients :

- Moins bon rendement par rapport à une cellule monocristalline : 11 à 15%
- Ratio Wc/m^2 moins bon que celui du monocristallin (environ $100Wc/m^2$)
- Rendement faible sous un faible éclaircissement.

Ce sont les cellules les plus utilisées pour la production électrique (meilleur rapport

qualité-prix).

1.4.3 Silicium amorphe

Le silicium lors de sa transformation produit un gaz qui est projeté sur une fine feuille de verre. Cette technologie permet de réaliser des panneaux souples qui permettent une installation simplifiée, principalement sur de grandes surfaces comme les toitures de bâtiments industriels. La cellule est d'un gris très foncé et est généralement retrouvée sur des calculatrices et montres dites "solaires".

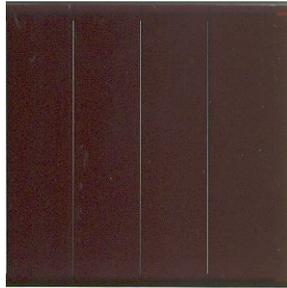


FIGURE 1.10 – Cellule Silicium amorphe [7]

Avantages :

- Fonctionne avec un éclairage faible ou diffus (même par temps couvert)
- Moins coûteux que les autres technologies
- Intégration sur supports souples ou rigides

Inconvénients :

- Rendement faible en plein soleil, de 6% à 8%
- Nécessité de couvrir des surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de silicium cristallin
- (ratio W_c/m^2 plus faible, environ $60W_c/m^2$)
- Performances qui diminuent avec le temps (environ 7%).

1.4.4 Cellule multi jonction

Cette technologie consiste à superposer plusieurs couches minces de silicium traitées de manière à absorber des rayons solaires spécifiques. Par exemple les couleurs vertes peuvent être

absorbées par une couche et les couleurs rouges par une autre.

Ainsi les cellules multi jonction peuvent atteindre des rendements record de 42%. Elles ont déjà été utilisées dans le domaine spatial, mais ne sont pas encore commercialisées.

Les coûts élevés des technologies de cellules au silicium ont encouragé les recherches des technologies de cellules sans silicium.

1.4.5 Cellules GIS (Cuivre/Indium/Gallium/Sélénium) et cellule en tellure de cadmium (CdTe)

Le silicium peut être remplacé par d'autres matériaux moins onéreux pour la fabrication des cellules à couches minces.

- Le tellure de cadmium offre de bons rendements (17%), mais le développement de ces panneaux est ralenti en raison de la toxicité de ce matériau.
- Les cellules CGIS sont appelées ainsi car le matériau semi-conducteur remplaçant le silicium est à base de cuivre, de gallium, d'indium, de sélénium et des métaux non toxiques. Elles offrent un meilleur rendement que les couches minces classiques (10%). Mais le développement d'une filière est pour le moment improbable compte-tenu du fait qu'il s'agit de métaux dont la production mondiale est très faible.

1.4.6 Cellule organique

Des cellules peuvent être fabriquées à partir de composés organiques (matières plastiques). Il s'agit de panneaux dont le coût de fabrication est faible mais dont la durée de vie et le rendement (record mondial de 5,9% en laboratoire) sont encore insatisfaisants.

1.5 Caractéristiques des modules photovoltaïques

Les modules sont un assemblage de photopile (ou cellule) montée en série, afin d'obtenir la tension désirée (12V, 24V ...). La cellule photovoltaïque est l'élément de base dans la conversion du rayonnement [8]. Plusieurs cellules sont associées dans un module qui est la plus petite surface de captation transformable, montable et démontable sur un site. Les modules

sont regroupés en panneaux, qui sont regroupés en panneaux, qui sont à leur tour associés pour obtenir des champs photovoltaïques selon les besoins. Les cellules photovoltaïques sont réalisées principalement par le silicium cristallin, qui est utilisé sous forme monocristalline ou multi-cristalline en plaquette ou en ruban ou encore en couches semi-minces sur substrat selon les technologies récentes.

1.5.1 Caractéristiques électriques d'un module PV

Le schéma électrique correspondant à un module PV est le suivant :

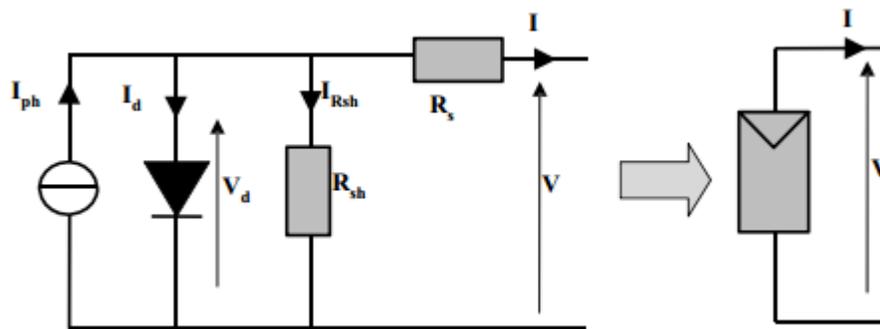


FIGURE 1.11 – schéma électrique d'un module PV [11]

on a alors :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{Rsh} \quad (1.1)$$

$$I_d(V) = I_0 \left(\exp \left(\frac{q(V + R_s I)}{nkT} \right) - 1 \right) \quad (1.2)$$

$$I_{Rsh} = \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1.3)$$

La caractéristique intensité-tension peut donc être représenté ainsi qu'il suit [9] :

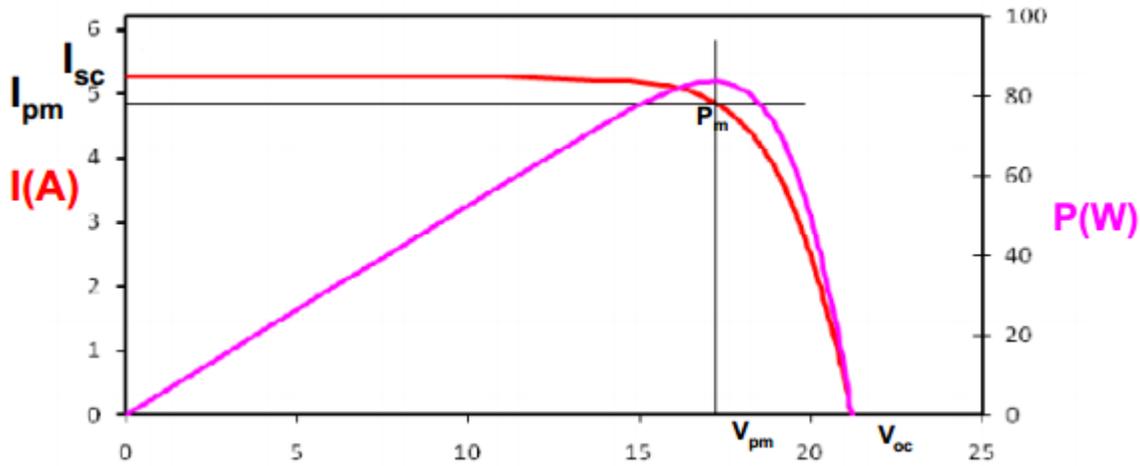


FIGURE 1.12 – Caractéristique tension-intensité

$$\eta = \frac{P_m}{\phi} = \frac{V_{pm} I_{pm}}{\phi} \tag{1.4}$$

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{V_{pm} I_{pm}}{V_{oc} I_{sc}} \tag{1.5}$$

Avec :

- Courant de court-circuit (I_{sc})
- Tension de circuit ouvert (V_{oc})
- Puissance maximale (P_m)
- Rendement (η)
- Facteur de forme(FF)

1.5.2 Association des modules PV

Les modules sont associés en série et en parallèle pour obtenir des puissances importantes et la tension voulue. On protège chaque cellule PV contre l'échauffement en lui montant une diode dite « diode bypass » en parallèle qui la court-circuite. Aussi on évite qu'un module PV soit récepteur en mettant en série à chaque branche une diode dite « diode anti-retour », de chute de tension négligeable. Les différents types d'associations sont : association en série, association en parallèle, association mixte (parallèle-série) [9].

● Association en série

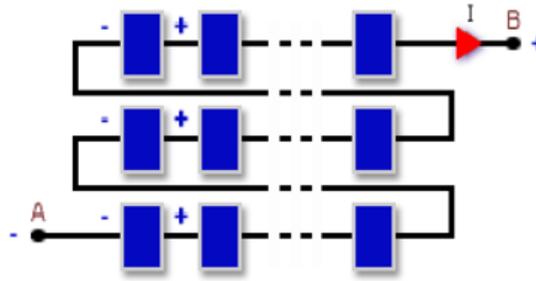


FIGURE 1.13 – modules non identiques en série

- La tension du générateur équivalent est égale à la somme des tensions des modules de l'association ;
- Le courant du générateur équivalent est celui du module ayant le plus faible courant.

● Association en parallèle

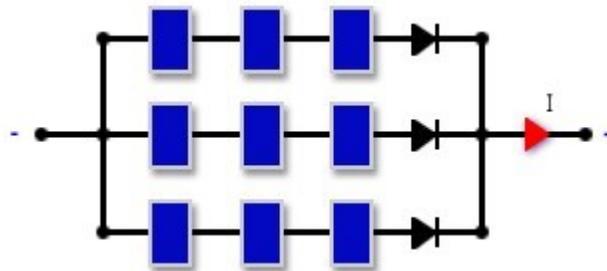


FIGURE 1.14 – modules non identiques en parallèle

- La tension du générateur équivalent est égale à la tension du module dans l'association ayant la plus faible tension.
- Le courant du générateur équivalent est égal à la somme des courants des modules de l'association.

● Association mixte

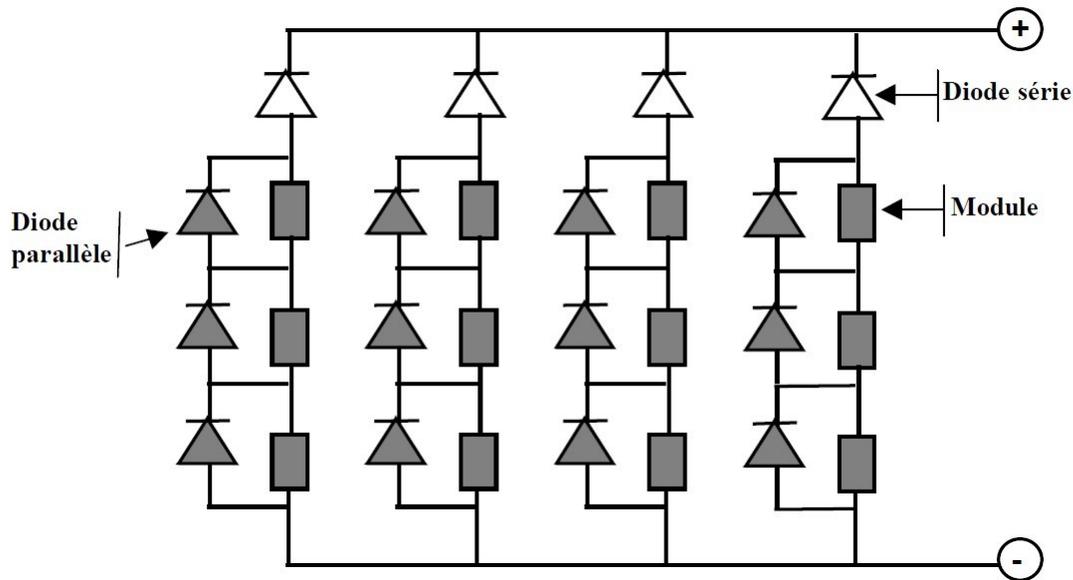


FIGURE 1.15 – Réseau de modules en série-parallel

1.6 Généralités sur les systèmes PV

1.6.1 Historique des systèmes PV : quelques dates importantes

Découvertes et créations importantes qui ont marqué l'histoire des systèmes PV.

- En 1839, la découverte de l'effet photovoltaïque par le physicien français Antoine Becquerel a montré que la lumière naturelle du soleil peut être transformée en électricité ;
- En 1883, conception de la première cellule solaire au Sélénium (avec un rendement de 1%) par l'Américain Charles Fritts.
- En 1905, Albert Einstein explique l'effet photovoltaïque et obtient en 1921 un prix de physique pour cette découverte.
- En 1954, les laboratoires Bell (Charpin, Pearson et Price) présentent la première cellule au silicium avec un rendement de 4%
- En 1958, première utilisation photovoltaïque dans un satellite artificiel américain Vanguard 1 avec un rendement de 9% et de puissance 0.1W.
- En 1963, première application terrestre dans un phare au Japon avec une puissance de 242W
- En 1973, première maison photovoltaïque, Solar One, construite à l'université de Delaware

aux USA.

- En 1982, première installation PV relié au réseau électrique en Europe (TISO en Suisse).
- En 1992, première installation PV relié au réseau électrique en France (puissance 900W.)

Au cours des années 80, la technologie photovoltaïque terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts, et est même devenue familière à des consommateurs à travers de nombreux produits de faibles puissances y faisant appel : montres, calculatrices, balises radio et météorologiques, pompes et même réfrigérateurs solaires. De nos jours, la nécessité d'une énergie respectueuse de l'environnement a permis aux panneaux photovoltaïques de devenir une alternative plus que crédible pour produire de l'électricité.

On distingue trois configurations possibles des systèmes PV : autonome, hybride et relié au réseau. Le type de système choisi dépendra des besoins, de l'emplacement du site et du budget.

1.6.2 Système PV autonome

Les systèmes autonomes sont complètement indépendants d'autres sources d'énergie ; ils sont dits **autonomes** puisque seule l'énergie produite par le PV est utilisée pour alimenter le site. Ils servent habituellement à alimenter les maisons, les chalets ou les camps dans les régions éloignées, ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries d'accumulateurs pour stocker le surplus d'énergie produite afin d'être utilisé la nuit ou en absence de soleil. De tels systèmes sont particulièrement utiles et rentables dans les applications estivales lorsque l'accès à un endroit est difficile ou coûteux ou lorsque les besoins en entretien doivent être réduits au minimum.

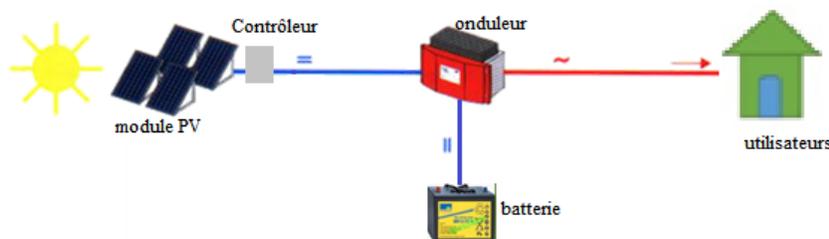


FIGURE 1.16 – Système PV autonome

1.6.3 Système PV connecté au réseau

Les systèmes raccordés au réseau permettent de réduire la consommation d'électricité provenant du service public, et dans certains cas, lui renvoyer l'énergie excédentaire. Le service public pourrait nous créditer l'énergie retournée au réseau. Étant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que nous ne voulions une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité. Il est donc bon de noter ici que la mise en œuvre d'un tel système demande une bonne connaissance du réseau utilisé. Ces systèmes sont utilisés dans les immeubles, les domiciles ou les chalets déjà reliés au réseau électrique.

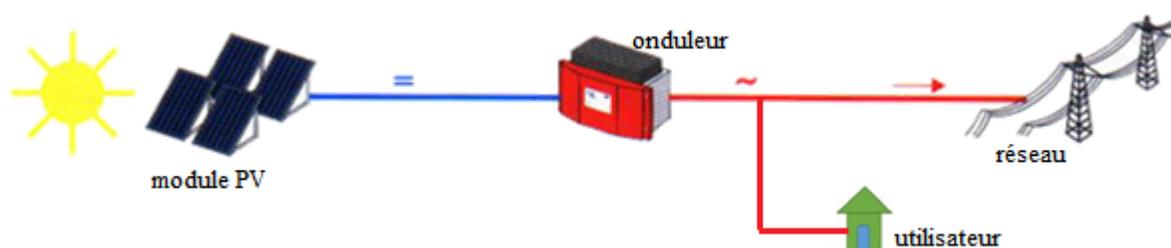


FIGURE 1.17 – Système PV connecté au réseau

1.6.4 PV dans un système hybride

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou de plusieurs sources supplémentaires. En pratique, les modules des systèmes PV sont souvent alliés à une éolienne ou à une génératrice à combustible (diesel par exemple). De tels systèmes ont habituellement des accumulateurs de stockage d'énergie mais peuvent également fonctionner sans système de stockage. Ils conviennent mieux lorsque la demande d'énergie est élevée (pendant l'hiver ou tout au long de l'année), lorsque l'énergie doit être fournie sur demande ou si votre budget est limité. Le taux de pénétration du PV est donc capital pour réduire le coût de la production quand un groupe électrogène est utilisé.

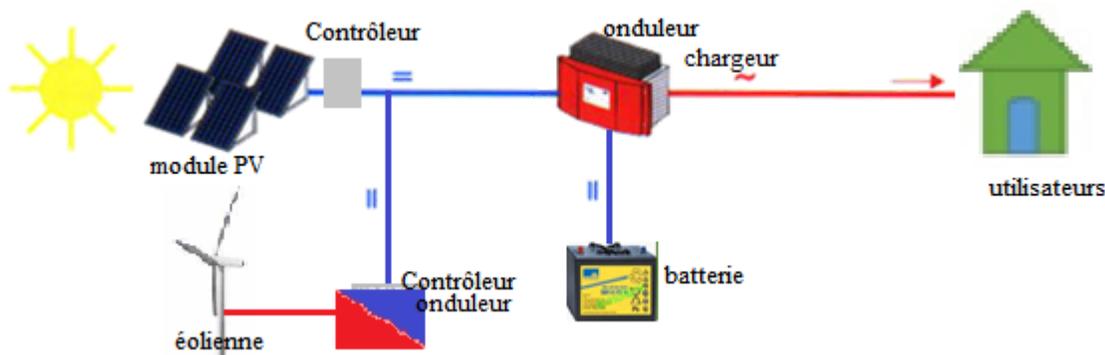


FIGURE 1.18 – Système hybride

1.7 Le stockage de l'énergie électrique

Le stockage de l'énergie se définit comme l'action consistant à placer une quantité d'énergie dans un environnement donné, fixe ou amovible, afin de permettre une utilisation ultérieure. Ce stockage est maîtrisé technologiquement pour ce qui est des combustibles primaires (charbon, pétrole brut, etc.) ou secondaires (produits pétroliers, etc.), mais avec nécessité d'un fort potentiel d'amélioration en ce qui concerne la chaleur (pour le chauffage et la climatisation des bâtiments) et l'électricité.

Dans sa globalité, le stockage de l'électricité vise à répondre à quatre problématiques essentielles [10] : la récupération d'une production excédentaire issue principalement de productions renouvelables intermittentes ; un déstockage pour compenser le caractère intermittent des dites productions ; un déstockage pour alimenter un pic de consommation ponctuel ; un déstockage pour compenser une défaillance du réseau.

Les technologies de stockage d'énergie électrique sont multiples, variées et complémentaires, capables ainsi de s'adapter au mieux au système de production énergétique et à la couverture de la demande. Mais le choix d'une technologie de stockage dépend d'un certain nombre de critères parmi lesquels :

- La puissance disponible ;
- La nature et la quantité disponible ;
- La densité de stockage en énergie et puissance qui conditionne le volume et le poids du système ;
- Le coût (investissement, fonctionnement et maintenance) ;

- La sécurité du système.

Le tableau 1.3 regroupe les caractéristiques et les coûts d’investissement des principales technologies de stockage d’énergie électrique où le coût d’investissement par unité de puissance représente le coût correspondant à la quantité de puissance que peut absorber le système de stockage , tandis que le coût d’investissement par unité d’énergie représente le coût correspondant à l’énergie (la puissance délivrée dans un temps donné) que peut stocker le système ;Par exemple, une batterie délivre beaucoup de puissance mais dans un temps assez court.

TABLE 1.3 – Principaux moyens de stockage d’électricité caractéristiques et coûts d’investissement [11]

Caractéristiques	Puissance cible	Rendement	Durée de vie(ans)	Coût(€/kW)	Coût(€/kWh)
Batteries classiques	10kW-10MW	0.7	10-12(3000 cycles)	250-350	500-1500
Batteries à base de lithium	Qq kW /Qq 100kW	0.7-0.75	10-15	600-1500	/
Batteries redox-flow	Qq MW	0.65-0.75	15-20	1000-3000	100-400
Batteries NaS	Qq 50MW/ Qq 10MW	0.7-0.75	10-15	100-2500	/
STEP	Qq MW/Qq GW	0.65-0.8	40-60	500-1500	70-150
CAES adiabatique en caverne	100-500MW	0.5	30-40	450-650	50-80
CAES avec réservoir	Qq 1-10MW	0.5	30-40	500-700	150-200
Hydro pneumatique	Qq 1MW	0.75	20-30	600-1000	200-500
SMES(électromagnétisme	Qq kW/Qq 100Mw	0.75-0.8	20-30	100-500	/
Volants d’énergie	Qq kW/Qq 10MW	0.85-0.95	20	150-3000	/

Comme nous l’avons vu précédemment, on distingue plusieurs moyens de stockage de l’énergie. Nous présenterons maintenant quelques types de batteries pour le stockage de l’énergie produite par une installation photovoltaïque.

TABLE 1.4 – présentation de quelques batteries pour le stockage de l'énergie [12]

Séries de la batterie	Fabriqueur	Catégorie	Technologie	Tension nominale (V)	Capacité nominale (Ah)	Caractéristiques	Région de fabrication	Illustration
Tabular GEL battery	Eastman Auto	autonome	Acide de plomb	12	100-200	performances stables avec un coût abordable	Inde	
B4850 batter62 4Ly module	Dyness	Réseau	LFP	48	50	Facile à installer; bonne garantie(8ans)	Chine	
Rack system	Dyness	Réseau	LFP	624	74	Facile à installer ; assure une alimentation tout le temps	Chine	
BESS series	Narada energy	Réseau	li-ion	600-691.2	/	Modèle de protection intégré	Chine	

1.8 Les onduleurs pour systèmes photovoltaïques

Les fonctions de l'onduleur sont de convertir et d'acheminer l'électricité produite avec un maximum d'efficacité et en toute sécurité vers le réseau électrique dans le cas du raccordé réseau ou à l'utilisateur dans le cas des sites isolés.

L'onduleur se présente sous la forme d'un boîtier métallique muni d'un radiateur ou alors d'un ventilateur. Il est placé sur un support vertical comme un mur dans un espace ventilé ou dehors, à l'abri et le plus près possible des modules photovoltaïques afin de limiter les pertes d'électricité en ligne. Il n'émet que peu de bruit (un léger ronronnement ou sifflement) et le champ électromagnétique est très faible, inférieur à celui d'une plaque à induction [13].

L'onduleur convertit le courant continu des modules photovoltaïques en courant alternatif identique à celui du réseau. Il est caractérisé par un rendement particulier, rapport entre la puissance de sortie et la puissance d'entrée, et qui dépend de sa capacité à s'adapter aux caractéristiques du champ photovoltaïque.



FIGURE 1.19 – Un onduleur pour une centrale solaire photovoltaïque [16]

Il est géré par un microprocesseur et garantit que le courant produit répond exactement aux normes fixées par le gestionnaire du réseau (voltage, fréquence, émission d'harmoniques, etc. . .). Il assure aussi la sécurité du système entier par une protection de découplage. Les onduleurs pour systèmes photovoltaïques sont classés en trois catégories en fonction des choix techniques retenus par les fabricants d'onduleurs : Les onduleurs munis d'un transformateur basse fréquence $50Hz$ (BF) ; Les onduleurs munis d'un transformateur haute fréquence (HF) ; Les onduleurs sans transformateurs.

1.8.1 Onduleurs avec transformateur BF - Onduleurs en pont avec transformateur BF

Les modules photovoltaïques sont raccordés en entrée de l'onduleur via un filtre qui élimine les interférences électromagnétiques (il s'agit ici d'un filtre EMI qui n'est pas représenté sur la figure ci-dessus) un transformateur basse fréquence augmente la tension à la sortie de l'onduleur jusqu'au niveau de la fréquence du réseau et assure une isolation galvanique entre l'onduleur PV et le réseau.

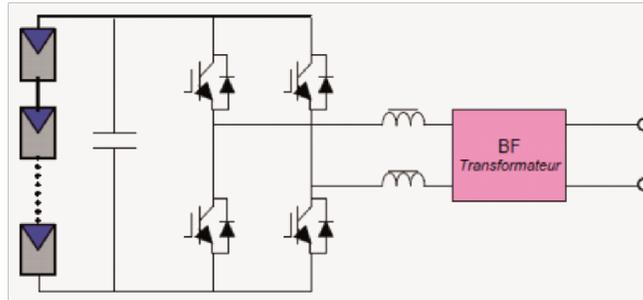


FIGURE 1.20 – onduleur en pont avec transformateur BF [17]

1.8.2 Onduleurs avec transformateur HF - Onduleur en pont avec convertisseur DC/DC Flyback et transformateur HF (THF1)

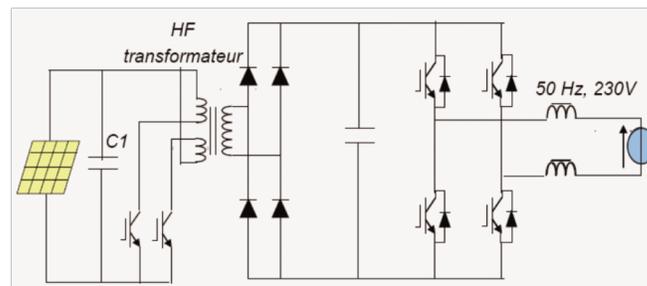


FIGURE 1.21 – onduleur en pont avec transformateur HF

Les modules PV sont raccordés en entrée de l'onduleur. La tension du générateur PV passe par un convertisseur DC/DC qui se compose :

- D'un convertisseur Flyback (ou Forward) convertissant le courant continu (DC) fourni par les panneaux PV en courant continu avec un niveau de tension désiré en utilisant la technique de modulation de largeur d'impulsion avec une fréquence de découpage de 16 à $20kHz$.
- D'un transformateur HF augmentant la tension à un niveau de tension nécessaire pour l'onduleur et assure une isolation galvanique
- D'un pont redresseur transformant le courant alternatif HF en courant continu.

Après filtrage, un pont de transistors IGBT convertit ensuite le courant continu (DC) fourni par le convertisseur DC/DC en courant alternatif (AC) en utilisant la technique de modulation de largeur d'impulsion dont le fondamental est à la fréquence de $50Hz$.

1.8.3 Les onduleurs sans transformateurs

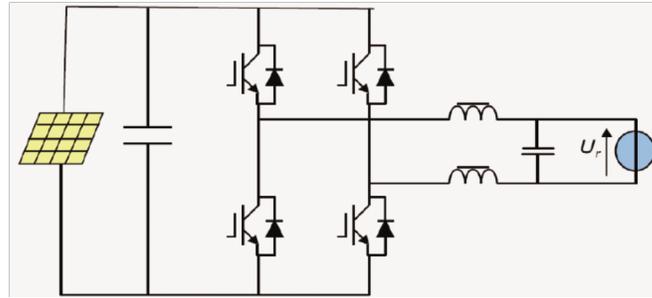


FIGURE 1.22 – onduleur en pont sans transformateur

Les modules PV sont raccordés en entrée de l'onduleur via un filtre qui élimine les interférences électromagnétiques (filtre EMI non représenté ici sur la figure).

Le choix de l'onduleur se fait aussi en fonction de la manière dont on veut combiner le champ photovoltaïque et l'onduleur. En moyenne, l'onduleur a une durée de vie de 8 à 12 ans. Aujourd'hui, une garantie sur cinq ans est devenu la norme chez les constructeurs. Suivant les constructeurs, il est parfois possible d'étendre la garantie à 10 ans, voire à 20 ans. La durée de vie est appelée à augmenter avec l'utilisation de composants qui sont toujours de meilleure qualité et plus résistants aux hausses de températures.

1.9 Conclusion

Au terme de notre présentation de quelques éléments constitutifs des systèmes photovoltaïques notamment les panneaux solaires, les onduleurs, les batteries, nous avons déjà une vue globale sur les systèmes PV et les différentes utilisations de l'énergie solaire ; cette énergie présente donc un grand nombre d'avantages tant sur le plan économique que sur le plan environnemental avec la limitation de l'émission des gaz à effet de serre. Le chapitre suivant nous présentera le dimensionnement de notre microcentrale photovoltaïque.

DIMENSIONNEMENT DE LA MICROCENTRALE PV

2.1 Introduction

Il s'agira dans ce chapitre de présenter dans un premier temps la méthodologie de notre travail, tant celle de la collecte de données que celle de l'estimation du besoin en électricité de la zone d'étude ensuite dans un deuxième temps de dimensionner les différents équipements (le champ photovoltaïque, le système de stockage, l'onduleur, etc.) qui constituent la microcentrale photovoltaïque.

2.2 Méthodologie du dimensionnement de la microcentrale

Le but du dimensionnement est de déterminer les composants adéquats (tant au niveau des performances que des caractéristiques techniques) de l'installation PV à partir des données météorologiques de la localité et des besoins énergétiques du site. Pour un bon dimensionnement nous devons prendre en compte quelques conseils [14] :

- Tenir compte du concept d'efficacité énergétique ;
- Réduire la consommation sans réduire le service rendu (principe de base de la conception des centrales photovoltaïques ;
- Choisir des équipements pouvant satisfaire les besoins énergétiques durant toute la période demandée en tenant compte des contraintes techniques et budgétaires.

2.2.1 Méthodologie de collecte de données au quartier Obobogo

La collecte de données au quartier Obobogo s'est faite à travers une enquête menée en deux étapes auprès des différents responsables des foyers d'habitation, de ceux ayant en charge la

gestion de grands commerces, de petits commerces, d'hôtels, d'hôpitaux, de lieux de cultes, de bars et de snack bars ; question de prendre connaissance de leurs différentes consommations électriques, de leurs attentes mais également des coûts y afférents.

La collecte de données nous a également permis de :

- Classer les différents consommateurs en fonction de leurs besoins en électricité ;
- Situer énergétiquement ces consommateurs (utilisateurs) en fonction des méthodes d'accès aux services énergétiques et les différents coûts y afférents ;
- Donner les paramètres géographiques (latitude et longitude), climatiques (ensoleillement, température) du quartier Obobogo ;
- Donner les caractéristiques du site choisis pour l'implantation de la microcentrale PV.

Cette collecte de données a été réalisée à l'aide d'un questionnaire que nous avons rempli en fonction des différents utilisateurs interrogés et que nous présenterons à l'annexe 1.

2.2.2 Estimation du besoin en électricité du quartier

La première étape et sans doute l'une des plus importantes dans la mise en place d'une microcentrale est l'estimation de la puissance électrique à fournir pour satisfaire la demande des consommateurs.

Afin d'avoir une idée de cette demande il est donc indispensable de dresser un bilan de puissance du quartier (d'une partie du quartier ici dans le cadre de notre travail puisqu'il s'agit d'une alimentation partielle de la zone d'Obobogo) et d'évaluer sa consommation journalière.

Un **bilan de puissance** peut se définir comme étant une évaluation de la puissance des équipements électriques que possèdent tous les utilisateurs du quartier [15]. Ainsi, en se référant aux données collectées nous avons dressé un bilan de puissance total du quartier. Pour faciliter notre travail, nous avons d'abord dresser indépendamment le bilan de puissance des différents utilisateurs que nous avons regroupés par secteurs :

- **Secteur résidentiel (domestique)**

- Maisons de familles aisées
- Maisons de familles moyennes
- Grande villa

- Immeubles d’habitations à plusieurs appartements

- **Secteur industriel (PME et PMI)**

- Hôtels
- Pressing
- Alimentation et autres lieux de commerces
- Ateliers de couture, de coiffure
- Garages automobiles, atelier de soudure et menuiseries

- **Secteur public**

- Etablissement et institutions d’enseignement (maternelle, primaire, secondaire et supérieur)
- Hôpitaux

- **Autres consommateurs**

Ce secteur concerne toutes sortes de consommateurs qui n’ont pas pu être classés dans les différents catégories ci-dessus citées.

Le bilan de puissance total du quartier est obtenu en faisant la somme des différents bilans de puissance de tous les secteurs.

2.3 Dimensionnement des différents équipements de la microcentrale PV

2.3.1 Dimensionnement du champ photovoltaïque

Dans cette partie, il s’agira de :

- Déterminer la puissance crête $P_c(W_c)$ de la microcentrale
- Déterminer le nombre total de modules à utiliser

* Détermination de la puissance crête de la microcentrale PV

La puissance crête P_c est la puissance fournie par les modules PV pour un ensoleille-

ment de $1000W/m^2$. Elle se calcule par la formule suivante [16] :

$$P_c(W_c) = \frac{C_{jv}}{R_{bat} \times R_{ond} \times R_{gen} \times H} \quad (2.1)$$

Avec :

C_{jv} : la consommation journalière du quartier

R_{bat} : le rendement de la batterie (que l'on prendra à 80%)

R_{ond} : le rendement de l'onduleur (il sera pris à 96% ; voir fiche technique de l'onduleur en annexe2)

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

H : l'irradiation solaire ou rayonnement solaire journalier du mois le plus défavorable (en $kWh.m^{-2}.J^{-1}$)

* Choix et détermination du nombre de modules PV

En ce qui concerne le choix du module PV, il doit se faire en tenant compte de :

- La disponibilité sur le marché, l'adaptation au climat du site
- Leur productivité

Nous avons regroupé dans le tableau suivant les trois principaux types de panneaux solaires photovoltaïques (bien que tous soient produits à base de silicium).

TABLE 2.1 – Comparaison des trois principales technologies de panneaux solaires

Technologie	Silicium monocristallin	Silicium polycristallin	Silicium amorphe (ou à couche mince)
Illustration			
Couleur	Couleur uniforme allant du gris au bleu foncé	Bleu nuit	Gris foncé ou marron
Rendement	Meilleur rendement sur le marché 12 à 20%	Bon rendement 11 à 17%	Rendement faible 5 à 9%
Puissance	100 à 150 W_c/m^2 7 m^2/kW_c	100 W_c/m^2 8 m^2/kW_c	50 W_c/m^2 16 m^2/kW_c
Coût	Ils sont les plus chers sur le marché	Coût moins élevé que pour les panneaux monocristallins (meilleur rapport qualité/prix)	Le moins chers sur le marché
Fabrication	Elaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal	Elabores à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux	Couche très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal par un procédé de vaporisation sous vide
Part du marché	43%	47%	10%

En tenant compte du rapport qualité/prix et du rendement non négligeable offert, nous choisirons les panneaux solaires photovoltaïques composés de cellules en silicium polycristallin qui sont mieux adaptés à notre projet. Nous utiliserons donc le **module polycristallin Suntech de puissance crête 305Wc** dont la fiche technique est présentée à l'annexe 2.

Pour ce qui est de la détermination du nombre de modules, on a :

– **Nombre total de modules**

Le nombre total de modules à utiliser est donné par la relation suivante :

$$N_m = \frac{P_c}{P_{cm}} \quad (2.2)$$

Avec :

P_c : La puissance crête totale

N_m : Le nombre de modules pv à utiliser

P_{cm} : La puissance crête d'un module

– **Nombre de modules en série**

Pour limiter les pertes en ligne liées à l'effet joule ($P = RI^2$), il faut abaisser le courant (I^2) et donc élever la tension ; c'est la raison pour laquelle on relie les modules en série .Le champ PV sera directement connecté à un onduleur PV qui se chargera de convertir l'énergie continue du champ PV en énergie alternative.

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

$$N_{ms} = \frac{V_{gen}}{V_{mod}} \quad (2.3)$$

Avec :

N_{ms} :Le nombre de modules en série

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

V_{gen} : La tension maximale du générateur

– **Nombre de branches en parallèle**

$$N_{bmp} = \frac{P_c}{P_{cm} \times N_{ms}} \quad (2.4)$$

Avec :

N_{bmp} :Nombre de branches montées en parallèle

P_{cm} : La puissance crête d'un module

Nous en déduisons donc la puissance totale installée P_{cin} qui est donnée par :

$$P_{cin} = N_{bmp} \times N_{ms} \times P_{cm} \quad (2.5)$$

2.3.2 Dimensionnement du système de conversion (onduleur)

Dans la pratique, il convient de procéder à un sous-dimensionnement de la puissance AC de l'onduleur comparée à la puissance crête de la (ou des) branche(s) connectée(s). Ce sous-dimensionnement est généralement toléré jusqu'à la valeur de 80% de la puissance crête. Pour le dimensionnement de l'onduleur, la puissance nominale de l'onduleur est comprise entre 80% et 110% de la puissance crête. Plusieurs critères permettent le choix de l'onduleur :

* Critères de choix en entrée

- La puissance nominale
- La tension maximale
- La plage de tension d'entrée
- Le nombre maximal de string (branches) raccordables

* Critères de choix en sortie

- Le rendement
- La tension nominale et la fréquence nominale
- La puissance maximale et la puissance nominale
- La possibilité de limiter la puissance injectée dans le réseau selon la consigne donnée par l'exploitant
- La fonction de déconnexion automatique du réseau : cette fonction commande l'arrêt automatique de l'onduleur et la déconnexion du réseau en absence de tension sur le réseau électrique

Le choix de l'onduleur doit être fait de telle sorte que la puissance totale de l'onduleur soit supérieure à la puissance totale installée P_{cin} . Notre choix se porte donc sur l'**onduleur SMA Sunny boy 2100 TL** dont la fiche technique est présentée à l'annexe 3. Le tableau suivant présente quelques caractéristiques de cet onduleur :

TABLE 2.2 – caractéristiques de l'onduleur SMA sunny boy 2100 TL

Modèle	Sunny boy 2100 TL
Puissance DC max	2200W
Puissance AC max	2100W
Topologie	Sans transformateur
Rendement	96%
Garantie	5ans, extension jusqu'à 20ans

2.3.3 dimensionnement de la capacité de stockage (batteries)

Dans le cadre de notre étude, toute l'énergie produite au cours de la journée ne sera pas totalement utilisée au cours de celle-ci nous devons donc penser à un moyen de stocker ce surplus d'énergie. Les systèmes de stockage généralement utilisés pour des installations photovoltaïques sont les batteries d'accumulateur au plomb avec des taux de décharge maximum dont l'ordre varie entre 50% et 80% pour des batteries solaires [17].

Nous évaluerons la capacité de stockage de notre microcentrale à l'aide de la formule suivante :

$$C_s = \frac{C_{tot} \times N_{aut}}{V_{ondbat} \times R_{bat} \times R_{ond} \times Ddp} \quad (2.6)$$

Avec :

C_s : capacité minimale du parc des batteries en Ah

R_{bat} : le rendement de la batterie

R_{ond} : le rendement de l'onduleur

V_{ondbat} : la tension assignée à l'entrée de l'onduleur chargeur choisi qui est de 48V dans notre cas (voir fiche technique de l'onduleur en annexe 4)

N_{aut} : nombre de jours d'autonomie; on le prendra égal à 01 pour tenir compte du contexte économique

Ddp : décharge profonde de la batterie qui dépend des prescriptions du fabricant (il sera ici égal à 0.7 permettant de ne pas atteindre la décharge complète des batteries)

C_{tot} : la consommation totale en énergie du quartier en wattheure par jour (Wh/j)

Pour notre travail, nous utiliserons des **batteries solaires OPzS Solar 3040Ah** [18] et sa

fiche technique est donné à l'annexe 4.

Déterminons à présent le nombre de batteries nécessaires pour le dimensionnement de notre microcentrale PV.

* Nombre de batteries en série

Ce nombre dépend de la tension assignée à l'entrée de l'onduleur chargeur et est donné par la formule suivante :

$$N_{bs} = \frac{V_{ondbat}}{V_{bat}} \quad (2.7)$$

Avec :

N_{bs} : le nombre de batteries en série

V_{bat} : la tension d'une batterie (voir fiche technique de la batterie à l'annexe 3)

* Nombre de batteries en parallèle

Le nombre de batteries en série N_{bs} que nous avons déterminé plus haut formera des branches en parallèle et ce nombre de branches N_{bp} sera déterminé par la formule suivante :

$$N_{bp} = \frac{C_s}{C_{bat}} \quad (2.8)$$

Avec :

C_{bat} : la capacité d'une batterie en Ampère heure Ah (voir fiche technique de la batterie annexe 4).

* Nombre total de batteries

Le nombre total de batteries que nous utiliserons pour notre microcentrale PV est donc :

$$N_{batteries} = N_{bs} \times N_{bp} \quad (2.9)$$

2.3.4 Dimensionnement du système de régulation de charge de la batterie

Le régulateur solaire encore appelé contrôleur de charge sert à réguler la charge de la batterie solaire qui est alimentée par le champ photovoltaïque : le niveau de charge des

batteries ne doit être ni trop bas ni trop haut sous peine d'endommager la batterie solaire et de réduire sa durée de vie.

On distingue deux familles de régulateurs : PWM (Pulse With Modulation), ce sont des régulateurs classiques et les MPPT (Multi Power Point Tracking), ce type de régulateurs optimisent le courant sortant des panneaux pour charger les batteries. Nous utiliserons des régulateurs MPPT pour notre dimensionnement car par conception ils permettent un gain de production de 5 à 30% par rapport aux régulateurs PWM, ce gain augmente pendant les périodes de faible ensoleillement [19].

Description d'un régulateur MPPT

Le régulateur de charge est composé d'un convertisseur DC /DC à découpage de haut rendement qui assure trois fonctions :

- Détection de la puissance maximale du champ photovoltaïque tant que la batterie n'est pas chargée
- Régulation de la tension de sortie en fonction de la phase de charge
- Conversion DC/DC (il est bon de noter que le convertisseur DC/DC est utilisé comme abaisseur de tension, ce qui signifie en d'autres termes que la tension MPP du générateur photovoltaïque doit toujours être supérieure à la tension de la batterie.

Le champ solaire est connecté à l'entrée du régulateur et la batterie à sa sortie. Lorsque la tension de la batterie est inférieure à la tension de régulation, le régulateur fait fonctionner le générateur photovoltaïque à puissance maximale P_{mpp} et transfère cette puissance à la sortie.

Le régulateur choisi pour notre dimensionnement est le contrôleur de charge **BlueSolar MPPT 150/70 de Victron energy** dont la fiche technique est présentée à l'annexe 5 [20].

2.3.5 Dimensionnement du réseau de transport et de distribution : câbles électriques

Le transport et la distribution de l'énergie produite par la microcentrale photovoltaïque vers les différents utilisateurs sera assurée par des câbles électriques. Il est important de noter

ici qu'il s'agira d'un réseau de transport et de distribution basse tension (BT) aérien triphasé. Avant la phase de dimensionnement proprement dite relevons quelques conseils pratiques à prendre en compte lors du dimensionnement des câbles électriques [14] :

- Utiliser les câbles les moins longs possibles pour diminuer au maximum les pertes d'énergie dues au transport ;
- Organiser au mieux la répartition des éléments du système PV ;
- Augmenter la section des câbles pour réduire les chutes de tension dans les câbles ;
- La chute de tension maximale admissible relative aux installations ne doit pas excéder 3% de la tension nominale dans la partie DC (idéalement elle est de 1%).

Nous utiliserons donc pour le dimensionnement de la microcentrale PV au quartier Obobogo différents types de câbles en fonction des connexions que nous souhaitons établir ou des appareils que nous voulons relier.

● Connexion entre les panneaux photovoltaïques

Le câble **TOPSOLAR PV ZZ-F H1Z2Z2-K** est un câble pour installations solaires photovoltaïques, certifié TUV et EN, il est spécialement conçu pour la connexion entre les panneaux solaires ; il est hautement souple, compatible avec les principaux connecteurs et convient à des sites à environnements mouillés et humides ce qui est un très grand avantage. Les spécifications de ce câble sont :

* Caractéristiques électriques

Basse tension CA :0.6/1kV CC :1.8kV

* Caractéristiques thermiques

Température maximale de court-circuit : 250°C

Température maximale de service :120°C

Température minimale de service : -40°C

* Caractéristiques mécaniques

Rayon de courbure minimum : 3× diamètre du câble

Résistance aux chocs : impact moyen

- **Connexion entre les panneaux et le régulateur de charge**

Le câble solaire $2 \times 5m 4mm^2$ pré-câblé avec MC4 connecteurs servira à la connexion entre les panneaux solaires et le régulateur de charge. Les connecteurs MC4 permettent un raccordement simplifié et totalement étanche ; afin de permettre un meilleur branchement au régulateur, les causses de $4mm^2$ sont serties.

2.4 Récapitulatif des différents éléments utilisés pour le dimensionnement de la microcentrale

Le tableau ci-dessous présente de façon très précise les différents éléments qui ont été choisis pour le dimensionnement de la microcentrale parmi tous ceux présentés de manière détaillée plus haut dans ce chapitre et dans le chapitre précédent.

TABLE 2.3 – Tableau récapitulatif des différents équipements utilisés pour le dimensionnement de la microcentrale PV

Équipements	modèle choisi
Module	module polycristallin Suntech de puissance crête 305 W_c
Onduleur	onduleur SMA sunny boy 2100 TL
Batteries	batteries solaires OPzS solar 3040 Ah
Régulateur	BlueSolar MPPT 150/70 de victron energy
câble 1	câble TOPSOLAR PV ZZ-F H1Z2Z2-K
câble 2	câble solaire $2*5m 4mm^2$ pré-câblé avec MC4 connecteurs

2.5 Conclusion

Au terme de ce chapitre où il était question de présenter le dimensionnement de la microcentrale PV, nous avons présenté les différents matériels avec lequel nous allons travailler et donner les caractéristiques qui nous a poussé à jeter notre dévolu sur eux, il est donc nécessaire de donner les résultats de ce dimensionnement par rapport à notre zone d'étude.

**RÉSULTATS DU DIMENSIONNEMENT DE LA MICROCENTRALE PV ET
DISCUSSIONS : CAS D'ÉTUDE DE LA ZONE D'OBOBOGO**

3.1 Introduction

Il sera question pour nous dans ce chapitre de présenter de façon générale la zone d'étude et de donner les résultats du dimensionnement de la microcentrale PV faite au chapitre précédent ainsi que de présenter de manière détaillée les résultats de la collecte de données au quartier Obobogo qui bien qu'étant électrifier fait face à de nombreux problèmes de coupures électriques. L'essentiel de notre travail sera donc de donner de façon très précise les différents résultats obtenus sur le terrain.

3.2 présentation de la zone d'OBOBOGO

Situé dans la ville de Yaoundé capitale politique du Cameroun, Obobogo est un quartier de la commune de Yaoundé 3, département du Mfoundi, région du centre.

Obobogo se situe au sud-Est de la ville de Yaoundé et au nord-Est de la commune de Yaoundé 3; ses coordonnées géographiques sont :

TABLE 3.1 – coordonnées géographiques du quartier Obobogo

Latitude	3°49'14" <i>N</i>
longitude	11°30'3" <i>E</i>
Altitude	720 mètres

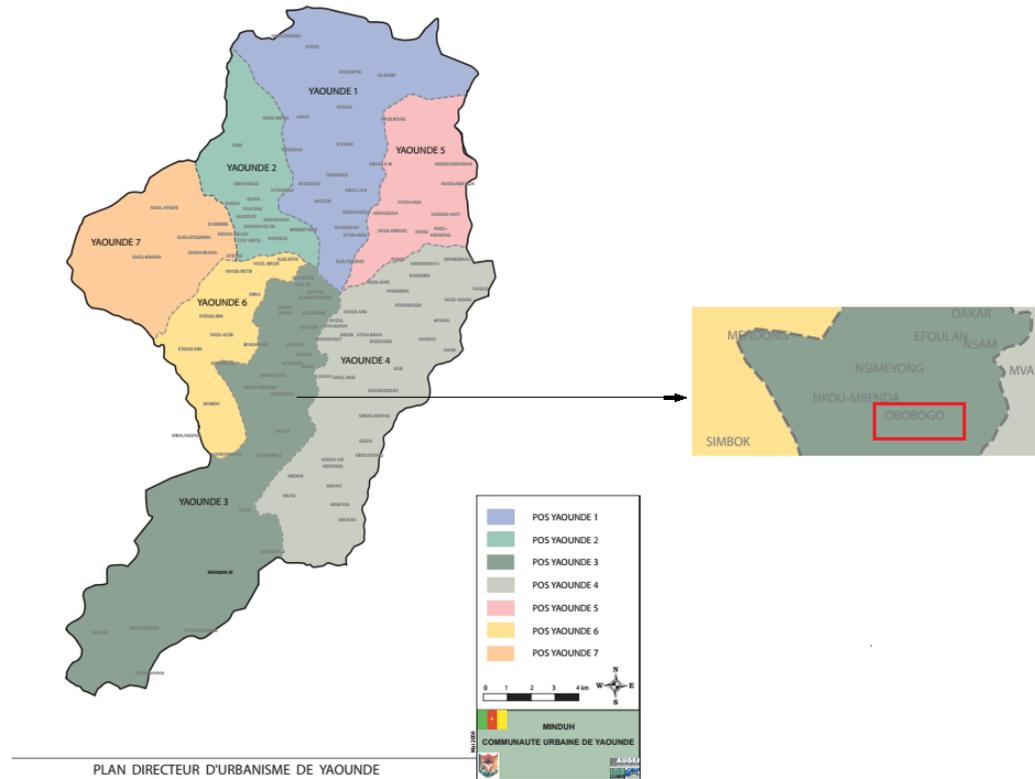


FIGURE 3.1 – Découpage administratif de la ville de Yaoundé faisant ressortir le quartier Obobogo

La commune de Yaoundé 3 qui abrite le quartier Obobogo dispose de nombreuses infrastructures parmi lesquels l'université de Yaoundé 1 Ngoa-ékellé et de toutes les écoles qui y sont rattachées (école normale supérieure de Yaoundé, faculté de médecine et des sciences biomédicales, école nationale supérieure polytechnique...) elle abrite également de nombreuses institutions d'enseignement primaires et secondaires. Il est également bon de noter que la commune de Yaoundé 3 abrite une grande partie des ministères.

Obobogo se veut donc un lieu propice pour l'implantation d'une microcentrale solaire afin de relever les défis du mix-énergétique et de l'électrification à l'aide des énergies renouvelables au Cameroun.

3.3 Données météorologiques du quartier OBOBOGO

Une étude approfondie de notre zone d'étude nous a permis d'obtenir un certain nombre de résultats et pour les données météorologiques, nous nous sommes servis du logiciel PVGIS

(Photovoltaic Geographical Information System) qui est un logiciel de bases de données climatiques, de dimensionnement en ligne.

● Irradiation globale incidente mensuel de la zone d'Obobogo

Nous avons considéré certains paramètres pour obtenir les résultats consignés dans le tableau suivant :

Localisation : 3°49'14" North , 11°30'3" East , altitude : 721 m Angle d'inclinaison optimal : 8° , déficit d'irradiation annuel causé par l'inclinaison horizontale : 0.0%

TABLE 3.2 – Irradiation globale incidente pour la zone d'Obobogo

Month	Hh	Hopt	H(90)	DNI	lopt	D/G
Jan	5900	6230	4110	5360	32	0.39
Feb	5720	5900	3100	4510	22	0.44
Mar	6090	6110	2250	4190	7	0.49
Apr	5450	5330	1000	4200	-10	0.43
May	5220	5000	989	4040	-23	0.44
Jun	4680	4460	1050	3160	-27	0.52
Jul	4350	4190	1130	2420	-23	0.60
Aug	4210	4130	1220	1880	-12	0.67
Sep	4610	4590	1490	2580	0	0.58
Oct	4810	4880	2360	2960	14	0.55
Nov	5130	5350	3290	4040	28	0.46
Dec	5730	6090	4260	5200	35	0.40
Year	5160	5180	2190	3710	8	0.49

Avec :

Hh : irradiation sur un panneau horizontal ($Wh/m^2/jour$)

Hopt : irradiation sur un panneau d'inclinaison optimal ($Wh/m^2/jour$)

H(90) : irradiation à 90 d'inclinaison du panneau ($Wh/m^2/jour$)

DNI : irradiation normale directe ($Wh/m^2/jour$)

Iopt : inclinaison optimale ($^{\circ}$)

DIG : rapport de l'irradiation diffus par l'irradiation globale (-)

En utilisant les données du tableau précédent et à l'aide du logiciel PVGIS, nous avons obtenus les courbes suivantes qui permettent de matérialiser ces données :

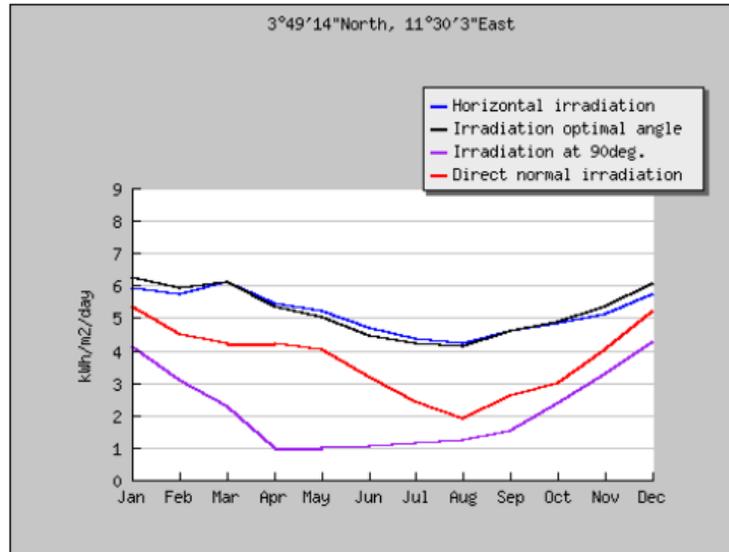


FIGURE 3.2 – courbe des variations mensuelles de : Hh, Hopt, H(90), DNI [25]

Les observations que nous pouvons faire du graphe de la figure 3.2 sont les suivantes : entre les mois de janvier et mars d'une part et les mois d'octobre à décembre d'autre part, l'irradiation optimale Hopt est supérieure à l'irradiation horizontale Hh. Hopt est idéale pour les simulations, elle ne tient pas compte des conditions pratiques et réelles du site. L'irradiation à 90 d'inclinaison du panneau prend en compte les conditions réelles du site ; c'est celle que nous utiliserons donc pour la conception de notre microcentrale.

En ce qui concerne le graphe de la figure 3.3, on observe aisément que l'inclinaison optimale décroît entre janvier et juin ensuite évolue de manière croissante de juin jusqu'à décembre.

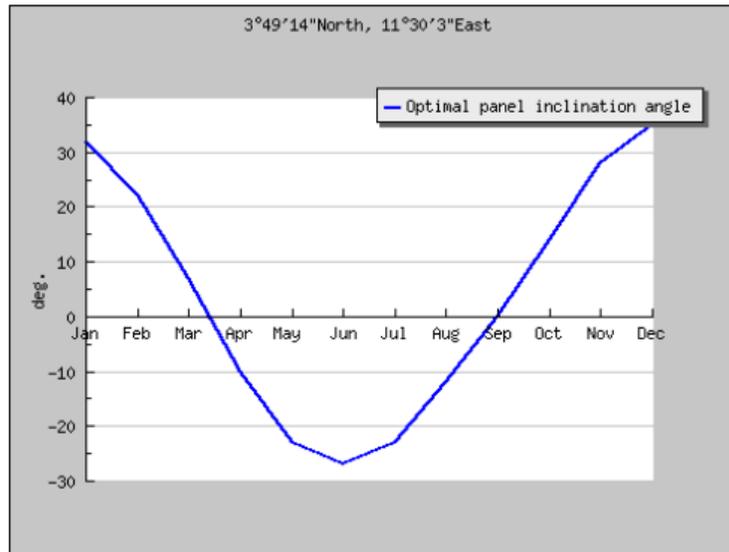


FIGURE 3.3 – courbe des variations mensuelles de Iopt [25]

● Estimation du rayonnement solaire journalier moyen

Certains paramètres sont requis pour cette estimation : Localisation : 3°49'14" North , 11°30'3" East , altitude : 721 m Inclinaison du panneau : 0°, orientation (azimuth) du panneau : 0. Les résultats ont été regroupés dans un tableau (annexe 6). Nous avons également obtenu les graphes suivants à l'aide de PVGIS.

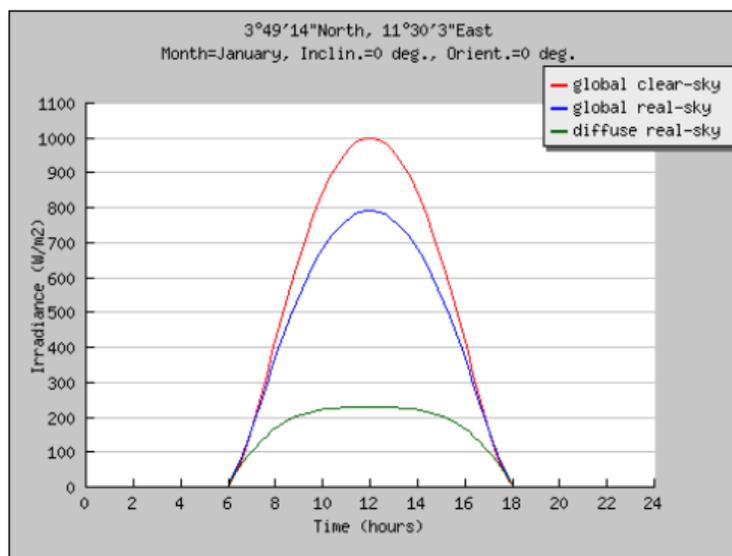


FIGURE 3.4 – rayonnement journalier sur un panneau fixe

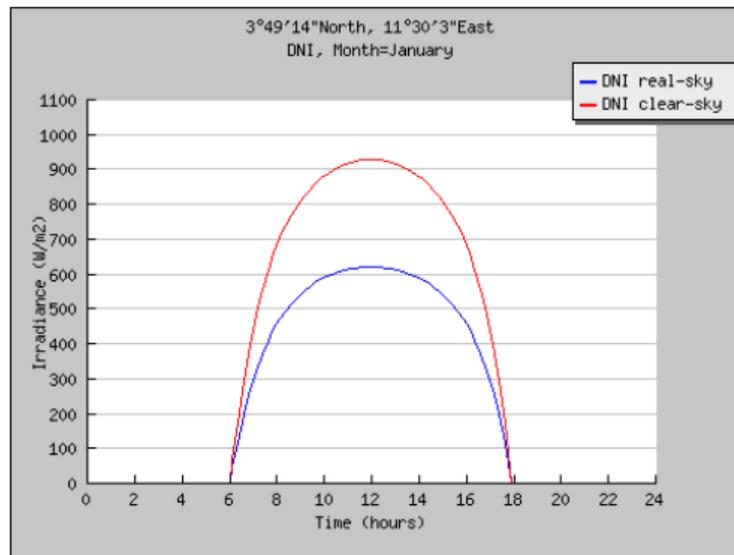


FIGURE 3.5 – rayonnement direct normal

Le graphe de la figure 3.4 présente pour une journée d'une part, le rayonnement global en ciel clair et ciel réel. Le rayonnement global pour un ciel présente un pic plus élevé que celui en ciel réel. D'autre part, on peut également observer que le rayonnement diffus en ciel réel est moins élevé que les deux autres rayonnements ci-dessus cités.

Le graphe de la figure 3.5 présente le rayonnement normal direct en ciel réel et en ciel clair ; ce dernier présente un pic plus important que le premier.

3.4 Résultats de la collecte de données du quartier OBO-BOGO

La collecte de données au quartier Obobogo s'est faite de façon très méticuleuse et pour faciliter l'estimation du besoin en électricité de la zone d'étude, nous avons regroupé les différents utilisateurs en fonction de leurs secteurs.

3.4.1 Résultats de la collecte de données du secteur résidentiel

TABLE 3.3 – bilan de puissance maison de famille aisée

MAISON DE FAMILLE AISEE					
Equipements	Nbre	P unitaire(W)	P totale(W)	Temps de fcmt	Energie/jr (Wh/j)
Lampe LED (extérieur)	3	16	48	6	288
Lampe LED (intérieur)	7	16	112	6	672
Téléphones portables	5	16	80	2	160
Radio cassette	4	16	64	2	128
Téléviseur	2	65	130	7	910
Ventilateur	1	40	40	5	200
Lecteur DVD	1	20	20	4	80
Hofer	4	55	220	2	440
décodeur	1	20	20	7	140
Congélateur	1	85	85	24	2040
Laptop	3	25	75	3	225
Bilan ménage aisé	32	374	894	68	5283

TABLE 3.4 – bilan de puissance maison de famille moyenne

MAISON DE FAMILLE MOYENNE					
Equipements	Nbre	P unitaire(W)	P totale(W)	Temps de fcmt	Energie/jr (Wh/j)
Lampe LED (extérieur)	2	16	32	6	192
Lampe LED (intérieur)	6	16	96	6	576
Téléphones portables	3	16	48	2	96
Radio cassette	1	16	16	2	32
Téléviseur	1	65	65	7	455
Lecteur DVD	1	20	20	4	80
décodeur	1	20	20	7	140
Congélateur	1	85	85	24	2040
Desktop	1	65	65	4	260
Bilan ménage moyen	17	319	447	62	3871

TABLE 3.5 – bilan de puissance maison de famille modeste

MAISON DE FAMILLE MODESTE					
Equipements	Nbre	P unitaire(W)	P totale(W)	Temps de fcmt	Energie/jr (Wh/j)
Lampe LED (extérieur)	1	16	16	6	96
Lampe LED (intérieur)	4	16	64	6	384
Téléphones portables	2	16	32	2	64
Radio cassette	1	16	16	2	32
Téléviseur	1	65	65	7	455
Bilan ménage modeste	9	129	193	23	1031

TABLE 3.6 – bilan de puissance grande villa

GRANDE VILLA					
Equipements	Nbre	P unitaire(W)	P totale(W)	Temps de fcmt	Energie/jr (Wh/j)
Lampe LED (extérieur)	4	16	64	6	384
Lampe LED (intérieur)	10	16	160	6	960
Téléphones portables	10	16	160	2	320
Radio cassette	2	16	32	2	64
Téléviseur	3	65	195	7	1365
Ventilateur	2	40	80	5	400
Lecteur DVD	1	20	20	4	80
Hofer	4	55	220	2	440
décodeur	3	20	60	7	420
Congélateur	2	85	170	24	4080
Séchoir	1	150	150	1	150
Laptop	3	25	75	3	225
Desktop	1	65	65	4	260
Bilan grande villa	46	589	1451	73	9148

3.4.2 Résultats de la collecte de données du secteur industriel

TABLE 3.7 – bilan de puissance du secteur industriel

Equipements	Nbre	P unitaire(W)	P totale(W)	Temps de fcmt	Energie/jour(Wh/j)
Espace commercial d'alimentation					
Lampe LED (extérieur)	1	16	16	6	96
Lampe LED (intérieur)	2	16	32	6	192
Congélateur	1	85	85	24	2040
Bilan espace commercial	/	/	193	/	2328
Atelier de coiffure					
Lampe LED	2	16	32	4	128
Séchoir	1	150	150	5	750
Tondeuse à courant	1	75	75	5	375
Bilan atelier de coiffure	/	/	297	/	1253
Garages automobiles					
Lampe LED	3	16	48	4	192
Bilan garage	/	/	48	/	192
Snack-Bars					
Lampe LED	10	16	160	6	960
Congélateur	2	85	170	24	4080
Bilan snack-bar	/	/	330	/	5040
Pressing					
Bilan pressing	/	/	447	/	3871
Hôtels					
Bilan Hôtel	/	/	447	/	3871
Station-service GULFIN					
Lampe LED	10	16	160	10	1600
Autres appareils	/	/	/	/	79238
Bilan station-service	/	/	/	/	80838

3.4.3 Résultats collecte de données du secteur public

TABLE 3.8 – bilan de puissance du secteur public

Equipements	Nombre	P unitaire(W)	P totale(W)	Temps de fonctionnement	Energie/jour (Wh/j)
Etablissement scolaire					
Lampe LED	10	16	160	3	480
Bilan établissement	/	/	160	/	480
Hôpital d'OBOBOGO					
Lampe LED	20	16	320	6	1920
Téléviseur	1	65	65	12	780
Ventilateur	1	40	40	6	240
Réfrigérateur	1	85	85	24	2040
Autoclave et Automate	2	/	/	/	12300
Bilan hôpital	/	/	5175	/	62104

3.4.4 Résultats bilan de puissance du quartier OBOBOGO

TABLE 3.9 – bilan de puissance du quartier Obobogo

Désignation	quantité	P unitaire (W)	P totale(W)	Cju (Wh/j)	Cjt (Wh/j)
Ménage modeste	127	193	24511	1031	130937
Ménage moyen	250	447	111750	3871	967750
Ménage aisé	84	894	75096	5283	443772
Grande villa	30	1451	43530	9148	274440
Espace commercial	25	193	4825	2328	58200
Atelier de coiffure et de couture	10	297	2970	1253	12530
Garages automobiles	6	48	288	192	1152
Hôtels	2	447	894	3871	7742
Snack-bars	15	330	4950	5040	75600
Hôpital	1	5175	5175	62104	62104
Etablissement	2	160	320	480	960
Station-service	2	4402	8804	80838	161676
Lampadaires	35	16	560	3456	120960
Pressings	5	447	2235	3871	19355
TOTAL	594	14500	285908	182766	2337178

Le tableau précédent nous a permis en utilisant le logiciel EXCEL de représenter les variations d'un certain nombre de grandeurs que nous avons dimensionné précédemment pour la zone d'Obobogo dans notre travail tels que : les puissances unitaires des appareils, les puissances totales de ces appareils, les consommations journalières en énergie ; tout ceci en fonction des différents utilisateurs. Nous présenterons donc ci-dessous ces différents graphiques.

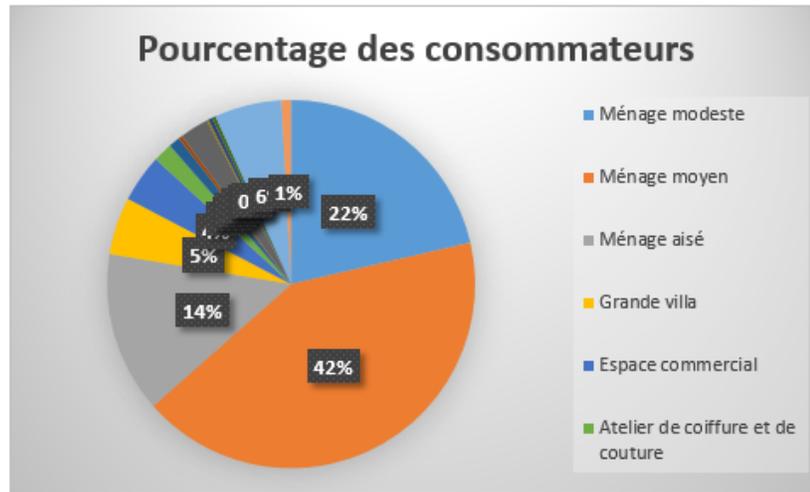


FIGURE 3.6 – graphique donnant les différents utilisateurs en fonction de leur nombre à Obobogo [26]

L'observation de ce graphique permet de remarquer que les utilisateurs du secteur résidentiel dominant ceux des secteurs industriel et public en ce qui concerne leur abondance au quartier Obobogo. Nous avons trouvé judicieux pour une bonne compréhension de la consommation en électricité des différents utilisateurs de la microcentrale de donner la puissance nécessaire au fonctionnement de chaque équipement utilisé dans le dimensionnement. Ce travail est présenté dans le graphe suivant :

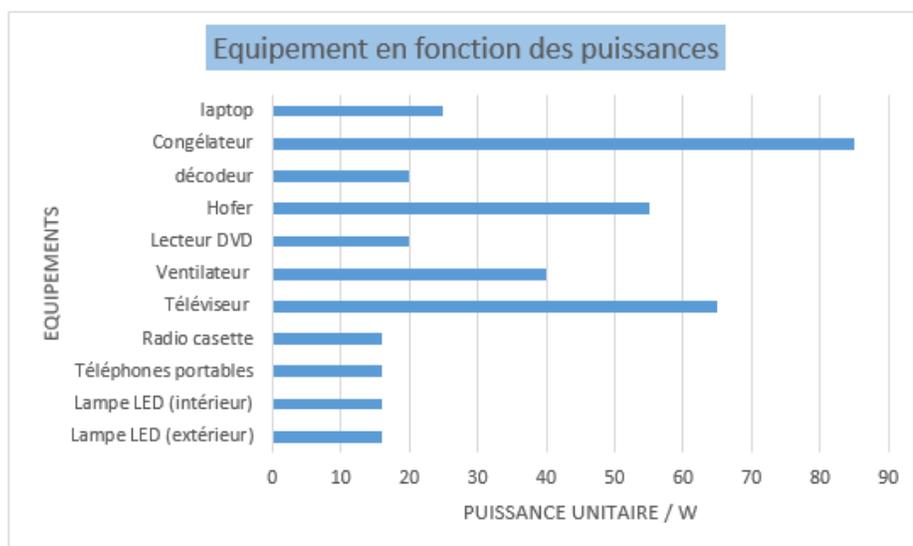


FIGURE 3.7 – Graphique donnant les différents équipements en fonction de la puissance consommée [26]

Il est très aisé de remarquer que les appareils utilisant une plus grande puissance sont entre autres : le congélateur, le Hofer, le téléviseur, le ventilateur.

Le graphe suivant présente les puissances unitaires des différents consommateurs du quartier Obobogo.

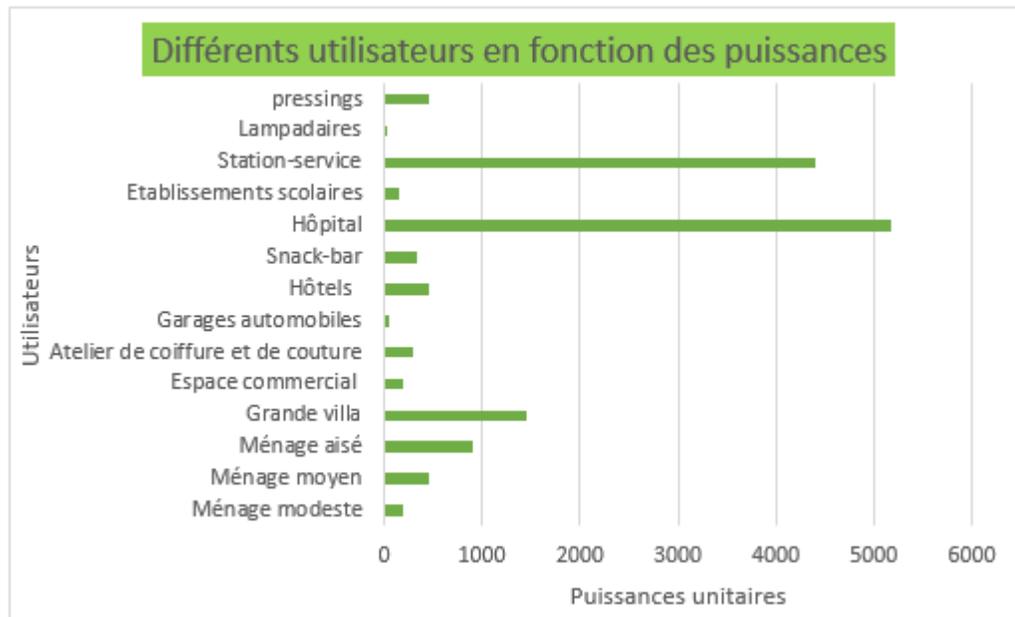


FIGURE 3.8 – Graphique donnant les puissances unitaires des différents consommateurs [26]

Nous pouvons noter que les consommateurs des secteurs public (hôpital, établissements scolaires) et professionnel (station-service, snack-bar, hôtel, pressing ...) ont un besoin en puissance supérieur à ceux du secteur résidentiel.

Notre objectif partiel étant de déterminer la quantité d'électricité consommée dans le quartier Obobogo, il est donc commode pour clore cette partie sur les résultats du bilan de puissance de la zone d'Obobogo de donner le graphique représentant les différents utilisateurs en fonction de leur consommation totale journalière en électricité.

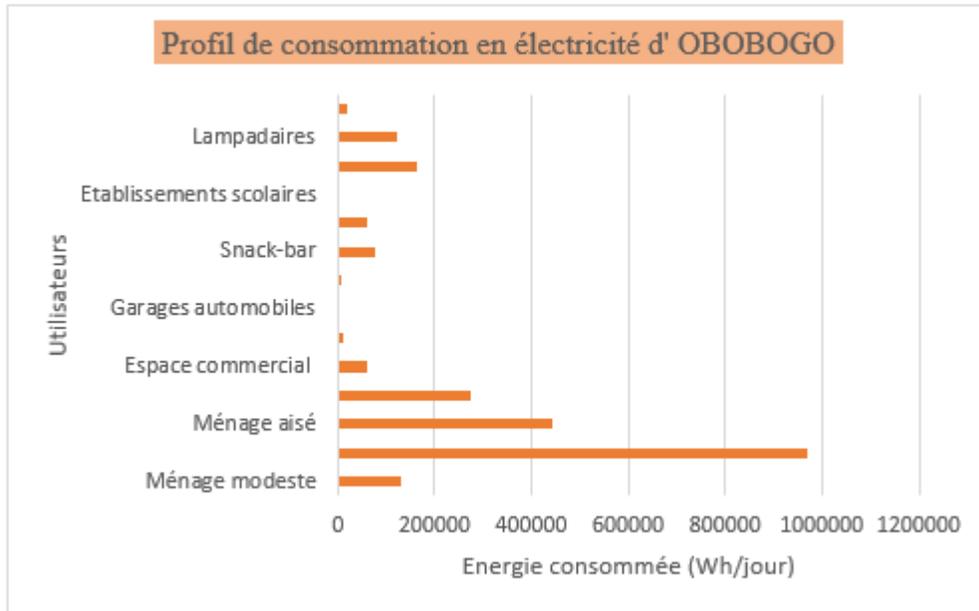


FIGURE 3.9 – Profil de consommation en électricité d’OBOBOGO [26]

On peut également dans un souci de visibilité mettre le graphique précédent sous la forme suivante :

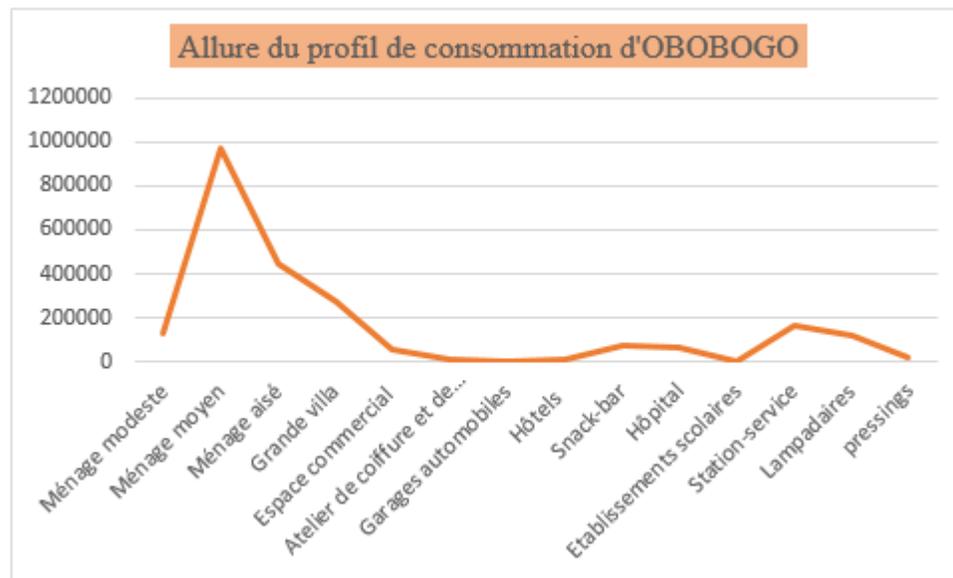


FIGURE 3.10 – Profil de consommation électrique du quartier Obobogo [26]

Nous observons donc que le plus grand pic de consommation électrique est celui des ménages moyens, ce qui signifie en d’autres termes que les ménages moyens sont ceux qui consomment le plus d’électricité. Ces derniers représentant également la plus grande part des consommateurs

d'électricité du quartier Obobogo soit environ 42%.

3.4.5 Résultats du dimensionnement de la microcentrale PV

TABLE 3.10 – Résultats du dimensionnement de la microcentrale PV

Désignation	Notation	Valeur numérique
Champ photovoltaïque		
Puissance crête de la microcentrale	P_c	921,065 kW _c
Nombre total de modules	N_m	3020
Nombre de modules en série	N_{ms}	28
Nombre de branches montées en parallèle	N_{bmp}	108
Puissance totale installée	P_{cin}	922,32 kW _c
Capacité de stockage (batteries)		
capacité de stockage	C_s	90571,44 Ah
Nombre batteries en série	N_{bs}	2
Nombre de batteries en parallèle	N_{bp}	30
Nombre total de batteries	N_{bat}	60
Onduleur		
Rendement	R_{ond}	96%
tension à l'entrée de l'onduleur chargeur choisi	V_{ondbat}	48
Total journalier du quartier		
Puissance totale du quartier/jour	P_{tot}	285,908 kW
Consommation totale en énergie du quartier/jour	C_{jv}	2337,178 kWh

3.5 Conclusion

Parvenu au terme de ce chapitre qui avait pour objectif la présentation, l'analyse et l'interprétation des résultats du dimensionnement de la microcentrale à implanter dans le quartier OBOBOGO, il en ressort que ce travail a été effectué dans le respect de la méthodologie annon-

cée au chapitre 2 au vu des résultats assez réalistes obtenus. IL est donc important de donner à présent l'intérêt de notre travail de conception d'une microcentrale dans le système éducatif,et même dans une plus large mesure socio-éducatif car il s'agit d'un mémoire de fin de formation au métier d'enseignant du secondaire.

IMPLICATION DANS LE SYSTÈME SOCIO-ÉDUCATIF

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, il sera question de présenter l'implication didactique de notre travail en d'autres termes, de donner dans un premier temps l'intérêt didactique de l'étude de la conception d'une microcentrale photovoltaïque et par suite de donner l'intérêt de cette étude sur le développement.

4.2 Intérêt didactique

La didactique d'une manière générale est l'art de transmettre la connaissance [21]. Elle s'intéresse au contenu et aux difficultés que pose l'enseignement d'une matière. Pour mieux appréhender la didactique de notre sujet, quelques concepts de bases doivent être définis nous permettant également dans la foulée de mieux comprendre les exemples d'applications didactique de notre travail centré sur la conception d'une microcentrale photovoltaïque pour l'alimentation partielle de la zone d'Obobogo.

4.2.1 Définition de quelques concepts de base

Nous définirons ici des concepts clés de notre travail tels que : microcentrale, énergie solaire photovoltaïque, électrification, alimentation, dimensionnement.

* **Microcentrale photovoltaïque** : il s'agit d'une petite centrale photovoltaïque utilisant l'énergie solaire pour produire de l'électricité à petite échelle. Cette énergie peut être utilisée pour alimenter des sites isolés ou revendue à un réseau public de distribution [22];

- * **Energie solaire photovoltaïque** : c'est la transformation directe de l'énergie solaire en électricité grâce à un matériau semi-conducteur ;
- * **Electrification** : c'est l'action de fournir, d'installer l'énergie électrique dans une région, un pays ou une exploitation quelconque ;
- * **Alimentation** : il s'agit d'un système secondaire qui permet d'assurer l'apport en énergie à un système principal qui dépend du premier ;
- * **Dimensionnement** : c'est une opération dont le but est de fixer la taille, les caractéristiques optimales de chaque élément d'un système dont on connaît la configuration.

4.2.2 Exemples d'applications didactique

Application en classe de terminale

Notre travail portant sur la conception d'une microcentrale photovoltaïque, en d'autres termes sur la production d'électricité à partir de l'énergie solaire est très important en classe de terminale scientifique notamment dans des chapitres comme celui portant sur la lumière et plus précisément a leçon portant sur l'aspect ondulatoire de la lumière à travers des notions comme l'effet photovoltaïque qui est un phénomène de base de la production d'électricité découvert en 1887 par Hertz. Ce phénomène explique la capacité de certains rayonnements à extraire des électrons de certains métaux. Une explication du principe de fonctionnement des modules photovoltaïques et de leurs différentes technologies permet à l'élève de mieux comprendre la notion de rendement quantique qui se définit comme étant le rapport du nombre de photons captés sur le nombre d'électrons émis par un métal ; notre travail a donc une très grande importance du point de vue de l'acquisition des connaissances et de leur appropriation par les élèves.

Application en classe de première

Les chapitres concernés ou alors mettant en exergue notre travail sont les chapitres portant sur la réflexion et la réfraction de la lumière d'une part et ceux portant sur la production du courant électrique. Les phénomènes de réflexion et de réfraction de la lumière sont caractéristiques du comportement de la lumière notamment de la direction prise par cette dernière à

la rencontre d'un dioptre (surface de séparation entre deux milieux d'indices différents). Nous dirons donc qu'il y a eu phénomène de réflexion lorsque la lumière sera complètement renvoyée dans une direction particulière à la rencontre du dioptre et réfraction lorsque on observera un brusque changement de direction de la lumière à la rencontre d'un dioptre. De façon pratique, ces phénomènes ci-dessus décrits s'illustrent parfaitement lorsque les rayons du soleil arrivent à la surface des panneaux solaires. En effet, la surface de chaque panneau se comporte comme un dioptre c'est-à-dire, lorsqu'un rayon lumineux incident tombe sur cette surface, une partie est complètement réfléchi, une autre partie subit une réfraction et une dernière partie traverse le panneau sans modification de sa direction. C'est cette dernière partie qui est utilisée pour produire de l'électricité à partir de l'énergie photovoltaïque.

Application en classe de seconde et quatrième

Les élèves des classes de seconde et quatrième ont souvent du mal à appréhender des notions comme le calcul des tensions et des intensités. Les lois d'additivité et d'unicité constituent une clé pour la résolution de ce genre de problème. Dans notre travail, ces lois ont été d'une grande importance pour déterminer avec précision le nombre de modules photovoltaïques à associer en série et en parallèle. En effet, un module photovoltaïque ne produit qu'un courant de faible intensité, pour pouvoir alimenter la zone d'Obobogo à la hauteur de la demande, nous avons dû dimensionner un champ photovoltaïque en associant en série et en parallèle plusieurs modules photovoltaïques en utilisant les lois d'additivité des courants et des tensions pour avoir un courant plus grand et des tensions plus grandes également.

4.3 Intérêt pour le développement

Notre travail de mémoire a un très grand intérêt pour le développement avec des relations directes avec l'enseignement. En effet, l'enseignement participe à sa manière à la construction d'une société plus consciente, dynamique et soucieuse de son développement ; il est donc impératif de non pas seulement inculquer des savoirs théoriques mais également des savoir-faire en contexte c'est-à-dire de développer des compétences techniques chez les élèves.

La conception d'une microcentrale photovoltaïque permettra en plus d'éviter les désagréments

causés par les délestages d'inculquer des savoir-faire aux élèves tels que la fabrication et le dépannage des petites lampes solaires pour une utilisation domestique ; l'entretien des installations PV dans leur localité réduisant ainsi le frais de déplacement des agents chargés de cet entretien des grandes villes vers les localités éloignées. Ceci permettra également à l'enseignant de physique de mieux maîtriser les notions ayant un lien direct avec ce travail tels que la lumière en classe de terminale, la réflexion et la réfraction en classe de première et le calcul d'intensité du courant en seconde ... pour une meilleure transposition des savoirs.

4.4 conclusion

Au terme de ce chapitre où il était question pour nous de relever l'implication didactique de notre sujet à savoir la « Conception d'une microcentrale photovoltaïque pour l'alimentation partielle de la zone d'Obobogo » dans le système éducatif, il en ressort que l'enseignant a de lourdes responsabilités vis-à-vis des apprenants donc doit être à pied d'œuvre tout le temps pour toujours trouver de stratégies permettant de faciliter l'acquisition des savoirs et des savoir-faire par les élèves.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Le travail réalisé dans ce mémoire portait sur la « conception d'une microcentrale photovoltaïque pour l'alimentation partielle de la zone d'Obobogo ». En d'autres termes, il était question pour nous de concevoir et dimensionner une microcentrale PV afin de produire de l'électricité qui servira à alimenter partiellement le quartier. Force a été pour nous de noter que le travail de conception et de dimensionnement passe par le dimensionnement de chaque équipement de la microcentrale. Ainsi, les études menées dans ce projet nous ont permis dans un premier temps de collecter les différentes données nécessaires pour débiter notre travail, dans un second temps de dimensionner la microcentrale PV ou nous avons utiliser des modules en silicium polycristallin dans des associations en série d'une part et en parrallèle d'autre part comme décrit au chapitre 1 ; puis dans une autre partie de donner les résultats de ce dimensionnement dont les principales conclusions sont que le quartier Obobogo a un besoin en électricité journalier de $2337,178kWh$ correspondant à une puissance totale de $285,908 kW$, la centrale dimensionné a une puissance crête de $921,065 kW_c$. Dans la dernière partie de notre travail, nous avons présenté l'implication de ce travail dans le système éducatif notamment dans les classes de terminale, première, seconde et quatrième pour ne citer que ceux-là. Sur le plan environnemental, la principale remarque à faire est que la conception d'une microcentrale photovoltaïque permet de réduire considérablement l'émission des gaz à effet de serre produits par les centrales thermiques et donc à l'atténuation du réchauffement climatique. En guise de perspectives, nous envisageons étendre ce travail à tout le quartier Obobogo et ses environs en implantant une centrale photovoltaïque qui ne sera plus lié au réseau ENEO (Energy of Cameroon) en ce qui concerne la distribution mais sera complètement autonome afin de relever ce défi du mix énergétique en ce qui concerne les énergies renouvelables au Cameroun.

Bibliographie

- [1] Valérie NKUE et Donatien NJOMO, « analyse du système énergétique Camerounais dans une perspective de développement soutenable(résumé),» Revue de l'énergie, vol. 588, Mars-Avril 2009.
- [2] Tchatat G., Cameroun-contribution à la préparation du rapport national pour la formulation du livre blanc régional sur l'accès aux services énergétiques intégrant le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, PNUD, 2014.
- [3] Y. M. SORO, « Bases de l'énergie solaire photovoltaïque,» Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, ouagadougou, Décembre 2014.
- [4] A.zahedi, « Maximizing solar PV energy penetration using energy storage technology,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15 pp. 866–870, 2011.
- [5] L. Renault, Choisir la technologie du panneau photovoltaïque, 8 septembre 2014.
- [6] P. guibert, Master Energétique et Environnement : TP Energie Solaire.
- [7] B. Flèche et D. Delagnes, « Energie solaire photovoltaïque.doc,» juin 2007.
- [8] Donatien Njomo, La nécessité de transition énergétique pour les pays africains, juin 2015.[En ligne]. Available : <http://www.agora21.org/international/community/action/file/download?file-guid=2509>.
- [9] Y. Moussa SORO, « Caractéristiques des modules photovoltaïques », Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, ouagadougou, mars 2014.
- [10] Panorama 2013 de l'Institut français du pétrole (IFP), Énergies Nouvelles.
- [11] Dossier presse, Le stockage stationnaire de l'énergie Technologies disponibles et recherches du CEA, 18 octobre 2012.
- [12] ENF solar, «ENF,» 2018. [En ligne]. Available : <https://fr.ensolar.com/pv/storage->

system. [Accès le 04 Septembre 2018].

[13] «photovoltaïque.info,» 2011. [En ligne]. Available : <http://www.photovoltaïque.info/-Onduleurs-.html>. [Accès le 30 Aout 2018].

[14] Y. M. SORRO, «conception et dimensionnement d'un système PV avec stockage,» institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, Ouagadougou, 14-18 Décembre 2015.

[15] Yves Djoumessi Nkemzem, «Etude et conception d'une mini centrale hybride photovoltaïque/diesel pour l'électrification rurale décentralisée du village de "NZO'OH" de la commune rurale de FONGO-TONGO Dans la région de l'Ouest Cameroun,» mémoire de master 2IE, Ouagadougou, Novembre 2011.

[16] Jean-régis BOCCO, «Etude et conception d'une mini-centrale solaire photovoltaïque dans la localité de Fètèkou,» Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, Ouagadougou, 2015-2016.

[17] P. Z. KOALAGA , «cours d'électricité solaire photovoltaïque,» institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, ouagadougou, 2011.

[18] Victron energy blue power, [En ligne]. Available : victronenergy.com. [Accès le 30 Septembre 2018].

[19] SOLARIS, «SOLARIS-STORE,» [En ligne]. Available : <https://www.solaris-store.com/content/44-principe-de-fonctionnement-d-un-regulateur-solaire>. [Accès le 05 octobre 2018].

[20] myshop energy, «myshop green», [En ligne]. Available : <https://www.myshopenergy.fr/regulateur-de-charge-solaire-mppt-150-70-12-24-36-48v-victron-energy-r-201-i-547.html>. [Accès le 05 octobre 2018].

[21] Dr AYINA, « Didactique des disciplines », Ecole normale supérieure de Yaoundé, cours EDI 412; 2017-2018.

[22] Wikipédia,[En ligne].[Accès le 26 Novembre 2018 à 16 :07].

[23] [En ligne]. Available : <http://solargis.info>. [Accès le aout 2018].

[24] A. labouret et M. villos , préface de jean louis bal «Energie solaire photovoltaïque», livre 4 édition, 2008.

[25] TAIB AJZOU, «cours d'énergie solaire photovoltaïque,partie 1 :cellule,module et

champ photovoltaïque,» FS de Tétouan.

[26] «wikipédia», [En ligne]. Available : <https://fr.wikipedia.org/wiki/onduleur>. [Accès le 30 Aout 2018].

[27] K. Mohamed, «types d'onduleurs dans une centrale photovoltaïque connectée au réseau électrique,» Division energie solaire photovoltaïque-CDER, Alger, 2014.

[28] PVGIS (Photovoltaic Geographical Information system), 2018.

[29] Logiciel EXCEL, 2018.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire d'enquête pour la collecte de données au quartier Obobogo

Equièments	Nombre	P unitaie(W)	P totale(W)	Temps de fcmt	Energie/jour(Wh/j)
Lampe LED (extérieur)					
Lampe LED (intérieur)					
Téléphones portables					
Machine à laver					
Radio cassette					
Téléviseur					
Ventilateur					
Lecteur DVD					
Hofer					
décodeur					
Congélateur					
Réfrigérateur					
Tondeuse à courant					
Séchoir					
Machine à coudre électrique					
Moulin à écraser					
Laptop					
Desktop					
Climatiseur					
Imprimante					
Plaque électrique					
Chauffe-eau électrique					
Autre appareil électrique					

Annexe 2 : Fiche technique du module photovoltaïque



Caractéristiques électriques

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

Caractéristiques de température

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

Caractéristiques mécaniques

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

Annexe 3 : Fiche technique de l'onduleur SMA sunny boy 2100 TL

Caractéristiques techniques SUNNY BOY 2100TL

Entrée (DC)

Puissance DC max.
Tension DC max.
Plage de tension PV, MPPT
Courant d'entrée max.
Nombre de trackers MPP
Nombre max. de strings (parallèle)

Sortie (AC)

Puissance AC nominale
Puissance AC max.
Courant de sortie max.
Tension nominale AC / plage
Fréquence du réseau AC (autorangeable) / plage
Facteur de puissance (cos φ)
Raccordement AC

Rendement

Rendement max.
Euro-eta

Dispositifs de protection

Protection inversion des pôles DC
Interrupteur sectionneur DC ESS
Résistance aux courts-circuits AC
Surveillance de défaut à la terre
Surveillance du réseau (SMA grid guard)
Unité de surveillance intégrée du courant de défaut, sensible à tous les courants

Données générales

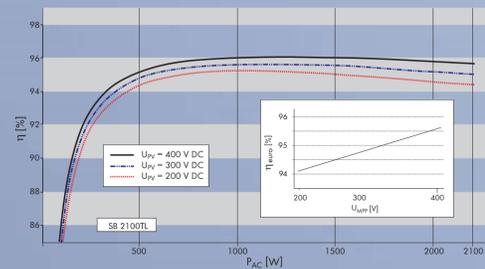
Dimensions (l / h / p) en mm
Poids
Plage de températures de fonctionnement
Autoconsommation : service (veille) / nuit
Topologie
Système de refroidissement
Lieu de montage : intérieur / extérieur (IP65)

Équipement

Raccordement DC : MC3 / MC4 / Tyco
Raccordement AC : connecteur à fiche
Écran LCD
Couleur du couvercle : rouge
Interfaces : RS485 / radio
Garantie : 5 ans / 10 ans
Certificats et homologations

● Équipement de série ○ En option

Courbe de rendement



SB 2100TL

2200 W
600 V
125 V - 480 V
11 A
1
2
1950 W
2100 W
11 A
220 V - 240 V / 180 V - 260 V
50 Hz / ±4,5 Hz
1
monophasé
96,0 %
95,2 %

-
-
-
-
-
-
- /●
- /○/○
-
-
- /○
- /○

www.SMA-France.com

Données en conditions nominales

Version : octobre 2008

Accessoires

The accessories section features a central image of the Sunny Boy 2100TL inverter. Surrounding it are icons and descriptions for various accessories:

- Interface USB**: pour la transmission des données vers le PC et pour le chargement des accumulateurs.
- Communication radio**: avec les onduleurs.
- Utilisation simple et intuitive**: grâce au bouton tourner/pousser.
- Compact et léger**: Dimensions : 127 x 75 x 195 mm, Poids : env. 350 g.
- Grand écran LCD**: à bonne lisibilité.

SB2100TL-DFR084425 SMA et Sunny Boy sont des marques déposées de la société SMA Solar Technology AG. Les textes et les figures répondent aux standards techniques applicables au jour de l'impression. Sans réserve de modifications techniques. Nous déclinons toute responsabilité en cas d'erreurs et de fautes typographiques. Imprimé sur papier sans chlore.

Annexe 4 : Fiche technique de la batterie solaire OPzS solaire 3040 Ah

Type OPzS Solar	OPzS Solar 910	OPzS Solar 1210	OPzS Solar 1520	OPzS Solar 1830	OPzS Solar 2280	OPzS Solar 3040	OPzS Solar 3800	OPzS Solar 4560
Capacité nominale (120 h / 20 °C)	910 Ah	1210 Ah	1520 Ah	1830 Ah	2280 Ah	3040 Ah	3800 Ah	4560 Ah
Capacité (10 h / 20 °C)	640 Ah	853 Ah	1065 Ah	1278 Ah	1613 Ah	2143 Ah	2675 Ah	3208 Ah
Capacité 2 / 5 / 10 heures (% de 10 h de capacité)	60 / 85 / 100 (@ 68 °F/20 °C, fin de décharge 1,8 Volt par cellule)							
Capacité 20 / 24 / 48 / 72 heures (% de 120 h de capacité)	77 / 80 / 89 / 95 (@ 68 °F/20 °C, fin de décharge 1,8 Volt par cellule)							
Capacité 100 / 120 / 240 heures (% de 120 h de capacité)	99 / 100 / 104 (@ 68 °F/20 °C, fin de décharge 1,8 Volt par cellule)							
Autodécharge @ 70 °F/20 °C	3 % par mois							
Tension d'absorption (V) @ 70 °F/20 °C	2,35 à 2,50 V/cellule (28,2 à 30,0 V pour une batterie de 24 V)							
Tension constante (V) @ 70 °F/20 °C	2,23 à 2,30 V/cellule (26,8 à 27,6 V pour une batterie de 24 V)							
Tension de stockage (V) @ 70 °F/20 °C	2,18 à 2,22 V/cellule (26,2 à 26,6 V pour une batterie de 24 V)							
Durée de conservation constante @ 70 °F/20 °C	20 ans							
Nombre de cycles @ 80 % discharge	1500							
Nombre de cycles @ 50 % discharge	2800							
Nombre de cycles @ 30 % discharge	5200							
Dimensions (HxLxP en mm)	145 x 206 x 711	210 x 191 x 711	210 x 233 x 711	210 x 275 x 711	210 x 275 x 861	212 x 397 x 837	212 x 487 x 837	212 x 576 x 837
Dimensions (HxLxP en inches)	5,7 x 8,1 x 28	8,3 x 7,5 x 28	8,3 x 9,2 x 28	8,3 x 10,8 x 28	8,3 x 10,8 x 33,9	8,4 x 15,6 x 32,9	8,4 x 19,2 x 32,9	8,4 x 22,7 x 32,9
Poids sans acide (kg/lbs)	35 / 77	46 / 101	57 / 126	66 / 146	88 / 194	115 / 254	145 / 320	170 / 375
Poids avec acide (kg/lbs)	50 / 110	65 / 143	80 / 177	93 / 205	119 / 262	160 / 253	200 / 441	240 / 530

Annexe 5 : Fiche technique du régulateur de charge BlueSolar MPPT 150/70 – Victron energy

Contrôleur de charge BlueSolar	MPPT 150/70	MPPT 150/85
Tension de batterie nominale	Sélection automatique 12 / 24 / 36 / 48 V	
Courant de charge nominal	70A @ 40 °C (104 °F)	85A @ 40 °C (104 °F)
Puissance d'entrée maximale du champ de panneaux photovoltaïques 1)	12 V : 1000 W / 24 V : 2000W / 36V : 3000W / 48V : 4000W	12 V : 1200W / 24 V : 2400W / 36V : 3600W / 48V : 4850W
Tension PV maximale de circuit ouvert	150 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 145 V démarrage et maximum d'exploitation	
Tension PV minimale	Tension de batterie + 7 Volt pour démarrer	Tension de batterie + 2 Volt en fonctionnement
Consommation d'énergie en mode veille	12 V : 0,55W / 24 V : 0,75W / 36V : 0,90W / 48V : 1,00W	
Efficacité à pleine charge	12 V : 95% / 24V : 96,5% / 36V : 97 % / 48 V : 97,5%	
Charge d'absorption	14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V	
Charge float	13,7 / 27,4 / 41,1 / 54,8V	
Charge d'égalisation	15,0 / 30,0 / 45 / 60 V	
Sonde de température de batterie à distance	Oui	
Configuration par défaut de la compensation de température on/off à distance.	Non	Oui
Relais programmable	DPST Puissance nominale CA : 240 VCA/4 A	Puissance nominale CC : 4 A jusqu'à 35 VCC, 1 A jusqu'à 60 VCC
Port de communication	VE.Can : Deux connecteurs RJ45 en parallèle, protocole NMEA2000	
Fonctionnement en parallèle	Oui, avec VE.Can. 25 unités max. en parallèle	
Température d'exploitation	-40 °C à 60 °C avec réduction de courant de sortie au-dessus de 40 °C	
Refroidissement	Convection naturelle	Assisté par ventilateur silencieux
Humidité (sans condensation)	Max. 95%	
Taille de la borne	35 mm² / AWG2	
Matériel et Couleur	Aluminium, bleu RAL 5012	
Classe de protection	IP20	
Poids	4,2 kg	
Dimensions (h x l x p)	350 x 160 x 135 mm	
Montage	Montage au mur verticalSeulement à l'intérieur	
Sécurité	EN60335-1	
EMC	EN61000-6-1, EN61000-6-3	

1) Si une puissance solaire supérieure est connectée, le contrôleur limitera la puissance d'entrée au maximum défini.

Annexe 6 : Estimation du rayonnement solaire journalier moyen

Time	G	Gd	Gc	DNI	DNIc	A	Ad	Ac
06:22	53	45	43	115	172	179	60	229
06:37	94	69	85	196	294	315	112	401
06:52	141	91	138	266	398	417	142	534
07:07	192	112	196	323	483	500	166	641
07:22	243	130	258	370	553	568	186	728
07:37	294	146	322	409	612	625	202	799
07:52	345	161	386	442	661	672	214	858
08:07	394	173	449	470	703	711	224	906
08:22	441	184	511	495	739	743	232	946
08:37	486	193	571	515	771	769	238	979
08:52	529	201	628	533	798	791	242	1010
09:07	569	208	683	549	821	808	245	1030
09:22	606	213	733	563	841	822	246	1050
09:37	639	217	780	574	858	834	247	1060
09:52	670	220	823	584	873	842	246	1070
10:07	697	223	862	593	886	849	246	1080
10:22	721	225	896	600	897	854	245	1090
10:37	741	226	926	606	906	858	243	1090
10:52	758	227	950	611	913	861	242	1100
11:07	772	227	970	615	919	862	241	1100
11:22	782	228	985	618	923	864	240	1100
11:37	789	228	995	620	926	864	239	1100
11:52	792	228	1000	621	928	865	239	1100
12:07	792	228	1000	621	928	865	239	1100
12:22	789	228	995	620	926	864	239	1100
12:37	782	228	985	618	923	864	240	1100
12:52	772	227	970	615	919	862	241	1100
13:07	758	227	950	611	913	861	242	1100
13:22	741	226	926	606	906	858	243	1090
13:37	721	225	896	600	897	854	245	1090
13:52	697	223	862	593	886	849	246	1080
14:07	670	220	823	584	873	842	246	1070
14:22	639	217	780	574	858	834	247	1060
14:37	606	213	733	563	841	822	246	1050
14:52	569	208	683	549	821	808	245	1030
15:07	529	201	628	533	798	791	242	1010
15:22	486	193	571	515	771	769	238	979
15:37	441	184	511	495	739	743	232	946
15:52	394	173	449	470	703	711	224	906
16:07	345	161	386	442	661	672	214	858
16:22	294	146	322	409	612	625	202	799
16:37	243	130	258	370	553	568	186	728
16:52	192	112	196	323	483	500	166	641
17:07	141	91	138	266	398	417	142	534
17:22	94	69	85	196	294	315	112	401

Annexe 7 : Présentation de l'interface du logiciel PVGIS(PhotoVoltaic Geographical Information System)



EUROPA > EC > JRC > DIR-C > RE > SOLAREC > PVGIS > Interactive maps > europe

Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps

Contact



Important legal notice

NEW: PVGIS 5 release candidate. Read about it here and try it out!
This version will no longer be available as of mid October.

PV Estimation **Monthly radiation** Daily radiation Stand-alone PV

Monthly global irradiation data

Radiation database:

Horizontal irradiation

Irradiation at opt. angle

Direct normal irradiation

Irradiation at chosen angle: deg.

Linke turbidity

Dif. / global radiation

Optimal inclination angle

Monthly ambient temperature data

Average daytime temperature

Daily average of temperature

Number of heating degree days

Output options

Show graphs Show horizon

Web page Text file PDF

[\[help\]](#)

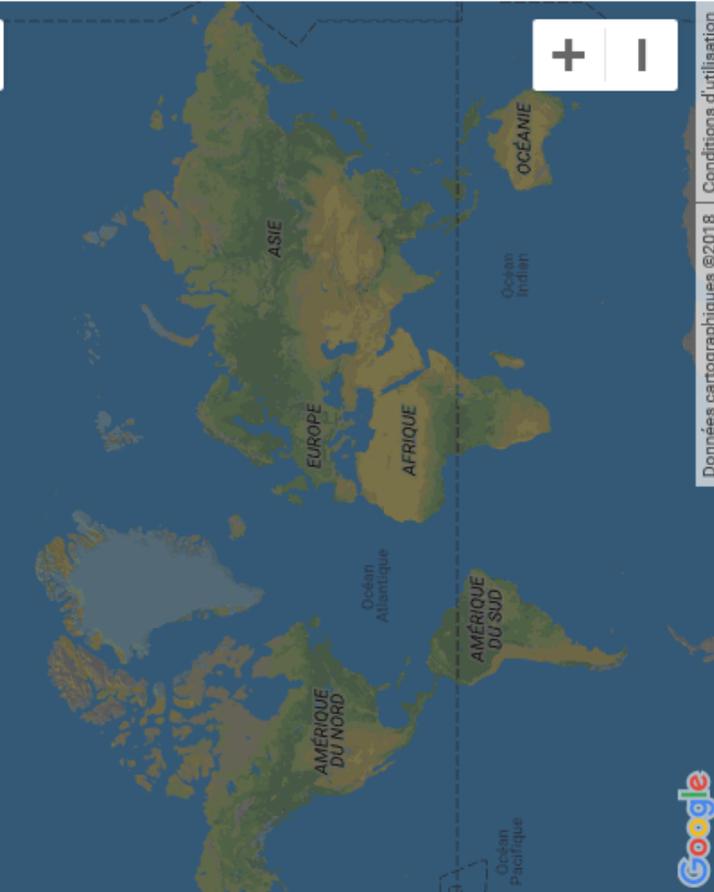
Calculate

cursor position:
84.414, -179.953

selected position:

e.g., "Ispra, Italy" or "45.256N, 16.589E"

Latitude: Longitude:



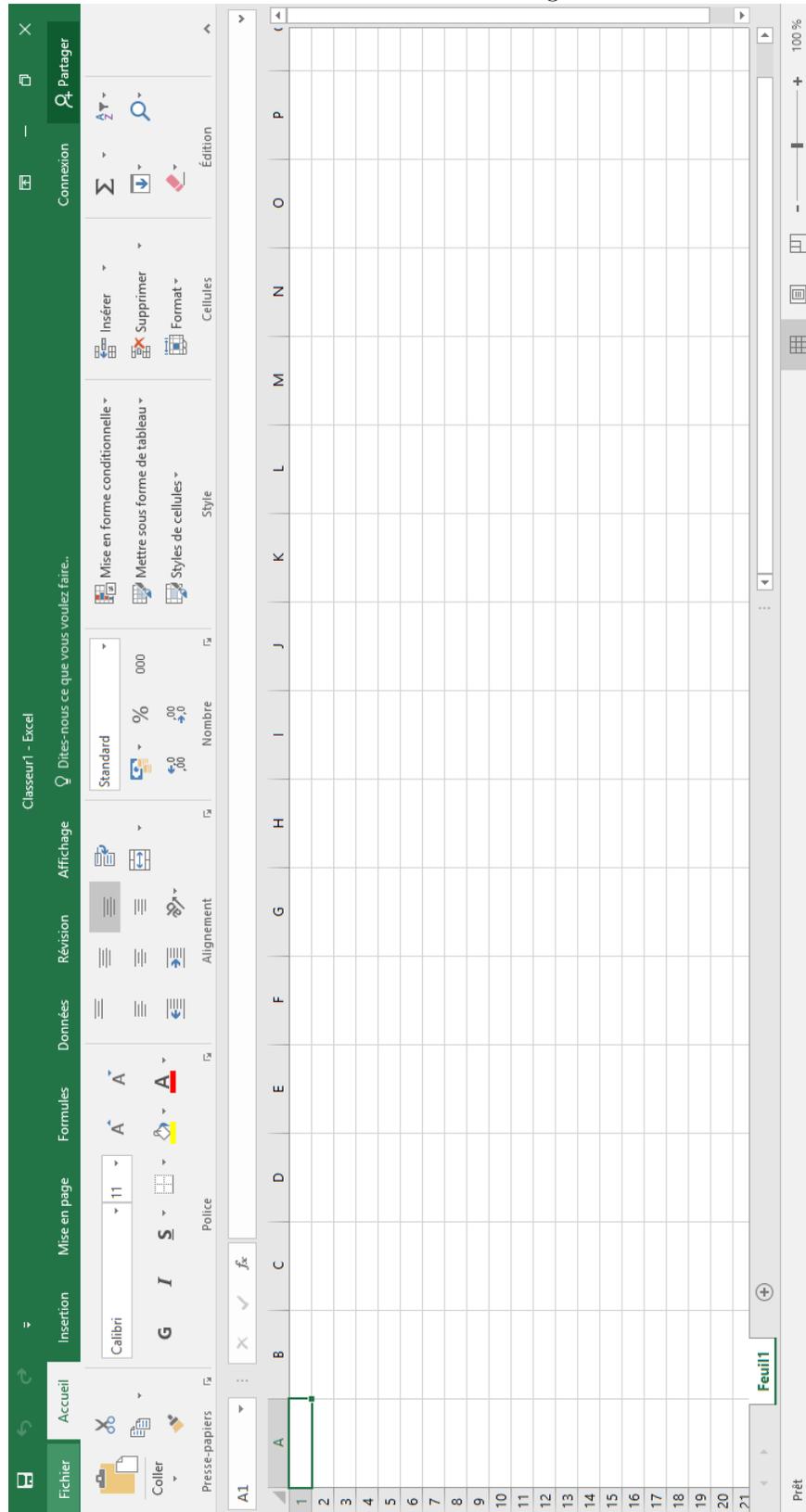
Données cartographiques ©2018 Conditions d'utilisation

Solar radiation

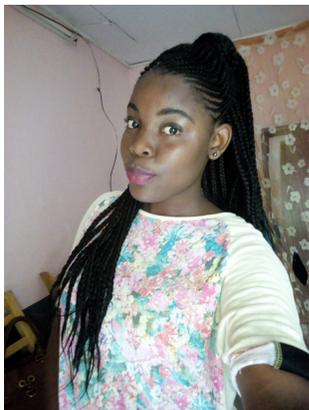
Temperature

Other maps

Annexe 8 : Présentation de l'interface du logiciel EXCEL



Curriculum Vitæ



* **Etat civil**

Nom et prénoms : NGO NGOS Marthe Désirée

Date et lieu de naissance : 25 Octobre 1996 à EDEA

Sexe : Féminin

Nationalité : Camerounaise

Situation matrimoniale : Célibataire

* **Contact permanent**

Contact téléphonique : (+237)696978868

E-mail : ngosmarthe@gmail.com

* **Formation académique**

2018-2019 : Niveau 5 à l'école normale supérieure de Yaoundé

2017-2018 : Niveau 4 à l'école normale supérieure de Yaoundé

2016-2017 : Licence en physique à l'université de Youndé I

2015-2016 : DEUG en Physique

2013-2014 : Baccalauréat C au Lycée de BOT-MAKAK

2012-2013 : Probatoire C au Lycée d'Anguissa

2010-2011 : BEPC au Lycée d'Anguissa

*** Connaissances informatiques**

Microsoft Office (Word,Excel, powerpoint),MathType,Chemdraw,Maple,Paint.

*** Langues**

Français (bon)

Anglais (moyen)

*** Loisirs**

- Lecture
- Musique
- Cinéma