



**ETUDE ET CONCEPTION D'UNE MINI-CENTRALE  
PHOTOVOLTAÏQUE POUR L'ALIMENTATION D'UNE  
PARTIE DE L'INSTALLATION ELECTRIQUE DE LA  
PRESIDENCE DE LA REPUBLIQUE DU BENIN.**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN  
GENIE ELECTRIQUE, ENERGETIQUE ET ENERGIES  
RENOUVELABLES**

**OPTION : ENERGIES RENOUVELABLES**

Présenté et soutenu publiquement le [25/10/2011] par

**Conrad H.S. YOTTO**

**Travaux dirigés par :**

**Kouami ADJAKA** Docteur en Génie Energétique, Maître de mémoire

**Marius Z. HOUNKPATIN**, Docteur en Economie et Planification Energétique,  
Ex Conseiller Technique à l'Energie du Président de la République du Bénin,  
Directeur Général de la Société Béninoise d'Energie Electrique (SBEE), Maître de stage

*Jury d'évaluation du stage:*

Président : François-Xavier COLLARD

Membre : Daniel YAMAGUEU

## CITATIONS

*Pour assurer le développement nous avons besoins de l'énergie, mais pour assurer le développement, faire reculer les frontières de la pauvreté et laisser en héritage un environnement viable aux générations futures, nous avons besoins de promouvoir les énergies renouvelables. [9]*

## **REMERCIEMENTS**

J'ai le plaisir de remercier tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réussite de ma formation et à la réalisation de ce mémoire.

J'exprime en particulier ma profonde gratitude à l'endroit de mon maître de mémoire, Monsieur **Kouami ADJAKA**, Docteur en Génie Energétique, pour son accompagnement, ainsi qu'à mon maître de stage Monsieur **Marius Z. HOUNKPATIN**, Docteur en Economie et Planification Energétique, Ingénieur Pétrolier, ex Conseiller Technique à l'Energie du Président de la République du Bénin et actuel Directeur Général de la Société Béninoise d'Energie Electrique ( SBEE) pour sa disponibilité sans faille tout au long du processus d'élaboration de ce document.

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

Je voudrais aussi, remercier :

- les responsables pédagogiques de la formation : Madame **SIDO PABIAM** et Monsieur **Yézouma COULIBALY**, Enseignants au 2iE.
- les responsables et coordonnateurs de la formation à distance au 2iE, particulièrement Monsieur **Kone TOFANGUY** et Madame **Sylvie OUEDRAOGO** respectivement Chef du Service de la formation à distance et Coordinatrice de la filière du Master spécialisé M2 GEER ;
- les enseignants du 2iE pour leur tutorat très apprécié et leur expertise pédagogique ;
- aux camarades de la deuxième promotion du Master II Spécialisé GEER, notamment Messieurs **Claudius EDOUN**, **Honoré KONNON**, **Brice M KISSEZOUNON**, **Machioudi LASSISSI**, à tous les amis qui m'ont soutenu de diverses manières.

A mes très chères regrettés, **Marie N'DAH CHABI** et **Jérôme YOTTO**, je dédie ce mémoire.

Je dédie également ce travail à mon épouse **Nicole Layo DOSSOU** pour son esprit d'écoute et d'attention, mon enfant **Conradia W.YOTTO**, ainsi qu'à mes frères et sœurs.

## **RESUME**

Le Bénin est un pays à faible taux d'accès des populations à l'électricité et aux sources d'énergies modernes de cuisson. Les taux d'accès à l'électricité en 2008 sont estimés à une moyenne de 27,1% au niveau national, tandis que les centres urbains ont un taux d'accès de 51,7% contre 2,5% pour les zones rurales [8].

Dans ce contexte, le potentiel non moins important de gisement solaire, constitue une opportunité pour la production locale d'électricité et de pompage d'eau.

C'est pour cela que la présente étude propose sa contribution à cet effort de développement à travers l' << Etude et conception d'une mini centrale photovoltaïque pour l'alimentation d'une partie de l'installation électrique de la présidence de la république du Bénin >>

Ce travail a permis de dimensionner pour une partie de l'installation de la Présidence de la République du Bénin, quatre (04) systèmes photovoltaïques dont : un pour alimenter le circuit de l'éclairage extérieur, un pour alimenter les pompes sur presseur d'eau, un pour alimenter les relais de télécommunication et un pour le pompage d'eau d'arrosage des espaces verts.

Sur le plan technique de ce projet est réalisable et il sera rentable économiquement si l'on considérait son aspect environnemental.

## **Mots Clés :**

- 1- gisement solaire
- 2- photovoltaïque
- 3- dimensionner
- 4- aspect environnemental

## **ABSTRACT**

Benin, a African western country is facing low level of access of the populations to the electricity and modern energy sources of cooking. The rates of access to electricity in 2008 are estimated at an average of 27.1% at the national level, while the urban centers have a rate of access of 51.7% compared with 2.5% for the rural areas [8].

In this context, the potential not less important of solar layer constitutes an opportunity for the local production of water electricity and pumping.

Therefore the present study proposes its contribution to this development effort through the << Study and design of a mini photovoltaic power station for the food of part of the electrical installation of the presidency of the republic of Benin >>

This work made it possible to dimension for part of the installation of the Presidency of the Republic of Benin, four (04) photovoltaic systems: to feed the circuit of external lighting, to supply the pressure pumps of water, to energize the relays of telecommunication and for the water pumping of watering of the parks.

On the technical plan the realization of this project is feasible; however it will be profitable economically if his environmental aspect were considered.

## **Keywords:**

- 1- Solar layer,
- 2- photovoltaic,
- 3- to dimension,
- 4- environmental aspect

## LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES

A	Ampère
API	Automate Programmable Industriel
CEB	Communauté Electrique du Bénin
HMT	Hauteur Manométrique Totale
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt heure
M2GEER	Master 2 en Génie Energétique et Energies Renouvelables
PV	Photovoltaïque
SBEE	Société Béninoise d'Energie Electrique
SONEB	Société Nationale des Eaux du Bénin
SPV	Système photovoltaïque
V	Volt
W	Watt
Wc	Watt crête
2iE	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
[ ]	Encadrement des sources ou références

## SOMMAIRE

CITATIONS .....	I
REMERCIEMENTS .....	II
RESUME.....	III
ABSTRACT .....	IV
LISTE DES ABREVIATIONS.....	V
SOMMAIRE.....	VI
LISTE DES TABLEAUX .....	1
LISTE DES FIGURES .....	2
LISTE DES SCHEMAS ET PHOTOS.....	2
I. INTRODUCTION.....	3
II. OBJECTIFS DE TRAVAIL .....	5
2.1. OBJECTIF GENERAL .....	5
2.2. OBJECTIFS SPECIFIQUES.....	5
III. METHODES ET OUTILS.....	6
3.1. ETUDE TECHNIQUE .....	6
3.2. ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL SOMMAIRE.....	19
3.3. ETUDE DE FAISABILITE ECONOMIQUE.....	19
IV. RESULTATS .....	20
4.1. RESULTATS DE L'ETUDE TECHNIQUE .....	20
4.1.1. LES DONNEES DE L'ENSOLEILLEMENT DU LIEU DE REALISATION DU PROJET.....	20
4.1.2. LES CARACTERISTIQUES DES RECEPTEURS. ....	20
4.1.3. SURFACE DE GAZON ET FLEUR (ESPACE VERT) A ARROSER ET LA DEMANDE EN EAU .....	24
4.1.4. BILAN DES PUISSANCES APPELEES ET LA CONSOMMATION EN ENERGIE DES CHARGES .....	24
4.1.5. LES SCHEMAS DES CONFIGURATIONS DES DIFFERENTS SYSTEMES.....	25
4.1.6. CARACTERISTIQUE DES COMPOSANTS UTILISES POUR LES DIMENSIONEMENTS DES SYSTEMES.....	27
4.1.7. PRESENTATION DES CARACTERISTIQUES DES EQUIPEMENTS DIMENSIONES.....	27
4.1.8. LE SYSTEME DE COUPLAGE AUTOMATIQUE.....	30
4.2. L'ETUDE SOMMAIRE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	32
4.3. L'ETUDE DE FAISABILITE ECONOMIQUE.....	33
V. DISCUSSIONS ET ANALYSES.....	38
5.1. ANALYSE DES RESULTATS DE LA MINI CENTRALE DIMENSIONNEE .....	38
5.2. ANALYSE DE LA GENERALISATION DU PROJET AUX AUTRES ADMINISTRATIONS .....	38
VI. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	40
VII. CONCLUSIONS.....	41
VIII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	42
IX. ANNEXES.....	44

## Liste des tableaux

- Tableau 1 : Caractéristiques du système d'éclairage de la cour
- Tableau 2 : Caractéristiques des pompes surpresseurs
- Tableau 3 : Caractéristiques des relais de télécommunication
- Tableau 4 : Données techniques de base du système de pompage d'eau
- Tableau 5 : bilan de puissance et bilan énergétique des lampes, des pompes surpresseurs et des relais de télécommunication
- Tableau 6 : Caractéristiques techniques des composants de base utilisés pour le dimensionnement des systèmes PV
- Tableau 7 : Caractéristiques des équipements dimensionnés pour les systèmes PV avec stockage
- Tableau 8 : Le dimensionnement des éléments du système de pompage d'eau pour l'arrosage
- Tableau 9 : Adressage des entrées et sorties de l'automate pour le SPV1
- Tableau 10 : Etude technico-économique du système PV alimentant le circuit d'éclairage de la cour
- Tableau 11 : Etude technico-économique du système PV alimentant les pompes surpresseurs
- Tableau 12 : Etude technico-économique du système PV alimentant les équipements de télécommunication
- Tableau 13 : Etude technico-économique du système PV alimentant les pompes d'eau pour arrosage

## Liste des figures

- Figure 1 : Représentation synoptique de la structure d'un système photovoltaïque avec stockage
- Figure 2: Représentation synoptique de la structure d'un système photovoltaïque sans stockage
- Figure 3: Réseau de modules en série-parallèle
- Figure 4: Schéma de la configuration du système alimentant le circuit d'éclairage de la cour
- Figure 5: Schéma de la configuration du système alimentant les pompes surpresseurs
- Figure 6: Schéma de la configuration du système alimentant les équipements de télécommunication
- Figure 7: Schéma de la configuration du système de pompage d'eau pour arrosage des espaces verts

## Liste des schémas et photos

- Schéma 1 : Schéma synoptique du couplage automatique des charges sur le réseau conventionnel ou les groupes électrogènes (cas du système PV 1)
- Schéma 2 : Grafcet fonctionnel
- Schéma 3 : Grafcet technologique
- Photo 1 : Bornes d'éclairage pour jardin
- Photo 2 : Projecteur qui éclaire les façades du bâtiment
- Photo 3 : Candélabre d'éclairage la cour
- Photo 4 : Les pompes surpresseurs d'eau

# I-INTRODUCTION

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

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

Le Bénin, pays classé parmi les moins avancés de l'Afrique est sous électrifié aussi bien en milieu rural qu'urbain. Malgré les efforts du gouvernement actuel, le taux d'électrification du Bénin est encore inférieur à 30% [5] comme dans nombreux pays de l'Afrique. L'une des raisons de cet état de chose est que la capacité d'autoproduction du pays en électricité est très faible.

La société inter-Etat Bénino-Togolaise la CEB, achète la grande partie de l'énergie qu'elle fournit aux deux pays.

La société de gestion du réseau conventionnel du pays, SBEE peine à s'acquitter de ses dettes d'achat d'énergie auprès de la CEB qui lui fournit l'énergie électrique. Cet état de chose se justifie par le fait que les structures d'Etat (les ministères, les institutions de la République, les universités ...), n'honorent pas souvent leurs factures d'électricité.

Cette situation, rend de plus en plus aigüe la nécessité pour chaque structure de l'Etat de produire surplace une bonne partie, voire l'intégralité de son besoin en énergie électrique. Dans cette optique, le recours aux énergies renouvelables est évident. C'est ce qui nous porte à faire des recherches sur le thème : « **Etude et conception d'une mini-centrale photovoltaïque pour l'alimentation d'une partie de l'installation électrique de la Présidence de la République** »

Historiquement, lorsque le développement de l'énergie solaire a atteint un niveau de maturité permettant son utilisation à grande échelle, c'est vers les mini-réseaux d'alimentation de villages et zones entiers que les solutions techniques d'électrification collective ont été orientées. Il est certain que la solution du mini-réseau alimenté par énergie solaire présente un ensemble d'avantages qui motive le choix de ce travail. Le photovoltaïque apparaît comme une source d'électricité adaptée aux besoins énergétiques limités.

Dans notre travail, nous proposons l'étude et le dimensionnement de quatre (04) catégories de charges à savoir : le pompage d'eau pour l'arrosage des gazons, le système de télécommunication, les pompes sur presseur d'eau et l'éclairage de la cour et des abords immédiats de la Présidence de la République.

Nous compléterons cette étude par la mise en place d'un système de couplage automatique de ces différents systèmes alimentés par l'énergie photovoltaïque, sur le réseau conventionnel de la SBEE ou sur le groupe électrogène de secours afin d'éviter la rupture des services fournis.

## **II-OBJECTIF DU TRAVAIL**

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

### **2-1-Objectif général**

Il s'agit de produire de l'énergie électrique de manière autonome à la Présidence de la République à partir de l'énergie solaire en utilisant des systèmes photovoltaïques. Il s'agira donc de contribuer à la protection de l'environnement et augmenter l'accès aux services énergétiques de la population béninoise.

### **2-2-Objectifs spécifiques**

Il s'agit :

- ✓ identifier et choisir quelques charges pour lesquelles on veut produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire par les systèmes PV,
- ✓ étudier la faisabilité technique et financière de la mini-centrale photovoltaïque,
- ✓ faire l'étude économique de faisabilité du projet et une étude sommaire d'impact environnemental,
- ✓ analyser la généralisation du projet dans d'autres administrations publiques.

## **III-MATERIELS ET METHODES**

D'abord nous partirons du bilan de puissance et du bilan énergétique global de la structure, pour définir les charges électriques à prendre en compte par l'étude technique de faisabilité. Ensuite nous ferons le dimensionnement de la mini-centrale nécessaire. Enfin, nous ferons une étude technico-économique de faisabilité du projet après analyse de la possibilité de généralisation.

Les différentes étapes de cette méthodologie et les matériels nécessaires sont décrits à travers les points suivants :

### **3-1-Etude technique**

#### **3-1-1-Présentation de la charge à alimenter par la mini-centrale photovoltaïque**

Les installations électriques de la Présidence de la République du Bénin ont besoin d'une puissance de plus de 600 KVA. Pour rendre réalisable la mini-centrale photovoltaïque de notre étude, il est préférable de ne prendre en compte qu'une partie de cette installation.

C'est pourquoi, dans le cadre de la présente étude, nous avons ciblé :

- ✓ l'éclairage de la cour,
- ✓ les pompes surpresseurs qui alimentent le bâtiment en eau potable
- ✓ le pompage d'eau pour l'arrosage des espaces verts,
- ✓ le système de télécommunication

#### **3-1-2-Collecte des données**

##### **3-1-2-1-Relevé des caractéristiques des charges**

Les données nécessaires pour la réalisation de cet travail sont recensées à quatre différents niveaux :

- Au niveau des lampes des candélabres, des lampadaires et des projecteurs de la cour : Ici nous avons relevés les caractéristiques indiquées sur ces lampes et nous avons recensé le nombre de chaque catégorie de lampes.
- Au niveau des pompes surpresseurs d'eau : Nous avons relevé les caractéristiques électriques des pompes.
- Au niveau des espaces verts. Les mesures des surfaces d'espace vert ( gazon) à arroser ont été prises.
- Au niveau des autocommutateurs et de tous les équipements de télécommunication : Nous avons relevé les caractéristiques des différents relais de télécommunication.

Ces données seront utilisées pour le dimensionnement et l'installation du générateur photovoltaïque.

### **3-1-2-2-Les données du site**

A l'image de toute étude de conception d'un système photovoltaïque, il est primordiale de mesurer certaines données du site comme :

- l'ensoleillement ;
- l'irradiation ;
- l'inclinaison nécessaire pour avoir un rendement maximal avec les panneaux.

### **3-1-3-Les bilans de puissance et énergétique**

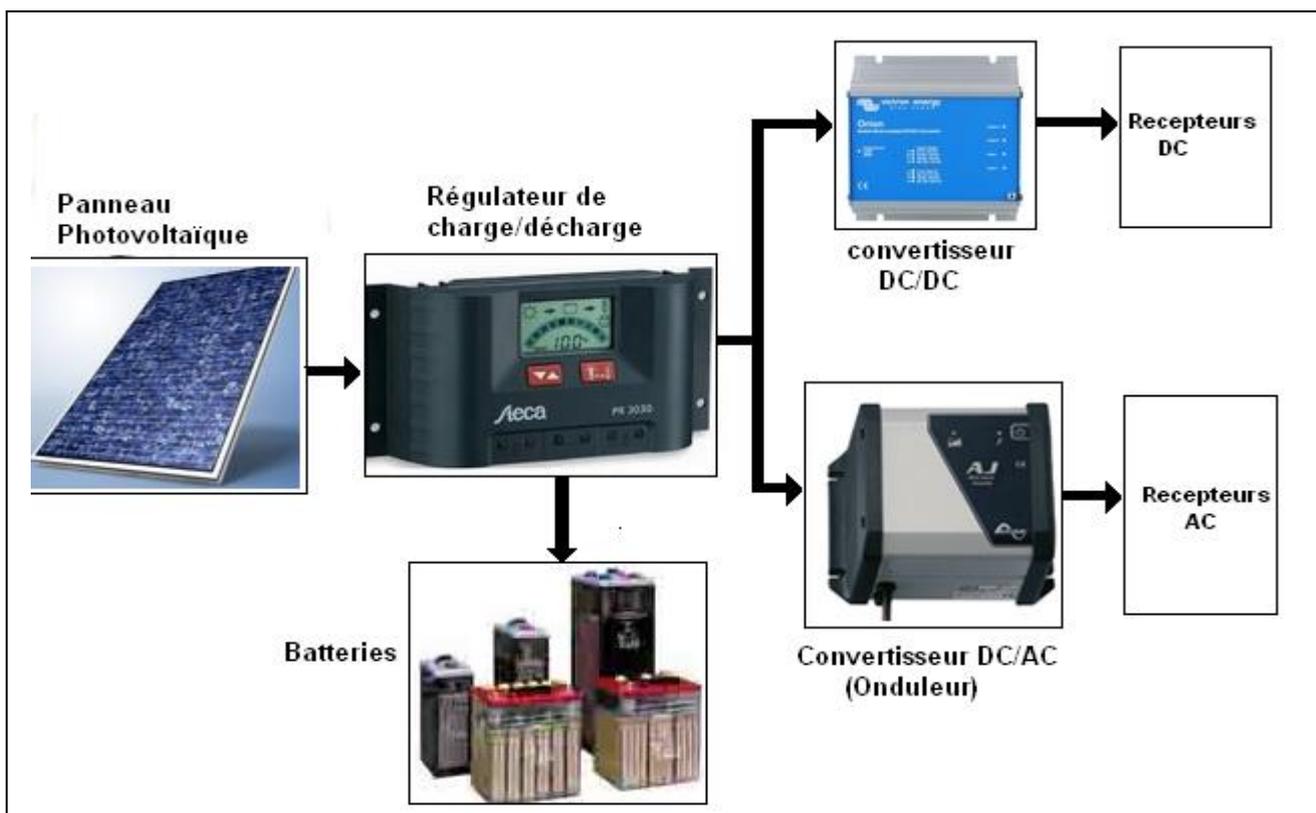
Les informations ci-dessus collectées permettront de calculer la puissance totale de l'ensemble de ces appareils afin d'en déduire la puissance "photovoltaïque installée" à mettre en place à cet effet . Avec les durées de fonctionnement des équipements, on obtient aisément les énergies consommées par ces équipements.

Pour les gazons à arroser, la surface requiert une quantité d'eau nécessaire : ce qui fait appel à l'utilisation des pompes de puissances données. La connaissance du nombre de pompe et leur puissance permet de déterminer l'énergie électrique nécessaire et donc la puissance PV à installée.

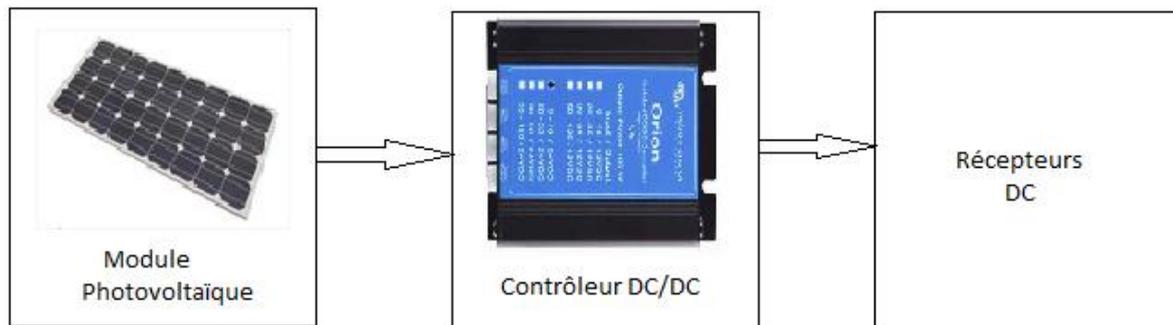
### 3-1-4-Les constituants du système

#### 3-1-4-1-Présentation de la structure générale d'un système PV

On distingue généralement deux types de système photovoltaïque : les systèmes photovoltaïques avec stockage électrique et les systèmes photovoltaïques sans stockage électrique ou système au fil du soleil [3]. La différence entre ces deux systèmes est que le second ne contient pas des batteries accumulateurs. Nous présenterons donc sur les figures ci-dessous un système avec stockage d'énergie et un système sans stockage d'énergie souvent utilisé pour les pompages d'eau.



**Figure 1 :** Représentation synoptique de la structure d'un système photovoltaïque avec stockage



**Figure 2:** Représentation synoptique de la structure d'un système photovoltaïque sans stockage

### 3-1-4-2-Les éléments d'un système PV

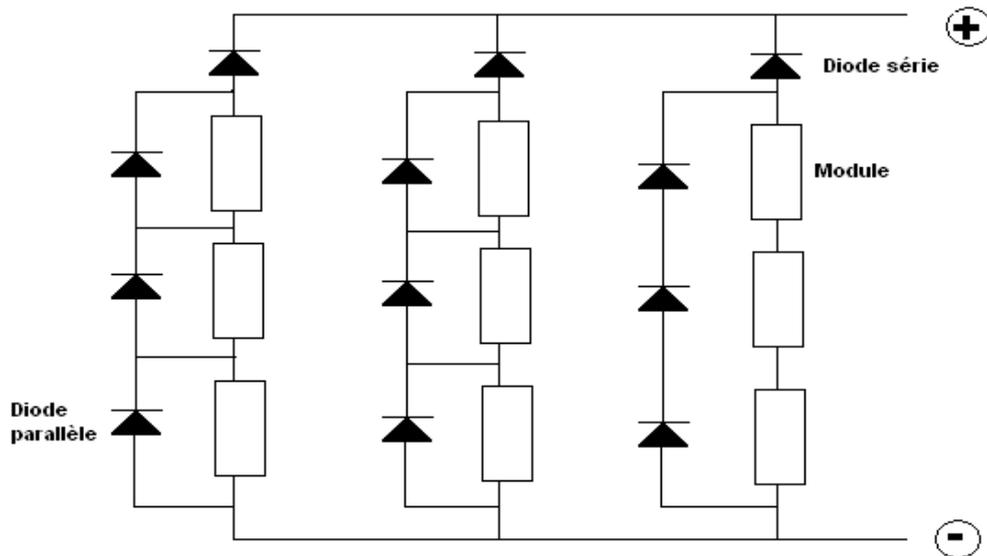
#### a) Les modules photovoltaïques

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 [1]. 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 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.

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 associations série-parallèle des modules et des diodes sont présentés sur la figure ci-dessous.



**Figure 3:** Réseau de modules en série-parallèle

## b) Le régulateur de charge et décharge

Le régulateur électronique dans un système photovoltaïque gère la charge et la décharge de la batterie. Il limite la tension de la batterie afin d'éviter une surcharge, en déconnectant la batterie trop chargée des modules PV. Quand la batterie est trop déchargée, il la déconnecte de l'utilisation, par un disjoncteur automatique pour la protéger contre la décharge profonde.

Dans un système PV, en l'absence d'un régulateur, les accumulateurs seront exposés à une perte d'eau donc un vieillissement prématuré et à la sulfatation des plaques.

Le régulateur dans un système photovoltaïque peut assurer aussi le rôle de la compensation thermique. Il est situé entre le champ de modules et les batteries accumulateurs.

### **c) Les batteries d'accumulation**

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

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

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

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

### **d) L'onduleur**

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

### **e) Le contrôleur DC/DC**

Il peut arriver que dans un système PV, la tension de sortie du champ ou de la batterie soit inférieure ou supérieure à celle de l'utilisation, qui doit être alimentée en continu. Il est donc nécessaire pour ces systèmes, un convertisseur DC-DC qui assure l'adaptation de la tension de sortie du système PV à celle d'usage de la charge. Le convertisseur DC-DC transforme une tension continue de son entrée en une tension de sortie continue inférieure ou supérieure à celle de l'entrée selon qu'il soit abaisseur ou éleveur. Il permet de contrôler le signal d'alimentation de la charge et le stabilise.

### **f) Les câbles électriques**

Les câbles relient électriquement tous les composants du système PV. Le câblage est un point critique de toute installation PV. Il est très important de bien dimensionner les conducteurs afin d'éviter la circulation d'un courant très fort dans les câbles même pour de petites puissances dans le cas d'utilisation de faibles tensions. Le choix des câbles dont l'enveloppe est adapté aux conditions d'utilisation est nécessaire.

### **g) Les récepteurs**

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

### **3-1-5-Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques**

Les différentes données de toutes charges à alimenter par la mini-centrale, permettent de déterminer les différents éléments constitutifs de chaque système PV et le nombre de système PV qu'il faudra. L'association de ces composants selon leurs fonctions donne la configuration du système PV.

### **3-1-6-Dimensionnement des équipements des systèmes photovoltaïques**

Les procédures de conception et de dimensionnement d'un générateur photovoltaïque sont complexes à cause des nombreux paramètres à prendre en compte. Pour être précis, nous décrirons par les cinq (06) étapes suivantes [3], les grandes lignes de la démarche à suivre pour la conception d'un système PV.

#### **Etape : 1 Estimation des besoins journaliers de l'utilisateur en électricité ( en Wh/j)**

A partir des caractéristiques relevées sur les récepteurs : tension, puissance et durée d'utilisation, on estime aisément ces besoins. La consommation journalière totale ( CJT) est la somme des consommations journalières en courant continu (CC) et en courant alternatif (CA). Il est nécessaire de tenir compte du rendement de l'onduleur pour la consommation en courant alternatif (CC).

$$CC = P_{CC}(W) \times H_{CC}(\text{Heures})$$

$$CA = \frac{P_{CA}(W) \times H_{CA}(\text{Heures})}{k_{ond}}$$

$$CTJ = CC + CA$$

$P_{CC}$  : puissance consommée en continu

$P_{CA}$ : puissance consommée en alternatif

$H_{CC}$  : durée de fonctionnement du récepteur CC

$H_{CA}$  : durée de fonctionnement du récepteur CA

$K_{ond}$  : rendement de l'onduleur

## **Etape : 2 Estimation de l'ensoleillement sur le site de l'installation du générateur photovoltaïque**

Les données de l'ensoleillement (exprimé en kWh / m<sup>2</sup>/j) peuvent être relevées sur le site ou enregistrées sur la carte de l'ensoleillement de la région ou encore obtenues au niveau de la station météo la plus proche de la zone.

Pour avoir une autonomie complète et éviter une variation saisonnière de la consommation, il faut prendre comme référence l'ensoleillement du mois le moins ensoleillé.

**Etape : 3 Estimation du champ photovoltaïque (tension et puissance crête installée, nombre de modules)**

- La tension des modules est choisie par rapport à la puissance des panneaux considérés :

$$12V_{pour}Pc < 150Wc$$

$$24V_{pour}150Wc < Pc < 100Wc$$

$$48V_{pour}Pc > 1000Wc$$

On utilise des tensions plus élevées en fonction de la grandeur de la puissance crête et des charges.

Wc : Watt crête ; Pc : Puissance du champ PV

- Puissance du champ photovoltaïque :  
Une des méthodes simplifiée est présentée :

$$Pc = \frac{CJT}{K \times Ej}$$

Ej : Ensoleillement sur le plan des modules en kWh/m<sup>2</sup>/j

$$K = Kp.Kbat.Kreg$$

- Nombre de module

- Nombre de module en série :  $N_s = \frac{U_c}{U_{mod}}$

Uc : Tension aux bornes de la charge

Umod : Tension aux bornes d'un module

- Nombre de module en parallèle :  $N_{//} = \frac{P_c}{N_s \times P_{ond}}$

Pc : puissance du champ PV

Pmod : puissance du module

#### **Etape : 4 Estimation de la capacité de stockage de la batterie et choix de la technologie**

Ici, il faut connaître d'abord le nombre de jours d'autonomie souhaitée. Surtout par rapport au niveau de sécurité des équipements et des lieux d'installation du système.

La formule de calcul de la capacité en (Ah : ampère heure) est :

$$C = \frac{CTJ \times N_j}{U_{bat} \times K_{bat} \times d_M}$$

$N_j$ : nombre de jour d'autonomie

$U_{bat}$ : tension de la batterie

$d_M$ : profondeur de la décharge

On tiendra compte du régime de la décharge C/x (Ah) compatible avec le courant demandé.

#### **Etape : 5 dimensionnement des câbles et plan de câblage**

La condition primordiale est que la chute de tension dans les câbles ne doit pas dépasser 3%. [1]

On obtient la chute de tension en pourcentage de la manière suivante :

$$\Delta U (V) = 2.I_B L.R$$

$$\Delta U (\%) = \frac{\Delta U (V)}{U_N}$$

Le réseau ici est considéré comme bifilaire (02 fils)

$I_B$  : courant d'emploi du circuit,  $L$  : longueur du câble (Km),  $R$  : résistance linéique du conducteur ( $\Omega/km$ ),  $U_N$  : tension nominale (V).

On pourra utiliser aussi les abaques pour déterminer graphiquement la section du câble à utiliser pour notre étude.

### **Etape : 6 Choix du régulateur et de l'onduleur**

- **Critères requis pour le régulateur :**

$U_{reg} > U_{PC}$  installée ,  $U_{reg} = U_{générateur}$  ,  $I_{entrée\ rég} > I_{max}$  du module ,

$I_{sortie\ reg} > P_{max}/U_{générateur}$

- **Critères requis pour l'onduleur :**

Puissance de l'onduleur est supérieure ou égale à la puissance des charges ,  $K_{ond}$  varie entre 0,9% et 0,95%.

**Le dimensionnement des éléments du système PV pour le pompage d'eau du système d'arrosage se fera différemment de la méthode précédente .**

Ici, il s'agit d'un système sans stockage ( au fil du soleil). Nous passerons par les neuf (09) étapes suivantes [4]:

**1<sup>ère</sup> Etape :** Faire la configuration du système en y intégrant la chaîne de rendement,

**2<sup>ème</sup> Etape :** Calcul du débit horaire :  $Q_{max} (m^3 / h) = \frac{Q_j}{6}$  ,  $Q_j$  : consommation journalière en eau.

**3<sup>ème</sup> Etape :** Calcul de la puissance hydraulique :  $P_H (kW) = 2,725 \times 10^{-3} \times Q_{max} \times HMT$

HMT : hauteur manométrique totale,  $HMT = H_g + P_c$  (  $P_c$  : perte de charge,  $H_g$  : hauteur géométrique).

**4<sup>ème</sup> Etape :** Calcul de la puissance mécanique :  $P_m (kW) = \frac{P_H}{K_{pompe}}$ ,  $K_{pompe}$  : rendement de la

pompe.

**5<sup>ème</sup> Etape :** Calcul de la puissance électrique du moteur :  $P_e (kW) = \frac{P_m}{K_m}$ ,  $K_m$  : rendement du

moteur.

**6<sup>ème</sup> Etape :** Calcul de la puissance du générateur à 800 W/m<sup>2</sup> compte tenu des pertes :

$$P_g (kW) = \frac{P_e}{0,9}$$

**7<sup>ème</sup> Etape :** Calcul de la puissance crête du générateur :  $P_c (kW) = \frac{P_g}{0,8}$

**8<sup>ème</sup> Etape :** Choix de la tension nominale imposée par la charge

**9<sup>ème</sup> Etape :** Calcul du nombre de modules (  $N_s$  et  $N//$ ) et de la puissance crête installée ( $P_C$ ).

### **3-1-7-Choix des composants des systèmes**

A partir des caractéristiques des différents éléments dimensionnés pour chaque système PV et des catalogues des constructeurs , nous pourons choisir aisément de manière spécifique les équipements adéquats à utiliser en tenant compte des coûts et de la qualité.

### **3-1-8-Système de couplage automatique des charges alimentées par les systèmes PV au réseau conventionnel et aux groupes électrogènes de secours**

La rupture d'énergie doit être très rare, vu l'importance des lieux que ces charges alimentent. Pour cela, nous proposons un système de couplage automatique de ces récepteurs sur une source secours en cas de panne des systèmes PV ou insuffisance de rayonnement solaire. Nous utiliserons des interrupteurs automatiques commandés par un automate programmable industriel.

### 3-2-Etude d'impact environnemental sommaire

L'évaluation de la quantité de CO2 évitée en utilisant cette source d'énergie renouvelable dans ce projet montrera l'impact positif du projet sur l'environnement.

La formule suivante sera utilisée pour calculer la quantité de CO2 évité en produisant une quantité d'énergie E.

$$m \text{ CO}_2 = (\text{densité du gasoil} \times \text{consommation spécifique du moteur thermique} \times \text{teneur en carbone du gasoil} \times E \times 44) / 12$$

### 3-3-Etude de rentabilité économique

Nous évaluerons le coût annuel total de chaque système. Nous allons déterminé le coût global actualisé du kWh fourni et du m<sup>3</sup> d'eau produite.

Le prix du kWh produit par cette installation solaire photovoltaïque dépend des coûts fixes à l'investissement initial (achat du matériel et travaux) et surtout de la durée considérée pour l'amortissement de l'investissement (exemple 20 ans).

La formule principale du calcul de l'amortissement à annuités constantes " X " d'un investissement " I " sur une durée de " n " année à un taux d'intérêt annuel " t " en % est [3]:

$$X = \frac{I(t/100)(1+t/100)^n}{(1+t/100)^n - 1}$$

Données de base :

- ✓ Coût d'investissement des équipements I
- ✓ Durée de vie du projet : 20 ans
- ✓ Durée d'amortissement des équipements : varie (20 ans, 10ans, 7ans, 3 ans etc.)
- ✓ Taux d'amortissement : t=10%

## **IV-RESULTATS**

### **4-1-Les résultats de l'étude technique**

#### **4-1-1- Les données de l'ensoleillement du lieu de réalisation du projet**

Les stations météorologiques du Bénin ne disposent d'aucun instrument de mesure fiable de l'irradiation solaire énergétique. Les mesures empiriques réalisées dans les stations de Kandi et de Natitingou [2] présentées dans le tableau de l'**annexe 2**, permettent d'avoir une idée du potentiel énergétique qui est évalué en moyenne sur l'année entre 3,9 KWh/m<sup>2</sup>.j au sud et 6,1 KWh/m<sup>2</sup> au nord pour une durée d'ensoleillement de 4,5 à 6 h/j.

En dehors de ces valeurs, on peut lire sur la carte d'ensoleillement pour la région de l'Afrique [2] dans laquelle se retrouve le lieu de notre étude (Cotonou). Ces valeurs vont de 3,5 à 5,0 KWh/m<sup>2</sup>.j pour l'irradiation au mois le plus défavorable. Ladite carte est présentée en annexe 1. Le productible annuel au Bénin varie de 1800 à 2100 kWh/m<sup>2</sup>/an (soit 4,9 au sud à 5,8 kWh/m<sup>2</sup>/jour au nord). [6]

De manière pratique, nous prendrons la moyenne de la valeur de l'ensoleillement à Cotonou comme 4,9 KWh/m<sup>2</sup>.j.

#### **4-1-2-Les caractéristiques des récepteurs**

Les charges électriques de la structure sont d'environ 500 kW avec une puissance foisonnée d'environ 625 KVA. La partie des installations qui sera alimentée par l'énergie électrique photovoltaïque est évaluée à 50,44kW, ce qui représente environ 10% de la charge totale.

##### **a- Le système d'éclairage**

Le circuit d'éclairage de la cour est constitué de trois différents types de sources lumineuses dont les quantités et les caractéristiques électriques sont présentées par le tableau ci-dessous.

Les lampes fonctionnent de 18h du soir à 7h du matin soit 13 heures de fonctionnement par jour.

N° d'ordre	catégorie	Nombre	Puissance de chaque lampe	Puissance Appelée par l'ensemble	Tension d'usage	Durée de fonctionnement	Nature du courant
1	Candélabres	120	70W	8400W	220V	13 H	Nature du courant
2	Bornes d'éclairage (pour jardin)	24	60W	1440W	220V	13H	Alternatif (50Hz)
3	Projecteurs	30	700W	21000W	220V	13H	Alternatif (50Hz)

**Tableau 1:** Caractéristiques du système d'éclairage de la cour

Les photos ci-dessous montrent les trois types de sources lumineuses utilisées pour l'éclairage de la cour.



**Photo 1:** Bornes d'éclairage pour jardin



**Photo 2:** Projecteur qui éclaire les façades du bâtiment



**Photo 3:** Candélabre d'éclairage de la cour

## **b- le système des pompes surpresseurs**

Les pompes surpresseurs sont deux systèmes constitués chacun de deux pompes dont on présente les caractéristiques électriques dans le tableau ci-dessous. Les deux pompes de chaque système fonctionnent alternativement. Elles alimentent les bâtiments en eau potable dans la journée et remplissent aussi des réservoirs, prévus pour desservir les bâtiments la nuit quand les pompes sont à l'arrêt. Ainsi la durée de fonctionnement de chaque pompe est de 7 heures par jour.

Equipements	Quantité	Puissance de chaque pompe	Puissance appelée par l'ensemble	Durée de fonctionnement	Tension D'usage	Nature du courant
Pompes surpresseurs	02	5500W	11000W	7H	220V/380V	Nature du courant
	02	3000W	6000W	7H	220V	Nature du courant

**Tableau 2:** Caractéristiques des pompes surpresseurs.



**Photo 4 :** Les pompes surpresseurs d'eau

### **b- Le système de télécommunication.**

La puissance totale des équipements de télécommunication est évaluée après lecture des caractéristiques de tous les appareils. Ces caractéristiques sont dans le tableau ci-dessous. Les équipements de télécommunications fonction 24h sur 24H.

Equipments	Puissance appelée	Tension d'utilisation	Nature de la tension	Durée de fonctionnement
Relais de télécommunications	2600W	48V	Continue	24H

**Tableau 3:** Caractéristiques des relais de télécommunication

### 4-1-3-Surface de gazon et fleur (espace vert) à arroser et demande en eau

La surface totale de l'espace vert est estimée après mesure et calcul à 38615m<sup>2</sup>. Le besoin en eau pour l'arrosage d'un mètre carré (1m<sup>2</sup>) est au plus quatre (04) litres [13]. Donc 154460 l d'eau soit 155 m<sup>3</sup>. Les pompes vont fonctionner au fil du soleil soit environ neuf (09) heures par jour.

Ainsi, le nombre de forage et la quantité d'eau à tirer par les pompes sont évalués dans le tableau suivant :

Systèmes	Nombre de forages et de pompes	Hauteur géométrique du forage	Estimation des pertes	Quantité d'eau fournie par chaque pompe par jour
Pompage d'eau pour arrosage des espaces verts	08	20 mètres	10 %	20 m <sup>3</sup>

**Tableau 4:** Données techniques de base du système de pompage d'eau

### 4-1-4-Bilan des puissances appelées et consommation en énergie des charges

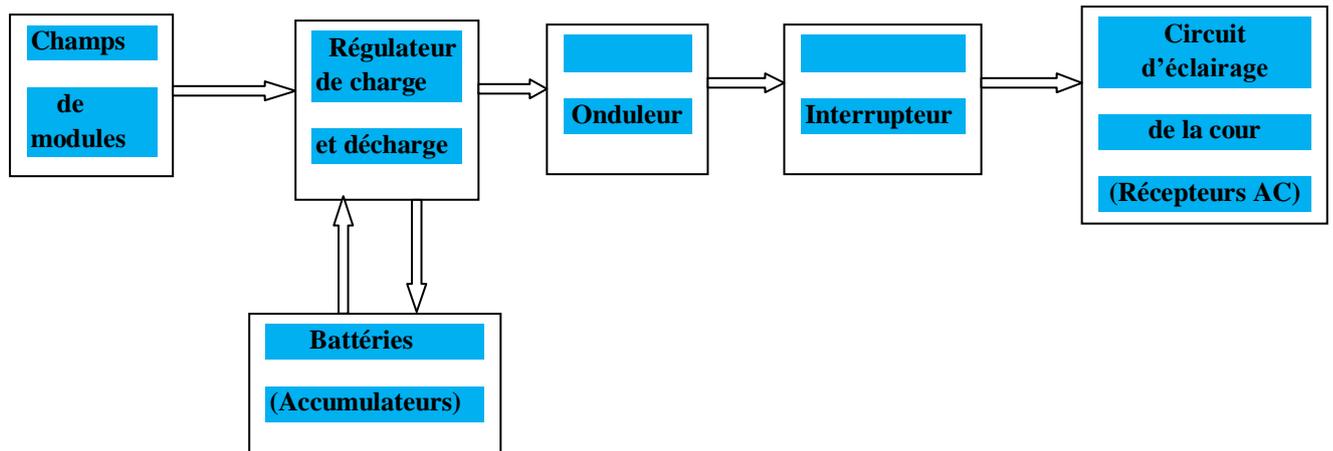
Système PV	Puissance totale appelée en W	Durée d'utilisation en H	Consommation journalière (CTJ en KWh)
SPV1	30840	13	400,92
SPV2	17000	7	119
SPV3	2600	2	5,2
<b>Total</b>	<b>50440</b>		<b>525,12</b>

**Tableau 5 :** bilan de puissance et bilan énergétique des lampes, des pompes surpresseurs et des relais de télécommunication.

## 4-1-5- Les schémas des configurations des différents systèmes

### a) configuration du système alimentant le circuit d'éclairage de la cour

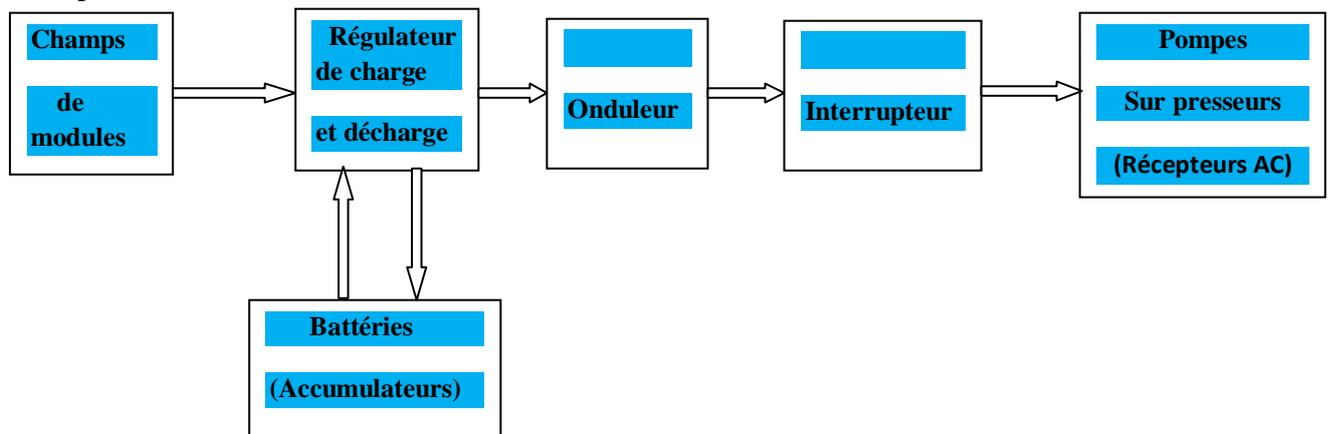
Les lampes de la cour s'allument à 18 heures du soir et s'éteignent à 7 heures du matin grâce à une commande automatique gérée par une horloge.



**Figure 4:** Schéma de la configuration du système alimentant le circuit d'éclairage de la cour

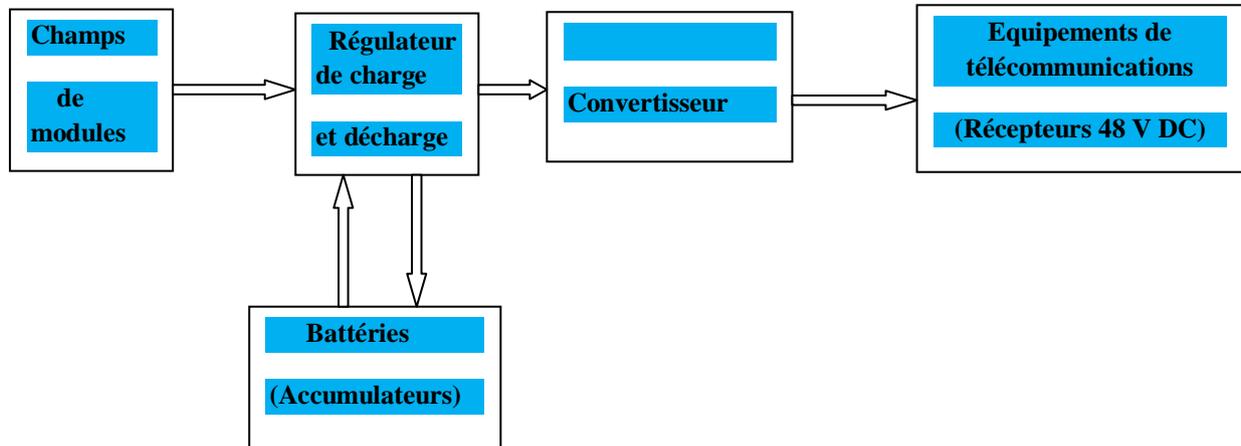
### b) Configuration du système d'alimentation de pompes surpresseurs

Une commande automatique gérée par API, démarre les pompes à 7 heures du matin et les arrête à 20 heures du soir. Un réservoir est prévu en hauteur pour alimenter le bâtiment en eau pendant les nuits.



**Figure 5:** Schéma de la configuration du système alimentant les pompes surpresseurs

*c) configuration du système d'alimentation des relais de télécommunication.*



**Figure 6:** Schéma de la configuration du système alimentant les équipements de télécommunication

*d) configuration du système de pompage pour arrosage.*

Ce système sera alimenté " au fil du soleil " c'est-à-dire sans stockage. On aura besoin d'arroser que dans la journée et en saison de la sécheresse. Dans les périodes de pluies (absence de la source d'énergie), les pompes seront à l'arrêt.



**Figure 7:** Schéma de la configuration du système de pompage d'eau pour arrosage des espaces verts.

#### 4-1-6- Caractéristiques des composants utilisés pour le dimensionnement des systèmes PV

Les caractéristiques des composants de base utilisés pour la conception des systèmes photovoltaïques sont présentées dans le tableau suivant :

Designation du composant	Caractéristiques techniques
<b>Module</b>	Module poly cristallin, Puissance 170Wc, Unominal= 24V, Rendement = 13 % ; Uopt = 36 V ; Iopt = 4,72A à 25 °C ; I nom = 7,083A.
<b>Onduleur</b>	Type monophasé ; tension d'entrée 96 V ; tension des sortie 220V ; rendement $K_{\text{ond}}=0,95$ . Puissance à déterminer.
<b>Contrôleur DC /DC</b>	Tension d'entrée = 96V, tension de sortie = 96 V. $K_{\text{contr}}=0,9$
<b>Batterie</b>	Type plomb/acide ; en éléments de 2 V ; $K_{\text{acc}}=0,85$ ; profondeur de décharge dM = 60 %. Capacité à déterminer selon le système.
<b>Régulateur</b>	Régulateur de charge / décharge ; $K_{\text{reg}} = 0,9$ ; Puissance à déterminer.
<b>Motopompe</b>	Moteur électrique $K_m= 0,85$ ; Pompe $K_p= 0,55$

**Tableau 6 :** Caractéristiques techniques des composants de base utilisés pour le dimensionnement des systèmes PV

#### 4-1-7- Présentations des caractéristiques des équipements dimensionnés

**SPV1 :** Système photovoltaïque 1, qui alimente le circuit lumière de la cour

**SPV2 :** Système photovoltaïque 2, qui alimente les pompes surpresseurs

**SPV3 :** Système photovoltaïque 3, qui alimente les équipements de télécommunication

**SPV4 :** Système photovoltaïque 4, qui alimente le système de pompage d'eau d'arrosage

Systèmes PV	CTJ (KWh/j)	K	E (KWh/m <sup>2</sup> .j)	PC calculé (Wc)	N <sub>s</sub>	N //	N <sub>T</sub>	PC installée Wc	Capacité des batteries (Ah)	Nombre d'éléments des batteries	Puissance Régulateur(W)	I Reg	Puissance onduleur (W)
<b>SPV1</b>	400,92	0,58	4,9	140729,98	9	92	828	140760	31948,31	48 élmts de2V	>140760	>1466,25	>140760
<b>SPV2</b>	119,00	0,58	4,9	41771,09	9	28	252	42840	9482,81	48 élmts de2V	>42840	>446,25	>42840
<b>SPV3</b>	5,20	0,61	4,9	1734,03	2	6	12	2040	828,75	24 élmt sde2V	>2040	>42,50	Néant

**Tableau 7:** Caractéristiques des équipements dimensionnés pour les systèmes PV avec stockage

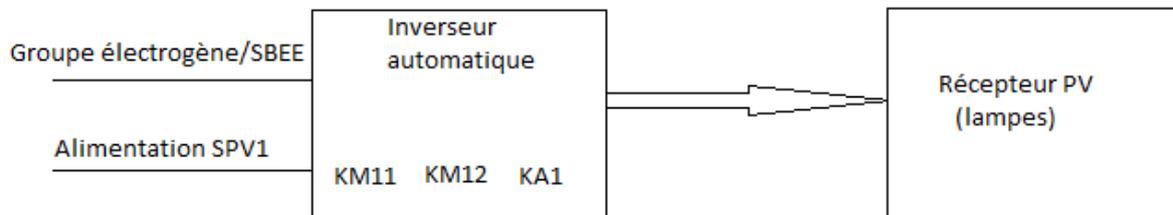
Etape 2	Qmax	26,67	m <sup>3</sup> /h	Débit horaire des huit (08) pompes
Etape 3	Phydro	1,59855	kW	Puissance hydraulique = $Q \times H / 367 = 26,67 \times 22 / 367$ (Car $H = HTM = 20 + 10\% \times 20 = 22$ m)
Etape 4	Pméca	2,90645	kW	Puissance Mécanique = Phydro/Rendement pompe = $1,59855 / 0,55$
Etape 5	Pélec	3,41935	kW	Puissance électrique = Pméca/Rendement moteur = $2,90645 / 0,85$
Etape 6	Pcontr	3,79928	kW	Puissance contrôleur = Pélec /Rendement contrôleur = $3,41935 / 0,9$
Etape 7	Pgéné	4,22142	kW	Puissance générateur = Pcontr /Rendement câble = $3,79928 / 0,9$
Etape 8	Pcrête	5,2768	kW	Puissance crête du générateur = Pgéné /Rendement panneau = $4,22142 / 0,8$
	Uc	96	V	Tension à la sortie du générateur solaire = tension à l'entrée de la pompe = 96 V = tension à l'entrée et à la sortie du contrôleur DC/DC
Etape 9	Ns	3		
	N//	11		Surcoût = $(5610 - 5276,8) / 5276,8 = 6,31\%$
	Nt	33		
Etape 10	P installée	5610	Wc	Puissance crête installée
	Contrôleur	> 5610	Wc	

**Tableau 8 :** Le dimensionnement des éléments du système de pompage d'eau pour l'arrosage (SPV4).

## 4-1-8-Le système de couplage automatique

### a. Principe de fonctionnement

Un contacteur de ligne KM11 alimente la charge par la source du système photovoltaïque 1, un autre contacteur KM12 alimente la charge par la source secours (groupe électrogène /SBEE). KA1 est un relais de détection de rupture d'énergie au niveau de la charge du SPV1. L'automate programmable industriel (API) gère les fermetures et les ouvertures des deux contacteurs en recevant des signaux de KA1.

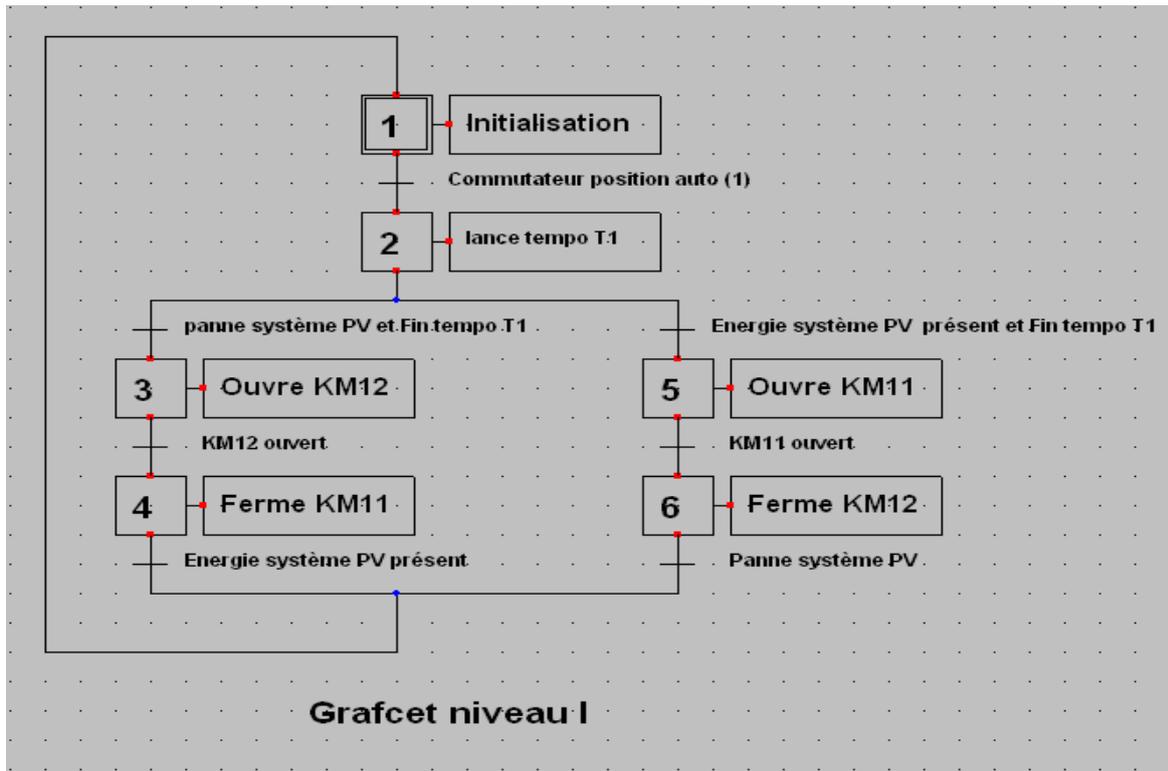


**Schéma 1 :** Schéma synoptique du couplage automatique des charges sur le réseau conventionnel ou les groupes électrogènes (cas du système PV 1)

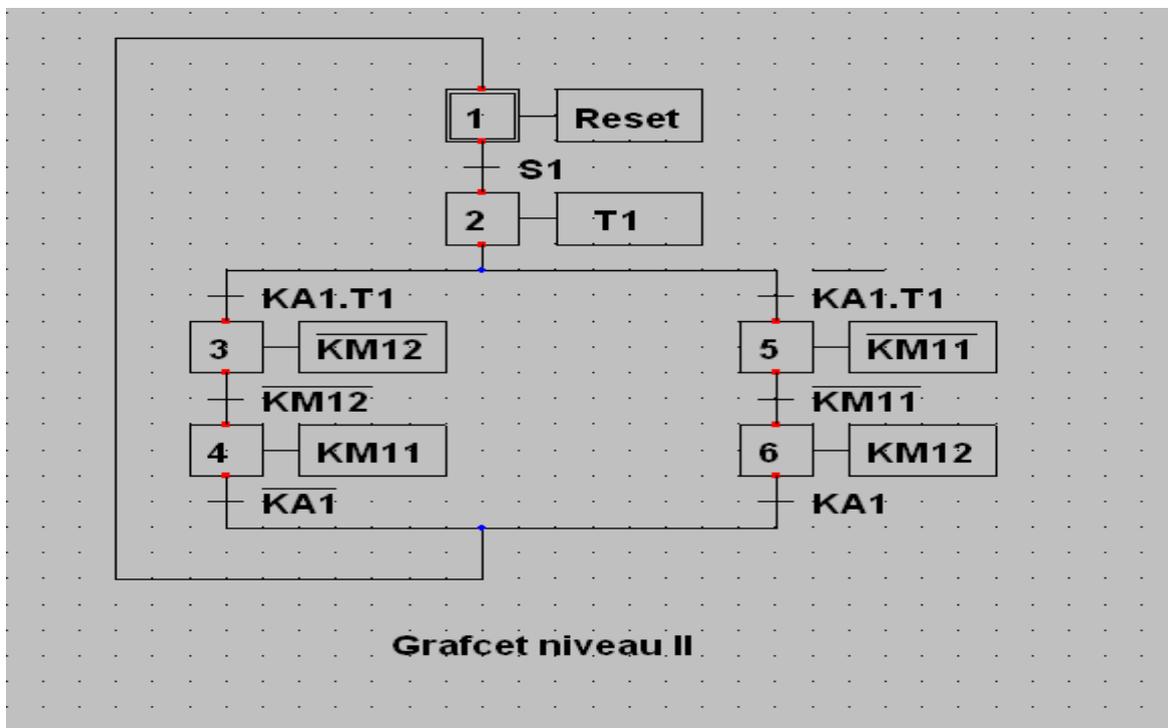
Les schémas de puissance et de commande sont les schémas classiques d'inverseur pour l'alimentation d'une charge par une source secours en cas de disparition de la source principale.

Les autres systèmes PV ont un schéma analogue à celui présenté sur le schéma ci-dessus. Ainsi on a : KM21, KM22, KA2 qui sont les composants de SPV2 et ainsi de suite.

### b. Les grafjets niveau I et II



**Schéma 2 :** Grafcet fonctionnel



**Schéma 3:** Grafcet technologique

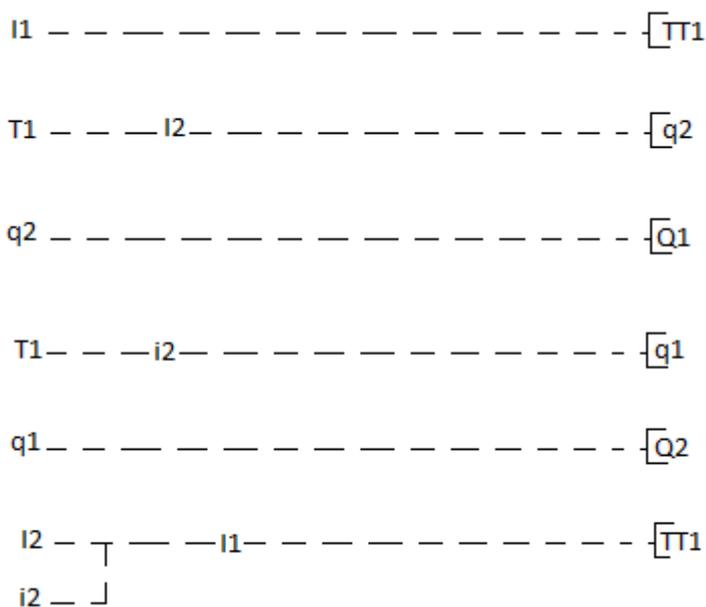
### c. Le programme exécuté par l'automate programmable industriel.

Le programme exécuté par l'API ZELIO présenté en **annexe V** est le suivant :

Le tableau ci-dessous montre les adresses des différents composants sur l'automate.

	Composants	Adresses
Entrées	S1	I1
	KA1	I2
Sorties	KM11	Q1
	KM12	Q2

**Tableau 9 :** Adressage des entrées et sorties de l'automate pour le SPV1



#### 4-2-L'étude d'impact environnemental sommaire

Une installation d'un système photovoltaïque n'a pas un impact négatif significatif sur l'environnement. La ressource solaire étant une énergie renouvelable et ne pollue pas

l'environnement. L'impact positif de ce projet sera prouvé par la détermination de la quantité de CO<sub>2</sub> évitée.

On suppose que cette énergie électrique  $E =$  est produite par une centrale thermique utilisant du gasoil.

Données de base :

- ✓ densité du gasoil :  $0,83 \text{ kg / dm}^3$  ;
- ✓ teneur en carbone du gasoil =  $83,6 \%$  ;
- ✓ Consommation spécifique du moteur thermique =  $0,28 \text{ / kWh}$  [15] (annexe III).  
source : SBEE et annexe III.

L'énergie consommée par jour par les installations est environ:  $E = 525,12 + 31,5 = 556,62 \text{ kWh}$

d'où  $m \text{ CO}_2 = (556,62 \times 365 \times 0,28 \times 0,83 \times 0,836 \times 44) / 12 = 144732,31 \text{ kg}$  soit **144,32 tonnes** de CO<sub>2</sub> par an.

Ces résultats montrent que ce projet a un grand impact positif sur l'environnement.

### **4-3-L'étude de rentabilité économique**

#### **Tableaux des études technico-économiques des systèmes PV**

Les prix des équipements utilisés pour l'étude économique sont obtenus auprès de deux entreprises vendeuses au Bénin : ENERDAS et GREEN ECO. Donc on ne prendra plus en compte la TVA, les frais de transport et les taxes de douane.

Postes d'investissement	Amortissements	Désignation	Caractéristiques	Puissance installée(Wc)	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix par Wc (FCFA)	Montant (CFA)
	A : Sur 20 ans		Module polycristallin	170 Wc ; 24V	140 760	828	200 800	
		Supports pour les modules	-	140 760	-	-	200	28 152 000
		Génie-civil (enclos pour les modules)	-	140 760	-	-	300	42 228 000
		Armoires de commande	-	140 760	-	-	200	28 152 000
		Câble et divers accessoires	-	140 760	-	-	250	35 190 000
		Main d'œuvre	-	140 760	-	-	200	28 152 000
<b>Total A</b>								<b>328 136 400</b>
B : Sur 7 ans		Régulateur	1500A en continu sous 96 VDC	140 760	1	15 740 455		15 740 455
		Onduleur	onduleur de 145 Kw (96V/220V)	140 760	1	52 881 325		52 881 325
		Batteries	2V/1790 Ah	140 760	864	272 728		235 637 296
<b>Total B</b>								<b>304 259 076</b>
<b>Investissement total</b>								<b>632 395 476</b>
<b>Amortissement annuel actualisé selon un taux de 10%</b>				<b>C = A sur 20 ans</b>				<b>38 542 778</b>
				<b>D = B sur 7 ans</b>				<b>62 496 488</b>
<b>Amortissement total annuel</b>				<b>E = C + D</b>				<b>101 039 266</b>
<b>Coût de fonctionnement annuel (Pour un entretien de 4 visites par an)</b>				<b>F</b>	<b>4</b>	<b>75 000</b>		<b>300 000</b>
<b>Coût annuel total pour SPV1</b>				<b>G = E + F</b>				<b>101 339 266</b>

**Tableau 10 :** Etude technico-économique du système PV alimentant le circuit d'éclairage de la cour

Postes d'investissement	Amortissements	Désignation	Caractéristiques	Puissance installée(Wc)	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix par Wc (FCFA)	Montant (CFA)	
	A : Sur 20 ans	Module polycristallin	170 Wc ; 24V		42 840	252	200 800		50 601 600
		Supports pour les modules	-		42 840	-		200	8 568 000
		Génie-civil (enclos pour les modules)	-		42 840	-		300	12 852 000
		Armoires de commande	-		42 840	-		200	8 568 000
		Câble et divers accessoires	-		42 840	-		250	10 710 000
		Main d'œuvre	-		42 840	-		200	8 568 000
	<b>Total A</b>								<b>99 867 600</b>
B : Sur 7 ans	Régulateur	450A en continu sous 96 VDC		42840	1	1 664 025		1 664 025	
	Onduleur	96VDC/230VAC (45kW à cos $\phi$ = 0,8)		42840	1	16 703 000		16 703 000	
	Batteries	2V/1790Ah		42840	288	272 728		78 545 765	
<b>Total B</b>								<b>96 912 790</b>	
<b>Investissement total</b>								<b>196 780 390</b>	
<b>Amortissement annuel actualisé selon un taux de 10%</b>				C = A sur 20 ans				11 730 411	
				D = B sur 7 ans				19 906 420	
<b>Amortissement total annuel</b>				E = C + D				31 636 831	
<b>Coût de fonctionnement annuel (Pour un entretien de 4 visites par an)</b>				F	4	75 000		300 000	
<b>Coût annuel total pour SPV2</b>				G = E + F				31 936 831	

**Tableau 11 :** Etude technico-économique du système PV alimentant les pompes supprimeur

	Amortissements	Désignation	Caractéristiques	Puissance installée(Wc)	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix par Wc (FCFA)	Montant (CFA)	
<b>Postes d'investissement</b>	A : Sur 20 ans	Module polycristallin	170 Wc ; 24V	2 040	12	200 800		2 409 600	
		Supports pour les modules	-	2 040	-		200	408 000	
		Génie-civil (enclos pour les modules)	-	2 040	-		300	612 000	
		Armoires de commande	-	2 040	-		200	408 000	
		Câble et divers accessoires	-	2 040	-		250	510 000	
		Main d'œuvre	-	2 040	-		200	408 000	
	<b>Total A</b>								<b>4 755 600</b>
	B : Sur 7 ans	Régulateur	armoire de régulation 48V-55A	2040	1	539 556		539 556	
		Batteries	2V/890Ah	2040	24	146 198		3 508 755	
	<b>Total B</b>								<b>4 048 311</b>
<b>Investissement total</b>								<b>8 803 911</b>	
<b>Amortissement annuel actualisé selon un taux de 10%</b>				<b>C = A sur 20 ans</b>				<b>558 591</b>	
				<b>D = B sur 7 ans</b>				<b>831 545</b>	
<b>Amortissement total annuel</b>				<b>E = C + D</b>				<b>1 390 136</b>	
<b>Coût de fonctionnement annuel (Pour un entretien de 4 visites par an)</b>				<b>F</b>	<b>4</b>	<b>75 000</b>		<b>300 000</b>	
<b>Coût annuel total pour SPV3</b>				<b>G = E + F</b>				<b>1 690 136</b>	

**Tableau 12 :** Etude technico-économique du système PV alimentant les équipements de télécommunication

	Amortissements	Désignation	Caractéristiques	Puissance installée(Wc)	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix par Wc (FCFA)	Montant (CFA)	
<b>Postes d'investissement</b>	A : Sur 20 ans	Module polycristallin	170 Wc ; 24V	5 610	33	200 800		6 626 400	
		Supports pour les modules	-	5 610	-		200	1 122 000	
		Génie-civil (enclos pour les modules)	-	5 610	-		300	1 683 000	
		Armoires de commande	-	5 610	-		200	1 122 000	
		Forage		5 610	8	6000000		48 000 000	
		tuyauterie et divers accessoires	-	5 610	-		250	1 402 500	
		Main d'œuvre	-	5 610	-		200	1 122 000	
	<b>Total A</b>								<b>61 077 900</b>
	B : Sur 7 ans	Contrôleur DC/DC + pompe immergée		5 610	8	741480		5 931 840	
	<b>Total B</b>								<b>5 931 840</b>
<b>Investissement total</b>								<b>67 009 740</b>	
<b>Amortissement annuel actualisé selon un taux de 10%</b>				<b>C = A sur 20 ans</b>				<b>7 174 187</b>	
				<b>D = B sur 7 ans</b>				<b>1 218 433</b>	
<b>Amortissement total annuel</b>				<b>E = C + D</b>				<b>8 392 620</b>	
<b>Coût de fonctionnement annuel (Pour un entretien de 4 visites par an)</b>				<b>F</b>	4	75 000		<b>300 000</b>	
<b>Coût annuel total pour le pompage d'eau d'arrosage des espaces vert</b>				<b>G = E + F</b>				<b>8 692 620</b>	

**Tableau 13 :** Etude technico-économique du système PV alimentant les pompes d'eau pour arrosage d'espaces vert.

## V-DISCUSSIONS-ANALYSE

### 5-1- Analyse des résultats de la mini-centrale dimensionnée

Les tableaux 7, 9, 10 et 11 montrent que pour une production de 185,64 kWc par jour soit 609.827,4 kWh par an, on utilise 134.966.233 FCFA. Ainsi, le coût du kWh produit 222F est plus élevé que celui de cession par la SBEE au ménage qui est de 115 FCFA. A priori on dira que le projet n'est pas rentable.

Nous avons choisi une autonomie de dix (10) jours pour les systèmes PV à stockage, c'est pour cette raison que les batteries dimensionnées sont de grandes capacités et très cher. Pour une autonomie moyenne de trois (03) jours, le prix du kWh produit est environ 95F CFA, montant inférieur à 115FCFA ; prix de vente de la SBEE. Le projet est nettement rentable dans ces conditions.

Il faut dire que si l'on prend en compte l'avantage du projet à l'environnement on constate qu'il est très rentable.

Du tableau 8, on déduit que la quantité d'eau produite par les pompes par an est environ 87.611 m<sup>3</sup>. Le coût annuel de ce système PV de pompage est 8.692.620 FCFA (tableau 12). D'où le coût du m<sup>3</sup> d'eau produit par le système de pompage PV : 100 FCFA est largement inférieur à celui de cession du m<sup>3</sup> par la SONEB qui est de 453 FCFA selon les factures d'eau de ladite société.

Le projet est donc très rentable, sans compter que l'énergie renouvelable utilisée permet une réduction de gaz à effet de serre.

En montant un projet de mécanisme de développement propre (MDP), par le principe de compensation carbone, on peut vendre les crédits carbonés générés pour avoir de financement supplémentaire pour financer ou élargir le projet.

### 5-2- Analyse de la généralisation du projet aux autres administrations

L'énergie électrique produite dans le cadre de ce projet de manière autonome est d'environ 50 kW. Le Bénin a une quarantaine de ministères et d'institutions de la République.

Lorsque toutes ces structures vont produire cette même quantité d'énergie de façon autonome, en un (01) an, on aura une production interne d'au moins 2 MW. Cela contribuera à la réduction de la dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur. Une bonne partie de la population aura plus accès à l'énergie. Cette production de l'énergie propre, participerait à la protection de l'environnement.

Chacune de ces structures devra utiliser une partie de son budget, évidemment prévu à cet effet, pour le financement de ces projets. Ainsi les factures d'électricité consommée par ces structures étatiques impayées seront prises en compte d'une manière ou d'une autre.

## **VI-RECOMMANDATIONS-PERSPECTIVES**

Vu l'importance des énergies renouvelables dans le développement socio-économique des populations béninoises et sa participation à la réduction de la pauvreté. La promotion de ces formes d'énergie est nécessaire. Il paraît opportun de formuler les recommandations suivantes :

- identifier et de caractériser tout le potentiel national en source d'énergie renouvelable ;
- promouvoir les projets de mise en exploitation de ces sources renouvelables ;
- généraliser le projet étudié aux autres institutions et structures de l'Etat béninois ;
- diversifier les sources d'énergie et surtout renouvelable dans la généralisation du projet, c'est-à-dire utiliser l'énergie éolienne dans les structures situées dans la région côtière du pays ;
- Remplacer les lampes par des lampes solaires plus économiques du point de vu énergétique (lors de la réalisation du projet).

## VII-CONCLUSIONS

L'objectif général de cette étude est de produire de l'énergie électrique de manière autonome à la Présidence de la République à partir de l'énergie solaire en utilisant des systèmes photovoltaïques.

Ainsi après avoir identifié les équipements que les systèmes photovoltaïques vont alimenter, nous avons conçu quatre (04) configurations distinctes de systèmes PV : le système PV qui alimente les lampes du circuit d'éclairage de la cour, le système PV qui alimente les pompes surpresseurs d'eau, le système PV qui alimente les relais de télécommunication et le système PV qui alimente les pompes pour l'arrosage des espaces verts.

Ensuite les éléments des systèmes PV ont été dimensionnés. Pour permettre une alimentation permanente des récepteurs pris en compte par les systèmes photovoltaïques, un couplage automatique de ces récepteurs sur une source secours a été réalisé avec un petit automate programmable.

Nous avons constaté que le projet est techniquement et économiquement réalisable. Cependant il faudra tenir compte de son impact environnemental positif pour qu'il soit rentable.

Dans un pays comme le Bénin où le taux d'électrification se situe à environ 51,8% en milieu urbain et moins de 3% en milieu rural [2] avec une dépendance de plus 80% de l'extérieur, la multiplication de ces projets de production d'électricité en utilisant les sources d'énergie renouvelable est indispensable.

La promotion de ces genres de projet contribuera à l'augmentation de l'accès d'une grande partie de la population béninoise aux services énergétiques modernes.

## VIII-REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]- *L'électricité solaire au service du développement rural* ; Sous la direction de Abdelhanine Benallou et de Michel Rodot.
- [2]- *Projet Développer le Bénin à partir des sources renouvelables, rapport final* ; juillet 2010 PNUD, Ministère de l'Energie et de l'Eau (Bénin).
- [3]- *Note de cours : Electricité solaire photovoltaïque*, 2iE ; Zacharie KOALAGA.
- [4]- *Pompage photovoltaïque : Guide à l'intention des ingénieurs et techniciens* ; Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie ; Université d'Ottawa ; EIER ; CREPA.
- [5]- *Système d'information Energétique du Bénin : Rapport 2006* ; Direction Générale de l'Energie ; Ministère des Mines de l'Energie et de l'Eau.
- [6]- *Proposition technico-économique de localités à électrifier par système d'énergies renouvelables* ; Ministère de l'Energie et de l'Eau, Société Béninoise d'Energie Electrique, l'Agence Béninoise d'Electrification Rurale et de Maîtrise d'Energie.
- [7]- *Note de cours : Automatisme*, 2iE ; SIDO PABIAM.
- [8]- *Plan stratégique de développement du secteur de l'énergie au BENIN ; Cotonou 2009* ; Direction Générale de l'Energie / Ministère de l'Energie et de l'Eau.
- [9]- *Mémoire : Etude pour la mise en place d'un mécanisme de production intégrée énergie-eau-agriculture au Bénin : cas de la ferme de todjonoukoin dans le département du mono (Bénin)* ; Herbert E. C. KOULETIO
- [10]- *Stratégie Nationale de Développement Durable, Guide d'élaboration* : 2007 Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie (IEPF) ; Les publications de l'IEPF

**Référence internet :**

[11]- <http://www.archiexpo.fr/fabricant-architecture-design/module-photovoltaïque-1557.html> ; consulté le 21/04/11

[12]-<http://www.energiepropre.net/pvconcept.html> ; consulté le 03/05/11

[13]- [http://www.suite108.fr/contenant/bien-entretenir sa pelouse-a 15544](http://www.suite108.fr/contenant/bien-entretenir-sa-pelouse-a-15544) ; consulté le 19/04/2011

[14]-<http://www.aquasolar.com/modules-photovoltaïques.html> ; consulté le 25/02/2011

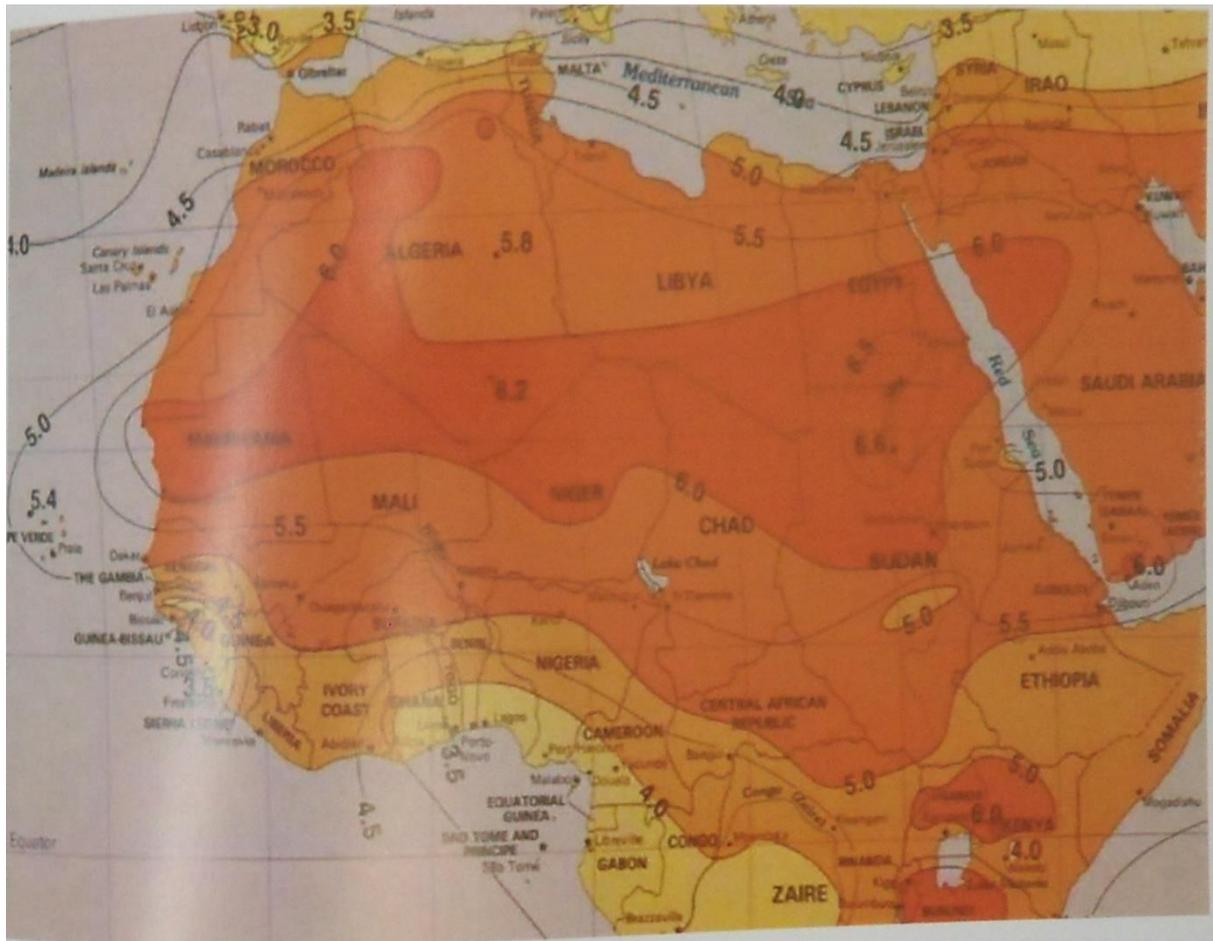
[15]-[http://blog.pgconsultant.fr/public/equivalencekva\\_a.pdf](http://blog.pgconsultant.fr/public/equivalencekva_a.pdf) ; consulté le 10 février 2011.

## IX-ANNEXES

### Annexe I :

#### Carte d'enseillement de la partie nord de l'Afrique

[[http : www.solar4power.com/map9-global-solar-power.html](http://www.solar4power.com/map9-global-solar-power.html)]



### Annexe II :

#### Moyenne mensuelles de l'enseillement journalier en kWh/m<sup>2</sup>.j [2]

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annuel
Natitingou	8,90	9,08	8,21	8,38	7,87	7,36	5,45	4,61	5,73	7,22	8,80	8,51	7,50
Kandi	9,32	9,64	8,98	9,07	8,97	9,05	7,59	6,54	7,68	8,95	9,58	9,32	8,71

**Annexe III : [15]**

**Tableau d'équivalence KVA / Ampères / Consommation Gas oil d'un groupe électrogène.**

Puissances cos 0,8	Ampérage / phase sous :		Section des câbles pour une longueur de 20 mètres		Consommation Gas-oil / h en pleine charge
	400 V	230 V	400 V	230 V	
	Ampères				
10 KVA	14,5	25	25	25	3 litres
15 KVA	21,6	37,5	25	25	3,5 litres
25 KVA	36	63	25	25	5 litres
35 KVA	50,5	88	25	25	7 litres
40 KVA	58	104	25	25	8 litres
50 KVA	72	125,5	25	25	10 litres
70 KVA	101	176	25	50	14 litres
85 KVA	123	213	25	70	16 litres
100 KVA	144	251	35	95	20 litres
125 KVA	180	314	50	95	25 litres
150 KVA	216	376,5	70	120	30 litres
180 KVA	325	452	1 x 95	1 x 185	36 litres
200 KVA	289	502	1 x 95	1 x 240	40 litres
225 KVA	325	565	1 x 95	1 x 240	46 litres
250 KVA	361	627,5	1 x 120	2 x 95	50 litres
275 KVA	397	690	1 x 150	2 x 120	55 litres
300 KVA	433	753	1 x 150	2 x 120	60 litres
350 KVA	505	878,5	1 x 240	2 x 185	70 litres
450 KVA	650	1130	2 x 95	2 x 240	90 litres
550 KVA	794	1380	2 x 150	3 x 185	110 litres
650 KVA	938	1601	2 x 185	2 x 240	146 litres
850 KVA	1227	2134	3 x 150	4 x 240	180 litres
1000 KVA	1443	2510	3 x 185	5 x 240	220 litres
1250 KVA	1804		4 x 185		298 litres
1500 KVA	2165		4 x 240		338 litres
1650 KVA	2382		5 x 185		365 litres
2000 KVA	2887		5 x 240		400 litres

## Annexe IV :

**Tableau des données d'ensoleillement sur Cotonou [9]**

Mois	Ensoleillement sur plan horizon	angle d'inclinaison	coef d'inclinaison
Jan	5,33	6,3	1,05
Fevr	5,54	6,3	1,03
Mars	5,49	6,3	0,98
Avr	5,28	6,3	0,91
Mai	4,94	6,3	0,96
Juin	4,28	6,3	1
Juil	4,31	6,3	0,89
Août	4,21	6,3	0,98
Sep	4,37	6,3	1
Oct	4,82	6,3	1,05
Nov	5,01	6,3	1,02
Dec	5,15	6,3	1,07

## Annexe V :

Automate zelio choisi pour notre application :



Les caractéristiques de l'automate :

Alimentation	Entrées Tout Ou Rien	Entrées Mixtes TOR/Analogique	Sorties Tout Ou Rien	Ecran Clavier	Horloge	Langue	Référence
24VDC	10 TOR	6 (0-10V)	10 RELAIS	Oui	Oui	LD/FBD	SR3B261BD
24VDC	10 TOR	6 (0-10V)	10 TOR STATI	Oui	Oui	LD/FBD	SR3B262BD
24VAC	16 TOR	-	10 RELAIS	Oui	Oui	LD/FBD	SR3B261B
100-240VAC	16 TOR	-	10 RELAIS	Oui	Oui	LD/FBD	SR3B261FU
12VDC	10 TOR	6 (0-10V)	10 RELAIS	Oui	Oui	LD/FBD	SR3B261JD