



CONCEPTION D'UNE MINI-CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE POUR L'ALIMENTATION PARTIELLE DE L'INSTALLATION ELECTRIQUE DU MINISTRE DU TRAVAIL ET DE LA FONCTION PUBLIQUE (MTFP) DU BENIN

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

OPTION : ENERGIE RENOUELEBLE

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Simon Tokanmè ALLOGANVINON

Travaux dirigés par :

Ahmed BAGRE, Enseignant à 2iE, Maître de mémoire

Eric C. AÏNANMON, Chef du Service de Gestion du Fichier Unique de Référence et de la Programmation des Effectifs, Maître de stage.

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Moussa SORO**

Membres et correcteurs : **Patrice DANGANG**

Moussa Kadri SANI

Promotion [2011/2012]

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. [5]

DEDICACES

Je dédie ce document à ma très chère mère **Bernadette ATTANNON**.

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 **Ahmed BAGRE**, enseignant à 2iE, pour son accompagnement, ainsi qu'à mon maître de stage Monsieur **Eric C. AÏNANMON**, Ingénieur en Informatique, Chef du Service de Gestion du Fichier Unique de Référence et de la Programmation des Effectifs de la Direction Général de la Fonction Publique du Bénin pour sa disponibilité sans faille tout au long de mon stage et du processus d'élaboration de ce document.

Je voudrais aussi, remercier :

- les responsables pédagogiques de formation à 2iE ;
- les responsables et coordonnateurs de la formation à distance à 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 en Génie Electrique, Energétique et Energies Renouvelables (M2 GEER) ;
- les enseignants de 2iE pour leur tutorat très apprécié et leur expertise pédagogique ;
- les camarades de la troisième promotion du Master II Spécialisé GEER, notamment Messieurs **Boniface DJIHOULANDE**, **Malick I. MAMA**, **Ferdinand Y. BOKOSSA**, **Aymar W. NAHUM**, **Francis E. G. J. TCHEKPO**, **Gildas A. A. BANKOLE** ;
- mon ami **Conrad Habib S. YOTTO** pour son aide et son soutien sans faille ;
- mes frères et sœurs pour leurs soutiens moral et spirituel
- mes collègues de service ainsi que tous mes amis qui m'ont soutenu de diverses manières.

RESUME

La modernisation de l'administration publique béninoise passe par la mise en place d'une base de données informatique sur les agents de l'Etat. Cette base accessible à tout moment et par tous les gestionnaires de ressources humaines ainsi que les agents de l'Etat nécessitent une haute disponibilité de l'énergie électrique base de tout développement.

Les problèmes climatiques, la diminution accrue de la quantité des énergies fossiles et le faible taux de couverture nationale favorisent la recherche d'autres sources d'énergies surtout renouvelables gage d'un développement durable. Cette forme d'énergie contribue à la protection de l'environnement.

Nous avons, dans le cadre de diminuer le réchauffement de la croute terrestre, utilisé les énergies photovoltaïques comme source d'énergie principale dans la mise en place du projet « Système Intégré de Gestion des Ressources Humaines (SIGRH) » initié et géré par le ministère du Travail et de la Fonction Publique (MTFP). Ce qui permettra d'augmenter l'autonomie du MTFP voire du Bénin en énergie électrique. Cette mini-centrale ne prendra qu'une partie de l'installation électrique du ministère.

Mots Clés :

-
- 1 - Energies Renouvelables
 - 2 - SIGRH
 - 3 - Base de données
 - 4 - Energies photovoltaïques
 - 5 - Protection de l'environnement

ABSTRACT

The modernization of the public administration of Benin goes through the establishment of a computerized database on state agents. This database accessible at all times and in all human resource managers and agents of the State require high availability power base of all development.

Climate issues, the further decrease the amount of fossil fuels and little national coverage promote the search for alternative sources of energy especially renewable guarantee sustainable development. This form of energy contributes to the protection of the environment.

We, in the context of reducing the warming of the Earth's crust, used solar energy as the main energy source in the implementation of the project "Integrated Management System Human Resources (HRMIS)" initiated and managed by the Ministry Labour and Public Service (MTFP). This will increase the autonomy of Benin MTFP or electrical energy. This mini-power only take a portion of the electrical department.

Key words:

- 1 - Renewable Energy
- 2 - HRMIS
- 3 - Database
- 4 – Photovoltaic energy
- 5 – Protection of the environment

LISTE DES ABREVIATIONS

| | |
|--------|--|
| AC/CA | Alternative current/ Courant Alternatif |
| API | Automate Programmable Industriel |
| CEB | Communauté Electrique du Bénin |
| CTJ | Capacité Totale journalière |
| DC/CC | Direct current/ Courant Continu |
| DGFP | Direction Générale de la Fonction Publique |
| DRH | Direction des Ressources Humaines |
| kW | Kilo Watt |
| kWh | Kilo Watt-heure |
| LD | Load : Liste de Contact |
| MTFP | Ministère du Travail et de la Fonction Publique |
| M2GEER | Master 2 en Génie Energétique et Energies Renouvelables |
| PV | Photovoltaïque |
| SBEE | Société Béninoise d'Energie Electrique |
| SIGRH | Système Intégré de Gestion des Ressources Humaines |
| SPV | Système photovoltaïque |
| Wc | Watt crête |
| 2iE | Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement |
| [x] | Encadrement des sources ou références |

SOMMAIRE

| | |
|--|------------|
| <i>CITATIONS</i> | <i>I</i> |
| <i>Dédicaces</i> | <i>II</i> |
| <i>Remerciements</i> | <i>II</i> |
| <i>Résumé</i> | <i>III</i> |
| <i>ABSTRACT</i> | <i>III</i> |
| <i>liste des abréviations</i> | <i>V</i> |
| Sommaire | <i>1</i> |
| <i>LISTE DES TABLEAUX</i> | <i>3</i> |
| <i>LISTE DES FIGURES</i> | <i>4</i> |
| <i>I. INTRODUCTION</i> | <i>5</i> |
| <i>II. OBJECTIF DU TRAVAIL</i> | <i>7</i> |
| 2-1-Objectif général | <i>7</i> |
| 2-2-Objectifs spécifiques..... | <i>7</i> |
| <i>III. MATERIELS ET METHODES</i> | <i>8</i> |
| 3-1-Présentation de la Structure..... | <i>8</i> |
| 3-2-Etude technique | <i>9</i> |
| 3-3-Etude d'impact environnemental sommaire..... | <i>18</i> |
| 3-4-Etude de rentabilité économique..... | <i>18</i> |
| <i>IV. RESULTATS</i> | <i>19</i> |
| 4-1-Les résultats de l'étude technique..... | <i>19</i> |
| 4-2-L'étude d'impact environnemental sommaire..... | <i>29</i> |
| 4-3-L'étude de rentabilité économique..... | <i>29</i> |
| <i>V. DISCUSSION ET ANALYSES</i> | <i>31</i> |
| <i>VI. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES</i> | <i>33</i> |

| | |
|----------------------------------|----|
| <i>VII. CONCLUSION</i> | 34 |
| <i>VIII. BIBLIOGRAPHIE</i> | 35 |
| <i>IX. Annexes</i> | 36 |

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Caractéristiques des équipements du bâtiment du MTFP
- Tableau 2 : Caractéristiques des équipements du MTFP dimensionnés
- Tableau 3 : Caractéristiques techniques des composants de base utilisés pour le dimensionnement du système PV
- Tableau 4 : Caractéristiques des équipements dimensionnés pour le système PV avec stockage
- Tableau 5 : Adressage des entrées et sorties de l'automate pour le SPV
- Tableau 6 : Etude technico-économique du système de la mini centrale PV du MTFP

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 module en série-parallèle
- Figure 4 Schéma synoptique adopté pour la connexion de la centrale
- Figure 5 Schéma synoptique du couplage automatique des charges sur le système photovoltaïque ou le réseau conventionnel ou le groupe électrogène
- Figure 6 Grafcet fonctionnel
- Figure 7 Grafcet technologique
- Figure 8 Programme exécuté par l'API en LD

I. INTRODUCTION

Le Bénin est tributaire à près de 85% en consommation d'électricité de l'extérieur. Cette fourniture provient des importations du Ghana, de la Côte d'Ivoire et du Nigeria via la CEB (Communauté Electrique du Bénin). Le pays souffre d'un déficit abyssal croissant de capacités de production d'énergie électrique. La demande de pointe du pays est actuellement de l'ordre de 1183 GWh contre une production de moins de 964,858 GWh. Le taux d'accès à l'électricité est de 24,7% au plan national contre 52,4% en milieu urbain [4]. La vétusté et l'obsolescence de l'installation urbaine et le manque d'énergie nécessaire pour couvrir les besoins de la ville sont source de coupures intempestives qui ne sont pas sans répercussions nocives sur l'administration publique. Ce lourd préjudice constitue un facteur limitant à la mise en œuvre et la bonne exécution des projets de développement ainsi qu'à l'avènement d'une administration de développement.

Le présent projet intitulé : **Conception d'une mini-centrale photovoltaïque pour l'alimentation partielle de l'installation électrique du Ministère du Travail et de la Fonction Publique (MTFP) du Benin** participe de la mise en œuvre des orientations et ambitieuses stratégies des pouvoirs publics en matière de recherche de source d'énergie fiable et rentable. Toute chose qui pourrait assurer la continuité dans la fourniture de l'énergie électrique et l'autonomie des équipements sensibles, coûteux et importants de l'administration en la matière.

Le développement de ce thème entre dans la continuité de l'étude faite par Monsieur Conrad Habib S. YOTTO pour le compte de la Présidence de la République du Bénin [5].

Notre étude vise aussi bien la promotion des énergies renouvelables et peu polluantes que la fourniture en permanence de l'énergie électrique de certains autres équipements afin de prévenir les récurrents dysfonctionnements qui entravent la continuité du service public lors des interruptions ou coupure «de la ligne conventionnelle».

Le MTFP est au cœur d'une vaste et ambitieuse politique de modernisation de l'administration publique qui doit mobiliser toutes les énergies et tous les autres facteurs de production. Le processus d'informatisation de la fonction publique dont un volet consiste en la mise en réseau de toutes les Directions des Ressources Humaines (DRH) des ministères et institutions de l'Etat implique pour le MTFP des nouvelles responsabilités et surtout l'obligation d'assurer une fourniture électrique continue aux équipements sensibles susceptibles d'être installés dans le cadre de cette réforme. Il s'agit des serveurs de haute disponibilité comme des bases de données. Ceci d'autant plus que le générateur électrique de

substitution du ministère est d'une faible capacité et est constamment défaillant.

Dans le cadre de notre travail, nous proposons l'étude et le dimensionnement de l'installation de deux blocs (le bloc de la Direction Générale de la Fonction Publique et celui du Cabinet du ministère).

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 afin d'éviter la rupture des services fournis en période nuageuse prolongée.

II. OBJECTIF DU TRAVAIL

Notre travail se traduit par un objectif général décliné en objectifs spécifiques.

2-1-OBJECTIF GENERAL

Cette étude vise la promotion des énergies renouvelables en l'occurrence photovoltaïques (PV) qui se traduit par la fourniture en permanence en énergie électrique de certains équipements du Ministère du Travail et de la Fonction Publique (MTFP) afin de prévenir les récurrents dysfonctionnements et autres désagréments qui entravent la continuité du service public lors des interruptions ou coupures momentanées de la ligne conventionnelle (SBEE).

2-2-OBJECTIFS SPECIFIQUES

De façon spécifique, il s'agit de :

- ✓ identifier et de choisir quelques charges pour lesquelles la production de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire photovoltaïque pourra être faite ;
- ✓ étudier la faisabilité technique et financière d'une mini-centrale photovoltaïque ;
- ✓ faire l'étude économique de faisabilité du projet et une étude sommaire d'impact environnemental ;
- ✓ analyser la généralisation du projet aux directions départementales du MTFP et aux DRHs des autres ministères et Institutions de l'Etat.

III. MATERIELS ET METHODES

Nous partirons d'abord du bilan de puissance et du bilan énergétique global actuel de la structure, pour définir les charges électriques à prendre en compte par l'étude technique de faisabilité pour une mise en œuvre efficiente des différentes réformes. Ensuite nous ferons le dimensionnement adéquat de la mini-centrale. 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 le matériel nécessaire sont décrits à travers les points suivants :

3-1-PRESENTATION DE LA STRUCTURE

Le Ministère du Travail et de la Fonction Publique a reçu dérogation de la Présidence de la République de gérer les ressources humaines de l'Etat. C'est une structure étatique et actuellement le plus grand employeur au Bénin. La gestion de la carrière et de la formation des agents de l'Etat qu'assure le MTFP doit être efficace et efficiente pour que ces derniers puissent s'occuper convenablement de leur travail à leur différent poste afin d'accompagner le développement du pays. Dans le souci de la célérité dans le traitement des dossiers, il a été initié la mise en réseau de toutes les structures de l'Etat chargées de la gestion des ressources humaines et de l'informatisation de l'administration publique. Ce grand projet informatique dénommé SIGRH (Système Intégré de Gestion des Ressources Humaines) nécessite la disponibilité en quantité et en qualité de l'énergie électrique, base de tout développement technologique.

Afin de contribuer à la fourniture d'énergie renouvelable dans les structures de l'Etat, nous avons pensé concevoir un système photovoltaïque (PV) pour alimenter le MTFP à part la ligne conventionnelle et le groupe électrogène pour assurer la continuité des services en absence ou en cas de panne sur la ligne de la SBEE. Cette étude permettra de rendre disponible l'énergie électrique pour ce projet d'informatisation, dont un déficit pourra être un grand handicap et mettra en mal tout l'investissement.

3-2-ETUDE TECHNIQUE

3-2-1-Présentation de la charge à alimenter par la mini-centrale photovoltaïque

Les installations électriques du MTFP du Bénin ont besoin d'une puissance de plus de 495 kW. Les charges sont constituées essentiellement des points lumineux, des micro-ordinateurs, des climatiseurs, des serveurs, des équipements d'interconnexion informatiques et téléphoniques et divers équipements bureautiques tels que les scanners professionnels, les petits scanners, les imprimantes, les photocopieurs, les postes téléviseurs, etc. Prenant en compte le financement de la mini-centrale photovoltaïque de notre étude, nous avons préféré 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 intérieur et extérieur de la DGFP et du bâtiment du Cabinet ;
- ✓ les micros ordinateurs de ces mêmes bâtiments ;
- ✓ l'équipement d'interconnexion réseautique du MTFP ;
- ✓ le système de télécommunication du Ministère ;
- ✓ Quelques climatiseurs de ces bâtiments ;
- ✓ Quelques imprimantes et photocopieurs ;
- ✓ Les serveurs du MTFP.

3-2-2-Collecte des données

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

Les données nécessaires pour la réalisation de notre travail sont recensées au niveau de deux batiments à savoir le bloc DGFP et le bloc Cabinet, sur les différents équipements suivants : les climatiseurs, les lampes, les micro-ordinateurs, les imprimantes et autres équipements electriques, les serveurs, les équipements de télécommunication du ministère.

Ici, nous avons relevé les caractéristiques indiquées sur ces appareils et nous avons recensé le nombre de chaque catégorie.

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

3-2-2-2-Les données du site

A l'instar 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.

3-2-3-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.

3-2-4-Les constituants du système

3-2-4-1-Présentation de la structure générale d'un système PV

On distingue généralement deux types de système photovoltaïque : le système photovoltaïque avec stockage électrique et le système photovoltaïque 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 pompes d'eau.

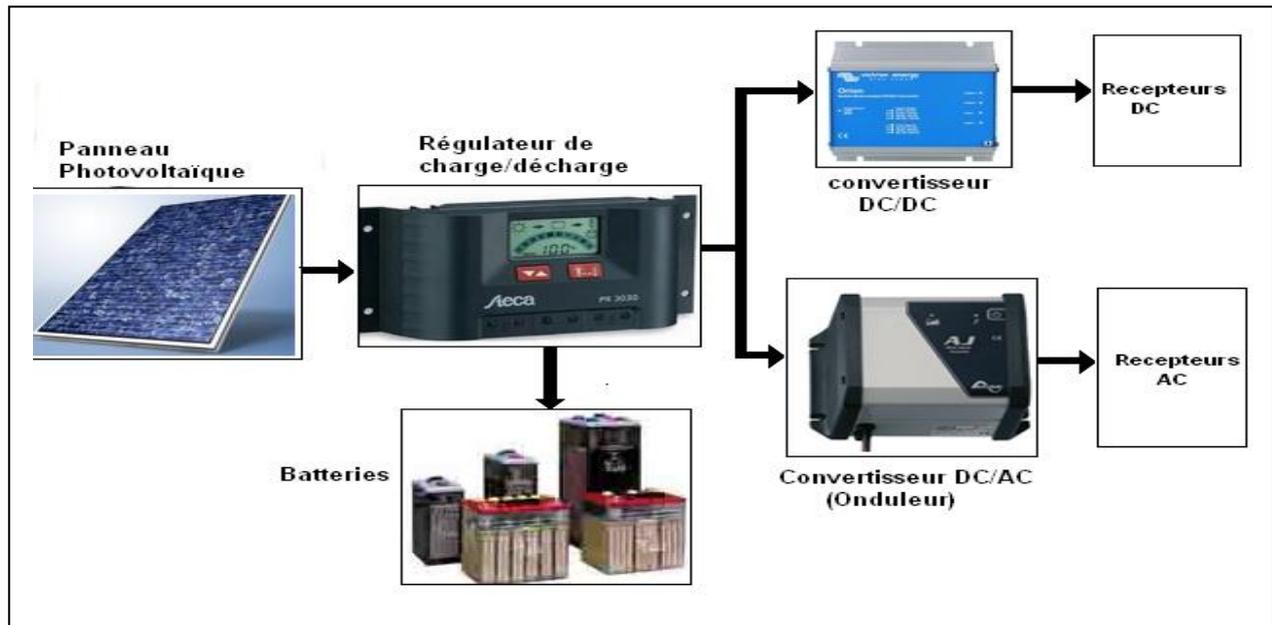


Figure 1 : Représentation synoptique de la structure d'un système photovoltaïque avec stockage

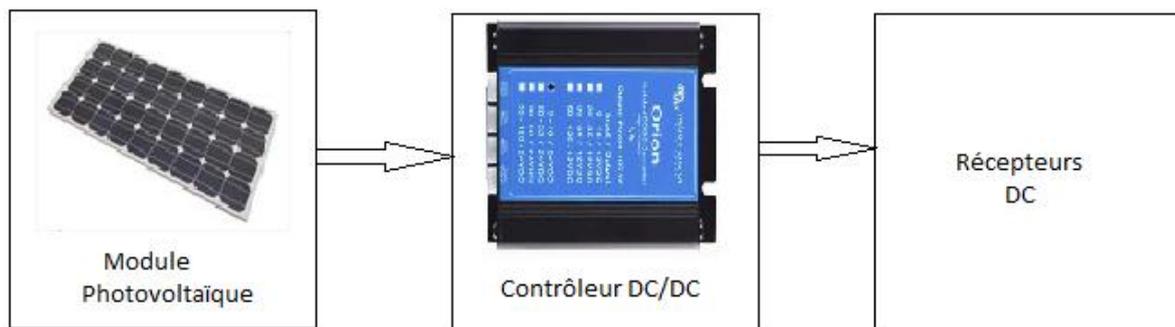


Figure 2: Représentation synoptique de la structure d'un système photovoltaïque sans stockage

3-2-4-2-Les éléments d'un système PV

a) Les modules photovoltaïques

Les modules sont un assemblage de photopiles (ou cellules) montées en série, afin d'obtenir la tension désirée (12V, 24V ...). La cellule photovoltaïque est l'élément de base dans la conversion du rayonnement [3]. 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 en parallèle une diode dite « diode bypass » qui la court-circuite. Aussi évite-t-on 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.

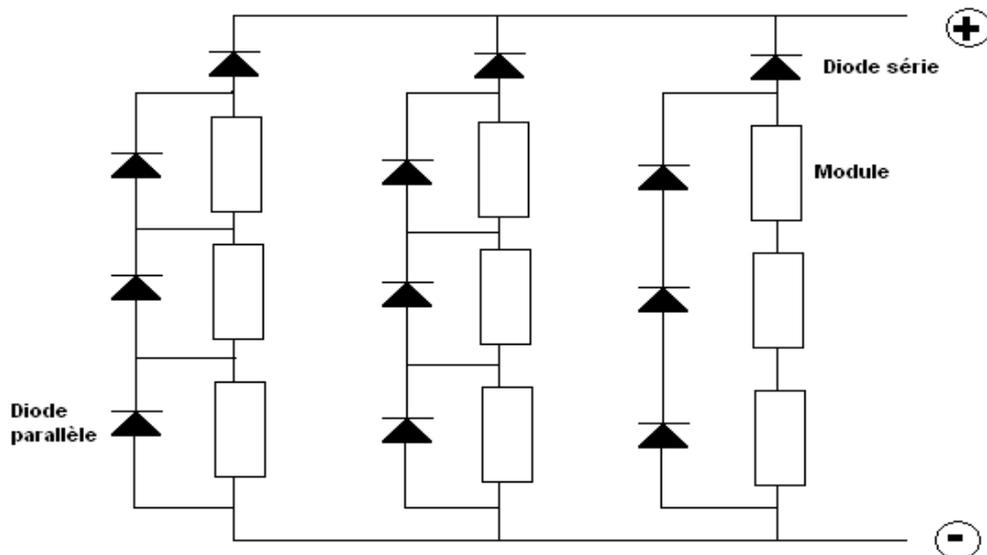


Figure 3: Réseau de modules en série-parallèle

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 peut assurer aussi, dans un système photovoltaïque, le rôle de 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. Pour cela, il est utilisé des batteries d'accumulation. 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, il pourra exister d'autres systèmes de stockage.

Une batterie est constituée essentiellement de 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 pour être chargées à travers ce dernier et elles alimentent les charges par le biais du même régulateur.

Il est associé plusieurs batteries en série pour obtenir une tension adaptée à l'utilisation et 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) Les câbles électriques

Les câbles relient électriquement tous les éléments 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 la gaine est adapté aux conditions d'utilisation est nécessaire.

f) 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 cela 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.

3-2-5-Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques

Les données de toutes les 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.

3-2-6-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 six (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 et de leur utilisation : tension, puissance ou courant 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 (CA).

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

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

$$CTJ = CC + CA$$

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/m²/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'irradiation 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 :

$$12V \text{ pour } P_C < 150W_c$$

$$24V \text{ pour } 150W_c < P_C < 1000W_c$$

$$48V \text{ pour } P_C > 1000W_c$$

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

W_c : Watt crête ; P_c : Puissance du champ PV

➤ Puissance du champ photovoltaïque :

Une des méthodes simplifiées est présentée :

$$P_c = \frac{CJT}{K \times E_j}$$

E_j : Ensoleillement sur le plan des modules en kWh/m²/j

$K = K_p \cdot K_{bat} \cdot K_{reg}$

➤ Nombre de module

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

U_c : Tension aux bornes de la charge

U_{mod} : Tension aux bornes d'un module

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

P_c : puissance du champ PV

P_{mod} : 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 (Ω/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 supérieure ou égale à la puissance des charges , K_{ond} varie entre 0,9% et 0,95%.

3-2-7-Choix des composants des systèmes

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

3-2-8-Système de couplage automatique des charges alimentées par le système PV au réseau conventionnel et au groupe électrogène

La rupture d'énergie doit être très rare, vu l'importance des équipements qui sont alimentés. Pour cela, nous proposons un système de couplage automatique de ces récepteurs sur une source secours (le réseau conventionnel ou le groupe électrogène) en cas de panne des systèmes PV ou insuffisance de rayonnement solaire.

3-3-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 évitée en produisant une quantité d'énergie E.

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

Néanmoins, pour éviter d'autres pollutions de l'environnement comme l'encombrement, nous envisageons installer nos panneaux sur le toit des bâtiments à alimenter.

3-4-ETUDE DE RENTABILITE ECONOMIQUE

Nous évaluerons le coût annuel total de chaque système. Nous allons déterminer le coût global actualisé du kWh fourni.

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 " années 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

Le traitement des données consiste au calcul proprement dit, mais aussi en l'organisation des résultats de manière à en faciliter l'analyse et l'interprétation dans la section Discussion et Analyse.

Susciter la réalisation de l'étude de faisabilité et si possible, concrétiser notre projet en vue de la promotion d'une source d'énergie électrique alternative et écologique au MTFP en vue d'accélérer la modernisation de l'administration publique.

4-1-LES RESULTATS DE L'ETUDE 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 III, permettent d'avoir une idée du potentiel énergétique qui est évalué en moyenne sur l'année entre 5,01 kWh/m².j au sud et 6,1 kWh/m² au nord pour une durée d'ensoleillement de 8 à 9 h/j.

En dehors de ces valeurs, on peut lire sur la carte d'ensoleillement pour la région de l'Afrique [13] dans laquelle se retrouve le lieu de notre étude (Cotonou). Ces valeurs vont de 3,5 à 5,0 kWh/m².j pour l'irradiation au mois le plus défavorable [19]. Ladite carte est présentée en annexe II. Le productible annuel au Bénin varie de 1800 à 2100 kWh/m²/an (soit 4,9 au sud à 5,8 kWh/m²/jour au nord). [6]

De manière pratique, nous prendrons la moyenne de la valeur de l'ensoleillement à Cotonou comme 4,9 kWh/m².j.

4-1-2-Les caractéristiques des récepteurs

Les charges électriques de la structure sont d'environ 495 kW avec une puissance foisonnée d'environ 550 kVA. La partie des installations qui sera alimentée par l'énergie électrique photovoltaïque est évaluée à 272,91 kW, ce qui représente environ 55,13% de la charge totale. Il s'agit des équipements électriques se trouvant dans le bâtiment du Cabinet du

Ministre et du bâtiment de la Direction Générale de la Fonction Publique(DGFP).

a- Le bilan total des charges du Ministère du Travail et de la Fonction

Les équipements de la DGFP et du bâtiment du Cabinet pris en compte sont constitués des différents éléments dont les quantités et les caractéristiques électriques sont présentées par le tableau ci-dessous.

| N° d'ordre | catégorie | Nombre | Puissance de chaque équipement (W) | Puissance Appelée par l'ensemble (kW) | Tension d'usage (V) | Durée de fonctionnement (h/j) | Energie journalière (kWh/j) | Nature du courant |
|------------|--|--------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 1. | Climatiseurs type1 | 65 | 2400 | 156 | 230 | 6 | 936 | Courant alternatif |
| 2. | Climatiseurs type2 | 3 | 3400 | 10,20 | | 6 | 61,20 | |
| 3. | PC desktop | 116 | 500 | 58 | | 11 | 638 | |
| 4. | Photocopieurs | 22 | 700 | 15,40 | | 2 | 30,80 | |
| 5. | Serveurs | 3 | 1200 | 3,60 | | 24 | 86,40 | |
| 6. | Imprimantes | 63 | 600 | 37,80 | | 4 | 151,20 | |
| 7. | Eclairages (à fluor) x2 | 350 | 36 | 12,60 | | 12 | 151,20 | |
| 8. | Divers équipements réseau informatique | 25 | 80 | 2 | | 24 | 48 | |
| 9. | Lecteurs de bande | 2 | 180 | 0,36 | | 1 | 0,36 | |
| 10. | Scanners professionnels | 5 | 140 | 0,70 | | 6 | 4,20 | |
| 11. | Scanners simples | 5 | 50 | 0,25 | | 0,25 | 0,0625 | |
| 12. | Réfrigérateurs | 9 | 150 | 1,35 | | 6 | 8,10 | |
| 13. | Postes téléviseurs | 15 | 85 | 1,275 | | 8 | 10,20 | |
| | Total | | | 299,535 | | | 2 125,72 | |

Tableau 1: Caractéristiques des équipements du MTFP

b- Le bilan des charges du Ministère du Travail et de la Fonction choisies pour notre étude

Pour optimiser le coût du projet et avoir rapidement le financement, nous avons choisi uniquement les équipements prioritaires de l'installation du MTFP et avons jugé utile de diminuer au strict minimum le nombre de climatiseurs qui sera pris en compte par notre alimentation. Le tableau suivant donne les caractéristiques des équipements pris en compte avec leur temps de fonctionnement pour dimensionner notre système PV.

| N° d'ordre | catégorie | Nombre | Puissance de chaque équipement (W) | Puissance Appelée par l'ensemble (kW) | Tension d'usage (V) | Durée de fonctionnement (h/j) | Energie journalière (kWh/j) | Nature du courant | |
|------------------------------|--|------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------|--|
| RECEPTEURS ORDINAIRES | | | | | | | | | |
| 1. | Climatiseurs type1 | 10 | 2400 | 24 | 230 | 6 | 144 | Courant alternatif | |
| 2. | Climatiseurs type2 | 0 | 3400 | 0 | 230 | 0 | 0 | | |
| 3. | Photocopieurs | 7 | 700 | 4,90 | 230 | 2 | 9,80 | | |
| 4. | Imprimantes | 22 | 600 | 13,20 | 230 | 4 | 52,80 | | |
| 5. | Eclairages (à fluor) x2 | 350 | 36 | 12,60 | 230 | 12 | 151,20 | | |
| 6. | Réfrigérateurs | 6 | 150 | 0,900 | 230 | 6 | 5,40 | | |
| 7. | Postes téléviseurs | 15 | 85 | 1,275 | 230 | 8 | 10,20 | | |
| 8. | Scanners professionnels | 5 | 140 | 0,70 | 230 | 6 | 4,200 | | |
| 9. | Scanners simples | 5 | 50 | 0,250 | 230 | 0,25 | 0,0625 | | |
| Total 1 | | | | | | | 377,66 | | |
| RECEPTEURS SENSIBLES | | | | | | | | | |
| 10. | PC desktop | 102 | 500 | 51 | 230 | 11 | 561 | | |
| 11. | Serveurs | 3 | 1200 | 3,60 | 230 | 24 | 86,40 | | |
| 12. | Divers équipements réseau informatique | 25 | 80 | 2 | 230 | 24 | 48 | | |
| 13. | Lecteurs de bande | 2 | 180 | 0,36 | 230 | 1 | 0,36 | | |
| Total 2 | | | | | | | 695,76 | | |
| Total | | | | | | | 1 073,42 | | |

Tableau 2: Caractéristiques des équipements du MTFP dimensionnés

4-1-3- 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 |
|--------------------------|--|
| Module | Module mono cristallin, Puissance 240Wc, Unominal= 24V, Rendement = 16 % ; Uopt = 44,6 V ; I nom = 6,70A. [15] |
| Onduleur | Type triphasé ; tension d'entrée 480 V _{CC} ; tension de sortie 400 V _{AC} ; rendement K _{ond} =0,97. Puissance de 400 kW (Soit 4*100kW). (KACO Powador XP100-HV) Courant d'entrée max. 235 A. [16] |
| Batterie | Type plomb/acide ; en éléments de 2 V ; K _{acc} =0,85 ; profondeur de décharge dM = 60 %. Capacité à déterminer selon le système. [A] |
| Régulateur | Régulateur de charge / décharge ; K _{reg} =0,9 ; Puissance de 432 kW (6 régulateur de 72 kW soit 432 kW) [17]. |
| Câble | |

Tableau 3: Caractéristiques techniques des composants de base utilisés pour le dimensionnement du système PV

4-1-4- Présentations du schéma synoptique général de notre installation

Voir le schéma synoptique à la figure n°4

En journée, lorsqu'il y a disponibilité du rayonnement solaire et de l'énergie de la SBEE, l'énergie produite par les panneaux solaires est prioritaire pour alimenter les charges. Au couché du soleil ou en temps nuageux (en absence du rayonnement solaire) et avec la présence de la source de la SBEE, cette dernière alimente les charges. Les batteries alimentent uniquement les récepteurs sensibles en absence des énergies PV et SBEE. Le groupe électrogène vient au secours du réseau conventionnel (SBEE).

Toutes ces priorités de basculement seront gérées par la boîte de commande afin d'assurer une bonne optimisation, distribution et l'efficacité de la centrale PV.

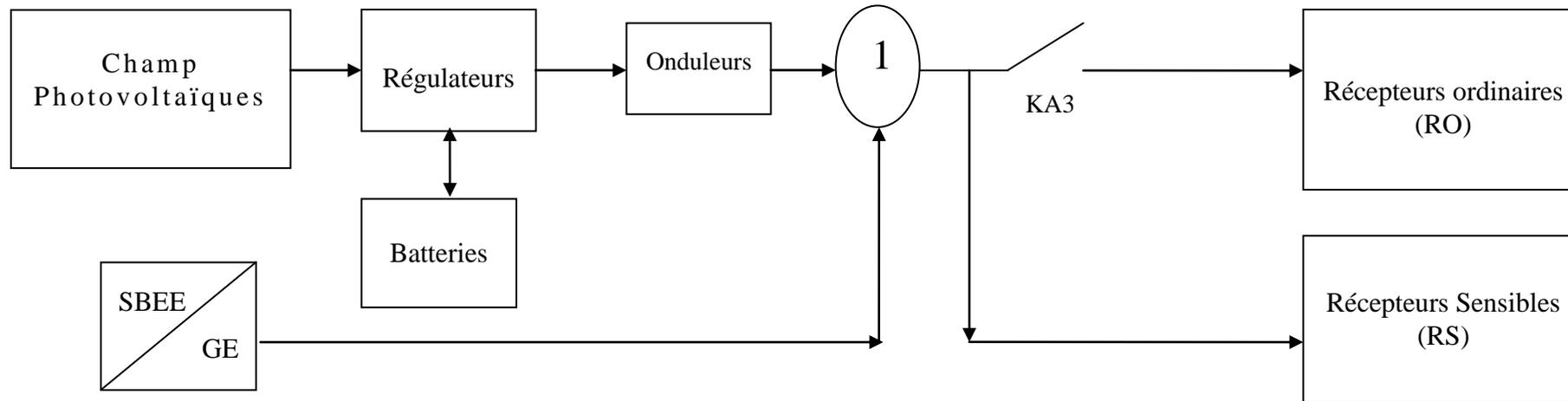
4-1-5- les caractéristiques des équipements dimensionnés

SPV : Système photovoltaïque, qui alimente le circuit des équipements du MTFP pris en compte dans cette étude. Ces équipements sont regroupés en deux (2) types : les récepteurs sensibles et les récepteurs ordinaires.

Pour réduire les chutes de tension dues aux câbles de raccordement, il est important de tenir compte des recommandations normatives suivantes :

- le choix et l'utilisation de câbles de forte section adéquate ; pour minimiser les pertes en lignes (panneaux – batteries ; batteries – régulateurs et régulateurs-onduleurs) ;
- l'utilisation des câbles adaptés à une installation extérieure (type HO7 RNF pour les câbles souples ou U1000R02V pour les câbles rigides) ;
- l'utilisation des connecteurs spécifiques ;
- l'utilisation de gaine de câblage résistant aux conditions extérieurs (froid ; chaud ultraviolet) ;
- l'utilisation des boîtes de connexion et de raccordement d'indice de protection IP55 ;
- l'utilisation de câble de section minimale inter module 2,5 mm² ;
- la chute de tension maximale en ligne doit être inférieure à 3% ;
- la réduction de la longueur des câbles autant que possible.

Notons que les batteries sont dimensionnées pour prendre en compte les charges sensibles uniquement.



1 : système de basculement de source d'énergie en donnant priorité au système PV.

Figure n°4 : Schéma synoptique adopté pour la connexion de la centrale

| Systèmes PV | CTJ (KWh/j) | K | E (KWh/m ² .j) | PC calculée (Wc) | N _s | N // | N _T | PC installée Wc | Capacité des batteries (Ah) | Nombre d'éléments des batteries | Puissance Régulateurs (W) | I Reg | Puissance onduleurs (W) |
|-------------|-------------|------|---------------------------|------------------|----------------|------|----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------|-------------------------|
| SPV | 1073,42 | 0,58 | 4,9 | 376790,19 | 20 | 79 | 1580 | 379200 | 2900,16 | 240 éléments de 2V | >379200 | >790 | >379200 |

Tableau 4: Caractéristiques des équipements dimensionnés pour le système PV avec stockage [A]

NB : les batteries sont dimensionnées pour les charges sensibles uniquement

4-1-6-Le système de couplage automatique

a. Principe de fonctionnement

Un contacteur de ligne KM1 alimente les charges par la source du système photovoltaïque, un autre contacteur KM2 alimente les charges par la source secours (SBEE/ groupe électrogène). KA1 est un relais de détection de présence d'énergie au niveau du SPV, KA2 un relais de détection de présence secteur et KA3 pour connecter ou déconnecter les récepteurs ordinaires de la source d'alimentation (quand les batteries entrent en fonctionnement). L'automate programmable industriel (API) gère les fermetures et les ouvertures des deux contacteurs et du relais KA3 en recevant des signaux de KA1 et KA2.

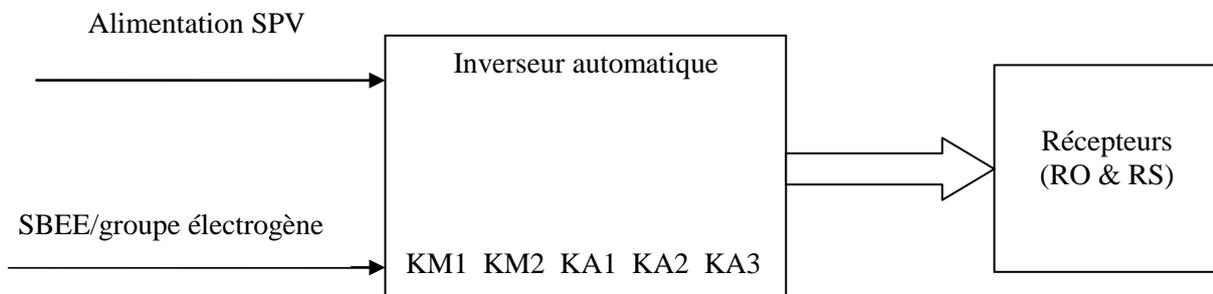
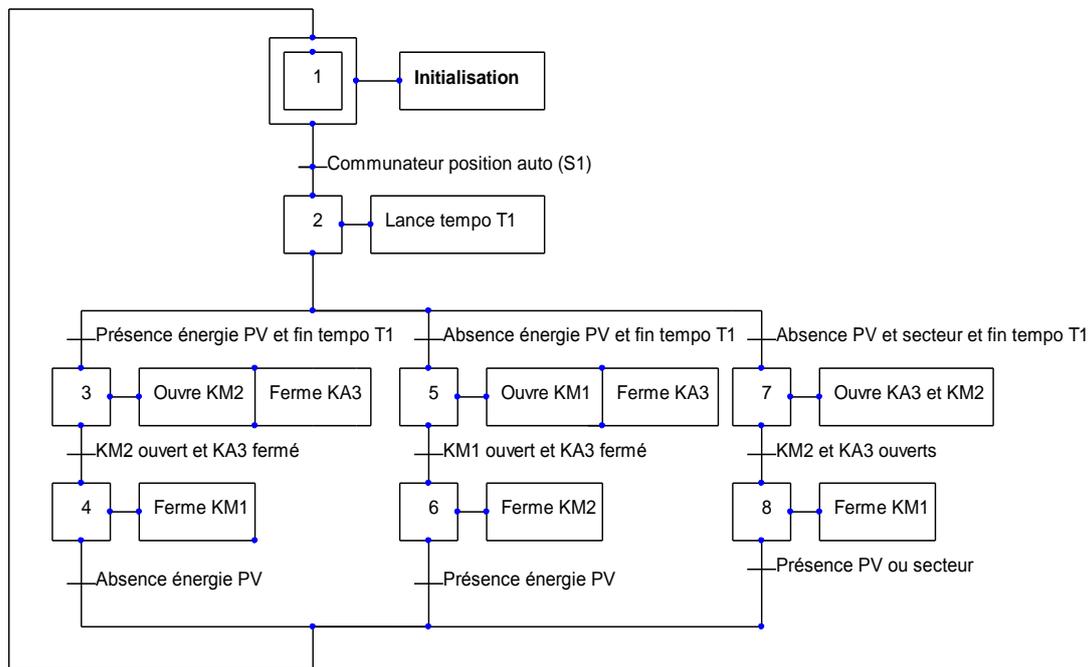


Figure 5 : Schéma synoptique du couplage automatique des charges sur le système photovoltaïque ou le réseau conventionnel ou le groupe électrogène

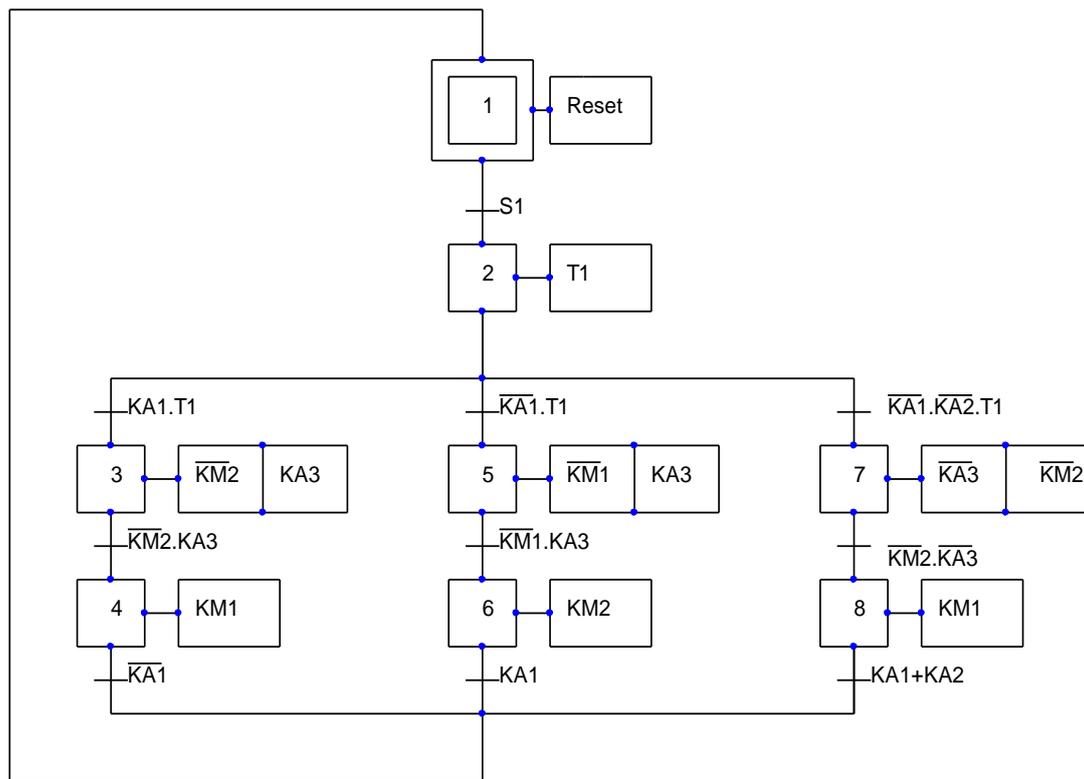
Les schémas de puissance et de commande sont les schémas classiques d'inverseur pour l'alimentation d'une charge par une source secours en cas de disparition de la source principale en plus du KA3 qui connecte ou déconnecte les charges ordinaires.

b. Les grafquets niveau I et II



GREFCET NIVEAU I

Figure 6 : Grafcet fonctionnel



GRAFCET NIVEAU II

Figure 7 : Grafcet technologique

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

Le programme exécuté par l'API ZELIO en **annexe IX** est le suivant : voir figure 7

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

| | Composants | Adresses |
|---------|------------|----------|
| Entrées | S1 | I1 |
| | KA1 | I2 |
| | KA2 | I3 |
| Sorties | KM11 | Q1 |
| | KM12 | Q2 |
| | KA3 | Q3 |

Tableau 5 : Adressage des entrées et sorties de l'automate pour le SPV

4-2-L'ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL SOMMAIRE

Notre système photovoltaïque n'a pas un impact négatif significatif sur l'environnement d'autant qu'il sera installé sur la toiture des bâtiments. Ce qui nous permettra de ne pas encombrer l'espace au sol ni détruire les ressources naturelles (plantes et végétations) avant son installation. 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 CO₂ évitée.

Nous supposons que cette énergie électrique **E=1073,42 kWh** est produite par une centrale thermique utilisant du gasoil.

Données de base :

- ✓ densité du gasoil : 0,83 kg / dm³ ;
- ✓ teneur en carbone du gasoil = 83,6 % ;
- ✓ Consommation spécifique du moteur thermique = 0,28 l / kWh [18] (annexe VII).

Source : SBEE et annexe IV.

L'énergie consommée par jour par les installations est environ: $E = 1073,42 \text{ kWh}$

d'où $m_{CO_2} = (1073,42 \times 365 \times 0,28 \times 0,83 \times 0,836 \times 44) / 12 = 279111,2812 \text{ kg}$ soit **279,11 tonnes** de CO₂ par an.

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

4-3-L'ETUDE DE RENTABILITE ECONOMIQUE

Tableaux des études technico-économiques des systèmes PV

Les prix des équipements utilisés pour l'étude économique sont obtenus auprès de trois entreprises vendeuses des équipements de système solaire au Bénin : ENERDAS, MIERT et MONO ECO GREEN ENERGY. On ne prendra plus donc en compte les frais de transport de l'Europe au Bénin et les taxes de douane.

CONCEPTION D'UNE MINI-CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE POUR L'ALIMENTATION PARTIELLE DE L'INSTALLATION ELECTRIQUE DU MINISTERE DU TRAVAIL ET DE LA FONCTION PUBLIQUE (MTFP) DU BENIN

| Postes d'investissement | Amortissements | Désignation | Caractéristiques | Puissance installée(Wc) | Quantité | Prix unitaire (FCFA) | Prix par Wc (FCFA) | Montant (CFA) |
|--|----------------|---------------------------------------|--|-------------------------|----------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | A : Sur 20 ans | | Module mono cristallin | 240 Wc ; 24V | 379200 | 1572 | 510 200 | |
| | | Supports pour les modules | - | 379200 | - | | 200 | 75 840 000 |
| | | Génie-civil (enclos pour les modules) | - | 379200 | - | | 150 | 56 880 000 |
| | | Armoires de commande | - | 379200 | - | | 100 | 37 920 000 |
| | | Câble et divers accessoires | - | 379200 | - | | 200 | 75 840 000 |
| | | Main d'œuvre | - | 379200 | - | | 200 | 75 840 000 |
| Total A | | | | | | | | 1 124 354 400 |
| B : Sur 7 ans | | Régulateurs | 150A en continu sous 480 Vcc | 379200 | 6 | 3 985 800 | | 23 914 800 |
| | | Onduleurs | onduleur de 4x100 kW (480V _{CC} /400V _{AC}) | 379200 | 4 | 40 399 604 | | 161 598 418 |
| | | Batteries | 2V/4600 Ah | 244 224,01 | 240 | 1 511 660 | | 362 798 400 |
| Total B | | | | | | | | 548 311 618 |
| Investissement total | | | | | | | | 1 672 666 018 |
| Amortissement annuel | | | | C = A sur 20 ans | | | 56 217 720 | |
| | | | | D = B sur 7 ans | | | 78 330 231 | |
| Amortissement total annuel | | | | E = C + D | | | 134 547 951 | |
| Coût de fonctionnement annuel (Pour un entretien de 4 visites par an) | | | | F | 4 | 500 000 | 2 000 000 | |
| Coût annuel total pour SPV | | | | G = E + F | | | 136 547 951 | |

Tableau 6 : Etude technico-économique du système de la mini centrale PV du MTFP

V.DISCUSSION ET ANALYSES

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

Le tableau 6 montre que pour une production de 379,2 kWc par jour soit 391 799,21 kWh par an, on investit 136 547 951 FCFA. Ainsi, le coût du kWh produit qui est de **348,52** FCFA est plus élevé que celui de cession par la SBEE au ménage soit 115 FCFA HT. A priori nous dirons que le projet n'est pas rentable. Mais lorsque l'on prend en compte l'avantage du projet par rapport à l'environnement (**279,11 tonnes** de CO2 évitées par an) on constate qu'il est très rentable parce que respectueux de l'environnement.

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, nous pouvons vendre les crédits carbones générés pour avoir de financement supplémentaire pour financer ou étendre le projet.

Aussi, en adoptant une fiscalité favorable à l'importation et à la distribution des équipements de production d'énergies nouvelles sur le territoire national, le coût de productions diminuera et ceci augmentera la disponibilité de l'énergie électrique dans le pays.

5-2- Discussion sur les résultats de la mini-centrale dimensionnée

La puissance installée dans le cadre de ce projet est d'environ 380 kW pour une énergie électrique produite de façon autonome de 392 MWh annuelle. Le Bénin a une quarantaine de Ministères et d'Institutions de la République. Lorsque toutes ces structures étatiques vont produire des quantités similaires d'énergie propre en une année, nous aurons une production d'au moins 15680 MW soit 15,7 GWh. Cela contribuera à la réduction de la dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur et de la disponibilité de l'énergie électrique pour la population et le développement des industries. Cette production de l'énergie propre, participerait à la protection de l'environnement.

Le coût de réalisation de l'extension à toutes les structures étatiques serait réduit si le projet de la zone administrative était une réalité. Néanmoins, pour étendre ce projet aux autres structures à l'état actuel des choses, il serait bon qu'un grand projet dans ce sens soit inscrit aux Programmes d'Investissements Publics (PIP), afin que cela soit bien coordonné,

ordonné pour atteindre les objectifs fixés dans un temps record. Ce projet sera co-présidé par les Ministres en charge du développement, de l'énergie, de l'environnement et des finances. Les autres ministres seront membres du comité de pilotage afin de mieux exprimer leur besoin en énergie. Chacune de ces structures devra utiliser une partie de son budget, évidemment prévu à cet effet, pour le financement de ce grand projet. Ainsi les factures d'électricité consommée par ces structures étatiques et restées impayées jusqu'alors seront prises en compte d'une manière ou d'une autre. Ce qui permettra à la société en charge de la production et de la commercialisation de l'électricité au Bénin de développer ses activités.

VI. RECOMMANDATIONS - PERSPECTIVES

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

- identifier et 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 directions départementales et autres directions du MTFP éloignées du site actuel du ministère et les directions des ressources humaines des autres Ministères et Institutions de l'Etat impliqués dans le projet SIGRH ;
- revoir toute l'installation électrique des anciens bâtiments du ministère en les mettant aux normes avant la réalisation du projet afin de limiter les pertes dans le câblage ;
- 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, les bioénergies dans les zones industrielles où il y a rejet d'assez d'eau usée ;
- Remplacer les lampes et les autres équipements par des lampes solaires et autres appareils plus économiques du point de vue énergétique (lors de la réalisation du projet)
- Assurer une maintenance régulière et professionnelle des systèmes de production d'énergie renouvelable installés pour mieux bénéficier de leur potentialité ;
- Prendre des textes législatifs favorables à l'importation, à la distribution des équipements de productions d'énergies renouvelables et encourager la production de ces types d'énergie par les entreprises privées.

VII. CONCLUSION

L'objectif général de cette étude est de promouvoir les énergies renouvelables surtout photovoltaïques (PV) et peu polluantes aussi bien que la fourniture en permanence et autonome en énergie électrique de certains équipements du Ministère du Travail et de la Fonction Publique (MTFP) afin de prévenir les récurrents dysfonctionnements et autres désagréments qui entravent la continuité du service public lors des interruptions ou « coupure de la ligne conventionnelle » Ce qui contribuera à la protection de l'environnement et augmentera l'accès aux services énergétiques de la population béninoise.

Ainsi, après avoir identifié les équipements que les systèmes photovoltaïques vont alimenter, nous avons conçu deux (02) configurations distinctes de systèmes PV : le système PV qui alimente les équipements de la DGFP et celui qui fournit l'énergie électrique aux équipements du bâtiment de Cabinet.

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 dit secours a été réalisé avec un petit automate programmable.

Nous constatons 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.

L'accès aux services énergétiques modernes, sera considérablement amélioré par la promotion de ces types de projet.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

- [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]- *Système d'information Energétique du Bénin : Rapport 2010* ; Direction Générale de l'Energie ; Ministère des Mines de l'Energie et de l'Eau
- [5]- *Mémoire : 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* ; promotion 2010-2011; Conrad H.S. YOTTO
- [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]- *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 :

- [10]- <http://www.volta-electricite.info/download.php?lng=fr>
- [11]- <http://forums.futura-sciences.com/electronique/315017-schema-demarrage-automatique-de-groupe-electrogene.html>
- [12]- <http://www.batterie-solaire.com/batterie-tubulaire-2v-opzs-exide.htm> 26/08/2012 17h40

IX. ANNEXES

| | |
|--|-----------|
| <i>Annexe I : Calcul de détermination des nombres de panneaux, de batteries et de la capacité du régulateur et de l'onduleur</i> | <i>37</i> |
| <i>Annexe II : Carte d'ensoleillement de la partie nord de l'Afrique</i> | <i>40</i> |
| <i>Annexe III : Moyenne mensuelles de l'ensoleillement journalier en kWh/m².j</i> | <i>40</i> |
| <i>Annexe IV : Caractéristique du panneau solaire 240W MONO</i> | <i>41</i> |
| <i>Annexe V : Caractéristique de l'onduleur KACO Powador XP100-HV</i> | <i>42</i> |
| <i>Annexe VI : Caractéristique du régulateur de charge solaire pour la grande puissance de la station marque Sandi 480V.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Annexe VII : Tableau d'équivalence KVA/Ampères/ Consommation Gas oil d'un groupe électrogène</i> | <i>45</i> |
| <i>Annexe VIII : Tableau des données d'ensoleillement sur Cotonou</i> | <i>46</i> |
| <i>Annexe IX : Automate Zelio</i> | <i>46</i> |

Annexe I : Calcul de détermination des nombres de panneaux, de batteries et de la capacité du régulateur et de l'onduleur [A]

➤ Nombre de module

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

U_c : Tension aux bornes de la charge

U_{mod} : Tension aux bornes d'un module

Donc $N_s = \frac{480}{24} = 20$

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

P_c : puissance du champ PV ou puissance crête

P_{mod} : puissance du module

Alors : $N_{//} = \frac{376790,2}{20 \times 240} = 78,4979 \cong 79$

Nombre de modules = 20x79 = 1580

➤ Estimation de la capacité de stockage de la batterie, choix de la technologie et détermination du nombre d'éléments de 2V

Par rapport au niveau de sécurité des équipements et du lieu d'installation du système (existence du réseau conventionnel), nous avons pris une autonomie d'un (1) jour.

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

$$C = \frac{CTJ \times N_j}{U_{bat} \times K_{ond} \times K_{bat} \times d_M} = \frac{244224,01 \times 1}{480 \times 0,98 \times 0,85 \times 0,60} = 2900,16 \cong 2900$$

N_j : nombre de jour d'autonomie, 1j

U_{bat} : tension à la sortie des batteries, 480V

d_M : profondeur de la décharge, 60%

K_{bat} : rendement de la batterie ; 0,85

K_{ond} : rendement de l'onduleur, 0,98

Soit une capacité de 2900Ah sous 480V

La technologie choisie est : Batterie tubulaire OPZS 2V - 4600 Ah CLASSIC SOLAR EXIDE

$$N_{\text{élt}_s} = \frac{480}{2} = 240$$

$$N_{\text{élt}_{//}} = \frac{2900}{4600} = 0,6304 \cong 1$$

Nombre d'éléments de 4600Ah/2V = 240x1 = 240

Fiche technique de la batterie

Batterie tubulaire OPZS 2V - 4600 Ah CLASSIC SOLAR EXIDE

Batterie 2V OPZS

Capacité nominale (C120) : 4600 Ah

Durée de vie : 2000 cycles selon IEC 896-1

Dimensions : Lxlxh = 215 x 580 x 815 mm

Poids : 217 kg

Marque : EXIDE, premier fabricant mondial de batteries Plomb (batteries FULMEN...)



- dimensionnement des câbles

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 :

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

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U(V)}{U_N} = \frac{2.I_B.L.R}{U_N}$$

$$\text{Donc } R = \frac{\Delta U(\%) \times U_N}{2.I_B.L.}$$

I_B : courant d'emploi du circuit, L : longueur du câble (km), R : résistance linéique du conducteur (Ω/km), U_N : tension nominale (V). Le réseau ici est considéré comme bifilaire (02 fils)

Supposons la chute de tension 3%, la longueur de câble 20m, et le courant 25A entre les panneaux et chaque régulateur, alors

$$R = \frac{3\% \times 480}{2 \times 25 \times 20 \times 10^{-3}} = 14,4 \Omega / \text{km}$$

Soit une résistance linéique de 0.0144 Ohm/m

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

➤ Choix du régulateur et de l'onduleur

▪ ***Critères requis pour le régulateur :***

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

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

PC installée = 379200 W soit 379,2 kW

Nous avons choisi un régulateur de puissance 72 kW et 480V soit un courant de 150A, donc il faut 6 régulateurs pour couvrir cette puissance. Le courant de l'ensemble des régulateur doit être supérieur à $379200/480 = 790A$

Or $150 \times 6 = 900A$ ce qui est bien inférieur au courant admissible par l'ensemble des onduleurs.

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

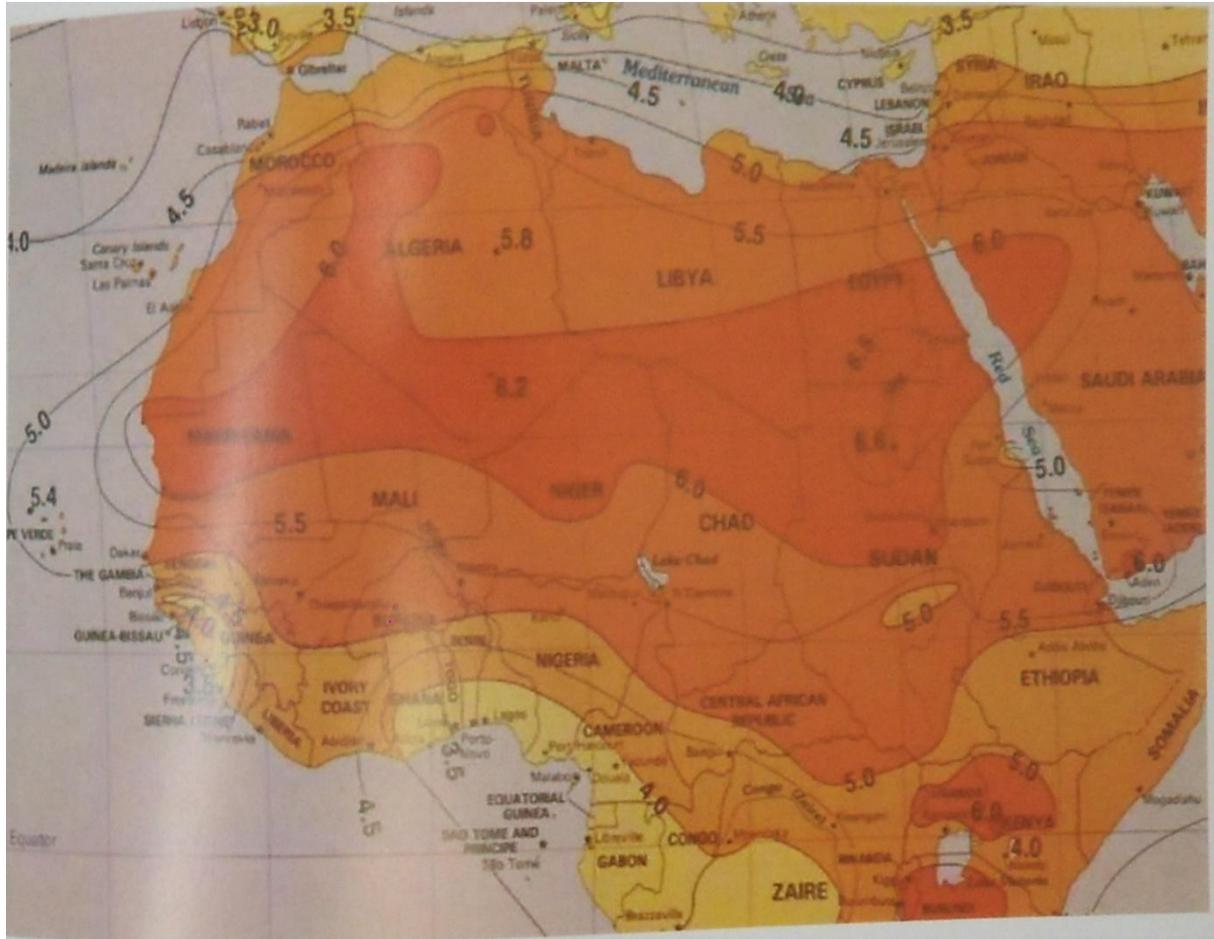
Puissance des onduleurs (400 kW) supérieure ou égale à la puissance des charges , K_{ond} varie entre 0,9% et 0,99%.

PC installée = 379200 W soit 379,2 kW

Nous avons choisi l'onduleur : Kaco Powador XP100-HV ayant une puissance de 100 kW et un rendement de 97, 1. Nous utiliserons quatre onduleurs de même type. L'ensemble des onduleurs répondent parfaitement à notre installation et chaque onduleur dispose en plus de plusieurs entrées.

Annexe II : Carte d'ensoleillement de la partie nord de l'Afrique [13]

[<http : www.solar4power.com/map9-global-solar-power.html>]



Annexe III : Moyenne mensuelles de l'ensoleillement journalier en kWh/m².j [14]

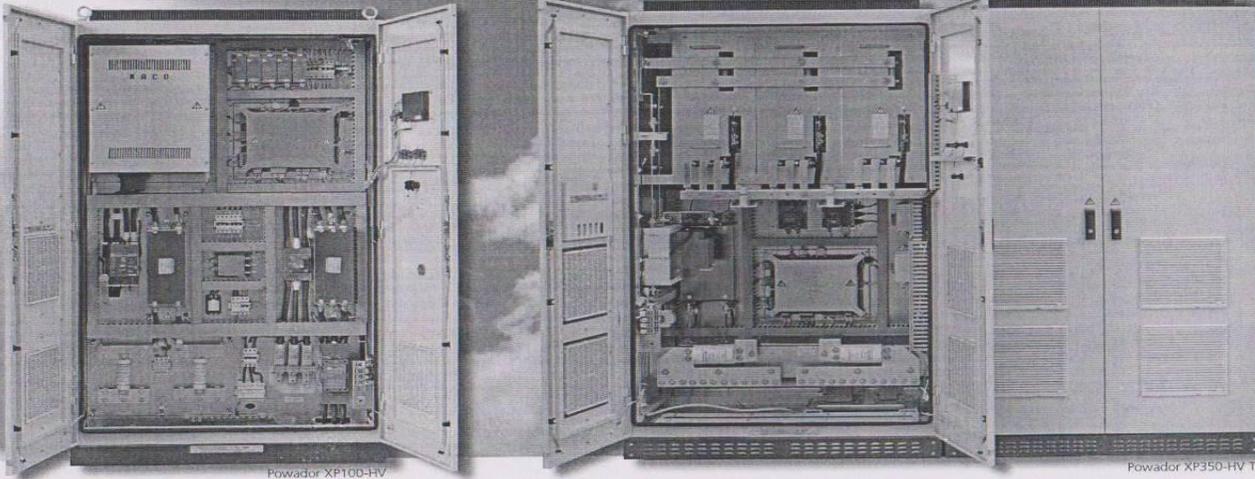
| Mois Stations | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Annuel |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| Natitingou | 8,90 | 9,08 | 8,21 | 8,38 | 7,87 | 7,36 | 5,45 | 4,61 | 5,73 | 7,22 | 8,80 | 8,51 | 7,50 |
| Kandi | 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 IV : Caractéristique du panneau solaire 240W MONO [15]

| | |
|----------------------------|--|
| Model | EGE-SPL039-M |
| Cell Type | Mono - crystalline |
| Maximum Power(Pm) | 240W |
| Power Tolerance | ±5% |
| Loading Voltage | 24V |
| Maximum Power Voltage(Vpm) | 34.8V |
| Maximum Power Current(Ipm) | 6.7A |
| Open Circuit Voltage(Voc) | 44.6V |
| Short Circuit Voltage(Isc) | 7.57A |
| Size of Module | 1950X995X50mm |
| Net Weight | 17kg |
| Maximum System Voltage | 600V |
| Cell Brand | Gintech ,Suntech, CSI,QCELL etc |
| Standard Test Condition | AM1.5, 25C ,1000W/m2 |
| Junction Box Type | TUV |
| Length of Cables | 900mm |
| Module Frame | Aluminum Frame |
| EFF(efficiency module): | 16% |
| Warranty | 5 year warranty for products, 25 years warranty for 80% power. |

Annexe V : Caractéristique de l'onduleur KACO Powador 100-HV [16]

Uniques et en leur genre.
Vous ne trouverez ces avantages que chez KACO.



Powador XP100-HV

Powador XP350-HV TL

Alimentation électrique redondante

- Sécurité maximale contre les pannes grâce aux systèmes de sauvegarde pour l'alimentation électrique et le système de refroidissement

Modulation de largeur d'impulsions triple

- Apport d'énergie optimal dans chaque plage de charge partielle

Commande entièrement numérique

- Mise à jour permanente grâce à la fonction d'adaptation à distance des paramètres de fonctionnement

Rendements maximaux

- Efficacité maximale jusqu'à 98,2 % lors de la transformation du courant continu en courant alternatif

Utilisation universelle

- Mise en service simple et rapide grâce aux paramètres réseau pré-réglés en fonction des exigences nationales

Ecran tactile couleurs

- Affichage clair de toutes les données de fonctionnement
- Langue de menu au choix

Traçage des erreurs

- Signalisation immédiate des états de fonctionnement suspects grâce à une surveillance continue
- Assistance à distance accessible dans le monde entier via Internet

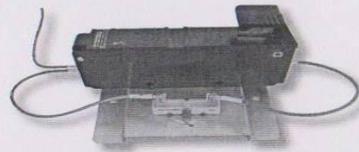
Vue d'ensemble.

Caractéristiques techniques Powador XP100-HV et Powador XP350-HV TL.

| Caractéristiques électriques | XP100-HV | XP350-HV TL |
|---|---|---|
| Grandeurs d'entrée | | |
| Puissance maxi du générateur PV | 110 kW | 385 kW |
| Plage MPP | 450 V ... 800 V | 450 V ... 830 V |
| Tension à vide | 950 V | 1000 V |
| Courant d'entrée maxi | 235 A | 856 A |
| Ondulation de tension | < 3% | < 3% |
| Ondulation de courant | < 4% | < 4% |
| Grandeurs de sortie | | |
| Puissance nominale | 100 kW | 350 kW |
| Tension réseau | 400 V (+/- 10%) | conformément aux exigences nationales spécifiques |
| Tension de sortie au transformateur externe | - | 3 x 290 V (+/- 10%) * |
| Fréquence nominale | 50 Hz / 60 Hz | 50 Hz / 60 Hz |
| Courant nominal | 153 A | 697 A |
| Taux de distorsion | < 3% à puissance nominale | < 3% à puissance nominale |
| cos phi | 0,90 inductif ... 0,90 capacitaire | 0,90 inductif ... 0,90 capacitaire |
| Caractéristiques électriques générales | | |
| Degré d'efficacité max. | 97,1% | 98,2% |
| Degré d'efficacité europ. | 96,5% | 97,8% |
| Puissance absorbée | < 1% à puissance nominale | < 1% à puissance nominale |
| Puissance absorbée Standby | < 40 W | < 100 W |
| Tension auxiliaire couverture | 230 V | 230 V |
| Surveillance du réseau | conformément aux exigences nationales spécifiques | conformément aux exigences nationales spécifiques |
| Caractéristiques mécaniques | | |
| Indicateur | écran tactile TFT LCD | écran tactile TFT LCD |
| Interfaces | RS485, Ethernet, USB 4 x entrées analogiques 1 x entrée numérique / 1 x 50-entrée 1 x sortie numérique / 1 x 50-sortie SD carte | RS485, Ethernet, USB 4 x entrées analogiques 1 x entrée numérique / 1 x 50-entrée 1 x sortie numérique / 1 x 50-sortie SD carte |
| Température ambiante | -20 °C ... +50 °C | -20 °C ... +50 °C |
| Refroidissement | ventilateur (max. 2420m ³ /h) | ventilateur (max. 6420m ³ /h) |
| Type de protection | IP21 | IP21 |
| Emission sonore | < 70 dB (A) | < 70 dB (A) |
| CEM | conforme à EN 61000-6-2 / EN 61000-6-4 | conforme à EN 61000-6-2 / EN 61000-6-4 |
| CE-conformité | oui | oui |
| Hauteur x largeur x profondeur | 2 120 x 1 200 x 920 mm | 2 110 x 2 400 x 850 mm |
| Encombrement (l x p) | 1 200 x 780 mm | 2 400 x 840 mm |
| Poids | 1 120 kg | 1 430 kg |

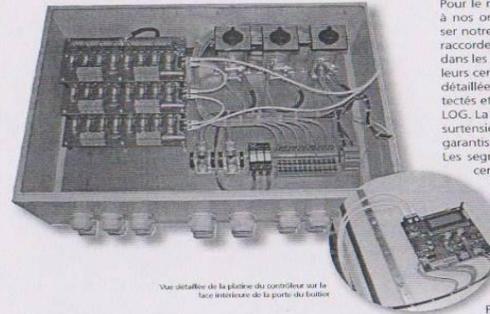
En option : kit de mise à la terre.

En cas d'utilisation avec des modules sensibles à la tension, nous vous conseillons de mettre le générateur solaire à la terre. Pour ce faire, reliez le pôle positif ou le pôle négatif à la terre à l'aide d'un fusible (GFD) (tenez compte des recommandations du fabricant !). Vous pouvez également commander notre kit de mise à la terre optionnel « XP ground ».



Intelligents.

Les boîtiers de surveillance Powador Argus 16S et 24S.



Pour le raccordement de champs solaires de taille importante à nos onduleurs centraux, nous vous recommandons d'utiliser notre boîtier de surveillance Powador Argus, un coffret de raccordement de générateurs (CRG) « intelligent ». Disponible dans les versions 16S et 24S, il complète idéalement nos onduleurs centraux de la série Powador XP. Il permet la surveillance détaillée du générateur photovoltaïque. Les défauts sont détectés et analysés directement par l'enregistreur Powador PROLOG. La protection par fusibles ainsi que la protection contre la surtension sont naturellement comprises. Trois disjoncteurs CC garantissent un raccordement en toute sécurité. Les segments de câbles des installations dotées d'onduleurs centraux d'une puissance élevée étant longs, les lignes CC présentent des dimensions très variables. Les bornes à tige intégrées offrent des possibilités de raccordement universelles pour différents diamètres de câbles. La ligne de communication est raccordée par le biais de bornes à ressort. Les câbles sont tous introduits par le bas afin d'éviter toute infiltration d'eau ou de saleté dans l'appareil, même en cas de montage négligent. Grâce à son boîtier en acier inoxydable étanche à l'eau et à la poussière (IP56), le Powador Argus est protégé contre les intempéries pour toute sa durée de vie. Le boîtier le protège également en cas d'incendie.

Caractéristiques techniques

| Caractéristiques électriques | Argus 16S | Argus 24S |
|---|--|--|
| Tension d'entrée max. | 1 000 V | 1 000 V |
| Courant de string max. par entrée | 16 A | 16 A |
| Nombre d'entrées CC | 16 | 24 |
| Taille de fusible | 12 A* | 12 A* |
| Courant de sortie max. | 256 A | 384 A |
| Alimentation en tension auxiliaire | 24 V CC** | 24 V CC** |
| Consommation de courant | 275 mA | 350 mA |
| Interface | RS485 | RS485 |
| Coupe-circuit de surtension CC | Type 2 / II | Type 2 / II |
| Raccordements | | |
| Raccord de string + | Bornes à ressort jusqu'à 16 mm ² max., Passe-câble à vis M40 avec insert d'étanchéité multiple | Bornes à ressort jusqu'à 16 mm ² max., Passe-câble à vis M40 avec insert d'étanchéité multiple |
| Raccord de string - | Bornes à ressort jusqu'à max. 16 mm ² , Passe-câble à vis M40 avec insert d'étanchéité multiple | Bornes à ressort jusqu'à max. 16 mm ² , Passe-câble à vis M40 avec insert d'étanchéité multiple |
| Raccord CC avec l'onduleur | Bornes à tige 240 mm ² M12 Raccord jusqu'à 240 mm ² , Passe-câble à vis M50 | Bornes à tige 240 mm ² M12 Raccord jusqu'à 240 mm ² , Passe-câble à vis M50 |
| RS485 et alimentation en tension auxiliaire | Bornes à ressort jusqu'à max. 2,5 mm ² Passe-câble à vis M20/25 | Bornes à ressort jusqu'à max. 2,5 mm ² Passe-câble à vis M20/25 |
| Raccordement à la terre | Bornes de terre jusqu'à 16 mm ² , Passe-câble à vis M20 | Bornes de terre jusqu'à 16 mm ² , Passe-câble à vis M20 |
| Disjoncteurs CC | 3 | 3 |
| Caractéristiques mécaniques | | |
| Température ambiante autorisée | -25 °C ... +40 °C | -25 °C ... +40 °C |
| Humidité rel. de l'air (sans condensation) | 15% ... 95% | 15% ... 95% |
| Type de protection selon EN 60529 | IP56 | IP56 |
| l x H x P | env. 800 x 600 x 300 mm | env. 800 x 600 x 300 mm |
| Poids | environ 38 kg | environ 40 kg |

Annexe VI : Caractéristique du régulateur de charge solaire pour la grande puissance de la station marque Sandi 480v [17]

| | |
|--|---|
| modèle | 72kw |
| batterie | 480v |
| courant nominal de chaque circuit d'entrée de panneaux solaires | 25a |
| tension maximale de panneau solaire | 840v |
| puissance maximale des panneaux solaires | 72kw |
| nombre de ranger d'entrée à panneau solaire | 6 circuits |
| méthode de travail | le travail continu |
| la fonction | de charge et de contrôle |
| Affichage de l'état | conduit |
| classe de protection | ip30 |
| Environnement d'exploitation | La température:- 10- 40& deg; c Humidité& ≤; 80% |
| Arrêt de tension de charge de circuits 1&2 solaire panneau | >570v& 0; 2 |
| Tension de charge de la reprise 1&2 circuits solaire panneau | <569v& 0; 2 |
| Arrêt de tension de charge de circuits 3&4 solaire panneau | >575v& 0; 2 |
| Tension de charge de la reprise 3&4 circuits panneaux solaires | <574v& 0; 2 |
| Arrêt de tension de charge de circuits 5&6 panneaux solaires | >580v& 0; 2 |
| Tension de charge de la reprise 5&6 circuits panneaux solaires | <579v& 0; 2 |
| câble de raccordement des Batteries fourni (Mm& sup2;) | >30 |
| charge auto consommée Maximum (ma) | 300 |
| Chute de tension entre le panneau solaire et l'accumulateur 'énergie | 0.7v |
| Altitude d'utilisation | <1000 m |
| taille de produit | 600*500*1100mm |

**Annexe VII : Tableau d'équivalence KVA/Ampères/ Consommation Gas oil
d'un groupe électrogène [18]**

| 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 VIII : Tableau des données d'ensoleillement sur Cotonou [19]

| Mois | Ensoleillement sur plan horizon | angle d'inclinaison | coef d'inclinaison | Ensoleillement sur plan incliné (15°) |
|------|---------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Jan | 5,33 | 6,3 | 1,05 | 5,6 |
| Fevr | 5,54 | 6,3 | 1,03 | 5,7 |
| Mars | 5,49 | 6,3 | 0,98 | 5,4 |
| Avr | 5,28 | 6,3 | 0,91 | 4,8 |
| Mai | 4,94 | 6,3 | 0,96 | 4,7 |
| Juin | 4,28 | 6,3 | 1 | 4,3 |
| Juil | 4,31 | 6,3 | 0,89 | 3,8 |
| Août | 4,21 | 6,3 | 0,98 | 4,1 |
| Sep | 4,37 | 6,3 | 1 | 4,4 |
| Oct | 4,82 | 6,3 | 1,05 | 5,1 |
| Nov | 5,01 | 6,3 | 1,02 | 5,1 |
| Dec | 5,15 | 6,3 | 1,07 | 5,5 |

Annexe IX : Automate Zelio [20]

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 |