

TABLES DES MATIERES

TABLES DES MATIERES	1
NOMENCLATURE	iv
LISTE DES ABBREVIATIONS	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
INTRODUCTIONS GENERALES	1
PARTIE I : MISE EN PLACE D'UNE ARMOIRE DE REGULATION PV « MULTISTEP PV-S »	3
Chapitre I - PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL DU STAGE.....	4
I-1-Historiques et activités de l'entreprise.....	4
I-1-1-Ancienne filiale de EDF-TOTAL, TOTAL puis TENESOL	4
I-1-2-Intégration à SUNPOWER.....	4
I-1-3- Objectifs de l'entreprise	4
I-1-4-Identité et organigramme de l'entreprise Sunenergie.....	5
I-1-5-Domaine d'application	6
I-1-6- Présentation de fonction occupée	6
I-1-7-Conclusion.....	6
Chapitre II- LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES	7
II-1-Introduction	7
II-2-Les éléments constitutifs du système photovoltaïque	7
II-2-1- Différents types d'éléments constitutifs du système photovoltaïque	7
II-2-2-Principe de fonctionnement de chaque élément constitutif du système photovoltaïque.....	14
Chapitre III : METHODES ET MATERIELS	18
III-1-Introduction.....	18
III-2-Scénario de ces six sites équipés de générateurs photovoltaïques Télécoms backbones.....	19
III-2-1- Descente sur site	19
.....	20
III-2-2-Description du site de Behenjy	20
III-3- L'armoire de régulation « Multistep PV-S » proportionnelle à chaque site	23
III-3-1-Principe de fonctionnement	23
III-3-2-Configuration de l'armoire de régulation « Multistep PV-S » de chaque site.....	24
III-4- Conditions de remplacement de l'armoire de régulation « Multistep PV-S »	28

III-4-1- Recueil des données dans le régulateur Enerstat	28
III-4-2- Remplacement de l'armoire de régulation Enerstat.....	30
Chapitre IV : ETUDE COMPARATIVE ENTRE L'ARMOIRE DE REGULATION ENERSTAT ET LA MULTISTEP PV-S.....	36
IV-1-Introduction	36
IV-2-Armoire de régulation Enerstat.....	36
IV-2-1- Types d'armoire de régulation Enerstat	36
IV-2-2- Fonctionnement de l'Enerstat.....	37
IV-2-3-Caractéristiques de l'Enerstat.....	38
IV-3-Armoire de régulation « Multistep PV-S ».....	42
IV-3-1-Différents types d'armoire de régulation « Multistep PV-S ».....	43
IV-3-2-Processus de fonctionnements du « Multistep PV-S »	44
IV-3-3-Caracteristiques du « Multistep PV-S »	45
CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSIONS	49
V-1-Résultats.....	49
V-2-Discussions	50
PARTIE II : CONCEPTION ET REALISATION D'UNE APPLICATION DIMENSIONNEMENT SOLAIRE A BASE D'EXCEL VISUAL BASIC.....	52
CHAPITRE I : GENERALITES DU DIMENSIONNEMENT SOLAIRE.....	53
I-1-Introduction	53
I-2-Etapes de dimensionnement solaire.....	54
I-2-1-Situation géographique du site	54
I-2-2-Détermination de l'énergie consommée journalière	56
I-2-3-Ensoleillement global du site Fandriana	56
I-2-4-Orientation et inclinaison optimales par rapport à l'horizontal.....	57
I-2-5-Détermination de la capacité de champ photovoltaïque, la capacité de stockage, la capacité de l'armoire de régulation	58
CHAPITRE II : METHODES ET MATERIELS	59
II-1-Introduction	59
II- 2 - Modélisation du dimensionnement solaire.....	60
II-3-Collectes et stockages des données	67
III-1-Choix de technologie	75
III-2-Résultats.....	75
III-3-Concurrence	78
CONCLUSIONS GENERALES	80

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	105
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES	106
ANNEXES	107
ANNEXE 1 : Contenu et configuration de l'armoire de régulation Multistep PV-S	107
ANNEXE 2 : Emplacement d'autres sites sélectionnés pour la mise en place l'armoire de régulation « Multistep PV-S ».....	108
ANNEXE 3 : Fiche récapitulative de bilan de consommation	117
ANNEXE 4 : Fiche récapitulative des résultats du générateur photovoltaïque site Télécom de Fandriana	118
ANNEXE 5 : Etude d'inclinaison pour le site de Fandriana pour le mois d'avril	119
ANNEXE 6 : Extrait des données dans l'Enerstat pour le site d'Ambohimanjaka.....	120

NOMENCLATURE

<u>Symboles</u>	<u>Significations</u>	<u>Unités</u>
ω_s	Angle horaire au lever et au coucher du soleil	° ou heures
ω	Angle horaire	° ou heures
\square	Angle d'incidence	°
λ	Longueur d'onde	m
ν	Fréquence de rayonnement	s ⁻¹
c	Vitesse de la lumière	m/s
C _b	Capacité totale des batteries	Ah
C _{cj}	Capacité consommée journalière	Ah/jour
C _p	Coefficient de pertes et sécurité	
D _t	Rayonnement diffus	J/m ² ou Wh/m ²
D _{st}	Rayonnement réfléchi J/m ² ou Wh/m ²	
E	Energie reçue J	
E _{cj}	Energie consommée journalière	Wh/jour
G	Composant de rayonnement réfléchi	J/m ² ou Wh/m ²
H	Rayonnement direct sur un plan horizontal	J/m ² ou Wh/m ²
h	Constante de Planck	Js
H ₀	Rayonnement extra-terrestre en dehors de l'atmosphère	J/m ² ou Wh/m ²
H _b	Composante du rayonnement réfléchi	J/m ² ou Wh/m ²
H _d	Composante du rayonnement direct	J/m ² ou Wh/m ²
H _t	Rayonnement total sur un plan incliné quelconque	J/m ² ou Wh/m ²
I _{cc}	Courant de court-circuit	A
I _h	Composante du rayonnement direct	J/m ² ou Wh/m ²
I _m	Intensité maximale A	
I _{mp}	Intensité maximale du PV pour chaque branche	A
I _{mr}	Intensité maximale reçue A	
I _{mr1}	Intensité maximale reçue du 1 ^{er} générateur PV	A
I _{mr2}	Intensité maximale reçue du 2 ^{ème} générateur PV	A
I _{rr}	Irradiation solaire reçue	kWh/m ² /jour
I _r	Intensité du régulateur	A

K_T	Indice de clarté	
N_{ja}	Nombre du jour d'autonomie	jour
P	Puissance	W
P_c	Puissance crête	W _c
P_{ct}	Puissance crête totale	W _c
P_{ct1}	Puissance crête totale du 1 ^{er} générateur PV	W _c
P_{ct2}	Puissance crête totale du 2 ^{ème} générateur PV	W _c
PD	Profondeur de décharge	
P_o	Puissance de l'onduleur	KVA
R_b	Rendement des batteries	
R_b	Facteur d'inclinaison de rayonnement direct	
R_r	Rendement de régulateur	
RT	Réduction des températures	
t	Durée d'utilisation	h /jour
TSV	Temps solaire vraie	heure
U_n	Tension nominale	V
V_m	Tension maximale	V
V_{m1}	Tension maximale du module PV en série du 1 ^{er} générateur PV	V
V_{m2}	Tension maximale du module PV en série du 2 ^{ème} générateur PV	V
V_{co}	Tension de circuit ouvert	V

LISTE DES ABBREVIATIONS

CA	Courant Alternatif
CC	Courant Continu
EDF	Electricité de France
GSM	Global System for Mobile
GPRS	Global Packet Radio Service
IP	Internet protocole
JIRAMA	JIro sy RAno MAlagasy
MPPT	Point de puissance maximale du générateur électrique non linéaire (Maximum Power Point Tracking)
OMA	Orange Madagascar
PDG	Président de la Direction Générale ou Président Directeur Général
PV	Photovoltaïque
PV-S	Photovoltaïc supervisor
PWM	Modulation de largeur d'impulsion (Pulse Width Modulation)
RC	Responsable commercial
RESCO	Responsable d'étude de suivi et de contrôle technique
RF	Responsable financier
RGO	Responsable de gestion opérationnelle
RN	Route nationale
RP	Responsable de projet
RRH	Responsable de ressources humaines
S.A	Société Anonyme
STC	Standard Test Condition
VCA	Volt Courant Alternatif
VCC	Volt Courant Continu

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de l'entreprise	5
Figure 2: Différents types de cellule PV.....	8
Figure 3:Batterie à plomb ouverte et batterie étanche à recombinaison à gaz.....	10
Figure 4: Régulateur type PWM et algorithme de charge du PWM.....	11
Figure 5: Exemples de régulateur MPPT et algorithme de charge du MPPT.....	12
Figure 6: Principe de fonctionnement de cellule PV	14
Figure 7: Courbes caractéristiques d'une cellule PV soumise à différents éclairements	15
Figure 8: Etape de phase de batterie ouverte à mélange chimique plomb.....	16
Figure 9: Schéma synoptique d'un générateur PV	17
Figure 10: Démarche de la mise en place de l'armoire de régulation	19
Figure 11: Les six sites chantiers PV à étudier	20
Figure 12: Le site de Behenjy	20
Figure 13: Principe de fonctionnement de l'armoire de régulation.....	23
Figure 14: Fenêtre du logiciel Enersoft	29
Figure 15: Schéma du principe du groupe électrogène.....	31
Figure 16: Schéma du principe du chargeur CA-CC (230VCA-48VCC)	32
Figure 17: Une pince ampérométrique	32
Figure 18: Un densimètre.....	33
Figure 19: Schéma de l'ensemble de régulateur Enerstat	39
Figure 20: Raccordement du régulateur Enerstat au sein du générateur PV	39
Figure 21: Application du régulateur Enerstat avec le modem GSM Wavecom.....	40
Figure 22: Application du régulateur Enerstat avec un modem RTC type Telsat	41
Figure 23: Vue de face du Multistep PV-S	44
Figure 24: Algorithme du charge de Multistep PV-S	46
Figure 25: Fenêtre de paramètre du Multistep PV-S	47
Figure 26: Démarche du projet de dimensionnement solaire	54
Figure 27: Le site de Fandriana	55
Figure 28: Longitude et latitude sur le globe terrestre	56
Figure 29: Angle d'inclinaison du capteur solaire	57
Figure 30: Schéma de processus d'étude du dimensionnement solaire	60
Figure 31: Macro de calcul de courant maximal entré au régulateur	64
Figure 32: Représentation de feuille d'explorateur du projet dans VBA	65

Figure 33: Représentation de module de code	55
Figure 34: Fenêtre de commande Paramètre des données	66
Figure 35: Fenêtre de bilan de consommation du dimensionnement solaire.....	67
Figure 36: Les composantes du rayonnements solaire	69
Figure 37:Carte mondiale de la durée d'insolation solaire par an.....	72
Figure 38: Positionnement du capteur solaire par rapport au soleil.....	74
Figure 39: Courbe de représentation de l'irradiation annuelle du site étudié.....	77
Figure 40: Représentation graphique des consommations / productions du PV	77
Figure A1 : Le site de Sambaina.....	108
Figure A2 : Le site d'Ambohimanjaka	109
Figure A3 : Le site d'Antety.....	111
Figure A4 : Le site d'Ambalamanakana.....	112
Figure A5 : Le site de Mandalahy.....	114

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Rendement de ces différents types de cellules PV.....	9
Tableau 2: Récapitulation des six sites étudiés.....	22
Tableau 3: Configuration d'armoire "Multistep PV-S" chaque site.....	25
Tableau 4: Caractéristiques du première générateur PV.....	26
Tableau 5: Caractéristiques du deuxième générateur PV	27
Tableau 6: Durée de travail par site	33
Tableau 7: Seuil d'alarme de régulateur Enerstat.....	38
Tableau 8: Avantages et inconvénients de l'Enerstat.....	42
Tableau 9: Avantages et inconvénients du Multistep PV-S.....	48
Tableau 10: PV de chaque site selon sa particularité.....	49
Tableau 11: Irradiation solaire mensuelle sur le plan horizontal du Fandriana	56
Tableau 12:Détail du résultat du générateur PV pour site Télécom Fandriana	68
Tableau 13: Représentation des classeurs de codes météorologiques	68
Tableau 14: Représentation des classeurs de codes PV	68
Tableau 15: Représentation des classeurs de codes des accus.....	69
Tableau 16: Caractéristiques du sol et valeur de l'albédo	73
Tableau 17: Caractéristiques du site étudié	76
Tableau 18 : Caractéristiques techniques suivant les bilans de consommations	76
Tableau 19: Représentation des résultats du générateur PV	76

INTRODUCTIONS GENERALES

Actuellement, afin de minimiser l'insuffisance de l'énergie électrique comme le cas de notre pays, il est très indispensable d'utiliser comme source d'électricité, les énergies renouvelables dont l'énergie solaire. Madagascar possède de grands potentiels en énergie solaire et qui n'attend qu'une bonne exploitation.

Le domaine photovoltaïque est très développé depuis quelques dernières années et la nouvelle technologie dans ce domaine ne cesse de s'accroître. En effet, afin d'utiliser des nouvelles technologies, il est nécessaire de remplacer les anciennes technologies et de suivre les meilleures conditions de remplacement. Ce domaine aussi demande une étude bien élaborée afin d'obtenir le bon dimensionnement solaire mais pour que ce dernier soit réalisé le plus vite possible et à temps nécessaire, il faudrait avoir une application bien élaborée.

Madagascar traverse une crise énergétique due à l'augmentation du coût du carburant, le changement climatique et la demande très forte en énergie. Ces problèmes que Madagascar traverse m'ont poussé à lancer mes études sur l'énergie photovoltaïque car elle est une énergie inépuisable, facilement accessible et non polluante.

L'entreprise Sunenergie a principalement fait des activités sur l'électricité photovoltaïque. L'objectif de ce stage est de mettre en place des armoires de régulation photovoltaïques « Multistep PV-S » et de les comparer avec les armoires de régulation photovoltaïque Enerstat. Les études ont été réalisées dans les six sites sélectionnés Behenjy, Sambaina, Ambohimanjaka, Antety, Ambalamanaakana et Mandalahy. Le stage a duré six mois du mois de novembre 2015 au mois d'avril 2016.

Le système photovoltaïque ne peut pas se réussir sans une étude de dimensionnement solaire. Ainsi, cette étude propose de développer le langage de programmation Excel Visual basic afin d'obtenir une application de dimensionnement solaire. Le but de cette application est de répondre au plus vite possible les meilleurs compromis entre le besoin en électricité et le coût du système photovoltaïque pour les clients et autrement dit, il a pour but de promouvoir et encourager les peuples malgaches d'utiliser et d'exploiter l'énergie solaire.

L'étude se divise en deux parties, la première partie est la mise en place d'une armoire de régulation photovoltaïque « Multistep PV-S », elle contient cinq chapitres:

- La présentation de l'entreprise Sunenergie
- Le système photovoltaïque.
- Le développement des matériels et méthodes lors de la mise en place de l'armoire de régulation photovoltaïque « Multistep PV-S »
- La comparaison de l'armoire de régulation Enerstat et le « Multistep PV-S ».

- Les résultats obtenus et la discussion

La deuxième partie est de concevoir et réaliser une application de dimensionnement solaire à base de programmation Excel Visual basic, elle contient trois chapitres :

- Les généralités du dimensionnement solaire
- Le développement des matériels et méthodes lors des conceptions et réalisations de ce projet
- Les résultats et la réalisation de ce projet

PARTIE I : MISE EN PLACE D'UNE ARMOIRE DE REGULATION PV « MULTISTEP PV-S »

Chapitre I - PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL DU STAGE

I-1-Historiques et activités de l'entreprise

I-1-1-Ancienne filiale de EDF-TOTAL, TOTAL puis TENESOL

L'activité de l'entreprise est consacrée à l'électricité photovoltaïque. Sunenergie est une ancienne filiale du TENESOL. Cette dernière accompagne les entreprises, les collectivités territoriales et les particuliers pour leurs projets d'énergie solaire photovoltaïque. TENESOL, est le groupe leader de l'énergie photovoltaïque en France, fondé en 1983. En 2005, le groupe a été divisé à parts égal entre TOTAL et EDF Energies Renouvelables. Le partenariat entre TOTAL et EDF Energies Renouvelables a duré jusqu'à Octobre 2011, date à laquelle TOTAL a racheté les parts de l'EDF pour récupérer la totalité de l'entreprise. TENESOL est donc une filiale 100% du groupe TOTAL. A cette époque qui était en 1997, cette entreprise filiale de l'EDF-TOTAL est nommée TENEMA.

I-1-2-Intégration à SUNPOWER

TOTAL fait l'acquisition du groupe américain SUNPOWER car il souhaite développer son activité dans le domaine photovoltaïque. SUNPOWER est le leader mondial dans le développement de solutions solaires à hautes rendement pour les particuliers, les entreprises et les fournisseurs d'énergie.

En 2012, SUNPOWER a finalisé l'acquisition du TENESOL S.A pour 164.5 millions de dollars.

En 2014, Sunenergie a racheté son part d'action de filiale dans le groupe SUNPOWER par un particulier en tant que PDG.

Sunenergie assure complètement la solution dans le domaine photovoltaïque entre autres l'étude, la fourniture, la pose ainsi que la maintenance des installations. Son expérience leur permet de répondre à de nombreux besoins en énergie photovoltaïque comme l'électrification rurale, électrification domestique, électricité pour des entreprises, autoconsommation avec autre source d'électricité, secours en cas coupure. Et aussi il assure les installations des chauffe-eaux solaires et les pompes photovoltaïques.

I-1-3- Objectifs de l'entreprise

L'objectif de Sunenergie en tant qu'une entreprise est de répondre au plus juste toutes les besoins des clients dans le domaine d'énergie solaire. C'est pour cette raison que le Sunenergie tient compte l'importance de ses compétences et d'élargir son offre de service dans son secteur d'activité.

Son expérience accompagnée de sa qualité de service technique dans le domaine d'énergie solaire lui permet d'obtenir la valeur et la pluralité de leur service. Cela conduit l'entreprise à être un concurrent avantageux par tant d'autres entreprises.

Chaque entreprise a sa propre identité, celle de l'entreprise Sunenergie est la suivante

I-1-4-Identité et organigramme de l'entreprise Sunenergie



Adresse : Lot VH 22 Volosarika Ambatoroka Antananarivo (101)

Tel : +261 20 22 029 37 - 032 40 852 95

Mail : sunenergie@sunenergie.net

Statut juridique : S.A.

Date de création : 1997

Capital : Ariary 520 000 000

Activités : Installation de matériel photovoltaïque, études d'installation d'énergie solaire, négoce d'entretien, installation du chauffe-eau solaire, installation de pompage solaire et maintenance de matériel d'énergies solaire photovoltaïques et thermiques.

L'identité de l'entreprise Sunenergie constitue : leur siège social, contact, l'e-mail, statut juridique, date de création, capital, et ses activités. Après avoir présenté l'entreprise Sunenergie, il est bien de connaître sa structure interne, la figure 1 illustre l'organigramme de Sunenergie [1] :

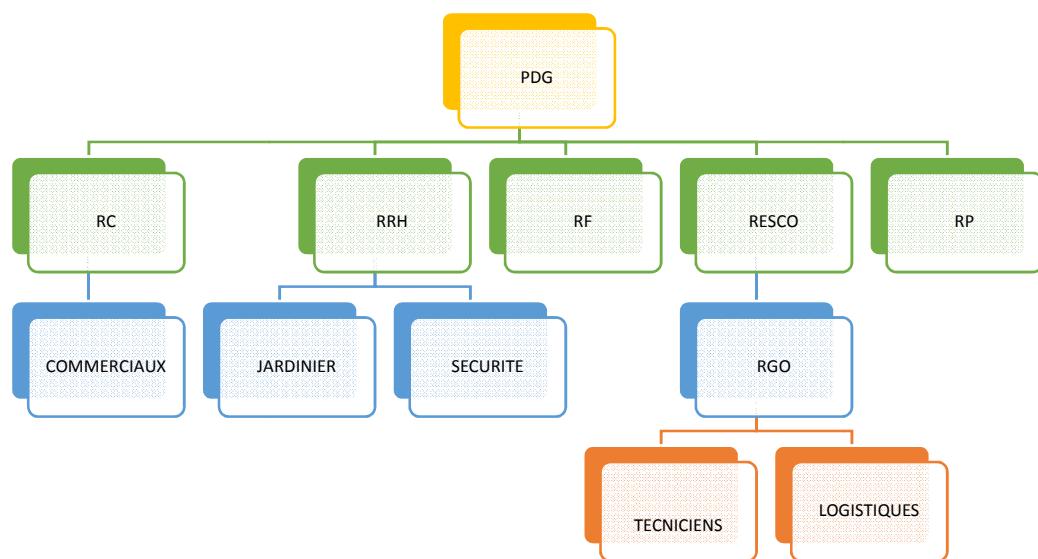


Figure 1: Organigramme de l'entreprise

I-1-5-Domaine d'application

Il se divise en deux parties les applications apportées par l'entreprise Sunenergie en tenant compte du développement national. Ainsi, d'abord c'est l'application hors connexions réseaux et enfin l'application connectée aux réseaux.

Applications hors connexions réseaux

- Réseaux Télécoms
- Pompage à eau
- Electrification rurale décentralisée

Applications connectées aux réseaux :

- Particuliers ou domestiques
- Systèmes hybrides
- Autoconsommations

I-1-6- Présentation de fonction occupée

Le stage a été effectué au sein du bureau d'étude dans le SUNENERGIE. Ce service a pour objectif d'axé sur les chantiers professionnels de grandes envergures. Ses activités principales concernent les dimensionnements, les protections des installations ainsi que leurs suivis. Au cours de ce stage, le RESCO qui est le responsable d'étude et de suivi technique a assisté l'étude. Dans ce cadre, je m'étais chargé, dans un premier temps de la maintenance curative de quelques sites Télécoms et de faire une étude de dimensionnement du système photovoltaïque avec ses étapes indispensables. Dans un second temps, j'avais effectué les descentes aux sites Télécoms pour y installer les nouvelles armoires de régulations photovoltaïques « Multistep PV-S » des 6 sites backbones de l'opérateur Orange, en commençant par toutes les procédures indispensables d'installation, puis l'assurance de l'installation de l'armoire de régulations photovoltaïques « Multistep PV-S » suivi de sa mise en service.

I-1-7-Conclusion

L'entreprise Sunenergie possède le potentiel de résoudre les problèmes de tout ce qui est autour de l'énergie solaire photovoltaïque ou de solaire thermique, et aussi il peut répondre aux besoins nécessaires de tous ces clients. Toutes capacités nécessaires peuvent trouver au sein de l'entreprise Sunenergie, il suffit de vous renseigner sur place pour de plus ample information.

Chapitre II- LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES

II-1-Introduction

Un système photovoltaïque, c'est l'ensemble d'éléments allant aux éléments de captation de l'énergie solaire jusqu'aux éléments de restitutions de l'énergie. Il représente des processus énergétiques complexes qui se déroulent dans les systèmes photovoltaïques, lesquels possèdent chacun son importance et rien est inutile.

Avant d'aborder, l'étude concerne l'ensemble du système photovoltaïque, la connaissance des éléments constitutifs du système photovoltaïque et l'assurance des fonctionnements de chacun de ses composants avec ses caractéristiques.

II-2-Les éléments constitutifs du système photovoltaïque

Généralement, les éléments constitutifs du système photovoltaïque sont composés de :

- Modules photovoltaïques
- Accumulateurs
- Régulateurs de charge et de décharge
- Convertisseurs de tension selon les utilisations

II-2-1- Différents types d'éléments constitutifs du système photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est undispositif fondamental pouvant générer de l'électricité lorsqu'elle est soumise à un rayonnement solaire. Tandis qu'un module photovoltaïque, c'est le rassemblement des cellules photovoltaïques entre elles, en donnant la puissance crête voulue selon le constructeur. On dit un champ photovoltaïque quand il s'agit de l'ensemble des modules photovoltaïques, de quelques dizaines de watts qui fournissent de puissances plus importantes allant à plusieurs kilowatts.

a- Modules photovoltaïques

L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs qui produisent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière.

L'effet photovoltaïque constitue la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire.

L'effet photovoltaïque, c'est-à-dire la production d'électricité directement de la lumière, fut observée la première fois en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel. Toutefois, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs des laboratoires Bell, aux Etats-Unis, parvinrent à fabriquer la première cellule PV. [2]

Le module photovoltaïque est le principal capteur de l'énergie solaire dans le système photovoltaïque. Pour bien connaître en ce qui concerne le module photovoltaïque, nous allons voir les différents types de cellules photovoltaïques.

Généralement, les cellules photovoltaïques se distinguent en trois types :

➤ Les cellules monocristallines

Elles sont des photopiles de première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé. Les cellules sont rondes ou presque carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme. Elles ont un taux de rendement de 12 à 16%, mais la méthode de production est laborieuse et difficile, et donc très chère, car il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir du cristal pur.

➤ Les cellules polycristallines

Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux. Elles ont un rendement de 11 à 13%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines.

➤ Les cellules amorphes

Elles ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 10%. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium.

La figure 2 suivante nous montre les différents types des cellules photovoltaïques. En les résumant, un tableau récapitulatif montre les différentes cellules.

Schéma des différents types de module photovoltaïque

La figure 2 montre les différents types de module photovoltaïque [3].

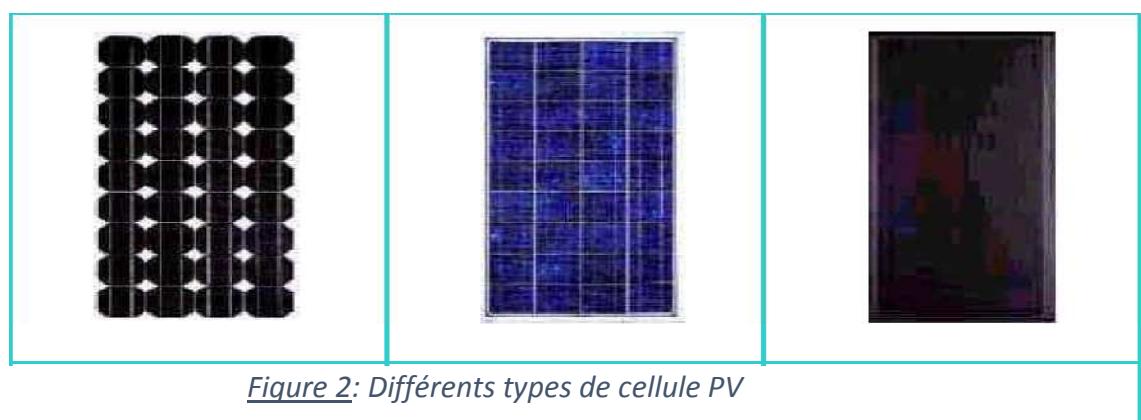


Figure 2: Différents types de cellule PV

Rendement de ces différents types de cellules PV

Ces différents types de cellules PV possèdent chacun son rendement. Le tableau 1 les illustre.

Tableau 1 : Rendement de ces différents types de cellules PV

Technologie de cellule PV	Rendement typique	Rendement maximum obtenu au laboratoire
Monocristalline	12 à 16%	24%
Polycristalline	11 à 14%	18,6%
Amorphe	6 à 8%	12,7%

b- Accumulateurs

L'accumulateur permet de restituer l'énergie. C'est très large la plage de capacité admise pour le stockage. La valeur des accumulateurs doit respecter une valeur minimum pour éviter la condition de charge et la décharge, néfastes à la durée de vie des éléments de stockage. Et cette valeur doit dépendre des puissances de productions et des consommations bien définies.

Une batterie est une interconnexion de plusieurs cellules galvaniques identiques et elle est en mesure de stocker de l'énergie chimique. Au niveau de l'accumulateur, le temps de productions et le temps de consommations de l'énergie sont fréquemment décalés. Comme les accumulateurs sont les mélanges chimiques, c'est-à-dire que l'énergie chimique restituée se transforme en énergie électrique. Il est nécessaire aussi de savoir que tous les accumulateurs se différencient par leurs mélanges chimiques, alors c'est utile de connaître ces différents types de mélange chimique possible pour les accumulateurs.

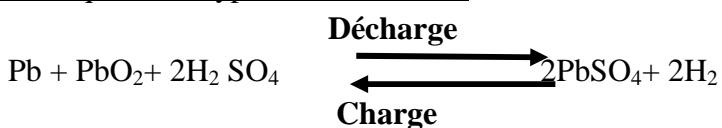
En général, il y a beaucoup mais les mélanges chimiques très répandus seront retenus. [4]

Le Plomb

C'est du mélange chimique plomb acide. Les batteries au plomb sont par exemple, celles qui équipent nos voitures et qui donnent l'énergie nécessaire au démarrage.

Les batteries au plomb sont robustes et puissantes. Elles sont souvent utilisées dans les applications où le poids et le volume ne sont pas trop pénalisants ou quand il y a besoin d'une grande quantité d'énergie.

L'équation chimique de ce type d'accumulateur

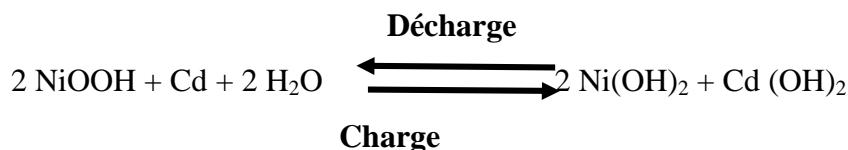


Le Nickel

C'est du mélange chimique Nickel-Cadmium. Les accumulateurs au nickel sont aujourd'hui les plus répandus dans tous les appareils transportables.

Les accumulateurs à base de Nickel sont le plus souples à utiliser. Ils sont très utilisés pour les outillages portatifs sans fil, les lecteurs audio divers, les ordinateurs portables, dans le monde des radios-modélistes et bien sûr dans les appareils photo numériques.

L'équation chimique de ce type d'accumulateur



Le Lithium sous forme ionique

C'est du mélange Lithium-Ion ou Lithium -polymère.

C'est la dernière génération plus légère et plus chère. On retrouve les accumulateurs au lithium dans les téléphones portables haut de gamme et dans les lap-tops.

Les accumulateurs au lithium sont très variés, très complexes et nécessitent systématiquement un chargeur spécialisé généralement fourni avec l'accumulateur. L'utilisation de l'accumulateur pose de grands risques en cas d'erreur de charge, c'est explosif.

Il est également indispensable de connaître les types d'accumulateurs :

- ☆ Les accumulateurs à électrolyte liquide
- ☆ Les accumulateurs à électrolyte stabilisé ou à gel.

Dans le mélange chimique des accumulateurs, il y a des mélanges chimiques avec électrolyte liquide et à recombinaison à gaz ou gélifié. Nous allons montrer sur la photo ci-dessous la différence entre l'accumulateur à électrolyte liquide et celui à gel notamment mélange chimique de ces deux.

La figure 3 présente les deux types d'accumulateurs

Batteries à plomb ouverte
Batterie étanche plomb à recombinaison du gaz

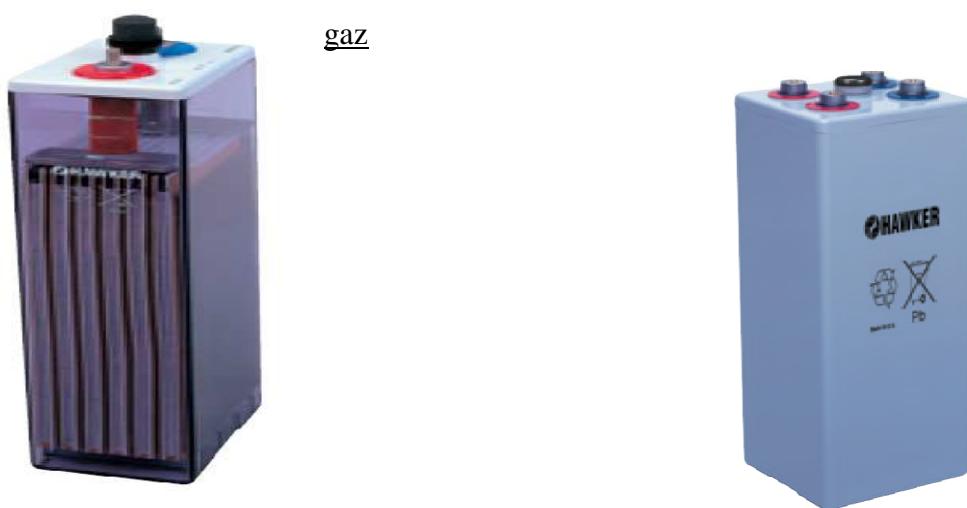


Figure 3: Batterie à plomb ouverte et batterie étanche à recombinaison à gaz

Le constructeur HAWKER a fabriqué ces deux différents accumulateurs dont se différencient par leur type mais le mélange chimique de ces deux accumulateurs est pareil, c'est le plomb. Les batteries

ouvertes contiennent de l'électrolyte liquide, alors que les batteries étanches, c'est de l'électrolyte gélifié.

c- Régulateur de charge et de décharge

Le régulateur de charge et de décharge a été fait pour contrôler la charge et la décharge de l'accumulateur en évitant la décharge profonde et la surcharge des accumulateurs. La capacité des régulateurs de charge et de décharge doit être proportionnelle aux puissances de productions du champ PV et avoir la capacité de gérer le taux de charge et de décharge des accumulateurs, afin d'avoir des accumulateurs durables.

Au niveau du générateur photovoltaïque, le régulateur de charge et de décharge a une place très importante. Grâce à lui que la durée de vie de la batterie sera prolongée et que la phase de fonctionnement de l'accumulateur est bien respectée. Pour mieux savoir sur le régulateur de charge et de décharge, il est utile de présenter ses différents types.

Différents types de régulateurs de charge et de décharge

- Régulateur de charge et de décharge PWM

Le régulateur de charge et de décharge PWM est un régulateur très traditionnel, mais il maintient toujours le rôle de relier les champs photovoltaïques et les accumulateurs. Du fait de son mode de fonctionnement direct, la tension des champs photovoltaïques reçue est réduite à la tension nominale des accumulateurs. Donc, il fournit des courants correspondants à la tension nominale, mais qui est toujours inférieure à la tension maximale. Cette dernière permet d'obtenir le courant maximal des champs photovoltaïques. Cependant, il est encore nécessaire à installer.

Exemple de régulateur type PWM

Même si le type de régulateur est un régulateur de charge et de décharge traditionnel, il faut en tenir compte qu'il est toujours utilisable permettant d'assurer complètement la surcharge et la décharge profondes des accumulateurs. La figure 4 illustre l'algorithme de charge d'une régulateur PWM PHOCOS [5].

Photo d'un régulateur type PWM



L'algorithme de charge de PWM en général

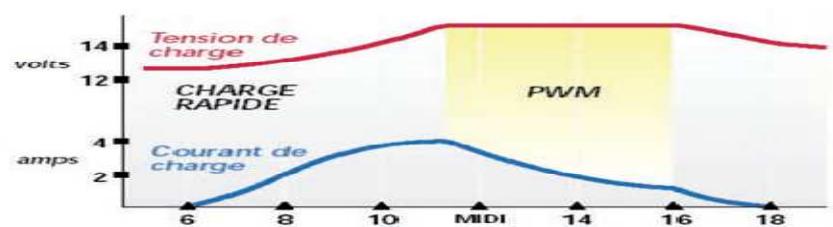


Figure 4 : Régulateur type PWM et algorithme de charge du PWM

Régulateur de charge et de décharge MPPT

Le régulateur de charge et de décharge MPPT, c'est nouveau et plus intelligent que celui du PWM. Les régulateurs MPPT traquent avec une grande rapidité et une grande précision la tension maximale des champs photovoltaïques. Ils balaien une plage de tension en entrée pour trouver constamment à quel point se trouve la puissance maximale délivrée par les panneaux. Il prélève la puissance à cette tension maximale et la renvoie vers les batteries sous une tension plus basse, ce qui a avantage d'augmenter le courant de charge.

Généralement, on peut dire que le rendement du régulateur MPPT est à 100% si en considérant comme négligeable les pertes qui étaient dues aux câbles.

Exemple de régulateur type MPPT

Actuellement, il y a beaucoup des constructeurs de régulateur MPPT mais prenons un exemple de régulateur de charge et de décharge MPPT, le régulateur TRISTAR MPPT fabriqué par l'entreprise MORINGSTAR aux Etats-Unis. La figure 5 indique l'algorithme de charge de régulateur type MPPT [6].

Photo du régulateur type MPPT et l'algorithme de charge MPPT en général

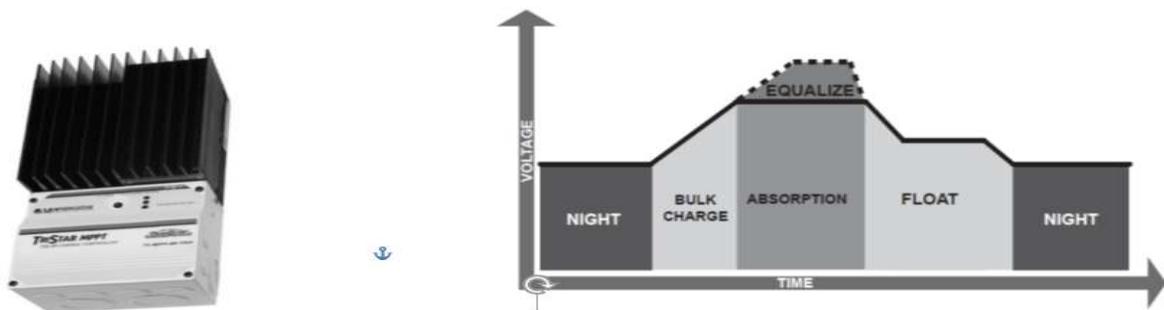


Figure 5: Exemples de régulateur MPPT et algorithme de charge du MPPT

- Phase de recharge groupée MPPT

Pendant la phase de recharge groupée, le contrôleur de charge est en mode MPPT, son rôle est de réguler la tension de la batterie vers le point de consigne de tension de la phase d'absorption.

- Phase d'Absorption

Lorsque la batterie a été rechargée au point de consigne de tension sélectionnée, une autre constante est appliquée pour maintenir la tension de la batterie à être conforme au point de consigne d'absorption.

- Phase de Floating

Pendant la phase de Floating, la tension aux bornes de l'accumulateur est maintenue à un niveau inférieur par rapport au paramètre défini. Lorsque le champ photovoltaïque fournit de l'énergie aux

charges raccordées au système et que la tension aux bornes des accumulateurs descend en dessous de la tension limite de décharge, un nouveau cycle de recharge groupée est déclenché.

- Phase d'Egalisation

La charge d'égalisation permet à amener tous les éléments de l'accumulateur à une tension identique par une volonté délibérée de surcharge. Le but est de ramener chaque plaque de l'accumulateur à un état optimal grâce à une étape de réactions chimiques contrôlées en tension à l'intérieur des accumulateurs.

- d- Convertisseur de tension selon les utilisations

La tension fournie aux utilisateurs est choisie selon les caractéristiques des charges, cette dernière tient compte des types de convertisseur de tension qui conviennent aux systèmes photovoltaïques. Notamment le convertisseur de tension utilisé est fréquemment divisé en deux parties. Ce sont le convertisseur de tension DC-DC et celui de tension DC-AC.

- Convertisseur de tension CC-CC

Un réseau électrique de courant continu est généralement en exception, il n'est pas fait pour être distribué à de longues distances. Le but de conversion DC-DC est d'ajuster les valeurs des grandeurs de sortie en valeur continue. Il faut en tenir compte qu'un convertisseur DC/DC a pour vocation d'assurer la fluence d'énergie entre une source de tension continue et une source de courant continu. Pour des appareils conventionnels qui sont alimentés en courant continu, il en serait très utile de choisir le convertisseur de tension DC-DC selon le type proportionnel à ses appareils.

- Convertisseur de tension CC-CA

Le convertisseur de tension a été conçu pour convertir la tension reçue soit en tension continue soit en tension alternative. Le système est chargé de produire une certaine puissance électrique délivrée sous forme continue ou alternative ou les deux à la fois et c'est le convertisseur de tension qui définit cette tension de sortie.

Généralement, les réseaux électriques sont conventionnés en courant alternatif car c'est le plus pratique pour la distribution électrique à longue distance. Etant donné que le courant fourni par les champs photovoltaïques et les batteries sont originaire du courant continu. Ce dernier est linéaire et aussi régulier par contre celui de l'alternatif est sinusoïdal. Alors, pour transformer le courant continu en courant alternatif, il nous est indispensable d'utiliser le convertisseur de tension CC-CA qui est le transformateur de puissance. Ce convertisseur sert d'autoriser à tous les appareils conventionnels de 230V-AC à être utilisé depuis sur le système connecté sur des accumulateurs. Alors chaque appareil utilisé doit être alimenté en tension de 230V-CA, par conséquent, il devrait que le système

photovoltaïque possède un convertisseur CC-CA 230V. Sinon, il est possible aussi d'avoir une production de courant alternatif triphasé à partir du convertisseur CC-CA 380VAC.

II-2-2-Principe de fonctionnement de chaque élément constitutif du système photovoltaïque

Après avoir distingué les différents types de chacun des éléments constitutifs, c'est très indispensable de connaître leur principe de fonctionnement.

Fonctionnement de cellule photovoltaïque

Le fonctionnement de la cellule repose entièrement sur les propriétés d'une jonction de PN soumise à un éclairement. Un rayon solaire est défini comme la composition d'ondes électromagnétiques de fréquences différentes. C'est un faisceau de photons dont l'énergie E est liée à la longueur d'onde par la constante de Planck h :

$$E=h*\nu=h*c/\lambda \quad [7]$$

dont h étant la constante de Planck, $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$

$\nu = c/\lambda$: la fréquence de rayonnement

c : la vitesse de la lumière, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

λ : la longueur d'onde en m

Schéma du principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

La figure 6 montre le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [8].

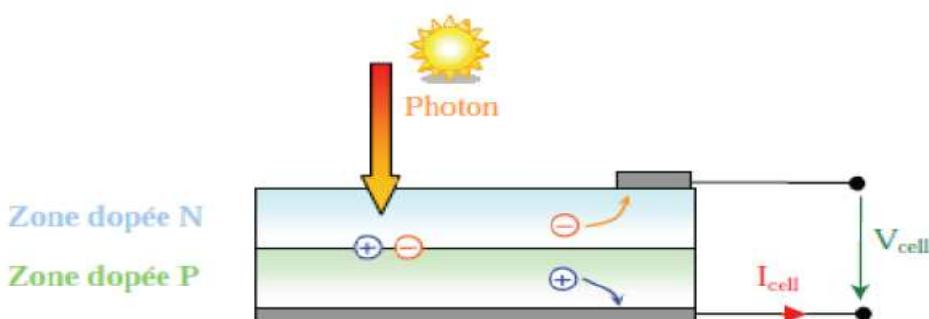


Figure 6: Principe de fonctionnement de cellule PV

La cellule photovoltaïque est réalisée à partir de deux couches de Silicium, une dopée P et l'autre dopée N ce qui crée ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Dès que les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons et des trous. Cette action crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positive et négative de la cellule.

Courbe caractéristique d'une cellule PV soumise à différents éclairements

La figure 7 développe les courbes caractéristiques d'une cellule photovoltaïque soumise à différents éclairements [9].

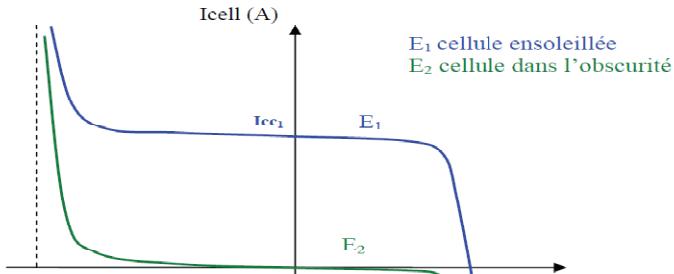


Figure 7: Courbes caractéristiques d'une cellule PV soumise à différents éclairements

D'après cette courbe, le résultat est divisé en deux parties très différentes. La première cellule est soumise à l'éclairement solaire et la deuxième est dans l'obscurité. Or, la cellule photovoltaïque n'est fonctionnelle que sous éclairements seulement.

L'énergie électrique fournie par un champ photovoltaïque est caractérisée par la puissance crête qui est exprimée en Watt-crête suivant la condition standard STC :

- 1000W/m² ensoleillement perpendiculaire aux modules photovoltaïques
- 25°C la température dans les cellules photovoltaïques
- Masse d'air équivaut à 1,5 qui est le spectre atmosphérique.

Fonctionnement de l'accumulateur

Celle qui assure la restitution de l'énergie reçue par les capteurs solaires c'est l'accumulateur. Nous devons connaître que quelque en soit la technologie utilisée dans les différents types d'accumulateur, les accumulateurs doit passer par deux phases de fonctionnement :

- ❖ Phase de charge
- ❖ Phase de décharge

Phase de la charge

C'est la période où les batteries stockent l'énergie reçue. Dans notre étude la source d'énergie venant des rayonnements solaires captés par les panneaux photovoltaïques. Dans cette phase, l'accumulateur stocke l'énergie selon la taille nécessaire jusqu'à ce qu'il soit plein. La phase de charge consiste à convertir l'énergie électrique en énergie chimique qui est stockée dans l'accumulateur.

Phase de décharge

Quand la charge est terminée, c'est-à-dire que l'accumulateur est plein. La phase de décharge est l'inverse de celle de charge. L'utilisation de l'énergie stockée dans l'accumulateur qui est comme source d'énergie électrique est la phase de décharge. Autrement dit, c'est la transformation de

l'énergie chimique latente en énergie électrique. La phase de décharge doit suivre la période équivalente d'énergie stockée par rapport à l'énergie nécessaire à consommer. En cas où cette phase de décharge n'est pas respectée, cela peut rendre l'accumulateur totalement endommagé. Ces deux phases sont alternées jusqu'à ce que les accumulateurs soient endommagés.

Schéma d'étape de ces deux phases pour une batterie ouverte à mélange chimique plomb

La figure 8 illustre l'étape de ces deux phases d'une batterie ouverte à mélange chimique plomb [10].

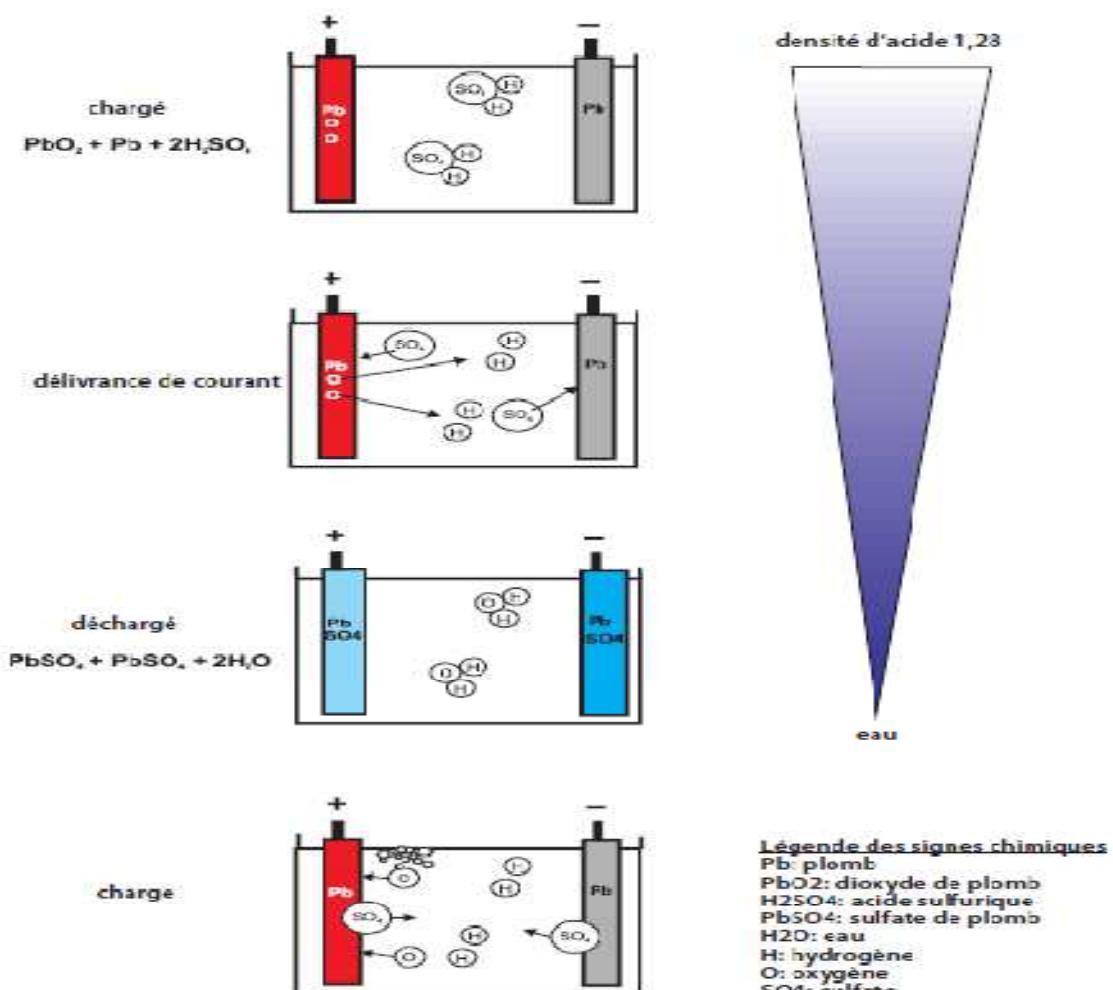


Figure 8: Etape de phase de batterie ouverte à mélange chimique plomb

Le mode de fonctionnement de l'accumulateur doit respecter ces deux étapes de phase. Ce type de batterie est une batterie ouverte en mélange chimique plomb, ce choix n'est pas au hasard mais parce qu'au sein du chantier photovoltaïque de l'entreprise Sunenergie, la plupart des accumulateurs installés sont du type à mélange chimique plomb ouverte.

Schéma synoptique d'un système photovoltaïque

La figure 9 montre le schéma synoptique d'un système photovoltaïque.

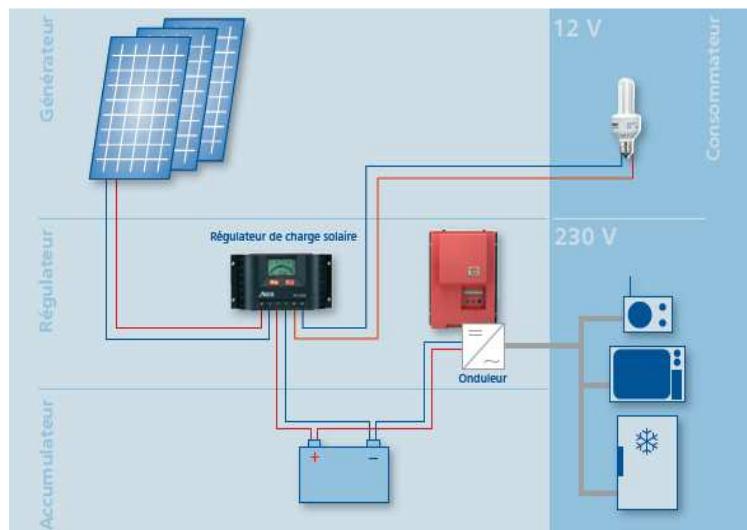


Figure 9: Schéma synoptique d'un générateur PV

Conclusion

Ce chapitre présente les éléments d'un générateur photovoltaïque permettant de comprendre les différents processus de son fonctionnement. De plus, ce chapitre a appris que tous les éléments constitutifs du générateur photovoltaïque ont tous une place très importante et aucun d'entre eux n'est négligeable. Après avoir connu de tout ce qui est à propos du générateur photovoltaïque, le chapitre suivant consiste aux présentations des matériaux et méthodes de la mise en place de l'armoire de régulation « Multistep PV-S ».

Chapitre III : METHODES ET MATERIELS

III-1-Introduction

Un générateur photovoltaïque sans armoire de régulation est un générateur déséquilibré. Cet élément est non négligeable quand il s'agit d'un générateur photovoltaïque. Notre chapitre s'intitule donc sur la mise en place de l'armoire de régulation « Multistep PV-S » pour six sites de chantiers photovoltaïques Télécoms backbones. En premier, elle a pour but de remplacer l'armoire de régulation Enerstat puis d'éviter la défaillance de l'armoire de régulation Enerstat à cause de rupture de fabrication et de réserves de l'Enerstat. Pour commencer, nous allons présenter les processus de déroulement de la mise en place de l'armoire de régulation « Multistep PV-S ».

L'armoire de régulation est un élément non négligeable au sein d'un système PV. Alors que la mise en place de l'armoire de régulation pour un système PV demande de bien étudier l'état de lieux, de bien connaître les enjeux des matériels principaux et enfin de mettre en exergue l'élaboration de l'étude technique. Pour que l'armoire de régulation soit bien placée, chaque étape d'étude doit être respectée afin d'acquérir une installation réussie.

La figure 10 développe le schéma synoptique de la démarche de l'étude, des généralités sur le PV aux résultats de la mise en place de l'armoire de régulation Multistep « PV-S ».

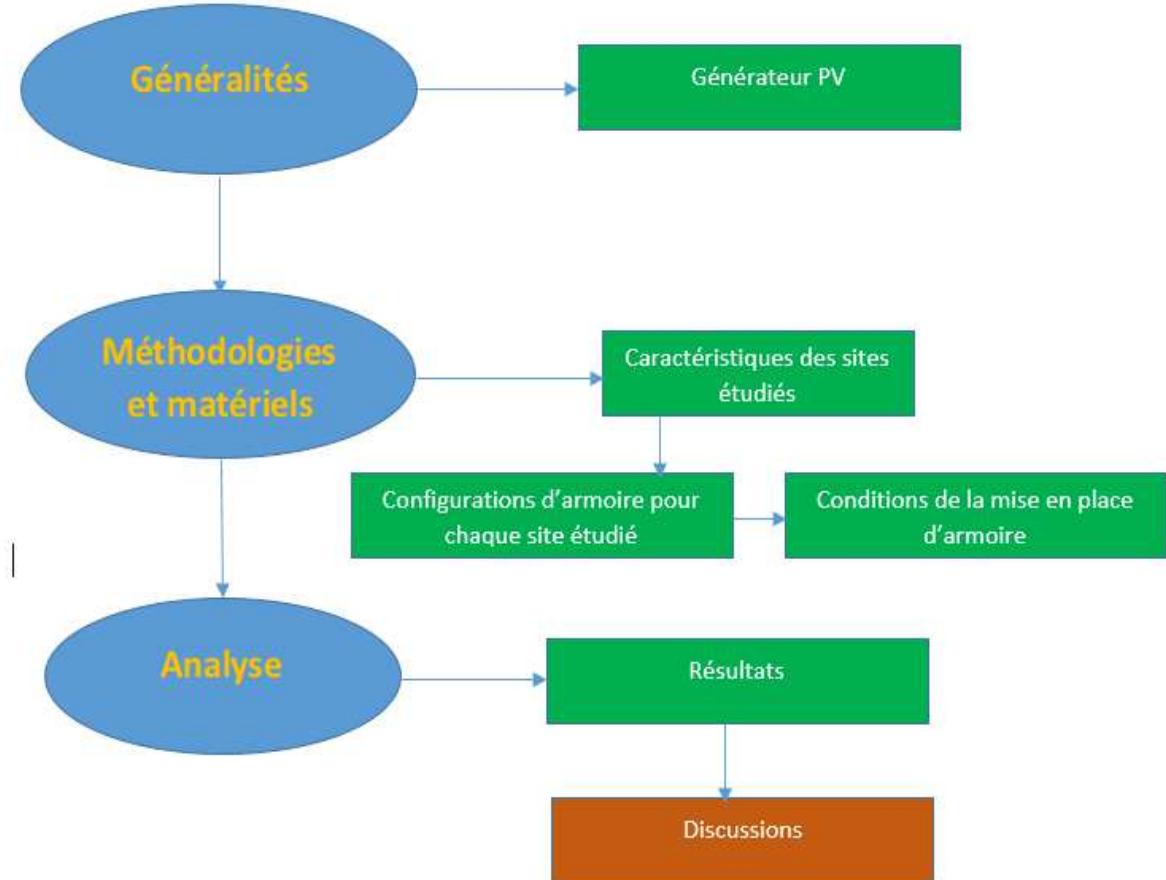


Figure 10: Démarche de la mise en place de l'armoire de régulation

III-2-Scénario de ces six sites équipés de générateursphotovoltaïques Télécoms backbones

III-2-1- Descente sur site

La partie de descente est une partie très indispensable afin de bien voir sur le bon fonctionnement de l'installation de l'armoire de régulation « Multistep PV-S ». C'est lors de la descente que nous pourrions trouver toutes les imprévues qu'il faudra en tenir compte. Nous avons six sites qui ont été sélectionnés préalablement pour installer les armoires de régulation « Multistep PV-S », tels que Behenjy, Sambaina, Ambohimanjaka, Antety, Ambalamanaakana, et Mandalahy. Ces six sites sélectionnés sont tous des sites stratégiques appelés réseaux Backbones(réseaux de Télécommunications à grande vitesse ou aussi à haut débit). Alors il est très indispensable de remplacer ces armoires de régulation pour éviter des pannes techniques possibles sur la partie de régulateur Enerstat dont il n'y en a plus.

Présentations des six sites sélectionnés

La figure 11 montre les six sites sélectionnés pour la mise en place de l'armoire de régulation PV « Multistep PV-S » pour chaque site [11].



Figure 11: Les six sites chantiers PV à étudier

III-2-2-Description du site de Behenjy

La description de chaque site est très utile afin de connaître toutes les mesures ou les précautions que nous devrions prendre compte pour que le but du projet soit atteint.

La figure 12 montre l'emplacement du premier site de l'étude, le site de Behenjy.

- Behenjy

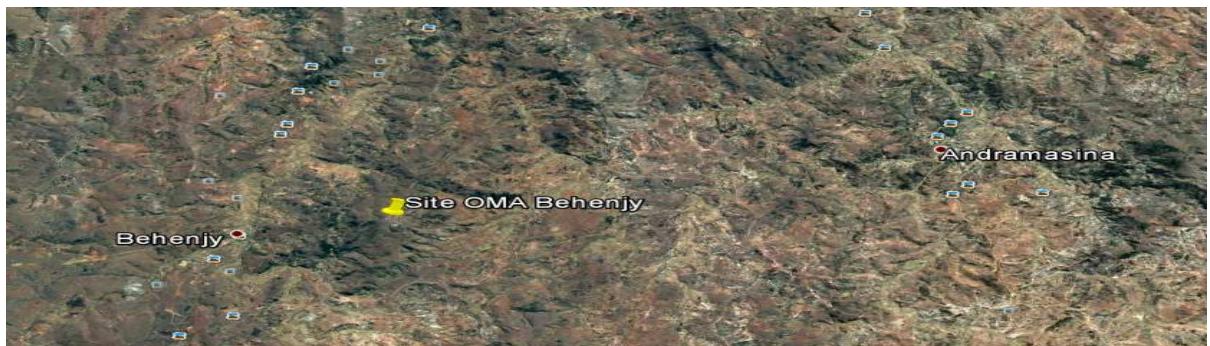


Figure 12: Le site de Behenjy

Il s'agit d'un site Télécom équipé d'installation photovoltaïque, situant 45km au sud d'Antananarivo vers la route nationale numéro sept (RN7), dans la région d'Analambana.

Latitude : 19°12'25.85" SUD

Longitude : 47°30'32.41" EST

Panneaux solaires :

Le panneau solaire est divisé en deux types 310Wc avec de tension nominale de 24VCC et 135Wc de tension nominale de 12VCC, Le type de 310Wc se compte 38 unités et le 135Wc est de 100 unités, puissance crête totale est de 25280Wc et le type de 310Wc est monocristalline fabriquée en France par la société SUNPOWER et le type de 135Wc est polycristalline fabriqué par TENESOL.

Armoire de régulation : L'armoire de régulation est basée par des régulateur de charge Enerstat, il existe deux armoires de régulation Enerstat sur ce site. Chacune de ces armoires comporte 330A - 48VCC. Le régulateur Enerstat a fabriqué par TENESOL et l'armoire avec les composants a été fabriquée par Schneider.

Accumulateur : La batterie est caractérisée du type d'accumulateur au plomb à électrolyte liquide, la capacité des accumulateurs est divisée en deux 1200Ah avec de tension nominale de 2VCC chacun de type 12OPzS marque Hoppecke fabriquée en Allemagne et 1714 Ah de type TYS11 avec tension d'alimentation de 2VCC, la marque de cette batterie est ecosafe, fabriquée aux Etats-Unis. Les batteries 12OPzS sont au nombre de 48 unités et celui des TYS11 est de 72 unités.

Puissance totale installée :

Champ photovoltaïque total : 25280Wc

Tension nominale demandée : 48VCC

Armoire de régulation Enerstat : 02 Armoires de 300A-48VCC

Capacité totale des batteries : 7542Ah - 48VCC

Energie consommée journalière (Ecj) :

Durée du temps d'utilisation du site Télécoms Behenjy est 24 heures (t).

Puissance d'équipement du Télécom installé est équivalente de 3500Watts (P)

$$Ecj = P*t = 3500W * 24h = 84\ 000\ Wh/jour$$

Les descriptions des cinq autres sites sélectionnés tels que Sambaina, Ambohimanjaka, Antety, Ambalamanakana et Mandalahy sont représentées à l'Annexe 2.

Tableau récapitulatifs des six sites étudiés

Les six sites sélectionnés ont tous leurs particularités qui diffèrent les unes des autres, le tableau 2les indique :

Tableau 2: Récapitulation des six sites étudiés

<u>SITES CARACTERISTIQUES</u>	<u>BEHENJY</u>	<u>SAMBAINA</u>	<u>A/MANJAKA</u>	<u>ANTETY</u>	<u>A/MANAKANA</u>	<u>MANDALAHY</u>
REGION	ANALAMA- NGA	VAKIN' ANKARATRA	AMORON'I MANIA	AMORON' I MANIA	AMORON'I MANIA	HAUTE MATSIA TRA
NOMBRES DE GENERATEUR PV	02	02	02	02	02	02
PUISSSANCE DES PV	25280 Wc	30300 Wc	25280 Wc	29740 Wc	25280 Wc	33480 Wc
PUISSSANCE DES REGULATEURS	600A-48VCC	750A-48VCC	600A-48VCC	750A-48VCC	600A-48VCC	900A-48VCC
CAPACITES DES STOCKAGES	7542Ah-48VCC	8308Ah-48VCC	7542Ah-48VCC	7926Ah-48VCC	6969Ah-48VCC	9340Ah-48VCC
ENERGIE CONSOMMEE JOURNALIERE	84000 Wh/jour	60000Wh/jour	48000Wh/jour	60000Wh/jour	60000Wh/jour	60000Wh/jour

Après avoir connu les descriptions des six sites sélectionnés, le travail suivant est d'étudier l'armoire de régulation « Multistep PV-S » pour ces six sites.

III-3- L'armoire de régulation « Multistep PV-S » proportionnelle à chaque site

Le régulateur solaire est inséparable au système photovoltaïque. Il offre plusieurs fonctions dans la gestion et dans l'installation du système photovoltaïque avec les accumulateurs. La finalité de la présente étude consiste à comparer l'armoire de régulation Enerstat par rapport au « Multistep PV-S » et analyser les fonctionnements de chacun de ce type de régulateur.

III-3-1-Principe de fonctionnement

L'armoire de régulation soit Enerstat soit « Multistep PVS » permet à la fois le raccordement, la mise en sécurité et la régulation d'un générateur photovoltaïque composé de plusieurs modules photovoltaïques et de plusieurs accumulateurs, en site isolé.

Schéma du principe de fonctionnement d'une armoire de régulation PV

La figure 18 montre le schéma de principe du fonctionnement d'une armoire de régulation PV.

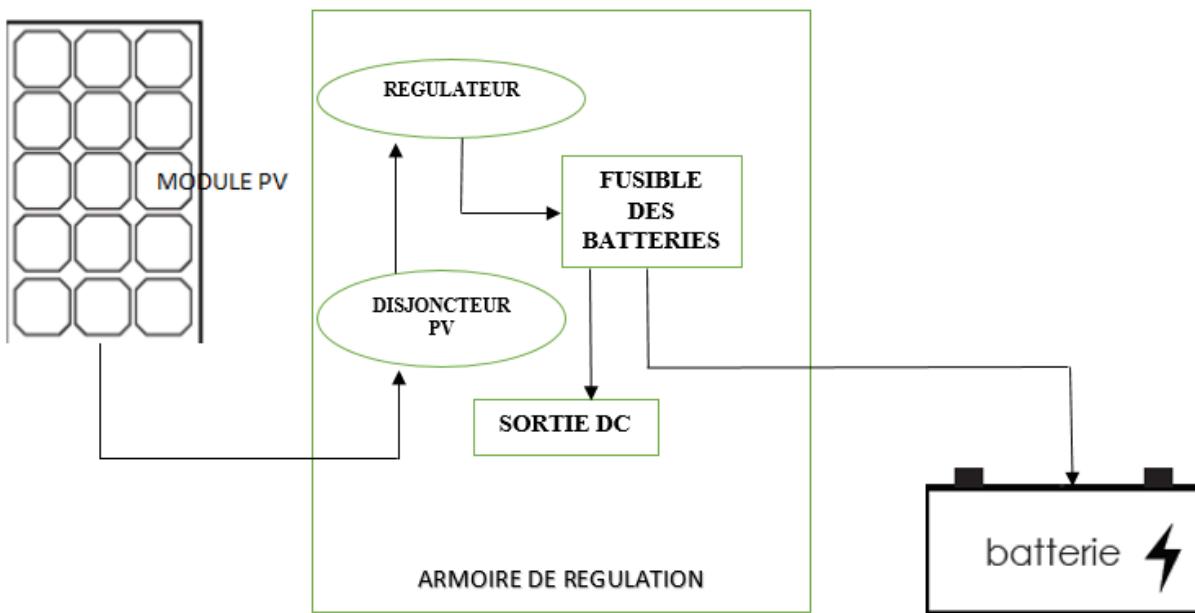


Figure 13: Principe de fonctionnement de l'armoire de régulation

Peu importe le système PV à installer, l'armoire de régulation PV doit se placer entre les modules PV et la (les) batterie(s) comme dans le schéma du principe de fonctionnement de la figure 18 ci-dessus. A part le régulateur qui joue le rôle de contrôler la charge et la décharge des batteries, il y a aussi d'autres composants qui assurent le bon fonctionnement de l'armoire de régulations comme les disjoncteur et fusibles.

Le disjoncteur :

Un disjoncteur est un dispositif électromécanique ou électronique de protection dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident dans un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation.

Les fusibles :

Un fusible est un organe de sécurité dont sa fonction est de protéger un circuit d'alimentation vis-à-vis de court-circuits ou de surintensités générées par une défaillance de la charge alimentée.

Cette protection permet dans le cas général :

- de garantir l'intégrité et la possibilité de remise en service du circuit d'alimentation une fois le défaut est éliminé.
- d'éviter les conséquences potentiellement catastrophiques qu'engendraient une surintensité durable ou un court-circuit : dégradations des isolants, destructions des appareils, départs d'incendie, etc.

Sortie CC :

C'est cette sortie qui permet de fournir l'alimentation en courant continu de l'équipement Télécoms sur site. C'est-à-dire la liaison entre le générateur PV et les utilisateurs.

III-3-2-Configuration de l'armoire de régulation « Multistep PV-S » de chaque site

Pour éviter les courts circuits ou les problèmes en remplaçant l'armoire de régulation Enerstat par le « Multistep PV-S », c'est une étape non négligeable l'étude de choix de la proportionnalité de l'armoire à remplacer.

L'armoire de régulation Enerstat pourrait être divisé en deux types :

- ❖ Type de 300A-48VCC
- ❖ Type de 450A-48VCC

La configuration de l'armoire de régulation « Multistep PV-S » est divisé en 3 types :

- ❖ Configuration 190A-48VCC
- ❖ Configuration 330A-48VCC
- ❖ Configuration 450A-48VCC

D'après la constatation pour chaque site le remplacement de l'armoire de régulation Enerstat par l'armoire de régulation « Multistep PV-S » est possible.

Le tableau 2 montre l'armoire de régulation PV « Multistep PV-S » correspondre aux demandes et besoins de chaque site.

Tableau 3: Configuration d'armoire "Multistep PV-S" chaque site

Site Configuration	Behenjy	Sambaina	Ambohimanja ka	Antety	Ambalamana kana	Mandalahy
190A-48VCC				01		
330A-48VCC	02	01	02		02	
450A-48VCC		01		01		02

En remplaçant l'armoire de régulation Enerstat par le « Multistep PV-S », il faut en tenir compte la puissance de champ photovoltaïque. La puissance crête totale du champ photovoltaïque doit être proportionnelle à l'armoire de régulation choisie.

Caractéristique des modules PV pour deux générateurs PV par site

Le tableau 4 illustre les caractéristiques du premier générateur PV pour les six sites

Tableau 4: Caractéristiques du première générateur PV

Sites Caractéristiques PV	BEHENJY	SAMBAINA	AMBOHIMANJAKA	ANTETY	A/MANAKANA	MANDALAHY
Puissance unitaire	135 Wc	135 Wc	135 Wc	135 Wc	135 Wc	310 Wc
Tension nominal unitaire	12VCC	12VCC	12VCC	12VCC	12VCC	24VCC
Tension maximal	18,1 VCC	18,1 VCC	18,1 VCC	18,1 VCC	18,1 VCC	36,5VCC
Intensité maximal	7,5A	7,5A	7,5A	7,5A	7,5A	8,5A
Nombre des PV	100	128	100	156	100	54
Tension nominale demandé	48VCC	48VCC	48VCC	48VCC	48VCC	48VCC
Nombres des branches des PV	25	32	25	39	25	27

Tandis que le tableau 5 illustre les caractéristiques du premier générateur PV pour les six sites

Tableau 5: Caractéristiques du deuxième générateur PV

Sites Caractéristiques PV	BEHENJY	SAMBAINA	AMBOHIMANJAKA	ANTETY	A/MANAKANA	MANDALAHY
Puissance unitaire	310 Wc					
Tension nominal unitaire	24VCC	24VCC	24VCC	24VCC	24VCC	24VCC
Tension maximal	36,5VCC	36,5VCC	36,5VCC	36,5VCC	36,5VCC	36,5VCC
Intensité maximal	8,5A	8,5A	8,5A	8,5A	8,5A	8,5A
Nombre des PV	38	42	38	28	38	54
Tension nominale demandé	48VCC	48VCC	48VCC	48VCC	48VCC	48VCC
Nombres des branches des PV	19	21	19	14	19	27

Etude technique pour le remplacement d'une armoire de régulation pour chaque site



Puissance crête totale des modules PV

Afin de connaître la puissance crête totale du générateur PV, il est indispensable de multiplier le nombre des modules aux valeurs de puissance crête unitaire d'un module PV. Chaque site contient deux générateurs PV, c'est-à-dire que chaque site doit contenir deux armoires de régulation.

$$Pct1 = 135 * 100 = 13500Wc$$

$$Pct2 = 310 * 38 = 11780Wc$$

Intensité maximale reçue par branches des modules PV

L'intensité maximale reçue est égale au nombre de branches multiplié par la valeur de l'intensité maximale du module photovoltaïque utilisé.

$$Imr1 = 25 * 7,5 = 187,5A$$

$$Imr2 = 19 * 8,5 = 161,5A$$

Tension maximale reçue par branches des modules PV

La tension maximale reçue est égale au nombre de modules PV en série multiplié par la valeur de la tension maximale unitaire du module PV.

$$Vm1 = 18,1 * 4 = 72,4 VCC$$

$$Vm2 = 36,5 * 2 = 73 VCC$$

L'étude respective des cinq autres sites étudiés (Sambaina, Ambohimanjaka, Antety, Ambalamanaakana et Mandalahy) est représentée en annexe 2.

III-4- Conditions de remplacement de l'armoire de régulation « Multistep PV-S »

Il faut tenir compte de la fonctionnalité continue du site et du générateur photovoltaïque en 24h/24h au moment du remplacement de l'armoire de régulation Enerstat. Les conditions citées ci-après devraient être respectées chronologiquement avant et lors du remplacement de l'armoire de régulation Enerstat par le « Multistep PV-S » :

- Aucune coupure électrique (alimentation sans stop des équipements Télécoms)
- Toutes les données dans l'Enerstat doivent être téléchargées

Pour éviter des imprévus, la dernière étape consiste aux vérifications du fonctionnement de l'armoire « Multistep PV-S ».

III-4-1- Recueil des données dans le régulateur Enerstat

Cette étape fait partie de la deuxième condition du remplacement de l'armoire de régulation Enerstat par « Multistep PV-S » mais pratiquement il est la première parce que l'action de recueil des données dans le régulateur Enerstat demande l'alimentation sinon on ne pourra pas télécharger les données

dans le régulateur Enerstat. En outre, avant de recueillir les données dans l'Enerstat, il est obligatoire de posséder le logiciel Enersoft correspondant à la version du régulateur Enerstat.

Présentation de logiciel d'exploitation Enersoft

Le logiciel d'exploitation sous Windows Enersoft permet la gestion des systèmes d'acquisition de données Enerstat. Il gère une base de données des sites à exploiter. Toutes ces données sont accessibles directement par des liaisons téléphoniques de type GSM, ou bien localement. L'Enerstat est inutile sans le logiciel Enersoft et de plus, la version de ce logiciel doit être compatible à l'Enerstat. C'est à l'aide duquel qu'on peut rapatrier les données dans le régulateur Enerstat. La version de l'Enersoft que nous avons utilisée dans notre étude est l'Enersoft V.4.0.

Principales caractéristiques du logiciel Enersoft

Le logiciel Enersoft contient six modules de paramètres :

- ✓ Paramètres de sélection du site
- ✓ Paramètres d'identification
- ✓ Paramètres télécontrôle
- ✓ Paramètres mesure
- ✓ Paramètre télésurveillance
- ✓ Paramètre de pilotage

Présentation de la fenêtre du logiciel Enersoft

La figure 14 montre la fenêtre du logiciel Enersoft



Figure 14 : Fenêtre du logiciel Enersoft

Afin de rapatrier les données dans l'Enerstat, deux paramètres du logiciel Enersoft doivent être utilisés, dont ils sont respectivement sélection du site et mesure. Mais il est indispensable de connaître les fonctions de tous les six paramètres :

Paramètre de sélection du site

Ce paramètre sert à visualiser la liste des sites et d'en sélectionner un site qui correspond à notre travail ; il permet aussi d'importer ou d'exporter un ou plusieurs sites et enfin il sert à supprimer un ou plusieurs sites.

Paramètre d'identification

Il sert à identifier le site à partir des trois caractéristiques suivantes :

- La description administrative : c'est cette caractéristique qui nous informe la localisation, les usagers, le dimensionnement et les intervenants du site.
- La description technique de l'installation : elle nous informe tout ce qui est à propos de l'équipement comme le PV, le groupe électrogène, la batterie, l'onduleur, et les utilisations.
- La description de paramètre de régulation, des seuils d'alarmes, des entrées logique et analogique.

Paramètre de télécontrôle

Ce paramètre permet de suivre en temps réel les différents paramètres de l'installation PV. Alors les données qui s'affichent dans le paramètre télécontrôle sont des données instantanées qui ne sont pas encore enregistrées.

Paramètre mesure

Ce paramètre permet de consulter ou de récupérer tous les mesures enregistrées d'un site, qui permet de savoir concrètement l'historique journalier et horaire d'un site. En cas où le site d'étude n'est pas encore inséré dans la liste de sélection, il est indispensable d'utiliser le paramètre identification car il sert à créer un nouveau site.

Paramètre de télésurveillance

Il permet de récupérer et de gérer automatiquement les alarmes émises par l'Enerstat. Les alarmes émises sont sous forme de listes déroulantes.

Paramètres de pilotage

Il permet de commander tous les relais dans l'Enerstat.

Ce sont deux paramètres d'entre eux seulement que nous utilisons pour rapatrier les données dans le régulateur Enerstat. Dès que la fenêtre du logiciel Enersoft est ouverte, une fois le bouton est cliqué, cela va continuer.

III-4-2- Remplacement de l'armoire de régulation Enerstat

La raison du remplacement de l'armoire Enerstat par « Multistep PV-S » est d'éviter la rupture de stockage de l'Enerstat à cause de l'achèvement de la fabrication chez le constructeur et de plus

aujourd’hui la technologie ne cesse jamais de s’évoluer alors il est indispensable de la suivre car l’Enerstat est la version la plus ancienne par rapport à celle du « Multistep PV-S ».

Comme ces six sites Télécoms sont des sites stratégiques de l’opérateur Orange, alors il est important d’éviter la coupure électrique des équipements Télécoms durant la mise en œuvre. Chaque site abrite deux générateurs, cela veut dire qu’il y a aussi deux armoires de régulation Enerstat à remplacer. Le générateur PV est la source d’alimentation pour chaque site, par la suite, sa maintenance est une étape primordiale, suivie de la méthode de remplacement de l’armoire de régulation Enerstat par le « Multistep PV-S ».

a- Etape primordiale

Sachant que la coupure électrique pour les sites Télécoms stratégiques est inacceptable, ça peut ruiner l’image de l’entreprise fournisseur de l’énergie électrique aux yeux de leurs clients. Alors pour passer à cette étape primordiale, il est important de vérifier et de bien préparer tous les matériels utiles afin de bien accomplir cette tâche.

Les matériels principaux pour accomplir cette tâchesont les suivants :

- un groupe électrogène
- un chargeur puissant CA/CC-48VCC
- une pince ampérométrique
- un densimètre

Description de chaque matériel principal

Groupe électrogène : Il sert à produire de l’électricité et transformer l’énergie mécanique d’un moteur thermique essence ou diesel en énergie électrique génératrice de courant alternatif pour le démarrage et le fonctionnement du chargeur CA-CC.

Schéma de principe du groupe électrogène

La figure 14 développe le schéma de principe du groupe électrogène

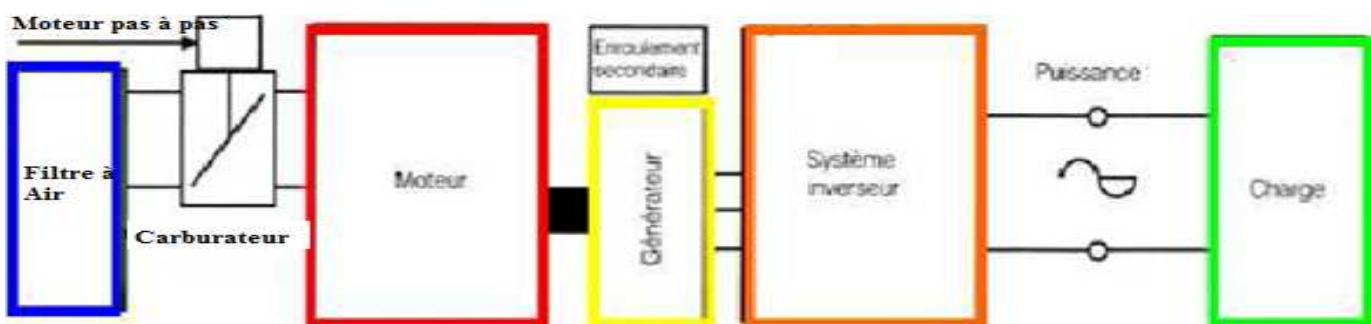


Figure 14 : Schéma du principe du groupe électrogène

Dans cette étude, le groupe électrogène doit avoir une grande capacité de puissance pour assurer son rôle. Celui qui a été utilisé est de 6 kVA.

Chargeur puissant CA-CC : Il sert à charger les accumulateurs avec du courant continu, tandis que sa deuxième fonction est de transformer le courant alternatif en courant continu (AC-DC). Il délivre un courant de 60A au maximum. C'est à partir de la source électrique 230VAC du groupe électrogène qu'on obtient l'alimentation pour le chargeur AC-DC.

Schéma de principe de chargeur CA-CC (230VCA-48VCC)

La figure 15 illustre le schéma de principe de chargeur CA-CC (230VCA-48VCC)

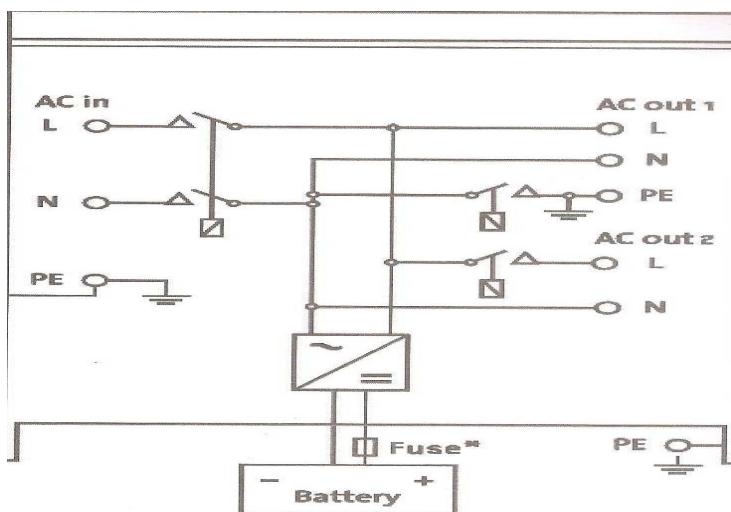


Figure 15: Schéma du principe du chargeur CA-CC (230VCA-48VCC)

Pince ampérométrique : Il permet de mesurer le courant et la tension aux bornes des appareils, soit alternatif soit continu. Leurs valeurs peuvent être mesurées à l'aide d'une pince ampérométrique. Quelques mesures ont été faites pour la vérification entre autres, la tension et le courant aux bornes des modules PV et des batteries, et dans l'armoire de régulation PV.

La figure 16 montre la photo d'une pince ampérométrique.



Figure 16 : Une pince ampérométrique

Densimètre : Il permet de relever la densité de l'électrolyte de l'accumulateur, car tous les accumulateurs de ce chantier photovoltaïque sont à plomb électrolyte liquide. Il nous sert à connaître l'état des batteries à partir de sa densité. Pour le cas d'une batterie normale ou en bon état, la densité est de l'ordre de 1,23 à 1,24g/cm³.

La figure 17 nous montre un densimètre.



Figure 17 : Un densimètre

b- Méthode de remplacement d'armoire de régulation Enerstat par « Multistep PV-S »

Après avoir effectuées les étapes primordiales de la mise en place de l'armoire « Multistep PV-S », le remplacement prend le relais. Vient ensuite l'assurance de la correspondance de la configuration de l'armoire de régulation « Multistep PV-S » à chaque site.

Un chronogramme de tâche dont la descente sur site et la durée de travail de chaque site a été planifié en avance pour ne pas violer les contrats entre Sunenergie et l'opérateur Orange de Madagascar.

Tableau 6: Durée de travail par site

Numéro du jour Tâches du travail	1 ^{ère} journée	2 ^{ème} journée	3 ^{ème} journée	4 ^{ème} journée	5 ^{ème} journée
Trajet vers le site + préparation de travail	→				
Mise en place de la première armoire de régulation Multistep PV-S		→			
Vérification du fonctionnement de la première armoire de régulation			→		
Mise en place de la deuxième armoire de régulation Multistep PV-S				→	
Vérification générale des armoires de régulation					→

Suivant le diagramme de Gantt, chaque mise en place d'une armoire de régulation « Multistep PV-S » s'effectue en une journée.

c- Processus du remplacement de l'armoire de régulation Enerstat par « Multistep PV-S »

Relevé de mesures de chaque générateur

Cette tâche mène à connaître la consommation totale des équipements Télécoms de chaque site, mais il aide également à identifier la différence entre les deux générateurs. Laquelle se trouve au niveau de la consommation et de l'état du générateur PV. La principale cause de la différence entre les deux générateurs PV est distinguée par :

- Le nombre de module photovoltaïque
- La capacité totale des accumulateurs
- La densité de l'électrolyte de chaque accumulateur
- L'énergie fournie par chaque générateur PV

Mise en œuvre de remplacement

Après avoir relevé toutes les mesures nécessaires de chaque générateur, nous allons mettre en valeur la tâche pratique pour remplacer l'armoire de régulation Enerstat par « Multistep PV-S ».

La première est de remplacer une armoire en une journée. Pour s'y mettre, on a choisi d'enlever l'armoire de régulation Enerstat d'un générateur plus faible, mais avant d'enlever totalement l'armoire de régulation Enerstat, il est obligatoire de démarrer le groupe électrogène et de brancher le chargeur puissant CA-CC à l'autre générateur plus fort afin qu'il remplace le générateur non fonctionnel temporaire.

La deuxième journée, consiste à vérifier le fonctionnement de l'armoire de régulation « Multistep PV-S », son paramétrage et tout ce qui peut être vérifié dans cette armoire. Quand elle fonctionne normalement, la dernière phase qui ne doit pas être oubliée, c'est d'assurer le paramètre de supervision du site.

Enfin, les troisième et quatrième journées, les travaux sont respectivement, refaire et vérifier toutes les étapes de la première tâche. Pour les six sites, tous ces travaux ont été faits pour les six sites sélectionnés.

Conclusion

La mise en place de l'armoire de régulation « Multistep PV-S » est réussie grâce au respect des étapes suivantes :

- Le bon déroulement de la descente sur les six sites
- L'étude de la proportionnalité de l'armoire de régulation
- La considération de l'importance du professionnalisme en respectant les conditions de travail

- La mise en valeur de chaque démarche à suivre durant le travail

En résumé, chaque étape dans la mise en place de l'armoire de régulation est très importante. Pour mieux comprendre en ce qui concerne une armoire de régulation, le chapitre suivant présente l'étude comparative entre l'armoire de régulation Enerstat et le « Multistep PV-S ».

Chapitre IV : ETUDE COMPARATIVE ENTRE L'ARMOIRE DE REGULATION ENERSTAT ET LA MULTISTEP PV-S

IV-1-Introduction

Dans notre étude nous avons deux régulateurs, celle à remplacer et celle à mettre en place. Ils ont chacun sa particularité sur leur forme mais le point commun est leur rôle. Tous les deux servent à gérer le système PV et assurer le contrôle de charge et de décharge de la batterie. Tout d'abord nous allons voir tout ce qui est à propos de l'Enerstat puis le régulateur de charge PV « Multistep PV-S ».

IV-2-Armoire de régulation Enerstat

Introduction

Le régulateur Enerstat est adapté parfaitement aux systèmes photovoltaïques afin de gérer l'optimisation du régime de charge et de décharge des accumulateurs. Par conséquent, il assure considérablement la durée de vie des batteries. L'armoire de régulation Enerstat se diffère selon les demandes nécessaires du générateur photovoltaïque. Voyons par la suite, les types d'armoire de régulation Enerstat et leur détail, suivi des processus de fonctionnement de l'armoire de régulation Enerstat et enfin ses caractéristiques.

IV-2-1- Types d'armoire de régulation Enerstat

L'armoire de régulation Enerstat existante est alimentée par un générateur photovoltaïque, pour celle de Télécoms, elle peut se distinguer en deux parties :

- Armoire de régulation Enerstat de 300A-48VCC
- Armoire de régulation Enerstat de 450A-48VCC

Typiquement, ces deux armoires ont été choisies suivant l'étude de la puissance totale du champ photovoltaïque et de la capacité des accumulateurs.

Armoire de régulation Enerstat de 300A-48VCC

Elle se compose par des deux régulateurs Enerstat de module de base et quatre de modules d'extension. Chaque régulateur ENERSTAT de base caractérise de tension continue 48VCC et de courant de puissance de 30A et pour le modules d'extension se comporte avec de tension 48VDC et de courant de puissance 60A chacun.

Armoire de régulation Enerstat de 450A-48VCC

Elle se compose par des trois régulateurs Enerstat de base et six unités de modules d'extension. Chaque régulateur Enerstat de base se comporte avec de tension continue 48VCC et de courant de puissance de 30A et pour le modules d'extension se comporte avec de tension 48VCC et de courant de puissance 60A chacun.

IV-2-2- Fonctionnement de l'Enerstat

Le régulateur Enerstat assure le bilan énergétique complet de l'installation photovoltaïque et l'analyse détaillée du système PV. Le fonctionnement de l'armoire de régulation Enerstat possède des processus particuliers que nous allons détailler pour la suite.

Processus d'affichage

Ce processus permet d'afficher des mesures directes du courant continu des modules photovoltaïques, l'utilisation de l'équipement, l'ensoleillement, l'énergie à la sortie de l'onduleur, l'utilisation CA, le chargeur du groupe électrogène, le chargeur auxiliaire et la température des accumulateurs.

Dans ce processus d'affichage, il permet aussi d'afficher des mesures calculées comme l'irradiation solaire journalière, l'énergie du champ photovoltaïque, les énergies consommées en mode continue, l'énergie à l'entrée de l'onduleur, l'énergie à la sortie du chargeur du groupe électrogène.

Processus de télésurveillance

Il contrôle les systèmes photovoltaïques à l'aide de l'indication d'alarme qu'il émit automatiquement vers le modem GSM, RTC ou de satellite vers un ordinateur d'exploitation. Il peut aussi signaler par clignotement d'un voyant rouge qui marque une anomalie des systèmes photovoltaïques.

Processus d'enregistrement :

Il possède une mémoire qui assure le stockage des données de toutes les actions qui se passe durant la journée. L'autonomie de la mémoire de données est supérieure à deux ans. Toutes les valeurs mesurées et calculées que ce soient maximales ou minimales ainsi que les alarmes sont enregistrées dans l'Enerstat. Quand le stockage de la mémoire est plein, il fallait rapatrier les données stockées par le logiciel d'exploitation sous Windows Enersoft.

Processus de régulation

Toutes les valeurs mesurées et calculées sont régulées selon les demandes des utilisateurs et aussi selon les valeurs originales qui correspondent au régulateur.

Le régulateur Enerstat assure la régulation de :

- La charge de la batterie par modulation de largeur d'impulsion.
- La limitation de décharge de la batterie par déconnexion des récepteurs continus
- La charge forcée de la batterie périodique
- L'alarme tension batterie haute et basse

Le seuil de régulation peut se changer en appuyant manuellement sur le bouton de l'Enerstat mais de ce côté il y a des seuils de régulation qui doit se changer par un ordinateur avec le logiciel « enersoft » comme le seuil d'alarme par exemple.

Tableau de seuil d'alarme de régulation par élément de batterie

Tableau 7: Seuil d'alarme de régulateur Enerstat

Caractéristiques des alarmes	Tension de batterie/élément
Tension d'alarme batterie haute	2,500V/elt
Tension de fin d'alarme batterie haute	2,415V/elt
Tension d'arrêt en charge forcée	2,415V/elt
Tension de régulation (arrêt de charge)	2,350V/elt
Tension de remise en charge	2,150V/elt
Tension d'alarme batterie basse	1,950V/elt
Tension de fin d'alarme batterie basse	2,150V/elt
Tension de limitation (coupure utilisation)	1,900V/elt
Tension de remise en service utilisation	2,150V/elt

Processus de télémesures

Ce processus permet d'envoyer automatiquement des données détaillées ou journalières vers l'ordinateur de supervision. Il permet aussi d'appeler l'ordinateur de supervision à l'aide de l'apparition ou de la disparition d'une ou plusieurs de signes alarmes.

Processus de pilotage

L'Enerstat peut piloter le démarrage ou l'arrêt du groupe électrogène à partir d'un seuil de tension batterie ou d'une horloge. Il peut commander des relais à partir de l'horloge.

En générale, ces cinq processus de fonctionnement définissent la fonction de régulateur Enerstat dans un générateur photovoltaïque. Afin de mieux connaître le régulateur Enerstat, nous allons passer à l'étape détaillant sa caractéristique.

IV-2-3-Caractéristiques de l'Enerstat

Le régulateur Enerstat est divisé en trois parties dans l'armoire de régulation, qui sont le régulateur de module de base, de module d'extension et de module de décharge.

Avant d'aborder les caractéristiques de l'armoire ENERSTAT, il est nécessaire de savoir distinguer la différence entre le module de base, le module d'extension et le module de décharge.

Module de base : c'est le régulateur principal qui gère tous les systèmes photovoltaïques et celle qui possède l'écran d'affichage. Il ne supporte que 30A d'intensité au maximum avec de tension d'alimentation 48VCC.

Module d'extension : c'est un régulateur de puissance mais géré par le module de base, il ne possède pas d'écran d'affichage. Il peut supporter des charges de courant supérieur à 40A jusqu'à 60A au maximum et avec une tension d'alimentation 48VCC.

Module de décharge : C'est un régulateur de puissance mais géré par le module de base, il ne possède pas d'écran d'affichage. Il peut supporter des décharges de courant plus de 40A jusqu'à 60A au maximum et avec de tension d'alimentation 48VCC.

Schéma type du module de base, module d'extension et module de décharge



Figure 19 : Schéma de l'ensemble de régulateur Enerstat

Le régulateur Enerstat possède plusieurs caractéristiques à savoir que nous allons aborder par la suite.

Au niveau de boitier

Tous les boîtiers possèdent sa matière première de fabrication qui donne son poids. Le boîtier d'Enerstat a été fait en métal et posé sur rail DIN et il pèse de 210g.

Au niveau de l'alimentation

Il existe deux modèles d'Enerstat et il se diffère suivant la tension nominale de fonctionnement :

L'Enerstat de 12 ou 24VDC de tension continue qui peut tenir une tension continue de 10VCC à 35VCC.

L'Enerstat de 48VCC de tension continue qui peut tenir une tension continue de 10VCC à 70VCC. Celui qui nous intéresse, c'est celui de 48VCC. Au sein de l'installation photovoltaïque pour Télécom, l'alimentation des équipements est de la tension nominale 48V continue.

Au niveau d'utilisation

Le régulateur Enerstat fait partie de la technologie très fiable. Son utilisation est inséparable au logiciel d'exploitation sous Windows enersoft. Ce logiciel qui assure le bon fonctionnement du paramétrage de l'Enerstat et aussi permettant d'obtenir la supervision du système photovoltaïque. Il est très important aussi de savoir que l'Enerstat possède des versions, la dernière version de l'Enerstat est la version v4.0 et pareil pour le logiciel d'exploitation sous Windows Enersoft. Elle doit être proportionnelle à celle de ce logiciel.

Au niveau de raccordement

L'Enerstat possède sa norme de raccordement, afin d'éviter des anomalies qui peuvent arriver à l'installation. Comme l'installation photovoltaïque pour Télécom fournit de tension nominale continue 48VCC, donc le convertisseur de tension continue en alternative n'est pas utile au sein de l'installation.

Schéma synoptique de raccordement de champ photovoltaïque, les accumulateurs et le régulateur Enerstat

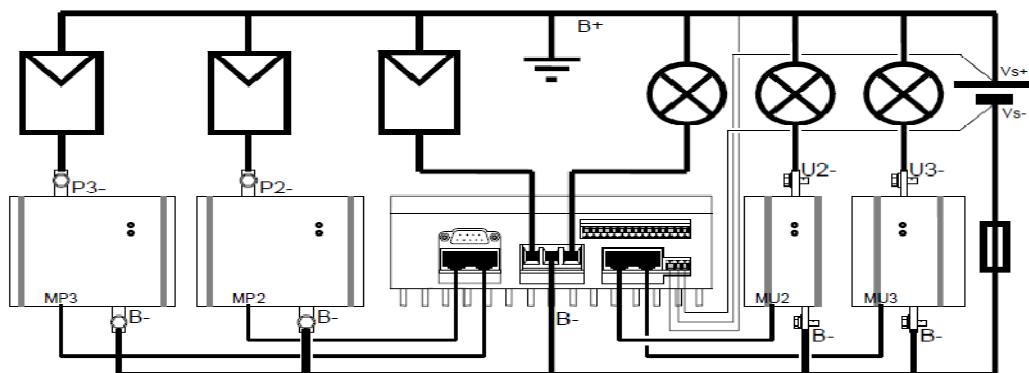


Figure 20 : Raccordement du régulateur Enerstat au sein du générateur PV

Au niveau de communication

Comme l'Enerstat possède un mode de télésurveillance qu'on le relie avec le modem GSM, RTC ou un satellite vers un ordinateur d'exploitation. Il est donc important de savoir l'installation du modem relié avec l'Enerstat qui assure l'acquisition des données à distance.

Schéma d'application d'Enerstat avec un modem GSM Wavecom

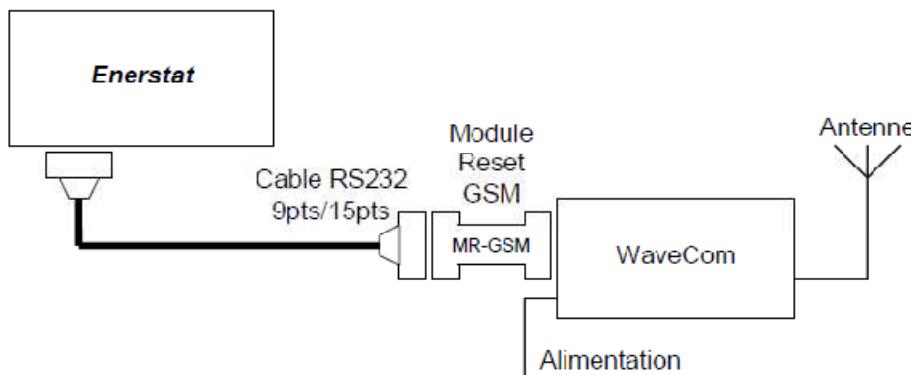


Figure 131: Application du régulateur Enerstat avec le modem GSM Wavecom

Schéma de l'application de l'Enerstat avec un modem RTC type Telsat

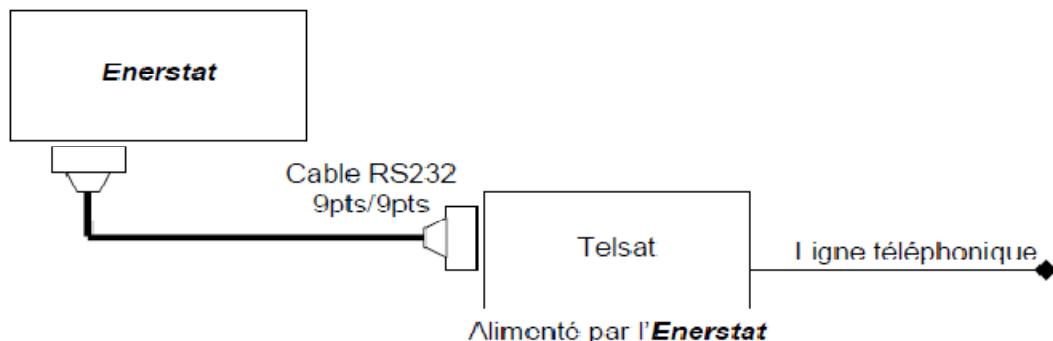


Figure 142 : Application du régulateur Enerstat avec un modem RTC type Telsat

Ces deux types de modem ont une différence au niveau de l'alimentation de fonctionnement, ces deux types de modem qui assurent la supervision du générateur photovoltaïque à distance et c'est à partir desquels qu'on peut acquérir les données du générateur PV à distance.

Pour le GSM WaveCom :

- ★ Pour l'installation de 220 VCA, le modem est alimenté à l'aide d'une alimentation 220VCA/12VCC avec courant de sortie de 1A.
- ★ Si la tension nominale de la batterie est de 12VCC, l'alimentation du modem se fait directement à partir de la batterie.
- ★ Si la tension nominale de la batterie est de 24VCC ou 48VCC, l'alimentation du modem se fait par le convertisseur CC/CC MCB 9-80/30VCC maximum.

Pour le modem RTC type Telsat

- ★ Si l'installation est de 220 VCA, le modem est alimenté à l'aide de l'alimentation 220VCA/7,5VCC fourni avec le modem.

- ☆ Si la tension nominale de la batterie est de 12VCCC ou 24VCC, l'alimentation du modem se fait via le convertisseur CC/CC MCI 9-40/12VCC ou 9VCC.
- ☆ Si la tension nominale de la batterie est de 48VDC, l'alimentation du modem se fait via le convertisseur CC/CC MCI 18-80/12VCCou 9VCC.

Alors quoiqu'il en soit la tension nominale des générateurs photovoltaïques, ces deux modems sont toujours fonctionnels.

Au niveau des Composants

L'armoire de régulation électrique doit contenir des composants qui donnent des performances et des confort aux armoires. Les composants assurent le bon fonctionnement de l'armoire de régulation Enerstat. Ce sont des fusibles à couteau, un relais à mercure, des barres de cuivre, des disjoncteurs, des bornes vikings et des varistances.

Tableau 8: Avantages et inconvénients de l'Enerstat

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<p>Disponible selon la tension nominale CC désirée : 12, 24, 48VCC</p> <p>Technologie d'une fiabilité exceptionnelle</p> <p>Permettant d'acquérir des données optimisées</p> <p>Boitier dur et incassable</p> <p>Charge de batterie par modulation de largeur d'impulsion (PWM)</p> <p>Avoir la capacité du télécontrôle et de la télésurveillance</p> <p>Données rapatriées très claires</p>	<p>Ancienne technologie par rapport à l'évolution du high-tech</p> <p>Rupture de production au sein de ses constructeurs</p> <p>Sensible à la foudre à la saison de l'été</p> <p>Supervision à modem GSM</p> <p>Rapatriement des données dépend de l'Enersoft</p>

IV-3-Armoire de régulation « Multistep PV-S »

Introduction

Le régulateur « Multistep PVS », c'est le mélange entre le régulateur energpac et l'Enerstat. En tant que régulateur, il est créé aux systèmes photovoltaïques pour assurer la gestion de l'optimisation de régime de charge et de décharge de la batterie d'accumulateur. Il assure considérablement la durée de vie des batteries. Pour bien établir l'armoire de régulation « Multistep PV-S », d'abord il est nécessaire de distinguer les différents types d'armoires de régulation « Multistep PV-S » qui sont détaillés ci-après, ensuite établir les processus de fonctionnements et enfin, connaître les caractéristiques de l'armoire de régulation « Multistep PV-S ».

IV-3-1-Différents types d'armoire de régulation « Multistep PV-S »

Le régulateur Multistep PVS se diffère selon la configuration, cette dernière est rechargée suivant les demandes nécessaires aux générateurs photovoltaïques. Le régulateur « Multistep PV-S » n'est pas un régulateur de puissance et il assure les commandes de relais de charge et décharge.

On peut distinguer en trois parties les configurations de Multistep PVS.

- Configurations de 190A-48VCC
- Configurations de 330A-48VCC
- Configurations de 450A-48VCC

Chaque configuration possède son importance. C'est la configuration qui façonne le comportement de l'armoire de régulation. Mais il faut connaitre que chaque configuration possède aussi des différentes composantes.

Nous allons détailler chaque configuration d'armoire de Multistep PVS.

« Multistep PV-S » configuré de 190A-48VCC

Dans cette armoire, il contient un régulateur Multistep PVS avec un afficheur.

Autrement dit, il possède trois relais de charge à mercure, ce sont des relais de puissance.

Ces trois relais de charge se comportent comme suit :

Le premier relai de charge est de 48VCC-100A

Le deuxième relai de charge est de 48VCC-60A

Enfin, celui de 48VCC-35A

« Multistep PV-S » configuré de 330A-48VCC

Pour l'armoire de régulation « Multistep PV-S » configurée de 330A-48VCC, elle contient deux régulateurs « Multistep PV-S », la principaleMultistep PVS c'est celle qui possède un afficheur mais la deuxième Multistep PVS est une extension sans affichage.

Cette armoire contient quatre relais de charge comme suit :

Les trois relais de charge sont de 48VCC-100A

Celui du dernier est de 48VCC-35A

« Multistep PV-S » configuré de 450A-48VCC

Cette armoire est laquelle qui peut supporter la plus grande puissance d'entre elles. Elle possède deux Multistep PVS, l'une est celle qui possède un afficheur et l'autre est un régulateur Multistep PVS d'extension. L'armoire de régulation « Multistep PV-S » contient six relais de charge. Ils se rangent comme suit :

Premièrement, il contient trois relais de charge 48V de 100A.

Puis deux relais de charge sont de 48VCC-60A

Et un relais de charge est de 48VCC-35A.

Toutes ces trois armoires de régulation « Multistep PV-S » possèdent son point commun, lequel est la possession de relais de décharge, celle qui assure la liaison des générateurs photovoltaïques vers les équipements ou les utilisations.

Photo d'un régulateur Multistep PVS



Figure 153: Vue de face du Multistep PV-S
IV-3-2-Processus de fonctionnements du « Multistep PV-S »

Le régulateur « Multistep PV-S » assure le bilan énergétique complet de l'installation photovoltaïque et l'analyse détaillée d'un générateur photovoltaïque.

Processus d'affichage :

Ce processus permet d'afficher des données collectées directes et aussi des données calculées.

Les données collectées directes par le « Multistep PV-S » sont : les courants continus des champs photovoltaïques, les températures des accumulateurs, l'ensoleillement, la tension des accumulateurs, le courant d'utilisation des équipements, les nombres des alarmes avec ses noms, l'énergie sortie par « Genset » CA et l'énergie sortie de l'onduleur.

Les données calculées par le « Multistep PV-S » sont : l'irradiation solaire journalière du champ photovoltaïque, l'énergie totale du champ photovoltaïque et l'énergie entrée de l'onduleur.

Tout ce qui est utile à voir dans un système photovoltaïque est visible sur l'affichage du « Multistep PV-S ».

Processus de télésurveillance :

Il contrôle les systèmes photovoltaïques à l'aide de l'indication d'alarme qu'il émit automatiquement vers un ordinateur d'exploitation par son mode GPRS intégré. Il peut signaler par clignotement d'un voyant rouge qui marque une anomalie des systèmes photovoltaïques.

Processus d'enregistrement

Il possède une mémoire interne qui assure le stockage des données de tous les fonctionnements des générateurs photovoltaïques qui se passent durant la journée. Toutes les valeurs mesurées et calculées maximales ou minimales ainsi que les alarmes sont configurées dans le « Multistep PV-S ». Les données stockées dans le « Multistep PV-S » peuvent acquérir par un clé USB.

Processus de régulation

Toutes les valeurs mesurées et calculées sont régulées selon les demandes des utilisateurs ainsi que tous les seuils de valeurs de régulations sont également configurées à partir du « SMS Admin Tools » par adresse IP spécialisée au « Multistep PV-S ». Le Multistep PVS régule la charge de la batterie selon la tension de régulation de charge voulue, ensuite il assure la limitation de décharge de la batterie par déconnexion des récepteurs, troisièmement il peut limiter la charge forcée de la batterie périodique et enfin il régule les seuils alarmes tension batterie haute et basse.

Pour le « Multistep PV-S », toutes fausses manipulations de paramétrage ou fausses valeurs insérées en lui créent des alarmes. Il est très nécessaire de bien paramétrer le « Multistep PV-S » en évitant les alarmes.

Processus de télémesures

Il affecte le système photovoltaïque dans une adresse IP après l'installation de l'armoire, et que par ce processus le « Multistep PV-S » peut accéder dans le « SMS ». Il envoie automatique des données détaillées ou journalières vers le monitoring à partir du GPRS intégré, qui assure les enregistrements de fonctionnement du générateur photovoltaïque.

La date et l'heure d'envoi des données correspondent à l'heure de fonctionnement du générateur photovoltaïque.

Processus pilotage

Le régulateur « Multistep PVS » peut piloter le démarrage ou l'arrêt de n'importe quel « Genset » à partir d'un seuil de tension batterie ou d'une horloge. L'armoire de régulation « Multistep PV-S » est faite pour une armoire de système hybride.

IV-3-3-Caractéristiques du « Multistep PV-S »

Chaque « Multistep PV-S » porte son numéro de série afin de bien renommer le site. Le régulateur « Multistep PV-S » est parfois divisé en deux parties dans l'armoire de régulation, sauf dans l'armoire de régulation configuré de 190A-48VCC qu'il n'a qu'une seule partie.

L'armoire de régulation Multistep PV-S possède deux parties de régulateur. Premièrement c'est de connaître le régulateur « Multistep PV-S » principal et enfin celui de l'extension.

« Multistep PV-S Offgrid 1 » : Principalement, il assure les commandes des relais de charge et de décharge. Il est conçu avec un afficheur et avec une pose d'antenne pour le GPRS intégré.

« Multistep PV-S-2 extension » : Sa fonction est assurée de contrôler toutes les alarmes, ensuite il assure le fonctionnement d'irradiation solaire et enfin la détection de température. Il est sans afficheur.

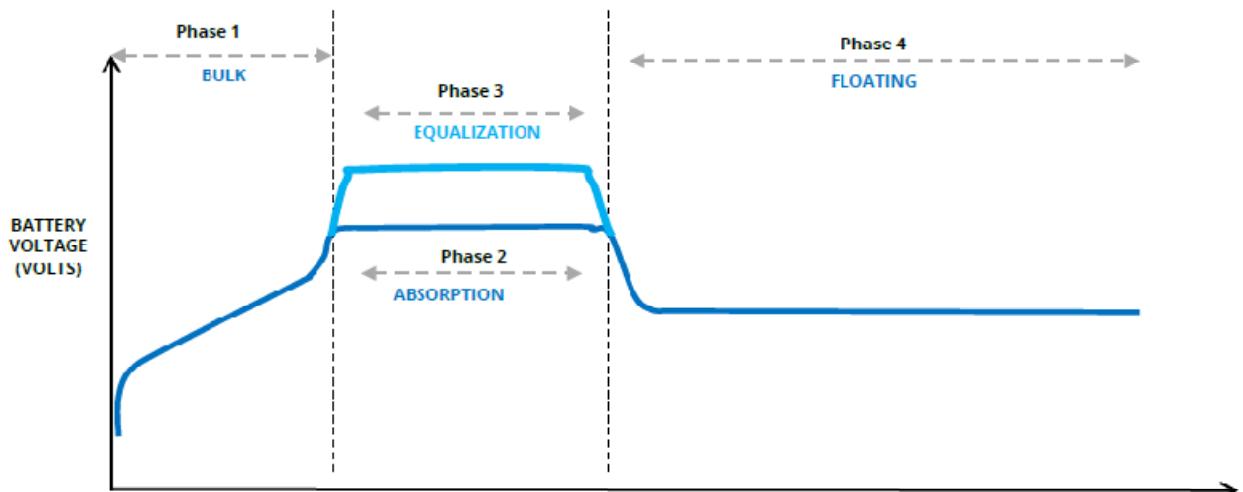
Relation entre le « Multistep PV-S » et le régulateur « MPPT »

L'algorithme conçu pour le « Multistep PV-S » est un algorithme de traquer la puissance maximale de l'énergie captée par les champs photovoltaïques. Le mode de phase de charge « Multistep PV-S » est divisé en quatre :

- Phase de bulk
- Phase d'absorption
- Phase d'égalisation
- Phase de Floating

Le MPPT est aussi conçu pour cet algorithme, et il suit aussi le même mode de phase de charge. L'armoire de régulation « Multistep PV-S » est alors capable de fonctionner comme un régulateur MPPT.

Schéma graphique de la phase de charge de « Multistep PV-S » [12]



Pour mieux connaître toutes les caractéristiques de l'armoire de régulation « Multistep PV-S », nous allons montrer les différents types de configurations de cette armoire, il ne fallait pas oublier que cette armoire possède aussi d'autres composants tels que les fusibles à couteau, les disjoncteurs, les répartiteurs des branches et l'inverseur de source.

Fenêtre de paramétrage de « Multistep PV-S »



Figure 25: Fenêtre de paramètre du Multistep PV-S

Pour accéder à la fenêtre de paramètre du « Multistep PV-S », il est obligatoire posséder un compte d’utilisateur fourni par l’entreprise Sunpower Compagny en tant que représentant de ses productions. C’est l’entreprise Sunpower Compagny qui crée le compte d’accès au menu de paramétrage. La fenêtre que nous présentons montre le menu de paramétrage de tout ce qui est rattaché à l’armoire de régulation.

1. Paramètre de valeur correspondant au fonctionnement du « Multistep PV-S » avec les batteries, les relais, la sonde de température, la sonde d’ensoleillement, la régulation d’alarme, etc.
2. Bouton de commande pour la configuration de « Multistep PV-S »
3. Commande d’activation de relais de charge et relais de décharge et tout ce qui possède des analogiques d’entrées.

Cette armoire « Multistep PV-S » contient des composants de différents types, comme suit :

1. Sectionneur de mise en parallèle avec des autres sources (Jeu de barre)
2. Relais de charge et relais de décharge
3. Disjoncteur à fusible
4. Fusible à couteau
5. Répartiteurs de branches PV
6. « Multistep PV-S »

Généralement, tous ces six composants sont les contenus dans l'armoire de régulation « Multistep PV-S » et chaque composant est très important.

Tableau de récapitulation des avantages et des inconvénients du « Multistep PV-S »

Tableau 9: Avantages et inconvénients du Multistep PV-S

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Technologie fiable et très moderne Disponible pour la tension nominal 24 et 48VCC Capable de gérer le système en mode de charge MPPT Permettre d'acquérir des données optimisées Non attirance à la foudre Avoir la capacité du télécontrôle et de la télésurveillance. Rapatriements des données efficaces	Boitier du « Multistep PV-S » fragile Données rapatriées pas très claires Dépendant des relais à mercures.

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

V-1-Résultats

Sur l'étude de la mise en place de l'armoire de régulation, un champ PV doit avoir une armoire de régulation. Cette armoire a pour rôle de contrôler la charge et la décharge de la batterie du capteur solaire PV. Le but de notre étude est que la « Multistep PV-S » possède la fonction de contrôleur de charge et de décharge de la batterie sur les six chantiers PV comme l'Enerstat. Autrement dit, notre étude a pour but de lier l'étude technique théorique de l'armoire de régulation et l'armoire de régulation existant (Enerstat et Multistep PV-S).

Sachant que le fait d'utiliser l'étude technique théorique sur notre étude nous donne de résultats qualitatifs parce qu'il s'agit de connaître la liaison entre la valeur théorique de l'armoire de régulateur et la capacité réelle de l'armoire de régulation.

Données des études pour les six sites étudiés

A travers ces six sites que nous avons étudiés, chaque PV du site possède sa particularité sur l'armoire de régulation selon le tableau 10 ci-après :

Tableau 10 : PV de chaque site

Capacités Site	Energie fourni par PV	Enerstat réel	Multistep PV-S réel
BEHENJY	187,5A-72,4VCC	300A-48VCC	330A-48VCC
	161,5A-73VCC	300A-48VCC	330A-48VCC
SAMBAINA	240A-72,4VCC	450A-48VCC	450A-48VCC
	178,5A-73VCC	300A-48VCC	330A-48VCC
AMBOHIMANJAKA	187,5A-72,4VCC	300A-48VCC	330A-48VCC
	161,5A-73VCC	300A-48VCC	330A-48VCC
ANTETY	292,5 A-72,4VCC	450A-48VCC	450A-48VCC
	119A-73VCC	300A-48VCC	190A-48VCC
AMBALAMANAKANA	187,5A-72,4VCC	300A-48VCC	330A-48VCC
	161,5A-73VCC	300A-48VCC	330A-48VCC
MANDALAHY	229,5A-73VCC	450A-48VCC	450A-48VCC
	229,5A-73VCC	450A-48VCC	450A-48VCC

V-2-Discussions

L'analyse des données révèle que la capacité de l'énergie fournie par les modules PV est inférieure à celle de l'armoire de régulation qui assure la gestion de l'énergie reçue par les modules PV.

Il y a de l'écart entre les capacités théoriques et les capacités réelles de l'Enerstat, de même pour le « Multistep PV-S », deux méthodes peuvent expliquer cet écart de capacités. D'abord, sur le plan technique les écarts des valeurs entre les études théorique et pratique sont très importants. En général, la valeur théorique est toujours inférieure à celle de la pratique. Cette raison a été prise pour éviter des réchauffements des matériels. Alors cet écart de valeur entre ces deux études a pour but de protéger les matériels aux réchauffements. Ensuite, cet écart est indispensable. Il est considéré comme des marges qui peuvent conduire à la longévité des matériels pour sa rentabilité.

Mais ce n'est pas la seule cause de cet écart. En effet, de nombreux ingénieurs professionnels très compétents ont été rassemblés pour étudier le choix possible de l'armoire de régulation PV à mettre en place pour les six sites Behenjy, Sambaina, Ambohimanjaka, Antety, Ambalamanakana et Mandalahy. Alors, ils n'ont pas choisi cette armoire de régulation par hasard, ils les ont choisis avec tant d'études et d'expériences avant de les commercialiser et les installer dans des chantiers PV.

Conclusion

Cette première partie d'étude permet d'analyser les éléments constitutifs d'un système PV. Cette analyse a permis de dégager la valeur de l'armoire de régulation au sein du système PV, les processus utile et efficace en remplaçant l'armoire de régulation Enerstat par le Multistep PV-S et enfin la comparaison de ces deux types d'armoire de régulation.

Cette étude montre que la mise en place de l'armoire de régulation du système PV procède par des descentes sur terrain et des mesures d'accompagnement à suivre pour bien mener notre étude. Ces dernières guident à connaître les tâches de travail que nous devons prendre afin d'accomplir cette étude.

Plusieurs indicateurs caractérisent la descente sur terrain du chantier PV, entre autre la puissance crête totale des PV, la capacité de l'armoire de régulation, la capacité totale de la batterie et l'énergie consommée journalière. Ces indicateurs sont très utiles pour le choix de l'armoire de régulation « Multistep PV-S » à installer.

L'armoire de régulation « Multistep PV-S » est un contrôleur de charge et de décharge de la batterie conçue pour un système PV et une des dernières technologies fabriquées par Sunpower Compagny.

L'accomplissement de la mise en place de l'armoire de régulation a été fait par la mise en valeur de la condition de mise en place de l'armoire et de respecter la durée de la mise en place de chaque site étudié.

Enfin, la comparaison entre l'Enerstat et le Multistep PV-S est basée sur les avantages et inconvénients de chacun. Il nous a permis de connaître que l'Enerstat est un régulateur ancien par rapport au Multistep PV-S et il nous a permis aussi de connaître ses modes d'utilisations.

En conclusion, ces deux régulateurs ont la même fonctionnalité dans un système PV et c'est l'évolution de la technologie qui détermine la différence entre eux. Les résultats de cette présente étude montrent clairement que la mise en place de l'armoire de régulation Multistep PV-S est possible.

PARTIE II : CONCEPTION ET REALISATION D'UNE APPLICATION DIMENSIONNEMENT SOLAIRE A BASE D'EXCEL VISUAL BASIC

CHAPITRE I : GENERALITES DU DIMENSIONNEMENT SOLAIRE

I-1-Introduction

Le bon dimensionnement du système photovoltaïque est une étape essentielle qu'il faut bien à maîtriser. Cette phase est la phase primordiale avant d'installer un système photovoltaïque. Il s'agit de trouver le meilleur compromis entre le besoin en électricité et les coûts des générateurs à installer. Dans cette dernière partie, l'étude est de concevoir et de réaliser un dimensionnement solaire à base d'un langage programmation d'Excel « Visual basic ». L'objectif de cette dernière partie est d'avoir la capacité à dimensionner des habitats, ou des sites isolés ou autonomes d'un système photovoltaïque. Durant le stage, le dimensionnement solaire est une tâche de travail primordial au sein du service d'étude de suivi et de contrôle technique. Avant d'aborder le projet de dimensionnement solaire à base de programmation « Visual basic », la connaissance des étapes à suivre pour arriver à établir un bon dimensionnement solaire est indispensable :

- ☆ Connaitre la situation géographique du site à installer de système photovoltaïque
- ☆ Déterminer l'énergie journalière moyenne consommée et la périodicité de l'utilisation
- ☆ Connaitre l'ensoleillement global journalier
- ☆ Connaitre l'orientation et l'inclinaison optimales du système photovoltaïque par rapport à l'horizontal
- ☆ Déterminer la capacité du champ photovoltaïque, la capacité de stockage, la capacité durégulateur et du convertisseur CC-CA.

Afin de bien comprendre le projet de conception et de réalisation d'une application de dimensionnement solaire, l'établissement d'une démarche pour effectuer ce projet est utile. Cette démarche est définie dans le schéma synoptique présenté dans la figure 31 :

Schéma synoptique de la démarche du projet

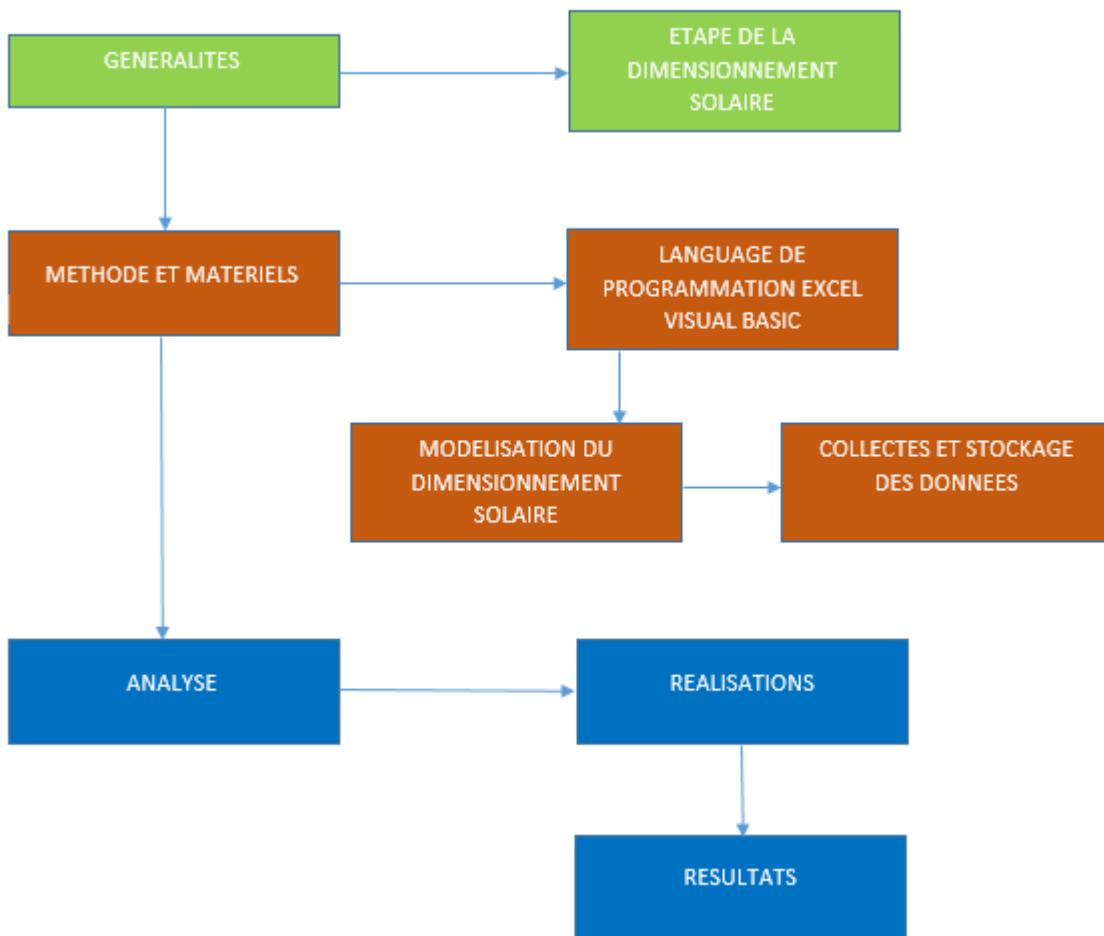


Figure 26 : Démarche du projet de dimensionnement solaire

I-2-Etapes de dimensionnement solaire

I-2-1-Situation géographique du site

Nous prenons comme exemple à étudier le site Télécoms de l'opérateur Orange du District de Fandriana. Le chantier photovoltaïque du site Fandriana a été déjà équipé de système photovoltaïque. Mais le fait de choisir ce site, ce qu'il est souvent rencontré par des problèmes de basses tensions des accumulateurs. Afin de le résoudre, il est très utile de redimensionner ce site.

Description du site [11]



Figure 27: Le site de Fandriana

Ce site se situe environ à 4km à l'Est du District de Fandriana, dans la Région d'Amoron'i Mania.

Caractéristiques techniques du site de Fandriana :

Il fait partie du site Télécoms stratégique de l'opérateur Orange.

Panneaux solaires :

Le panneau solaire est de 135Wc avec de tension de 12VCC chacun, il se compte aux 76 unités, sa puissance crête totale est de 10260Wc de type polycristalline, fabriqué en France par la Société TENESOL.

Armoire de régulation :

L'armoire de régulation est basée par des régulateurs de charge Enerstat, elle est composée de module d'extension et de régulateur de base Enerstat. Une des parties importantes dans cette armoire, est celle de protections comme des fusibles, des disjoncteurs, etc...

Accumulateur :

La batterie est du type d'accumulateur au plomb, la capacité de cet accumulateur est de 1200Ah avec une tension nominale de 2V, chacun de type 12OPzS, sa marque est Hoppecke, fabriqué en Allemagne et l'autre parc d'accumulateur est de 915Ah avec une tension nominale de 2VCC type TYS 6 fabriqué Ecosafe des Etats-Unis d'Amérique. Les batteries de 12OPzS se comptent aux 24 unités, de même nombre que celles du type TYS 6.

Puissance totale installée :

Champ photovoltaïque total : 10260Wc

Tension demandée : 48VCC

Armoire de régulation : Une armoire de 300A-48VCC

Capacité totale des batteries : 2115Ah-48VCC

Coordonnées géographiques du site

Comme la terre est une sphère qui tourne autour d'un axe passant par le pôle nord et le pôle sud, tous lieux sur la surface terrestre sont caractérisés par sa latitude et sa longitude. Ces deux grandeurs représentent les coordonnées géographiques de ce point et cela s'ajoute son altitude.

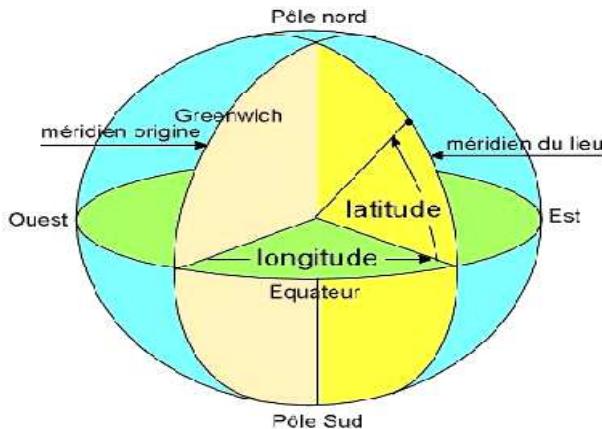


Figure28 : Longitude et latitude sur le globe terrestre

Pour le site du Fandriana, sa longitude est de $47^{\circ}24'6.70''$ Est et sa latitude est de $20^{\circ}15'32.83''$ Sud.

I-2-2-Détermination de l'énergie consommée journalière

Dans cette étude, il a pour but de connaître l'énergie consommé journalière.

La durée du temps d'utilisation du site Télécoms Fandriana est de 24 heures (t).

La puissance de l'équipement du Télécom installé est équivalente de 1500Watts (P). Par conséquent,

$$Ecj = P*t = 1500W * 24h = 36\,000 \text{ Wh/jour}$$

L'énergie journalière moyenne consommée sur ce site est bien élaborée dont elle dépend de la puissance des équipements utilisés. Il faut savoir que les équipements Télécoms ont de périodicité d'utilisation de 24/24 heures.

I-2-3-Ensoleillement global du site Fandriana

Le générateur PV dépend complètement de l'ensoleillement, alors il est indispensable de connaître l'ensoleillement global journal ou mensuel du site à étudier [13].

Tableau 11 : Irradiation solaire mensuelle sur le plan horizontal du Fandriana

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Irradiation solaire	5.64	5.40	5.19	4.80	4.24	3.84	4.10	4.92	5.90	6.12	6.21	5.91

L'unité de mesure de l'irradiation solaire est de kWh/m²/jour, suivant ce tableau 10, l'irradiation solaire moyenne du site de Fandriana est de 5,19kWh/m²/jour.

I-2-4-Orientation et inclinaison optimales par rapport à l'horizontal

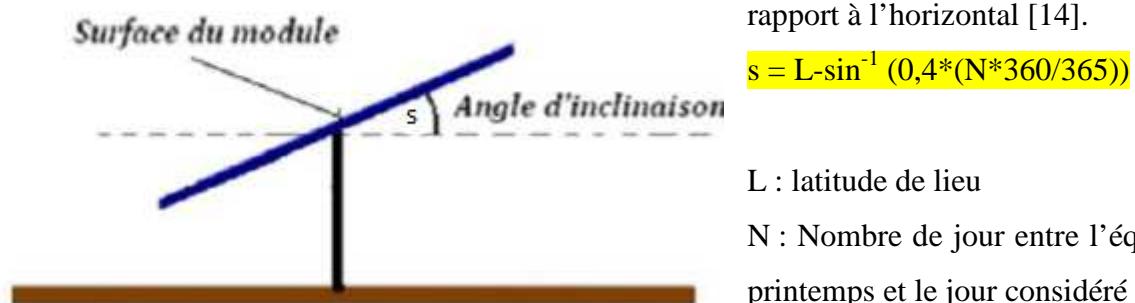
Le fait de choisir l'orientation et l'inclinaison du capteur est obligatoire dans l'étude de dimensionnement solaire. Chaque hémisphère possède des normes d'orientation, particulièrement pour l'orientation de capteur dans la partie hémisphère nord s'oriente pleinement vers le sud et dans la partie hémisphère sud, l'orientation de capteur est pleinement vers le nord. Comme Madagascar fait partie dans l'hémisphère sud, alors l'orientation du capteur qui reçoit le rayonnement solaire est pleinement vers le nord. Cette norme n'est pas au hasard, c'est le moyen d'avoir le maximum de rendement d'irradiation solaire.

L'orientation de capteur solaire n'est pas suffisante d'avoir le maximum rendement d'irradiation solaire, il est inséparable avec lui l'angle d'inclinaison de capteur. C'est important d'en trouver l'angle d'inclinaison optimale car cet angle qui rend le système photovoltaïque rentable.

Angle d'inclinaison

Il joue un rôle très important dans le domaine de dimensionnement solaire. Cet angle correspond à l'angle formé par le plan de panneau solaire par rapport à l'horizontal.

Le trajet du rayonnement solaire s'évolue selon les saisons. Sur la figure 34, elle montre l'angle d'inclinaison du module solaire par rapport à l'horizontal [14].



$$s = L \cdot \sin^{-1} (0,4 * (N * 360 / 365))$$

L : latitude de lieu

N : Nombre de jour entre l'équinoxe de printemps et le jour considéré

Figure29 : Angle d'inclinaison du capteur solaire

Cette étude sur l'angle d'inclinaison est basée pour des modules solaires non rotatifs, c'est-à-dire pour un angle d'inclinaison fixe mais avec des études d'inclinaison optimale. Autrement dit, pour que le résultat soit optimal, il est très indispensable de prendre la valeur d'irradiation solaire minimale dans l'année. Et aussi l'énergie reçue sera maximale si le rayonnement solaire direct est à 90° d'angle par rapport aux capteurs solaires.

I-2-5-Détermination de la capacité de champ photovoltaïque, la capacité de stockage, la capacité de l'armoire de régulation.

Cette dernière partie d'étude résulte la capacité du générateur photovoltaïque et toutes les étapes d'étude de dimensionnement du système photovoltaïque sont interdépendantes de l'une à l'autre.

Cette étude de dimensionnement solaire s'établit par le sous logiciel de dimensionnement solaire créé par l'EDF Group&Total. Premièrement c'est d'aborder le bilan de consommation énergétique du site de Fandriana et enfin le résultat du générateur nécessaire pour ce site.

Puissance de l'équipement, P= 1500W

Durée d'utilisation : t= 24 heures

Ecj : Energie journalière consommé

$$\text{Ecj} = P \cdot t = 1500 \cdot 24 = 36000 \text{ Wh/jour}$$

Cette consommation journalière est utile pour connaître la taille du générateur photovoltaïque afin de subvenir les besoins de l'utilisateur. Ainsi, dans cette étude, le tableau 12 montre la fiche récapitulative du résultat de la taille du système photovoltaïque pour le site Télécomde Fandriana.

Tableau 102:Détail du résultat du générateur PV pour le site Télécomde Fandriana

Champ photovoltaïque			
Puissance unitaire du module	Puissance crête totale	Nombre de modules	Nombre de branches
17,9VCC - 7,6A – 135Wc	12960 Wc	96	24
Accumulateurs			
Capacité unitaire d'accumulateur	Capacité totale	Nombre des accus	Nombre des parcs
TYS11-2VCC-1714Ah	48VCC - 3201Ah	48	2
Armoire de régulation			
Taille unitaire de l'armoire	Taille totale	Nombre d'armoire	Type d'armoire
48VCC-300A	48VCC-182,4A	1	Enerstat

CHAPITRE II : METHODES ET MATERIELS

II-1-Introduction

Le monde d'aujourd'hui est inséparable au monde de la technologie, il ne cesse jamais d'évoluer. Durant le stage au sein de la société Sunénergie, l'utilisation du dimensionnement solaire informatisé est un travail très courant, et aussi l'étude de dimensionnement solaire est un service primordial à offrir aux clients. Le projet se situe à la frontière de deux sujets : l'énergie solaire et l'Excel Visual basic de l'informatique. Le projet de fin d'étude consacre plus précisément à la conception et la réalisation de dimensionnement solaire à base de langage de programmation « Excel Visual basic », l'origine de ce projet est au sein du service d'étude de suivi et de contrôle technique. Ce projet a pour but de fournir le meilleur service aux clients, mais aussi d'être capable de donner les résultats de dimensionnement solaire très rentables aux clients.

Le projet consiste à l'utilisation de l'Excel Visual basic comme centrale de programme pour dimensionner un générateur photovoltaïque. Il s'intitule « Etude de dimensionnement solaire » et s'organise autour des fonctionnalités suivantes :

- La modélisation du dimensionnement solaire
- Collectes et stockage des données
- Réalisations et résultats

Ce projet présente plusieurs raisons intéressantes. La quantité des valeurs mises enjeux est énorme car chaque étude de dimensionnement solaire à effectuer est traitée suivant les bases des données existant.

D'un autre côté c'est un projet qui par sa nature étant flexible et évolutif, adaptable à étudier des grandes centrales photovoltaïques et même pour le domaine domestique.

Enfin c'est une expérience personnelle et professionnelle, qui nous a occupée à temps plein, et il peut être considéré comme le témoignage particulièrement significatif de notre période d'apprentissage dans le domaine de l'énergie photovoltaïque.

Processus du projet

La figure 30 illustre le processus du dimensionnement solaire jusqu'au générateur PV.

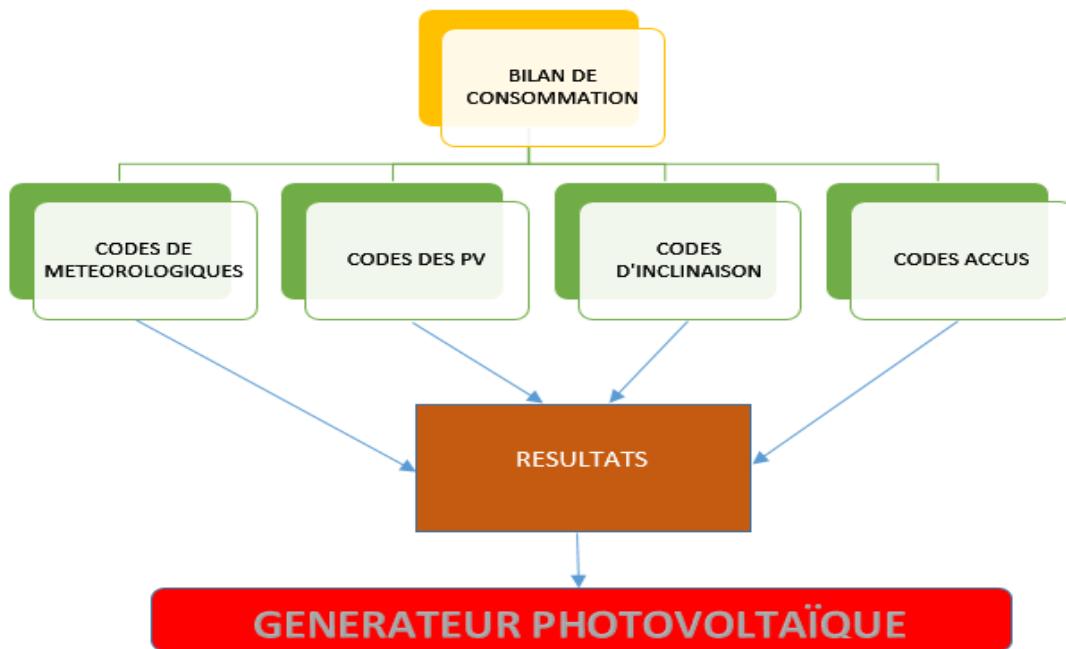


Figure 170: Schéma de processus d'étude du dimensionnement solaire

Chaque générateur photovoltaïque est obligatoire de passer à l'étude de dimensionnement solaire afin d'obtenir une installation de générateur photovoltaïque rentable suivant les besoins de la demande des clients. Chaque processus d'étude est complémentaire, rien n'est négligeable.

II- 2 - Modélisation du dimensionnement solaire

Cette étude est centrée dans le domaine informatique, il est utile de connaître la nature de l'application traitant les données d'en fournir les résultats de dimensionnement solaire.

L'élément central de cette application est le concept de la programmation à base de l'Excel Visual basic. Cette programmation est composée de tout ce qui est aux alentours de l'étude théorique du dimensionnement solaire.

La modélisation définit l'étape théorique du dimensionnement solaire et la programmation de cette étape dans l'application. De plus il est important de connaître la structure des macros où sont rattachées la programmation afin d'analyser plus finement les données récupérées par l'étude théorique du dimensionnement solaire.

- Excel Visual basic

Le Visual Basic est un langage de programmation commun à tous les produits de Microsoft. Il est un langage de programmation permettant d'utiliser du code « Visual basic » pour exécuter les nombreuses fonctionnalités de l'application Excel.

On appelle « une macro » l'écriture d'un programme en Visual basic. Les macros servent notamment d'automatiser des tâches réalisées dans l'Excel. Elles peuvent aussi être utilisées pour créer des boîtes de dialogue afin de rendre une application développée sous Excel plus conviviale.

Pour bien établir l'étude de dimensionnement solaire à base d'un langage de programmation « Excel Visual basic », il fallait bien maîtriser le mode d'utilisation de l'Excel Visual basic.

Etape théorique du dimensionnement solaire incluant dans l'Excel Visual Basic

On peut qualifier cette application à base de la programmation Excel Visual basic comme la centrale d'étude de ce projet. L'étude du dimensionnement solaire possède des étapes à suivre dont la connaissance est très utile.

a- Etude de champ photovoltaïque

Cette étape d'étude caractérise la détermination de la puissance du champ photovoltaïque, l'unité de mesure correspondant à la capacité du champ photovoltaïque est le Watt-crête (Wc).

Pour déterminer la puissance du champ photovoltaïque, il est indispensable de connaître la consommation journalière ce qui exprime aussi l'énergie consommée par jour. Son unité est le Wattheure par jour (Wh/j).

$$Ecj = P * t \quad [15]$$

Ecj : Energie consommé par jour

P : Puissance totale des appareils utilisés exprimé en Watt (W)

t : Durée d'utilisation des appareils utilisé en heure par jour exprimé en heure/jour (h/j)

Relation entre l'énergie consommée par jour et la puissance du champ photovoltaïque

Sans la consommation journalière on ne peut pas établir la puissance du champ photovoltaïque rentable aux clients.

$$Pc = Ecj / (Rr * Rb * Irr) \quad [15]$$

Pc : Puissance du champ photovoltaïque exprimé en Watt-crête (Wc)

Rr : Rendement du régulateur

Rb : Rendement de batterie

Irr : Irradiation mensuelle du site exprimé en Wattheure/m²/mois

C'est suivant cette fonction théorique qu'on peut trouver la capacité de puissance du champ photovoltaïque rentable correspondant aux demandes des utilisateurs.

Mais afin d'imaginer de façon réaliste, notre étude de champ photovoltaïque doit relative aux données des modules photovoltaïques existant.

Alors, nous allons établir une formule relative à cette étude.

$$P_c = I_m * V_m [15]$$

I_m : Intensité maximale du champ photovoltaïque exprimée en Ampère (A)

V_m : Tension maximale du champ photovoltaïque exprimée en Volt (V)

Relation entre l'énergie consommée journalière et la formule de la puissance crête (P_c)

$$I_m = C_{cj} / I_{rr} * C_p [15]$$

C_{cj} : Capacité consommée journalière exprimée en Ampère-heure/jour (Ah/j)

C_p : Coefficient des pertes et de sécurité. Il s'évalue de 10 à 20%

Relation entre C_{cj} et E_{cj}

$$C_{cj} = E_{cj} / U_n [15]$$

U_n : Tension nominale demandée, qui définit la tension désirée de l'utilisateur pour l'installation du générateur photovoltaïque, généralement, soit 12, 24, 48V.

Cette étape d'étude du dimensionnement solaire assure la détermination du champ photovoltaïque, et en le qualifiant comme rentable. Mais afin d'avoir des résultats rentables, le choix de l'irradiation solaire mensuelle dans une année est fait pour la valeur minimale de l'irradiation solaire mensuelle.

Processus du programmation Excel VBA pour la détermination de champ photovoltaïque

```
Next i
Esol = 4.58
Im = Sheets(1).Range("J36").Value / (Esol * 0.9)
p = Im * Vm
nBranche = nModule / NbModule.Value

nModule = p / pu

If nBranche \ NbModule.Value > (NbModule.Value / 2) Then
    Sheets(6).Range("H7").Value = (nModule / NbModule.Value) - (nBranche \ NbModule.Value) + NbModule.Value
Else
    Sheets(6).Range("H7").Value = (nModule / NbModule.Value) - (nBranche \ NbModule.Value)
End If
Sheets(6).Range("G7").Value = WorksheetFunction.Round(Sheets(6).Range("H7").Value, 0) * NbModule.Value
puissanceCrete = WorksheetFunction.Round(Sheets(6).Range("G7").Value, 0) * pu

End Function
```

Après avoir connu la détermination du champ photovoltaïque, l'étape suivante est la détermination de la capacité des accumulateurs.

b- Etude de la capacité des accumulateurs

Cette étude a pour but de connaître la capacité des accumulateurs qui restitue l'énergie reçue par le champ photovoltaïque.

$$C_b = E_{cj} * N_{ja} / (P_d * R_t * U_n) [15]$$

ou

$$C_b = C_c j * N_j a / (P_D * R_T) [15]$$

C_b : Capacité totale des batteries exprimée en Ampère-heure(Ah).

N_{ja} : Nombre de jour d'autonomie désiré exprimé en jour (j)

P_D : Profondeur de décharge de l'accumulateur, compris entre 70 à 80%

R_T : Réduction de température, compris entre 80 à 90%

Processus du programmation Excel VBA pour la détermination de la capacité des accumulateurs

```
Function capaciteTotal() As Single
    capaciteTotal = (Sheets(1).Range("J36").Value * (Autonomie.Value / 24)) / ((ProfondeurDecharge.Value / 100) * 0.9)
End Function

Sub productionEnergie()
    Dim k As Integer
    Dim tensionMax As Single
    Dim Esolmois As Single
    For k = 6 To 50
        If Sheets(3).Range("C" & k).Value = TypeModule.Value Then
            tensionMax = Sheets(3).Range("E" & k).Value
            Exit For
        End If
    Next k
    For k = 25 To 36
        Sheets(6).Range("E" & k).Value = Sheets(6).Range("F7").Value * Sheets(6).Range("C" & k).Value / (Sheets(6).Range("D8").Value * tensionMax)
        Sheets(6).Range("F" & k).Value = Sheets(6).Range("E" & k).Value * (1 - CoefficientSecurite.Value)
        Sheets(6).Range("H" & k).Value = Sheets(6).Range("F" & k).Value / Sheets(1).Range("J36").Value
        Sheets(6).Range("G" & k).Value = Sheets(6).Range("D6").Value
    Next k
End Sub
```

Pour bien établir les résultats de la capacité de la batterie, il faut qu'ils soient relatifs aux données des batteries existant.

La troisième étape dans cette étude est la détermination de la capacité du régulateur solaire de charge et de décharge.

c- Etude de régulateur de charge et de décharge

Le fait de déterminer le régulateur de charge et de décharge dans l'étude de dimensionnement solaire, c'est pour que le générateur photovoltaïque est bien géré et aussi que la durée de vie des batteries est convenable aux prévus de son fonctionnement.

$$I_r = I_{mp} * N_b$$

I_{mp} : Intensité maximale du PV pour chaque branche

I_r : Intensité de régulateur solaire

N_b : Nombre de branche des modules PV en parallèle

Macro de calcul pour la détermination de la capacité de régulateur de charge et de décharge

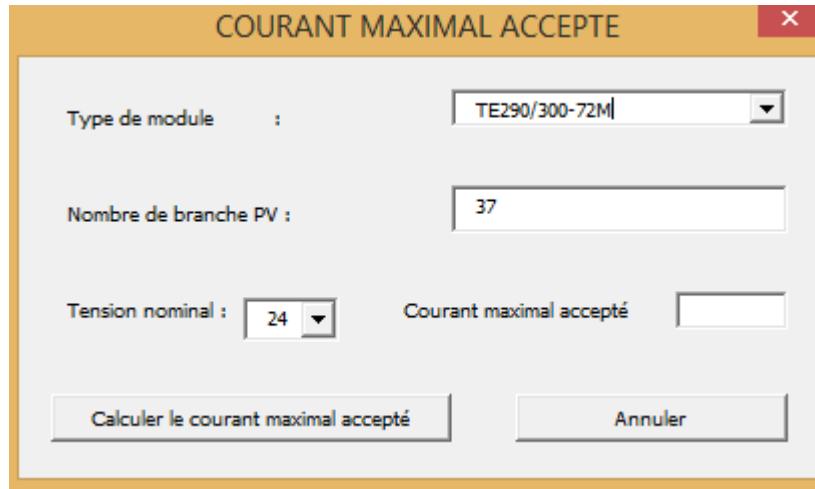


Figure 31: Macro de calcul de courant maximal entré au régulateur

De plus le régulateur de charge et de décharge solaire est caractérisé selon la tension nominale demandée, qui varie de 12 ou 24 ou 48VCC.

Enfin, pour avoir plus d'assurance à la durabilité du régulateur de charge et de décharge solaire il vaut mieux prendre des marges d'intensité de régulateur solaire, dans le cas de cette étude, elle est de 20 à 30%.

d- Etude de convertisseur CC-CA

La dernière étape de cette étude est la détermination de la capacité de l'onduleur ou du convertisseur CC-CA. Il assure de fournir le courant de fonctionnement alternatif. Mais cette partie d'étude est négligeable pour un générateur photovoltaïque du courant de fonctionnement continu.

$$Po = P * Md$$

Po : Puissance de l'onduleur à installer (VA ou KVA)

Md : Marge en pourcentage de l'onduleur

La valeur de marge pour l'onduleur est variée de 20 à 30%, il faut en tenir compte que notre étude de convertisseur CC-CA est faite pour un générateur photovoltaïque monophasé.

Ce sont ces quatre étapes qui marquent les études théoriques de dimensionnement solaire. Ces quatre étapes sont inséparables aux études de dimensionnements solaire.

Processus de macro avec l'Excel Visual basic

Chaque étude inclue dans le classeur d'Excel, il est associé dans le projet Visual basic. La création de chaque classeur dans l'Excel est affichée avec une liste hiérarchisée nommé « Explorateur de projet ». Dans notre étude de dimensionnement solaire nous avons entamé six classeurs différents associant avec le projet Visual basic.

Représentation de l'explorateur de projet [16]

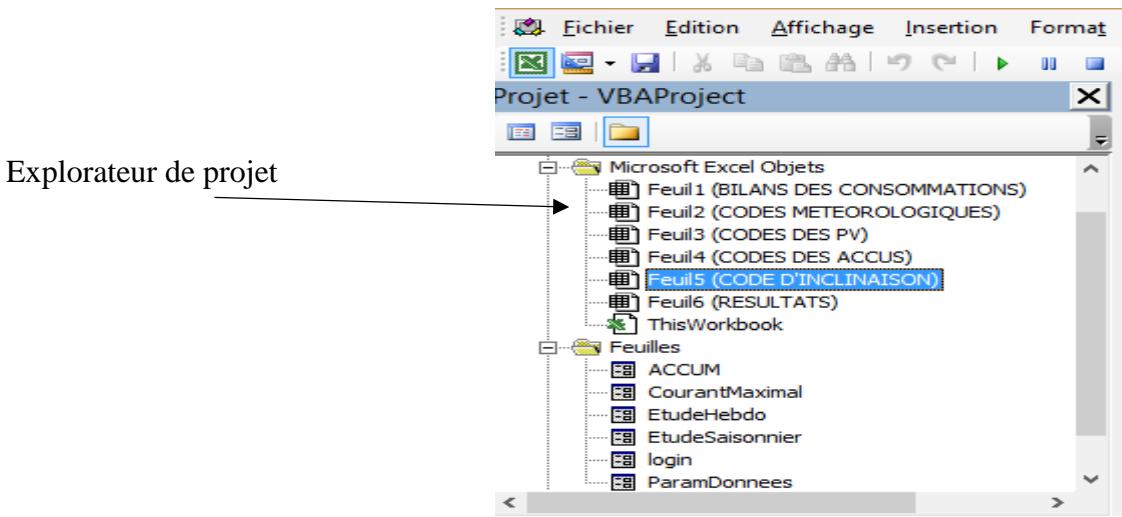


Figure 182: Représentation de feuille d'explorateur du projet dans VBA

Après avoir connu l'explorateur de projet, il est nécessaire de passer au processus suivant qui est relatif au fonctionnement de l'explorateur de projet, c'est le module de code.

Le module de code permet d'écrire le code qui commande le fonctionnement d'étude dans l'explorateur de projet. Toutes les macros que nous avons créées, sont enregistrées dans le module de code qui peut contenir plusieurs macros. Dans notre étude de dimensionnement solaire, nous avons trois modules de codes différents mais chaque module de code contient plusieurs macros. Ces dernières sont intervenues aux commandes de liaisons à l'explorateur de projet.

Représentation de module de code [16]

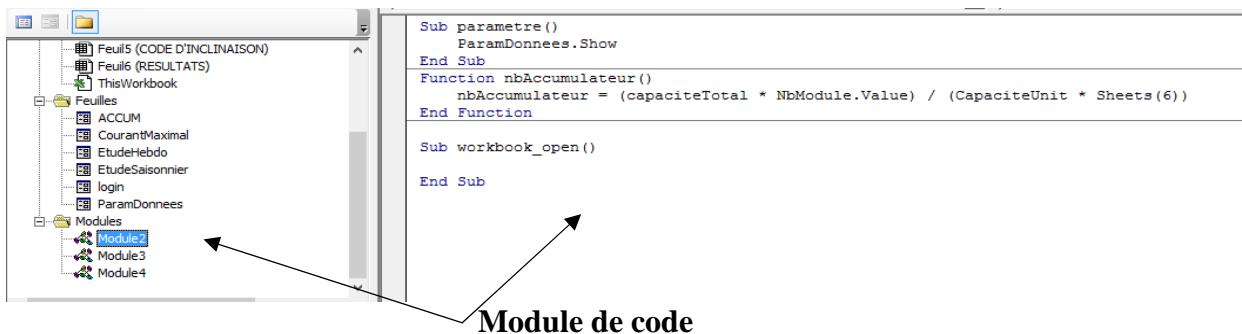


Figure 193: Représentation de module de code

D'après la vue dans la figure 33, le module de code permet de montrer la macro de commande « paramDonnees », mais ce module de code contient plusieurs macros là-dedans.

Le module de code « paramDonnees » contient plusieurs macros, on peut dire que ce module de code est la principale fonction pour établir l'étude de dimensionnement solaire. Le bouton de commande

« enregistrer » permet de sauvegarder chaque manipulation dans le module de code « paramDonnees ».

Représentation de module de code du bouton de commande « Enregistrer »

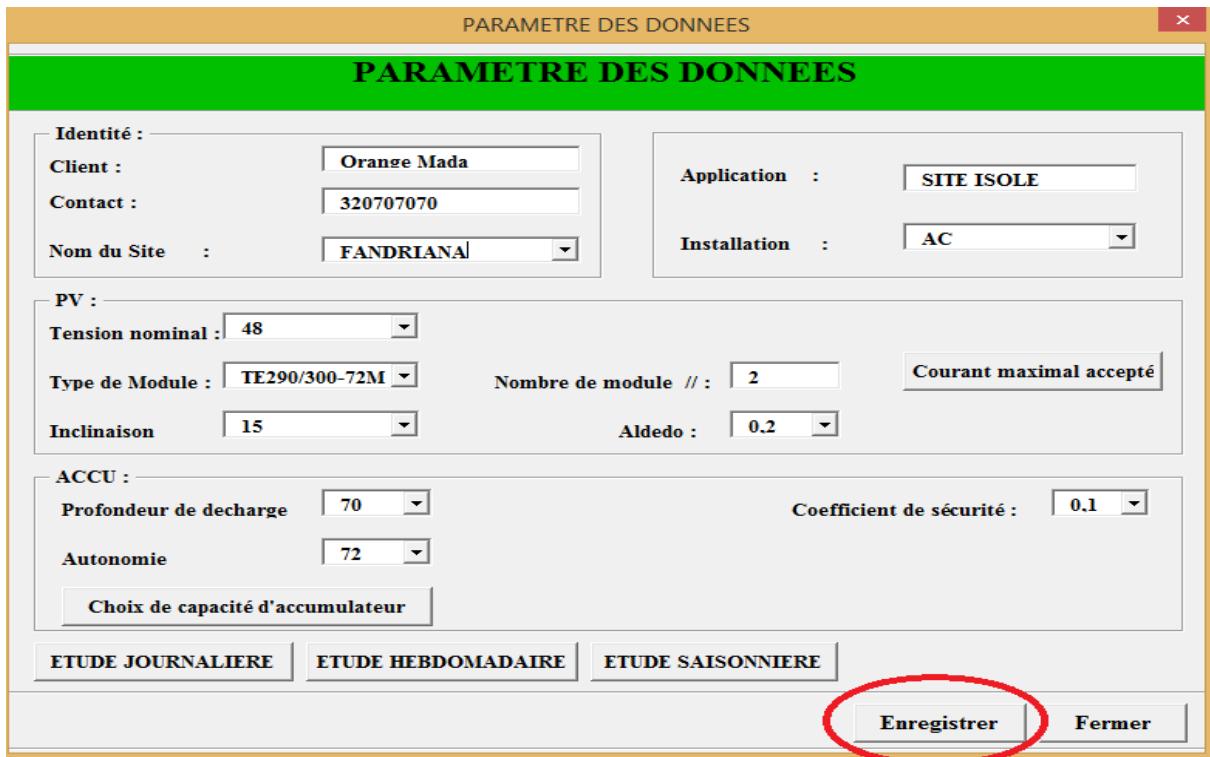


Figure 34 : Fenêtre de commande Paramètre des données

Cette commande « Enregistrer » joue plusieurs fonctionnalités dans l'application du dimensionnement solaire, c'est la fonction principale aux activations d'étude de dimensionnement solaire.

Dans le processus de macros avec l'Excel Visual basic, tous les noms de chaque onglet de commande sont personnalisés. L'avantage de créer cette application de dimensionnement solaire à base de l'Excel Visual basic permet d'écrire des fonctions. Une fonction est une suite d'instruction qui retourne à une valeur. Dans cette étude, elle est très utile.

II-3-Collectes et stockages des données

Le but de cette partie est de fournir des résultats exacts aux clients selon les données collectées et stockés dans les bases des données.

a- Configurations du bilan des consommations

Le classeur du bilan des consommations spécifie toutes les consommations des clients, ainsi que la structure de commande « paramètres » et le « résultat ». Chaque client peut posséder une fiche de récapitulations des consommations selon ses besoins.

Caractéristiques du bilan des consommations

Plusieurs caractères caractérisent le bilan des consommations, mais nous pouvons classer en quatre parties les caractéristiques du bilan des consommations.

Les informations générales des clients : tout ce qui est à propos de clients (nom, contact).

Les matériaux utilisés : descriptions totales des appareils utilisés avec la durée d'utilisation de chaque appareil.

Les données des consommations : les résultats des consommations selon les appareils utilisés tels que l'énergie consommée journalière et la capacité consommée journalière

Les boutons des commandes : le bouton de commande « paramètres » assure tous les fonctionnements utiles pour obtenir un véritable générateur photovoltaïque et les « résultats » assurent la visualisation totale du générateur photovoltaïque.

Représentation récapitulative du bilan des consommations

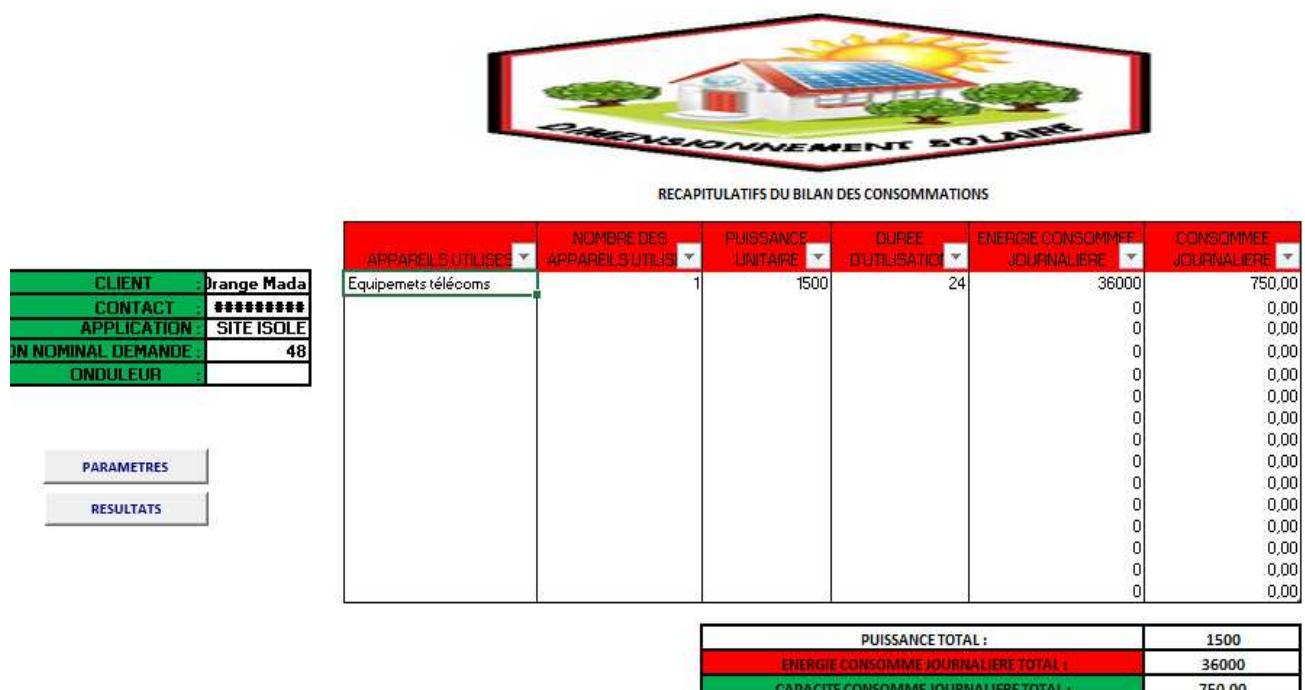


Figure 35.20: Fenêtre de bilan de consommation du dimensionnement solaire

Configurations des bases de données

Les bases des données sont très importantes dans l'étude du dimensionnement solaire. Elles sont caractérisées en trois parties et doivent être à jour.

Les codes météorologiques : définis par les caractéristiques générales de chaque site à étudier telles que sa longitude, sa latitude, le nom du site, l'irradiation solaire mensuelle

Codes PV : caractérisés par tout ce qui est à propos du module photovoltaïque tel que le fabricant, le type, le modèle et les caractéristiques techniques (puissance crête, tension, courant, etc.)

Codes des accus : caractérisés par tout ce qui est à propos de la batterie tel que le fabriquant, le type, le modèle, et les caractéristiques techniques (capacité, tension, électrolyte, etc.)

Ces trois bases des données sont inséparables aux études de dimensionnements solaire. Le moyen de remplir les bases des données de chaque classeur est de se renseigner aux constructeurs des matériaux et quant à la météorologique, c'est auprès de la météorologie ou à l'internet. A long terme, on trouvera le moyen de lier cette application dimensionnement solaire avec le langage de programmation web comme PHP ou JavaScript etc.

Représentation des bases des données

Les tableaux 13, 14 et 15 présentent des classeurs de bases des données : codes météorologiques, codes PV et codes des accus.

Tableau 13: Représentation des classeurs des codes météorologiques

Codes météorologiques

MADAGASCAR																
NUMERO	SITE	LAT	LONG	JAN	FEV	MAR	AVL	MAI	JUN	JUL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Moyenne
1	FANDRINA	20,15	47,24	5,64	5,4	5,19	4,8	4,24	3,84	4,1	4,92	5,9	6,12	6,21	5,91	5,19
2	AMBAHIKILY	21,35	43,39	7,18	6,72	6,18	5,31	4,48	4,07	4,26	5,25	5,8	6,17	6,85	6,96	5,77

Codes PV

Tableau 114: Représentation des classeurs des codes PV

PHOTOVOLTAIQUE

Fabriquant	Model	Type du module	Puissance Unitaire	Tension maximal	Intensité maximal	Tension circuit ouvert	Courant de court-circuit
Tenesol	Monocristallin	TE290/300-72M		290	35,8	8,1	44,6
Tenesol	Polycristallin	TE1300		135	18,1	7,5	22,3

Codes des accus

Tableau 15 : Représentation des classeurs des codes des accus

BATTERIES

Fabriquant	Model	Type de batterie	Tension de batterie	Capacité	Longueur	Largeur	Hauteur	Poid sans Acide	Poid avec Acide	Electrolyte
Powersafe	Plomb	TYS10	2	1523	233	210	684	54,5	76,8	18
Powersafe	Plomb	TVS11	2	1714	275	210	684	60,1	87,3	21,9
Powersafe	Plomb	TVS12	2	1825	275	210	684	64,2	91	21,6
Powersafe	Plomb	TZS12	2	2335	275	210	829	84	117,6	27,1

b- Etude d'inclinaison optimale

L'objectif d'étudier l'inclinaison optimale de module solaire est d'estimer l'énergie reçue sur une surface inclinée à partir des données concernant l'énergie reçue par un plan horizontal.

Pour bien déterminer cet angle inclinaison optimale, il faut tenir compte des composantes solaires qui rassurent la totalité des énergies reçues par le soleil :

Les composantes d'irradiation solaire :

Ce sont les rayonnements direct, diffus et réfléchi.

Celui du direct représente le flux solaire qui atteint directement sur le capteur solaire, dépend de la hauteur du soleil et de l'angle d'exposition.

Le rayonnement diffus c'est le rayonnement qui émet par des obstacles comme les nuages, le sol, se dirigeant dans toutes les directions c'est-à-dire qu'il provient de multiples diffractions.

Le rayonnement réfléchi ou albédo représente le flux solaire intercepté par la paroi suite aux réflexions solaires par l'environnement proche.

La figure 36 présente les composantes du rayonnement solaire [17].

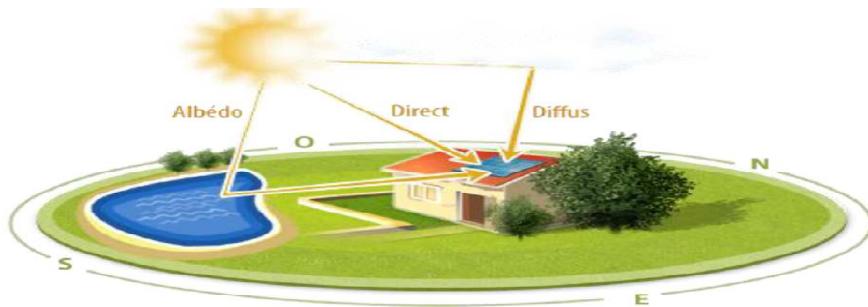


Figure 36 : Les composantes du rayonnement solaire

La somme de ces trois composantes solaires donne la totalité de l'énergie reçue par le soleil, appelé rayonnement global. Ce dernier est très utile pour obtenir l'irradiation solaire convenable à chaque angle étudié de capteur solaire.

Estimation de l'énergie solaire reçue sur plan incliné quelconque [14]

En déterminant le rayonnement global total, il faut prendre en compte les différents angles qui incluent dans l'étude.

Nous allons exposer les différents angles inclus dans cette étude de conception et réalisation d'une application de dimensionnement solaire à base d'Excel « Visual basic » :

La latitude (φ) : c'est un plan de référence qui correspond à l'angle formé par un plan vertical et le plan équatorial.

La déclinaison solaire (δ) : c'est l'angle entre la direction soleil-terre et le plan équatorial

L'angle incidence (\square) : C'est l'angle formé par le rayon solaire incident et la normale au plan du capteur.

L'angle horaire au lever et au coucher du soleil (ω_s) : c'est l'angle correspondant au déplacement du soleil vers l'Est ou l'Ouest par rapport au méridien locale dû à la rotation de la terre 15° par heure sur son axe.

L'angle horaire au lever et au coucher du soleil (ω'_s) : c'est l'angle correspondant au déplacement du soleil vers l'Est ou vers l'Ouest par rapport au méridien local dû à la rotation de la terre de 15° par heure sur son axe mais qui correspond au plan incliné pour le jour moyen du mois.

L'angle horaire (ω) : c'est l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu d'observation.

Angle d'inclinaison (s) : C'est l'angle entre un plan horizontal et le plan du capteur considéré

La hauteur du soleil (h) : c'est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal du lieu.

Pour réussir à estimer l'énergie solaire reçuesur un plan incliné, l'établissement de la méthode des sommes d'ensoleillement horaire dans la journée moyenne du mois considérée est nécessaire.

$$\textcolor{blue}{\pm} \quad \delta = 23,45 \sin [(n-81) * (360/365)] \text{ ou } \delta = 23,45 \sin [(n+284) * (360/365)]$$

$\textcolor{blue}{\pm}$ n : numéro de jour dans l'année considéré

$$\textcolor{blue}{\pm} \quad \omega = 15 (12-TSV) [\text{heures}] \text{ ou } \omega = 360/24 (\text{TSV}-180) [^\circ]$$

$$\textcolor{blue}{\pm} \quad \sin h = \cos \varphi * \cos \delta * \cos \omega - \sin \varphi * \sin \delta$$

$$\textcolor{blue}{\pm} \quad \sin \square = \sin \delta * \sin \omega$$

$$\textcolor{blue}{\pm} \quad \cos \omega_s = -\tan \varphi * \tan \delta$$

$$\textcolor{blue}{\pm} \quad \cos \omega'_s = -\tan (\varphi-s) * \tan \delta$$

TSV : Il est défini à partir de la rotation de la terre sur elle-même, et il est lié à l'angle horaire ω .

Détermination du rayonnement direct

$$I_t = R_b * I_h$$

Le rayonnement direct moyen du mois est le rayonnement solaire atteignant directement depuis le soleil.

$$I_h = H - H_d$$

Telle que H est l'irradiation solaire journalière sur un plan horizontal et H_d c'est l'irradiation solaire de la composante diffuse.

Avec R_b est le facteur d'inclinaison impliqué dans la détermination du rayonnement direct

$$R_b = \cos \square / \sin h$$

Détermination du rayonnement diffus

$$D_t = R_{dc} * H_d$$

En étudiant le rayonnement diffus, deux cas peuvent se produire :

1^{er} cas : la condition de temps est isotrope

$$R_{dc} = (1 + \cos s) / 2$$

2^{ème} : la condition de temps est anisotrope

$$R_{dc} = R_{dca} = [(1 + \sin^3 s / 2) (1 + \cos^2 \square \sin^2 h) (1 + \cos s)] / 2$$

Détermination du rayonnement réfléchi

$$D_{st} = R_{ds} * G$$

Il fallait savoir que le rayonnement réfléchi peut étudier à partir de deux cas :

1^{er} cas : la condition de temps est isotrope

$$R_{ds} = (1 - \cos s) / 2$$

2^{ème} : la condition de temps est anisotrope

$$R_{ds} = 0$$

Dans cette étude, l'irradiation solaire globale journalière sur le plan horizontal a été reçue dans le site « Solar irradiance figure » pour chaque site étudié.

L'irradiation solaire journalière moyenne du mois sur un plan horizontal est notée par H_0 telle que $H_0 = \bar{H}_0$

L'irradiation solaire journalière moyenne du mois sur un plan incliné au sol est liée aux deux coefficients A et B qui dépendent directement de la climatologie locale ; telle que la valeur de A= 0,19 et B = 0,62, et aussi elle dépend totalement de la constante solaire du mois hors atmosphère et enfin elle dépend de la fraction d'insolation solaire.

$$\bar{H} = \bar{H}_0 * (0,19 + 0,62\sigma) [18]$$

\bar{H}_0 : La constante solaire journalière du mois sur un plan horizontal hors atmosphère.

$\sigma = di / dj$, avec di : durée d'insolation solaire et dj= durée du jour d'ensoleillement

σ : Fraction d'insolation solaire

$$N = 2 \omega_s / 15$$

di : c'est l'indicateur climatique qui mesure le temps pendant lequel un endroit, un lieu est éclairé par le soleil sur une période donnée. Pour bien connaître ce qu'on parle à propos de la durée d'insolation ou la durée d'ensoleillement nous allons montrer la carte mondiale de la durée d'insolation solaire.

Carte mondiale de la durée d'insolation solaire par an [19]

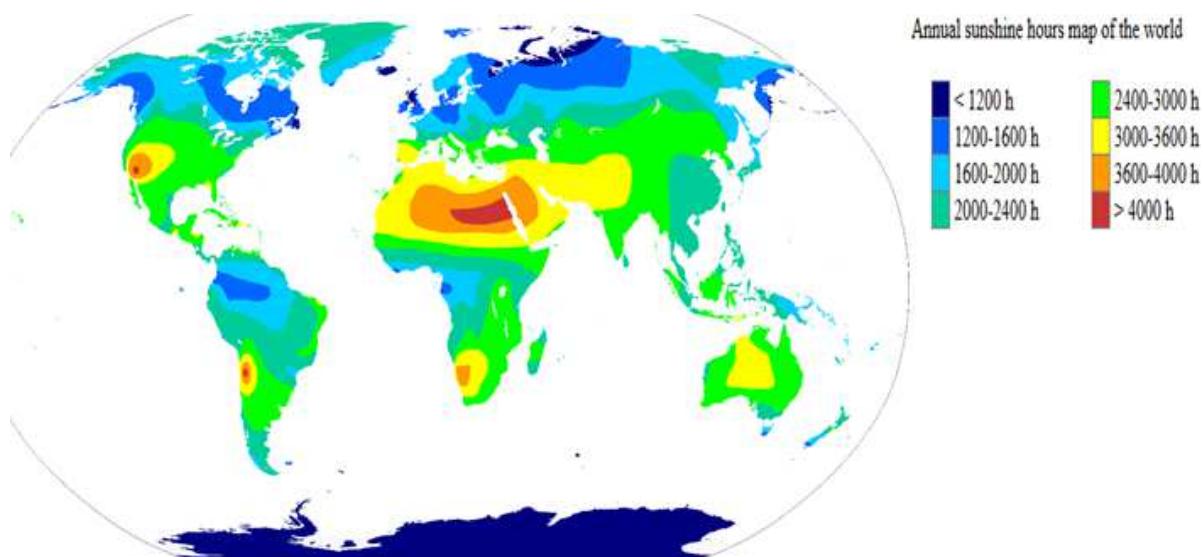


Figure 217 : Carte mondiale de la durée d'insolation solaire par an

Suivant la carte mondiale de la durée d'insolation solaire annuelle, le cas de Madagascar est varié de 2000h à 3000h par an. On a choisi de prendre la valeur moyenne de cette durée d'insolation qui est égale à 2500h/an.

En prenant cette durée d'insolation moyenne correspondant à pays de Madagascar, la durée d'insolation journalière moyenne est de 6,84h par jour.

Avant l'arrivée du rayonnement solaire au sol, il subit des atténuations ; cette séquence s'appelle l'indice de clarté moyenne mensuelle. L'obtention de cet indice de clarté moyenne est à partir du

rapport entre l'irradiation journalière moyenne mensuelle sur un plan horizontal H et la constante solaire journalière moyenne mensuelle sur un plan horizontal hors atmosphère H_0 .

Cet indice est noté K_T :

$$K_T = \frac{H}{H_0} [15]$$

D'après la corrélation d'Erbs, en calculant l'indice de clarté nous permet d'obtenir la composante diffuse d'après la formule suivante : [14]

▷ Si $\omega_s < 81,4^\circ$

$$\overline{H_d} / \overline{H} = 1,391 - 3,560 \overline{K}_T + 4,189 \overline{K}_T^2 - 2,137 \overline{K}_T^3$$

▷ Si $\omega_s > 81,4^\circ$

$$\overline{H_d} / \overline{H} = 1,311 - 3,022 K_T + 3,427 K_T^2 - 1,821 K_T^3$$

Ensuite, l'albédo est un coefficient très important dans le rayonnement réfléchi, surtout pour un plan de capteur incliné ou verticale ; il est noté « a ».

La valeur d'albédo est variée selon la caractéristique du sol, le tableau 15 indique la variation de la caractéristique du sol avec son valeur albédo [20].

Tableau 16: Caractéristiques du sol et valeur de l'albédo

Caractéristiques du sol	Albédo
Sol cultivé	0,2
Sol sableux	0,3 à 0,4
Sol enneigé	0,6 à 0,8

Autrement dit, dans cette étude de dimensionnement solaire, l'inclinaison entre le plan horizontal et le plan du capteur considéré est choisie selon le résultat qui convient au besoin du client, mais elle varie à l'angle de 10° à 90° .

Enfin, pour obtenir le rayonnement total sur un plan incliné il est indispensable de tenir compte le facteur d'inclinaison qui est le rapport entre le rayonnement journalier direct moyen mensuel sur un plan incliné et le rayonnement journalier moyen du mois sur un plan horizontal ou le rapport entre le rayonnement incident et la hauteur du soleil, il est noté « R_b ».

$R_b = \cos \square / \sin h$, mais on écrit aussi R_b comme suit

$$R_b = [\cos (\varphi - s) \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi/180) \omega'_s \sin (\varphi - s) \sin \delta] / [\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + (\pi/180) \omega_s \sin \varphi \sin \delta] [17] [19]$$

Cette estimation a été pour obtenir le rayonnement total sur un plan incliné quelconque. Quand le capteur solaire possède l'inclinaison d'angle par rapport au plan horizontal. Il est noté H_t

$$H_t = H_b * R_b + H_d * R_{dc} + H * a * R_{ds}$$

[15] [17]

Pour que le dimensionnement solaire soit bien établi, il fallait que les bases des données utiles pour chaque étude soient déjà insérées dans chaque classeur correspondant. Mais il est indispensable de savoir que si l'étude de dimensionnement solaire est bien établie, il y aura des processus d'étude dans la macro en collaborant avec l'Excel Visual basic.

Schéma du positionnement du capteur solaire par rapport au soleil

La figure 39 montre la position du capteur solaire par rapport au soleil [20].

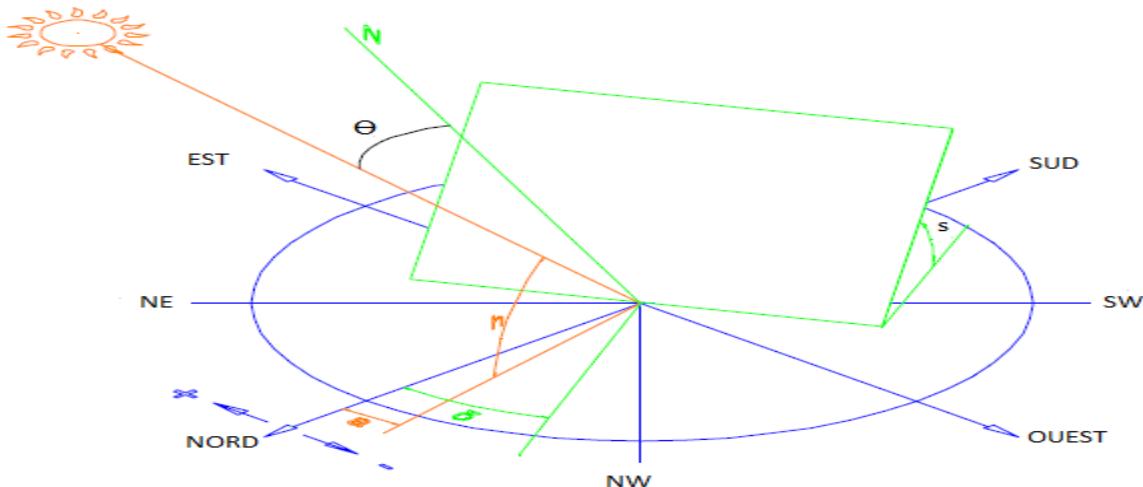


Figure 39 : Position du capteur solaire par rapport au soleil

Pour mieux obtenir l'énergie solaire rentable, il faudrait tenir compte l'importance du positionnement de capteur solaire par rapport au soleil car chaque inclinaison de capteur solaire donne de l'énergie solaire différents, donc le mieux possible est d'en trouver le meilleur compromis à l'étude de dimensionnement solaire.

CHAPITRE III : REALISATION ET RESULTATS

III-1-Choix de technologie

Il est important de définir les critères de sélection utilisés pour choisir les technologies mise en œuvre dans l'application de dimensionnement solaire.

Les critères de sélection sont cités ci-dessous, entre autres :

- Les robustesse et prévisibilité de comportement en exploitation de longue durée.
- La disponibilité des outils.
- La possibilité d'adaptation ou d'extension des fonctionnalités.
- Les performances.

Durant la création de ce projet, on n'a pas utilisé des matériels ou des logiciels spéciaux. En général tous les systèmes d'exploitation sont adaptables à utiliser avec l'application de dimensionnement solaire. Or, l'application de dimensionnement solaire à base d'Excel Visual basic demande la possession de Microsoft office Excel.

L'Excel Visual basic est un langage de programmation complètement lié au Microsoft office. Le grand avantage du Visual basic est sa simplicité. Ce langage de programmation peut permettre de réaliser des applications complexes et il est rapide à maîtriser pour des gens non spécialistes. De plus, il est possible d'obtenir une interface de qualité en utilisant ce langage de programmation.

III-2-Résultats

Il détaille tout ce qui est nécessaire selon le bilan des consommations du client.

On peut classer en cinq parties les détails des résultats du dimensionnement solaire.

- ☆ A propos du site étudié
- ☆ A propos du système de montage du générateur PV.
- ☆ A propos des résultats matériels
- ☆ A propos d'irradiation du site étudié selon l'inclinaison
- ☆ A propos de graphique de comparaison entre la consommation et la production

Représentation du site étudié

Le tableau 16 illustre les caractéristiques étudiées telle que son emplacement avec la latitude et la longitude, etc.

Tableau 127 : Caractéristiques du site étudié

HEMISPHERE	SUD	APPLICATION :	SITE ISOLE
PAYS	MADAGASCAR	CLIENT :	Orange Mada
SITE ETUDIE	FANDRINA	CONTACT :	03 20 70 70 70
LATITUDE	20,15	DATE :	26/10/2016
LONGITUDE	47,24		

Toutes informations à propos du site et du client sont insérées dans le détail de résultat du dimensionnement solaire. Il a pour but de montrer aux clients que le résultat du dimensionnement est très conforme à ses demandes.

Représentation du système de montage du générateur PV

Le tableau 18 illustre les caractéristiques techniques suivant les bilans de consommations

Tableau 18 : Caractéristiques techniques suivant les bilans de consommations

Tension nominal demandé :	48 V
Energie consommé journalière :	36000 Wh/j
Capacité consommé journalière :	750,00 Ah/j
Type de module	TE1300
Nombre de module en // :	4
Profondeur de décharge :	80
Coefficient de sécurité :	0,1
Autonomie demandé :	120 h

Il détaille le montage du système du champ photovoltaïque, et à propos de tout ce qui est utile pour le générateur photovoltaïque. Il a pour but de montrer que l'étude de dimensionnement solaire est relative aux consommations énergétiques des clients.

Représentation des résultats matériels

Le tableau 18 indique les résultats du générateur PV proportionnel aux consommations énergétiques des clients ; telle que la puissance crête totale du champ PV, la capacité totale de l'accumulateur nécessaire, etc.

Tableau 139: Représentation des résultats du générateur PV

	RESULTAT		
	CHAMP PHOTOVOLTAIQUE (Watt-crête)		
	Puissance crête total	Nombre de module total	Nombre de branche
	12960	96	24
ACCUMULATEUR			
Capacité total théorique			
	3571	Ah	
Type de batterie	capacité total estimé	Nombre d'accumulateur total	Nombre de parc
TYS12	3650	48	2

Il représente les détails matériels utiles pour le générateur photovoltaïque tel que le champ photovoltaïque et les accumulateurs. L'objectif est de connaître la totalité de la capacité du champ photovoltaïque et des accumulateurs convenables aux besoins du client.

Représentation d'irradiation solaire du site étudié

La figure 39 présente le graphique de l'irradiation solaire du site étudié

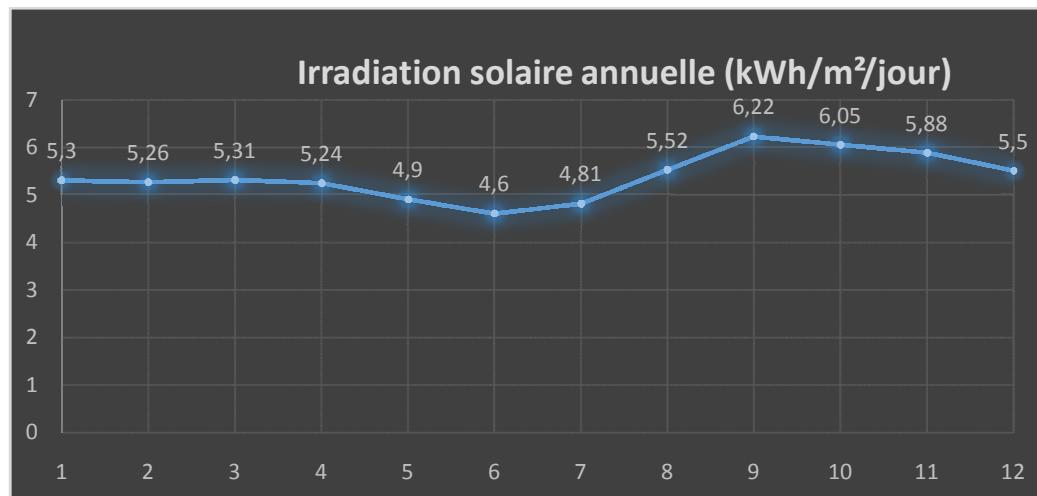


Figure 39 : Courbe de représentation de l'irradiation annuelle du site étudié

Il détaille en graphique l'irradiation solaire du site étudié mensuelle dans l'année. L'objectif est de montrer que l'étude de dimensionnement solaire a été faite selon l'irradiation solaire et l'angle d'inclinaison rentable au besoin du client.

Représentation graphique entre la consommation et la production du générateur PV

La figure 40 montre la performance du générateur PV à l'aide de la comparaison de consommation énergétique et de la production énergétique.

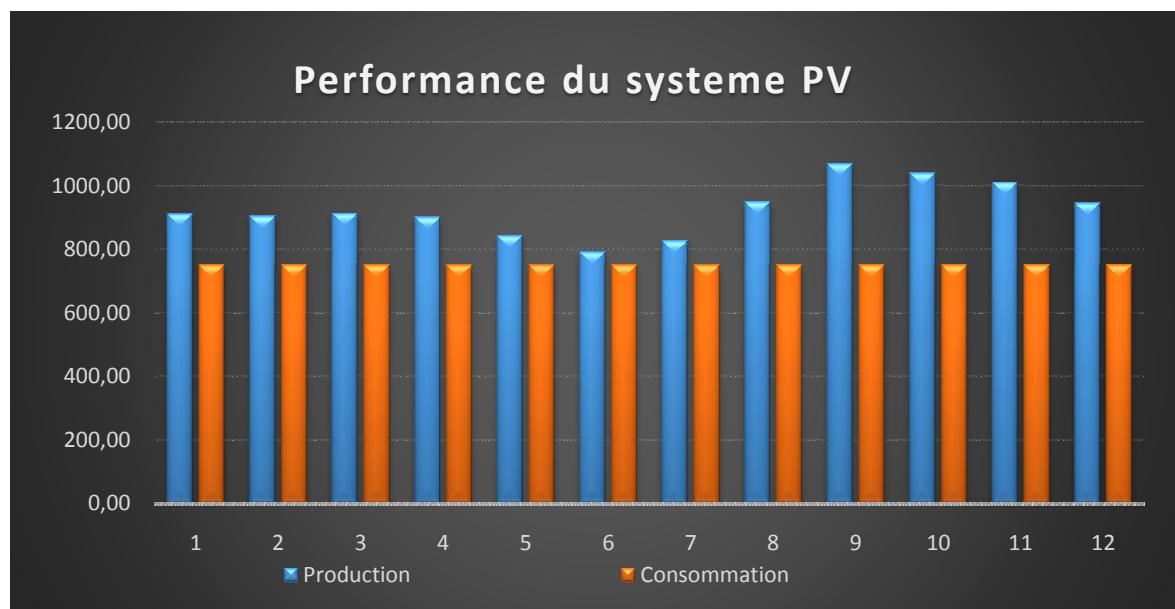


Figure 40 : Représentation graphique des consommations / productions du PV

Il compare en détail la consommation mensuelle du client par rapport à la production du générateur photovoltaïque. Le but est de montrer aux clients que la production du générateur photovoltaïque est très convenable à la consommation énergétique.

III-3-Concurrence

Plusieurs applications du dimensionnement solaire sont déjà existées par exemple :

- PVsyst6.3.9
- Retscreen
- Dimensionnement TENESOL Total & EDF Groups
- PV SOL
- Solarius PV
- Sunnydesign

Les applications dimensionnement solaire sont plusieurs, mais ces quatre exemples que nous avons pris et celle que nous connaissons et que nous l'avons déjà utilisée. Et pour ces quatre exemples d'applications de dimensionnement solaire, leur code de source n'est pas accessible car ils appartiennent aux entreprises les créer.

Cependant, tous les générateurs photovoltaïques doivent passer par l'étude de dimensionnement solaire avant de l'installer, et si les entreprises en charge du domaine du générateur photovoltaïque ne possède pas ce genre d'application, cela apparaît comme service en moins et inacceptable.

Il est donc préférable de proposer ce service avant l'installation du générateur photovoltaïque pour égaler la concurrence au niveau de l'installation du générateur photovoltaïque.

Conclusion du projet

Le projet s'est bien déroulé même s'il a demandé beaucoup de temps. Il a fallu beaucoup de temps de trouver la bonne méthode, grâce à la confrontation des livres, des articles et des recherches pour obtenir le meilleur résultat.

Cette application de dimensionnement solaire remplit toutes fonctionnalités très utiles, elle présente une flexibilité de configuration très importante. Cependant le projet reste un peu complexe au niveau de sa conception et de son code de source.

La plus grande difficulté que nous avons affrontée durant le projet c'est le moyen de trouver l'inclinaison optimale qui est convenable à la rentabilité du générateur photovoltaïque pour notre pays, pour cette cause il fallait faire beaucoup de recherche, d'analyse de documentations (manuscrits de recherches, articles scientifiques...). Il ne s'agit pas d'erreur technique mais l'insuffisance de données à notre disposition. Cela est l'origine du retard de cette application de dimensionnement solaire par rapport au délai imparti posé en avant. Pour éviter ce genre de problème, il faudra posséder en main toutes les données nécessaires avant de commencer et de concevoir un projet.

En ce qui concerne l'avenir du projet, on est en train de penser d'intégrer cette application dans la programmation web comme PHP, ou JavaScript pour la mise en vente en internet en ligne ou utiliser dans une entreprise comme un outil d'aide en dimensionnement solaire pour des particuliers en usage en domestique ou des centrales PV isolées ou connectées aux réseaux de distribution électrique nationale. De plus, il est possible d'ajouter de nouvelles fonctionnalités selon les besoins du clients et de l'entreprise selon le cas, et également la possibilité d'insérer des bases de données convenables aux besoins de clients et aux entreprises.

CONCLUSIONS GENERALES

L'énergie photovoltaïque est une grande envergure pour la production d'électricité. Le déroulement du stage au sein de l'entreprise SUNENERGIE, la conception et la réalisation d'une application de dimensionnement solaire ont permis de confirmer l'attrait dans la découverte du monde de fonctionnement le marché de l'énergie photovoltaïque. L'électricité qu'il produit respecte entièrement l'environnement grâce à son faible émission de CO₂; de plus, l'utilisation de l'énergie solaire permet de diminuer l'émission des gaz à effets de serre.

L'armoire de régulation est l'une des composantes inséparable du générateur photovoltaïque. Par conséquent, le but de la mise en place de l'armoire de régulation Multistep PV-S est d'éviter la rupture entière de l'approvisionnement en régulateur Enerstat. La mise en place de l'armoire de régulation « Multistep PV-S » est une réussite, et la bonne organisation de travail pour chaque chantier PV mène ce travail avec succès. Il faut tenir compte la connaissance de chaque processus et chaque composante du générateur photovoltaïque. Cette réussite met en valeur l'importance du client et le respect des conditions de travail.

De plus, le Multistep PV-S et l'Enerstat ont un rôle commun dans le générateur photovoltaïque, mais chacun possède ses avantages et ses inconvénients. A notre jour, la technologie n'a jamais cessé de s'évoluer et ça se montre à n'importe quel système, c'est une qualité utile de suivre cette évolution. C'est à partir de cette évolution qu'on adopte le projet de la mise en place de l'armoire de régulation Multistep PV-S à la place de l'Enerstat.

Afin d'évaluer le besoin énergétique de l'utilisateur, le dimensionnement solaire est une nécessité fondamentale de ce bilan pour le générateur PV. La conception de l'application dimensionnement solaire à base de langage de programmation Excel Visual basic met en évidence la relation de l'irradiation solaire, l'orientation, l'inclinaison de capteur solaire, les caractéristiques des panneaux photovoltaïques et les caractéristiques des capacités des accumulateurs. Comme il est fondamental d'étudier l'installation du système solaire, alors il est inévitable que ce soit un service incontournable de dimensionner un système photovoltaïque avant d'y mettre en œuvre. Autrement dit, les fonctionnalités dans cette application possèdent des critères flexibles et évolutifs. Il a pour but d'établir une étude de dimensionnement solaire convenable aux matériaux nécessaires pour le générateur PV et qui est disponible selon les endroits à étudier.

Le générateur PV est inséparable avec l'étude de dimensionnement solaire. Le développement d'un pays dépend de plusieurs critères et la production d'électricité fait partie de ces critères. Plusieurs régions de Madagascar n'ont pas accès aux distributions électriques de la JIRAMA et le taux de

production d'électricité est très faible. Une raison de plus pour améliorer la production d'électricité de notre pays, par l'utilisation et l'exploitation des énergies renouvelables comme l'énergie solaire, l'éolienne, l'hydroélectrique.... Non seulement une source inépuisable d'énergie, elles sont l'allié indispensable de l'environnement permettant d'en protéger. En perspective, pour bien améliorer les résultats obtenus sur l'étude de dimensionnement solaire, il est intéressant de confronter les résultats théoriques de l'énergie reçue sur le plan incliné avec une étude pratique en la mesurant par des pyranomètres ou des solarimètres.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Organigramme de Sunenergie, Livres d'information au sein de RRH de Sunenergie.
- [2] Livre de Schouleprickoff de Gymnase Auguste « Quelle source d'énergie pour les vingt prochaines années ? », Travail de maturité, Alexandra Catana, 3M7, 2009
- [3] Energie solaire photovoltaïque.doc, B.Flèche – D.Délagnes, Juin 2007
- [4] BRECHT. N Battery Science – Glowing references, 11 Annual battery conferences, long beach, p. 163 à 165, 1996
- [5] Mastervolt solar power solutions, Equipements pour systèmes solaires autonomes, p.32
- [6] Régulateur de charge solaire TS. MPPT, Manuel d'installation, p.19
- [7] Cours d'énergie PV avec Professeur RANDRIAMANANTANY Zely Arivelo, 2014
- [8] UPMC TP Energie solaire, Master énergétique et environnement, p.13
- [9] Thèse de Doctorat, Dang Ming Trung « Elaboration de cellule solaire PV à base de polymère conjugué », Université de bordeaux, 2009
- [12] Sunpower Monitoring System– Sunpower corporation, Octobre 2014
- [14] Revue d'Énergies Renouvelables SIENR'14 Ghardaïa Algérie « Evaluation de l'influence de l'inclinaison des modules PV sur la production d'énergie d'un système hybride » p. 88, 2014
- [15] Cours d'énergie PV avec Professeur Madame RANDRIAMANANTANY Zely Arivelo, 2015
- [16] Tableur Excel, la programmation en VBA, Juliette Dibie
- [17] Fundacion Ingenieros ICAI el Dessarollo – SunEdison Manuel de formation pour l'installation PV p. 25
- [18]
- Estimation et mesure de l'énergie solaire sur un plan incliné INSA ROUEN – Projet de physique P6 – STPI/P6/2013 p.7 à 10
 - Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi-empirique. Conférencepaper novembre 2006
 - Gisement solaire et transfert énergétiques Alain Ricaud Jan 2011
- [20] Livre de Climatologie Ecrit, Pierre Estienne, p.22 - 29
- [21] Système PV : système PV dimensionnement pour pompage d'eau pour une irrigation goutte à goutte (UFR-SEA), Mémoire DEA Physique Appliquée, Université de OUAGADOUGOU, p. 30 et 33
- Une méthode d'estimation du rayonnement solaire global reçu par une surface inclinée.
PR.Tadidi et M. N. Bargach ,Laboratoire d'énergie solaire et d'environnement Rabat Maroc.
p. 47 à 48. Août 2005

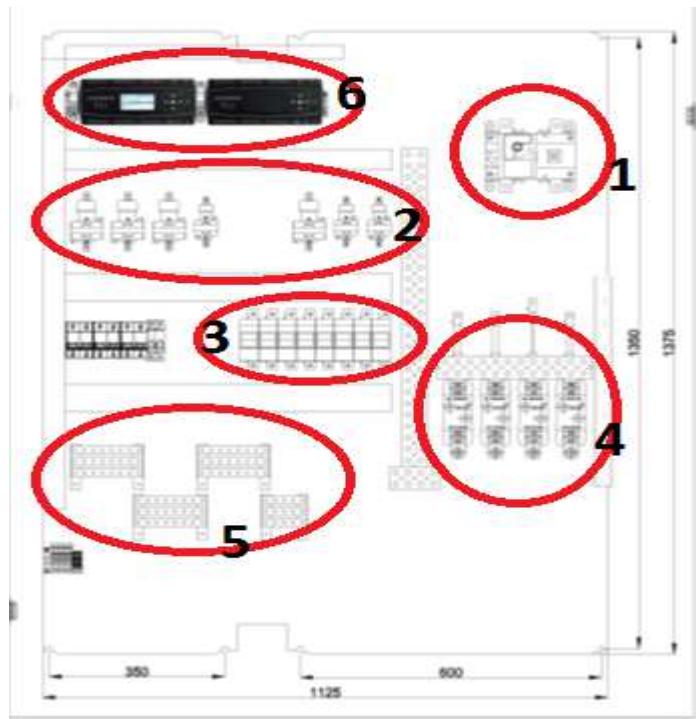
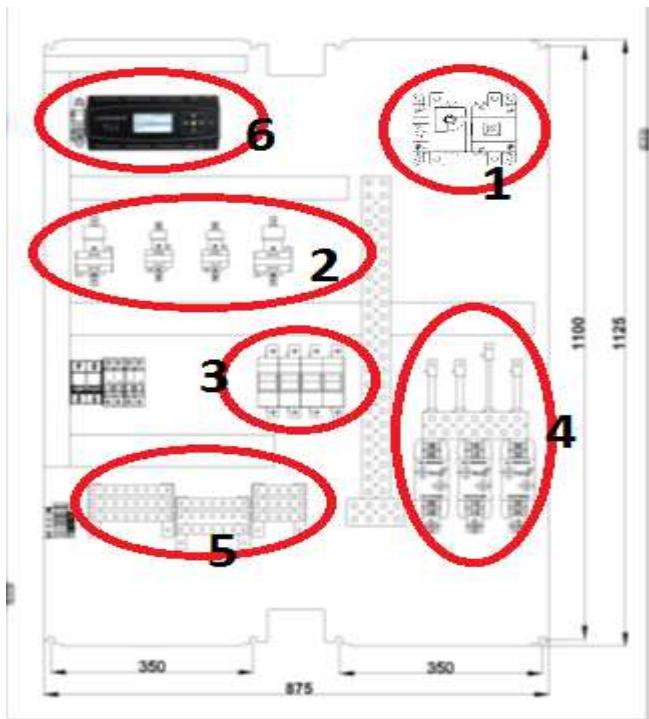
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

- [10] http:// Guide technique. Banner (www.bannerbattery.com) p.13 13/06/2016
- [11] http:// www.googleearth.com 14/01/2016
- [13] http:// Solar irradiance figures [Irradiation solaire global sur un plan horizontal] 15/07/2016
- [16] http:// calcul de puissance crête du système PV 16/09/2016
- [19] http:// Durée d'ensoleillement Wikipédia 05/12/2016

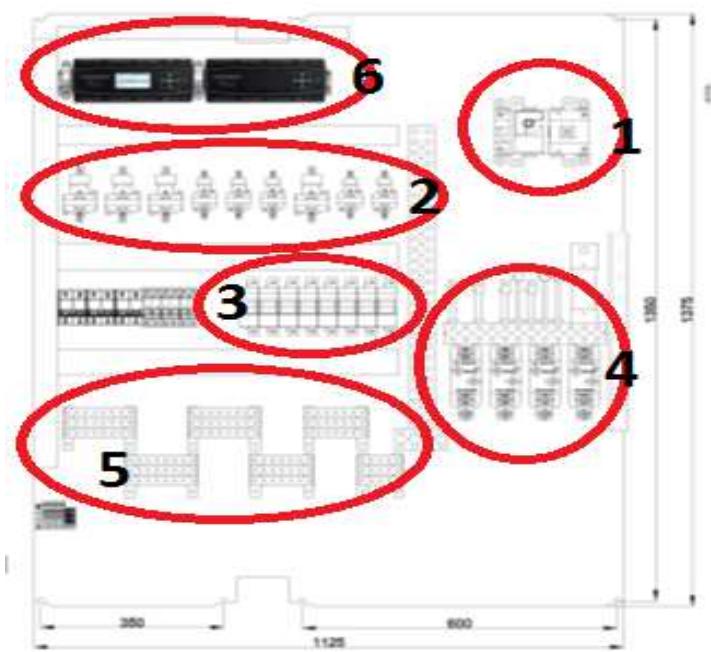
ANNEXES

ANNEXE 1 : Contenu et configuration de l'armoire de régulation Multistep PV-S

Types de 190A-48VDC/Types de 330A-48VDC



Types de 450A-48VDC



ANNEXE 2 : Emplacement d'autres sites sélectionnés pour la mise en place l'armoire de régulation « Multistep PV-S ».

- Sambaina

La figure A1 présente l'endroit du deuxième site sélectionné pour mettre en place l'armoire de régulation « Multistep PV-S ».

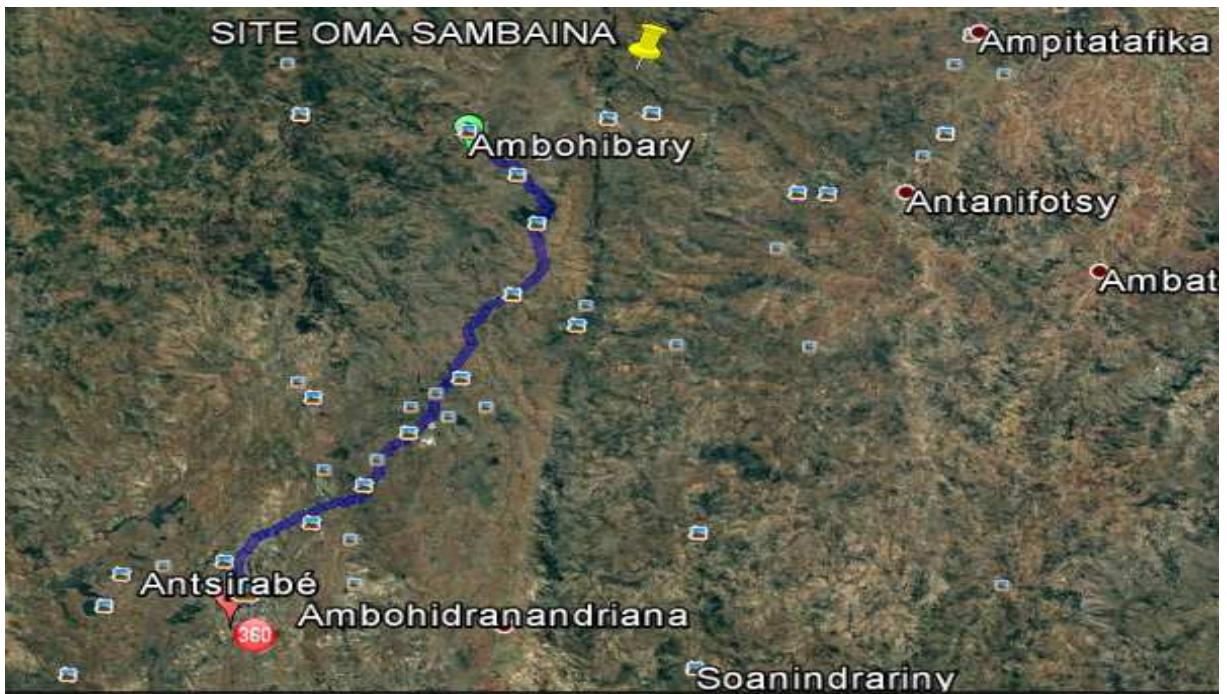


Figure A1 : Le site de Sambaina

C'est

un site Télécoms équipé des installations photovoltaïques, situant 60km au nord d'Antsirabe vers la route nationale numéro sept (RN7), dans la région Vakinankaratra.

Latitude : 19°35'13.10"SUD

Longitude : 47°12'28.68"EST

Panneaux solaires :

Le panneau solaire est divisé en deux types 310Wc avec de tension nominale de 24VCC et 135Wc de tension nominale de 12VCC, Le type de 310Wc se compte 42 unités et le 135Wc est de 128 unités, puissance crête totale est de 30300 Wc et le type de 310Wc est monocristalline fabriquée en France par la société SUNPOWER et le type de 135Wc est polycristalline fabriqué par TENESOL.

Armoire de régulation : L'armoire de régulation est basée par des régulateur de charge Enerstat, il existe deux armoires de régulation Enerstat sur ce site. La première armoire comporte 330A – 48VCC et la deuxième est de 450A – 48VCC. Le régulateur Enerstat a fabriqué par TENESOL et l'armoire avec les composants a été fabriquée par Schneider.

Accumulateur : La batterie est caractérisée du type d'accumulateur au plomb à électrolyte liquide, la capacité des accumulateurs est divisée en deux 1220Ah avec de tension nominale de 2VCC chacun de type TYS8 marque ecosafe fabriquée en Etats unis et 1714 Ah de type TYS11 avec tension d'alimentation de 2VCC, la marque de cette batterie est ecosafe, fabriqué en Etats unis. Les batteries TYS8 se comptent 96 unités et les TYS11 sont de 48 unités.

Puissance totale installée :

Champ photovoltaïque total : 30300 Wc

Tension nominale demandée : 48VCC

Armoire de régulation Enerstat : 01 armoire de 300A-48VCC et 01 armoire de 450A - 48VCC

Capacité totale des batteries : 8308 Ah - 48VCC

Energie consommée journalière (Ecj) :

Durée du temps d'utilisation du site Télécoms Behenjy est 24 heures (t).

Puissance d'équipement du Télécom installé est équivalente de 2500Watts (P)

$$Ecj = P*t = 2500W * 24h = 60000Wh/jour$$

- Ambohimanjaka

La figure A2 illustre l'endroit du troisième site sélectionné.



Figure A2 : Le site d'Ambohimanjaka

C'est un site Télécoms équipé des installations photovoltaïques, situant 50km au sud d'Antsirabe vers la route nationale numéro sept (RN7), dans la région d'Amoron'i Mania.

Latitude : 20°15'21.67"SUD

Longitude : 47° 5'13.22"EST

Panneaux solaires :

Le panneau solaire est divisé en deux types 310Wc avec de tension nominale de 24VCC et 135Wc avec de tension nominale de 12VCC. Le type de 310Wc se compte 38 unités et le 135Wc est de 100 unités, puissance crête totale est de 25280Wc ; le type de 310Wc est monocristalline fabriquée en Etats Unis par la société SUNPOWER et le type de 135Wc est polycristalline fabriqué par TENESOL.

Armoire de régulation : L'armoire de régulation est basée par des régulateur de charge Enerstat, il existe deux armoires de régulation Enerstat sur ce site. Chacun de cette armoire comporte 330A – 48VCC. Le régulateur Enerstat a fabriqué par TENESOL et l'armoire avec les composants a été fabriquée par Schneider.

Accumulateur : La batterie est caractérisée du type d'accumulateur au plomb à électrolyte liquide, la capacité des accumulateurs est divisée en deux 1200Ah avec de tension nominale de 2VCC chacun de type 12OPzS marque Hoppecke fabriquée en Allemagne et 1714 Ah de type TYS11 avec tension d'alimentation de 2VDC, la marque de cette batterie est ecosafe, fabriqué en Etats unis. Les batteries 12OPzS se comptent 48 unités et les TYS11 sont de 72 unités.

Puissance totale installée :

Champ photovoltaïque total : 25280Wc

Tension nominale demandée : 48VCC

Armoire de régulation Enerstat : 02 Armoires de 330A-48VCC

Capacité totale des batteries : 7542Ah - 48VCC

Energie consommée journalière (Ecj) :

Durée du temps d'utilisation du site Télécoms Ambohimanjaka est 24 heures (t).

Puissance d'équipement du Télécom installé est équivalente de 2000Watts (P)

$$Ecj = P \cdot t = 2000 \cdot 24h = 48000Wh/jour$$

- Antety

La figure A3 présente l'endroit du quatrième site sélectionné à étudier.

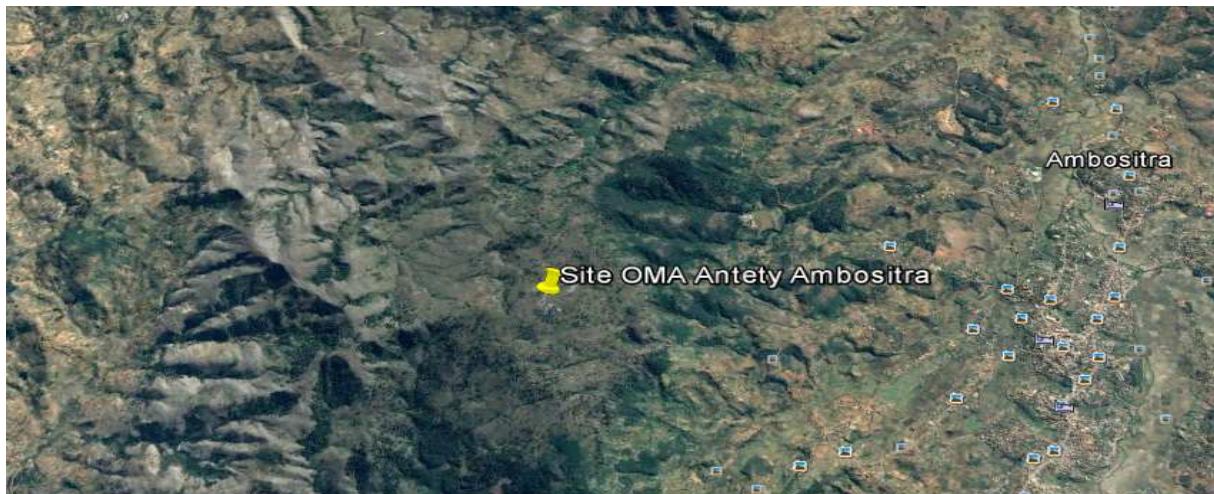


Figure A3 : Le site d'Antety

C'est un site Télécoms équipé des installations photovoltaïques, situant 5km à l'ouest d'Ambositra vers la route de la commune rurale d'Andina, dans la région d'Amoron'i Mania.

Latitude : 20°31'48.60"SUD

Longitude : 47°12'36.52"EST

Panneaux solaires :

Le panneau solaire est divisé en deux types 310Wc avec de tension nominale de 24VCC et 135Wc avec de tension nominale de 12VCC, Le type de 310Wc se compte 28 unités et le 135Wc est de 156 unités, puissance crête totale est de Wc et le type de 310Wc est monocristalline fabriquée en France par la société SUNPOWER et le type de 135Wc est polycristalline fabriqué par TENESOL.

Armoire de régulation : L'armoire de régulation est basée par des régulateur de charge Enerstat, il existe deux armoires de régulation Enerstat sur ce site. La première armoire comporte 330A - 48VCC et l'autre est de 450A-48VCC. Le régulateur Enerstat a fabriqué par TENESOL et l'armoire avec les composants a été fabriquée par Schneider.

Accumulateur : La batterie est caractérisée du type d'accumulateur au plomb à électrolyte liquide, la capacité des accumulateurs est divisée en deux, 1220Ah avec de tension nominale de 2VCC chacun de type TYS8 marque Ecosafe fabriquée en Etats unis et 1523 Ah de type TYS10 avec tension nominale de 2VDC, la marque de cette batterie est ecosafe, fabriquée en Etats unis. Les batteries TYS8 se comptent 96 unités et les TYS10 sont de 48 unités.

Puissance totale installée :

Champ photovoltaïque total : 29740Wc

Tension nominale demandée : 48VCC

Armoire de régulation Enerstat : 01 Armoire de 300A-48VCC et 01 armoire de 450A- 48VCC

Capacité totale des batteries : 7926Ah - 48VCC

Energie consommée journalière (Ecj) :

Durée du temps d'utilisation du site Télécoms Antety est 24 heures (t).

Puissance d'équipement du Télécom installé est équivalent de 2500Watts (P)

$$Ecj = P*t = 2500W * 24h = 60000Wh/jour$$

- Ambalamanakana

La figure A4 présente le site d'Ambalamanakana fait aussi partie du site sélectionné.



Figure A4 : Le site d'Ambalamanakana

C'est un site Télécoms équipé des installations photovoltaïques, situant 3km au nord de la commune rurale d'Ambatofitorahana vers la route nationale numéro sept (RN7), dans la région d'Amoron'i Mania.

Latitude : 20°47'32.87"SUD

Longitude : 47° 9'46.11"EST

Panneaux solaires :

Le panneau solaire est divisé en deux types 310Wc avec de tension nominale de 24VCC et 135Wc avec tension nominale 12VCC, Le type de 310Wc se compte 38 unités et le 135Wc est de 100 unités, puissance crête totale est de 25280Wc. Le type de 310Wc est monocristalline fabriquée en France par la société SUNPOWER et le type de 135Wc est polycristalline fabriqué par TENESOL.

Armoire de régulation : L'armoire de régulation est basée par des régulateur de charge Enerstat, il existe deux armoires de régulation Enerstat sur ce site. Chaque armoire comporte 330A – 48VCC. Le

régulateur Enerstat a fabriqué par TENESOL et l'armoire avec les composants a été fabriquée par Schneider.

Accumulateur : La batterie est caractérisée du type d'accumulateur au plomb à électrolyte liquide, la capacité des accumulateurs est divisée en deux, 1200Ah avec de tension nominale de 2VCC chacun, type 12OPzS marque Hoppecke fabriquée en Allemagne et 1523 Ah de type TYS10 avec tension d'alimentation de 2VCC chacun, la marque de cette batterie est ecosafe, fabriqué aux Etats unis. Les batteries TYS10 se comptent 48 unités et les TYS11 sont de 72 unités.

Puissance totale installée :

Champ photovoltaïque total : 25280Wc

Tension nominale demandée : 48VCC

Armoire de régulation Enerstat : 02 Armoires de 330A-48VCC

Capacité totale des batteries : 6969Ah - 48VCC

Energie consommée journalière (Ecj) :

Durée du temps d'utilisation du site Télécoms Antety est 24 heures (t).

Puissance d'équipement du Télécom installé est équivalente de 2500Watts (P)

$$Ecj = P \cdot t = 2500W \cdot 24h = 60000Wh/jour$$

- Mandalahy

La figure A5 montre le sixième site sélectionné pour la mise en place de l'armoire de régulation PV « Multistep PV-S ».



Figure A5 : Le site de Mandalahy

Il est aussi équipé des installations photovoltaïques. Il se situe 8km au nord de la commune rurale d'Alakamisy Ambohimaha, dans la région de Haute Matsiatra.

Latitude : 21°16'52.98"S

Longitude : 47°14'41.72"E

Panneaux solaires :

Le panneau solaire est de 310Wc avec de tension de 24V chacun, il se compte 108 unités, puissance crête totale est de 33480Wc et il est du type monocristallins, fabriquée en France par la société SUNPOWER.

Armoire de régulation : L'armoire de régulation est basée par des régulateur de charge ENERSTAT, chacun de cette armoire comporte 450A – 48VCC de régulateur fabriqué par TENESOL et l'armoire avec les composants de protections a été fabriquée par Schneider.

Accumulateur : La batterie est caractérisée du type d'accumulateur au plomb à électrolyte liquide, la capacité de cet accumulateur est de 2235Ah avec de tension nominale de 2VCC chacun, type TZS12, la marque de cette batterie est ecosafe, fabriquée en Etats unis. Les batteries se comptent 96 unités.

Puissance totale installée :

Champ photovoltaïque total : 33480Wc

Tension nominale demandée : 48VCC

Armoire de régulation : 02 Armoires de 450A - 48VCC

Capacité totale des batteries : 9340Ah - 48VCC

Energie consommée journalière :

Durée du temps d'utilisation du site Télécoms Mandalahy est 24 heures (t).

Puissance d'équipement du Télécom installé est équivalent de 2500Watts(P)

$$Ecj = P*t = 2500W * 24h = 60\,000 \text{ Wh/jour}$$

Chaque site possède une armoire de couplage qui sert à coupler les deux générateurs photovoltaïques sur site. Il est caractérisé des composants comme les diodes bloquantes, les bornes vikings de 95mm² et les refroidisseurs.

Elle peut tenir de forte intensité jusqu'à 120A-48VCC et elle a été fabriqué par l'entreprise Schneider.

Etude technique de remplacement d'une armoire de régulation pour les sites de Sambaina, Ambohimanjaka, Antety, Ambalamanaakana et Mandalahy

Sambaina

Puissance crête totale des modules PV

$$Pct1 = 135 * 128 = 17280 \text{ Wc}$$

$$Pct2 = 310 * 42 = 13020 \text{ Wc}$$

Intensité maximale reçue par les modules PV

$$Imr1 = 32 * 7,5 = 240 \text{ A}$$

$$Imr2 = 21 * 8,5 = 178,5 \text{ A}$$

Tension maximale reçue par branches des modules PV

$$Vm1 = 18,1 * 4 = 72,4 \text{ VCC}$$

$$Vm2 = 36,5 * 2 = 73 \text{ VCC}$$

Ambohimanjaka

Puissance crête totale des modules PV

$$Pct1 = 135 * 100 = 13500 \text{ Wc}$$

$$Pct2 = 310 * 38 = 11780 \text{ Wc}$$

Intensité maximale reçue par les modules PV

$$Imr1 = 25 * 7,5 = 187,5 \text{ A}$$

$$Imr2 = 19 * 8,5 = 161,5 \text{ A}$$

Tension maximale reçue par branches des modules PV

$$Vm1 = 18,1 * 4 = 72,4 \text{ VCC}$$

$$Vm2 = 36,5 * 2 = 73 \text{ VCC}$$

Antety

Puissance crête totale des modules PV

$$Pct1 = 135 * 156 = 21060 \text{ Wc}$$

$$Pct2 = 310 * 28 = 8680 \text{ Wc}$$

Intensité maximale reçue par les modules PV

$$Imr1 = 39 * 7,5 = 292,5 \text{ A}$$

$$Imr2 = 14 * 8,5 = 119 \text{ A}$$

Tension maximale reçue par branches des modules PV

$$Vm1 = 18,1 * 4 = 72,4 \text{ VCC}$$

$$Vm2 = 36,5 * 2 = 73 \text{ VCC}$$



Puissance crête totale des modules PV

$$Pct1 = 135 * 100 = 13500 \text{ Wc}$$

$$Pct2 = 310 * 38 = 11780 \text{ Wc}$$

Intensité maximale reçue par les modules PV

$$Imr1 = 25 * 7,5 = 187,5 \text{ A}$$

$$Imr2 = 19 * 8,5 = 161,5 \text{ A}$$

Tension maximale reçue par branches des modules PV

$$Vm1 = 18,1 * 4 = 72,4 \text{ VCC}$$

$$Vm2 = 36,5 * 2 = 73 \text{ VCC}$$



Puissance crête totale des modules PV

$$Pct1 = 310 * 54 = 16740 \text{ Wc}$$

$$Pct2 = 310 * 54 = 16740 \text{ Wc}$$

Intensité maximale reçue par les modules PV

$$Imr1 = 27 * 8,5 = 229,5 \text{ A}$$

$$Imr2 = 27 * 8,5 = 229,5 \text{ A}$$

Tension maximale reçue par branches les modules PV

$$Vm1 = 36,5 * 2 = 73 \text{ VCC}$$

$$Vm2 = 36,5 * 2 = 73 \text{ VCC}$$

ANNEXE 3 : Fiche récapitulative de bilan de consommation



Etude de dimensionnement de générateur photovoltaïque

en site isolé

Fiche récapitulative des consommations

CLIENT :	Orange MADAGASCAR
PROJET :	Télécoms FANDRIANA
APPLICATION :	Site isolé
TEINSON DE L'INSTALLATION :	48 V
ONDULEUR :	
PUISSSANCE MIN. DE L'ONDULEUR :	

Place	Appareil à alimenter	de points de fixe ou appareil	Puissance unitaire (W)	Temps d'utilisation (h)	Rendement onduleur (%)	Consom. Wh/jour	Consom. Ah/jour	Intensité A
		1	1500	24		36000	750,0	31,3

CONSUMMATION JOURNALIERE TOTALE	36000,00 Wh/jour
	750,00 Ah/jour

INTENSITE MAXIMUM	31,25 Ampere(s)
-------------------	-----------------

ANNEXE 4 : Fiche récapitulative des résultats du générateur photovoltaïque site Télécom de Fandriana



Etude de dimensionnement de générateur photovoltaïque

en site isolé

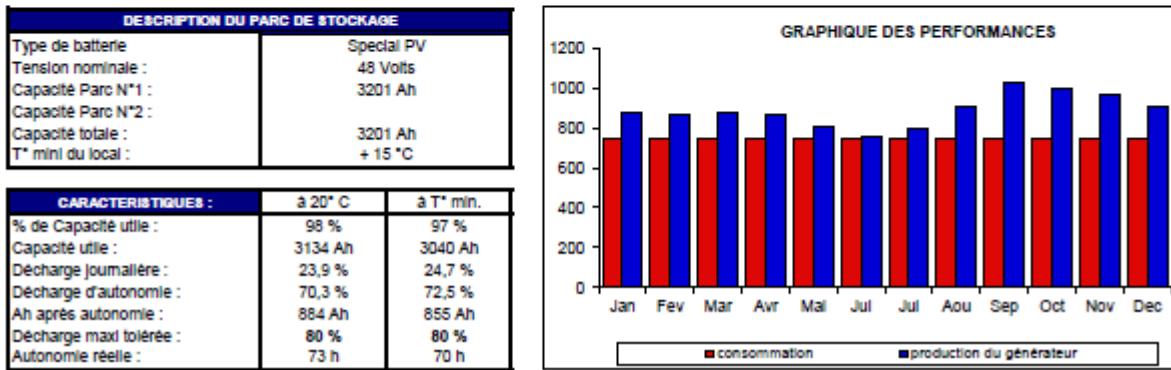
Fiche récapitulative des résultats

Réalisée pour : Orange MADAGASCAR	Date : 19.10.16
Contact :	Opérateur :

RAPPEL DES PRINCIPALES DONNEES									
Application : Site isolé					Hémisphère : S				
Tension nominale : 48 V					Pays : Madagascar				
Energie maxl. cons. : 750,0 Ah/j					Site : FANDRIANA				
Energie moyen. consom. : 750,0 Ah/j					Latitude : 20,15°				
Autonomie désirée : 72 H					Longitude : 47,24°				
Code base météo : 2183					T° amb. min. : +15°C				
					T° amb. max. : +35°C				

CARACTERISTIQUES DU SYSTEME RECOMMANDÉ				12960 Wc	48 V	3201 Ah		
Type de module (1000 W/m², 25 °C)	Champ de Module Photovoltaïque			Batterie				
Puissance	Tension	Intensité	Branche(s)	Nb Total	Puissance	Inclinaison	Tension	Capacité
135 Watts	17,9 Volts	7,60 Ampères	24	96 Module(s)	12960 Wc	15 °/ Horizontal	48 Volts	3201 Ah c100

Période d'utilisation annuelle	Pourcentage d'utilisation par mois	PERFORMANCES ATTENDUES		Radiation moyenne : 5 Wh/m²/jour				Capacité batterie relevée fin de mois
		Irradiation globale journalière Plan horiz.	Irradiation totale journalière à 15 °	Production énergétique des modules PV	Production incluant coefficient de sécurité	Consommation moyenne par jour des équipements	Ratio Production / Consommation	
Mois	%	Wh/m²/jour	Wh/m²/jour	Ah/jour	Ah/jour	Ah/jour	%	
Jan	100	5640	5304	967,36	870,63	750,00	1,16	100
Fev	100	5400	5262	959,84	863,86	750,00	1,15	100
Mar	100	5190	5313	969,09	872,18	750,00	1,16	100
Avr	100	4800	5245	956,62	860,96	750,00	1,15	100
Mal	100	4240	4901	893,89	804,50	750,00	1,07	100
Jul	100	3840	4586	836,52	752,87	750,00	1,00	100
Jul	100	4100	4815	878,31	790,48	750,00	1,05	100
Aou	100	4920	5523	1007,37	906,64	750,00	1,21	100
Sep	100	5900	6224	1135,30	1021,77	750,00	1,36	100
Oct	100	6120	6058	1104,97	994,48	750,00	1,33	100
Nov	100	6210	5884	1073,32	965,98	750,00	1,29	100
Dec	100	5910	5506	1004,32	903,89	750,00	1,21	100
Moyenne	100	5189	5385	982,24	884,02	750,00	1,2	100



ANNEXE 5 : Etude d'inclinaison pour le site de Fandriana pour le mois d'avril

Le 15^{ème} du mois d'Avril

Latitude : 20,15

$$n = 105 \quad di = 6,84 \quad H = 4800 \text{ Wh/jour} \quad Pi = 3,14$$

$$s = 15^\circ \quad a = 0,2 \quad \varphi = 20,15$$

$$\delta = 23,45 \sin [(n-81) * (360/365)] \text{ ou } \delta = 23,45 \sin [(n+284) * (360/365)]$$

$$\delta = 23,45 \sin [(105 + 284) x (360/365)]$$

$$\delta = 23,45 \times 0,4 \quad \delta = 9,38^\circ$$

$$\cos \Omega_s = - \tan (\varphi) \times \tan (\delta)$$

$$= - (0,37) \times (0,16) = -0,06$$

$$\Omega_s = 93,4^\circ$$

$$\cos \Omega' s = - \tan (\varphi-s) \times \tan (\delta)$$

$$= -0,09 \times 0,16$$

$$\Omega' s = 89,2^\circ$$

$$dj = (2 \times \Omega_s) / 15 = (2 \times 93,4) / 15 = 12,45$$

$$\sigma = di/dj = 6,84/12,45 = 0,55$$

$$H = H' \times (0,19 + 0,62 \times \sigma) = H' \times (0,19 + 0,62 \times 0,55) = H' \times 0,53$$

$$K_T = H / H'$$

$$K_T = 0,53$$

$$Hd/H = 1,311 - 3,022(K_T) + 3,427(K_T)^2 - 1,821(K_T)^3$$

$$Hd = 0,4 \times H = 0,4 \times 4800 = 1920 \text{ Wh/jour}$$

$$Hb = H - Hd = 4800 - 1920 = 2880 \text{ Wh/jour}$$

$$R_b = [\cos (\varphi-s) \cos \delta \sin \Omega'_s + (\pi/180) \Omega'_s \sin (\varphi-s) \sin \delta] / [\cos \varphi \cos \delta \sin \Omega_s + (\pi/180) \Omega_s \sin \varphi \sin \delta]$$

Application numérique

$$R_b = [\cos (20,15-15) \cos (9,38) \sin (89,2) + (\pi/180) 89,2 \sin (5,15) \sin 9,38] / [\cos (20,15) \cos 9,38$$

$$\sin 93,4 + (\pi/180) 93,4 \sin 20,15 \sin 9,38]$$

$$R_b = 0,8$$

$$Ht = Rb \times Hb + Hd [(1+\cos s) / 2] + H \times a \times [(1-\cos s) / 2]$$

$$Ht = 2880 \times 0,8 + 1920 \times 0,98 + 4800 \times 0,2 \times 0,04 / 2$$

$$\boxed{\mathbf{Ht = 4202 \text{ Wh/jour}}}$$

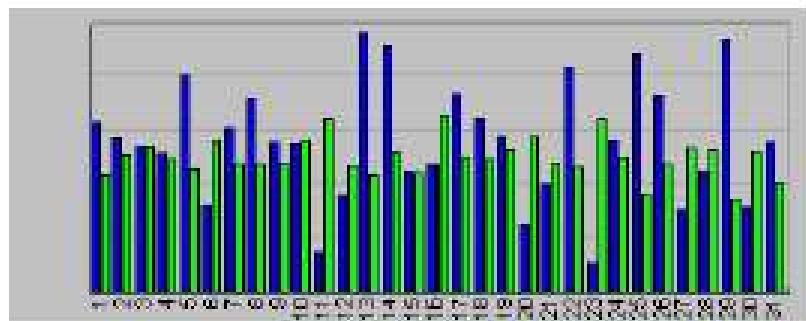
ANNEXE6 : Extrait des données dans l'Enerstat pour le site d'Ambohimanjaka



Mesures journalières de l'année
2014



AMBOHIMANJAKA EXT



Synthèse - Puissances (W)

Decembre 2014

Nom du Site

AMBOHIMANJAKA EXT E1 E1

Région

Application

Telecom

Photovoltaïque : 0 kW

Groupe électrogène : 0 kVA

Gené. auxiliaire : 0 kW

Batterie : 0 Ah / 24 V

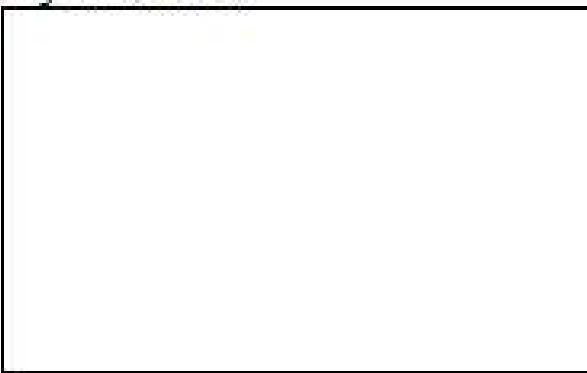
Pas d'onduleur

Date	Production			Batterie		Consommation		Cumuls		Alarmes				
	Pa	Pbu	Pau	Psi	Pso	Pi	Pii	Pin DC	Pout DC	A1	A2	A3	A4	A5
01/12/2014	5 988	0	0	4 267	1 352	48	1 281	5 688	1 409	0	0	0	0	0
02/12/2014	5 115	0	0	4 774	1 352	42	1 285	5 115	1 407	0	0	0	0	0
03/12/2014	4 898	0	0	3 808	1 354	42	1 272	4 888	1 414	0	0	0	0	0
04/12/2014	4 138	0	0	3 494	1 354	35	1 280	4 138	1 395	0	0	0	0	0
05/12/2014	3 775	0	0	3 202	1 354	32	1 281	3 775	1 389	0	0	0	0	0
06/12/2014	4 785	0	0	3 719	1 354	41	1 280	4 785	1 401	0	0	0	0	0
07/12/2014	4 575	0	0	4 145	1 354	39	1 281	4 575	1 400	0	0	0	0	0
08/12/2014	3 958	0	0	3 434	1 351	34	1 258	3 958	1 392	0	0	0	0	0
09/12/2014	5 522	0	0	4 268	1 354	46	1 287	5 522	1 413	0	0	0	0	0
10/12/2014	5 183	0	0	4 520	1 354	41	1 281	5 183	1 402	0	0	0	0	0
11/12/2014	3 945	0	0	3 358	1 354	33	1 281	3 945	1 394	0	0	0	0	0
12/12/2014	4 080	0	0	3 567	1 354	34	1 288	4 080	1 390	0	0	0	0	0
13/12/2014	4 604	0	0	4 030	1 354	41	1 283	4 604	1 404	0	0	0	0	0
14/12/2014	3 997	0	0	3 684	1 354	30	1 280	3 997	1 390	0	0	0	0	0
15/12/2014	4 981	0	0	3 732	1 354	40	1 280	4 981	1 400	0	0	0	0	0
16/12/2014	4 022	0	0	3 389	1 354	34	1 280	4 022	1 394	0	0	0	0	0
17/12/2014	4 330	0	0	3 558	1 354	34	1 280	4 330	1 394	0	0	0	0	0
18/12/2014	4 981	0	0	3 776	1 346	38	1 280	4 981	1 398	0	0	0	0	0
19/12/2014	4 725	0	0	3 621	1 351	39	1 281	4 725	1 400	0	0	0	0	0
20/12/2014	5 497	0	0	4 043	1 353	48	1 258	5 497	1 404	0	0	0	0	0
21/12/2014	3 454	0	0	3 321	1 354	32	1 258	3 454	1 390	0	0	0	0	0
22/12/2014	4 250	0	0	3 784	1 354	34	1 280	4 250	1 394	0	0	0	0	0
23/12/2014	4 894	0	0	3 682	984	18	1 259	4 894	1 389	0	0	0	0	0
24/12/2014	4 295	0	0	3 250	1 355	34	1 281	4 295	1 395	0	0	0	0	0
25/12/2014	4 101	0	0	3 612	1 354	34	1 280	4 101	1 394	0	0	0	0	0
26/12/2014	4 190	0	0	3 634	1 352	35	1 298	4 190	1 391	0	0	0	0	0
27/12/2014	3 927	0	0	3 748	1 354	34	1 280	3 927	1 394	0	0	0	0	0
28/12/2014	3 972	0	0	3 718	1 351	35	1 281	3 972	1 398	0	0	0	0	0
29/12/2014	4 577	0	0	3 918	1 354	41	1 280	4 577	1 401	0	0	0	0	0
30/12/2014	4 612	0	0	3 244	1 353	32	1 281	4 612	1 393	0	0	0	0	0
31/12/2014	4 854	0	0	4 482	1 352	14	1 281	4 854	1 375	0	0	0	0	0
Moyennes	4 512	0	0	3 778	1 341	35	1 280	4 512	1 398	0	0	0	0	0

Légende des symboles

- Pa : Puissance maxi fournie champ PV (W)
- Pbu : Puissance maxi sortie chargeur GE (W)
- Pau : Puissance maxi sortie chargeur auxiliaire (W)
- Psi : Puissance maxi reçue reçue par la batterie (W)
- Pso : Puissance maxi fournie par la batterie (W)
- Pi : Puissance maxi consommée récepteur DC (W)
- Pii : Puissance maxi consommée entrée onduleur (W)
- Pin DC : Puissance maxi totale produite (Pa+Pbu+Pau) (W)
- Pout DC : Puissance maxi totale consommée (Pi+Pii) (W)

Légende des alarmes



RESUME

L'énergie solaire est une énergie inépuisable. Dans cette étude présente, la première partie se focalise sur l'application d'une armoire de régulation photovoltaïque moderne et la deuxième crée un outil d'aide pour un dimensionnement solaire photovoltaïque pour habitats ou des sites isolés. Il consiste à la mise en place de l'armoire de régulation Multistep PV-S et la création d'une application de dimensionnement solaire à base de langage de programmation Excel Visual basic. L'armoire de régulation est l'un de composant dans un générateur photovoltaïque ; l'armoire de régulation Enerstat se fait remplacer par le Multistep PV-S. Cette armoire de régulation a été conçue pour gérer les systèmes photovoltaïques au niveau de charge et décharge des accumulateurs. C'est dans cette étude aussi même qu'on présente les processus d'élaboration de dimensionnement solaire à base de langage de programmation Excel Visual basic. Le but de cette application est de mettre en valeur l'importance de dimensionnement solaire avant d'installer le générateur photovoltaïque.

Mots clés : Multistep PV-S, Enerstat, Générateur photovoltaïque, Dimensionnement solaire, Excel Visual basic.

ABSTRACT

The solar energy is an inexhaustible energy. In this, first, we focus on the application of modern photovoltaic regulation cupboard and the second, we create a useful tool for solar PV dimensionality for habitats or the isolated sites. It consists of the regulation Multistep PV-S cupboard setup of and the creating solar dimensioning measurement application based on Exceland Visual basic programing langage. Regulation cupboard is a photovoltaic generator component. Enerstat regulation cupboard is made to replace Multistep PV-S. It was designed to manage the accumulators load and discharge of photovoltaic panel. This study shows as well dimensioning solar development processusing Visual basic programming language. This application aims to emphasize the importance role of solar dimensioning before installing the photovoltaic generator.

Keywords:Multistep PV-S, Enerstat, Photovoltaïc generator, Solar dimensioning, Excel Visual basic.

Encadreur Pédagogique

Madame RAZANAMANAMPISOA Harimalala

Maîtres de Conférences

Impétrant

ANDRIAMANANTSOA Tokiniaina
Cité universitaire Ankafotsy II bloc 4 p5A
Tél : 034 81 288 77 – 032 66 631 47