

Liste des figures

Figure 1.1	Eolienne	5
Figure 1.2	Barrage hydroélectrique	6
Figure 1.3	Principe de conversion de l'énergie géothermique en énergie électrique	7
Figure 1.4	Principe d'extraction de l'énergie géothermique	7
Figure 1.5	La chaufferie à bois	8
Figure 1.6	Capteur photovoltaïque	9
Figure 1.7	Latitude et longitude d'un point local	10
Figure 1.8	Angle horaire et déclinaison du soleil	11
Figure 1.9	Azimut et hauteur du soleil	12
Figure 2.1	Schéma de principe de conversion de l'énergie photovoltaïque en énergie alternatif	21
Figure 2.2	Convertisseur continue (DC)- Alternatif (AC)	28
Figure 2.3	Chaîne de conversion sortie stable du régulateur	28
Figure 2.4	Montage de base d'un onduleur	29
Figure 2.5	Schéma fonctionnel de la partie onduleur	30
Figure 2.6	Principe de modulation de largeur d'impulsion	31
Figure 2.7	Pont de puissance a transistor	31
Figure 2.8	Principe de génération de la MLI	32
Figure 2.9	Organigramme de l'algorithme de commande	33
Figure 2.10	Tableau de commande pour l'onduleur/ chargeur SW	36
Figure 2.11	Fonctionnement simplifié de l'onduleur série SW trace	38
Figure 2.12	Port d'empilage	40
Figure 2.13	Exemple de bon câblage : limitation des aires de boucles induites	46
Figure 2.14	Schémas électrique du coffret parafoudre CPV240-230-xx-DDR	51
Figure 2.15	Schéma électrique CPV50-500-3ST	51
Figure 2.16	Principe de protection par des coffrets parafoudre	52
Figure 2.17	Schéma détaillé du principe de protection par des coffrets parafoudre	52
Figure 2.18	Schéma de principe d'une installation PV raccordé au réseau	53
Figure 2.19	Ports de connexion batterie et mise à la terre du côté DC	54
Figure 2.20	Ports de raccordement du côté AC	55

Liste des tableaux

Tableau 2.1	Ensoleillement mensuel d'Antananarivo	21
Tableau 2.2	Données caractéristique du site	22
Tableau 2.3	Caractéristiques des régulateurs de type PL60	25
Tableau 2.4	Caractéristiques des régulateurs de type CX	26
Tableau 2.5	Caractéristiques des inverseurs de source	34
Tableau 2.6	Quelques types d'onduleur chargeur	35
Tableau 2.7	Câble nécessaire entre batterie onduleur	43
Tableau 2.8	Tailles minimums des câbles	44
Tableau 2.9	Courants admissibles dans les câbles de chaîne	47
Tableau 2.10	Choix d'une mesure de protection	48
Tableau 2.11	Parafoudres de type 1 et 2 en basse tension	50
Tableau 2.13	Connexions au bloc de raccordement côté AC	55
Tableau 3.1	Tableau des données concernant le site	59
Tableau 3.2	Caractéristiques du module HSE-SL-230W Monocristallin	61
Tableau 3.3	Caractéristiques des batteries d'accumulateur	63
Tableau 3.4	Caractéristiques du regulateur PL60	64
Tableau 3.5	Caractéristiques du site	64
Tableau 3.6	Tableau des consommations énergétiques en fonction de l'ensoleillement	65
Tableau 3.7	Résultats de calcul pour dimensionner le champ photovoltaïque	65
Tableau 3.8	Spécifications et caractéristiques du model SW5548	68
Tableau 3.9	Caractéristiques du coffret CPV240-230-xx-DDR	69
Tableau 3.10	Caractéristiques du coffret CPV50-500-3ST	70
Tableau 3.11	Câble de connexion PV et Boite de jonction	70
Tableau 3.12	Câble de connexion boite de raccordement et régulateur	70
Tableau 3.13	Câble de connexion batteries onduleur	71
Tableau 3.14	Câble de connexion batteries onduleur	71
Tableau 3.15	Câble de mise à la terre	71
Tableau 3.16	Tableau récapitulatif des résultats	73
Tableau 3.17	Bilan économique	74
A.1	Tableau de Conversion Fils AWG – Métriques	88
A.2	Equivalents métrique/AWG	89

Liste d'abréviations

Abréviations	Désignation
PV	Photovoltaïque
conv	Convertisseur
Ah	Ampèreheure
Max	Maximale
Min	Minimale
MPPT	Maximum Power Point Tracking ou optimiseur de puissance
MLI ou PWM	Modulation de Largeur d'Impulsion ou Pulse Wide Modulation
STB	Sonde Température – Batterie
CC	Courant Continu
CA	Courant Alternatif
TGBT	Tableau Général de Basse Tension
DDR	Disjoncteur différentiel

Symboles

Symboles	Désignation	Unité
a	Azimut du soleil	[°]
b	Coefficient de trouble atmosphérique	
C	Coefficient d'incidence	
C	Capacité du Park batterie nécessaires	[Ah]
C_i	Capacité propre d'une batterie	[Ah]
d	Durée d'ensoleillement	[h]
D	Rayonnement solaire diffus	[W/m ²]
dd	Numéro d'ordre du jour dans le mois	
δ	Déclinaison	[°]
ΔU	Chute de tension	[V]
E_i	Ensoleillement	[kWh/m ² /j]
E_j	Consommation électrique journalière	[Wh/j]
E_o	Constante solaire	[W/m ²]
E_s	Rayonnement solaire reçu par une surface	[W/m ²]
ET	Equation du temps	
E_T	Consommation journalière totale	[Wh/j]

G	Rayonnement solaire global	[W/m ²]
h	Hauteur du soleil	[°]
h_i	Heur de marche de l'équipement i	[h]
H_R	Taux moyen d'humidité relative	[%]
i	Angle d'inclinaison du capteur	[°]
I	Rayonnement solaire direct	[W/m ²]
I_{mpp}	Intensité à puissance maximale	[A]
I_{max}	Courant de régulateur	[A]
I_{sc}	Intensité court – circuit	[A]
I_{scSTC}	courant d'une chaîne	[A]
Iscstc	Intensité maximal PV	[A]
j	Numéro d'ordre du jour dans l'année	
k_D	Coefficient de décharge	
k_p	Coefficient qui tient compte des pertes	
L	Latitude	[°]
Lo	Longitude	[°]
m	Masse d'air optique	[kg]
m₀	Numéro d'ordre du mois dans l'année	
n	Nombre de Batterie	[batterie]
N	Nombre de modules	[module]
NF	Numéro du fuseau horaire	
n_i	Nombre de l'équipement i	
n_j	Nombre de jours d'autonomie	[j]
η_{conv}	Rendement de convertisseur	[%]
o	Angle d'orientation du capteur	[°]
P	Puissance du système	[W]
P_{atm}	Pression atmosphérique	[Pa]
P_c	Puissance crête	[Wc]
P_{ci}	Puissance crête d'un module	[Wc]
P_i	Puissance de l'équipement i	[W]
P_{max}	Puissance au point puissance maximale	[W]
P_{nom}	Puissance nominale de l'onduleur	[W]
P_{vs}	Pression de vapeur saturante	[mm Hg]
ρ	Résistivité	[Ω.m]
S	Rayonnement solaire direct	[W/m ²]

T	Température de l'air	[°C]
T_L	Facteur de trouble de linke	
TL	Temps légal	[h]
TSM	Temps solaire moyenne	[h]
TSV	Temps solaire vrai	[h]
U	Tension de la batterie	[V]
Uc	Tension du régime permanent	[V]
Ucpv	Tension de régime permanent max.	[V]
U_{min}	Tension minimale du système	[V]
Un	Tension du réseau	[V]
Uocstc	Tension maximale PV	[V]
Up	Niveau de Protection	[V]
V_{mpp}	Tension à puissance maximale	[V]
V_{oc}	Tension à vide	[V]
w	Angle horaire	[°]
Z	Altitude du lieu	[m]

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	2
PARTIE I : CONTEXTE GENERAL	5
Chapitre 1 : ENERGIE RENOUVELABLE	5
1.1) Définition	5
1.2) Quelques types d'énergie renouvelable	5
1.2.1) L'énergie éolienne.....	5
1.2.2) L'énergie hydraulique.....	6
1.2.3) L'énergie géothermique	6
1.2.4) L'énergie de la biomasse	8
1.2.5) L'énergie solaire	8
Chapitre 2 : EXPRESSION du rayonnement solaire	10
2.1) La latitude et longitude d'un lieu	10
2.2) Position du soleil.....	10
2.2.1) Les coordonnées horaires	10
2.2.2) Les coordonnées azimutales	12
2.3) Heure de lever et du coucher de soleil	13
2.3) Durée d'ensoleillement	13
2.4) Détermination du rayonnement solaire	13
2.5.1) Rayonnement solaire direct I	13
2.5.2) Rayonnement solaire direct S.....	15
2.5.3) Rayonnement solaire diffus D	15
2.5.4) Rayonnement solaire globale G	15
Chapitre 3 : NOTION DE TEMPS	16
3.1) Le temps solaire vrai.....	16
3.2) Temps solaire moyen	16
3.3) Equation du temps	16
3.4) Le temps légal	16
PARTIE II : METHODOLOGIE.....	18
Chapitre 1 : SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE RACCORDE AU RESEAU	19
1.1) Principe de base	19

1.1.1)	Avantages de l'énergie photovoltaïque par rapport à d'autres énergies renouvelables	19
1.1.2)	Schéma de principe	20
1.2)	Dimensionnement d'un site photovoltaïque	21
1.1.1)	Ensoleillement	21
1.1.2)	Données	22
a)	Site : Ambodifasina Ambatolampy Antananarivo	22
b)	Nombre de jours d'autonomie n_j	22
1.2.3)	Données	22
a)	Consommation électrique journalière	22
b)	Evaluation de la somme de puissance et de la tension d'utilisation	23
i)	Puissance du système	23
j)	Tension du système	23
c)	Puissance crête	23
d)	Nombre de modules	24
e)	Capacité en [Ah] du parc batterie	24
f)	Courant du régulateur	24
i)	Régulateur de charge et stockage d'énergie	24
j)	Rôles du régulateur de charge dans un système photovoltaïque	25
1.3)	Onduleur chargeur	26
1.3.1)	Définition	26
1.3.2)	Les différentes parties de l'onduleur chargeur	27
a)	Régulateur de charges	27
b)	Onduleur	28
i)	Schéma symbolique d'un onduleur	28
j)	Les différentes parties de la partie onduleur	28
k)	Fonction de cette partie onduleur	28
l)	Schéma fonctionnel de l'onduleur	29
m)	Principe de génération de le MLI	29
n)	Algorithme de commande	32
c)	Inverseur de source automatique	34
i)	Principe de fonctionnement.....	34

j) Caractéristiques de l'inverseur de source automatique	34
d) Quelques types d'onduleur/chargeur	35
Chapitre 2 : XANTREX SERIE SW 5548	36
2.1) Introduction	36
2.2) Caractéristiques de l'onduleur/chargeur série SW	36
2.3) Fonctionnement	37
2.3.1) Théorie de fonctionnement	37
2.3.2) Mode de fonctionnement	39
2.3.3) Fonctionnement empilage	40
a) Empilage en série	41
b) Empilage en parallèle	41
2.3.3) Type de batterie	41
a) Batterie à décharge profonde	41
b) Batterie plomb – acide non scellée	41
c) Batterie plomb – acide scellée	41
d) Batterie nickel – cadinium (NICAD) et nickel – fer (NIFE)..	42
2.3.5) Taille des batteries	42
2.3.6) Exigences de batterie	42
a) Emplacement de la batterie	43
b) Taille de câble de la batterie	43
Chapitre 3 : PROTECTION ET CABLAGE	45
3.1) Mise à la terre des masses ou équipotentialité	45
3.2) Protection contre les surintensités	46
3.2.1) Chaîne PV	46
3.2.2) Câble groupe PV	47
3.2.3) Les parafoudres	47
a) Les paratonnerre à tige	48
b) Les paratonnerre à cage maillée	49
c) Les paratonnerre à fils tendus	49
3.2.4) Quelques types des parafoudres	50
a) Parafoudres de type 1 et 2 en basse tension	50
b) Parafoudres type 2 débrochable pour réseau PV	50

c) Schéma de principe de protection	52
Chapitre 4 : SCHEMA UNIFILAIRE DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION PV RACCORDE AU RESEAU	53
PARTIE III : RESULTATS	56
Chapitre 1 : CAHIER DE CHARGE	57
1.1) Dimensionnement des modules photovoltaïques	57
1.1.1) Consommation énergétique journalière	57
1.1.2) Consommation totale	58
1.1.3) puissance et tension du système	58
1.1.4) Puissance crête	58
1.1.5) Nombre de modules	59
1.2) Dimensionnement des batteries d'accumulateur	60
1.2.1) Capacité de Parc batterie	60
1.2.2) Nombre de batterie nécessaires	61
1.3) Dimensionnement du régulateur	62
1.4) Tableau récapitulatifs	62
1.4.1) Données caractéristiques du site	62
1.4.2) Tableau de consommation d'énergie en fonction de l'ensoleillement mensuel	63
1.4.3) Tableau des puissances fournis par les modules photovoltaïques	63
1.5) Dimensionnement de l'onduleur chargeur	63
Chapitre 2 : CHOIX DES CABLES ET PROTECTION	67
2.1) Protection	67
2.1.1) Coffret parafoudre CPV240-230-XX-DDR	67
2.1.2) Coffret parafoudre CPV50-500-3ST	68
2.2) Câble	68
2.2.1) Câble PV – boîte de jonction	68
2.2.2) Câble boîte de raccordement – Régulateur	69
2.2.3) Câble Régulateur – batterie	69
2.2.4) Câble batterie - batterie	69
2.2.5) Câble mise à la terre	69
2.2.2) Récapitulations	70

Chapitre 3 : BILAN ECONOMIQUE	72
PARTIE IV : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	73
Chapitre 1 : DEFINITION	74
Chapitre 2 : INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE RACCORDEE AU RESEAU ET ENVIRONNEMENT	74
CONCLUSION GENERALE	75
ANNEXES	77
BIBLIOGRAPHIE	88

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'utilisation des sources d'énergie conventionnelles (charbon, pétrole, gaz naturel ou uranium) est l'un des fondements principaux de nos sociétés industrielles. Cependant nous sommes confrontés avec elles à deux problèmes insurmontables : Elles produisent divers types de pollution, aussi bien à l'échelle locale que planétaire : si nous n'y prenons garde, la pollution atmosphérique, le changement climatique ou les déchets nucléaires peuvent remettre en cause les conditions mêmes de la vie sur Terre.

Elles sont issues de stocks limités de matières qui doivent être extraites du sous-sol de la terre et vont inexorablement s'épuiser d'ici quelques décennies. Elles ne peuvent donc pas garantir la sécurité d'approvisionnement énergétique à long terme. Comme dans tout les pays du tiers monde, Madagascar affronte d'autres problèmes surtout que le taux d'électrification rurale est extrêmement faible, d'autre part, la production d'énergie électrique à Madagascar dépend essentiellement du pétrole dont le prix augmente sans cesse et que cette production est assez faible pour satisfaire le besoin énergétique des gents donc il y a toujours des défaillances électriques notamment la coupure.

A l'opposé, les sources d'énergie renouvelables (solaire, géothermique, biomasse, éolienne...) ont recours à des flux naturels qui traversent de façon plus ou moins permanente la biosphère qui abrite tous les êtres vivants de la planète Terre. Comme elles n'utilisent qu'une infime partie de ces flux, les énergies renouvelables sont considérées comme inoffensives pour l'environnement naturel aussi bien localement que globalement et elles le seront éternellement. En exploitant ces énergies on peut atteindre l'efficacité énergétique au niveau économique que sociale aussi bien que ce sont des énergies moins chers et moins polluantes. En parlant de l'énergie renouvelable, surtout l'énergie solaire, presque toutes les régions de Madagascar possèdent plus de 2800 heures d'ensoleillement annuel. Dans ce cas, l'exploitation de l'énergie solaire serait alors un atout pour le développement économique et social de Madagascar ainsi que d'affronter la crise d'énergie. Tout cela, avec leurs besoins en énergie électrique surtout en cas de défaillance du secteur public, amène la société ASECNA à penser à l'énergie solaire conduit à ce présent mémoire qui s'intitule:

INTRODUCTION

« PROJET D'INSTALLATION D'UN SYSTEME DE PANNEAU SOLAIRE RACCORDE A LA JIRAMA A LA STATION VOR ASECA A AMBODIFASINA AMBATOLAMPY »

Ce travail se divise en quatre chapitres :

- Le premier cite les différents types d'énergies renouvelables et l'expression du rayonnement solaire
- La deuxième entame la procédure de raccordement du réseau avec l'énergie photovoltaïque
- Le troisième expose les résultats et les matériels utilisés pour le raccordement
- Et le quatrième présente les éventuels impacts environnementaux de ce raccordement.

CONTEXTE

GENERAL

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

Chapitre 1 **ENERGIE RENOUVELABLE**

1.1) **DEFINITION**

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable car elle est issue des phénomènes naturels qui se reproduisent régulièrement ou constamment. C'est une énergie non polluante dont le gisement se renouvelle en permanence.

1.2) **QUELQUES TYPES D'ENERGIE RENOUVELABLE**

1.2.1) **L'énergie éolienne**

Pour avoir de l'énergie éolienne, on utilise des dispositifs appelés éoliennes permettant de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. En recevant l'énergie cinétique du vent, les pales de l'éolienne tournent et entraînent la rotation d'un rotor lié à un générateur qui converti l'énergie mécanique en énergie électrique.



Figure 2.1: Eolienne

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

1.2.2) L'énergie hydraulique

L'énergie cinétique fournie par les chutes d'eau fait tourner des machines appelées turbines hydrauliques qui sont reliées à un alternateur qui produit à son tour du courant électrique.



Figure1.2: Barrage hydroélectrique

1.2.3) L'énergie géothermique

Par la transformation de l'énergie thermique du fluide géothermique en énergie mécanique, on obtient de l'électricité grâce à un générateur. Les fluides géothermiques chauds passent à travers un échangeur de chaleur pour chauffer une pipe dans laquelle circule le fluide de fonctionnement (dioxyde de carbone CO_2) qui se vaporise au contact de la chaleur d'origine géothermique, et fait tourner une turbine pour générer de l'électricité.

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

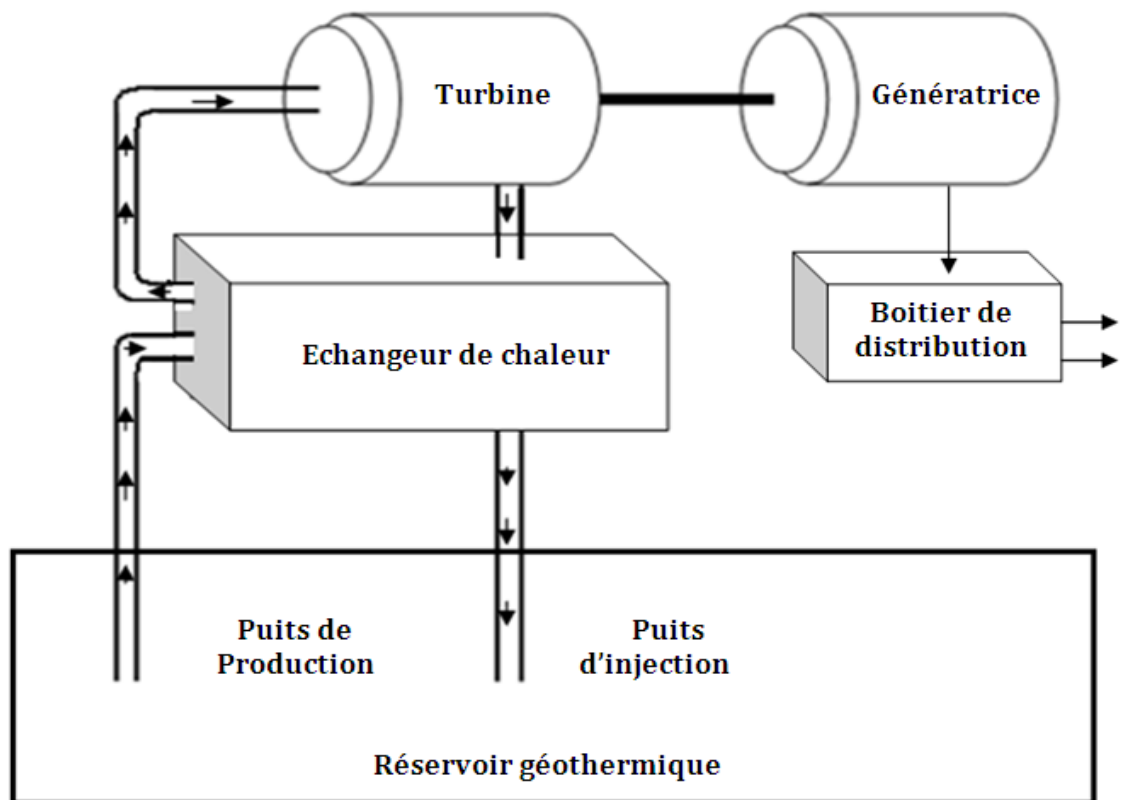


Figure 1.3: **Principe de conversion de l'énergie géothermique en énergie électrique**

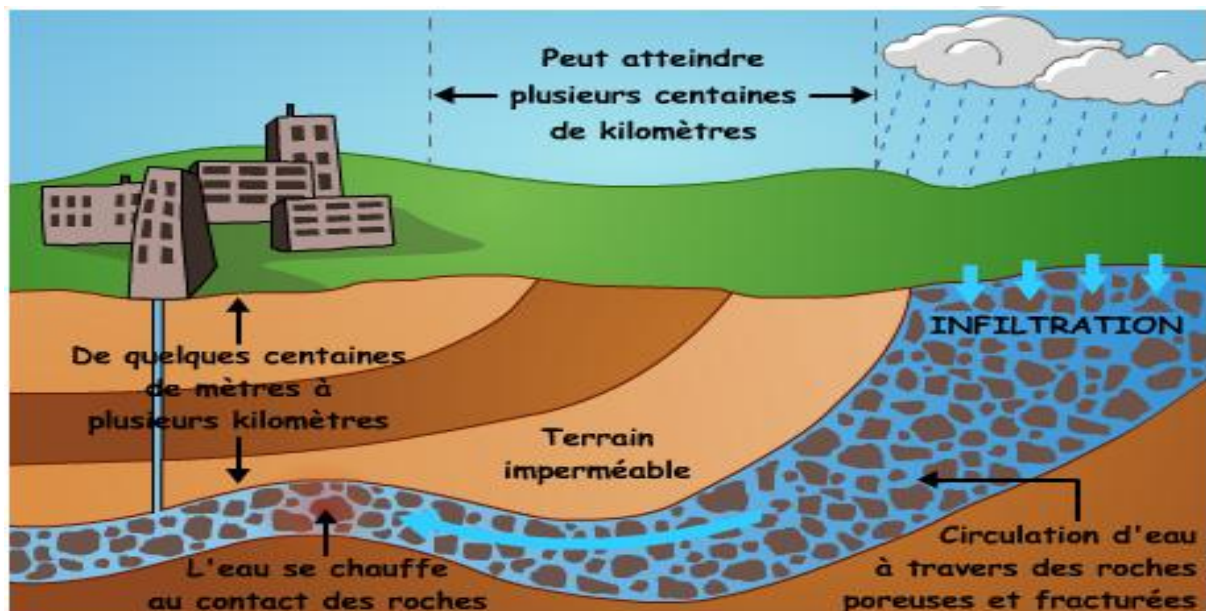


Figure 1.4: **Principe d'extraction de l'énergie géothermique**

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

1.2.4) L'énergie de la biomasse

La biomasse est l'ensemble de la matière organique végétale ou animale.

L'énergie de biomasse est une énergie obtenue par extraction des matériaux biologiques tels que : le bois, les fumiers ainsi que les déchets agricoles. Par la combustion, dans une chaudière, les bois brûlés dégagent de la chaleur et on peut obtenir de l'énergie appelée **bois – énergie**. On peut aussi obtenir de la biomasse liquide à partir des déchets organiques qui peuvent être transformés en énergie ou en engrais.

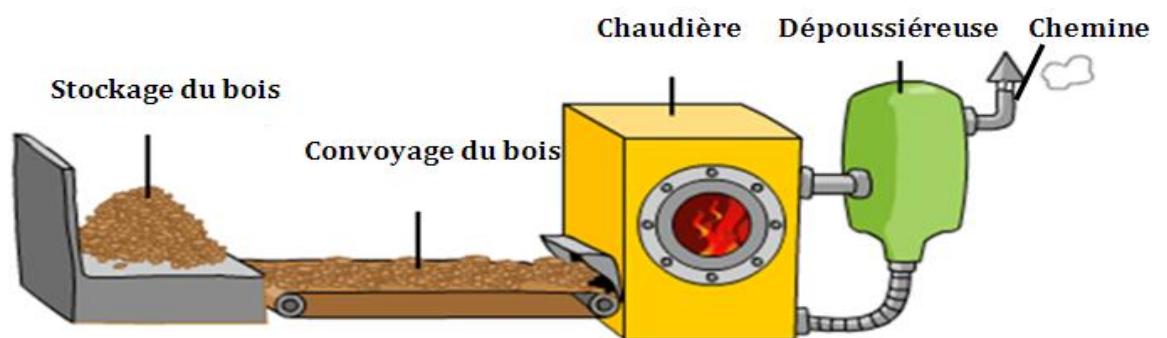


Figure 1.5: La chaufferie à bois

REMARQUE

On peut produire des carburants non polluants à partir de la biomasse que l'on appelle **biocarburants**, par exemple : la bioéthanol est obtenue à partir de la canne à sucre.

1.2.5) L'énergie solaire

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire, rayonnée dans l'espace. Le rayonnement solaire apporte à la terre de la lumière et de la chaleur. Les capteurs photovoltaïques transforment la lumière en électricité tandis que la chaleur s'utilise, grâce aux capteurs thermiques, pour le chauffage de l'eau ou des bâtiments, le séchage des produits agricoles.

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

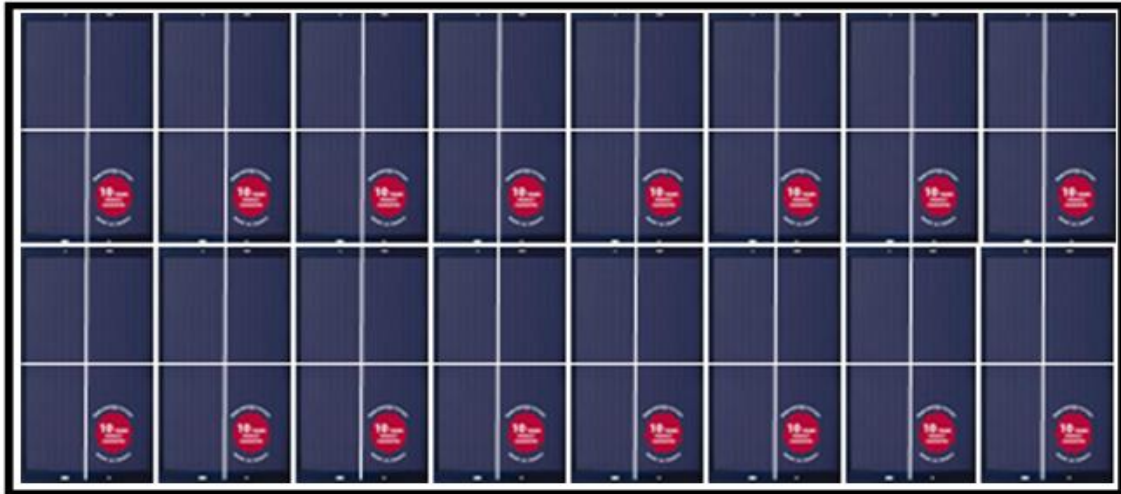


Figure 1.6: Capteur photovoltaïque

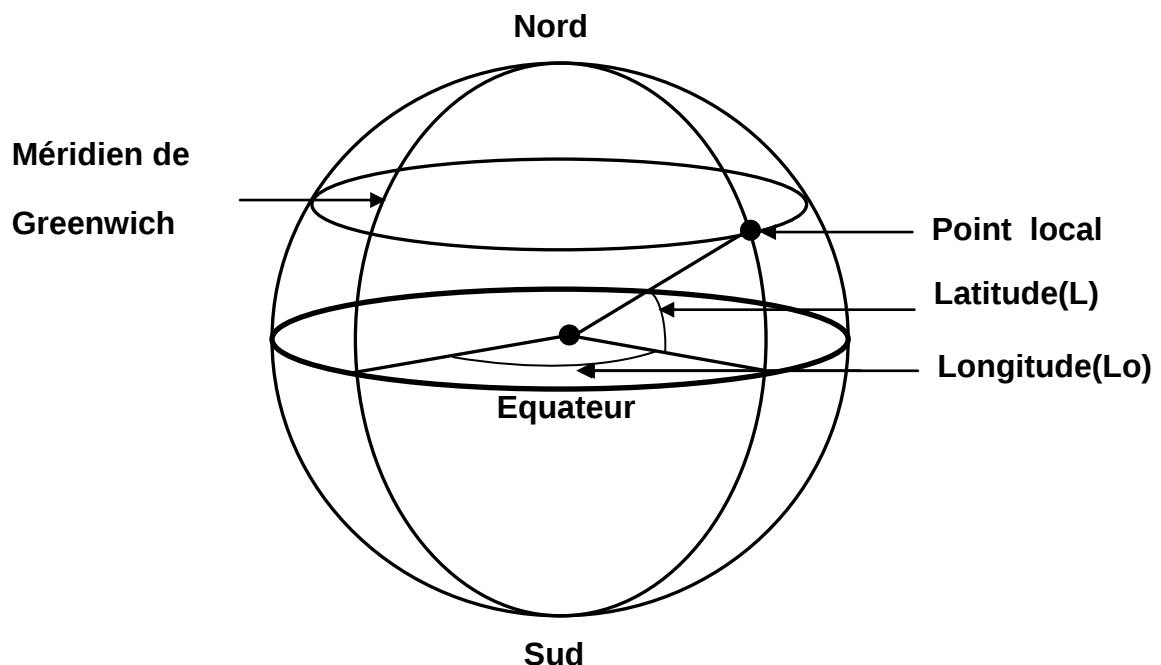
PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

Chapitre 2 EXPRESSION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

2.1) LA LATITUDE ET LA LONGITUDE D'UN LIEU

La **Latitude (L)** d'un lieu est l'angle formé par le plan équatorial et la direction « centre de la terre – point local ». Elle est exprimée en degrés et varie entre 0° et 90° à partir de l'équateur vers les pôles. Cet angle est positif pour l'hémisphère nord et négatif pour l'hémisphère sud.

La **Longitude (Lo)** d'un lieu est l'angle formé entre le méridien de référence (méridien de Greenwich) et le méridien du point local. A partir de ce méridien d'origine, elle varie entre 0° et 180° . Cet angle est positif vers l'ouest et négatif vers l'Est.



*Figure 1.7 : **Latitude et longitude d'un point local***

2.2) POSITION DU SOLEIL

La position du soleil dans le ciel peut se repérer soit par les coordonnées horaires, soit par les coordonnées azimutales.

2.2.1) Les coordonnées horaires

La **déclinaison (δ)** du soleil est l'angle de la direction terre – soleil et le plan équatorial céleste. Cet angle varie de $-23^\circ 27'$ au solstice d'hiver (21 juin) et $+23^\circ 27'$ au solstice d'été (21 décembre) et nul aux équinoxes.

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

L'**angle horaire (w)** du soleil est l'angle le long de l'équateur céleste entre le plan du méridien du lieu (plan passant par la direction Sud) et celui contenant la direction du pôle céleste et celle du soleil. Cet angle est compté en heure dans le sens rétrograde vers l'Ouest.

La déclinaison (δ) et l'angle horaire (w) se calculent par les relations suivantes :

$$\delta = 23,45 \sin\left[\frac{360}{365}(n - 81)\right] \quad (1.1)$$

δ en.[°]

n : numéro d'ordre du jour dans l'année

$$w = \frac{(TSV - 12)}{15} \quad (1.2)$$

w en.[°].

TSV : temps solaire vrai [h].

Le soleil semble tourner dans le plan de l'équateur de 360° en 24 heures soit 15° par heure. On choisit arbitrairement de prendre l'angle horaire nul quand le soleil est dans le plan du méridien local.

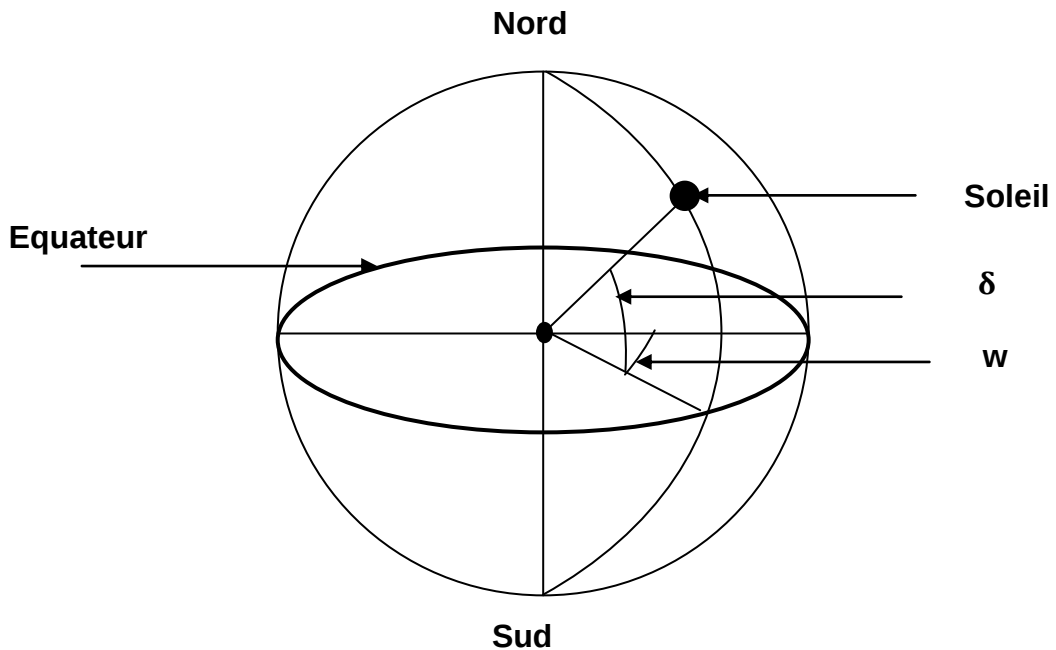


Figure 1.8: Angle horaire et déclinaison du soleil

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

2.2.2) Les coordonnées azimutales

Ce sont :

La **hauteur du soleil (h)** : angle formé par le plan horizontal du lieu considéré et la direction point local – soleil.

L'**azimut du soleil(a)** : angle horizontal formé par le plan méridien (axe Nord – Sud) et le plan vertical de la direction point local – soleil)

Ils sont calculés par les formules suivantes :

$$h = \text{Arc sin}(\sin(L) \sin(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(w)) \quad (1.3)$$

h en.[°]

L : latitude de lieu

$$a = \text{Arcsin}\left[\frac{\cos(\delta) \sin(w)}{\cos(h)}\right] \quad (1.4)$$

a en.[°]

δ : Déclinaison du soleil

w : angle horaire

h : hauteur du soleil

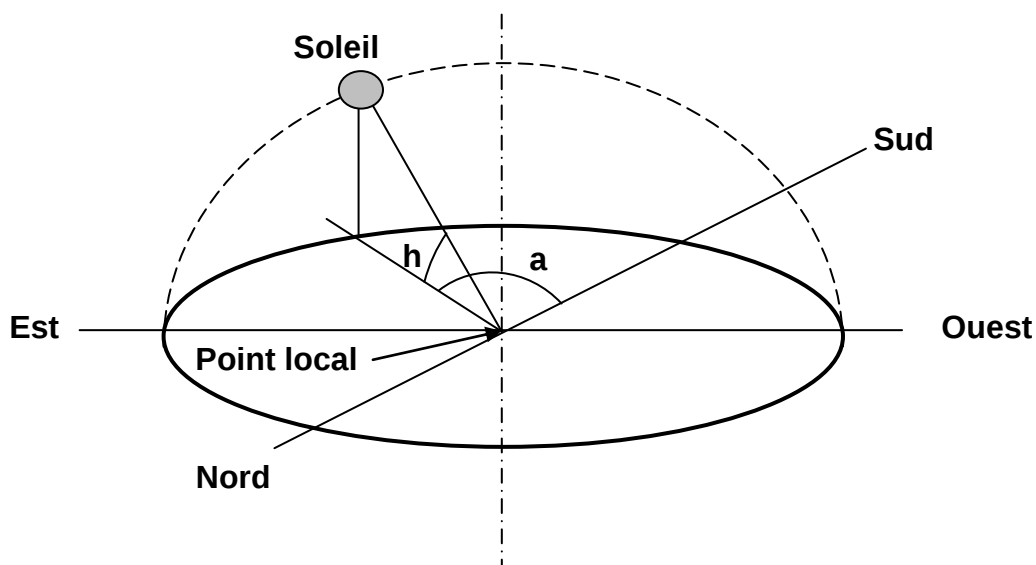


Figure 1.9: **Azimut et hauteur du soleil**

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

2.3) HEURE DU LEVER ET DU COUCHER DU SOLEIL

$$tsvlever = 12 - \frac{Arccos[-\tan(L)\tan(\delta)]}{15} \quad (1.5)$$

tsvlever en.[h]

L : latitude de lieu

$$tsvcoucher = 12 + \frac{Arccos[-\tan(L)\tan(\delta)]}{15} \quad (1.6)$$

tsvcoucher en heures.

2.4) DUREE D'ENSOLEILLEMENT

La durée d'ensoleillement se calcul par la relation :

$$d = \frac{2}{15} Arccos[-\tan(L)\tan(\delta)] \quad (1.7)$$

d en.[h]

2.5) DETERMINATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement solaire reçu par un capteur solaire peut se déterminer en utilisant le modèle de **PERRIN DE BRICHAMBAUT** qui est basé sur le facteur de trouble de Linke.

2.5.1) Rayonnement solaire direct *I*

C'est le rayonnement qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications. On peut l'obtenir par la formule suivante :

$$I = E_s e^{(-m.T_L.E_r)} \quad (1.8)$$

I [W/m²]

E_s, le rayonnement solaire reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de surface terrestre, se calcul à l'aide de la formule suivante :

$$E_s = E_0 \left(1 + 0.0334 \cos \left[\frac{360(j - 2,7206)}{365,25} \right] \right) \quad (1.9)$$

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

E_s [W/m²]

E_0 : Constante solaire. En moyenne, $E_0=1367$ [W/m²]

j : numéro d'ordre du jour dans l'année

m , la masse d'air optique relative se calcul par :

$$m = \frac{P_{atm}}{101325 \sin(h) + 15198,75(3,885 + h)^{-1,253}} \quad (I.10)$$

Avec :

$$P_{atm} = 101325(1 - 2,26 \cdot 10^{-5}Z)^{5,26} \quad (I.11)$$

P_{atm} : Pression atmosphérique exprimée en Pascal

Z : altitude du lieu en m

h : hauteur du soleil en m

T_L , facteur de trouble de linke, s'obtient par la relation:

$$T_L = 2,4 + 14,6b + 0,4(1+2b) \ln(P_v) \quad (I.12)$$

Avec :

$$P_v = H_R \cdot P_{vs} \quad (I.13)$$

$$P_{vs} = 2,165(1,098 + \frac{T}{100})^{8,02} \quad (I.14)$$

P_{vs} : pression de vapeur saturante en [mm Hg].

T : température de l'air [°C].

H_R : taux moyen d'humidité relative = 50% ou 0,5.

b : coefficient de trouble atmosphérique.

REMARQUE

- **b = 0,02** lieu montagneux
- **b = 0,05** lieu rural
- **b = 0,10** lieu urbain
- **b = 0,20** lieu industriel

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

Er, épaisseur optique de **Rayleigh**, s'obtient par la formule :

$$Er = \frac{1}{0,9m + 9,4} \quad (I.15)$$

2.5.2) Rayonnement solaire direct **S**

Le rayonnement solaire direct **S** est une partie du rayonnement **I**. Un capteur plan placé sur le sol ne reçoit que **S**. On peut obtenir **S** par la relation suivante :

$$S = I \cdot C \quad (I.16)$$

C : coefficient d'incidence

Angle formé par le rayonnement solaire direct **I** avec la perpendiculaire au plan du capteur, avec :

$$C = \sin(i) \cos(h) \cos(a - \gamma) + \cos(i) \sin(h) \quad (I.17)$$

i : angle d'inclinaison du capteur par rapport à l'horizontal.

γ : angle d'orientation du capteur par rapport au Sud.

h : hauteur du soleil

a : azimut du soleil

2.5.3) Rayonnement solaire diffus **D**

C'est la part du rayonnement solaire diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère

D s'obtient par :

$$D = 125[\sin(h)]^{0,4}[1 + \cos(i)/2] + 211,86[\sin(h)]^{1,22}[1 - \cos(i)/2] \quad (I.18)$$

D [W/m²]

2.5.4) Rayonnement solaire global **G**

C'est la somme des rayonnements **D** et **S**

$$G = D + S \quad (I.19)$$

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

Chapitre 3 NOTION DE TEMPS

3.1) LE TEMPS SOLAIRE VRAI (TSV)

C'est la mesure horaire de l'angle formé par la direction du soleil et du pôle céleste avec celui du méridien du lieu. C'est le temps indiqué par les cadrans solaires. Le jour correspondant est le jour solaire vrai. Mais au cours de l'année, la durée de ce jour n'est pas constante, elle varie entre 24h 00mn 30s et 23h 59mn 39s.

3.2) TEMPS SOLAIRE MOYEN (TSM)

C'est le temps solaire vrai corrigé de ses inégalités. Ce temps correspond à la durée du jour égale à 24h. La trajectoire de la terre est elliptique (1^{ère} Loi de Kepler). Durant ce mouvement, le rayon vecteur soleil – terre balaye les aires égales dans des temps égaux (2^{ème} Loi de Kepler).

3.3) EQUATION DU TEMPS (ET)

C'est l'écart entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen. Son expression est la suivante

$$ET = 0,002 - 0,4197 \cos(w'd1) + 7,3059 \sin(w'd1) + 3,2265 \cos(2w'd1) + 9,3912 \sin(2w'd1) + 0,0903 \cos(3w'd1) + 0,3361 \sin(3w'd1)$$

(I.20)

Avec:

$$w' = \frac{360}{366} n$$

$$d1 = 30 (m_o - 1) + dd$$

(I.20.21)

m_o : numéro d'ordre du mois dans l'année

dd : numéro d'ordre du jour dans le mois

3.4) LE TEMPS LEGAL (TL)

C'est le temps utilisé sur tout le territoire d'un pays considéré. C'est le temps indiqué par les montres. On a alors la relation suivante :

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL

$$TSV = TL - NF + \frac{Lo}{15} + \frac{ET}{60}$$

(I.18)

NF : numéro du fuseau horaire

Lo : longitude du lieu en degrés

NF = 3 pour Madagascar

REMARQUE

Le temps universel **Ta** est donné par la formule :

$$Ta = TSV - ET + \frac{Lo}{15}$$

(I.19)

METHODOLOGIE

PARTIE II : METHODOLOGIE

Chapitre 1 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDE AU RESEAU

1.1) PRINCIPE DE BASE

Les panneaux photovoltaïques délivrent une tension continue, à sa sortie, elles serviront pour charger des batteries. Mais les panneaux solaires seuls ne suffisent pas car le courant délivré par celui – ci est variable, instable d'où il est préconisé d'utiliser un régulateur de charge qui lui permet de fournir un courant continu, stable et garantit donc une charge efficace des batteries. Pour faciliter le couplage de cette source photovoltaïque avec le réseau public, il nous faut un onduleur qui va transformer la tension stable fournit par le régulateur en une tension sinusoïdale pure c'est-à-dire de même amplitude et fréquence que le réseau public pour le système monophasé et en plus de même phase pour le système triphasé. Donc le système photovoltaïque comporte principalement un champ photovoltaïque ; des batteries d'accumulateurs ; un régulateur de charge et un onduleur. Mais aujourd'hui, il y a ce qu'on appel « onduleur/chargeur » qui assure en un seul appareil la régulation et l'optimisation de la puissance du champ photovoltaïque ; l'efficacité de la charge des batteries ; la transformation de la tension continue en tension sinusoïdale pure et l'inversion automatique, sans coupure de fonctionnement des charges utilisées, de source principale vers la source secondaire en cas de coupure ou défaillance électrique. Dans ce projet alors, notre centrale photovoltaïque est constituée principalement d'un champ photovoltaïques ; d'un ou plusieurs onduleurs et des batteries d'accumulateur pour stocker l'énergie qu'on va utiliser en cas de défaillances du secteur public (cf. Annexe2)

1.1.1) Avantages de l'énergie photovoltaïque par rapport à d'autres énergies renouvelables :

La particularité de l'énergie photovoltaïque raccordée au réseau par rapport aux autres énergies renouvelables, réside dans le fait que :

- Dans la plupart des cas, la centrale photovoltaïque peut être installée à proximité du lieu de consommation, évitant ainsi les pertes en ligne qui peuvent atteindre 15 % sur les grands réseaux électriques lorsque des centaines de kilomètres séparent les lieux de production et de consommation. Cette énergie répond bien au concept de la décentralisation
- La lumière du soleil et non la chaleur étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montagne dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville.

PARTIE II : METHODOLOGIE

- Une centrale photovoltaïque raccordée au réseau fonctionne «au fil du jour » de manière totalement transparente pour l'utilisateur et sans intervention de sa part. Son fonctionnement est particulièrement optimisé.
- L'énergie photovoltaïque est totalement modulable et peut donc répondre à un large éventail de besoins. La taille des installations peut aussi être augmentée par la suite afin de suivre l'évolution des besoins ou des moyens financiers.
- Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables : aucune pièce mécanique n'est en mouvement et les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques (notamment à la grêle). La durée de vie d'un capteur photovoltaïque est ainsi de plusieurs dizaines d'années.
- L'installation d'une centrale photovoltaïque est relativement simple et peut être assurée par des non-spécialistes moyennant quelques conseils de base.
- La maintenance des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau se résume à la vérification du bon état de propreté des modules photovoltaïques.
- Les systèmes photovoltaïques véhiculent une image high-tech justifiée et symbolisent à la fois préoccupations environnementales et modernisme. Pour une entreprise, ils peuvent être facilement justifiés dans une action de communication comme étant un vecteur d'image important. Par conséquent, l'énergie photovoltaïque raccordée au réseau est particulièrement bien adaptée à l'intégration dans la plupart des bâtiments quel que soit leur type (habitations, bureaux, entreprises, centres commerciaux,...

PARTIE II : METHODOLOGIE

1.1.2) Schéma de principe

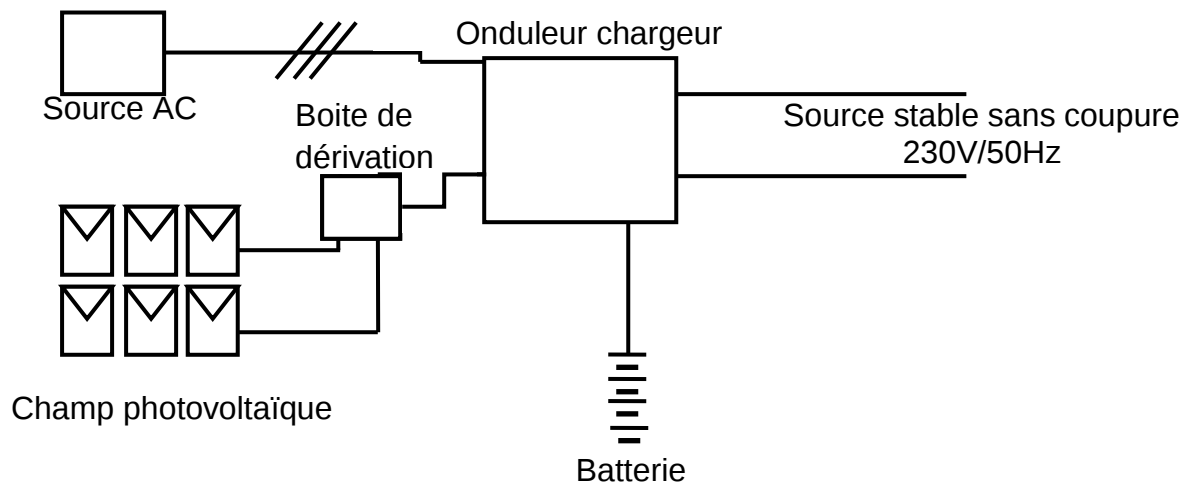


Figure 2.1 : Schéma de principe de conversion de l'énergie photovoltaïque en énergie alternatif

1.2) DIMENSIONNEMENT D'UN SITE PHOTOVOLTAÏQUE :

Pour dimensionner un site photovoltaïque, il faut tout d'abord savoir les paramètres suivants :

1.2.1) Ensoleillement :

L'ensoleillement est varié selon le mois et le pays. Dans le cas de Madagascar, les données mensuelles sont très variables de province en province mais comme le site se situ à Antananarivo, alors voici le tableau qui résume l'ensoleillement :

Mois	Ensoleillement (kWh/m ² /j)
Janvier	5,22
Février	5,08
Mars	4,72
Avril	4,33
Mai	3,75
Juin	3,25
Juillet	3,53
Aout	4,17
Septembre	5,03
Octobre	5,75
Novembre	5,56
Décembre	5,42

Tableau 2.1 : Ensoleillement mensuel d'Antananarivo

PARTIE II : METHODOLOGIE

1.2.2) Données

a) Site: AMBODIFASINA AMBATOLAMPY ANTANANARIVO

Comme ce site se situe à Antananarivo, alors on peut construire le tableau suivant à partir des données extraies du tableau.

Latitude	Longitude	Inclinaison des panneaux i [°]	Orientation
18°55'	-47°31'	20	Nord-Est

Tableau 2.2: **Données caractéristique du site**

b) Nombre de jours d'autonomie n_i

L'ASECNA a voulu 3 jours d'autonomie. Selon la société, la coupure de le JIRAMA peut atteindre 6h par jour en moyenne. Donc elle doit prendre une marge de 3 jours pour une prévention.

1.2.3) Calcul des paramètres de dimensionnement

a) Consommation électrique journalière

La consommation électrique comporte la consommation en courant continu et celui en courant alternatif. Pour calculer cette consommation, on a la formule suivante :

$$E_j = \sum_{i=1}^m P_i n_i h_i \quad [\text{Wh/j}] \quad (II.1)$$

P_i : puissance de l'équipement i

n_i : nombre de l'équipement i

h_i : heur de marche de l'équipement i

m : nombre de l'équipement

REMARQUE

Dans ce projet, on ne s'intéresse plus à savoir combien d'équipement, ni ses heures de marche, ni ses puissances mais seulement la puissance utile par la société ASECNA qui est $P = 10000 \text{ W}$ avec l'heure h de fonctionnement par jour. Alors la formule réduite est la suivante :

$$E_j = Ph \quad [\text{Wh/j}] \quad (II.2)$$

PARTIE II : METHODOLOGIE

Et à partir de cette formule, on trouve la consommation journalière totale, que l'on note E_T , liée au rendement de l'onduleur utilisé dans cette installation

$$E_T = \frac{E_j}{\eta_{conv}} \quad [\text{Wh/j}] \quad (II.3)$$

E_j : Consommation journalière

η_{conv} : Rendement de convertisseur. Avec $0,75 < \eta_{conv} < 0,95$

b) Evaluation de la somme de puissance et de la tension d'utilisation

i. Puissance du système

En général, cette puissance est donnée par la relation :

$$P_{max} = \sum_{i=1}^m P_i n_i \quad [\text{W}] \quad (II.3)$$

n_i : nombre de l'équipement i

P_i : puissance de l'équipement i

m : nombre de l'équipement

Mais comme dans la formule (II.1), P_{max} n'est que la puissance utile par la société ASECNA.

j. Tension du système

Pour savoir la tension du système, il nous faut les comparaisons suivantes :

- 12[V] pour $P_{max} \leq 200$ [W]
- 24[V] pour $200[\text{W}] \leq P_{max} \leq 1000[\text{W}]$
- 48[V] pour $1000[\text{W}] \leq P_{max}$

c) Puissance crête

La puissance crête est donnée par la relation :

$$P_c = \frac{E_j}{k_p E_i} \quad [\text{Wc}] \quad (II.4)$$

E_j : Consommation énergétique totale journalière

E_i : Ensoleillement du lieu

k_p : Coefficient qui tient compte des pertes $k_p = 0,50$ à $0,70$

PARTIE II : METHODOLOGIE

d) Nombre de modules

En connaissant la puissance crête de chaque module, on peut trouver directement ce nombre par la relation :

$$N = \frac{P_c}{P_{ci}} \quad [\text{modules}] \quad (II.5)$$

P_c : Puissance crête du système

P_{ci} : Puissance crête d'un module

e) Capacité en [Ah] du Parc batterie nécessaires

La capacité du Parc batterie est obtenue en utilisant la relation suivante :

$$C = \frac{n_j E_T}{DU} \quad [Ah] \quad (II.6)$$

n_j : Nombre de jours d'autonomie

E_T : Consommation totale consommée

U : Tension de la batterie

D : Coefficient de décharge

Ce calcul nous amène à obtenir le nombre de batteries nécessaires à ce système par la relation :

$$n = \frac{C}{C_i} \quad [\text{Batterie}] \quad (II.7)$$

C_i : Capacité propre d'une batterie

REMARQUE

Les batteries de la gamme AGM GEL sont idéales à recharger par des panneaux solaires. Elles sont conçues pour des opérations cycliques avec 30 choix des câbles pour le branchement des batteries.

f) Courant du régulateur

i. Régulateur de charge et stockage d'énergie

Le panneau photovoltaïque est utilisé pour délivrer une tension continue, elle servira pour charger la batterie, lorsqu'elle est installée mais surtout lorsqu'elle est déchargée par la charge d'éclairage. Mais le panneau solaire seul ne suffit pas car le courant délivré par celui – ci est variable, instable d'où il est préconisé d'utiliser un régulateur de charge qui lui

PARTIE II : METHODOLOGIE

permet de fournir un courant continu, stable et garanti donc une charge efficace de la batterie.

j. Rôles du régulateur de charge dans un système photovoltaïque

Le régulateur de charge est utilisé pour réguler la charge de la batterie, voir à l'optimiser. Il a pour but de délivrer un courant et puissance de charge linéaire pour garantir le fonctionnement de la batterie en produisant approximativement la charge recommandée pour optimiser la batterie.

Le régulateur de charge solaire est l'unité de gestion du système solaire. Il analyse et optimise le fonctionnement de l'intégralité du système. Le régulateur protège la batterie de toute surcharge du champ solaire et de décharges trop importantes dues à la surconsommation des charges. Plusieurs critères définissent le régulateur : le calcul de l'état de charge de la batterie par compensation de la température ambiante, la sélection automatique de la tension du système 12V ou 24V, ...

Le courant du régulateur est donné par la formule suivante et c'est à partir de ce courant qu'on peut choisir le type de régulateur qu'on va utiliser pour l'installation.

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{U_{min}} \quad [A] \quad (II.8)$$

A partir de ce courant maximal qu'on peut choisir le courant de régulation pour l'onduleur chargeur.

Les tableaux suivants illustrent quelques types de régulateur :

TYPE	PL20	PL40	PL60
Voltage Nominale [V]	12, 24, 48	12, 24, 48	12, 24, 48
Intensité de charge max [A]	20	40	60
Intensité de débit max [A]	20	40	60
Chute de tension admissible [V]	0,4	0,4	0,42
Alimentation [mA]	9	13	20
Régulation des valeurs de réglage	4 programmes présélectionnés	4 programmes présélectionnés	4 programmes présélectionnés
Température ambiante [°C]	-20 à 50	-20 à 50	-20 à 50
Dimensions [mm]	100x109x41	130x124x50	225x175x62
Poids [g]	320	515	1100

Tableau 2.3: Caractéristiques des régulateurs de type PL60

PARTIE II : METHODOLOGIE

La série PL des régulateurs de charge offre un contrôle complet sur le cycle de chargement et donne des informations diverses sur les courants et les performances antérieurs. Un régulateur PL a un interrupteur de débranchement de batterie faible. En plus, le contrôleur est polyvalent et peut s'allumer ou s'éteindre selon les critères installés par l'utilisateur.

TYPE	CX10	CX20	CX40
Intensité de charge max [A]	10	20	40
Intensité de débit max [A]	10	20	40
Voltage du système [V]	12/24	12/24	12/24
Autoconsommation [mA]	4	4	4
Dimension [mm]	92x93x38	92x93x38	92x93x38

Tableau 2.4: Caractéristiques des régulateurs de type CX

La série CX est une famille de régulateurs de charge solaire aux caractéristiques exceptionnelles pour cette fourchette de prix. En plus d'une régulation PWM parfaite avec une compensation de température intégrée, les régulateurs fournissent des fonctions témoin de programmation et de sécurité exceptionnelle.

L'état de charge de la batterie est clairement affiché par le diagramme à barres, ainsi que le flux d'énergie de et à la batterie et le statut de chargement (ex.: surcharge, court-circuit de charge).

1.3) ONDULEUR CHARGEUR

1.3.1) Définition

Un onduleur est un convertisseur statique de l'électronique de puissance. Il est utilisé dans tout système électrique où la transformation de la tension continue en tension alternative est nécessaire et avec la fréquence souhaitée.

Aujourd'hui, les onduleurs chargeurs sont les plus connus et qui constituent une fonction incontournable de l'électronique de puissance, présente dans les domaines d'applications les plus variés, dont le plus connu est sans doute celui de l'alimentation de secours qui nous amènera dans le vif de ce projet. La forte évolution de cette fonction s'est appuyée, d'une part, sur le développement de composants à semi-conducteurs entièrement commandables, puissants, robustes et rapides, d'autre part, sûr. Dans ce projet, nous nous intéressons à ce type d'onduleur selon son application dans le domaine d'alimentation de secours et celui à fréquence variable. On le choisit, car les onduleurs

PARTIE II : METHODOLOGIE

photovoltaïques appartiennent à cette famille de convertisseur très puissant et récent selon la conception technologique.

1.3.2) Les différentes parties de l'onduleur chargeur

Un onduleur chargeur se divise en plusieurs parties selon leurs fonctionnements.

a) Régulateur de charges

Un régulateur de charge est l'un des éléments le plus important dans un système d'énergie alternative. En effet, c'est celui – ci qui maximise la performance et la charge stable des batteries. Le modèle choisi va dépendre de l'utilisation ainsi que de la taille du système solaire désiré. .

➤ Régulateur MPPT

Dans la plupart des temps, un onduleur chargeur est toujours affecté d'un rôle d'un régulateur de charge connu sous le nom de régulateur MPPT. Un régulateur MPPT, couramment appelé Maximum Power Point Tracking ou optimiseur de puissance maximale, est un appareil qui se comporte comme un convertisseur CC/CC optimisant la puissance de module solaire.

➤ Caractéristiques régulateur MPPT

Le régulateur MPPT abaisse le voltage des panneaux et compense cette chute par une augmentation de courant de charge. Il augmente de 20% à 30% le rendement des panneaux solaires dans toutes les conditions d'ensoleillement, notamment dans les régions nuageuses à climat variable où ces conditions d'ensoleillement changent d'un moment à l'autre. Ceci est dû à la présence d'un microprocesseur avancé et un circuit électronique de conversion de puissance performant conduit ensemble à une amplification de courant de charge la plus élevé possible.

Il est capable de charger des batteries à tension nominale inférieure à partir d'un générateur à tension nominale supérieure. Par exemple, il peut charger une batterie de 12volts à partir d'un générateur photovoltaïque de 24volts.

Idéalement, tous les panneaux doivent être du même type et avoir les mêmes caractéristiques photoélectriques. Mais le régulateur MPPT peut fonctionner très bien avec un mélange de panneaux solaires hétérogènes de types et de caractéristique photoélectrique grâce aussi à la présence du microprocesseur qui détermine le point de puissance maximale de panneaux solaires pour récupérer le maximum d'énergie électrique.

PARTIE II : METHODOLOGIE

b) Onduleur :

C'est le rôle le plus important de l'onduleur chargeur car dans cette partie que la conversion de la tension continue en tension alternatif de même fréquence que le réseau est assurée.

i. Schéma symbolique d'un onduleur

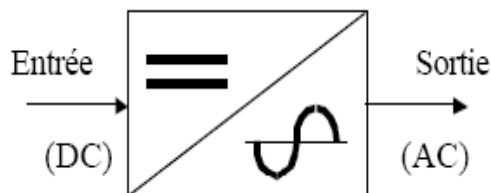


Figure 2.2 : *Convertisseur continue (DC)- Alternatif (AC)*

j. Les différentes parties de la partie onduleur

Il comprend la partie puissance et la partie contrôle commande représentées par la figure suivante :

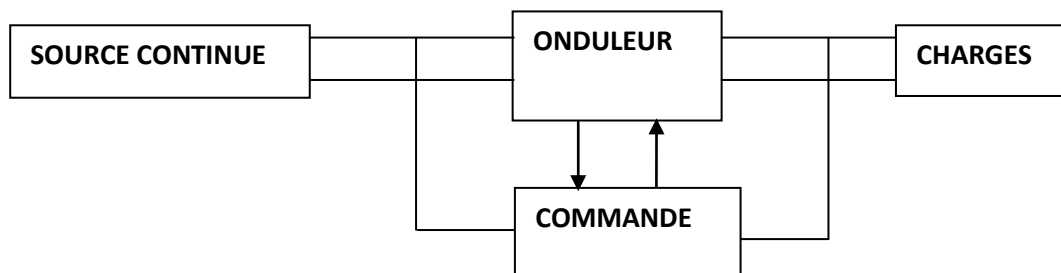


Figure 2.3 : *Chaîne de conversion sortie stable du régulateur*

k. Fonction de cette partie onduleur

Cet onduleur fonctionne comme des onduleurs on-line. La tension d'entrée est systématiquement redressée et alimente en permanence les batteries: la tension est donc stable. Cette tension d'entrée de 24 ou 48 Volt est ensuite retransformée en tension alternative de 230 Volt en sortie.

Lors d'une coupure de tension du réseau électrique, les accumulateurs vont assurer l'alimentation électrique des équipements connectés via le convertisseur continu / alternatif.

Si l'alimentation du réseau passe en sous tension ou en cas d'une courte baisse de tension, la source d'alimentation utilisée va être le réseau électrique aidé par la charge des

PARTIE II : METHODOLOGIE

batteries, les deux sont donc utilisées simultanément, augmentant la durée de la protection, à la différence des autres types d'UPS.

Pour cet onduleur, les courants rectangulaires sont devenus sinusoïdaux à la sortie grâce à la présence d'une self L avec un noyau de fer faisant office d'accumulateur de courant. Cette self est montée à la sortie de l'onduleur.

Le schéma fonctionnel qui en résulte montre un onduleur en bon ordre de marche au niveau technique et pouvant être utilisé, tel quel pour l'alimentation de charge alternatives, est représentée sur la figure ci-dessous.

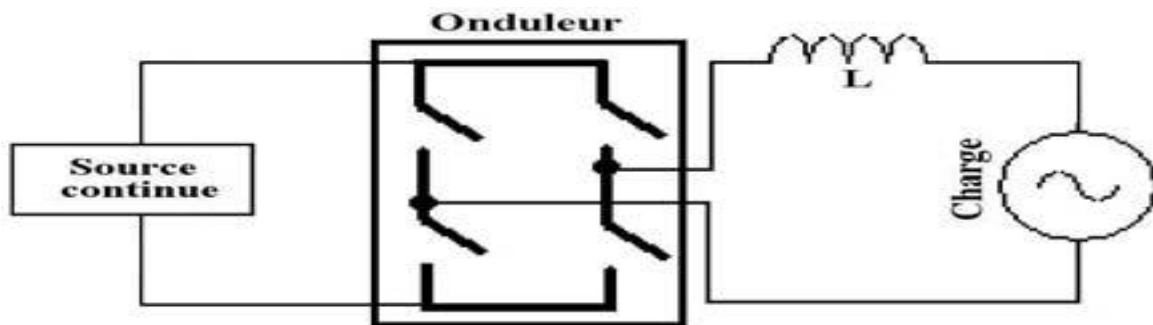


Figure 2.4 : Montage de base d'un onduleur

PARTIE II : METHODOLOGIE

I. Schéma fonctionnel de l'onduleur

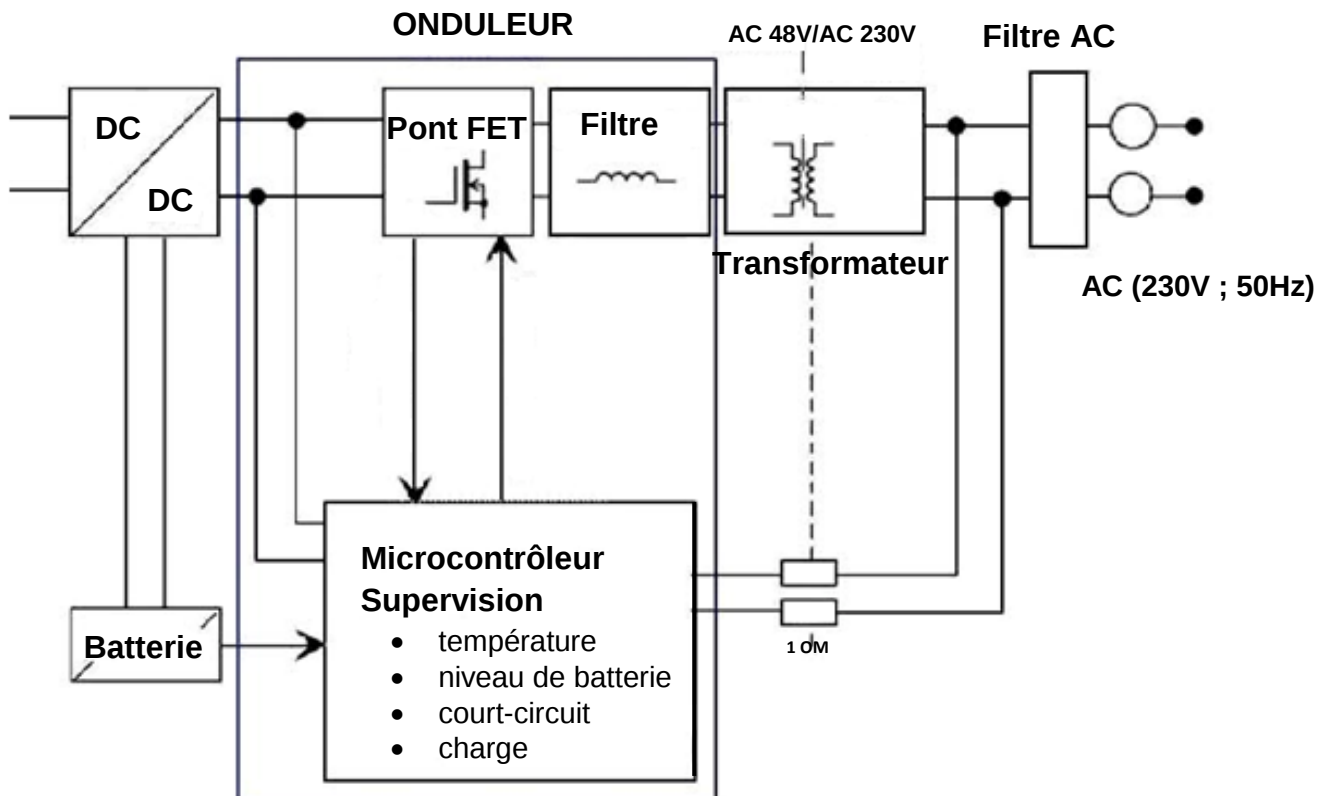


Figure 2.5: **Schéma fonctionnel de la partie onduleur**

Le but de la commande de l'onduleur est de permettre la production d'une tension ou un courant alternatif, à travers les ordres de commande appliqués aux drivers interrupteurs de puissance.

Dans notre cas, le cœur de la commande de l'onduleur est basé sur un microcontrôleur (16F876A) très puissant de la famille de Microchip. Ce microcontrôleur est responsable de la génération de l'onde sinusoïdale en temps réel et assure la synchronisation de la tension issue des panneaux photovoltaïques à celui du secteur public.

m. Principe de génération de la MLI

MLI: Modulation de Largeur d'Impulsion (PWM en anglais noté Pulse wide modulation)

L'onduleur délivre plusieurs créneaux positifs et négatifs ce qui permet de diminuer l'importance du filtre et d'avoir un régulateur de tension plus rapide. En modulant les temps relatifs de conduction et de blocage, il est possible de répartir la tension au cours

PARTIE II : METHODOLOGIE

de la période de façon à ce que pratiquement le temps de conduction d'un interrupteur soit proportionnel à la valeur instantanée du fondamental.

C'est ce principe qui est appelé Modulation de Largeur d'Impulsion et qui est noté MLI présentée par la figure suivante.

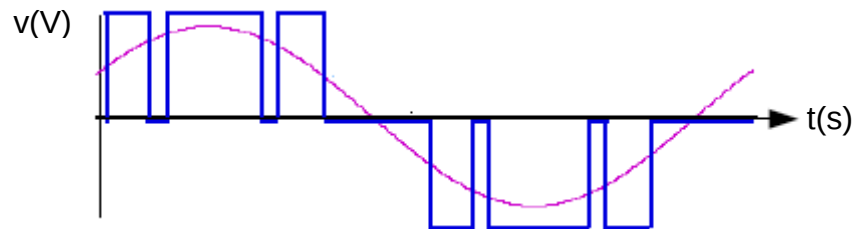


Figure 2.6: **Principe de modulation de largeur d'impulsion**

Dans cet onduleur, nous avons un pont de puissance avec quatre transistors: Q_1 , Q_2 , Q_3 et Q_4 . La tension rectangulaire obtenue entre A et B est ensuite filtrée pour obtenir en sortie de l'appareil une tension sinusoïdale avec un faible taux de distorsion.

Deux transistors œuvrent avec une faible fréquence, soit 50 Hz (Q_3 et Q_4) en fonction de l'état du signal (RC1) du microcontrôleur.

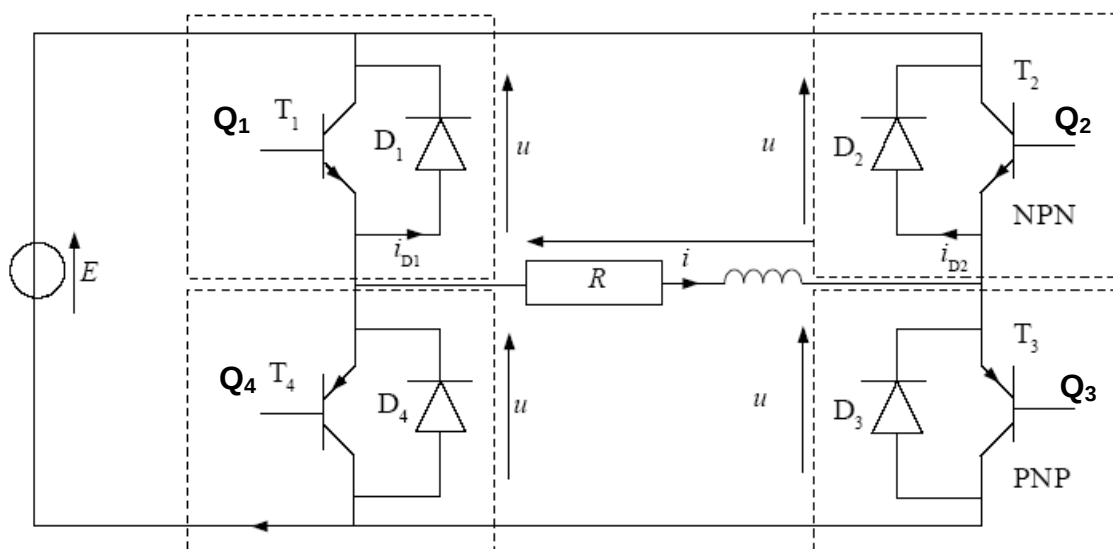


Figure 2.7: **Pont de puissance a transistor**

PARTIE II : METHODOLOGIE

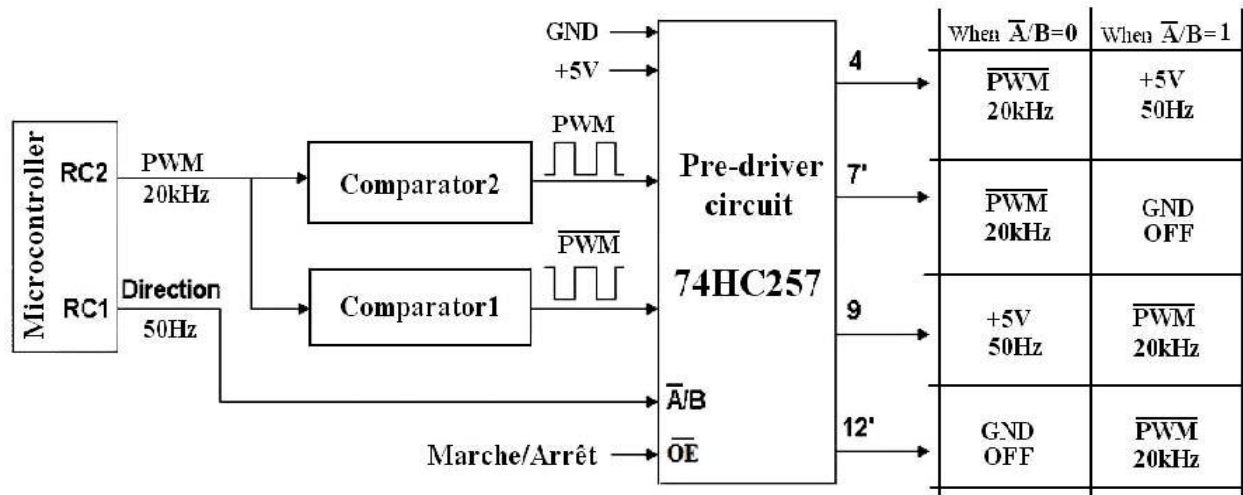


Figure 2.8: **Principe de génération de la MLI**

n. Algorithme de commande

Il existe de nombreux signaux de réactions à l'entrée du microcontrôleur nécessaire pour un bon fonctionnement de l'onduleur, soit:

- Capteur de la tension d'entrée (batterie).
- Capteur de la température (R_t , NTC) des interrupteurs électronique.
- Capteur du courant alternatif de sortie, tension de sortie (230 V).
- Capteur des signaux provenant de deux potentiomètres (RV1 et RV2). Le courant, source principale d'échauffement, fait baisser considérablement le rendement de l'onduleur et il peut endommager ce dernier. C'est pourquoi un refroidissement forcé est mis en place pour détourner ce problème afin d'obtenir un rendement meilleur. Les leds L1, L2, L3 nous informent sur l'état de l'onduleur:

1. L1 (verte) → Mise en marche
2. L2 (verte) → Fonctionnement normal
3. L3 (rouge) → Batterie faible (< 10 Volt)
4. L2 (verte) clignotant → Mode veille
5. L3 (rouge) clignotant → Température élevée des transistors de puissance.

Le schéma fonctionnel de l'arrangement de la commande utilisée est montré dans la figure suivante.

PARTIE II : METHODOLOGIE

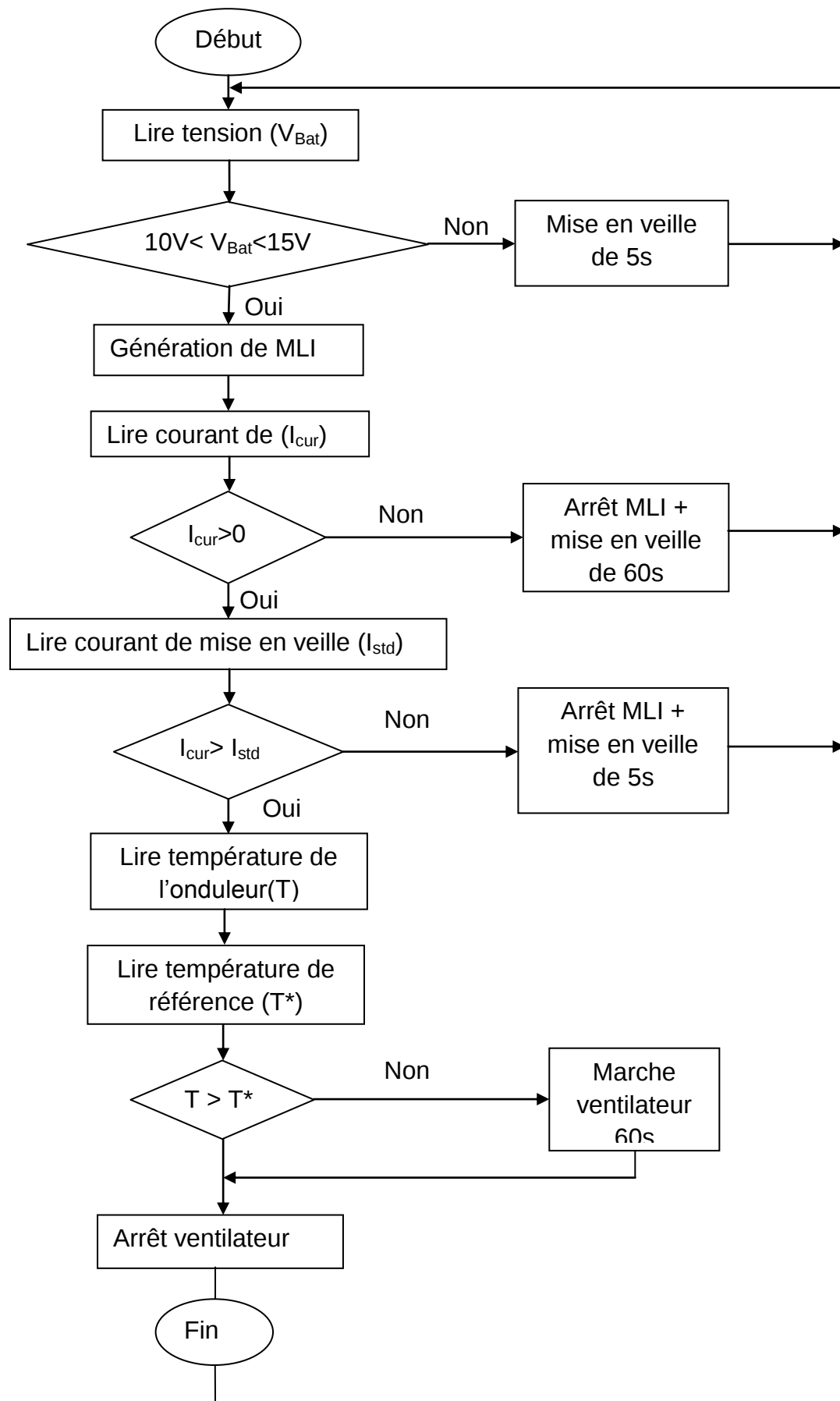


Figure 2.9: **Organigramme de l'algorithme de commande**

PARTIE II : METHODOLOGIE

Tous commande sont déjà implémenté en routine de commande dans un microcontrôleur PIC 16F876A, et nous avons configuré le module de conversion A/D intégré dans ce circuit, à démarrer la conversion automatique.

c) Inverseur de source automatique

Cet inverseur fait partie des trois types d'inverseurs les plus connus qui est déjà intégré dans l'onduleur chargeur (cf. Annexe 4). On entend par inverseur de source automatique, tout appareil capable d'assurer le passage automatique et très rapide d'une source prioritaire, comme la JIRAMA, à une autre source dite secours, comme le système photovoltaïque, et vice – versa sans coupure de l'alimentation des charges.

i. Principe de fonctionnement

La source de secours charge les batteries qui vont à son tour alimenter un onduleur, appelé aussi convertisseur DC/AC, et qui produit des 220 Volt ou 230 Volt et 50 Hertz. Dans le cas général, c'est à la sortie du convertisseur que le couplage du réseau principal à la source secondaire déjà converti en courant alternatif a eu lieu, mais dans notre cas le couplage est déjà assuré par l'inverseur de source intégré dans l'onduleur chargeur. Le passage de l'un à l'autre se fait automatiquement, donc l'intervention de la part de l'utilisateur n'est pas nécessaire.

j. Caractéristiques de l'inverseur de source automatique

TENSION D'ENTREE (VAC)	Monophasé [V]	Triphasé [V]	Tolérance (%)
Réseau	230	230	+/- 10
Source PV		230	+/- 10
TENSION D'UTILISATION (VAC)	230	230	+/- 10

Tableau 2.5 : Caractéristiques des inverseurs de source

PARTIE II : METHODOLOGIE

d) Quelques types d'onduleur/chargeur

Gamme STUDER	Référence	Désignation	Puissance [W]	Régulateur	Tension (Entrée/sortie) [V]
HPC	HPC2800 - 12	Onduleur chargeur à onde sinusoïdale pur	2500		12/230
	HPC4400 - 24		4000		24/230
	HPC6000 - 48		5000		48/230 48/120
	HPC8000 - 48		7000		48/230
OPTIONS	CT - 35/BTS 01	Sonde de température batterie Studer C 1600 - 12, C2600 - 24, C4000 – 48			
	RCC - Box	Panneau de contrôle déporté avec 20m de câble pour gamme Studer Compact			
Gamme XANTREX	Référence	Désignation	Puissance	Régulateur	Tension (Entrée/sortie)
CR/DR	CR1012E	Onduleur chargeur	1000		12/230 48/120
	DR1512E		1500		12/230
	DR1524E		1500		24/230
	DR1548E		1500		48/230
	DR2424E	Onduleur chargeur 50 Hz à onde sinusoïdale pur	2400		24/230
	SW3024E		3000		24/230
SW	SW3048E	Onduleur chargeur 50 Hz à onde sinusoïdale pur	3000		48/230 48/120
	SW4548E		4500		48/230 48/120
	SW5548E		5500		48/230 48/120
	XW4000 – 24		4000		24/230 48/120
OPTIONS	SWRC	Panneau de contrôle déporté SWRC avec affichage digitale pour onduleur SW/PS avec 8m de câble			
	SWCA	Adaptateur pour connexion ordinateur			

Tableau 2.6: **Quelques types d'onduleur chargeur**

Parmi ces différents types d'onduleur chargeur, la série SW 5548 de la gamme Xantrex s'avère la plus conforme à ce projet. Et en plus, c'est ce type d'onduleur que l'ASECNA a déjà utilisé dans des autres installations Ce qui nous conduit à entamer le chapitre suivant.

PARTIE II : METHODOLOGIE

Chapitre 2 : XANTREX série SW 5548

2.1) INTRODUCTION

L'onduleur/chargeur série SW de la gamme XANTREX est un appareil souvent configuré pour fonctionner en plusieurs modes à la fois, ou à des moments différents, par exemple, il fonctionne en tant qu'onduleur/chargeur en mode de secours électrique avec mode de contrôle automatique du générateur et mode de soutien du générateur lors des longues pannes d'électricité. Il collabore aussi avec d'autres générateurs pour traiter des charges trop importantes pour ce dernier, permet aux générateurs à deux ou trois fils d'être allumés ou éteints sur la base de la tension de la batterie ou de l'ampleur de l'intensité des charges, ou fonctionne en tant qu'onduleur électrique, ce qui permet de renvoyer la puissance excessive vers le réseau électrique.

Il est un nouveau modèle d'onduleur/chargeur classé dans la série SW.

REMARQUE

L'onduleur/Chargeur série SW est équipé d'un tableau de commande intégré et pleine fonction avec indicateur d'état DEL. Il y a aussi d'autres composantes comme le coupe-circuit onduleur/chargeur ; port sonde température – batterie (STB) ; port à distance et port d'empilage.

Ce tableau de commande fournit les contrôles et les écrans dont vous avez besoin pour ajuster, contrôler et surveiller le fonctionnement de l'appareil. Il est opérationnel chaque fois que la puissance CC est appliquée aux bornes d'entrée CC de l'onduleur.

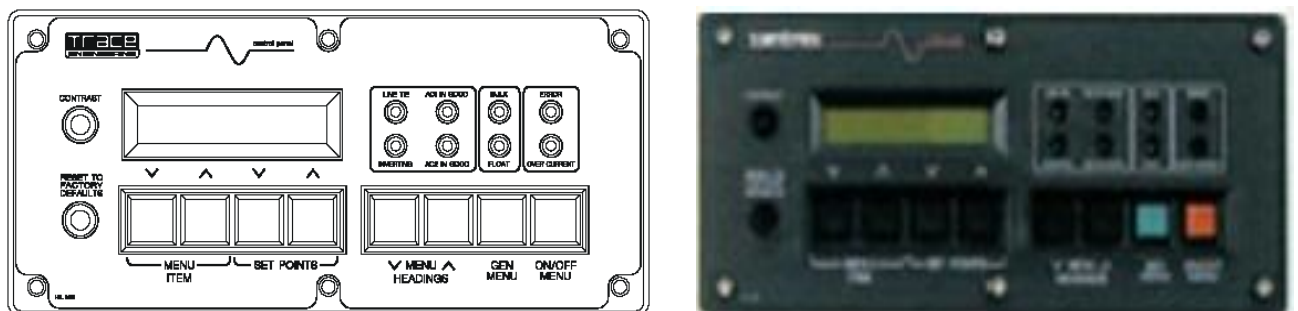


Figure.2.10: Tableau de commande pour l'onduleur/ chargeur SW

2.2) CARACTERISTIQUES DE L'ONDULEUR/CHARGEUR SERIE SW

L'onduleur/chargeur série SW génère une puissance de sortie de type universel et garantit une haute protection contre les surintensités pour la plupart des appareils. Cet onduleur à onde sinusoïdale pur est doté d'un grand nombre de fonction programmables,

PARTIE II : METHODOLOGIE

y compris un système automatique de marche/arrêt du générateur et une détection de charge automatique. Son chargeur de batterie en trois étapes intégré, entretient automatique, est conçu pour une charge maximale des batteries en un temps minimal de fonctionnement du générateur solaire.

Voici quelques caractéristiques concernant l'onduleur/chargeur série SW :

- Puissance nominale 2500 Watt (en model 12 Volt) à 5500 Watt (en model 48 Volt)
- Recharge des batteries à trois étapes (Transfert de charge en volume, charge par absorption et charge d'entretien) et système de correction avec capteur de température à distance pour les meilleures performances.
- Consommation à vide inférieur à 1 Watt.
- Module de commande programmable avec affichage à cristaux liquides et indicateurs lumineux(DEL).
- Capacité de mise en marche progressive pour le démarrage de forte charge.
- Circuit de commande de démarrage intégré pour la mise en marche du générateur monophasé ou triphasé.
- Alimentation à onde sinusoïdale de qualité professionnelle.
- Appareil de haute efficacité et de durée de vie élevée même dans des conditions extrêmes.

2.3) FONCTIONNEMENT

2.3.1) Théorie de fonctionnement

L'onduleur/chargeur série SW de XANTREX comprend une combinaison de trois transformateurs : chacun d'entre eux est équipé d'un commutateur basse fréquence, est couplé en série et commandé par des régulateurs interconnectés et séparés. Ces trois onduleurs sont liés les uns aux autres par leurs transformateurs.

La figure suivante montre le fonctionnement simplifié de l'onduleur série SW trace.

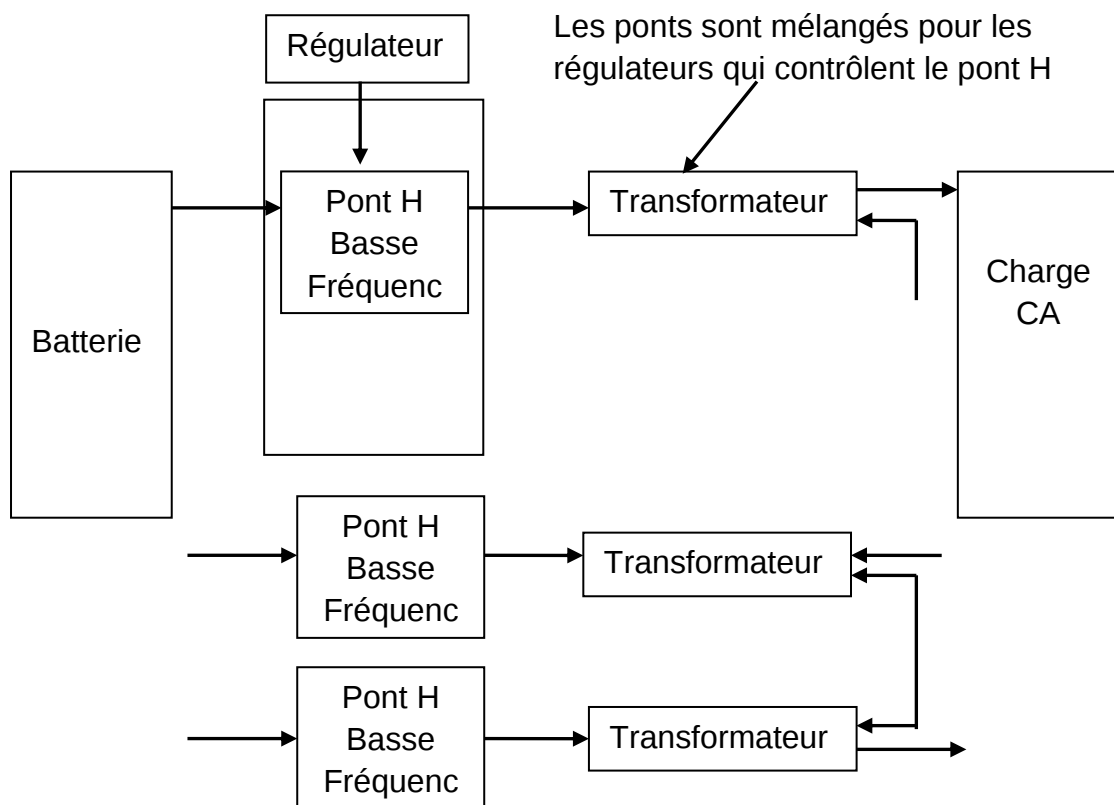


Figure 2.11 : **Fonctionnement simplifié de l'onduleur série SW trace**

En mélangeant les sorties des différents transformateurs, une sinusoïdale est produite.

Ce type d'onduleur résout bon nombre des problèmes liés aux onduleurs d'ondes sinusoïdales hautes fréquence ou à ferrorésonance. La méthode de basse fréquence décrite a une excellente capacité de surtension, un haut rendement (généralement de 85 à 90%), une bonne régulation de tension et fréquence, et une faible distorsion harmonique totale.

L'onduleur possède deux formats de base :

- onduleur indépendant : convertir le courant continu en courant alternatif
- onduleur en parallèle : synchronise sa sortie avec un réseau alternatif avant de les connecter à la charge alternatif.

La fréquence de la source CA est surveillée et l'onduleur, de façon continue, ajuste sa fréquence afin de conserver le verrouillage. Un contacteur normalement ouvert est utilisé pour mettre en parallèle la sortie de l'onduleur et la source CA.

La topologie de puissance de l'onduleur est bidirectionnelle. Si la tension de la forme d'onde créée par l'onduleur est plus haute que la source CA mise en parallèle, la

PARTIE II : METHODOLOGIE

puissance circule des batteries vers la charge. Si la tension de la forme d'onde est plus basse que la source CA, la puissance circule de la source vers la batterie. Si le niveau de courant CA dépasse la taille du générateur du réseau électrique programmée par l'utilisateur, l'onduleur passe en mode de soutien du générateur et crée des formes d'onde plus importantes que la source CA. Ceci entraîne la circulation de la puissance des batteries vers les charges CA, afin d'empêcher une surcharge de la source CA.

REMARQUE

En mode électrique interactif, l'onduleur fonctionne en tant que chargeur de batterie ou source CA mise en parallèle avec le réseau. Dans ce cas, si la source solaire tente d'élever les batteries au-dessus de du réglage de la tension de maintien, l'onduleur tentera de maintenir la tension de la batterie au niveau de la tension de maintien en circulant la puissance en excès dans le réseau électrique.

2.3.2) Mode de fonctionnement :

L'onduleur/chargeur série SW peut être utilisé dans une vaste gamme et une large combinaison de modes de fonctionnement :

- **Mode Onduleur** – onduleur CC à CA avec sortie d'onde sinusoïdale pur, surtension de lancement élevée, mode veille économiseur de puissance, courant déwatté bas, et très haute efficacité de la conversion CC-CA
- **Mode Chargeur** – distorsion faible de courant CA, trois phases, compensé en température, chargeur de batterie à haute intensité.
- **Mode Onduleur/Chargeur** – transfert automatique d'onduleur à chargeur de batterie si présence d'électricité ou d'une source de puissance CA du générateur
- **Mode soutien du générateur** – Commutation automatique sans pointe de tension du mode chargeur au mode onduleur, ce qui permet à l'onduleur d'assister le générateur pour lancer et alimenter des charges importantes. Courant de soutien du générateur et seuils de tension ajustables.
- **Mode contrôle automatique du générateur** – Lancement automatique du générateur en se basant sur la tension de la batterie atteignant un réglage ajustable de la tension ou sur les charges CA dépassant un règle d'intensité. Les deux états de lancement incluent des actions retardées ajustable. Une fois lancé, l'onduleur fonctionne en mode chargeur de batterie, jusqu'à ce que les batteries soient chargées à la phase de maintien ou jusqu'à que la charge CA soit réduite.

PARTIE II : METHODOLOGIE

- **Mode de secours électrique** – commutation de transfert CA rapide à phases synchronisées pour les applications d'alimentation en puissance électrique de secours, inclut une tension de transfert CA ajustable et une capacité de conditionnement de ligne.

- **Mode électrique interactif** – la puissance excessive des sources de charge ou la puissance stockée dans les batteries peuvent être « revendues » dans le réseau (dans notre cas c'est la JIRAMA). Permet également de vendre, pendant une période donnée, l'énergie stockée dans les batteries.

- **Mode gestion de l'énergie** – horloge intégrée pour régler les durées de fonctionnement de l'onduleur et du chargeur. Ce mode peut être utilisé avec le compteur « heure » pour déplacer la commutation d'énergie vers des périodes hors pointe.

- **Mode diminution de la charge de pointe** – utilisé pour limiter le prélèvement des charges CA d'un réseau électrique en alimentant à partir des batteries. Les batteries sont rechargées quand les charges CA sont réduites. Ceci peut « égaliser » les charges d'un système.

- **Mode transfert à cause de batterie** – transfert automatique des charges CA des batteries vers le réseau électrique lorsque le système atteint un réglage de basse tension de la batterie ajustable. Des réglages indépendants permettent de contrôler le moment où les charges CA reviennent à la batterie une fois celle-ci rechargée.

L'onduleur est souvent configuré pour fonctionner en plusieurs modes à la fois, ou à des moments différents – par exemple, il fonctionne en tant onduleur/chargeur en mode secours électrique avec mode de contrôle automatique du générateur et mode soutien du générateur lors des longues panne d'électricité.

2.3.3) Fonctionnement Empilage

L'onduleur chargeur comporte chacun un port d'empilage parallèle ou série représenté par la figure suivante :

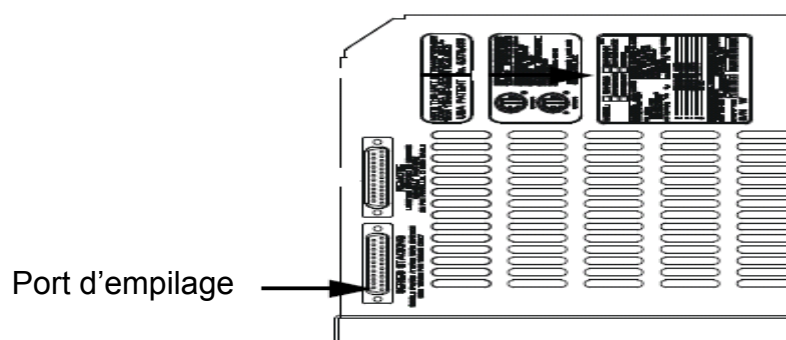


Figure.2.12: **Port d'empilage**

PARTIE II : METHODOLOGIE

a) Empilage en série

Par cette technique d'empilage, on obtient le double de la puissance et de la tension d'un onduleur disponible pour actionner des charges alternatif. La fréquence ne change jamais. Par exemple, dans ce projet, la puissance demandée est de 10000 Watt, or l'onduleur chargeur SW ne représente qu'une puissance maximale de 5500 Watt en 48 volts donc on est obligé de monter en série deux onduleurs de puissance 5500 Watt 120 Volt. La tension est donc de 240 Volt et la fréquence est de 50 Hertz.

b) Empilage en parallèle

Deux onduleurs fonctionnent en même temps pour fournir le double de la capacité continue et de surtension à un circuit de sortie unique. Cette technique est nécessaire lorsqu'une charge unique est trop importante pour un seul onduleur.

2.3.4) Type de batterie

Les batteries possèdent des types, des tailles, des ampèreheures, des tensions, et des propriétés chimiques différents. Il existe deux principaux types de batteries : les batteries de démarrage et celle à cycle profond. Il existe également plusieurs types de propriétés chimiques, notamment le plomb – acide liquide, le nickel – fer (Ni – Fe), le nickel cadmium (Ni – Cad), l'alcalin, et les cellules à gel. Les batteries sont soit scellées, soit ventilées.

a) Batterie à décharge profonde

Il s'agit du type de batterie le mieux adapté aux onduleurs. La dimension physique des plaques est plus épaisse et la matière active qui maintient la charge est plus dense, ce qui permet d'augmenter la durée de vie du cycle. La plus grande partie de la capacité de la batterie à cycle profond est destinée à être utilisée avant toute charge de la batterie. Ces batteries sont disponibles dans des nombreuses tailles.

b) Batterie Plomb – Acide non scellée

Le type le plus courant de batterie à cycle profond est le type non scellé à électrolyte liquide. Ces batteries sont équipées de bouchons qui doivent être ôtés périodiquement pour vérifier le niveau de l'électrolyte. Si une cellule est basse, on ajoute de l'eau distillée. Le niveau de l'électrolyte doit être vérifié tous les mois, et, les cas échéant, on devra ajouter du liquide après la recharge.

c) Batterie Plomb – Acide scellée

Il s'agit d'une batterie rechargeable qui recombine les gaz supprimés ; ainsi, il n'est plus nécessaire d'ajouter de l'eau. Etant fermement scellées, ces batterie ne fuient pas et peuvent être installées dans des applications où il ne serait possible d'installer des

PARTIE II : METHODOLOGIE

batteries de type liquide. Elle ne nécessite pas d'entretien et leur durée de vie est étendue. Et elle a un faible déchargement spontané.

Il existe deux méthodes pour sceller des batteries par un processus d'immobilisation de l'électrolyte, qui à son tour élimine l'acide qui s'écoule librement.

Cellules à Gel : on ajoute du silicagel à l'électrolyte sous forme gélatineuse.

Microfibre de verre absorbante (AGM) : Pour retenir l'électrolyte liquide, on place entre chaque plaque des séparateurs en microfibres de verre hautement absorbantes.

d) Batterie Nickel – Cadmium (NICAD) et Nickel – Fer (NIFE)

Les onduleurs et chargeurs de batterie TraceTM sont optimisés pour une utilisation avec des batteries Plomb – Acide à tension nominale de 2,0 volts par cellule. Les batteries Ni-Cad/Ni-Fe, appelées batteries alcalines, ont une tension de cellule nominale de 1,2 volts par cellule. La tension nominale du banc de batteries Ni-Cad/Ni-Fe peut être alignée sur celle du plomb-acide en jonglant simplement avec le nombre de cellules :

- 10 cellules pour les systèmes 12 volts ;
- 20 cellules pour les systèmes 24 volts ;
- 40 cellules pour les systèmes 48 volts.

Cependant, le banc de batteries Ni-Cad/Ni-Fe doit être chargé à une tension plus élevée pour se recharger complètement.

2.3.5) Taille des Batteries

Les batteries sont le réservoir de carburant de l'onduleur. Plus elles sont grosses, plus l'onduleur pourra fonctionner sans nécessité de recharge. Dans le cas contraire, sa durée de vie est plus courte et les performances de système est décevante.

Les batteries ne doivent pas être régulièrement déchargées de plus de 50% de leur capacité.

Dans les applications indépendantes, il est courant de calibrer les batteries de façon à obtenir entre 3 à 5 jours de stockage avant une nouvelle recharge. La contribution en puissance d'autre source de charge n'est pas incluse dans ce calcul pour reproduire les conditions d'une période nuageuse ou sans vent. Ceci est souvent appelé nombre de jours d'autonomie.

2.3.6) Exigence de la batterie

Les applications de secours électrique sont généralement destinées à décharger la batterie à une plus haute intensité et pendant une période plus courte que ne le font les applications alternative. Habituellement, les capacités de décharge des batteries sont fixées sur 20 heures. Ceci signifie qu'une batterie de 100 ampèreheures peut délivrer 5

PARTIE II : METHODOLOGIE

ampèreheures pendant 20 heures. Elle ne peut délivrer 100 ampèreheures pendant 1 heure. Une batterie trop petite peut produire des performances médiocres. Pour des performances optimales, il est fortement recommandé de sur – dimensionner la batterie.

a) Emplacement de la batterie

Les batteries doivent être placées dans un endroit accessible, sans que rien ne limite l'accès aux bouchons et aux bornes supérieures de la batterie. On recommande de laisser au moins 60 cm d'espace sur le dessus. Elles doivent être situées le plus près de l'onduleur, mais elles ne doivent pas limiter l'accès de l'onduleur et son point de coupure CC. Avec l'onduleur série SW, mieux vaut placer les batteries du côté droit, là où se trouve les connexions CC.

Câblage nécessaire pour la batterie – onduleur

Tension nominale CC [V]	Câble	Distances maximales Batterie – onduleur [m]	Direction
12	AWG n°4/0	5	Unidirectionnel
24	AWG n°4/0	3	Unidirectionnel
48	AWG n°2/0	3	Unidirectionnel
48	AWG n°4/0	6,6	Unidirectionnel

Tableau 2.7: Câble nécessaire entre batterie onduleur

b) Taille de câble de batterie :

Plus les câbles seront gros, plus ils seront efficaces. Des câbles trop fins auront pour résultat une sollicitation supplémentaire de l'onduleur, un rendement plus faible, une capacité de surtension réduite et une tension de sortie de crête plus faible. On est aussi obligé d'utiliser des câbles courts pour avoir le meilleur rendement de l'onduleur.

REMARQUE

Pour réduire l'inductance du fil, il vaut mieux assembler les câbles en parallèle. Ceci aura pour résultat une meilleure forme d'onde, et réduira le courant dans les condensateurs de filtrage de l'onduleur.

Le tableau suivant donne les tailles minimum recommandées des câbles pour divers longueurs de segments et tension d'onduleur. Il est obligatoire d'utiliser des câbles en cuivre :

PARTIE II : METHODOLOGIE

Modèle d'onduleur	Intensité cc type	Intensité nec	1 à 3 ft unidirectionnel	1 à 3 ft unidirectionnel	1 à 3 ft unidirectionnel
SW2512	267 Ampères	334 Ampères	AWG n°4/0/107mm ²	AWG n°4/0/107mm ²	Non Recommandé
SW2612E	278 Ampères	348 Ampères	AWG n°4/0/107mm ²	AWG n°4/0/107mm ²	Non Recommandé
SW2612E ou J	160 Ampères	201 Ampères	AWG n°4/0/107mm ²	AWG n°4/0/107mm ²	AWG n°4/0/107mm ²
SW4024 ou W ou K	214 Ampères	267 Ampères	AWG n°4/0/107mm ²	AWG n°4/0/107mm ²	AWG n°4/0/107mm ²
SW3048E ou J	80 Ampères	100 Ampères	AWG n°2/0/67,4mm ²	AWG n°2/0/67,4mm ²	AWG n°4/0/107mm ²
SW4048 ou K	107 Ampères	134 Ampères	AWG n°2/0/67,4mm ²	AWG n°2/0/67,4mm ²	AWG n°4/0/107mm ²
SW4048E ou A	120 Ampères	150 Ampères	AWG n°2/0/67,4mm ²	AWG n°2/0/67,4mm ²	AWG n°4/0/107mm ²
SW5548	147 Ampères	184 Ampères	AWG n°4/0/107mm ²	AWG n°4/0/107mm ²	AWG n°4/0/107mm ²

Tableau 2.8: Tailles minimums des câbles

PARTIE II : METHODOLOGIE

Chapitre 3 PROTECTIONS ET CABLAGE

La plupart des fabricants de panneaux solaires garantissent leur matériel sur 20 ans et plus. Le retour sur investissement de ces installations est donc calculé sur cette longue période. Mais ces systèmes sont souvent très exposés à des problèmes dont les plus dangereux sont la foudre et les surtensions, ce qui peut réduire fortement la durée d'exploitation souhaitée. La mise en œuvre de solutions de protection adaptées est donc fortement recommandée.

Plusieurs points sont à considérer pour analyser le risque "Foudre et surtensions":

- Plus le champ de panneaux solaires est étendu, plus le risque de problème "foudre" est important.
- Le risque est multiple: effet direct (impact foudre sur les panneaux) et indirect (surtensions sur les panneaux, sur les convertisseurs/onduleurs sur les autres liaisons).
- Quand l'installation photovoltaïque est localisée sur des sites industriels, le risque de surtensions de manœuvre doit aussi être pris en compte.
- Le niveau de risque est en relation directe avec la densité de foudroiement locale et l'exposition des lignes.

Voici quelques principes de protections contre les effets néfastes des foudres :

3.1) MISE A LA TERRE DES MASSES OU EQUIPOTENTIALITE

L'équipotentialité des masses importe à la fois pour la sécurité des personnes et pour le bon fonctionnement des systèmes. En effet, lors d'un écoulement de foudre dans un conducteur, il peut y avoir perte momentanée d'équipotentialité entre différentes masses se traduisant par des surtensions dangereuses.

En conséquence, toutes les masses des équipements électriques doivent être reliées entre elles par des conducteurs d'équipotentialité ramenés à une barre d'équipotentialité.

Les masses de l'onduleur et les masses des matériels alimentés par le réseau de distribution publique doivent être reliées à la même prise de terre.

Pour minimiser les tensions induites dues à la foudre, les structures métalliques des modules et les structures métalliques support (si existantes) doivent être reliées à cette même prise de terre bien que la partie DC des installations soit de classe II. Ces structures métalliques étant généralement en aluminium, il convient d'utiliser des dispositifs de connexion adaptés. Les conducteurs en cuivre nu ne doivent pas cheminer au contact de parties en aluminium.

PARTIE II : METHODOLOGIE

La section des conducteurs de protection et de liaison équipotentielle doivent respecter la norme NF C 15-100(cf. Annexe 5).

Un conducteur de protection n'est pas obligatoire dans le circuit reliant l'AGCP à l'onduleur.

REMARQUE

Pendant que les modules photovoltaïques ne produisent plus de l'énergie surtout pendant la nuit, il est possible que le courant de la Parc batterie revient à son tour vers ces modules, alors que celui – ci les détériore très rapidement. Pour cela, les diodes anti - retours déjà intégrés au module rendent impossible ce retour de courant par blocage.

3.2) PROTECTION CONTRE LES SURINTENSITES

3.2.1) Chaîne PV

Protection contre les interférences électromagnétiques Pour minimiser les tensions induites dues à la foudre, la surface de l'ensemble des boucles doit être aussi faible que possible, en particulier pour l'interconnexion des chaînes PV. La figure suivante montre une bonne configuration de câblage pour une installation PV selon la norme UTE C 15-712 (cf. annexe 5):

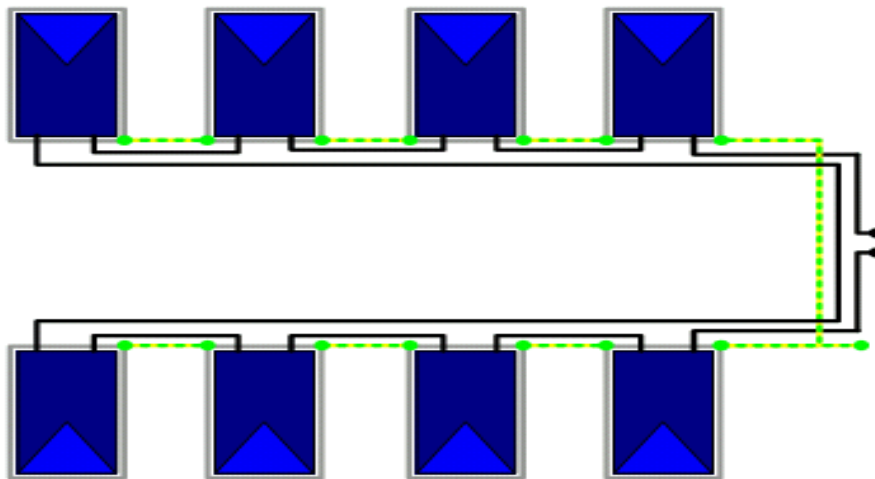


Figure 2.13: Exemple de bon câblage : limitation des aires de boucles induites

Les câbles des chaînes PV sont dimensionnés afin de pouvoir se dispenser des dispositifs de protection contre les surcharges et les courts-circuits. Le courant admissible du câble doit être égal ou supérieur à 1,25 fois I_{scSTC} de la chaîne PV.

Les modules des chaînes PV doivent être protégés contre l'effet des courants inverses susceptibles de survenir en cas de défaut dans un module. Les modules

PARTIE II : METHODOLOGIE

supportant un courant inverse maximal I_{scr} au moins deux fois leur courant de court-circuit (I_{scSTC}), cette protection et les courants admissibles sont donnés dans le Tableau ci-dessous.

Nombres de chaînes	Courant inverse susceptible de survenir dans une chaîne	Courant assigné I_n du fusible de la chaîne	Courant admissible I_z dans le câble de la chaîne PV
1 à 2	$1,25 I_{scSTC}$	Sans objet	$\geq 1,25 I_{scSTC}$
3	$2 \times 1,25 I_{scSTC}$	Sans objet	$\geq 2 \times 1,25 I_{scSTC}$
$n > 3$	$(n-1) \times 1,25 I_{scSTC}$	$1,25 I_{scSTC} \leq I_n \leq 2 I_{scSTC}$	$\geq 2 I_n$
I_{scSTC} correspond au courant d'une chaîne n correspond au nombre total de chaînes du générateur PV			

Tableau 2.9: **Courants admissibles dans les câbles de chaîne**

3.2.2) Câble groupe PV

Les câbles des groupes PV sont dimensionnés afin de pouvoir se dispenser des dispositifs de protection contre les surcharges et les courts-circuits. Le courant admissible du câble I_z doit être égal ou supérieur à $(n-1) \times 1,25$ fois I_{scSTC} du groupe PV, (n correspond au nombre total de groupes PV).

3.2.3) Les parafoudres

La foudre est un phénomène que l'on ne peut empêcher de se produire, engendrant ainsi un champ électromagnétique perturbateur mais aussi des dégâts très nuisibles aux installations photovoltaïque (cf. Annexe 5). Toutefois, on peut en limiter les effets en respectant les trois principes de base suivants :

Canaliser le courant de foudre vers la terre par le trajet le plus direct ;

Réduire les surfaces de boucle de masse ;

Limiter l'onde de surtension par des parafoudres.

Le Tableau suivant est basé sur l'expérience actuelle des phénomènes considérés. Il est également basé sur la norme NF C 15-100(cf. Annexe 5) et la méthode d'évaluation du risque du guide UTE C 15-443(cf. Annexe 5).

PARTIE II : METHODOLOGIE

Il détermine aussi le choix d'une protection par parafoudre ainsi que son type (Type 1 ou Type 2).

Caractéristique de l'installation	Nk ≤ 25		Nk > 25	
	Côté DC	Côté AC	Côté DC	Côté AC
Bâtiment ou structure équipé d'un paratonnerre	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1 ⁽¹⁾	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1 ⁽¹⁾
Alimentation BT par une ligne entièrement ou partiellement aérienne	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2	Obligatoire Type 2 ⁽²⁾
Alimentation BT par une ligne entièrement souterraine	Peu utile Type 2	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2
Le parafoudre côté AC est à l'origine de l'installation de distribution publique. Dans le cas d'un raccordement au réseau en deux points. Il est recommandé d'installer un parafoudre à proximité de l'onduleur si le parafoudre à l'origine de l'installation est obligatoire ou recommandé. Dans les autres cas et lorsque le bâtiment comporte plusieurs installations privatives, le parafoudre de type 1 ne pouvant être mis en œuvre à l'origine de l'installation est remplacé par des parafoudres de type 2 ($I_n \geq 5$ kA) placés à l'origine de chacune des installations privatives.				

Tableau 2.10: **Choix d'une mesure de protection**

Les différents types des paratonnerres suivants servent à protéger contre les effets directs de la foudre :

a) Le paratonnerre à tige

Le principe d'un paratonnerre est fondé sur la notion de distance d'amorçage. Il s'agit d'édifier, en haut des structures à protéger, une tige généralement effilée, reliée à la terre par le chemin le plus direct. La protection offerte dépend de la situation de cette tige sur la structure (émergence, lieu d'implantation).

Lors d'un orage, la tige simple (dite de Franklin) présente une amplification de champ telle qu'une décharge ascendante puisse y prendre naissance. La capture de la décharge descendante permet l'écoulement à travers la pointe et la descente à la terre du courant de l'arc en retour.

PARTIE II : METHODOLOGIE

La méthode de la sphère fictive est une loi empirique qui prédit la zone exposée à la foudre. Il définit pour un choc négatif « une distance d'amorçage ». Cette distance correspond à la longueur présumée de l'arc en retour. Elle ne dépend que du courant crête du premier choc. Cette distance, pour un courant crête I , vaut sensiblement 10 fois I exprimé en kA élevé à la puissance deux tiers. Ce rayon d'amorçage définit une sphère virtuelle, la zone protégée est celle sous la sphère.

b) Le paratonnerre à cage maillée (cage de Faraday)

La protection par cage maillée consiste en la réalisation à la surface du bâtiment à protéger d'une cage de Faraday à larges mailles (10 à 20 m de côté), reliées au sol par des prises de terres. Des tiges de faible dimension (0,5 m), ou pointes de choc, sont disposées aux nœuds des mailles, à l'aplomb des descentes et éventuellement sur les parties émergentes telles que les cheminées, édicules, etc.

Les descentes sont placées à l'extérieur des bâtiments, particulièrement aux angles saillants, espacées de 20 m au plus. Elles aboutissent à des prises de terre reliées entre elles par une structure conductrice enterrée formant le réseau terre.

Constituer une cage de Faraday est la solution la mieux adaptée pour assurer la protection contre la foudre, mais la plus coûteuse.

c) Le paratonnerre à fils tendus :

Le principe consiste à capturer la foudre avant qu'elle ne touche des personnes ou des équipements.

Parfois la protection d'une zone par un paratonnerre à pointe est inefficace. Mieux vaut mettre en œuvre la solution des réseaux suspendus qui consiste à tendre des câbles au-dessus du site à protéger. On détermine la hauteur et le réseau de câblage par la méthode du modèle électro-géométrique qui permet de simuler l'influence de la foudre par une sphère fictive de rayon fonction du courant crête du premier arc en retour.

PARTIE II : METHODOLOGIE

3.2.4) Quelques types des parafoudres

a) Parafoudres de type 1 et 2 en basse tension

Gammes	DS250VG	DS40	DS240	DS215
Type de Parafoudre	Type 1	Type 2	Type 2	Type 2
Localisation	TGBT	TGBT	TGBT	Proximité onduleur PV
Réseau BT Un [Vac]	230/400	230/400	230/400	230
Tension de fonctionnement U_c [Vac]	255	255	255	255
Courant de décharge nom. I_n [kA]	30	20	20	5
Courant de décharge max. I_{max} [kA]	70	40	40	15
Courant de choc (10/350) I_{imp} [kA]	25			
Niveau de protection U_p [kV]	1,5	1,25	1,25	0.9
Référence pour réseau	DS252VG-300/G	DS42-230/G	DS240-230/G	DS215-230/G
Référence pour réseau	DS254VG-300/G	DS44-230/G		
Dimensions [mm]	72	36	18	18

Tableau 2.11: Parafoudres de type 1 et 2 en basse tension

b) Parafoudres Type 2 débrochable pour réseau PV

Références	DS50PV-500	DS50PV-600	DS50PV-800	DS50PV-1000
Tension max PV U_{ocstc} [Vdc]	500	600	800	1000
Tension max de fonctionnement U_{cpv} [Vdc]	530	680	840	1060
Modes de protection	MC	MC	MC/MD	MC/MC
Courant décharge nom. $8/20\mu s$ I_n [kA]	20	20	20	20
Courant décharge max. $8/20\mu s$ I_{max} [kA]	40	40	40	40
Niveau de protection U_p [kV]	1,8	2,5	3	3,6
Version avec télésignalisation	DS50PVS-500	DS50PVS-600	DS50PVS-800	DS50PVS-1000

Tableau 2.12: Parafoudres Type 2 débrochable pour réseau PV

PARTIE II : METHODOLOGIE

REMARQUE

Parfois, il est mieux d'utiliser des coffrets parafoudres qui sont destinés à protéger les installations contre les surtensions dues à la foudre. Ils sont très utiles surtout à l'accès de la basse tension des onduleurs PV raccordés au réseau.

Ils intègrent les fonctions suivantes :

- Protection contre les surtensions;
- Disjoncteurs de ligne et différentiel rarement avec des fusibles;
- Connexion au réseau .

Voici deux schémas électriques de coffret de parafoudre selon ses spécifications:

Schéma électrique coffret parafoudre côte AC

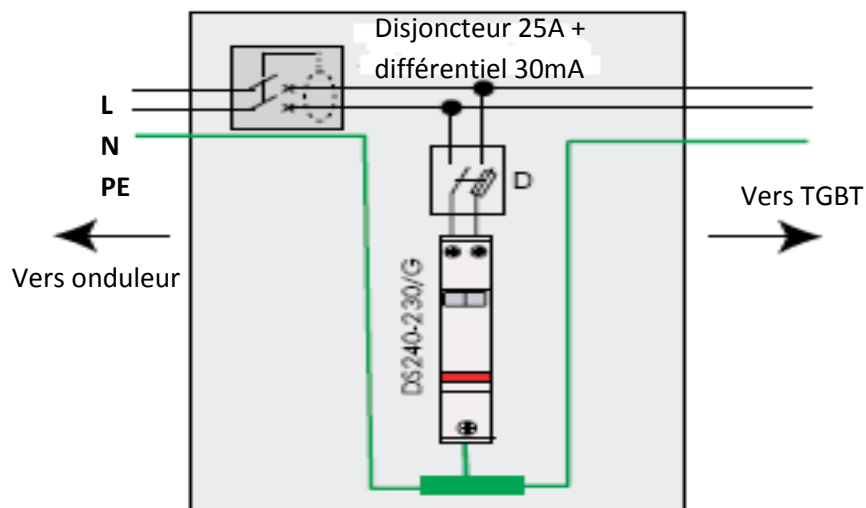


Figure 2.14: *Schémas électrique du coffret parafoudre CPV240-230-xx-DDR*

Schémas électrique coffret parafoudre côte DC

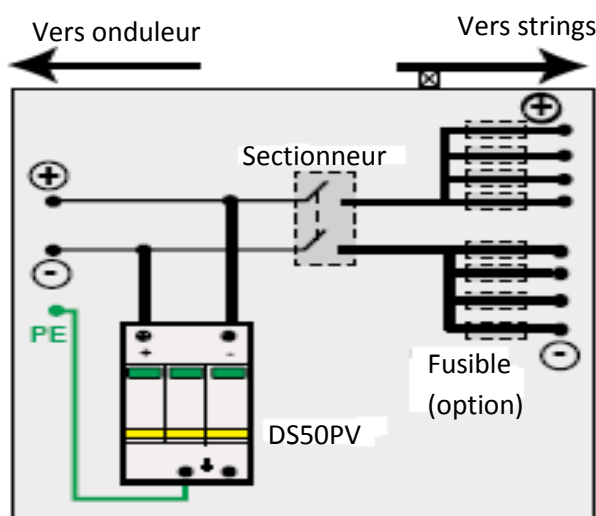


Figure.2.15 : *Schéma électrique CPV50-500-3ST*

PARTIE II : METHODOLOGIE

En résumant tous ce qu'on vient de dire sur le coffret parafoudre, la protection de l'installation est bien assurée surtout qu'ils intègrent déjà des disjoncteurs différentiels très fiable.

c) Schémas de principe de protection

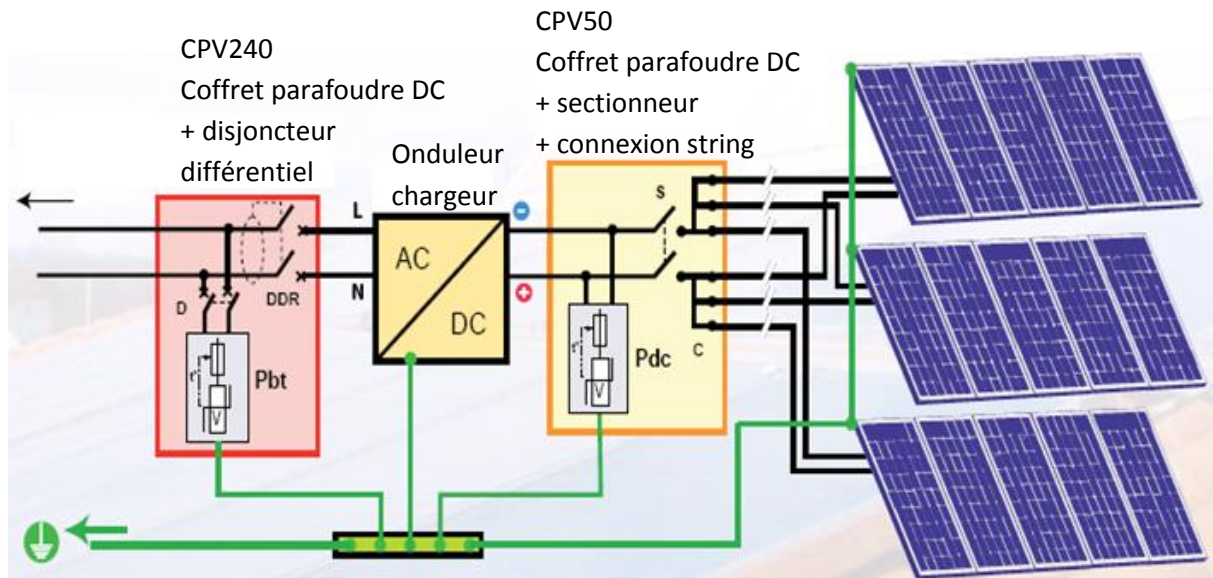


Figure 2.16: **Principe de protection par des coffrets parafoudre**

Pbt : Parafoudre monphasé type 2

D : Déconnecteur extérieur de parafoudre

DDR : Disjoncteur différentiel 25A/30mA

Pdc : Parafoudre DC type 2

S : Sectionneur DC

C : Bornier de connexion des strings

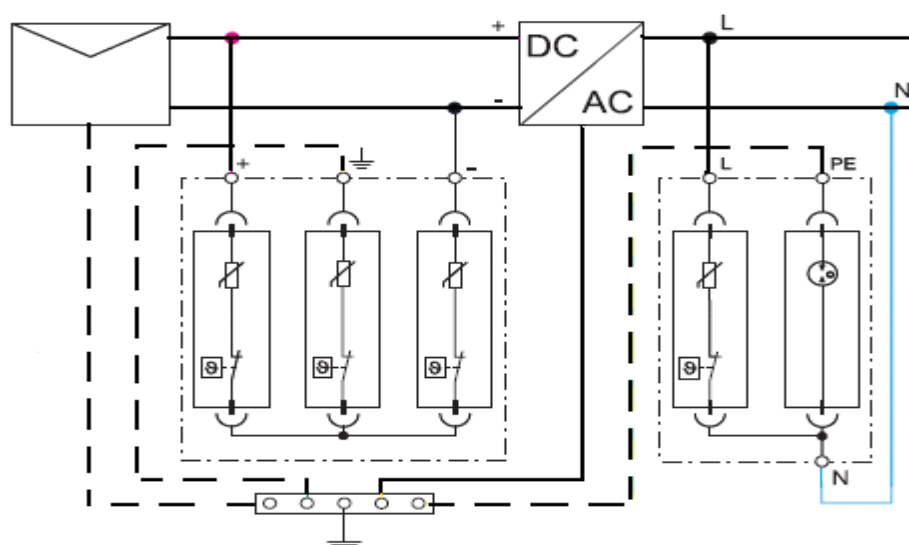


Figure 2.17: **Schéma détaillé du principe de protection par des coffrets parafoudre**

PARTIE II : METHODOLOGIE

Chapitre 4 : SCHEMA UNIFILAIRE DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION PV RACCORDE AU RESEAU

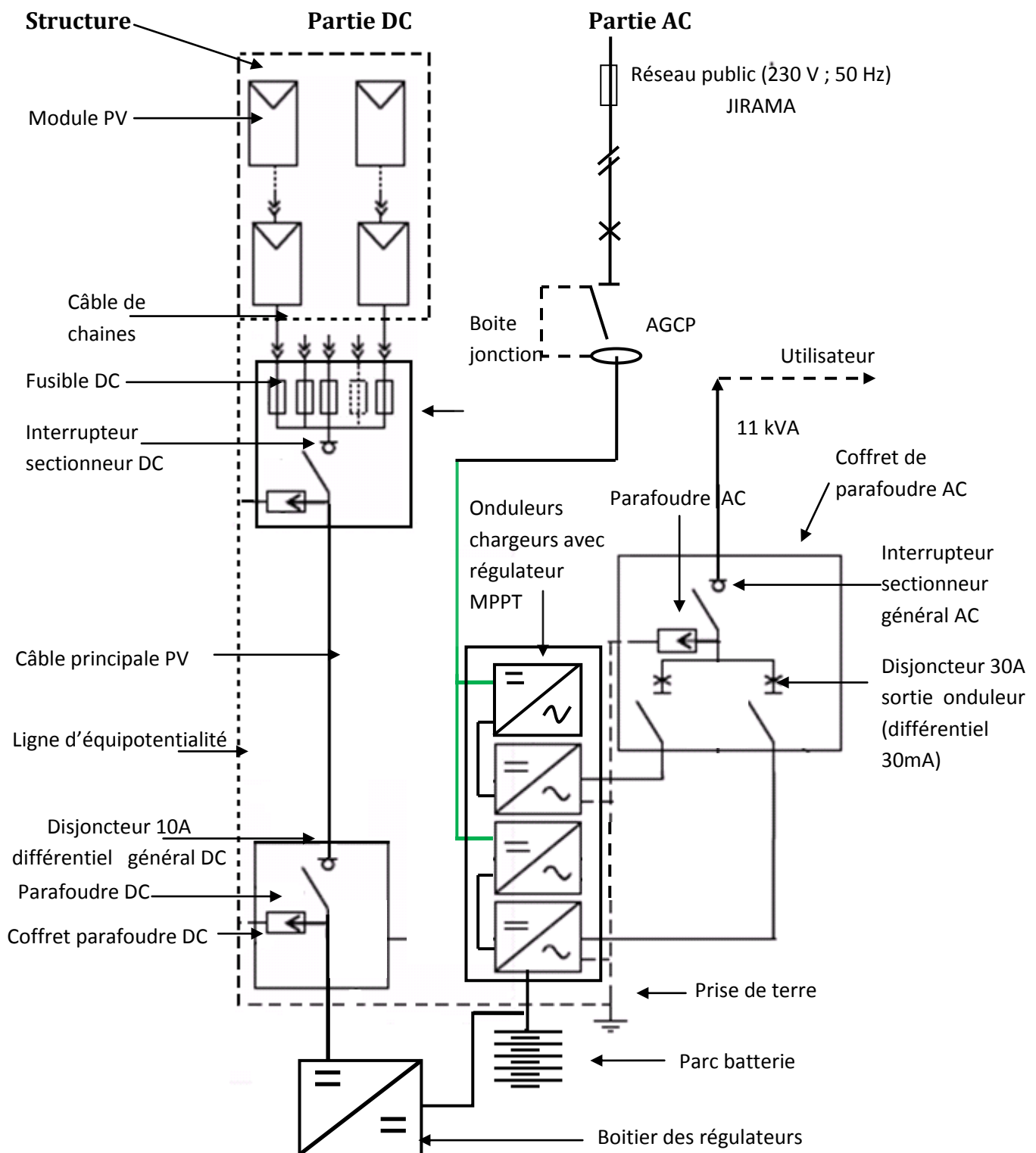


Figure 2.18: Schéma de principe d'une installation PV raccordée au réseau

PARTIE II : METHODOLOGIE

Dans la partie DC, il y a une boîte de jonction dans laquelle les fils conducteurs venant des panneaux photovoltaïques sont reliés les uns aux autres; les fusibles de protection et l'interrupteur sectionneur y sont intégrés pour protéger le champ photovoltaïque. Sortant de la boîte de jonction, le câble principal PV passe ensuite dans le coffret parafoudre DC qui intègre un disjoncteur différentiel et évidemment un parafoudre DC. Après ce coffret, il y a deux onduleurs montés en série pour avoir une source alternatif (10 kVA ; 240 V ; 50 Hz). En cas de leur défaillance, deux autres onduleurs, montés en série, sont montés en redondance avec eux pour leur secours. L'onduleur chargeur XANTREX série SW5548 assure le couplage du secteur public avec celui du champ photovoltaïque, qui est déjà régularisé et optimisé par le régulateur MPPT intégré dans cet onduleur chargeur, et transformé par l'onduleur en tension sinusoïdale de même pulsation et fréquence que le réseau JIRAMA grâce à une commande basée sur un microcontrôleur (16F876A) très puissant de la famille de Microchip. Ce microcontrôleur est responsable de la génération de l'onde sinusoïdale en temps réel et assure la synchronisation de la tension issue des panneaux photovoltaïques à celui du secteur public. Donc, la régulation et le couplage suivis par la synchronisation se font dans l'onduleur chargeur en un seul moment. C'est donc le courant et la tension sortant de l'onduleur qui passe dans le coffret de parafoudre AC pour assurer la protection des charges et les autres appareils de l'installation. L'équipotentialité est montrée par la présence du trait discontinu du côté DC à la partie AC

Les figures suivantes montrent les différents ports d'entrées et sorties de l'onduleur chargeur XANTREX série SW5548.

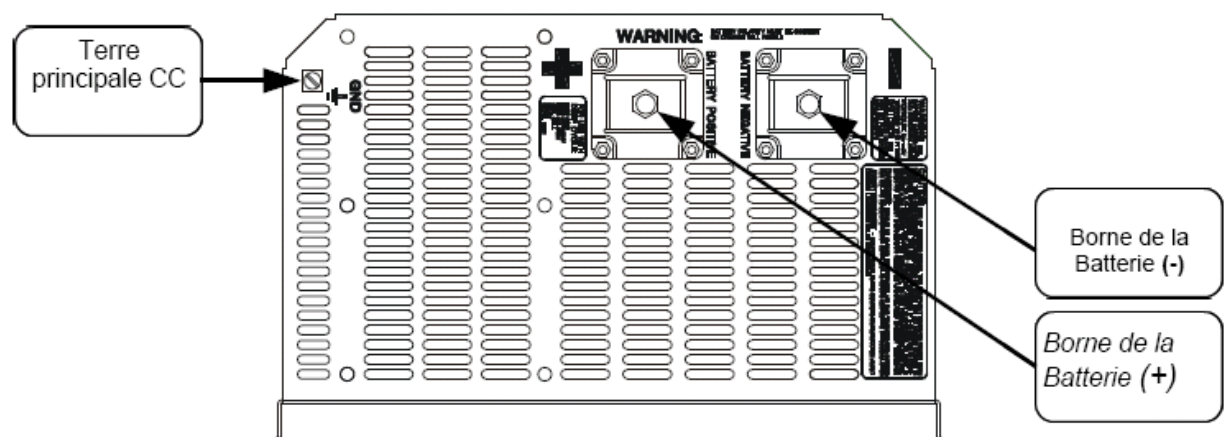


Figure 2.19: Ports de connexion batterie et mise à la terre du côté DC

PARTIE II : METHODOLOGIE

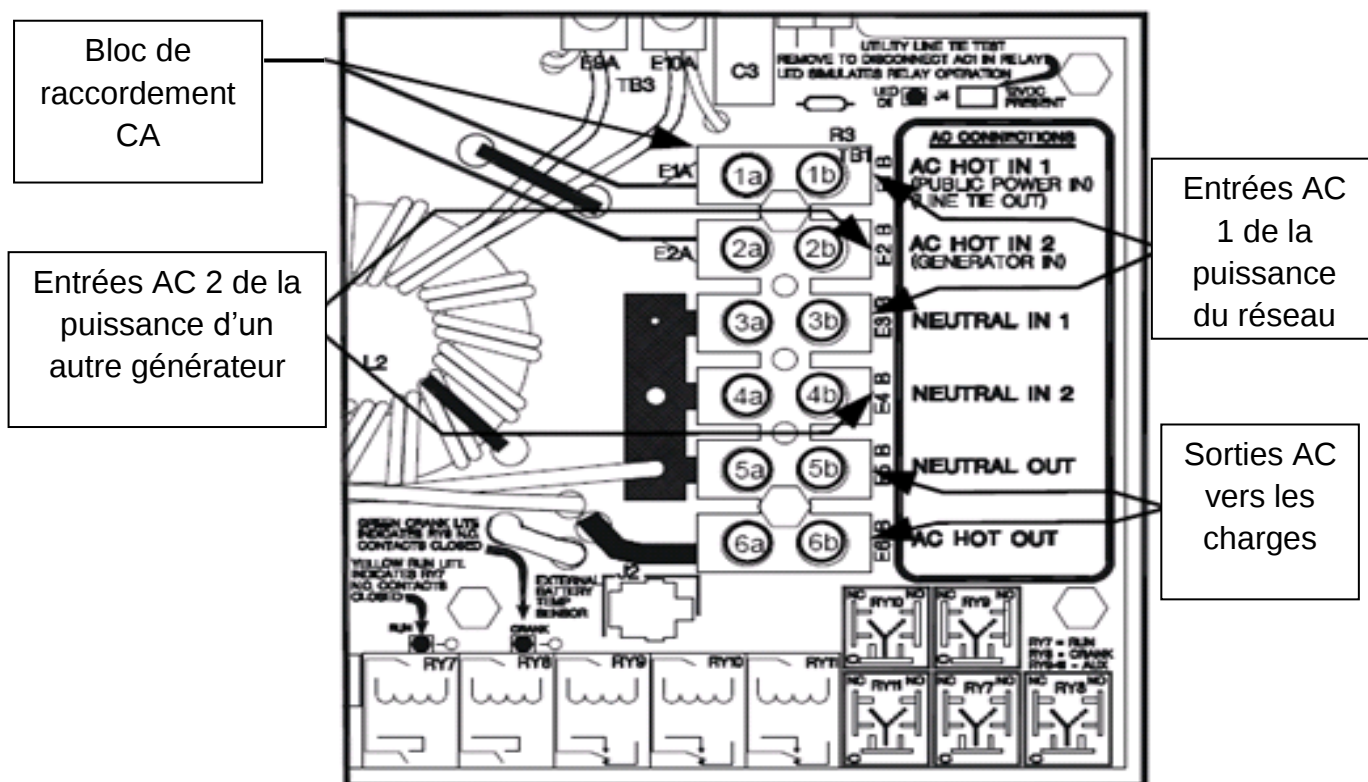


Fig 2.20: **Ports de raccordement du côté AC**

Le tableau suivant explique les connexions sur ce bloc de raccordement :

BLOC DE RACCORDEMENT	INDICATION	UTILISATION
1b	Phase	Courant électrique
3b	Neutre	Courant électrique
2b	Phase	Générateur
4b	Neutre	Générateur
6b	Phase	Charges
5b	Neutre	Charges

Tableau 2.13: **Connexions au bloc de raccordement côté AC**

REMARQUE

On peut encore connecter d'autre générateur générant de la tension alternative sur l'onduleur chargeur, ce qui explique la présence des ports de raccordement pour générateur.

RESULTATS

PARTIE III : RESULTATS

Chapitre 1 CAHIER DE CHARGE

Le but de ce projet est de réaliser une alimentation sans coupure à partir de l'énergie photovoltaïque qu'on va raccorder avec le réseau alternatif du secteur 230Volts ; 50Hertz. Il est donc impératif de dimensionner, selon les besoins énergétique du site et le synchronisme entre tension et fréquence du secteur publique à celui du champ photovoltaïque, les éléments constituant l'alimentation. Ce dimensionnement est très important surtout au niveau du choix des appareils suivants :

- Les modules photovoltaïques ;
- Les régulateurs de charge ;
- les batteries d'accumulateurs ;
- L'onduleur ;
- et L'inverseurs de source s'il est nécessaire.

1.1) DIMENSIONNEMENT DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

Tout d'abord, ce projet est effectué à Antananarivo donc les données concernant le site sont résumés dans le tableau suivant :

Latitude [°]	Longitude [m]	Inclinaison des panneaux i [°]	Orientation
18°55'S	-43°31'	20	Vers le nord-est

*Tableau 3.1 : **Tableau des données concernant le site***

Le dimensionnement des modules photovoltaïque se fait en calculant les paramètres suivants :

1.1.1) Consommation énergétique journalière

Pour le calcul de cette consommation, les données suivantes sont très utiles:

P : puissance de l'équipement = 10000 [W]

h: heures d'usage de l'équipements par jours = 5 [h]

Alors le calcul nous conduit à trouver la valeur de l'énergie consommée.

$$E_j = 50000 \text{ [Wh/j]}$$

PARTIE III : RESULTATS

REMARQUE

On sait déjà que cette source est utilisée comme source secondaire donc on ne l'utilise que pendant la coupure du réseau JIRAMA qui n'est pas durable. D'où le choix de 6[h] par jour d'usage.

1.1.2) Consommation totale

Pour connaître cette consommation, on doit choisir un rendement pour le convertisseur DC/AC.

Comme ce rendement η_{conv} est compris entre **0,75** et **0,98** alors, on prend $\eta_{conv} = 0,95$.

Et l'on a :

$$E_T = 52707 \text{ [Wh/j]}$$

1.1.3) Puissance et tension du système

La puissance totale du système est égale à la puissance voulue par la société ASECNA. Ce qui nous amène à écrire :

$$P_{max} = 10000 \text{ [W]}$$

La tension du système est obtenue en utilisant les encadrements suivants :

- $U = 12[V]$ pour $P_{max} \leq 200 \text{ [W]}$
- $U = 24[V]$ pour $200[W] \leq P_{max} \leq 1000 \text{ [W]}$
- $U = 48[V]$ pour $1000[W] \leq P_{max}$

Ici, la puissance P_{max} est très supérieure à 1000 [W] alors la tension du système est :

$$U = 48 \text{ [V]}$$

1.1.4) Puissance crête

La puissance crête est obtenue à partir des données suivantes :

PARTIE III : RESULTATS

E_i : ensoleillement du lieu. Comme dans la deuxième partie, on doit choisir l'ensoleillement correspond au mois le plus défavorable. Dans notre cas on choisit ce du moi de Juin. Alors

$$E_i = 3,25 \text{ [kWh/j]}$$

E_T : Consommation totale

k_p : Coefficient qui tient compte des pertes, avec, comme choit $k_p = 0,6$

Alors on trouve :

$$P_c = 15120 \text{ [Wc]}$$

1.1.5) Nombre de modules

Le nombre de modules dépend de la puissance crête de chaque panneau utilisé. Dans ce cas on doit choisir un module qui a un rendement plus élevé, très performant et stable sur la production de l'énergie ainsi que très adaptable dans le domaine de l'aérospatiale et donc très conforme à ce projet.

Le tableau suivant donne les caractéristiques concernant ce module qu'on va utiliser pour l'installation :

Type	HSE-SL-230W Monocristallin
Puissance crête [Wc]	210
Puissance au point puissance maximale (P_{max}) [W]	210
Tension nominale [V]	24
Tension à puissance maximale (V_{mpp}) [V]	29,91
Tension à vide (V_{oc}) [V]	37,88
Intensité à puissance maximale (I_{mpp}) [A]	7,69
Intensité court – circuit (I_{sc}) [A]	8,15
Rendement [%]	17,38
Certification	IEC 61215 et IEC 61730
Dimensions [mm]	1652x1000x50
Poids [kg]	20

Tableau 3.2 : Caractéristiques du module HSE-SL-230W Monocristallin

PARTIE III : RESULTATS

REMARQUE :

Les autres caractéristiques techniques sont les suivants :

- 90% de la puissance nominale / 12 ans
- 80% de la puissance nominale / 25 ans
- Connecteurs de type Multi-Contact, câble de 4 mm², longueur 1 m Flex-Sol
- Diodes by-pass incorporées et boîte de raccordement: IP 65
- Verre trempé de 4 mm d'épaisseur à faible contenu en fer
- Cadre en aluminium anodisé

Ce module suit la norme internationale de qualité et de l'environnement, qui sont respectivement la norme ISO- 9001 et celui de la norme ISO-14000. Et comme nous savons que ce type de module appartient aux familles cristallines, donc il suit aussi la norme de fabrication dérivée de modules standards CEI : 61215.

Il est à noter que l'ensemble des modules constituant le générateur photovoltaïque doivent avoir les caractéristiques identiques avec une tolérance de +/- 5 % (idéalement 3 %) sur la valeur de la puissance crête.

Dans toutes ces conditions, parce qu'on a déjà connu la puissance crête du champ photovoltaïque, le nombre de modules utilisés est le suivant :

N = 72 Modules

Le tableau suivant donne les caractéristiques du champ ainsi formé :

1.2) DIMENSIONNEMENT DES BATTERIES D'ACCUMULATEUR

Les batteries d'accumulateurs sont dimensionnées en calculant les paramètres suivants :

1.2.1) Capacité de Parc batterie

Les données suivantes nous amène à trouver cette valeur :

n_j : nombre de jours d'autonomie ce qui correspond à 15 jours dans notre cas

k_D : coefficient de décharge. On prend $k_D = 0,8$

Ce qui donne après calcul :

PARTIE III : RESULTATS

$$C = 6588 \quad [Ah]$$

1.2.2) Nombre de batteries nécessaires

Ce nombre dépend de la capacité de chaque batterie. Le tableau suivant donne les propriétés de la batterie que l'on va utiliser pour réaliser ce projet :

Type	AGM GEL C100
Marque	Rolls série 5000
Capacité [Ah]	503
Tension nominale [V]	12
Dimension [mm]	520x240x464mm
Poids unitaire [kg]	100

*Tableau 3.3 : **Caractéristiques des batteries d'accumulateur***

REMARQUE

AGM GEL est une batterie étanche à électrolyte stabilisé qui est issue de la technologie la plus récente et la plus performante de batterie au plomb. Le mode de construction de cette batterie ainsi que la constitution des plaques permettent d'optimiser la combinaison des gaz émis, ce qui évite la perte de l'eau. Cette batterie AGM (Absorbant Glass Material) ou batteries à recombinaison de gaz a des multiples avantages :

- Une étanchéité totale, car il n'y a plus de trous d'évacuation pour les gaz mais une valve de sécurité qui ne s'ouvre que s'il y'a surpression ;
- Aucun entretien de la batterie car il n'y a aucune perte d'électrolyte ;
- Même en cas de casse aucune coulée de liquide dangereux ;
- Aucun dégagement de gaz lors de la charge ;
- Longue durée de vie (jusqu'à 15 ans) ;
- Supporte mieux les décharges profondes

D'après le calcul, on trouve comme nombres exactes de batterie :

$$n = 52 \text{ [batterie]}$$

PARTIE III : RESULTATS

1.3) DIMENSIONNEMENT DU REGULATEUR

Le régulateur est dimensionné à partir du calcul de l'intensité de courant nominal fournit par le champ photovoltaïque. C'est à partir de ce courant qu'on va choisir le régulateur convenable à l'installation.

Le calcul suivant nous amène à savoir le courant du régulateur :

Données :

Puissance maximale de l'installation : $P_{max} = 10000$ [W]

La tension minimale du système : $U_{min} = 46$ [V] pour une tension du système $U = 48$ [V]

Et après le calcul, on a :

$$I = 218 \text{ [A]}$$

Ce calcul nous amène à trouver le nombre et le type de régulateur qu'on va utiliser pour cette installation. Le tableau suivant confirme notre choix du régulateur :

TYPE	PL60
Voltage Nominale [V]	12, 24, 48
Intensité de charge max [A]	60
Intensité de débit max [A]	60
Chute de tension admissible [V]	0,42
Alimentation [mA]	20
Régulation des valeurs de réglage	4 programmes présélectionnés
Température ambiante [°C]	-20 à 50
Dimensions [mm]	225x175x62
Poids [g]	1100

Tableau 3.4 : Caractéristiques du regulateur PL60

Alors, on utilise 4 régulateurs de 60 [A]

1.4) Tableaux récapitulatifs

1.4.1) Données caractéristiques du site

Puissance [W]	Heures de fonctionnement [h]	Consommation journalière [Wh/j]	Rendement de l'onduleur [%]	Consommation totale [Wh/j]	Tension du système [V]
10000	5	50000	95	52707	48

Tableau 3.5 : Caractéristiques du site

PARTIE III : RESULTATS

1.4.2) Tableau de consommation d'énergie en fonction de l'ensoleillement mensuel

Mois	Ensoleillement kWh/m ² /j	Production par jour Wh/j	Consommation totale Wh/j	Surplus d'énergie Wh/j
Janvier	5,22	71034	52707	18326
Février	5,08	69129	52707	16421
Mars	4,72	64230	52707	11522
Avril	4,33	58923	52707	6215
Mai	3,75	51030	52707	1677
Juin	3,25	44226	52707	1860
Juillet	3,53	48036	52707	1615
Aout	4,17	56745	52707	-8481
Septembre	5,03	68448	52707	-4671
Octobre	5,75	78246	52707	25539
Novembre	5,56	75660	52707	22953
Décembre	5,42	73755	52707	22953

Tableau 3.6 : Tableau des consommations énergétiques en fonction de l'ensoleillement

1.4.3) Tableau des puissances fournis par les modules photovoltaïques

Puissance crête du système [Wc]	Puissance crête d'un module [Wc]	Nombres de module	Capacité du Parc batterie [Ah]	Nombres de batterie	Courant du régulateur [A]
15120	210	72	6588	56	240

Tableau 3.7 : Résultats de calcul pour dimensionner le champ photovoltaïque

1.5) Dimensionnement de l'onduleur chargeur

Comme nous savons déjà que l'onduleur transforme le courant électrique continu produit par les cellules PV en courant électrique alternatif ; semblable à celui qui est délivré par le réseau. Dans ce cas, le dimensionnement de l'onduleur se concentre sur les paramètres suivants :

PARTIE III : RESULTATS

La tension d'entrée : c'est une tension qui doit obligatoirement avoir la même valeur que la tension débitée par le champ photovoltaïque. Dans notre cas cette tension d'entrée est de 48 Volts.

La tension de sortie : c'est la tension alternative produite par l'onduleur chargeur après avoir converti la tension d'entrée. Elle est sinusoïdale de même valeur, de même impulsion et fréquence que le secteur EDF pour faciliter la synchronisation entre le site photovoltaïque et le réseau public.

La puissance de sortie : Cette puissance doit avoir la même grandeur que celle demandée par l'utilisation. Dans ce projet, cette puissance est de 10000 VA ou 10kVA.

Le rendement : ce rendement est très important pour l'installation car il facilite le dimensionnement des panneaux solaires, surtout au niveau des nombres. Il a toujours une valeur comprise entre 75% à 95%

La puissance de régulation : la puissance de régulation est très importante surtout sur l'optimisation de la puissance maximale du champ photovoltaïque et la stabilité de la charge des batteries. Dans ce cas, l'onduleur chargeur doté de la fonction optimisateur de puissance (MPPT) avec une charge en Modulation de Largeur d'Impulsion ou MLI est très adaptable pour cette installation.

REMARQUE :

La puissance crête des modules ne doit jamais être inférieure à la puissance de l'onduleur.

L'onduleur a une durée de vie de 8 à 10 ans, donc il faut prévoir de changer l'onduleur tous les 8 ans.

En cas d'absence ou de défaillance du réseau, l'onduleur se déconnecte automatiquement pour des raisons de sécurité : C'est la protection de découplage qui, permet de supprimer tous risques d'électrocution lors de la maintenance du réseau.

L'onduleur/chargeur SW5548 de la gamme « XANTREX » est notre solution pour avoir un signal sinus pur. Existe en version 48 volts, il génère une puissance de sortie de type universel et garantit une haute protection contre les surintensités pour la plupart des appareils ménagers. L'onduleur/ chargeur à onde sinusoïdale est doté d'un grand nombre de fonctions programmables, y compris un système automatique de marche/arrêt du générateur et une détection de charge automatique. Son chargeur de batterie en trois

PARTIE III : RESULTATS

étapes intégré, entièrement automatique, est conçu pour une charge maximale des batteries en un temps minimal de fonctionnement du générateur solaire.

Les caractéristiques de cet onduleur/chargeur est résumé par le tableau suivant :

Marque et type	SW5548
Tension d'entrée CC	48 Vcc
Tension de sortie CA	230 V
Tension de régulation	48 V
Fréquence nominale	50Hz $\pm$ 0,04% commandé par quartz
Régulation de la tension de sortie	$\pm$ 5%
Puissance à 20°C	5500VA
Sortie continue à 25°C	20 A
Sortie maximale	34 A
Rendement maximum	96%
Relais automatique de transfert	30 A
Régime de charge maximum	100 A cc
Mode de régulation	3 phases (MPPT, PMW)
Distorsion harmonique totale	< 5%
Exigences entrée CC	
Mode Veil	0,04 A (1 W)
Mode on (charge nulle)	0,40 A (20 W)
A pleine puissance nominale	137 A
Sortie court – circuit	180 A
Régime tension d'entrée	44 à 66 Vcc
Caractéristique de sortie CA	
Forme d'on de sortie CA	Onde sinusoïdal 34 à 55 paliers par cycle
Régulation de la tension	$\pm$ 2%
Distorsion harmonique totale	3 à 5% (opération indépendante)
Facteur de puissance autorisé	-1 à 1
Régulation de fréquence	$\pm$ 0.04% (régulée par cristal)
Régime de détection de la charge	16 à 240 V
Caractéristiques standard	
Tableau de commande	Affichage à cristaux liquides alphanumérique rétro-éclairé 2 lignes intégré avec huit indicateurs d'état DEL
Protection de la Batterie Faible	low battery cut out et cut in ajustables avec compensation en courant
Sonde de Température-Batterie	Sonde de température-batterie enfichable de 5 m avec jack de type téléphonique (peut être étendu)
Système Automatique de Contrôle du Générateur	Système de contrôle automatique du générateur pour les générateurs de lancement à deux et à trois fils (pas de contrôle bougie de préchauffage)
Limitations Environnementales	
Type de Boîtier	Châssis en acier à l'extérieur, ventilé, avec finition par poudre
Gamme de Température Spécifiée	32°F à 104°F (0°C à +40°C) (la sortie

PARTIE III : RESULTATS

	répondra aux tolérances spécifiées)
Gamme de température autorisée	-40°F à 140°F (-40°C à +60°C) (la sortie peut ne pas répondre aux tolérances spécifiées)
Température de Non-fonctionnement	-67°F à 284°F (-55°C à +75°C)
Altitude Limite de Fonctionnement	15 000 pieds (5000 mètres)
Altitude Limite de Non-Fonctionnement	50 000 pieds (16 000 mètres)
Dimensions –Onduleur Uniquement	15" (38 cm) de haut, 22,5" (57 cm) de large, 9" (23 cm) de profondeur (si montage sur mur)
Dimensions – Expédition	20,5" (52 cm), 27" (69 cm), 15,5" (40 cm)
Montage	Montage sur Mur ou Tablette
Relais Auxiliaires	Trois relais de signalisation commandés par tension et ajustables par l'utilisateur pour le contrôle des charges ou des sources de charge
Refroidissement par Ventilateur	Ventilateurs CC sans balais à vitesse variable
Poids – Onduleur Uniquement	136 lbs (63 kg)
Poids – Expédition	143 lbs (65 kg)
Signal de sortie	Pur sinus identique au réseau EDF
Homologations réglementaires	Norme CE

Tableau 3.8 : Spécifications et caractéristiques du model SW5548

PARTIE III : RESULTATS

Chapitre 2 : CHOIX DES CABLES ET PROTECTION

Le rendement des panneaux est généralement garanti pour être supérieur à 80 % de la valeur initiale au bout de 5 ans ou plus. Compte tenu des dégâts causés par les facteurs extérieurs surtout les foudres, le choix des câbles et des appareils de protection est très important pour atteindre ce rendement ainsi que de protéger l'installation et l'utilisateur.

2.1) Protection

Les appareils de protection sont obligatoirement convenables aux données caractéristiques du site. Les appareils suivants sont conformes à cette condition :

2.1.1) Coffret parafoudre CPV240-230-xx-DDR

Caractéristiques	
Tension réseau U_n	230 monophasé
Courant max. (xx)	16 - 20 - 25 - 32 A
Raccordement au réseau (entrée/sortie)	4 mm ² max
Sécurité DS240-230/G	
Déconnecteurs thermiques	internes au parafoudre
Visualisation déconnexion	indicateur parafoudre
Protection parafoudre	par disjoncteur dans branche parafoudre
Protection surintensité	par disjoncteur de ligne (calibre de 16 à 32 A)
Protection contre contacts indirects	par disjoncteur différentielle 30 mA
Parafoudre Type 2 DS240-230/G	
Tension de régime permanent max. U_c	255 Vac
Courant de décharge nominal I_n	20 kA
Courant de décharge maximal I_{max}	40 kA
Niveau de Protection U_p	1,5/1,25 kV
Contacts de télésignalisation/ type de contact	Inverseur
Capacité de commutation AC	250 V/0,5 A
Caractéristiques boîtier	
Niveau de protection	IP55
Dimensions (H x L x P) mm	198 x 255 x 108
Matière boîtier	Polycarbonate UL 94 V0
Accès appareillage	Porte transparente
Passage câble	par presse-étoupe

Tableau 3.9 : Caractéristiques du coffret CPV240-230-xx-DDR

PARTIE III : RESULTATS

2.1.2) Coffret parafoudre CPV50-500-3ST

Caractéristiques	
Tension max. PV U_{ocstc}	500 Vdc
Courant max I_{scstc}	20 A
Raccordement au réseau (entrée/sortie)	6,5 / 10 mm ²
Parafoudre Type 2 DS50PV-500	
Tension de régime permanent max U_{cpv}	530 Vdc
Courant de décharge nominal I_n	20 kA
Courant de décharge maximal I_{max}	40 kA
Niveau de Protection U_p	1.8 kV
Caractéristiques boîtier	
Niveau de protection	IP65
Dimensions (H x L x P) mm	305 x 225 x 125
Matière boîtier	ABS PC
Type de poignée	Cadenassable

Tableau 3.10 : **Caractéristiques du coffret CPV50-500-3ST**

2.2) Câble

C'est sur la partie courant continue de l'installation que les intensités sont les plus importantes, c'est donc dans cette partie que se pose le problème des pertes joules et des chutes de tensions dans les câbles. Il est alors impératif de déterminer les sections des câbles entraînant le moins de chute de tension possible entre les panneaux et l'onduleur-chargeur, mais aussi entre les batteries et l'onduleur-chargeur.

Les tableaux suivants résument les caractéristiques des câbles convenables à ce projet

2.2.1) Câble PV – Boite de jonction

Nombre PV	Câble cuivre	Distances minimale PV – Boite de jonction [m]	Longueur totale [m]
72	AWG 4mm ²	20 x 2	2880

Tableau 3.11 : **Câble de connexion PV et Boite de jonction**

PARTIE III : RESULTATS

2.2.2) Câble boîte de raccordement – Régulateur

Nombre du régulateur = Nombre de boîte de raccordement	Câble Cuivre	Distances minimale boîte de raccordement – Régulateur [m]	Longue ur total [m]
4	AWG 6 mm ²	0,5 x 2	4

Tableau 3.12 : Câble de connexion boîte de raccordement et régulateur

2.2.3) Câble Régulateur – batterie

Nombre de régulateur (sortie parallèle)	Intensité de charge [A]	Tension nominale CC [V]	Câble cuivre	Distances maximale Régulateur - Batterie [m]	Longueur totale [m]
4	240	48	AWG 90 mm ²	3 x 2	6

Tableau 3.13 : Câble de connexion batteries onduleur

2.2.4) Câble Batterie –Batterie

Nombre de batterie (2 à 2 en série)	Capacité d'une batterie [Ah]	Tension nominale CC [V]	Câble cuivre	Distances maximale Batterie - Batterie [m]	Longueu r totale [m]
52	503	48	AWG 90 mm ²	0,5 x 3	78

Tableau 3.14 : Câble de connexion batteries onduleur

2.2.5) Câble de mise à la terre

Câble cuivre	Longueur [m]
AWG 10 mm ² Jaune- vert	300

Tableau 3.15 : Câble de mise à la terre

Données complémentaires

- Chute de tension maximale entre panneaux – boîte de raccordement ; boîte de raccordement – onduleur et batterie –onduleur $\Delta U = 2\%$

PARTIE III : RESULTATS

- Puissance nominale de l'onduleur $P_{nom} = 5500 \text{ W}$
- Conducteurs en cuivre ($\rho = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega.m$).

2.2.6) Récapitulations :

Champ photovoltaïque	
Type	HSE-SL-220W Monocristallin
Puissance crête	210 Wc
Puissance demandée	10 kVA
Nombres de module	72
Tension de sorties	48 V
Intensité de sorties	218A
Onduleur/chargeur	
Type	SW5548
Puissance	5,5 kVA
Tension d'entrée/sortie	48/120V
Fréquence de sortie	50Hz
Régulation	Stable (MPPT, MLI)
Nombres	4 (montés en redondant)
Batterie	
Type	GEL
Capacité	503 Ah
Tension nominale	12 V
Nombres de batterie	52
Coffrets parafoudre cote AC	
Types	CPV240-230-xx-DDR
Tension nominale	230 V
Tension de régime permanent max. U_c	255 Vac
Courant de décharge nominal I_n	20 kA
Courant de décharge maximal I_{max}	40 kA
Niveau de Protection U_p	1.5/1.25 kV
Coffrets parafoudre cote DC	
Types	CPV50-500-3ST
Tension de régime permanent max. U_{cpv}	530 Vdc

PARTIE III : RESULTATS

Courant de décharge nominal	I_n	20 kA
Courant de décharge maximal	I_{max}	40 kA
Niveau de Protection	U_p	1.8 kV
Tension de régime permanent max.	U_{cpv}	530 Vdc
Câbles		
PV – Boîte de jonction		4 mm ² (2880 m)
Boîte de raccordement – Régulateur		6 mm ² (4 m)
Régulateur - Batterie		90 mm ² (6 m)
Batterie -Batterie		90 mm ² (78 m)
Mise à la terre		10 mm ² (300 m)

Tableau 3.16 : Tableau récapitulatif des résultats

PARTIE III : RESULTATS

Chapitre 3 : BILAN ECONOMIQUE:

Nombre	Unité	Description	Prix unitaire	Montant
		Panneaux solaire		
72,00	PCS	HSE-SL-220W	411,25 €	29 610,00 €
2880,00	m	câble Solaire 4mm2	1,50 €	4 305,60 €
24,00	6m	support en aluminium	10,50 €	252,00 €
150,00	PCS	Connecteur jaune	1,09 €	163,88 €
		Boitier de contrôle		
4,00	PCS	PL 60 CHARGE REGULATOR	189,89 €	759,58 €
72,00	PCS	Fusible 5X20 10A	0,32 €	22,84 €
1,00	PCS	Sécurité DS240-230/G	13,04 €	13,04 €
1,00	PCS	Parafoudre Type 2 DS240- 230/G	4,66 €	4,66 €
300,00	m	Câble terre jaune vert 10mm ²	2,47 €	740,25 €
4,00	m	Câble 6mm ²	2,00 €	7,99 €
72,00	PCS	Bridge EB10-6	2,93 €	210,65 €
72,00	PCS	Fusible UK10-DREHSI	8,68 €	625,19 €
1,00	PCS	Boîte de raccordement	117,50 €	117,50 €
10,00	PCS	KLAU PERKSCHN 2R/10 25MM2	0,79 €	7,87 €
		Batterie		
52,00	PCS	ROLLS 12V 503Ah Deep cycle	1 141,43 €	59 354,22 €
84,00	m	Câble Batterie 90mm ²	21,50 €	1 806,21 €
		Convertisseur		
2,00	PCS	XANTREX SW5548	1 612,10 €	3 224,20 €
			TOTAL	101 225,69 €
			INSTALLATION	10 122,57 €
			TOTAL EN EURO	111 348,26 €
			TOTAL EN ARIARY	311 775 130,85 Ariary

Tableau 3.17 : *Bilan économique*

ETUDE D'IMPACTS

ENVIRONNEMENTAUX

PARTIE IV : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Chapitre 1 DEFINITION :

L'environnement est l'ensemble des objets matériels, des êtres vivants, des ressources et des systèmes physiques, chimiques, biologiques, sociaux ; économiques et culturels où les éléments sont en état constant d'interdépendance les uns par rapport aux autres. Tous facteurs étant à la base des interactions spatio-temporelles entre l'Homme et la Nature en vue d'un développement durable.

Ce développement durable a pour objectifs d'améliorer le cadre de vie des populations rurales et urbaines, de maintenir l'intégrité écologique et d'améliorer l'efficacité économique et sociale.

Pour tant, il est nécessaire de protéger l'environnement. Ce qui nous amène à analyser les effets du projet d'installation d'un système de panneau solaire raccordé au secteur 230 Volts 50 Hertz.

Chapitre 2 INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE RACCORDEE AU RESEAU ET ENVIRONNEMENT :

Le silicium est un composant naturel et sans danger qui constitue les modules photovoltaïques. C'est la forme ultra pure de la silice, composant principal du sable, un peu ce que le carbone est au charbon. On peut donc affirmer que le photovoltaïque est indéniablement l'un des moyens de production d'électricité les plus écologiques, même en tenant compte de son cycle de vie complet, du «berceau à la tombe ». En ce qui concerne les autres impacts environnementaux, la plupart des usines de fabrication de composants photovoltaïques sont certifiées ISO-14000, et sont donc sensées récupérer et recycler tous leurs effluents sous contrôle sévère.

En fonctionnement, le photovoltaïque n'a en revanche strictement aucun impact sur l'environnement.

Une production d'un **mégawattheure ou MWh** permet de substituer **0,086 TEP** d'énergie et d'éviter l'émission de **120 kg de CO₂**. Il n'y a pas de pièce en mouvement, ni de bruit et pas de production de polluant. De l'autre part, notre projet et de concevoir une installation de secours en remplaçant un groupe électrogène qui dégage au paravent des gaz très nuisible ainsi que provoque des bruits à cause de sa fonctionnement et donc une exploitation très perturbante pour la société. Ce qui implique que cette nouvelle source préserve la nature.

CONCLUSION

GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce projet que nous avons réalisé a permis de concevoir un site photovoltaïque raccordé au réseau public, plus précisément la JIRAMA.

Les résultats d'étude obtenus pour le cas du site de l'ACECNA à AMBODIFASINA Antananarivo ont montré qu'il est très avantageux d'utiliser l'énergie solaire comme source raccordée au réseau de point de vue économique ; environnement.

Si on utilise tous ces appareils recommandés dans le corps de ce projet, on peut pratiquer directement ces résultats dans le cas d'Antananarivo.

Dans le cas des autres provinces, il serait plus intéressant de faire une autre étude surtout sur l'inclinaison des panneaux pour avoir le maximum de puissance. Même si le coût des équipements pour une installation photovoltaïque est très élevé, il faut spéculer sur l'énergie photovoltaïque car elle apporte un très grand atout pour le développement durable et rapide surtout dans le monde rural.

Nous espérons que ce projet apporte des issues pour l'installation d'énergie photovoltaïque à Madagascar raccordé au réseau ou dans un site isolé.

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE 1 : Numéro de Model

Le numéro de model de l'onduleur détermine les différentes caractéristiques éventuellement présentés par l'appareil.

Exemple : **SW5548***

SW : Model

55 : Indique la puissance utile continue en centaine de VA (Volt - Ampères). Dans l'exemple ci-dessus, 55 représente un onduleur à puissance utile de 5500VA (5,5kVA). Les puissances disponibles vont de **2500 à 5500** Volt – Ampères avec différentes tension CC.

48 : c'est l'indication de la tension d'entrée et sortie en courant continue. Il suit toujours l'indication de la puissance. Il représente un onduleur/chargeur destiné à convertir une entrée de 48VCC en sortie CA et à charger des batteries de 48VCC lorsqu'il est alimenté par la même tension CA. Les tensions CC disponibles sont des modèles de **12 ; 24 et 48** volt.

***** : C'est l'option de tension d'entrée sortie CA qui indique le choix de la tension, fréquence ou option particulière CA que cet onduleur/chargeur est spécifiquement destiné à fournir.

Une absence de lettre après le numéro de tension indique une tension CA de 120V/60Hz et nécessite la même tension et fréquence pour charger les batteries de l'onduleur.

Les tensions disponibles vont de **105 à 240** volts alternatifs à **50** ou **60** Hz

ANNEXES

ANNEXE 2 : Perturbations du réseau électrique

Reprenons notre signal alternatif de base.

1. **Coupure complète du courant** provoquée généralement par un problème de réseau électrique ou d'un disjoncteur.
2. **Surtension**, la tension du réseau est supérieure à la tension pour laquelle les alimentations sont conçues (pensez aux diodes d'entrées). Ceci est spécifiques aux installations proches des cabines électriques "haute tension". Même si une surtension n'est par forcément dangereuse pour les installations informatiques (dans des valeurs raisonnables), cette perturbation provoque des contraintes des composants de l'alimentation qui, à terme, provoquent les pannes.
3. **Sous-tension**, la tension est inférieure à celle pour laquelle les alimentations sont conçues et l'alimentation ne sait plus fournir une tension suffisante en sortie. Dans le cas des alimentations pour PC, elles descendent au moins jusque 180 V. Une sous-tension est généralement provoquée par une augmentation soudaine de la consommation électrique sur le réseau par le démarrage de dispositifs électriques lourds: moteurs, compresseurs, ascenseurs, ... mais également par une distance trop importante par rapport à la cabine haute-tension. Ce problème électrique peut provoquer des blocages et crash inattendus. Elles réduisent également la durée de vie de l'ordinateur.
4. **Transitoires**. Signaux parasites qui se superposent sur le signal électrique standard, elles peuvent aller jusqu'à 4000 Volts, mais plus faibles généralement.
5. **Micro coupures**. De faibles coupures du signal électrique durant quelques millisecondes.
6. **Pics de tensions**: surtensions de durée très faible (inférieure à 1/120 seconde), mais de forte intensité (supérieure à 4000 V), généralement dus à l'arrêt de machines électriques de fortes puissances (moteurs, climatiseurs, équipements industriels, ...) qui dissipent la tension excédentaire sur le réseau. Ici aussi, on assiste à une usure des composants.
7. **Foudre**, aussi une surtension. La foudre vient de phénomènes météorologiques (orages) qui transfèrent de fortes tensions sur le réseau électrique mais aussi téléphonique. Une forme de foudre remonte de la terre, liée à la géologie du sol et donc à une zone géographique limitée, sans réelles solutions de protections, même si la proportion est faible, moins de 1% des cas.

ANNEXES

Comment va se comporter notre alimentation à découpage dans ces cas :

- En cas de panne complète du réseau, plus d'alimentation.
- En cas de surtension (jusqu'à 280 Volts), l'alimentation à découpage va réguler la sortie mais avec des contraintes pour les composants électroniques.
- En cas de transitoires, le redressement au primaire va réduire les effets, mais le transformateur ne servira pas de tampon, il va juste réduire la tension. Le condensateur et la self de lissage au secondaire vont juste les atténuer. Elles provoquent généralement des blocages de cartes mères avec les alimentations ATX actuelles. C'est identique pour les pics de tensions.
- En cas de microcoupures, les différents condensateurs vont servir en partie de réserves d'énergies.
- En cas de foudre, l'alimentation tombe généralement en panne mais peut aussi mettre d'autres composants de l'ordinateur en panne.

Ces différentes perturbations électriques ne sont analysables que par des appareils professionnels que l'on appelle pétrographes.

ANNEXES

ANNEXE 3 : Les facteurs de détérioration des batteries

Les batteries sont sensibles à des multiples perturbations mais les plus fréquentes sont :

1. La température ambiante

Les batteries sont des composants très sensibles à la variation de température, puisque pour chaque température qui diffère de la température normalisée (généralement 20°C à 25°C), elle perturbe le niveau de la tension de charge et de décharge des batteries : on parle de la compensation en température [-30mV/°C en moyenne pour une batterie 12volts nominal à électrolyte liquide].

Les effets de température sont plus visibles à des températures plus extrêmes.

Solution : On peut compenser les effets de la température en conditionnant la batterie à sa température de fonctionnement optimale. En créant un boîtier isolant qui absorbe très lentement les variations de température.

2 Cycle profond

Un cycle profond définit la décharge profonde des batteries associées à une charge des batteries trop faibles qui imposent à la batterie de rester à son niveau le plus bas. Mais la décharge profonde est le critère qui détériore le plus les batteries.

Solution : Pour résoudre le problème de « cycle profond », une solution simple et automatisée, la décharge profonde est bloquée par le régulateur (LVD) que l'on expliquera ultérieurement, ou réalise un programme qui gère le nombre de fois que le système arrive au LVD, si ce niveau est atteint plusieurs jours de suite le système s'arrête jusqu'à la charge complète du système.

3 Surcharge et sous décharge

Une surcharge et sous décharge sont les états de plus néfastes pour la batterie. La surcharge détruit inévitablement la batterie. Pour limiter ces causes de détérioration, l'utilisation d'un régulateur de charge est préconisée.

ANNEXES

ANNEXE 4 : Les différents types d'inverseur de sources

▪ Inverseur de source manuel

C'est le dispositif le plus simple. Il nécessite l'intervention d'un agent d'exploitation et, part conséquent, la durée de passage de la source normale à la source secondaire est différée.

Un inverseur de source manuel est réalisé autour de 2 ou 3 appareils commandés manuellement (disjoncteurs ou interrupteurs) et inter verrouillés mécaniquement. Les inter-verrouillages, empêche toutes mise en parallèles, même transitoire, des deux sources.

▪ Inverseur de source télécommandé

C'est le dispositif le plus employé. Aucune intervention humaine n'est nécessaire. Le passage de source télécommandé est constitué de 2 ou 3 appareils auquel est associé un inter-verrouillage électrique. La commande des appareils est sécurisée par un inter-verrouillage mécanique qui protège d'un dysfonctionnement électrique et interdit une manœuvre manuelle erronée.

▪ Inverseur de source automatique

L'association d'un automatisme avec un inverseur de source télécommandé permet le pilotage automatique de sources suivant différentes modes.

ANNEXES

ANNEXE 5 : Normes et guides sur l'installation photovoltaïque

L'installation des matériels sera soumise au respect des normes de l'industrie photovoltaïque et des normes relatives aux installations électriques basse tension, notamment :

- NF C 15-100(décembre 2002) : installations électriques à basse tension
- UTE C 57-300(mai 1987) : paramètres descriptifs d'un système photovoltaïque
- UTE C 57-310(octobre 1988) : transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique
- UTE 18-510 (novembre 1988, mise à jour 1991) : recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique.
- C 18 530(mai 1990) : carnet de prescriptions de sécurité électrique destiné au personnel habilité
- NF EN 61727(septembre 1996) : systèmes photovoltaïques – Caractéristiques de l'interface de raccordement au réseau.
- IEC 61723 : guide de sécurité pour système photovoltaïque raccordé au réseau monté sur les bâtiments
- CEI 60364-7-712 : installations électriques dans le bâtiment – partie 7-712 : Règles pour les installations et emplacement spéciaux – aimantation photovoltaïque solaire
- NF EN 61173(février 199) : protection contre les surtensions des systèmes photovoltaïques de production d'énergie
- NF 17-100(décembre 1997) : protection contre la foudre – Installation de paratonnerres.
- NF 17-102(juillet 1995) : protection contre la foudre – protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage tension.
- NF EN 61643-11(2002) : parafoudre basse-tension connectés aux systèmes de distribution basse tension basse-tension – Prescriptions et essais.
- DIN VDE 0126(Avril 1999) : spécifications du fonctionnement de l'onduleur.
- CEI 61 000-3-2(Edition 2.2 de 2004) : compatibilité électromagnétique(CEM) – partie 3-2 : limites pour les émissions de courant harmonique.

Les textes réglementaires et guide suivants sont à respecter pour une installation photovoltaïque :

ANNEXES

- Le décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988 et ses arrêtés pour la protection des travailleurs qui mettent en œuvre des courants électriques.
- Le décret n° 92-587 du 26 juin 1997 relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électrique et électroniques.
- Les circulaires DRT 89-2, 6 février 1989 : application du décret n° 88-1056
- Les règlements de sécurité contre l'incendie dans les établissements recevant du public et/ou des travailleurs.
- Le guide UTE C 15-400(2005) : raccordement des générateurs d'énergie électrique dans les installations alimentées par un réseau public.
- Le guide d'utilisation UTE C 15-443(2004) : choix et mise en œuvre des parafoudres basse tension.
- Le guide EDF/ARD (2003) : accès au réseau basse tension pour les installations photovoltaïques – conditions techniques et contractuelles du raccordement.
- Le guide de l'ADEME (2004) : systèmes photovoltaïques raccordés au réseau - guide de rédaction du cahier des charges technique de consultation à destination du maître d'ouvrage.
- Le guide de l'ADEME (2001) : protection contre les effets de la foudre dans les installations faisant appels aux énergies renouvelables.
- Le guide UTE C 15-712 : installation du générateur photovoltaïque solaire.

ANNEXES

ANNEXE 6 : Les dégâts rencontrés sur les installations

Modules photovoltaïques détruits par amorçage entre une polarité du module et le cadre (généralement 1 seul par site). Conséquences : verre brisé, destruction des bornes de connexion

- Destruction des diodes by-pass ou/et anti-retour ;
- Explosion de la boîte de jonction ;
- Destruction de protection type disjoncteur ou parafoudre ;
- Explosion de la batterie d'accumulateurs ;
- Destruction des équipements électroniques (régulateur, acquisition de mesures, onduleur,...)

Les équipements électriques (onduleur, régulateur, acquisition de mesures, récepteurs, diodes,...) sont les plus souvent endommagés, plus rarement les modules ou le parc batterie.

Le montant des dégâts engendrés est très variable selon les circonstances de foudroiement. Néanmoins, le coût de remise en état est de l'ordre de quelques milliers à quelques dizaines de milliers d'euros, sans compter les frais de déplacement qui sont souvent très élevés compte tenu de l'isolement des sites et les conséquences indirectes d'absence d'alimentation.

ANNEXES

ANNEXE 7 : Tableau de Conversion Fils AWG – Métriques

AWG	DIAMÈTRE/MM	SURFACE/MM ²	RÉSISTANCE CC 1000 FT
14	1,63	2,08	3,14
12	2,05	3,31	1,98
10	2,59	5,27	1,24
8	3,26	8,35	0,778
6	4,11	13,3	0,491
4	5,19	21,2	0,308
2	6,54	33,6	0,194
1	7,35	42,4	0,154
0 (1/0)	8,25	53,4	0,122
00 (2/0)	9,27	67,5	0,0967
000 (3/0)	10,40	85,0	0,0766
0000 (4/0)	11,68	107,2	0,0608

A.1 : *Tableau de Conversion Fils AWG – Métriques*

REMARQUE : Taille des fils torsadés et charge limite en ampères pour 75°C.

Equivalents métrique/AWG

Cette table donne l'équivalence la plus proche entre les calibres de câbles européens et américains. En Europe, les sections de câbles sont exprimées en mm², ou comme nombre de brins d'un certain diamètre en mm. Par exemple, 7/0.2 signifie 7 brins de 0.2mm de diamètre chacun. La section transversale de cet exemple est d'un total de 0.22mm². En Amérique, le système le plus utilisé est le système AWG, où une taille est attribuée non seulement

à un câble mono fil, mais aussi à un faisceau équivalent de fils plus fins. Par exemple, 24 AWG peut désigner un câble monobrin 14 AWG (1/24) ou à 7 brins de 32 AWG (7/32).

Comme le standard métrique ne correspond pas toujours aux tailles américaines, certaines configurations n'ont pas d'équivalent en pratique. Pour la même raison, certaines approximations doivent être faites pour éviter une table de conversion trop complexe. Par conséquent, la table suivante donne les équivalences pour les câbles les plus courants de l'industrie audio, et lorsque cela est possible sans trop de divergence.

ANNEXES

Section en mm ²	Section transversale référence AWG	Système métrique	Système AWG	Mesure AWG exprimée en pouces	Résistance approxima. de la conduction. (ohms/km)
0,032	32	1/0,2. 7/0,08	1/32, 7/40. 19/44	1/0,008", 7/0,003"	578
0,051	30	1/0,25. 7/0,1	1/30, 7/38, 19/42	1/0,01", 7/0,004"	350
0,081	28	1/0,315. 7/0,125	1/28, 7/36, 19/40	1/0,013", 7/0,005"	232
0,128	26	1/0,4. 7/0,15. 19/0,1	1/26, 7/34, 19/38 1	1/0,016", 7/0,006"	146
0,163	25	14/0,12	1/25		110
0,22	24	1/0,5. 7/0,2. 19/0,12. 30/0,1	1/24, 7/32, 19/36	1/0,02", 7/0,008", 19/0,005"	76,4
0,25	23	1/0,6. 14/0,15. 32/0,1	1/23		70,1
0,32	22	7/0,25. 19/0,15. 30/0,12	1/22, 7/30, 19/34	1/0,25", 7/0,01", 19/0,006"	54,8
0,41	21	13/0,2. 55/0,1	14/36	14/0,008"	44
4,0	20	16/0,2. 44/0,12	1/20, 7/28, 19/32	1/0,032", 7/0,013", 19/0,008"	34,5
0,75	18	16/0,2. 44/0,12	1/18, 19/30, 33/32	1/0,04", 19/0,01", 33/0,0008"	23
1.32	16	19/0,3	7/24, 19/29	7/0,02", 19/0,011"	14,7
2.08	14	28/0,3	19/27, 73/32	19/0,014", 70/0,008"	8,8
2.5	13	50/0,25. 140/0,15	35/28	35/0,013"	6,8
0.52	11	56/0,3. 512/0,1			4,5

A.2 : *Equivalents métrique/AWG*

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. Solofo Hery RAKOTONIAINA : cours de Technologie des panneaux solaires Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.
 2. William ANDRIAMANALINA : cours d'Etude d'impacts environnementaux Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.
 3. GUIDE ADEME (syndicats des énergies renouvelables version 01/06/09) : Générateurs photovoltaïques raccordés au réseau.
 4. GUIDE PRATIQUE Installations photovoltaïques (UNION TECHNIQUE DE L'ELECTRICITE UTE C 15-712 Février 2008) : Installations électriques à basse tension.
 5. GUIDE DE PROCÉDURE POUR L'INSTALLATION DE GÉNÉRATEURS PHOTOVOLTAÏQUES EN CONNEXION AU RÉSEAU EDF
 6. GUIDE D'INSTALLATION V 2.2.0 : Modèle MPPT 250 et MPPT 250HV.
 7. GUIDE ADEME (version 2007) : Protection contre les effets de la foudre dans les installations faisant appel aux énergies renouvelables.
 8. HEPSUL (Août 2007) : Les Onduleurs pour Systèmes Photovoltaïques, fonctionnement, état de l'Art et étude des Performances.
 9. CATALOGUE SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES SITE ISOLE
 10. Théo DONDEL : Chargeur de Batterie au plomb 48V.
 11. YANN RIFFONNEA (Le 23 octobre 2009) : Gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecte au réseau.
 12. PREVENTION DEVELOPPEMENT DURABLE : Le photovoltaïque raccordé au réseau dans le bâtiment.
 13. Gregory J. LENG et Kevin BOURQUE : Analyse de projets d'énergies propres.
 14. Georges THOMASSET : permutation automatique des alimentations dans les réseaux HT et BT.
 15. Claude DIVOUX, 1999 : Onduleur autonome.
 16. Onduleur/Chargeur SW : Conversion de puissance à onde sinusoïdale avancée – Modèles 230 Vca. /50 Hz.
 17. Guide de l'utilisateur de Toit Solaire Photovoltaïque
-
1. Matériels de raccordement au réseau.
 2. EDF GDF SERVICES : ACCES AU RESEAU BASSE-TENSION POUR LES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAÏQUES Conditions techniques et contractuelles du raccordement

BIBLIOGRAPHIE

20. <http://www.edf.fr>
21. <http://www.citel2cp.com>
22. <http://www.retscreen.org>
23. <http://www.hespul.org>
24. [http:// www.schneider-electric.fr](http://www.schneider-electric.fr)
25. [http:// www.soltronic.de](http://www.soltronic.de)
26. [http:// www.raee.org.](http://www.raee.org)
27. [http:// www.geres.free.fr](http://www.geres.free.fr)
28. [http:// www.ademe.fr-el](http://www.ademe.fr-el)
29. [http:// www.pacasolaire.com](http://www.pacasolaire.com)
30. [http:// www.canford.fr](http://www.canford.fr)
31. [http:// www.traceengineering.com](http://www.traceengineering.com)
32. [http:// www.naviclub.comr](http://www.naviclub.comr)
33. [http:// www.xantrex.com](http://www.xantrex.com)

THEME DE MEMOIRE

« Projet d'installation d'un système de panneau solaire raccordé à la JIRAMA à la station VOR ASECNA à Ambodifasina Ambatolampy. »

Nombre de pages : 90

Nombre de figures : 29

Nombre de tableaux : 32

RESUME

Le but de ce présent mémoire est d'installer un système photovoltaïque raccordé à la JIRAMA à la station VOR ASECNA à Ambodifasina Ambatolampy. Ce qui nous a permis, d'après toutes les études fournies dans cet ouvrage, de déterminer et dimensionner tous les appareils les plus adéquats à cette implantation afin d'avoir une puissance de 10 kVA. Cet ouvrage mentionne aussi que l'énergie solaire est classée parmi les sources d'énergies propres, elle n'engendre pas de pollution sur l'environnement.

ABSTRACT

The aim of the present thesis is to install a photovoltaic system connected to the JIRAMA to the VOR station ASECNA Ambodifasina Ambatolampy. This has enabled us, after whole studies provided in this book and size all determine the most appropriate equipment to this location to have a power of 10 kVA. This book also mentions that solar energy is ranked among the sources of clean energy; it does not cause environmental pollution.

Mots clés : Energie solaire – capteur solaire – puissance de l'installation – angle d'inclinaison –
régulateur de charge – onduleur chargeur.

Auteur : RAMIANDRISOA Emanoel

Contact : +26132 62 684 13

E-mail : raemkelly@gmail.com

Encadreur : RAJAONARIVELO Jean André