



ZiE
Fondation ZiE

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

**Support de 150 kWc d'énergie solaire
au réseau électrique alimentant le bâtiment
de la Direction Générale de l'ONEA**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER M2 SPECIALISE
EN GENIE ELECTRIQUE, ENERGETIQUE ET
ENERGIES RENOUVELLABLES**

OPTION: ENERGIES RENOUVELABLES

Présenté et soutenu publiquement le 21 novembre 2011 par

Barnabé MILLOGO

Travaux dirigés par : Henri KOTTIN

Ingénieur de recherche au LESEE de ZiE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Yao AZOUMAH (Président)

Membres et correcteurs : Anselme RUGUNDU

Sayon SIDIBE

Promotion [2010-2011]

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

- à ma famille pour son soutien et sa compréhension au cours de cette formation au 2iE,
- à mes parents pour leurs bénédictions et leurs conseils sans cesse renouvelés.

REMERCIEMENTS

J'exprime ma profonde gratitude à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué et participé à la réussite de ma formation et à la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements et mes encouragements vont à l'ensemble des travailleurs de l'ONEA et en particulier à tous mes collègues de service qui travaillent sans relâche dans l'ombre pour assurer une continuité du service et l'équilibre entre l'offre et la demande en eau des populations.

J'adresse mes sincères remerciements à :

- M. Harouna Yamba OUIBIGA, Directeur Général de l'ONEA
M. Dieudonné SAWADOGO, Secrétaire Général de l'ONEA,
M. Moumouni SAWADOGO, Directeur d'Exploitation,
M. Lassina SANOU, Directeur Régional de Ouagadougou,
M. Ousmane PITROIPA, Chef de service maintenance de la Direction de l'Exploitation, mon maître de stage à l'ONEA pour sa disponibilité malgré ses nombreuses sollicitations.

- l'ensemble des enseignants et des responsables pédagogiques de la formation à distance du 2iE et plus particulièrement à :
Monsieur Henri KOTTIN mon Directeur de mémoire pour son accompagnement,
Madame OUEDRAOGO / KIENOU Sylvie, Coordonnatrice de la filière du Master spécialisé M2 GEER de la promotion 2010-2011,
A l'ensemble de l'équipe d'encadrement de la formation à distance
A mes promotionnaires en particulier Bruno KORGHO, Abu Drahmane Héma OUATTARA et Soumaïla ZARE pour l'ambiance et l'esprit d'équipe qui a prévalu tout au long de cette formation,
A tous ceux dont les noms n'ont pu être cités et qui ont contribué à la réussite de cette formation.

RESUME

De nos jours, l'énergie est au centre de toutes les activités socio-économiques. Au Burkina Faso, la disponibilité de l'énergie électrique n'est toujours pas assurée par la SONABEL qui est la société de distribution d'électricité. Cette situation joue sur l'efficacité et la compétitivité des entreprises et des sociétés du pays. Ce mémoire de fin d'étude réalisé sur l'injection d'énergie au réseau électrique à partir de l'énergie solaire photovoltaïque a pour objectif de montrer la contribution des énergies renouvelables au déficit énergétique. Cette énergie, non polluante, non tarissable pourrait être utilisée à grande échelle si des programmes et des projets sont mis en place dans ce sens. La présente étude fait ressortir que l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque peut être d'un apport non négligeable dans la consommation énergétique totale du bâtiment de l'ONEA. Le prix de revient obtenu de l'énergie produite à partir de l'énergie solaire est moins chère que le prix de revient de l'énergie consommée à partir de la SONABEL. Cette source d'énergie alternative avec stockage, si elle utilisée uniquement pour l'éclairage et les prises électriques rapporterait mieux à l'ONEA et contribuerait ainsi à la préservation de l'environnement en évitant l'émission de 4010 tonnes de CO₂ environ dans l'atmosphère. Nous pensons que l'indépendance énergétique des pays pauvres et sahéliens comme le Burkina Faso se trouve dans les énergies renouvelables et en particulier dans l'énergie solaire.

Mots Clés:

- 1 - Energie solaire**
- 2 - Ensoleillement**
- 3 - Module photovoltaïque**
- 4 - Onduleur**
- 5 - Réseau électrique**

ABSTRACT

Today, energy is central to all socio-economic activities. In Burkina Faso, the availability of electricity is still not provided by SONABEL which is the electricity distribution company. This plays on the efficiency and competitiveness of businesses and companies in the country. This dissertation study conducted on the injection energy to the electrical grid from solar PV aims to show the contribution of renewable energies to energy deficit. This clean energy which is not tarissable could be used on a large scale if programs and projects are implemented in this direction. This study shows that the use of photovoltaic solar energy can be a considerable contribution to the total energy consumption of building ONEA. The cost of energy obtained from solar energy is cheaper than the cost of energy consumed from the SONABEL. This alternative energy source with storage, if used only used for lighting and electrical outlets would relate better to the ONEA and thus contribute to the preservation of the environment by avoiding the emission of about 4010 tons of CO₂ into the atmosphere. We believe that energy independence of poor countries and the sahelians like Burkina Faso is in renewables energies and particularly solar energy.

Key words:

- 1** - Solar energy
- 2** - Sunshine
- 3** - Photovoltaic module
- 4** – Inverter
- 5** - Electrical grid

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Assainissement
PED:	Pays en Développement
ONEA:	Office National de l'Eau et de l'Assainissement
SONABEL:	Société National d'Electricité du Burkina
kW:	Kilo watt
kWc:	Kilo watt crête
ISO:	International Organization for Standardization
AEPA:	Alimentation en Eau Potable et Assainissement
KWh:	Kilo watt heure
TVA:	Taxe sur la valeur ajoutée
°C:	Degré Celsius
m/s:	Mètre par seconde
m :	Mètre
H₂S:	Sulfure d'hydrogène
CO₂:	Dioxyde de carbone
PV :	Photovoltaïque
m²:	Mètre carré
j:	Jour
TGBT:	Tableau général basse tension
Wh :	Watt heure
Wc:	Watt crête
Ej:	Ensoleillement journalier
Pc:	Puissance crête
DC:	Direct courant
AC:	Alternatif courant
MPP :	Maximal Power Point
VA:	Volt ampère
V:	Volt
W:	Watt

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
SOMMAIRE	1
LISTE DES TABLEAUX.....	3
LISTE DES FIGURES.....	4
I. INTRODUCTION.....	5
II. HYPOTHESES / OBJECTIFS DE TRAVAIL.....	7
II.1 Présentation de l'Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA)	7
II.2 Présentation du Service Maintenance de la Direction de l'Exploitation.....	8
II.2.1 Objectifs de l'étude.....	8
III. MATERIELS ET METHODES.....	9
III.1 Collecte des données	9
III.2 Analyse des données collectées.....	15
III.3 Conclusion sur l'analyse des données collectées	15
III.4 Généralité sur les énergies renouvelables	16
III.4.1 L'énergie solaire.....	16
III.4.2 L'énergie hydraulique	18
III.4.3 L'énergie éolienne	18
III.4.4 L'énergie des mers	19
III.4.5 La géothermie.....	19
III.4.6 L'énergie marée motrice	20
III.4.7 L'énergie des vagues ou de la houle	20
III.4.8 L'énergie hydrolienne, celle des courants marins.....	20
III.4.9 L'énergie du gradient thermique des mers.....	20
III.4.10 L'énergie de la biomasse.....	21
III.4.11 Le biocarburant	21

III.4.12 Le biogaz	21
III.4.13 L'énergie bois-paille	22
IV. RESULTATS	23
IV.I Choix et dimensionnement du matériel pour la production de 150kW d'énergie solaire.....	24
IV.I.1 Estimation des besoins journaliers en énergie électrique E_j en Wattheure (kWh).....	25
IV.I.2 Mesure d'ensoleillement.....	26
IV.I.3 Choix du module solaire PV pour le champ solaire	29
IV.I.4 Choix de l'onduleur triphasé DC/AC.....	30
IV.I.5 Dimensionnement du champ solaire pour alimenter un onduleur SUNNY TRIPOWER 15000 TL.....	31
IV.I.6 Dimensionnement des câbles	37
IV.I.7 Choix des disjoncteurs	37
IV.I.8 Les supports de fixation	37
IV.I.9 Choix des parafoudres	37
IV.2 Maintenance du système PV installé	38
IV.3 ESTIMATION FINANCIERE	38
V. DISCUSSION ET ANALYSES.....	40
V.1 Analyse économique.....	40
V.2 Analyse de l'impact du projet sur l'environnement	43
VI. CONCLUSION	44
VII. RECOMMANDATIONS.....	45
BIBLIOGRAPHIE	46
SITES INTERNET.....	47
VIII. ANNEXES	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Donnés des consommations énergétiques de 2007 à 2010	9
Tableau 2: Puissance consommée du 05 au 06 octobre 2011	10
Tableau 3 : Puissance consommée du 07 au 08 octobre 2011	11
Tableau 4 : Puissance consommée du 09 au 10 octobre 2011	12
Tableau 5 : Coût moyen des consommations énergétiques.....	15
Tableau 6 : Tableau des moyennes de consommation	25
Tableau 7 : Mesures d'ensoleillement et de puissance	26
Tableau 8 : Résultats du dimensionnement du champ de modules PV pour alimenter un onduleur.....	32
Tableau 9 : Coût d'investissement pour l'injection de 150 kW d'énergie solaire	39
Tableau 10 : Détails de production et de coût.....	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue du bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA	8
Figure 2 : Courbe de consommation de 06 octobre 2011	13
Figure 3 : Courbe de consommation de 09 octobre 2011	13
Figure 4 : Courbe de consommation de 06 au 10 octobre 2011.....	14
Figure 5 : Irradiation solaire (annuelle) en kWh/m ² /j	23
Figure 6 : Synoptique général de l'injection de 150 kWc d'énergie solaire au fil du soleil	24
Figure 7 : Tracé des courbes du 06.10.2011	27
Figure 8 : Tracé des courbes du 09.10.2011	27
Figure 9 : Représentation des proportions de consommations d'énergie mensuelles.....	29
Figure 10 : Représentation des bornes de raccordement de l'onduleur Tripower 15000 TL...	34
Figure 11: Synoptique des installations (champ solaire, onduleur, réseau électrique et bâtiment).....	35
Figure 12 : Représentation du champ solaire	36
Figure 13 : Graphe de retour sur investissement.....	42

I. INTRODUCTION

De nos jours, l'énergie est au cœur de toutes les activités humaines. Que ce soit dans le domaine de l'industrie, des transports ou de l'agriculture pour ne citer que ceux là, les besoins énergétiques sont sans cesse croissants. Ces énergies utilisées sont d'origines fossiles. L'exploitation, le stockage, le transport et l'utilisation des produits dérivés de ces énergies fossiles ne sont pas sans conséquence pour l'environnement et compromettre un cadre de vie sain pour les générations futures par des émissions de gaz à effet de serre [1].

L'inégalité à l'accès aux services énergétiques entre les pays développés [2] et les pays en développement (PED) doit amener les PED à diversifier leur source d'approvisionnement. Cette diversification passe par l'utilisation des énergies propres et renouvelables tel que l'énergie solaire.

Au Burkina Faso, l'énergie électrique utilisée provient essentiellement de trois sources qui sont l'énergie hydroélectrique, l'énergie thermique et l'énergie importée des pays voisins tels que la Côte d'Ivoire, le Ghana et le Togo. En 2010 la répartition de l'énergie par source de production se présentait comme suit : [3]

- hydroélectrique 13%
- l'énergie thermique 48%
- l'énergie importée 39%

Malgré ces diverses sources d'approvisionnement, le pays n'est pas à l'abri des délestages et surtout pendant les périodes chaudes. L'ONEA qui est une société de production, de distribution d'eau potable et d'assainissement des eaux usées et excréta utilise l'énergie électrique fournie par la SONABEL ou produite par groupe électrogène pour son fonctionnement. Le coût élevé de l'électricité contribue à augmenter les charges d'exploitation de la société et la production d'électricité par groupe électrogène malgré les coûts que cela engendre n'est pas sans conséquence sur l'environnement.

Le Burkina Faso étant un pays sahélien et où il y a un fort taux d'ensoleillement, les énergies renouvelables à base du soleil peuvent être une alternative voire une source énergétique qui peut être exploitée et venir en appoint aux différentes sources d'énergies électriques utilisées citées précédemment.

Dans un souci de réduction de la facture énergétique et de promotion des énergies renouvelables, la présente étude : « *Support de 150 kW d'énergie solaire au réseau électrique alimentant le bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA* » a pour objet

l'utilisation des énergies renouvelables pour contribuer à la réduction des charges d'exploitations liées à l'énergie électrique à l'ONEA. Aussi tout en assurant sa mission première qui est de fournir l'eau potable aux populations, l'ONEA contribuerait à la préservation de l'environnement et à l'amélioration d'un cadre de vie sain.

Cette étude, sur la base des possibilités qui sont offertes de nos jours dans le domaine de l'énergie solaire fera ressortir les hypothèses de travail, les méthodologies pour mener l'étude et les résultats obtenus de l'étude.

II. HYPOTHESES / OBJECTIFS DE TRAVAIL

II.1 Présentation de l'Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement (ONEA)

L'ONEA est une société d'Etat Burkinabé au capital de trois milliards quatre vingt millions (3 080 000 000) de francs CFA. Il a été créé par le décret N° 85/387/CNR/PRES/EAU du 22/07/1985. Son siège social est situé sur l'Avenue de l'ONEA, Porte 220 secteur 17 (Pissy). Il est présent dans toutes les 13 régions et dans les 43 provinces du Burkina Faso [4]. L'office est administré par un Conseil d'Administration qui est obligatoirement saisi de toutes les questions d'importances pouvant influencer la marche générale de la société. Il est placé sous la tutelle technique du Ministère de l'Hydraulique et de l'Agriculture et la tutelle financière du Ministère des Finances. Les relations entre l'ONEA et l'Etat sont régies par un contrat plan qui fixe les engagements de l'une et l'autre des parties ; des indicateurs sont utilisés pour l'appréciation du niveau d'exécution de chacun de ces engagements.

Ses missions sont :

- la création, la gestion et la protection des installations de captage, d'adduction, de traitement et de distribution d'eau potable pour les besoins urbains et industriels,
- la création, la gestion des installations d'assainissement collectifs, individuels ou autonomes pour l'évacuation des eaux usées et des excréta.

Depuis 2006 l'Office a amorcé une démarche de management de la qualité qui a conduit à sa certification à la norme internationale ISO 9001 version 2008. Son ambition est de devenir à l'horizon 2010 une entreprise de référence dans le secteur hydraulique en Afrique et un acteur moteur de la dynamique de partenariat pour la promotion et le développement des services d'AEPA au Burkina Faso. Notre stage s'est déroulé au sein du Service Maintenance de la Direction de l'Exploitation.

II.2 Présentation du Service Maintenance de la Direction de l'Exploitation

Le Service Maintenance est un des services de la Direction de l'Exploitation. Il a un effectif de quatre personnes (un chef de service ingénieur en électrotechnique, un technicien supérieur en mécanique, un électromécanicien et un mécanicien). Le service maintenance a pour mission :

- la maintenance des équipements électriques et électromécaniques de pompage, de traitement, de stockage et de distribution d'eau potable
- la maintenance des équipements électriques et électromécaniques de l'assainissement
- de suivre et d'analyser les consommations électriques des bâtiments administratifs et des unités de production et d'apporter des solutions d'améliorations

II.2.1 Objectifs de l'étude

L'objectif de l'étude est d'injecter à partir d'un champ solaire, 150 kWc d'énergie solaire dans le réseau électrique qui alimente le bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA. Le bâtiment est présenté par la figure 1 ci-dessus. Les objectifs suivants sont fixés pour mener l'étude :

- la collecte et l'analyse des données de consommation énergétique de bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA
- l'analyse de l'apport énergétique à partir du des installations solaires PV
- l'étude technique et financière (dimensionnement, choix des composants et matériels, coût) de l'installation
- les recommandations à formuler à l'endroit de l'ONEA



Figure 1 : Vue du bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA

III. MATERIELS ET METHODES

Afin de bien mener l'étude, les données de consommations énergétiques du bâtiment ont été collectées auprès du service maintenance de la Direction de l'Exploitation. Cette collecte de données a porté sur quatre années de janvier 2007 à décembre 2010. Des échanges ont également eu lieu sur les attentes de cette étude. L'analyse des données et la revue bibliographique sur l'énergie solaire PV ont permis de comparer les différentes technologies existantes en vue d'opérer un choix pour le dimensionnement de l'unité d'injection d'énergie électrique solaire dans le réseau électrique existant.

III.1 Collecte des données

Les données contenues dans le tableau 1 donnent les consommations énergétiques du bâtiment du siège de l'ONEA de 2007 à 2010.

Tableau 1 : Données des consommations énergétiques de 2007 à 2010

Année	Consommation (kWh)			Montant de la facture hors TVA (FCFA)
	Heures pleines	Heures de pointes	Total	
2007	303 129	285 678	588 807	61 040 404
2008	297 020	269 691	566 711	60 570 820
2009	325 926	291 422	617 348	68 755 922
2010	388 120	312 109	700 229	72 439 329

Pour mieux affiner l'étude, des mesures de consommations ont été effectuées sur la période allant du 05 au 10 octobre 2011. Cette série de mesure a pour but de savoir les différentes consommations à des périodes bien précises. Les résultats de ces mesures sont dans les tableaux 2, 3 et 4 suivants.

Tableau 2: Puissance consommée du 05 au 06 octobre 2011

Période	Heure (h)	Durée (h)	Puissance (kW)
05/10/2011	0	0	50,2
	1	1	37
	2	2	66,3
	3	3	50,3
	4	4	43,5
	5	5	49,5
	6	6	56,1
	7	7	152,47
	8	8	204,4
	9	9	224,8
	10	10	212
	11	11	247,3
	12	12	219
	13	13	236
	14	14	210
	15	15	210,1
	16	16	195
	17	17	244
	18	18	223,2
	19	19	184
	20	20	66,2
	21	21	54
	22	22	55
	23	23	44,8

Période	Heure (h)	Durée (h)	Puissance (kW)
06/10/2011	0	24	52
	1	25	37
	2	26	66,3
	3	27	50,3
	4	28	43,5
	5	29	49,5
	6	30	56,1
	7	31	152,4
	8	32	204,4
	9	33	224,8
	10	34	245,8
	11	35	232,7
	12	36	245,1
	13	37	237,5
	14	38	221,4
	15	39	227
	16	40	267,1
	17	41	216,9
	18	42	207,3
	19	43	68,4
	20	44	48,3
	21	45	49,2
	22	46	49,5
	23	47	43,8

Tableau 3 : Puissance consommée du 07 au 08 octobre 2011

Période	Heure (h)	Durée (h)	Puissance (kW)
07/10/2011	0	48	40,1
	1	49	38,9
	2	50	40,4
	3	51	39,4
	4	52	40,7
	5	53	37,2
	6	54	49,8
	7	55	160
	8	56	211
	9	57	211,2
	10	58	245,2
	11	59	221,2
	12	60	233,4
	13	61	209,2
	14	62	209,2
	15	63	197,9
	16	64	243,6
	17	65	224,8
	18	66	180,9
	19	67	67,1
	20	68	56,3
	21	69	56,3
	22	70	50,6
	23	71	45

Période	Heure (h)	Durée (h)	Puissance (kW)
08/10/2011	0	72	50,9
	1	73	47,3
	2	74	42,1
	3	75	46,8
	4	76	52,6
	5	77	36,6
	6	78	47,3
	7	79	43,9
	8	80	52,9
	9	81	0
	10	82	0
	11	83	0
	12	84	0
	13	85	46
	14	86	42
	15	87	41,4
	16	88	47,6
	17	89	36,2
	18	90	38,8
	19	91	49,9
	20	92	51,6
	21	93	46,1
	22	94	51,1
	23	95	41,6

Tableau 4 : Puissance consommée du 09 au 10 octobre 2011

Période	Heure (h)	Durée (h)	Puissance (kW)
09/10/2011	0	96	42,2
	1	97	38,7
	2	98	46,2
	3	99	48,8
	4	100	39,4
	5	101	49,7
	6	102	42,5
	7	103	30,7
	8	104	37,7
	9	105	36,2
	10	106	37,3
	11	107	43,9
	12	108	42,3
	13	109	42,4
	14	110	35,5
	15	111	38
	16	112	38,6
	17	113	39,1
	18	114	52,1
	19	115	0
	20	116	44,1
	21	117	43,7
	22	118	41,7
	23	119	39,9

Période	Heure (h)	Durée (h)	Puissance (kW)
10/10/2011	0	120	43,5
	1	121	46,5
	2	122	36,8
	3	123	44
	4	124	50
	5	125	39,4
	6	126	51,9
	7	127	105,9
	8	128	276,5
	9		
	10		
	11		
	12		
	13		
	14		
	15		
	16		
	17		
	18		
	19		
	20		
	21		
	22		
	23		

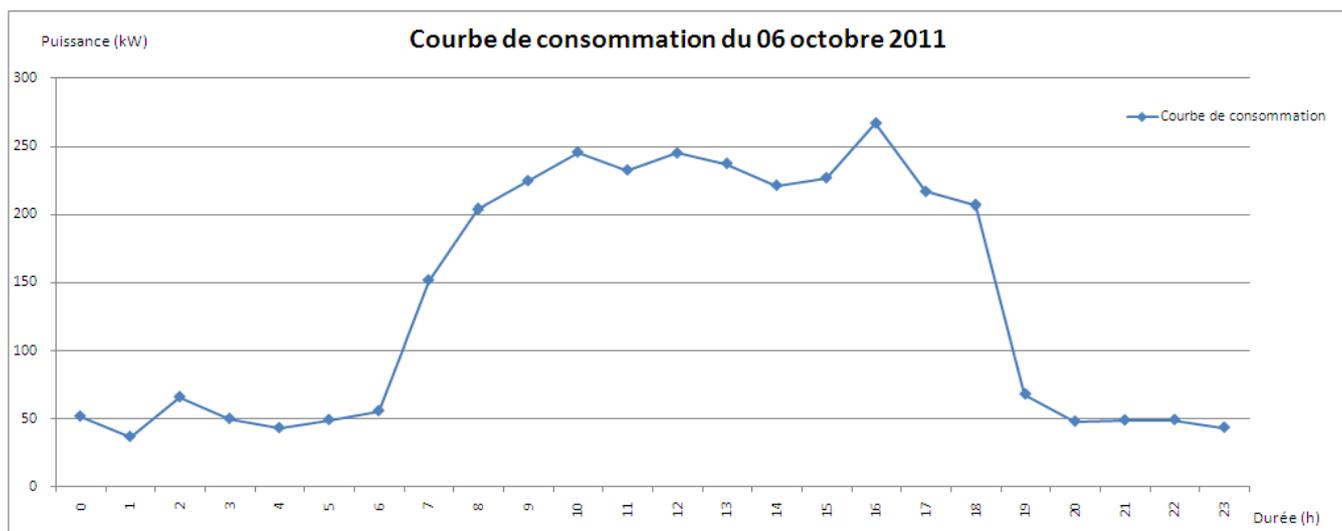


Figure 2 : Courbe de consommation de 06 octobre 2011

Cette courbe correspond à un jour ouvrable et on remarque que:

- de 0 heure à 6 heures et de 19 heures à 23 heures, la consommation tourne autour de 50 kW
- de 7 heures à 18 heures la consommation énergétique du bâtiment croît et la valeur moyenne est de 223 kW environ. Le pic de consommation est atteint à 16 heures et est de 267,1 kW.

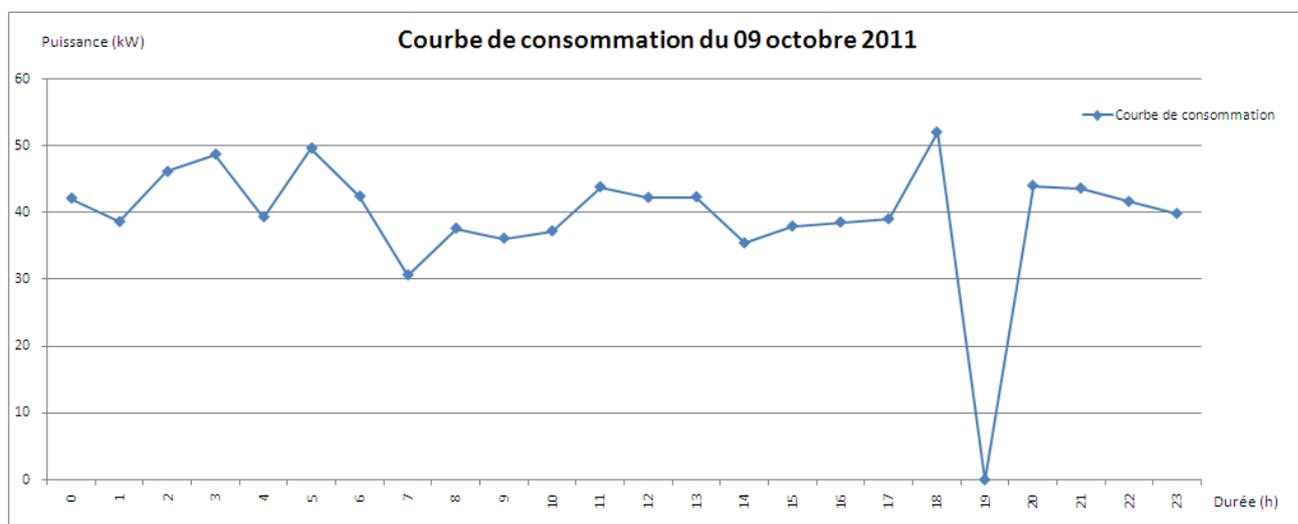


Figure 3 : Courbe de consommation de 09 octobre 2011

Cette courbe qui correspond à un jour non ouvrable et on remarque que la moyenne de consommation est de 40 kW. A 19 heures ce jour la consommation était de 0 kW. Cela était dû à une coupure de courant SONABEL.

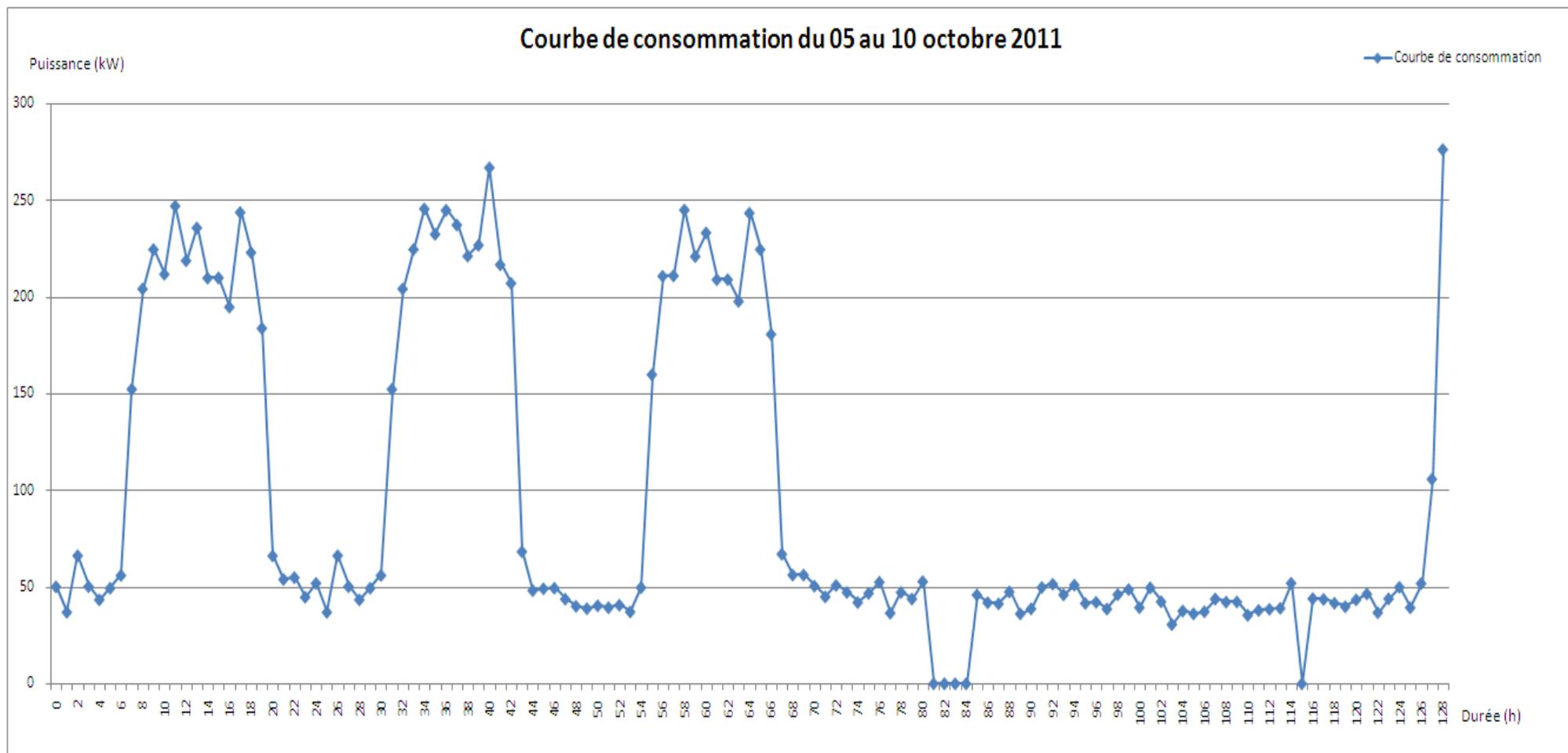


Figure 4 : Courbe de consommation de 06 au 10 octobre 2011

La courbe sur la durée de la période de mesure permet de mieux voir l'évolution des consommations énergétiques. On remarque les mêmes tendances de consommation les jours ouvrables et les mêmes tendances de consommation jours non ouvrables.

III.2 Analyse des données collectées

Les données de facturation collectées sur la période de quatre ans font ressortir le coût moyen d'énergie consommée sur la même période de l'étude. Le tableau 5 suivant donne le coût moyen annuel du kWh consommé.

Tableau 5 : Coût moyen des consommations énergétiques

Année	Consommation (kWh)			Montant de la facture hors TVA (FCFA)	Coût moyen annuel hors TVA (FCFA/kWh)
	Heures pleines	Heures de pointes	Total		
2007	303 129	285 678	588 807	61 040 404	103,67
2008	297 020	269 691	566 711	60 570 820	106,88
2009	325 926	291 422	617 348	68 755 922	111,37
2010	388 120	312 109	650 229	72 439 329	111,41
Coût moyen sur la période de l'étude					108,33

Les mesures de consommations de puissance ont permis de savoir les tendances et les pics de consommations. Les puissances consommées varient entre 40 kW les jours non ouvrés et atteignent un pic de 267,1 kW les jours ouvrables.

III.3 Conclusion sur l'analyse des données collectées

Le type de raccordement du bâtiment de la direction Générale de l'ONEA est un raccordement triphasé double comptage à partir d'un transformateur triphasé de 400 kVA. Le coût moyen calculé sur quatre ans est de 108,33 FCFA/kWh. Actuellement les tarifs appliqués par la SONABEL sans la TVA sont de 118 FCFA/kWh en heures pleines et de 54 FCFA/kWh en heures de pointe. Ce qui donne un coût moyen de 86 FCFA/kWh. On remarque que le coût moyen de d'énergie utilisé dans le bâtiment de la direction Générale de l'ONEA est plus élevé que le prix moyen pratiqué par la SONABEL. Cette peut s'expliquer en partie le système de double comptage et aussi par le fait que les tranches horaires où l'électricité est la plus chère se situe 10 heures à 14 heures et de 16 heures à 19 heures. Ce qui donne un peu plus de la moitié du temps de travail qui est de 8 heures par jour de façon générale. Au regard de ces contraintes horaires de facturation il serait intéressant pour l'alimentation du bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA de disposer d'une autre source d'approvisionnement en énergie électrique pour ses besoins énergétiques.

III.4 Généralité sur les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des formes d'énergies dont la consommation ne diminue pas la ressource à l'échelle humaine et dont la source est renouvelable. Le soleil est la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables par son rayonnement direct ou indirect. Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables qui sont listées expliquées plus bas parmi lesquelles une sera retenue pour notre étude.

III.4.1 L'énergie solaire

C'est l'énergie due au rayonnement électromagnétique [5] en provenance du soleil soit directement ou soit indirectement à travers l'atmosphère. Deux types d'énergies proviennent du solaire. Il s'agit de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) et de l'énergie solaire thermique.

- **L'énergie solaire photovoltaïque**

L'énergie solaire PV est basée sur la transformation énergétique du rayonnement solaire, la ressource la mieux partagée au monde. Cette énergie est utilisée dans l'éclairage photovoltaïque, dans le pompage photovoltaïque, dans les télécommunications, dans la ventilation et la réfrigération solaire, ... Plusieurs applications découlent de l'énergie solaire PV : il s'agit des installations isolées avec ou sans batteries, les installations couplées au réseau électrique, les installations hybrides constituées de l'énergie solaire PV et d'une autre source d'énergie.

Avantages :

Source d'énergie gratuite, non polluante et renouvelable. L'énergie solaire PV est beaucoup utilisée dans les zones rurales et isolées. Les perspectives de l'énergie solaire sont prometteuses au regard des progrès technologiques et des améliorations faites dans ce domaine. La technologie est efficace et très éprouvée. Son développement et son expansion dépendent des stratégies élaborées dans les choix énergétiques.

Inconvénients :

Cette énergie n'est pas disponible la nuit et son utilisation en ce moment nécessite de faire du stockage. Le coût à l'installation est encore élevé. Nécessité d'avoir de grande surface pour obtenir un rendement élevé. Cette source d'énergie dépend beaucoup des conditions géographiques telles que le climat et l'ensoleillement.

▪ L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique [6] est la transformation du rayonnement solaire en énergie thermique. Cette transformation est soit utilisée directement pour chauffer un bâtiment par exemple ou soit indirectement par la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique. Il existe des applications solaires thermiques à basse et à haute température.

L'énergie solaire thermique basse température concerne les applications solaires dont les niveaux de températures sont relativement basses allant des températures négatives (-5 °C par exemple pour la production du froid solaire) jusqu'aux températures positives dont le maximum tourne autour de 120 °C et concerne plusieurs applications telles que le froid solaire, le chauffage solaire, la cuisson solaire, le séchage solaire. Ces applications utilisent des capteurs plans.

Avantages :

Source d'énergie gratuite, non polluante et renouvelable. Très utile et efficace dans des zones rurales.

Inconvénients :

N'est pas utilisée pour la production d'électricité.

L'énergie solaire thermique haute température concerne les applications solaires pour des températures allant de 200° C à 1200 ° C utilisant des capteurs à concentration pour produire de la chaleur puis de l'électricité. Il existe quatre principales applications utilisant ce type de technologie qui sont : les centrales cylindro-paraboliques, les centrales à capteurs linéaires de Fresnel, les centrales à tour et les centrales paraboliques.

Avantages :

Source d'énergie gratuite, non polluante et renouvelable. Une connexion au réseau électrique est possible.

Inconvénients :

Utilisation d'huile synthétique chère et nocive pour l'environnement, sensibilité aux variations saisonnières, manque de maturité, nécessité de source d'eau dans des régions généralement en carence hydrique, coût d'investissement élevé.

III.4.2 L'énergie hydraulique

Elle est totalement renouvelable et propre. L'énergie hydraulique est de l'énergie créée par l'eau et est fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chute d'eau, cours d'eau, ... Ce mouvement peut être utilisé pour être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique. L'eau est envoyée vers des turbines couplées à des alternateurs pour la production de l'électricité. Le barrage du cours d'eau constitue la source d'énergie. En fonction de leurs puissances fournies, les centrales de production sont classées en micro, mini, petite et grande centrale.

Avantages :

L'exploitation et le coût du kWh sont faibles. Il y a la possibilité de moduler la puissance instantanée. La création de centrales hydrauliques permet de faire d'autres types d'aménagements tels que l'irrigation, la pisciculture, le maraîchage ...

Les frais de fonctionnement et d'entretien sont réduits. Les technologies des centrales hydrauliques sont assez matures et mieux maîtrisées.

Inconvénients :

Les coûts d'investissements sont très élevés et il y a un impact sur l'environnement autour de la zone d'installation de la centrale hydraulique. La capacité de production est liée au débit qui lui est dépendant de la capacité de stockage de la source d'énergie qui est l'eau.

III.4.3 L'énergie éolienne

C'est l'énergie contenue dans le vent ou dans les masses d'air mises en mouvement par les différences de pression à la surface de la terre. Elle est utilisée depuis l'antiquité pour pomper l'eau, moulin le grain, générer l'électricité grâce à l'alternateur. La puissance d'une éolienne est fortement dépendante des régimes de vent du lieu d'implantation.

Avantages :

Energie propre, durable et renouvelable. Le coût d'électricité du kWh est stable.

Inconvénients :

La technologie n'est pas tout à fait mature l'utilisation de cette technologie est limitée à quelques sites. Pour un bon fonctionnement de l'éolienne une vitesse minimale de 4 m/s est nécessaire et l'investissement est très coûteux.

III.4.4 L'énergie des mers

Elle provient de l'attraction lunaire sur la mer. L'énergie de la marée peut être utilisée comme dans un barrage hydroélectrique. Elle est exploitée à l'aide d'une turbine réversible qui tourne dans un sens en marée haute et dans l'autre en marée basse. L'usine de la Rance en France est un cas d'exploitation qui peut être cité en exemple.

Avantages :

Energie propre, durable, renouvelable et il existe un potentiel énorme.

Inconvénients :

Technologie non éprouvée, localisation de l'énergie en mer, investissements élevés. Ce type de technologie n'est pas adapté pour le cas du Burkina à cause de l'absence de la mer. La technologie n'est pas développée.

III.4.5 La géothermie

La température de la terre varie avec la profondeur dans le sol. Elle vaut 3 °C tous les 100 m pour certaines régions du globe et moins de 1 °C pour 100 m pour d'autres régions. Le gradient thermique dépend de la conductivité des roches. Le flux thermique est de l'ordre de 0,05 W/m². La plupart des régions volcaniques du globe ont une bonne géothermie. Dans ces régions on peut atteindre des températures de 80 °C à 2000 m de profondeur (basse géothermie) et parfois 300 °C à 1000 m de profondeur (haute géothermie). Ces niveaux de température suffisent pour réaliser des centrales électriques avec un cycle à vapeur d'eau.

Le principe consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou pour la transformer en électricité.

Avantages :

Energie propre, durable et mais renouvelable lentement.

Inconvénients :

Faible rendement, technologie et pas très développée. La source d'énergie dépend des conditions géographiques (volcans, bassins sédimentaires...) ce qui n'est pas le cas pour le Burkina Faso.

III.4.6 L'énergie marée motrice

Elle provient de l'attraction lunaire sur la mer. L'énergie de la marée peut être utilisée comme dans un barrage hydroélectrique. Elle est exploitée à l'aide d'une turbine réversible qui tourne dans un sens en marée haute et dans l'autre en marée basse.

III.4.7 L'énergie des vagues ou de la houle

L'énergie des vagues n'est qu'une forme particulière de l'énergie solaire. Le soleil chauffe inégalement les différentes couches atmosphériques ce qui entraîne des courants aériens (vents) eux-mêmes responsables par frottement des mouvements qui animent la surface de la mer (courant, houle, vague). Les vagues créées par le vent à la surface des mers et des océans transportent de l'énergie. Lorsqu'elles arrivent sur un obstacle flottant ou côtier elles peuvent céder une partie de cette énergie qui peut être transformée en courant électrique. C'est là où les vents sont les plus forts, entre 40° et 60° de latitude, que la puissance des vagues est maximum. Après quelques déboires, la recherche est repartie depuis les années 90.

III.4.8 L'énergie hydrolienne, celle des courants marins

L'énergie fournie par les courants marins est une énergie cinétique. Elle est fonction de la masse et de la vitesse du volume d'eau. Une hydrolienne fonctionne de la même manière qu'une éolienne, c'est-à-dire qu'elle convertit l'énergie cinétique d'un fluide en mouvement, en énergie électrique. Mais quelques différences subsistent : comme la vitesse des vents qui est en générale supérieure à celle des courants marins et la masse volumique de l'eau qui est environ 800 fois plus importante que celle de l'air. Il faut savoir que certains types d'hydroliennes utilisent l'énergie des marées. Cela présente plusieurs avantages: elles sont ainsi facilement accessibles car elles sont près des côtes et les quantités d'énergie sont prévisibles.

III.4.9 L'énergie du gradient thermique des mers

L'énergie thermique des mers ou énergie maréthermique est produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans. En raison de la surface qu'ils occupent, les mers et les océans de la terre se comportent comme un gigantesque capteur pour :

- le rayonnement solaire (direct : flux solaire absorbé par l'océan ou indirect : rayonnement de la terre réfléchi par l'atmosphère terrestre)

- l'énergie du vent (elle-même dérivée de l'énergie solaire)

III.4.10 L'énergie de la biomasse

C'est l'énergie tirée de toute la matière organique fournie par photosynthèse. La biomasse et principalement le bois est utilisée depuis l'antiquité par combustion pour la cuisson, le chauffage, l'éclairage...

Aujourd'hui la biomasse est souvent regardée comme la meilleure alternative de remplacement des énergies fossiles telles que le pétrole et le gaz. Elle est considérée comme une énergie renouvelable si sa proportion d'utilisation n'est pas supérieure à celle de l'accroissement du couvert végétal.

III.4.11 Le biocarburant

Le biocarburant ou agro carburant est un carburant produit à partir de matériaux organiques non fossiles, provenant de la biomasse. Il existe actuellement deux filières principales :

- la filière huile et dérivés (biodiesel)
- la filière alcool, à partir d'amidon, de cellulose ou de lignites hydrolysés.

En fonction du degré de maturité des technologies utilisées pour la production des biocarburants, on distingue deux familles principales de biocarburants :

- les biocarburants de première génération (technologie mature, opérationnelle, mais qui ne valorisent qu'une partie de la plante)
- les biocarburants de seconde génération (technologie encore à l'étape de recherche et développement qui a terme vont permettre de valoriser toute la plante)

Avantages :

Energie propre, durable et moins chère que le carburant fossile

Inconvénients :

Le coût de production est encore élevé et cette énergie n'est pas encore très vulgarisée

III.4.12 Le biogaz

Le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène. Cette fermentation appelée aussi méthanisation se produit naturellement dans les marais ou spontanément dans les décharges contenant des déchets organiques. La fermentation biogaz peut être produite ou provoquer artificiellement dans des

digesteurs pour traiter des boues d'épuration, des déchets organiques industriels ou agricoles. Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (typiquement 50 à 70%) et de dioxyde de carbone, avec des quantités variables de vapeur d'eau, et de sulfure d'hydrogène (H₂S). On peut trouver d'autres composés provenant de contaminations, en particulier dans les biogaz de décharges.

L'énergie du biogaz provient uniquement du méthane : le biogaz est ainsi la forme renouvelable de l'énergie fossile très courante qu'est le gaz naturel.

La récupération du biogaz produit par les décharges est d'autant plus intéressante que le méthane est un gaz à effet de serre bien plus puissant que le dioxyde de carbone (CO₂) produit par sa combustion.

Avantages :

Energie propre. L'utilisation du biogaz permet la valorisation des déchets.

Inconvénients :

Le coût de production est encore élevé.

III.4.13 L'énergie bois-paille

Le bois énergie est de loin la première énergie renouvelable la plus utilisée en Afrique subsaharienne et en particulier au Burkina Faso. Le bois énergie est un type de bioénergie utilisant la biomasse constituée par le bois. Il s'agit essentiellement de l'utilisation du bois en tant que combustible, et dans une moindre mesure en tant que source de combustible. Il peut s'agir d'une énergie renouvelable si le bois est produit par une gestion durable des forêts.

Avantages :

C'est l'énergie la moins chère du marché et son approvisionnement est facile et rapide.

C'est de l'énergie renouvelable si les stocks sont bien gérés.

Inconvénients :

Son utilisation entraîne une pollution de l'air et la paille à une valeur énergétique faible. Le coût de production est encore élevé.

IV. RESULTATS

Au vu des différents types d'énergies renouvelables énumérées et expliquées ci-dessus, le choix du type d'énergie solaire qui sera retenu pour l'étude est l'énergie solaire PV pour les raisons suivantes :

- la situation géographique du Burkina Faso dans la zone subsaharienne se situant dans la ceinture solaire
- les données sur l'irradiation solaire du Burkina Faso
- la disponibilité de la ressource solaire qui est la source d'énergie car l'ensoleillement moyen de la ville de Ouagadougou est de 5,9 kWh/m²

La figure 5 présente la carte d'irradiation solaire.

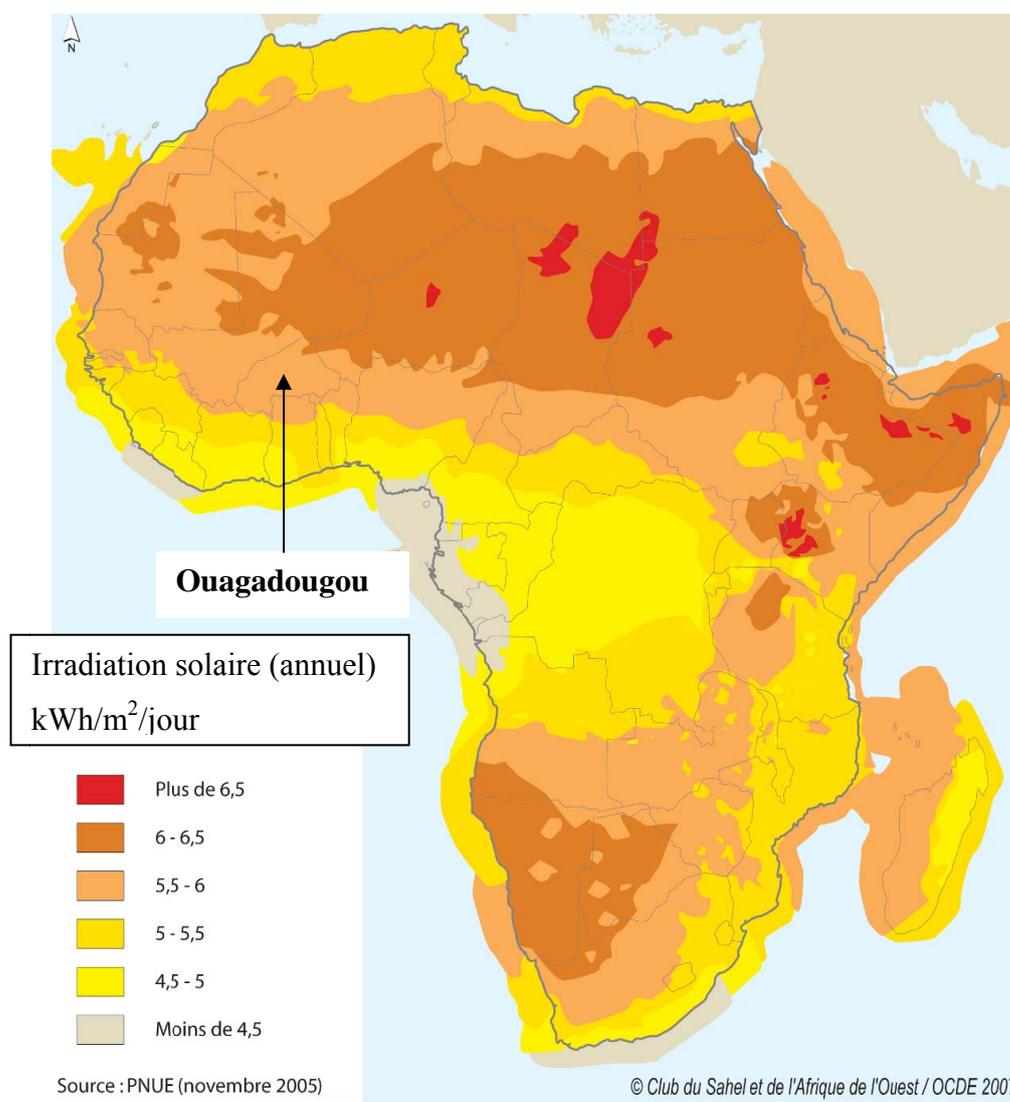


Figure 5 : Irradiation solaire (annuelle) en kWh/m²/j

IV.I Choix et dimensionnement du matériel pour la production de 150kW d'énergie solaire

Le thème « Support de 150 kWc d'énergie solaire au réseau électrique alimentant le bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA » nous impose d'injecter l'énergie qui sera produite à partir de l'énergie solaire dans l'installation électrique du bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA. Pour cela nous proposons la représentation schématique suivante des installations :

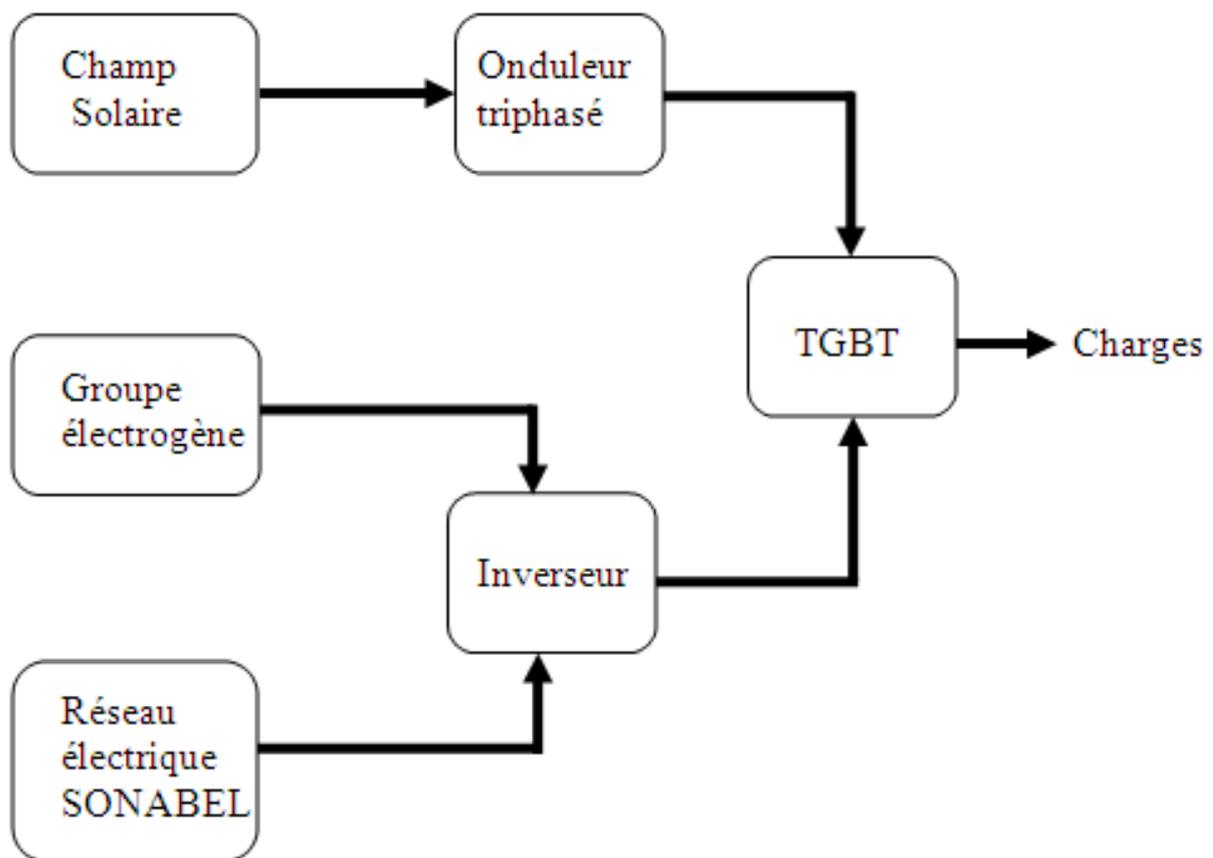


Figure 6 : Synoptique général de l'injection de 150 kWc d'énergie solaire au fil du soleil

Pour ce qui est du dimensionnement, la démarche suivante sera adoptée :

- estimation des besoins journaliers en énergie électrique E_j en Wattheure (kWh)
- calcul de la puissance crête nécessaire P_c en watt crête (kWc)
- choix des modules PV et détermination de la surface du champ solaire
- choix de l'onduleur et détermination des équipements nécessaires à la réalisation du projet (disjoncteurs, câbles, parafoudre, supports modules PV, ...)

IV.I.1 Estimation des besoins journaliers en énergie électrique E_j en Wattheure (kWh)

Le besoin énergétique journalier E_j exprimé en kWh est l'énergie électrique consommée par jour par l'ensemble des équipements du bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA. Ce besoin tient compte de la puissance de tous les équipements alimentés et du temps de fonctionnement journalier. Le tableau 6 suivant nous donne la consommation moyenne journalière actuelle.

Tableau 6 : Tableau des moyennes de consommation

Année	Moyenne annuelle de consommation (kWh)			
	Heures pleines	Heures de pointes	Total	Consommation journalière (kWh)
2007	303 129	285 678	588 807	1613,17
2008	297 020	269 691	566 711	1552,63
2009	325 926	291 422	617 348	1691,36
2010	388 120	312 109	700 229	1918,44
Moyenne sur quatre (4) ans	328 548,75	289 725	618 273,75	1 693,90

Le projet nous demande d'injecter 150 kWc d'énergie solaire. Pour ce faire nous devons calculer les besoins journaliers souhaités pour les installations pour 150 kWc.

La formule suivante est utilisée pour le calcul des besoins journalier :

Besoin journalier souhaité B_j = Puissance crête x Ensoleillement x k

Application numérique : $B_j = 150 \times 5,9 \times 0,8 = 708 \text{ kWh}$

Les besoins énergétiques journaliers actuels étant estimés à 1693,90 kWh, les installations de la présente étude fourniront 708 kWh sur une durée de huit heures d'ensoleillement de (8) heures par jour.

IV.I.2 Mesure d'ensoleillement

Ces mesures effectuées heure par heure ont pour objectif de tracer la courbe de puissance que les installations solaires injecteront dans le réseau électrique. Le tableau 7 suivant donne les mesures effectuées.

Tableau 7 : Mesures d'ensoleillement et de puissance

Heure (h)	Ensoleillement moyen journalier (W/m ²)	Irradiation moyenne journalière (kWh/m ² /j)	Surface totale du champ solaire (m ²)	Puissance totale fournie par le champ solaire (kW)	Mesure de puissance du 06.10.2011 (Kw)	Mesure de puissance du 09.10.2011 (Kw)	Puissance injectée souhaitée
0	0	0	1109,9	0	52	42,2	150
1	0	0	1109,9	0	37	38,7	150
2	0	0	1109,9	0	66,3	46,2	150
3	0	0	1109,9	0	50,3	48,8	150
4	0	0	1109,9	0	43,5	39,4	150
5	0	0	1109,9	0	49,5	49,7	150
6	2,95	0,02	1109,9	0,41	56,1	42,5	150
7	178,51	1,43	1109,9	24,77	152,4	30,7	150
8	378,22	3,03	1109,9	52,47	204,4	37,7	150
9	576,41	4,61	1109,9	79,97	224,8	36,2	150
10	768,96	6,15	1109,9	106,68	245,8	37,3	150
11	834,15	6,67	1109,9	115,73	232,7	43,9	150
12	872,51	6,98	1109,9	121,05	245,1	42,3	150
13	738,35	5,91	1109,9	102,44	237,5	42,4	150
14	686,38	5,49	1109,9	95,23	221,4	35,5	150
15	502,26	4,02	1109,9	69,68	227	38	150
16	275,28	2,20	1109,9	38,19	267,1	38,6	150
17	78,91	0,63	1109,9	10,95	216,9	39,1	150
18	0	0	1109,9	0	207,3	52,1	150
19	0	0	1109,9	0	68,4	0	150
20	0	0	1109,9	0	48,3	44,1	150
21	0	0	1109,9	0	49,2	43,7	150
22	0	0	1109,9	0	49,5	41,7	150
23	0	0	1109,9	0	43,8	39,9	150

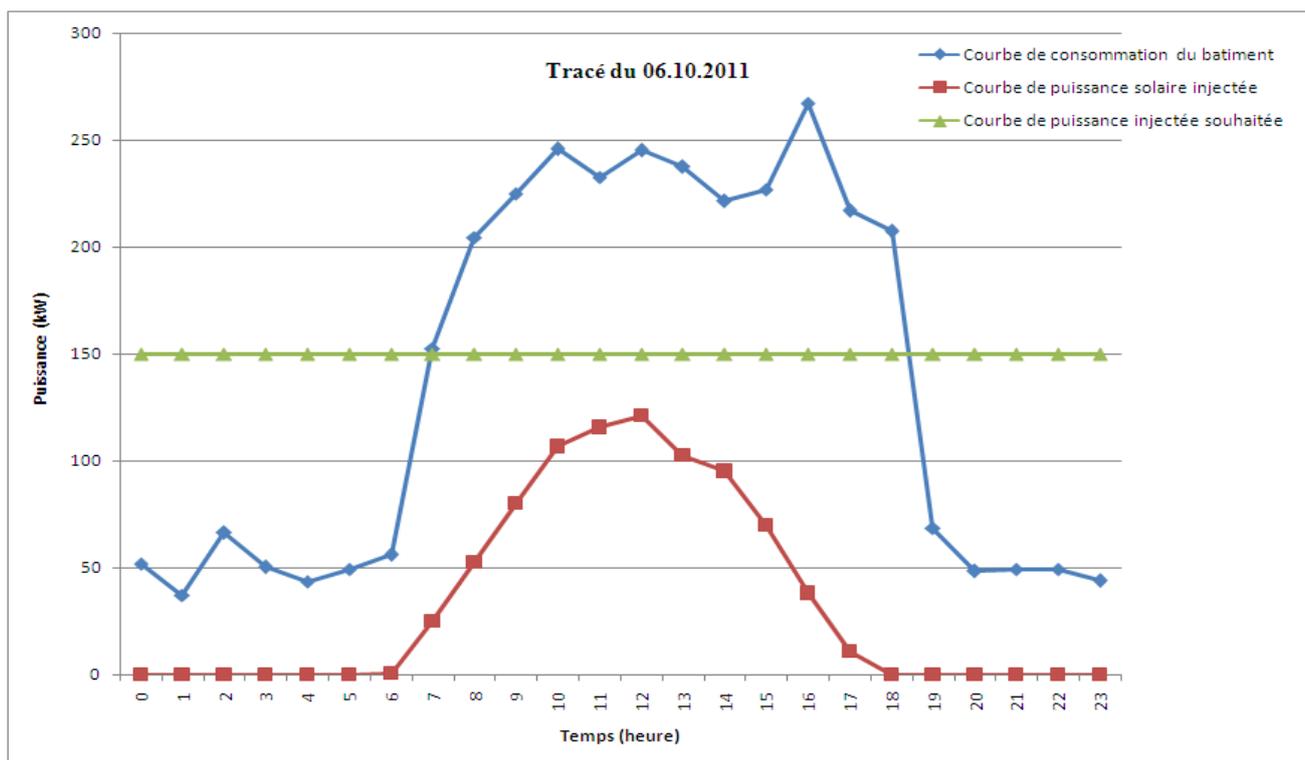


Figure 7 : Tracé des courbes du 06.10.2011

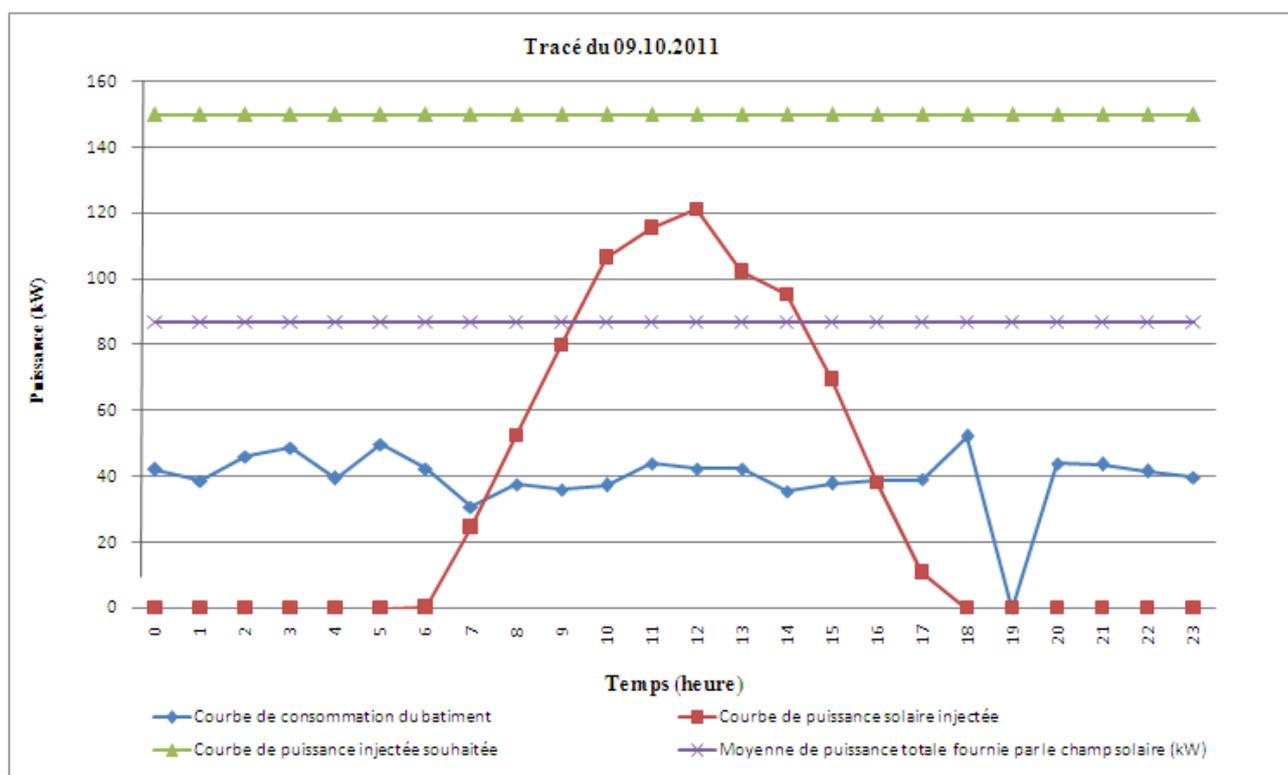


Figure 8 : Tracé des courbes du 09.10.2011

Commentaires sur les figures 7 et 8 ci-dessus :

Figure 7 :

Le tracé du 06 .10.2011 qui est un jour ouvrable fait ressortir la situation suivante :

- la courbe bleue montre l'évolution des consommations du bâtiment de la Direction Générale
- la courbe verte qui est linéaire est la puissance théorique à injecter dans le réseau électrique
- la courbe en rouge est la production journalière du champ solaire

On remarque que le champ solaire commence à injecter de l'énergie électrique à partir de 7 heures et ce jusqu'à 17 heures. Le pic de production est atteint à 12 heures et est de 121,049 kW. La production du champ solaire est inférieure aux 150 kW à injecter.

Figure 8 :

Le tracé du 06 .10.2011 qui est un jour non ouvrable fait ressortir la situation suivante :

- la courbe bleue montre l'évolution des consommations
- la courbe verte qui est linéaire est la puissance théorique à injecter dans le réseau électrique
- la courbe en rouge est la production journalière du champ solaire
- la courbe en violet est la moyenne de la production journalière du champ solaire

On remarque que le champ solaire commence à injecter de l'énergie électrique à partir de 7 heures et ce jusqu'à 17 heures. Le pic de production est atteint à 12 heures et est de 121,049 kW. La production du champ solaire est inférieure aux 150 kW à injecter. La production du champ solaire est supérieure à la consommation du bâtiment entre 8 heures et 16 heures. Aussi on remarque la moyenne de production du champ solaire est supérieure à la consommation réelle du bâtiment.

Partant des mesures d'ensoleillement journaliers et des données des consommations recueillies, nous pouvons représenter sous forme graphique, les proportions de consommations d'énergies électriques SONABEL et de production d'énergie à partir du champ solaire PV. Les données sont présentées dans le tableau en [Annexe 1](#). La figure 9 suivante montre les proportions de consommations énergétiques à partir de la SONABEL et du système PV installé.

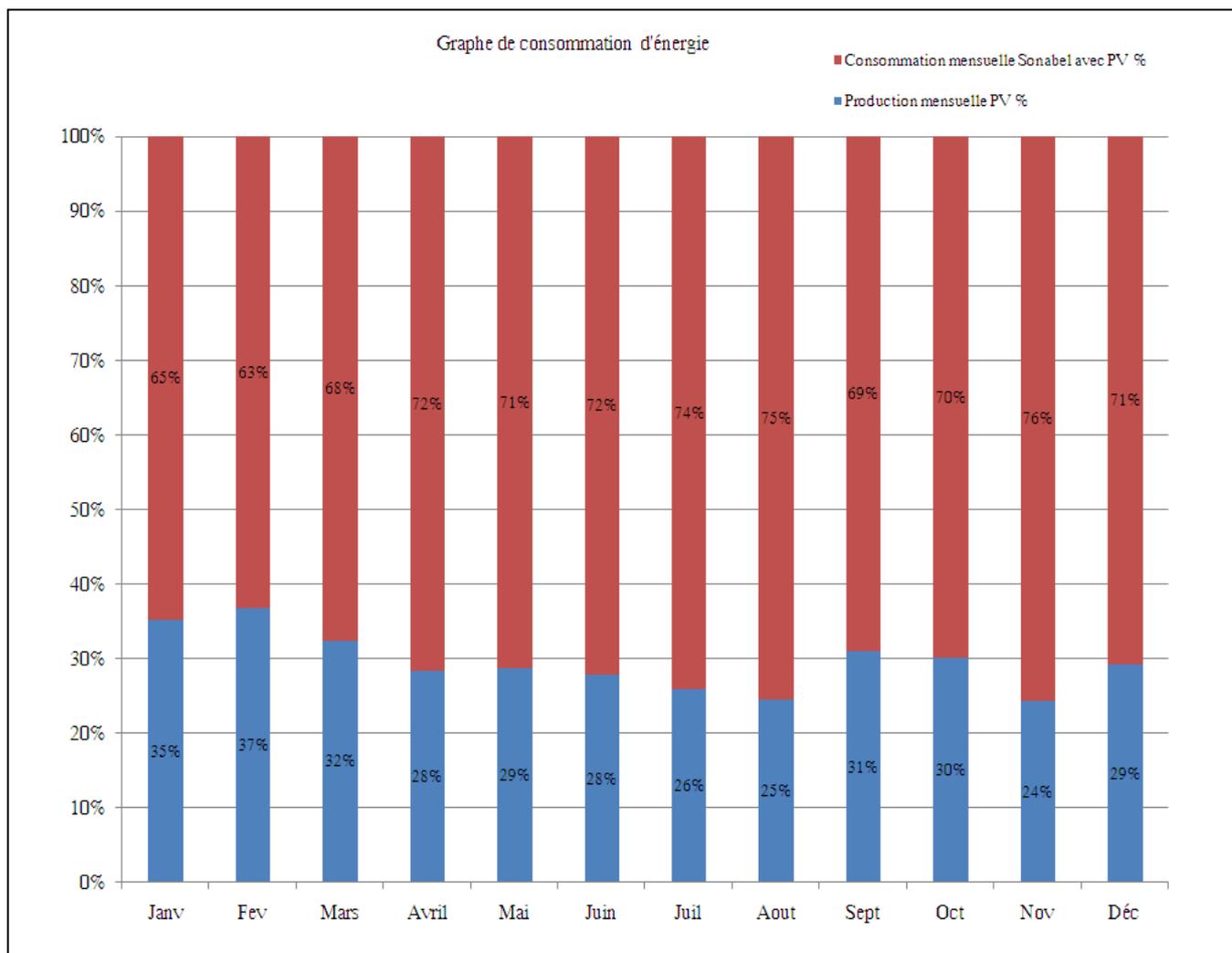


Figure 9 : Représentation des proportions de consommations d'énergie mensuelles

IV.I.3 Choix du module solaire PV pour le champ solaire

Le module solaire PV est un élément très important et déterminant dans les systèmes d'énergie solaire PV. Son choix et son dimensionnement influence directement sur le rendement de l'onduleur auquel il est raccordé. Le choix d'un module solaire PV est généralement fait sur la base de la puissance crête et du courant de court-circuit. Partant de ces données la démarche a été de trouver sur le marché du solaire PV le type de module solaire PV disponible répondant ces critères de choix. Une fois le module solaire PV choisi, le champ solaire constitué de modules solaires PV (montage par association série et parallèle) permettra de fournir la puissance nécessaire à l'entrée de l'onduleur. Notre choix s'est porté sur le module solaire PV de 300 Wc dont la fiche caractéristique est jointe en [Annexe 2](#).

IV.I.4 Choix de l'onduleur triphasé DC/AC

L'onduleur représente le maillon très complexe qui relie les modules solaires PV au réseau électrique public. L'onduleur DC/AC transforme en courant alternatif le courant continu généré par les modules solaires PV. Dans le cas de cette étude, la puissance à injecter dans le réseau nous est fixée et est de 150 kW. Partant de cette puissance nous déterminons la ou les puissances de l'onduleur à utiliser. Plusieurs fabricants d'onduleurs triphasés DC/AC existent. Après plusieurs recherches sur la gamme d'onduleur pour injection réseau, notre choix s'est porté sur le fabricant d'onduleur de la marque SMA Solar Technology et plus précisément sur la gamme d'onduleur de « **SUNNY TRIPOWER 15000 TL** ».

Les onduleurs SUNNY TRIPOWER 15000 TL fonctionnent de manière totalement automatique. Dès que la tension délivrée par les modules solaires PV est suffisante, l'unité de commande et de réglage commence à surveiller la tension et la fréquence du réseau. A partir du moment où le rayonnement solaire est suffisant, l'onduleur solaire commence à injecter du courant alternatif dans l'installation électrique après une synchronisation automatique. L'onduleur dispose de fonctions d'affichage et de communication des données pour une utilisation plus aisée. Ces fonctions sont essentielles pour la saisie directe à l'écran des valeurs minimales et maximales, sur une base journalière et globale, les valeurs sont affichées à l'écran. Une offre importante d'éléments de communication de données permet de nombreuses variantes d'enregistrement et de visualisation. L'écran de l'onduleur constitue l'interface entre l'onduleur et l'utilisateur. L'écran est conçu pour une manipulation facile et une disponibilité permanente des données de l'installation. L'onduleur travaille de manière à obtenir la puissance maximale possible des modules solaires. Cette fonction est désignée par l'acronyme MPPT «Maximal Power Point ».

À la tombée de la nuit où dès que l'apport énergétique devient insuffisant pour injecter du courant dans l'installation, l'onduleur se déconnecte complètement du réseau et s'arrête totalement. Toutes les données enregistrées ainsi que les réglages sont mémorisés.

Pour des installations photovoltaïques importantes, plusieurs onduleurs peuvent être installés en parallèle. Pour garantir une injection symétrique dans l'installation, les onduleurs doivent être uniformément raccordés tout en respectant la concordance des phases.

Etant donné que la puissance de 150 kW qui nous est imposée, et au regard des différentes caractéristiques des onduleurs du fabricant SMA, notre choix s'est porté sur l'onduleur SUNNY TRIPOWER 15000 TL dont la fiche technique est jointe en [Annexe 3](#).

Ce choix s'explique pour les raisons suivantes :

- multiplication des sources d'injection d'énergie électrique au lieu d'une seule source d'injection
- utilisation de plusieurs onduleurs de type SUNNY TRIPOWER 15000 TL au lieu d'un seul pour assurer la continuité de service en cas de problème
- continuité de service en cas de non disponibilité d'une partie champ de modules solaires
- meilleure gestion du système et installation toujours opérationnelle

Afin d'obtenir le meilleur rendement possible de l'onduleur un choix judicieux des modules solaires s'impose. Des logiciels de dimensionnement tels que le Sunny Design version 2.0 disponible sur le site www.SMA-France.com/SunnyDesign ou RETScreen4 permettent de déterminer le type et le nombre de modules solaires à utiliser tout en fournissant aussi d'autres informations utiles.

IV.I.5 Dimensionnement du champ solaire pour alimenter un onduleur SUNNY TRIPOWER 15000 TL

Dans notre cas d'étude ce dimensionnement tient compte des caractéristiques du module solaire PV et de l'onduleur choisis. Les données utilisées pour la détermination du nombre de module solaire PV du champ solaire sont la puissance maximale à l'entrée de l'onduleur et la puissance d'un module solaire PV.

Le nombre de module solaire PV du champ solaire est déterminé par la formule suivante : nombre de module PV = $\frac{\text{Puissance à l'entrée de l'onduleur}}{\text{Puissance d'un module PV}}$

Pour le type d'onduleur choisi, une fois le nombre de module solaire PV déterminé, il s'agira de les raccorder en série en tenant compte des paramètres suivants :

- la puissance d'entrée maximale DC
- le courant d'entrée max.
- la tension d'entrée max.
- la plage de tension MPP

Les résultats du dimensionnement sont récapitulés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Résultats du dimensionnement du champ de modules PV pour alimenter un onduleur

Onduleur triphasé	Type	Sunny Tripower
	Données d'entrée	
	Puissance maximale DC (W)	15340
	Courant d'entrée max. (A) 5	33
	Courant d'entrée max. (B) 1	11
	Tension d'entrée max. (V)	1000
	Plage de tension MPP (V)	360 - 800
	Données de sortie	
	Puissance nominale AC (W)	15000
	Puissance de sortie (VA)	15000
	Tension de sortie max. (V)	230 / 400
	Courant de sortie max. (A)	24
	Rendement max. (%)	98,20%
	Module choisi	Type
Puissance (Wc)		300
Tension à vide Voc (V)		44,62
Courant de court circuit Isc		8,56
Tension (V)		37,62
Courant Imp (A)		7,98
Dimensions (mm)		1956 x 992 x 45
Données onduleur	Données d'entrée onduleur après raccordement des modules PV	
	Puissance maximale DC (W)	15010,38
	Courant d'entrée max. en A	33
	Courant d'entrée max. en B	11
	Tension d'entrée max. (V)	446,2
	Plage de tension MPP (V)	360 - 800
	Données de sortie onduleur	
	Puissance nominale AC (W)	14655
	Courant de sortie max. (A)	24
	Plage de tension (V)	230 / 400

Résultats obtenus pour un onduleur	Données d'entrée pour un onduleur	
	Nombre de modules PV série par string entrée A	10
	Nombre de modules PV série string entrée B	12
	Courant entrée max par string A (A)	7,98
	Courant entrée max en A (A) ($I_x N_b$ string)	31,92
	Courant max string B (A)	7,98
	Nombre de string utilisé en A	4
	Nombre de string utilisé en B	1
	Nombre de modules PV (modules string A+modules string B)	52
	Puissance en entrée A (W) ($U_x I_x \text{Modules A}$)	3002,08
	Puissance en entrée B (W) ($U_x I_x \text{Modules B}$)	3602,49
	Puissance totale en entrée onduleur ($P_{\text{string A}} + P_{\text{string B}}$)	15610,80
	Pertes estimées (%)	10
	Puissance total réelle en entrée onduleur ($P_{\text{tot}} \times 10\%$)	14049,72
	Surface occupée par les modules PV (m^2)	100,90
	Données de sortie pour un onduleur	
	Puissance nominale AC (W)	13796,82
	Courant de sortie max. (A)	24,89
	Plage de tension (V)	230 / 400

Les résultats obtenus dans le tableau 8 nous donnent une puissance de sortie de l'onduleur de 13,796 kW qui sera injectée dans le réseau électrique existant. Afin de pouvoir injecter une puissance de 150 kW comme le demande l'étude et de déterminer le nombre d'onduleur nécessaire à utiliser en parallèle les uns par rapport aux autres, la formule suivante sera utilisée :

$$\text{nombre d'onduleur} = \frac{\text{Puissance à injecter}}{\text{Puissance de sortie d'un onduleur}}$$

En application numérique, **nombre d'onduleur** = $\frac{150}{13,796} = 10,87$ soit 11 onduleurs.

Pour cette étude onze (11) onduleurs seront utilisés pour l'injection de l'énergie électrique dans l'installation électrique du bâtiment de la Direction Général de l'ONEA. Les onduleurs seront raccordés en parallèle sur le réseau alimentant le bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA. Sur chaque onduleur à l'entrée DC il existe deux entrées dont 05 entrées en A et 01 entrée en B pour le raccordement des modules solaire PV.

La figure 10 ci-dessous présente les bornes de raccordement de l'onduleur Sunny Tripower 15000 TL. Les bornes de A1 à A5 représentent l'entrée A et les bornes B représentent l'entrée B. Ce type d'onduleur a l'avantage de ne pas avoir le même courant ni le même nombre de modules solaire PV sur les entrées A et B. Cela permet d'optimiser son utilisation en combinant les modules PV de telle sorte que l'on se rapproche le plus possible de la puissance maximale à l'entrée de l'onduleur.

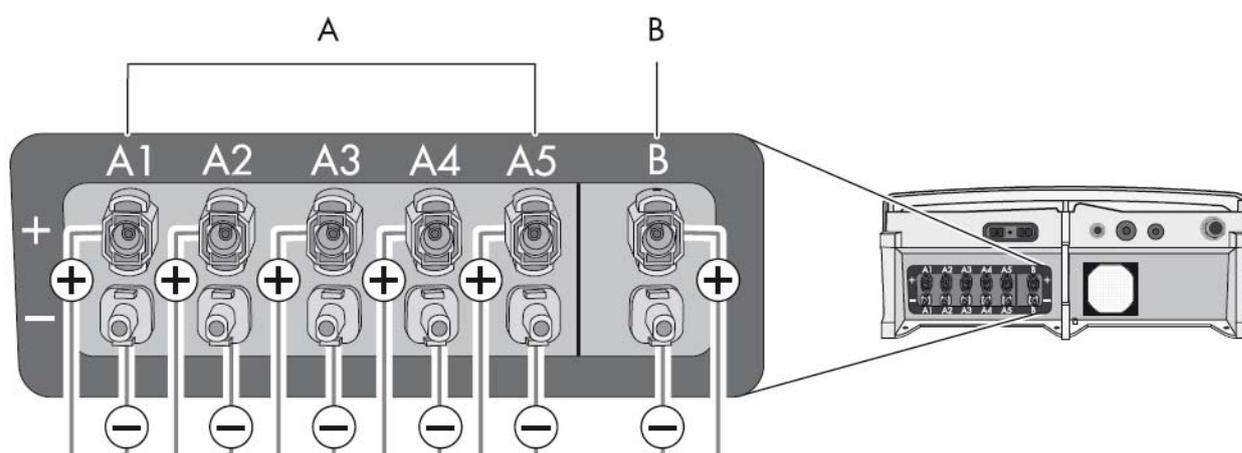


Figure 10 : Représentation des bornes de raccordement de l'onduleur Sunny Tripower 15000 TL

Les schémas ci-dessous représentent :

- Figure 11 : synoptique de l'installation (champ solaire – onduleur – réseau électrique – charge)
- Figure 12 : Représentation du champ solaire pour un seul onduleur

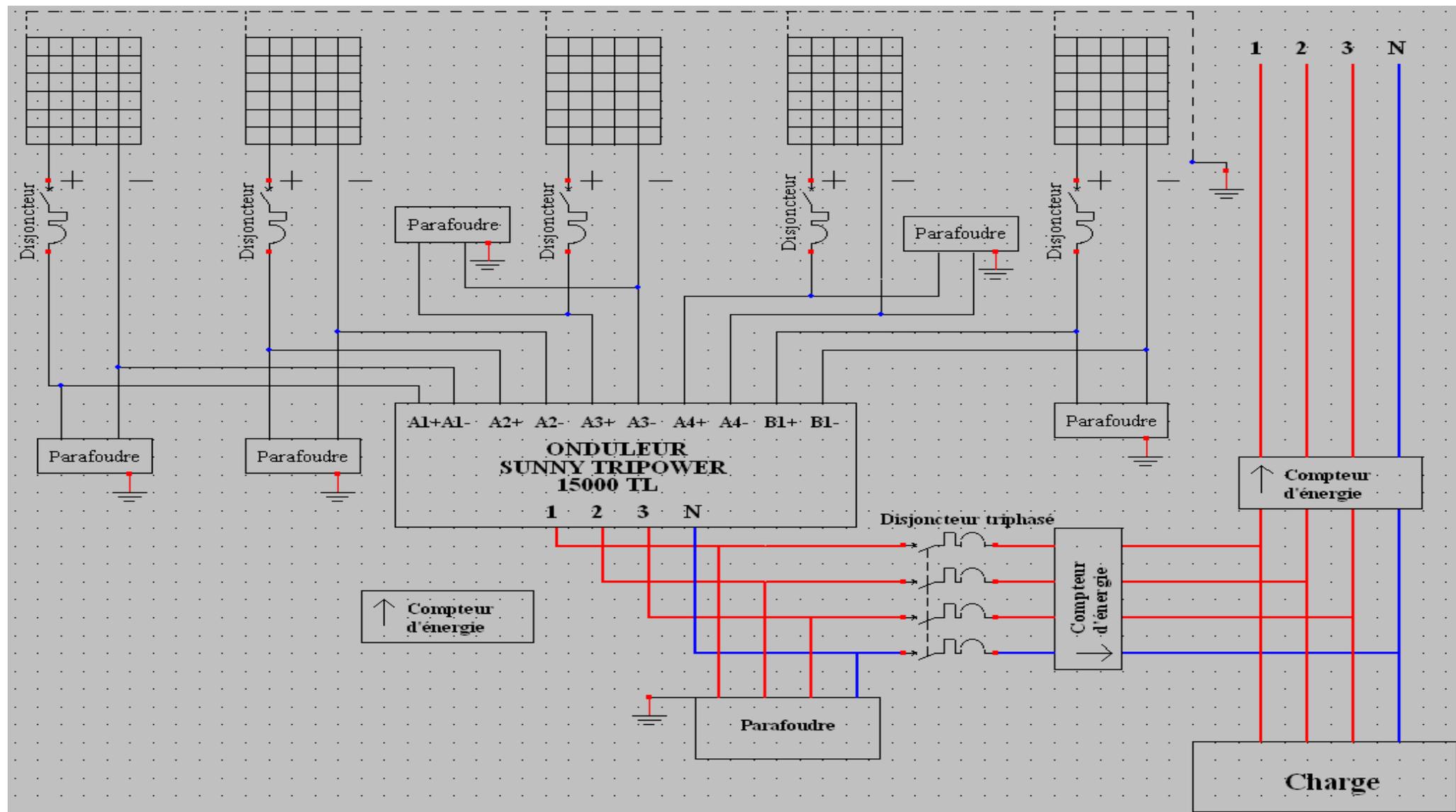


Figure 11: Synoptique des installations (champ solaire, onduleur, réseau électrique et bâtiment)

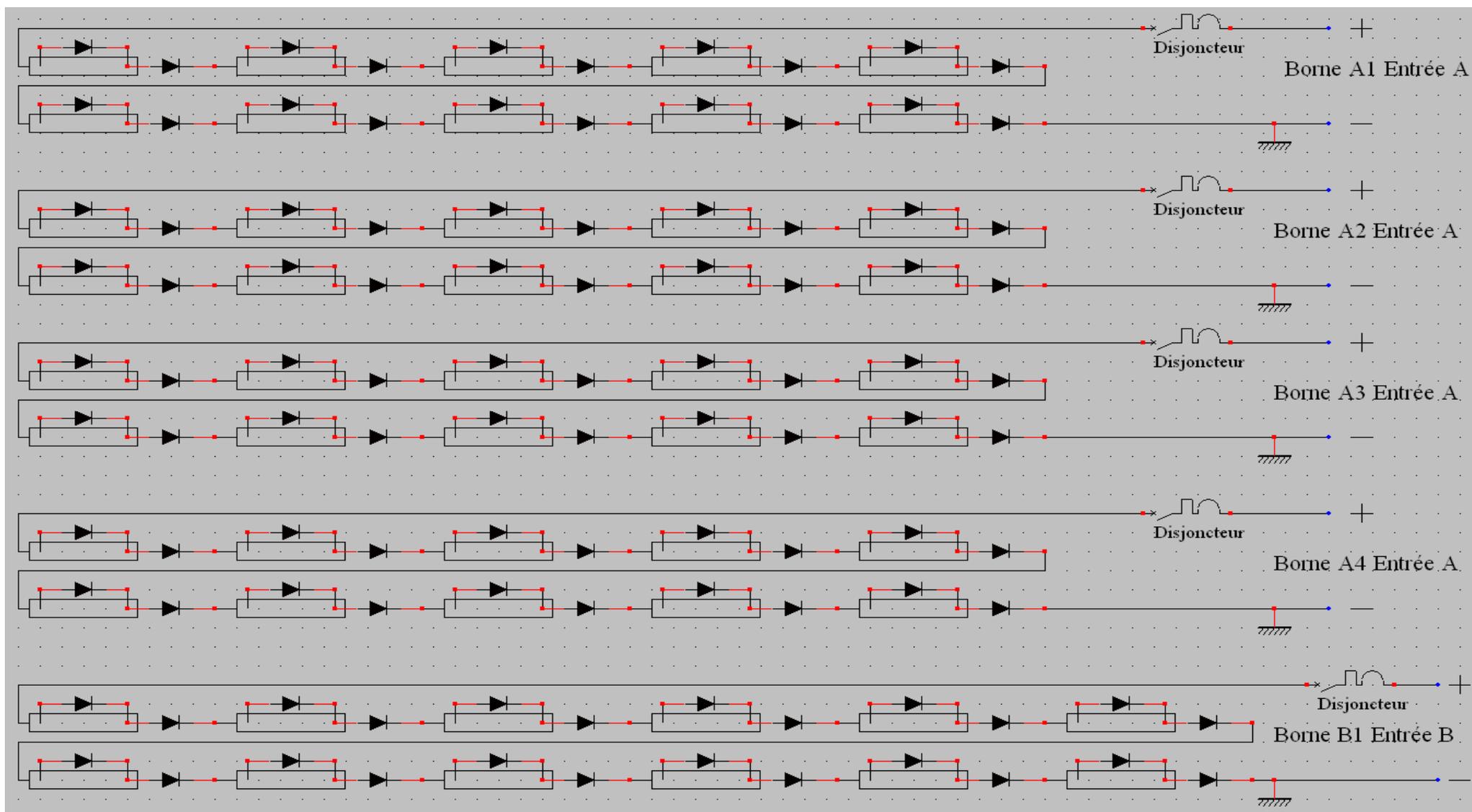


Figure 12 : Représentation du champ solaire

IV.I.6 Dimensionnement des câbles

Le choix des câbles est fait en fonction de la norme NF C 15-100 et des supports de cours reçu au cours de la formation [7]. Les résultats sont dans le tableau en [Annexe 4](#).

IV.I.7 Choix des disjoncteurs

Le choix des câbles est fait en fonction de la norme NF C 15-100 et des supports de cours reçu au cours de la formation [7]. Les résultats sont dans le tableau [Annexe 5](#).

IV.I.8 Les supports de fixation

Ce choix est fait en fonction des caractéristiques des modules PV et des catalogues de supports existants sur la place du marché.

IV.I.9 Choix des parafoudres

Afin de protéger les équipements (modules photovoltaïques) contre les coups de foudre indirects, des parafoudres doivent être installés sur les différentes parties de l'installation. Pour le bon fonctionnement des protections contre les effets de la foudre et les surtensions, l'interconnexion des masses est d'une importance fondamentale. L'ensemble des masses métalliques des équipements constituant l'installation doit être interconnecté et relié à un réseau de terre unique.

Les caractéristiques des parafoudres coté DC sont déterminées en par les critères suivants :

- $U_n = 1.4 V_{co}$
- U_p , niveau de protection en kV selon la tenue aux chocs des équipements à protéger
- I_n en kA en onde (8/20 μ s)

Le type de parafoudre est fonction du type de liaison à la terre. Les caractéristiques des parafoudres du coté AC des équipements sont déterminées en se référant au guide UTE C 15-443 et à la norme NFEN61643-11 par les critères suivants :

- $U_n = 1.4 V_{co}$
- U_p , niveau de protection en kV selon la tenue aux chocs des équipements à protéger
- I_n en kA en onde (8/20 μ s)

Les résultats sont dans le tableau en [Annexe 6](#).

IV.2 Maintenance du système PV installé

Cette partie regroupe toutes les actions de dépannage, de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements et matériels [8] du système PV installé. La maintenance joue un rôle très important dans la durée de vie de tout équipement ou matériel. Il existe deux types de maintenance : la maintenance préventive et la maintenance curative. Nous mettrons l'accent sur la maintenance préventive car elle permet la planification des activités pour un meilleur suivi et un meilleur entretien des équipements. Des fiches de maintenance sont élaborées pour l'entretien et le suivi des installations. Deux niveaux sont nécessaires pour le suivi des activités de maintenance préventive :

- premier niveau : simple, il concerne les tâches effectuées par les personnes formées à l'utilisation et à l'entretien quotidien du système,
- deuxième niveau: plus complexe, il est effectué par des techniciens spécialisés qui ont des compétences et des connaissances techniques pouvant contrôler le système, vérifier le système, détecter ou localiser les pannes du système et effectuer des réparations sur le système.

A l'ONEA, il existe déjà le logiciel OPTIMAINIT qui est un logiciel de gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO). Les activités de maintenance relative au système PV y seront intégrées et prises en compte pour un meilleur suivi.

Les détails des fiches de maintenance sont joints en [Annexe 7](#).

IV.3 ESTIMATION FINANCIERE

Cette partie a consisté à répertorier tout le matériel qui sera utilisé pour la mise en œuvre du projet et à estimer le coût de chacun d'eux. La recherche des coûts du matériel s'est faite sur la base des prix existants sur le marché.

Les résultats de cette estimation financière sont présentés dans le tableau 9 suivant.

Tableau 9 : Coût d'investissement pour l'injection de 150 kW d'énergie solaire

N° d'ordre	Designation	Références	Unité	Qté	Prix unitaire (€)	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (€)	Prix total (FCFA)
1	Modules PV	Module photovoltaïquem monocristallin	Modules	624	698	457 858	435 552	285 703 383
2	Accessoires de fixation des modules PV + divers	Structures aluminium SRE5A / 0350	u	125	152	99 705	18 970	12 443 242
3	Onduleur	Sunny Tripower 15000TL	u	11	4 572	2 999 153	50 294	32 990 688
4	C60 calibre 16 A		u	55	31	20 335	1 705	1 118 407
5	C60 calibre 40A		u	11	49	32 142	539	353 561
6	Armoire électrique de		u	1	520	341 098	520	341 098
7	Câbles	-	Ens	1	3 153	2 068 232	3 153	2 068 232
Sous total matériel						-	510 733	335 018 611
8	Transport				7 658	5 023 319	7 698	5 023 319
9	Main d'œuvre					-	12 768	8 375 465
Total hors taxes et hors douane							531 199	348 443 633
Taxe de douane							132 800	87 110 908
TVA							95 616	11 289 574
TOTAL TTC							759 614	446 844 115

V. DISCUSSION ET ANALYSES

V.1 Analyse économique

Cette partie traite essentiellement l'aspect financier global du projet [9]. L'analyse économique a consisté à analyser sur la durée totale du projet :

- le prix de la production d'énergie solaire en utilisant le prix moyen de vente de la SONABEL,
- le prix de la consommation d'énergie SONABEL en utilisant le prix moyen de la SONABEL.

Les différents montants ainsi calculés donnent les résultats suivants :

- production solaire annuel : 4 557 452 kWh pour un montant de 582 415 452 FCFA,
- consommation SONABEL annuel sans PV: 15 644 344 kWh pour un montant de 1 999 253 265 FCFA,
- consommation SONABEL annuel avec PV: 11 086 892 kWh pour un montant de 1 416 838 244 FCFA.

Le coût de revient de la production d'énergie est de 109,69 FCFA. Le détail du calcul du prix de revient est joint en [Annexe 8](#).

La production d'énergie par le système solaire PV représente 29,13 % de la consommation d'énergie SONABEL. En utilisant le cumul du coût de la production d'énergie et le montant total investi pour ce projet, nous déterminons le temps de retour sur investissement. Le tableau 10 suivant donne les détails de production.

Tableau 10 : Détails de production et de coût

Année	Montant total investi FCFA	Production solaire annuel kWh	Prix de vente production solaire annuel FCFA	Cumul vente production solaire FCFA	Consommation SONABEL annuel sans PV kWh	Coût consommation SONABEL sans PV FCFA	Coût consommation SONABEL avec PV FCFA
1	446 844 115	182 298	23 296 601	23 296 601	625 774	79 970 131	56 673 530
2		182 298	23 296 601	46 593 202	625 774	79 970 131	56 673 530
3		182 298	23 296 601	69 889 803	625 774	79 970 131	56 673 530
4		182 298	23 296 601	93 186 403	625 774	79 970 131	56 673 530
5		182 298	23 296 601	116 483 004	625 774	79 970 131	56 673 530
6		182 298	23 296 601	139 779 605	625 774	79 970 131	56 673 530
7		182 298	23 296 601	163 076 206	625 774	79 970 131	56 673 530
8		182 298	23 296 601	186 372 807	625 774	79 970 131	56 673 530
9		182 298	23 296 601	209 669 408	625 774	79 970 131	56 673 530
10		182 298	23 296 601	232 966 008	625 774	79 970 131	56 673 530
11		182 298	23 296 601	256 262 609	625 774	79 970 131	56 673 530
12		182 298	23 296 601	279 559 210	625 774	79 970 131	56 673 530
13		182 298	23 296 601	302 855 811	625 774	79 970 131	56 673 530
14		182 298	23 296 601	326 152 412	625 774	79 970 131	56 673 530
15		182 298	23 296 601	349 449 013	625 774	79 970 131	56 673 530
16		182 298	23 296 601	372 745 613	625 774	79 970 131	56 673 530
17		182 298	23 296 601	396 042 214	625 774	79 970 131	56 673 530
18		182 298	23 296 601	419 338 815	625 774	79 970 131	56 673 530
19		182 298	23 296 601	442 635 416	625 774	79 970 131	56 673 530
20		182 298	23 296 601	465 932 017	625 774	79 970 131	56 673 530
21		182 298	23 296 601	489 228 618	625 774	79 970 131	56 673 530
22		182 298	23 296 601	512 525 218	625 774	79 970 131	56 673 530
23		182 298	23 296 601	535 821 819	625 774	79 970 131	56 673 530
24		182 298	23 296 601	559 118 420	625 774	79 970 131	56 673 530
25		182 298	23 296 601	582 415 021	625 774	79 970 131	56 673 530
TOTAL		4 557 452	582 415 021		15 644 344	1 999 253 265	1 416 838 244

A partir du tableau ci-dessus, le graphique suivant permet de déterminer le temps de retour sur investissement du projet.

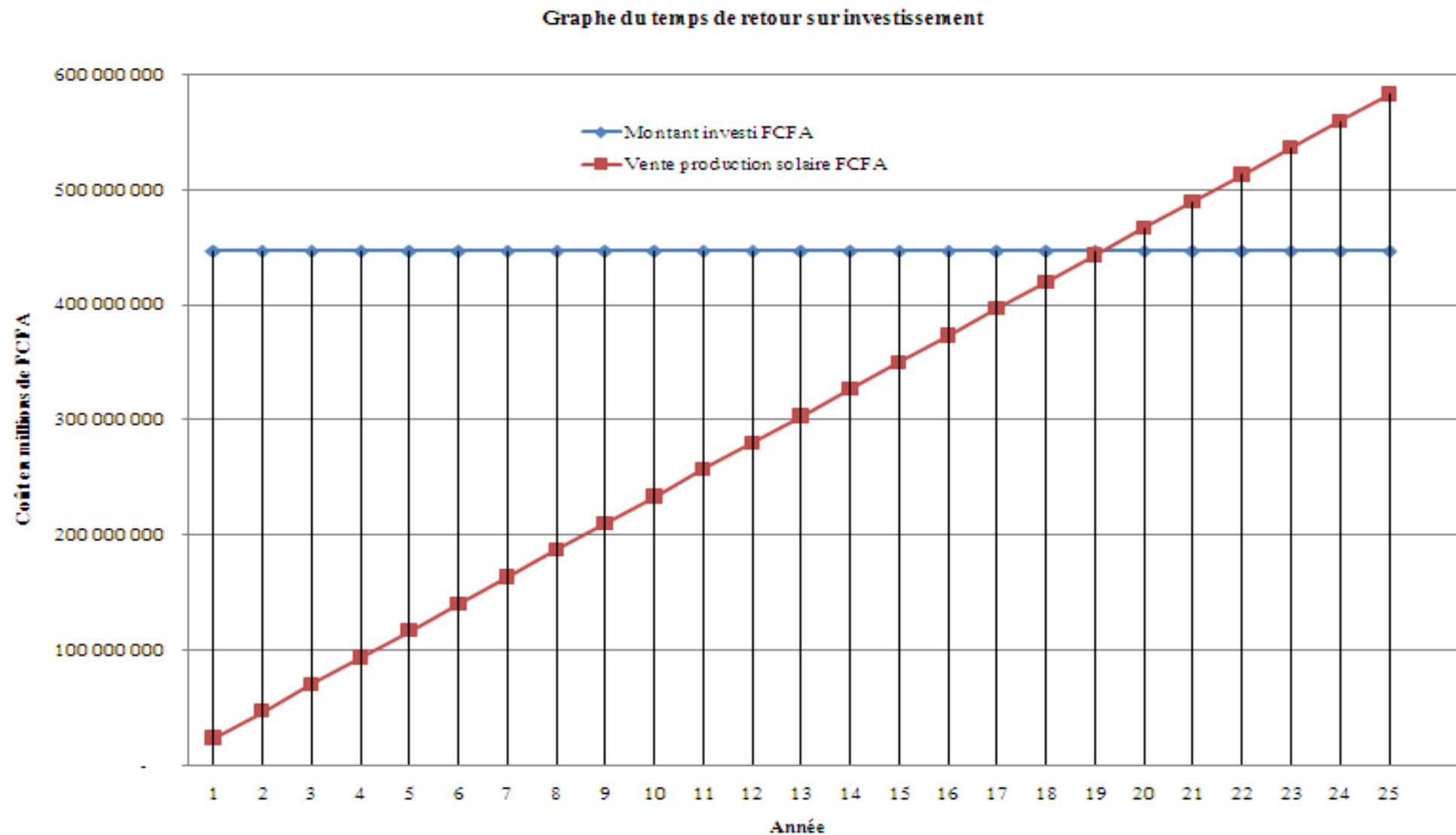


Figure 13 : Graphe de retour sur investissement

Le temps de retour sur investissement est de 19 ans. Ce temps paraît très long et cela peut s'expliquer pour plusieurs raisons :

- en zone urbaine l'énergie solaire PV n'est pas très compétitive vu les tarifs du distributeur d'énergie électrique (SONABEL),
- le prix d'achat des éléments constitutifs d'un système PV reste encore très élevé ce qui est un frein à sa vulgarisation,
- le manque d'exonération et de politiques d'accompagnement à la vulgarisation de l'énergie solaire PV rendent le prix de revient de l'installation élevé.

V.2 Analyse de l'impact du projet sur l'environnement

L'utilisation des énergies renouvelables ne pollue pas et permet d'avoir un environnement sain car il n'y a pas d'émission de gaz à effet de serre. Pour l'ONEA qui est en train de se lancer dans la démarche QSE (Qualité – Sécurité – Environnement), l'utilisation de l'énergie solaire PV permet de préserver l'environnement et de préserver un cadre de vie sain. La mise en œuvre du projet sera pour l'office une façon de matérialiser et de montrer sa volonté à œuvrer pour la préservation de l'environnement et d'un cadre de vie sain. Le projet permet de produire environ 4 557 451,96 kWh d'énergie solaire. Sur cette base et avec un facteur d'émission de l'ordre de 0,88 kg de CO₂ par kWh produit, le projet permettra d'éviter l'émission de 4010,56 tonnes de CO₂ dans l'atmosphère.

VI. CONCLUSION

La réduction des coûts d'exploitation et en particulier des coûts énergétiques est de façon générale l'une des préoccupations des entreprises à laquelle celles-ci s'attèlent à trouver des solutions. Avec la crise énergétique que le Burkina Faso a connu ces dernières années, l'utilisation d'autres sources d'énergies alternatives pourrait être un apport considérable. A l'ONEA, les charges énergétiques représentent environ 80% des charges d'exploitation. La Direction Générale œuvre à la réduction de ces charges en organisant des séances de formation à l'attention des ingénieurs et des techniciens. Cette réduction d'énergie ne saurait être réelle que si une politique et une réflexion réelle est menée dans ce sens. Cette étude avait pour but de montrer que les énergies renouvelables, énergie propre, en particulier l'énergie solaire peut contribuer à une réduction des charges énergétiques. Au terme de cette étude, l'analyse économique montre que le projet n'est rentable que 20 ans plus tard après sa réalisation s'il est exécuté tel que présenté. Par contre cette énergie solaire PV peut être une source d'énergie avec un apport non négligeable que s'il est utilisé exclusivement pour l'éclairage. Sa réalisation contribue à la préservation et à l'amélioration d'un cadre de vie sain en évitant l'émission 4010,56 tonnes de CO₂ dans l'atmosphère.

Le prix de revient du kWh produit par les installations solaires PV (109,69 FCFA) est supérieur à celui pratiqué par la SONABEL (108,33 FCFA). Cela dénote du fait que la production en milieu urbain où le distributeur d'énergie électrique est présent n'est pas aussi rentable. Par contre l'on pourrait voir avec la SONABEL dans quelle mesure l'excédent d'énergie produite les week end pourrait être injecté dans le réseau quitte à faire une compensation sur les factures d'électricité. Cette dernière proposition pourrait réduire le temps de retour sur investissements.

L'avantage premier de ce type de projet est de démontrer la volonté de l'ONEA de demeurer une entreprise citoyenne ayant à cœur la réduction des gaz à effet de serre. Par la même occasion elle permet à la SONABEL de distribuer la part de l'énergie non consommée par les installations de l'ONEA aux heures où fonctionnent les installations solaires à d'autres utilisateurs.

VII. RECOMMANDATIONS

Dans le cadre de la réduction des charges énergétiques du bâtiment de la Direction Générale de l'ONEA nous faisons les recommandations suivantes :

- faire un audit énergétique des équipements électriques car cela permettra dans un premier temps de situer les sources de gaspillage ou de consommation excessive d'énergie électrique et d'y apporter des solutions,
- séparer les différents circuits électriques par niveau du bâtiment (éclairage intérieur, éclairage extérieur, circuits prises électriques, circuits prises pour réseaux informatiques, climatisation, ...)
- utiliser l'énergie solaire uniquement pour l'alimentation des différents circuits électriques sauf la climatisation. Le tracé des courbes de consommations électriques (éclairage et circuits prises électriques) et du week end nous indiquent bien que la production d'énergie par le système PV est supérieure aux besoins énergétiques du bâtiment sans la climatisation. Ce qui veut dire que le système PV sera rentable dans ce cas de figure au regard du coût de revient. Il serait plus intéressant de faire du stockage de cette énergie pour garantir le fonctionnement de ces circuits pendant les nuits et les périodes de non ensoleillement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Pr Yézouma COULIBALY**, Enseignant- Chercheur 2iE, Cours Energies et enjeux Environnementaux
2iE - Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 01 BP 594 Ouagadougou Burkina Faso ; Tel: (226) 50 49 28 00; Fax: (226) 50 49 28 01
yezouma.coulibaly@2ie-edu.org; www.2ie-edu.org
- [2] **Elodie Hanff et Nathalie Weisman** Sources d'énergie et enjeux environnementaux. Cours de Master 2 M2GEER-2009-2010. Enseignantes au - 2iE - Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 01 BP 594 Ouagadougou Burkina Faso ; Tel: (226) 50 49 28 00; Fax: (226) 50 49 28 01
elodie.hanff@2ie-edu.org; www.2ie-edu.org
- [3] **Rapport d'activité 2010 SONABEL**. 55, Avenue de la Nation 01 B.P. 54 Ouagadougou 01 Tél. : (226) 50 30 61 00 / 02 / 03 / 04 / Fax : (226) 50 31 03 40
courier@sonabel.bf; www.sonabel.bf
- [4] **ONEA**. Rapport d'activité 2010. Avenue de l'ONEA, porte n°220, secteur 17, Pissy, 01 BP 170 Ouagadougou 01 au Burkina Faso / 50 43 19 00 à 08 Fax : (226) 50 43 19 11
onea@fasonet.bf; www.onea-bf.com
- [5] **Pr Zacharie KOALAGA** : Cours de Electricité Photovoltaïque Département de Physique UFR / SEA Université de Ouagadougou
kzacharie@hotmail.com
- [6] **Dr. Yao AZOUMAH**. Cours de Solaire Thermique M2 GEER. Enseignant-chercheur en génie énergétique Responsable du Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE) 2iE - Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 01 BP 594 Ouagadougou Burkina Faso ; Tel: (226) 50 49 28 00; Fax: (226) 50 49 28 01
yao.azoumah@2ie-edu.org; www.2ie-edu.org
- [7] **Dr. Hamed O. BAGRE**, Enseignant, Cours Installation électrique BT tertiaire et M2 GEER 2iE - Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 01 BP 594 Ouagadougou Burkina Faso Tel: (226) 50 49 28 00; Fax: (226) 50 49 28 01
ahmed.bagre@2ie-edu.org; www.2ie-edu.org
- [8] **GOUNDIAM Madi Yassa**, Enseignant chercheur, Cours de maintenance des équipements M2 GEER, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 01 BP 594 Ouagadougou Burkina Faso Tel: (226) 50 49 28 00; Fax: (226) 50 49 28 01
madi.goundiam@2ie-edu.org; www.2ie-edu.org
- [9] **Frédéric TRAORE**, Enseignant d'Economie, de Gestion et de Management, Cours de gestion financière de projet M2 GEER, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement 01 BP 594 Ouagadougou Burkina Faso Tel: (226) 50 49 28 00; Fax: (226) 50 49 28 01
frederic.traore@2ie-edu.org; www.2ie-edu.org

SITES INTERNET

<http://www.elysun.fr/modules-photovoltaiques-mono-elysun.html>

Consultation : 28 septembre 2011

<http://www.oecd.org/dataoecd/62/49/42534019.pdf>

Consultation : 30 septembre 2011

<http://www.sma-france.com/fr/produits/onduleurs-solaires/sunny-tripower.html>

Consultation : 29 août 2011

http://www.dehn.fr/pdf/fiches_produits/fiches2011/energie/dehnguardS.pdf

Consultation: 22 octobre.2011

<http://www.sonabel.bf>

Consultation: 17 octobre 2011

<http://www.sarlsomafe.com/catalogue/C15-443L.pdf>

Consultation: 22 octobre 2011

http://www.webchercheurs.com/67/335-fr-quelle-est-la-duree-de-vie-d_un-panneau-solaire-photovoltaique-.html

Consultation: 26 octobre2011

<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001446/144659fb.pdf>

Consultation : 26 octobre 2011

VIII. ANNEXES

Annexe 1: Tableau des consommations d'énergie SONABEL et système PV.....	49
Annexe 2: Caractéristiques techniques du module PV	50
Annexe 3: Caractéristiques techniques de l'onduleur SUNNY TRIPOWER 15000 TL.....	51
Annexe 4: Tableaux de dimensionnement des câbles.....	54
Annexe 5: Choix des disjoncteurs.....	55
Annexe 6: Choix des parafoudres	56
Annexe 7 : Fiches de maintenance.....	57
Annexe 8: Coût de revient du kWh d'énergie.....	59

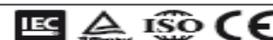
Annexe 1: Tableau des consommations d'énergie SONABEL et système PV

Mois	Production mensuelle PV (kWh)	Production mensuelle PV (%)	Consommation mensuelle Sonabel (kWh)	Consommation mensuelle Sonabel (%)
Janv	15 042,59	0,35	27 682,66	0,65
Fev	14 669,33	0,37	25 205,92	0,63
Mars	16 572,58	0,32	34 501,17	0,68
Avril	16 642,17	0,28	41 991,08	0,72
Mai	16 011,20	0,29	39 827,55	0,71
Juin	15 443,48	0,28	40 096,27	0,72
Juil	14 754,23	0,26	42 299,52	0,74
Aout	13 576,85	0,25	41 780,15	0,75
Sept	15 045,25	0,31	33 596,50	0,69
Oct	15 093,53	0,30	35 070,22	0,70
Nov	14 581,09	0,24	45 473,16	0,76
Déc	14 865,78	0,29	35 951,47	0,71

Annexe 2: Caractéristiques techniques du module PV



Module photovoltaïque
Monocristallin 300 Wc **Haut rendement**



Données techniques	300 Wc
Rendement maximum (Pmax) pour STC	300W±3%
MPP voltage (Vmpp)	37,62 V
MPP courant (Impp)	7,98 A
Voltage à charge vide (Voc)	44,62 V
Courant coupe-circuit (Isc)	8,56 A
Coefficient de température (Pmpp)	-0,5% / °C
Coefficient de température (Voc)	-0,35% / °C
Coefficient de température (Isc)	+0,04% / °C
Voltage du système maximum	1000 V
Cellules monocristallines	72
Dimensions des cellules	156 x 156 mm
Cellules	CEEG / JA Solar
Type de connecteur	MC4
Dimensions du module L x l x h	1956 x 992 x 45 mm
Poids	28 Kg
Rendement du module	15,46%



Module photovoltaïque OEM 300 Wc

Annexe 3: Caractéristiques techniques de l'onduleur SUNNY TRIPOWER 15000 TL

Entrée (DC)	
Puissance DC max. (pour $\cos \varphi=1$)	15340 W
Tension DC max.	1000 V
Plage de tensions photovoltaïques, MPPT	360 V – 800 V
Tension nominale DC	600 V
Tension DC min. / tension de démarrage	150 V / 188 V
Courant max. par MPPT / par entrée	A : 33 A, B : 11 A / 33 A
Nombre de MPP trackers / Nombre max. d'entrées (parallèle)	2 / A : 5, B : 1
Sortie (AC)	
Puissance active AC max. (pour 230 V, 50 Hz)	15000 W
Puissance apparente AC max.	15000 VA
Tension nominale AC ; Plage	3 / N / PE, 230 V / 400 V ; 160 V – 280 V
Fréquence du réseau AC ; plage	50, 60 Hz ; -6 Hz, +5 Hz
Courant de sortie max.	24 A
Facteur de puissance réglable ($\cos \varphi$)	0,8 inductif ... 0,8 capacitif
Phases d'injection / Phases de raccordement / Power Balancing	3 / 3 / —
Rendement	
Rendement max. / Euro-eta	98,2 % / 97,8 %

Dispositifs de protection	
Protection inversion de polarité DC / Protection retour de courant	Oui / électronique
Interrupteur sectionneur DC ESS	Oui
Résistance aux courts-circuits AC	Oui
Surveillance du défaut à la terre	Oui
Surveillance du réseau (SMA Grid Guard)	Oui
Séparation galvanique / Unité de surveillance du courant de défaut, sensible à tous les courants	— / Oui
Parafoudre DC de type II	En option
Détection de défaut de string	Oui
Classe de protection / Catégorie de surtension	I / III
Caractéristiques générales	
Dimensions (L / H / P) en mm	665 / 690 / 265
Poids	65 kg
Plage de températures de fonctionnement	-25 °C ... +60 °C
Émission de bruits (typiques)	www.SMA-Solar.com
Autoconsommation (nuit)	1 W
Topologie	sans transformateur
Système de refroidissement	OptiCool
Type de protection électronique / Zone de raccordement (selon IEC 60529)	IP65 / IP54
Catégorie climatique (selon IEC 60721-3-4)	4K4H

Équipements

Raccordement DC : SUNCLIX	Oui
Raccordement AC : borne filetée / borne à ressort	— / Oui
Écran : Texte / Graphique	— / Oui
Interfaces : RS485 / Bluetooth	En option / Oui
Garantie : 5 / 10 / 15 / 20 / 25 ans	Oui / En option / En option / En option / En option



Figure de l'onduleur SUNNY TRIPOWER 15000 TL

Annexe 4: Tableaux de dimensionnement des câbles

Liaison	Tension	Longueur (ml)	Courant (A)	Tension de dimensionnement (VCO*Nb plaque*1,15)	Puissance d'entrée onduleur (w)	Courant de dimensionnement du câble (Icc*1,25)	chute de tension admissible (1%)	Section min ($2 * I_{\text{cuivre}}(\text{à } 70^\circ) * I_{\text{max}} / (u(\%)) * U$) (en m ²)	section (mm ²)	choix de section normalisée (mm ²)
Panneaux- Onduleur	CC	180	7,98	513,13	14049,72	10,7	3%	5,17E-06	5,17	6
Onduleur - TGBT	AC	30	24,89	400	13796,82	31,1125	3%	3,20E-06	3,20	4

Annexe 5: Choix des disjoncteurs

Abaque de choix des disjoncteurs

C60a, C60H : courbe C C60N : courbes B et C									
cal. (A)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	60 °C
1	1,05	1,02	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85
2	2,08	2,04	2,00	1,96	1,92	1,88	1,84	1,80	1,74
3	3,18	3,09	3,00	2,91	2,82	2,70	2,61	2,49	2,37
4	4,24	4,12	4,00	3,88	3,76	3,64	3,52	3,36	3,24
6	6,24	6,12	6,00	5,88	5,76	5,64	5,52	5,40	5,30
10	10,6	10,3	10,0	9,70	9,30	9,00	8,60	8,20	7,80
16	16,8	16,5	16,0	15,5	15,2	14,7	14,2	13,8	13,3
20	21,0	20,6	20,0	19,4	19,0	18,4	17,8	17,4	16,8
25	26,2	25,7	25,0	24,2	23,7	23,0	22,2	21,5	20,7
32	33,5	32,9	32,0	31,4	30,4	29,8	28,4	28,2	27,5
40	42,0	41,2	40,0	38,8	38,0	36,8	35,6	34,4	33,2
50	52,5	51,5	50,0	48,5	47,4	45,5	44,0	42,5	40,5
63	66,2	64,9	63,0	61,1	58,0	56,7	54,2	51,7	49,2

Récapitulatif des disjoncteurs choisis à 45 °C

Disjoncteur panneaux solaires - onduleur		Disjoncteur onduleur - TGBT	
Référence	Quantité	Référence	Quantité
C60 calibre 16 A	55	C60 calibre 40A	11

Annexe 6: Choix des parafoudres

Choix des parafoudre côté CC	
Un=1,4 Vco (V)	624,68
Up (niveau de protection en KV) selon la tenu au choc au In déclaré	4
Densité de foudroiement	Ng<2,5
Protection par parafoudre bipolaire à base de varistance avec une capacité d'écoulement répétitif	In>=20KA onde (8/20µs)
Choix des parafoudre	RAO PV C (R) 40 Classe 2/ type 2/C Norme IEC-61643-1
Choix des parafoudre côté AC	
Fonction du schéma de liaison à terre et du guide UTE C 15-443	Paratonnerre DEHNguard DG S 440 type 2 classe II

Annexe 7: Fiches de maintenance

Maintenance de premier niveau

Date :

Site :

Périodicité :

	OUI	NON	Observations
Nettoyage des modules solaires			
Ombrage sur le champ solaire			
Etat de fonctionnement de l'onduleur			
Autres			

Maintenance de deuxième niveau

Date :

Site :

Périodicité :

	OUI	NON	Observations
Vérification de l'état et la fixation des câbles du système			
Vérifier le fonctionnement de l'onduleur			
Mesurer la tension à la sortie des modules			
Mesurer la tension à la sortie des modules			
Vérifier le courant à la sortie des modules			
Mesurer la tension à l'entrée de l'onduleur			
Vérifier le courant à l'entrée de l'onduleur			
Mesurer la tension à la sortie de l'onduleur			
Vérifier le courant à la sortie de l'onduleur			
Vérifier l'état des paratonnerres			
Vérifier l'état des raccordements à la terre			

Annexe 8: Coût de revient du kWh d'énergie

Année	Investissement (FCFA)	Production annuelle (kWh)	Dépenses (FCFA)	Actualisation	Prix de revient sans actualisation (FCFA/ kWh)	Investissement actualisé	Production annuelle actualisée (kWh)	Dépenses actualisées (FCFA)	Prix de revient après actualisation (FCFA/ kWh)
0	446 844 115			1	109,69	447 076 030		446 844 115	551,52
1		182 298,08	397 221	0,91		-	165 726	361 110	
2		182 298,08	3 574 991	0,83		-	150 660	2 954 538	
3		182 298,08	397 221	0,75		-	136 963	298 438	
4		182 298,08	3 574 991	0,68		-	124 512	2 441 767	
5	1 000 000	182 298,08	397 221	0,62		620 921	113 193	246 643	
6		182 298,08	3 574 991	0,56		-	102 903	2 017 989	
7		182 298,08	397 221	0,51		-	93 548	203 837	
8		182 298,08	3 574 991	0,47		-	85 043	1 667 760	
9		182 298,08	397 221	0,42		-	77 312	168 461	
10	1 000 000	182 298,08	3 574 991	0,39		385 543	70 284	1 378 314	
11		182 298,08	397 221	0,35		-	63 894	139 224	
12		182 298,08	3 574 991	0,32		-	58 086	1 139 102	
13		182 298,08	397 221	0,29		-	52 805	115 061	
14		182 298,08	3 574 991	0,26		-	48 005	941 407	
15	1 000 000	182 298,08	397 221	0,24		239 392	43 641	95 092	
16		182 298,08	3 574 991	0,22		-	39 673	778 022	
17		182 298,08	397 221	0,20		-	36 067	78 588	
18		182 298,08	3 574 991	0,18		-	32 788	642 994	
19		182 298,08	397 221	0,16		-	29 807	64 949	
20	1 000 000	182 298,08	3 574 991	0,15		148 644	27 097	531 400	
21		182 298,08	397 221	0,14		-	24 634	53 677	
22		182 298,08	3 574 991	0,12		-	22 395	439 173	
23		182 298,08	397 221	0,11		-	20 359	44 361	
24		182 298,08	3 574 991	0,10		-	18 508	362 953	
25	1 000 000	182 298,08	397 221	0,09	92 296	16 825	36 662		