



**AUDIT ENERGETIQUE ET ETUDE D'INTEGRATION DE
L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE DU SIEGE DE
L'AGENCE TOGOLAISE D'ELECTRIFICATION RURALE ET
DES ENERGIES RENOUVELABLES (AT2ER)**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER
SPECIALITE GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE OPTION ENERGIE
RENOUVELABLE**

Présenté et soutenu publiquement le 27 Janvier 2021 par

Abla Eunice Yébinè DAGOH (n° 20180079)

Directeur de mémoire : Francis SEMPORE, Enseignant en Génie Energétique

Encadrant 2iE : Francis SEMPORE, Enseignant en Génie Energétique

Maître de stage : Amy NABILIOU, Docteur Ingénieur-AT2ER

Structure d'accueil du stage : Agence Togolaise d'Electrification Rurale et des Energies
Renouvelables (AT2ER)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Pr. Yézouma COULIBALY

Membres et correcteurs : Pr. Moussa Y. SORO

Promotion [2020/2021]

DEDICACES

A maman et à papa,

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'amour que vous nous portez et les efforts et sacrifices que vous n'avez jamais cessés de consentir pour notre éducation et surtout nos études. C'est grâce à votre ténacité et à vos encouragements, que j'ai pu réaliser ce travail. J'espère avoir répondu aux ambitions que vous avez nourries pour moi.

A toute la grande famille,

Merci, tantes, oncles et leurs conjoints pour la joie que vous me procurez et pour les conseils et aides à la réalisation de ce travail. Votre présence a été pour moi une source de courage et de confiance. Je vous dis merci par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance à cette présence et proximité familiales.

Au Professeur Claude LISHOU (UCAD-Dakar),

Merci, pour les conseils et encouragements et surtout pour tout ce que vous avez accepté de faire pour mes études à Dakar et à Ouagadougou.

A Monsieur Ata LAWSON et sa famille,

Merci, pour la proximité familiale et pour les soutiens multiformes.

A Madame Béatrice MENSAH, ma marraine,

Merci pour tout, toute ma vie sera, pour vous, un témoignage de gratitude.

REMERCIEMENTS

Que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous exprimons toute notre reconnaissance particulièrement à :

- **l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE)**, à la Direction de l'institut et à son corps professoral pour la qualité de la formation donnée ;

- **M. Jean Francis SEMPORE**, vous nous avez encadrée et formée, vous avez aussi eu l'amabilité d'accepter de diriger ce travail. Votre permanente disponibilité, votre amour pour le travail et votre rigueur scientifique forcent notre admiration. Merci pour l'honneur que vous nous avez fait en acceptant d'apporter votre contribution à ce modeste travail ;

- **l'Agence Togolaise d'Electrification Rurale et des Energies Renouvelables (AT2ER)**, un grand merci au Directeur Général pour avoir bien voulu nous accorder un stage dans cette agence. Merci aussi aux Directeurs des départements et à tout le personnel pour leurs soutiens, conseils et encouragements ;

- **Dr. Amy NABILIOU**, votre concours à l'élaboration et à la réalisation de ce travail a été remarquable et inégalable. Ce mémoire est le témoignage de ma profonde gratitude pour tous vos efforts ;

- **Dr. Philippe AGBOSSOU**, dont le soutien a été un précieux secours pour trouver le stage, merci pour tout ;

- **aux Professeurs Ayité S. A. AJAVON, Komlan Assogba KASSENE, Koffi Mawugno KODJO et Adekunlé Akim SALAMI**, de l'Ecole Nationale Supérieure des Ingénieurs (ENSI) de l'Université de Lomé (UL), pour leur proximité réconfortante et pour tous leurs conseils et encouragements ;

- **M. Irénée HOUNGUES**, notre tuteur à Ouagadougou, pour tout ce qu'il a accepté de faire pour nous durant toutes nos années de formation à 2iE, merci pour tout ;

- **Mes sœurs, frère, cousines et cousins**, à vous tous qui avez œuvré, d'une quelconque manière et surtout dans le silence pour un heureux aboutissement de ce travail.

- **Tous nos camarades et amis** particulièrement les camarades de promotion pour les moments de joies et de peines partagés ensemble.

RESUME

Ce travail a consisté à faire un audit énergétique et à faire une étude d'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) dans le bâtiment qui abrite le siège AT2ER, cadre de notre stage. L'audit nous a permis d'identifier quatre (04) postes énergivores : (les lampes, les climatiseurs, les appareils de bureau et les autres appareils électriques). L'analyse des résultats de l'audit énergétique montre que les climatiseurs consomment plus d'énergie que les autres. Nous avons eu à étudier les factures électriques de l'Agence de l'année 2019 et à analyser les données de l'analyseur de qualité d'énergie qui a été posé dans les installations électriques de l'Agence.

Les résultats de l'audit énergétique ont permis de dire que les économies d'énergie devront passer par le remplacement des lampes fluorescentes par des lampes LED et l'installation d'un champ solaire photovoltaïque (PV) pour alimenter une partie des charges de l'AT2ER.

L'option de remplacer les lampes fluorescentes par des LED ferait passer la consommation énergétique annuelle de l'AT2ER de **36 573 kWh** à **35 724 kWh** soit une économie de **849 kWh**.

Dans le cas du champ solaire PV, deux scénarios ont été définis. Le 1^{er} scénario avec toute la surface disponible à l'Agence (198 m²) couvrirait **84%** des besoins journaliers et reviendrait à **37 363 716 F CFA**. Le TRI est estimé à sept (**07**) ans et ferait passer la facture annuelle d'électricité de l'AT2ER de **6 000 000 F CFA** à près de **1 000 000 F CFA**. Soit une économie financière annuelle de **5 000 000 F CFA** et une économie d'énergie annuelle de **30 000 kWh**. Le 2^{ème} scénario avec la surface disponible sur le bâtiment principal (121 m²) couvrirait **50%** des besoins journaliers et reviendrait à **18 002 446 F CFA**. Le TRI est estimé à six (**06**) ans et ferait passer la facture d'électricité de l'AT2ER de **6 000 000 F CFA** à près de **3 000 000 F CFA**. Soit une économie financière annuelle de **3 000 000 F CFA** et une économie d'énergie annuelle de **17 862 kWh**.

L'utilisation de l'énergie solaire PV va permettre une réduction d'émission de CO₂ de **21 t** par an dans le 1^{er} scénario et de **12,5 t** de CO₂ par an dans le 2^{ème} scénario. Ainsi les solutions économes suggérées pourraient permettre de rejeter évités d'adopter des réflexes économes et de promouvoir les énergies renouvelables tout en protégeant l'environnement et viser à terme l'ISO 50001 – Management de l'énergie.

Mots Clés :

1 – Audit énergétique

2 – Economie d'énergie

3 – Energies renouvelables

4 – Energie solaire photovoltaïque

5 – Réflexes économes

ABSTRACT

This work consisted of carrying out an energy audit and carrying out an integration study of photovoltaic solar energy (PV) in the building that houses the AT2ER headquarters, part of our internship.

The audit allowed us to identify four (04) energy-intensive items: (lamps, air conditioners, office appliances and other electrical appliances). Analysis of the energy audit results shows that air conditioners consume more energy than others. We had to study the Agency's electricity bills for 2019 and analyze the data from the power quality analyzer which was installed in the Agency's electrical installations.

The results of the energy audit allowed to say that the energy savings will have to go through the replacement of fluorescent lamps by LED lamps and the installation of a photovoltaic (PV) solar field to supply part of the loads of the 'AT2ER.

The option of replacing fluorescent lamps with LEDs would reduce the annual energy consumption of the AT2ER from **36,573 kWh** to **35,724 kWh**, a saving of **849 kWh**.

In the case of the solar PV field, two scenarios have been defined. The 1st scenario with all the surface available at the Agency (198 m²) would cover 84% of daily needs and would amount to **37,363,716 CFA francs**. The payback time is estimated at seven (07) years and would reduce the annual electricity bill for AT2ER from **6,000,000 CFA francs** to nearly **1,000,000 CFA francs**. This represents an annual financial saving of **5,000,000 CFA francs** and an annual energy saving of **30,000 kWh**. The 2nd scenario with the surface area available on the main building (121 m²) would cover 50% of daily needs and amount to **18,002,446 CFA francs**. The payback time is estimated at six (06) years and would reduce the electricity bill for AT2ER from **6,000,000 CFA francs** to nearly **3,000,000 CFA francs**. This represents an annual financial saving of **3,000,000 CFA francs** and an annual energy saving of **17,862 kWh**.

The use of solar PV energy will allow a reduction in CO₂ emissions of **21 t** per year in the 1st scenario and **12.5 t** of CO₂ per year in the 2nd scenario. Thus, the economical solutions suggested could make it possible to avoid discharges to adopt economical reflexes and promote renewable energies while protecting the environment and ultimately aim at ISO 50001 - Energy management.

Key words:

1 – Economical reflexes

2 - Energy audit

3 - Energy saving

4 – Photovoltaic solar energy

5 - Renewable energies

LISTE DES ABREVIATIONS

A :	Ampère
Ah :	Ampère-heure
ATBEF :	Association Togolaise pour le Bien-Être Familial
AT2ER :	Agence Togolaise d'Electrification Rurale et des Energies Renouvelables
CEET :	Compagnie Energie Electrique du Togo
CO₂ :	Dioxyde de Carbone
D :	Puissance déformante
DGE :	Direction Générale des Energies
Ea :	Energie annuelle
Em :	Energie mensuelle
F CFA :	Franc des Colonies Françaises d'Afrique
Kg	Kilogramme
kVA :	kiloVolt-Ampère
kVAd :	kiloVolt-Ampère-déformant
kW :	KiloWatt
kWc :	kiloWatt-crête
kWh :	kiloWatt-heure
LED :	Light-Emitting Diode
m :	Mètre
m² :	mètre carré
ODD :	Objectifs de Développement Durable
ONU :	Organisation des Nations Unies
P :	Puissance active
PV	Photovoltaïque
Q :	Puissance réactive
S :	Puissance apparente
TRI :	Temps de Retour sur Investissement
t	Tonne
VAN :	Valeur Actuelle Nette
V :	Volt
W :	Watt

SOMMAIRE

Dédicaces	i
Remerciements.....	ii
Résumé.....	iii
Abstract	v
Liste des abréviations.....	vii
Sommaire	1
Liste des tableaux.....	4
Liste des figures	5
Introduction	7
I. Cadre de l'étude et les objectifs du travail.....	8
I.1. Présentation de la structure d'accueil et du site de l'étude.....	8
I.1.1. Missions et attributions.....	9
I.1.2. Structure ou organisation de l'AT2ER.....	9
I.2. Objectifs du travail	10
I.3. Résultats attendus	10
II. Méthodologie de travail	12
II.1. Matériels et outils utilisés.....	12
II.2. Etapes méthodologiques.....	12
II.3. Planning de rédaction du mémoire	13
III. Etude technique.....	15
III.1. Audit énergétique.....	15
III.1.1. Définition.....	15
III.1.2. Etapes d'un audit énergétique.....	15
III.2. Efficacité énergétique	15
III.3. Présentation du bâtiment de l'AT2ER	15
III.3.1. Bureaux et autres salles.....	16
III.3.2. Appareils électriques.....	16
III.3.2.1. L'éclairage (lampes)	17
III.3.2.2. La climatisation (les climatiseurs).....	17

III.3.2.3. Le matériel bureautique	18
III.3.2.4. Autres appareils électriques	18
III.4. Bilan de consommation énergétique	18
III.4.1. Poste éclairage	19
III.4.2. Poste climatiseurs	19
III.4.3. Appareils bureautiques	20
III.4.4. Autres appareils électriques	20
III.5. Facture de consommation électrique de l'AT2ER	21
III.6. Données de l'analyseur de qualité d'énergie	23
III.6.1. Vérification par le facteur de puissance	24
III.7. Analyse et discussion des résultats	25
III.7.1. Les climatiseurs	26
III.7.2. Les appareils de bureau	26
III.7.3. Les lampes	26
III.7.4. Les autres appareils électriques	26
III.8. Solutions proposées	27
III.8.1. Sensibilisation du personnel de l'AT2ER	27
III.8.2. Les lampes économes	27
III.8.3. Système solaire photovoltaïque	29
III.8.3.1. Généralités	29
III.8.3.2. Dimensionnement	29
III.8.3.2.1. Les besoins journaliers	29
III.8.3.2.2. La surface totale disponible à l'AT2ER	30
III.8.3.2.3. Les dimensionnements proprement dits	30
IV. Étude des coûts des solutions proposées	32
IV.1. Estimation financière pour les lampes économes	32
IV.1.1. Le coût de l'investissement pour l'achat des lampes	33
IV.1.2. Le retour sur investissement	33
IV.2. Estimation financière du champs solaire PV	34
IV.2.1. Les investissements suivants chaque scénario	35
IV.2.2. Le retour sur investissement	36
V. Impacts environnementaux et sociaux	37
V.1. Impacts environnementaux	37
V.1.1. Les lampes	37

V.1.2. Le système solaire PV	38
V.2. Impacts sociaux	38
Conclusion et recommandations	40
Bibliographie	42
Annexes	45
Annexe_1: Les données de l'analyseur.....	46
Annexe_2: Flyers des solutions proposées	47
Annexe_3: Dimensionnement solaire PV avec PVSyst.....	49
Annexe_4: Lampes économes de 20 W	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Planning de rédaction du mémoire.....	13
Tableau 2 : Bilan énergétique journalier de l'éclairage.	19
Tableau 3 : Bilan énergétique journalier de la climatisation.....	19
Tableau 4 : Bilan énergétique journalier des appareils bureautiques.....	20
Tableau 5 : Bilan énergétique journalier des autres appareils électriques.	20
Tableau 6 : Tableau bilan énergétique journalier.....	20
Tableau 7 : Données des factures électriques de 2019.....	22
Tableau 8 : Relevé des puissances et des énergies électriques.	24
Tableau 9 : Résultat du facteur de puissance.	25
Tableau 10 : Energie totale consommée avec les lampes LED.....	28
Tableau 11 : Surface disponible du champ solaire.....	30
Tableau 12 : Tableau des résultats du champ solaire avec la surface totale.	31
Tableau 13 : Tableau des résultats du champ solaire avec la surface du bâtiment principal. ..	31
Tableau 14 : Dépenses financières annuelles de l'AT2ER.	32
Tableau 15 : Tableau des différents types de LED.	32
Tableau 16 : Dépenses et économies totales avec les LED.....	33
Tableau 17 : Tableau du TRI et de la VAN.	34
Tableau 18 : Tableau des différents équipements solaires PV.....	35
Tableau 19 : Tableau des différents équipements solaires PV.....	36
Tableau 20 : Economies réalisées dans les deux scénarios d'installation solaire PV.....	36
Tableau 21 : Investissement et TRI de toute la surface disponible.....	37
Tableau 22 : Investissement et TRI de la surface du bâtiment principal.	37

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Photo du bâtiment de l'AT2ER.	16
Figure 2 : Illustration du fonctionnement des différents types de climatiseurs.	18
Figure 3 : Répartition de la consommation d'énergie par type de poste énergivore.	21
Figure 4 : Graphique de la consommation énergétique de l'AT2ER de l'année 2019.	22
Figure 5 : Classe énergétique des lampes.	28
Figure 6 : Modèle de LED 20 W.	28
Figure 7 : Système de production de l'énergie solaire photovoltaïque.	29
Figure 8 : Schéma synoptique de l'installation solaire PV.	31

CHAPITRE I : **DONNEES DE BASE**

INTRODUCTION

Le monde entier a connu une forte consommation de l'énergie durant plusieurs décennies. Mais cette énergie demeure majoritairement d'origine fossile ; donc non renouvelable à court et moyen terme.¹ Elle est aussi la première source des émissions de gaz à effet de serre dans un monde qui souffre déjà des effets de l'activité humaine sur son environnement.

L'énergie est au cœur de tout développement, mais du fait de son abondance, de sa disponibilité et de son faible coût, les décideurs ont négligé ou peu fait attention au coût de l'énergie pour les pays ou pour les entreprises.

Les chocs pétroliers intervenus dans les années 1973 et 1979 vont résonner comme une grande sonnette d'alarme et marquer le début d'une prise de conscience dans tous les pays développés du poids de la facture énergétique sur les économies des pays du monde.

Les chocs pétroliers ont fait dire à un homme politique français « *En France, on n'a pas de pétrole mais on a des idées.* »² De ces idées, va naître un concept nouveau : la maîtrise des consommations d'énergie, l'économie d'énergie, sa gestion efficiente et la diversification de ses sources d'approvisionnements.

De conférence en conférence, de sommets en sommets, d'assemblées générales en assemblées générales, sous l'égide de l'ONU, vont progressivement s'élaborer des solutions à la crise mondiale de l'énergie et aux dangers des énergies fossiles, solutions axées sur :

- la protection de la nature (réduire les émissions de gaz à effet de serre et contenir le réchauffement climatique...);
- la construction d'un avenir sain et durable (accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et à un coût abordable cf. le 7^{ème} ODD)³.

Après avoir clairement indiqué que l'énergie est un élément crucial du développement et réaffirmé la nécessité de la sécurité énergétique, l'ONU invite tous les Etats à travailler pour réaliser les trois objectifs de l'Initiative Energie Durable pour tous à savoir :

- assurer un accès universel à l'énergie ;

¹ BOURSAS Abderrahmane, 2013

² Valéry Giscard d'Estaing, 1976

³ www.globalcompact-france.org

- doubler la part des énergies renouvelables ;
- améliorer l'efficacité énergétique.

Ces objectifs font partie des missions que l'Etat togolais a confiées à l'Agence Togolaise d'Electrification Rurale et des Energies Renouvelables (AT2ER), cadre de notre stage.

L'Agence Togolaise d'Electrification Rurale et des Energies Renouvelables, fonctionnelle depuis 2018, est une institution publique chargée de la mise en œuvre de la politique d'électrification rurale du pays et de la promotion et de la valorisation des énergies renouvelables.

C'est dans l'optique de la maîtrise des consommations d'énergie qu'il nous a été demandé de réaliser un audit énergétique et d'évaluer la contribution que les énergies renouvelables apporteraient à l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'AT2ER, afin de proposer des solutions pour l'amélioration de l'efficacité énergétique de cette dernière.

I. CADRE DE L'ETUDE ET LES OBJECTIFS DU TRAVAIL

Notre étude a été menée à l'Agence qui a servi de cadre à notre stage. Cette agence est rattachée dès sa création au Ministère des Mines et de l'Energie du Togo. Sous la tutelle technique de la Direction Générale des Energies (DGE), elle collabore et travaille avec la Compagnie Energie Electrique du Togo (CEET).

Elle se présente comme suit :

I.1. Présentation de la structure d'accueil et du site de l'étude

Créée par décret N°2016 – 064/PR du 11 Mai 2016, l'Agence Togolaise d'Electrification Rurale et des Energies Renouvelables (AT2ER) est un établissement public, doté d'une autonomie financière. L'agence est chargée de la mise en œuvre de la politique d'électrification rurale du pays, de la promotion et de la valorisation des énergies renouvelables⁴.

Situé à Lomé la capitale, son siège social se trouve au 503 Rue de la Binah, Tokoin Gbonvié, à cinquante mètres (50 m) de la Clinique de l'Association Togolaise pour le Bien-Être Familial

⁴ <https://at2er.tg>

(ATBEF). Son adresse postale est le 14 B.P : 128 Lomé-Togo et ses contacts sont les suivants : Tél : (00228) 22 21 21 44 / Fax : 22 21 21 44.

Acteur central dédié à la valorisation des ressources renouvelables, l'AT2ER a l'ambition de transformer le potentiel énergétique naturel du pays en énergie électrique pour le développement des localités rurales. Ainsi, l'AT2ER a la double responsabilité d'accélérer l'électrification rurale et d'augmenter la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique du Togo. Désormais, toute intervention, dans le but de garantir l'approvisionnement en électricité des populations rurales, est assurée par l'AT2ER.

I.1.1. Missions et attributions

Les principales missions de l'AT2ER sont :

- la programmation et la réalisation des ouvrages d'électrification rurale ;
- l'appui technique aux communautés rurales ;
- la mise en valeur du potentiel national en énergies renouvelables ;
- la recherche et la mobilisation de fonds ;
- la conduite des procédures de passation de marchés⁵.

I.1.2. Structure ou organisation de l'AT2ER

L'AT2ER est dotée d'une gouvernance équilibrée, autour de deux organes de délibération : le Conseil de Surveillance (CS) et le Conseil d'Administration (CA) où sont représentés les principaux ministères et acteurs clés du secteur et d'une Direction Générale (DG) qui déploie et coordonne les activités de l'agence.

L'organe de gestion de l'agence, la Direction Générale est placée sous l'autorité d'un Directeur Général. Pour mener à bien sa mission, la Direction Générale s'appuie sur trois directions techniques et une direction de soutien. La structure de l'Agence se présente donc comme suit :

- la Direction des Etudes, de la Planification et du Suivi – Evaluation (DEPSE) ;
- la Direction des Energies Renouvelables (DER) ;
- la Direction des Travaux d'Electrification Rurale (DTER),
- la Direction Juridique, Administrative et Financière (DJAF)⁶.

Ces différentes directions sont animées par un personnel jeune et très motivé. L'effectif du

⁵ Ibid.

⁶ Op. cit. 4

personnel s'élève à trente (30).

Il convient de rappeler que notre stage s'est déroulé à la Direction des Energies Renouvelables.

I.2. Objectifs du travail

L'objectif principal de notre étude est d'améliorer l'efficacité énergétique de l'AT2ER.

Il s'agira plus spécifiquement de :

- réaliser un audit énergétique afin de proposer des solutions d'économie d'énergie ;
- réaliser une étude d'intégration des énergies renouvelables afin de dégager son impact sur la réduction de la facture d'électricité.

I.3. Résultats attendus

Les objectifs fixés nous permettront d'aboutir à :

- la mise à disposition des résultats de l'audit énergétique du bâtiment de l'AT2ER ;
- la synthèse des bénéfices issus de l'évaluation technico-économique des mesures d'économie d'énergie ou d'intégration des énergies renouvelables.

CHAPITRE II : **METHODOLOGIE DE TRAVAIL**

II. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Les objectifs fixés seront atteints suivant la méthodologie décrite ci-dessous à travers la description des matériels et outils utilisés et des étapes méthodologiques.

II.1. Matériels et outils utilisés

Les matériels et outils utilisés pour effectuer notre travail sont :

- un ordinateur portable LENOVO Thinkpad, core i5, Windows 10 Professionnel, Système d'exploitation 64 bits ;
- des logiciels de rédaction et de calculs comme Excel, Word ;
- un logiciel de dimensionnement solaire PV comme PVSyst ;
- une fiche de notation ;
- les factures de consommation électrique de l'année 2019 de l'AT2ER.

II.2. Etapes méthodologiques

Pour mener à bien notre étude, nous avons travaillé comme suit :

- **L'étude bibliographique** qui a consisté à lire des anciens mémoires portant sur notre thème d'étude et aussi quelques recherches sur l'internet pour parfaire notre travail.
Nous avons défini et décrit par la suite, la démarche d'un audit énergétique avant de l'appliquer concrètement à notre étude. Ainsi, nous avons eu à faire des collectes et analyses de données.
- **La collecte et l'analyse de données** pour déterminer le bilan énergétique : il s'agit de dresser la liste des équipements avec leur puissance électrique et à estimer leur consommation électrique pour aboutir au bilan énergétique (répartition des consommations par poste).
- **Analyse de la facture de consommation électrique** : nous avons analysé les factures de consommation électrique de l'année 2019 afin d'identifier la consommation électrique moyenne journalière ainsi que l'énergie réactive consommée. Ensuite, nous allons intégrer une optimisation de la facture énergétique et voir si la facturation permet de valider l'estimation des consommations journalières.
- **Les mesures d'économie d'énergie** : Nous avons proposé des solutions pour améliorer l'efficacité énergétique du bâtiment en passant par des actions passive et active.

- **L'intégration des énergies renouvelables** : Avec un logiciel de dimensionnement solaire photovoltaïque, nous avons évalué l'apport des énergies renouvelables à savoir le solaire photovoltaïque sur la comptabilité énergétique de l'AT2ER. En fonction de l'espace disponible sur le site, nous avons évalué le nombre de panneaux solaires à installer pour couvrir les besoins énergétiques du bâtiment. Ensuite nous avons procédé à une évaluation financière.
- **L'étude économique et financière** : elle nous a permis de chiffrer les économies financières réalisables avec les solutions proposées.

Une analyse critique ainsi que des discussions ont été faites sur chaque résultat.

II.3. Planning de rédaction du mémoire

L'élaboration et la rédaction de notre rapport se dérouleront selon l'échéancier présenté dans le Tableau 1 :

Tableau 1 : Planning de rédaction du mémoire.

Méthodologie	Périodes																			
	Août 2020				Septembre 2020				Octobre 2020				Novembre 2020				Décembre 2020			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revue documentaire			X	X																
Collectes des données					X	X	X	X	X											
Analyse et traitement des données								X	X	X	X	X	X	X						
Rédaction du rapport												X	X	X	X	X	X	X	X	X

CHAPITRE III : **ETUDES ET RESULTATS**

III. ETUDE TECHNIQUE

Comme annoncé plus haut, notre étude va porter sur l'audit énergétique et l'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment de l'AT2ER.

III.1. Audit énergétique

L'audit énergétique est le point de départ essentiel pour une bonne définition des actions de maîtrise de l'énergie.

III.1.1. Définition

Faire un état des lieux de performance énergétique d'un site, c'est réaliser l'audit énergétique de ce dernier. Cela permet d'identifier des pistes d'économie d'énergie et de proposer ensuite des scénarios de travaux d'amélioration énergétique.

La norme NF EN 16247-1 publiée en 2012, délivre les exigences générales pour la réalisation d'un audit énergétique.

III.1.2. Etapes d'un audit énergétique

L'audit énergétique comporte essentiellement 4 étapes qui sont généralement réalisées par des experts spécialisés du domaine. Lesdites étapes consistent à :

- recenser tous les équipements consommateurs pour faire un bilan de consommation ;
- identifier les postes, les appareils, les processus de gaspillage d'énergie ;
- chiffrer les économies d'énergie possibles pour chaque appareil ;
- proposer des mesures réalistes pour faire des économies d'énergie.

L'audit énergétique est une démarche « gagnante » car elle permet d'enclencher un mouvement vertueux d'économie d'énergie encore appelée efficacité énergétique.

III.2. Efficacité énergétique

L'efficacité énergétique se définit comme l'état de fonctionnement d'un système pour lequel la consommation d'énergie est minimisée pour un service rendu identique.

C'est justement cette efficacité énergétique que nous voulons réaliser à l'AT2ER.

III.3. Présentation du bâtiment de l'AT2ER

L'AT2ER dispose d'un bâtiment principal ayant un rez-de-chaussée et un étage (R+1), d'un

garage pour deux véhicules, d'un local technique électricité où est placé le compteur de la CEET et d'un parking à l'extérieur de la clôture. L'image de la Figure 1 permet de visualiser l'AT2ER, le bâtiment de notre étude.



Figure 1 : Photo du bâtiment de l'AT2ER.

Le bâtiment est composé de bureaux et autres salles et des appareils électriques :

III.3.1. Bureaux et autres salles

Pour les bureaux et autres salles, on distingue :

- une salle de réception ou accueil ;
- douze bureaux ;
- une salle de réunion ;
- deux secrétariats ;
- huit toilettes ;
- une salle de serveur ;
- une salle servant de magasin et une dépendance pour l'agent de sécurité.

Ces bureaux et salles sont équipés d'appareils électriques.

III.3.2. Appareils électriques

Ces appareils sont répartis en quatre (04) postes en fonction de leur consommation d'énergie. Ce sont : les lampes, les climatiseurs, les appareils bureautiques (appareils électroniques) et d'autres appareils électriques.

III.3.2.1. L'éclairage (lampes)

Le bâtiment est éclairé par huit (08) lampes fluocompactes, quinze (15) Light-Emitting Diode (LED) à tube et quarante-deux (42) lampes à tubes fluorescents.

La plupart des lampes installées sont des lampes à tubes fluorescents. Ce sont des lampes électriques de forme tubulaire, de la famille des lampes à décharge à basse pression. Elles contiennent du mercure à l'état gazeux, dont les atomes sont ionisés sous l'effet d'un courant électrique appliqué entre les électrodes placées à chaque extrémité du tube ; elles émettent alors par luminescence un rayonnement essentiellement ultraviolet, qui est converti en lumière visible par la poudre fluorescente déposée sur les parois du tube⁷.

Les lampes fluorescentes sont des lampes à label énergétique moyen de la classe B.

La durée de vie moyenne de ce type de lampe est de six mille (6 000) à quinze mille (15 000) heures contre trente mille (30 000) à cent mille (100 000) heures pour les lampes LED.

Les lampes recensées sont des lampes fluorescentes de trente-six (36) W et dix-huit (18) W. Le flux lumineux de ce type de lampe est de 3350 lumens à 360°.

III.3.2.2. La climatisation (les climatiseurs)

Les climatiseurs installés, au nombre de dix-sept (17) sont des splits systèmes qui fonctionnent en mode inverter. Un split système est un climatiseur composé de deux (02) parties : une partie extérieure composée du condenseur et du compresseur, et une unité intérieure composée de l'évaporateur et du détendeur qui assure le rafraîchissement du local dans lequel elle est installée. Les unités intérieure et extérieure sont raccordées par une liaison frigorifique composée d'un conduit vapeur et d'un conduit liquide dans laquelle circule le fluide frigorigène. La technologie Inverter est intégrée à l'unité extérieure. Une unité à inverter augmente progressivement sa puissance en fonction de la puissance nécessaire pour le rafraîchissement de la pièce. Le fonctionnement d'une unité non inverter « tout ou rien » ne peut être comparé à un interrupteur simple va et vient. La Figure 2 illustre le fonctionnement des différents types de climatiseurs.

⁷ Wikipédia, Lampe fluorescente.

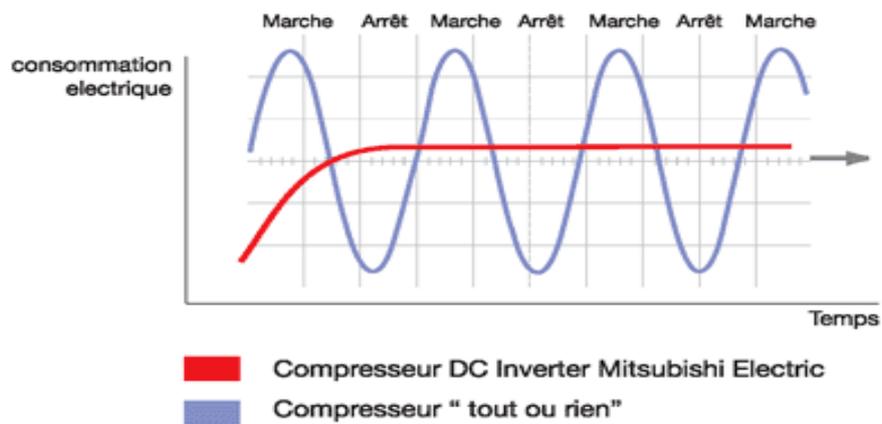


Figure 2 : Illustration du fonctionnement des différents types de climatiseurs.

III.3.2.3. Le matériel bureautique

Les appareils bureautiques que l'on rencontre couramment dans les bâtiments du tertiaire sont les ordinateurs portables, les photocopieuses et scanners, les imprimantes et les appareils de télécommunication etc. A l'AT2ER, il y'a des ordinateurs portables, des imprimantes, des scanners, des photocopieuses, des destructeurs de papier, des vidéos-projecteurs, des appareils de télécommunications etc.

III.3.2.4. Autres appareils électriques

Ces autres appareils sont le surpresseur, la cafetière et le filtre à eau.

La partie qui va suivre, sera consacrée aux détails des calculs réalisés.

III.4. Bilan de consommation énergétique

Le bilan énergétique qui sera réalisé va prendre en compte toutes les consommations électriques de chaque équipement.

Le bilan énergétique est une évaluation qui vise à déterminer la consommation d'énergie d'une habitation et son impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Il permet d'identifier les sources de dépenses énergétiques les plus importantes d'un logement et les solutions à envisager pour les réduire.

Afin de pouvoir déterminer les postes énergivores du bâtiment, nous allons réaliser un bilan énergétique des consommations des équipements électriques. Cela va consister à identifier la puissance nominale de chaque appareil. En fonction de leur nombre total et de leur heure de fonctionnement, nous allons déterminer la consommation énergétique totale de ces appareils

grâce à la formule (1) :

$$C_{e_{tot}} = P_n * Nbre\ d'ap. * Nbre\ h\ d'util. \quad (1)$$

où :

- $C_{e_{tot}}$ est la consommation d'énergie totale (kWh) ;
- P_n est la puissance nominale de chaque appareil (kW) ;
- $Nbre\ d'ap.$ est le nombre total d'appareils ;
- $Nbre\ h\ d'util.$ est le Nombre d'heure d'utilisation (h).

Cette formule appliquée aux différents postes de consommation d'énergie donne les résultats présentés dans les Tableaux des paragraphes III.4.1., III.4.2., III.4.3. et III.4.4. :

III.4.1. Poste éclairage

Le Tableau 2 présente le bilan énergétique journalier de toutes les lampes de l'Agence.

Tableau 2 : Bilan énergétique journalier de l'éclairage.

Désignation	Qté	P.unit (kW)	P.tot (kW)	Nbre h. d'util. (h)	E (kWh)
Tube Led 1,20	15	0,020	0,30	7	2,10
Tube fluoresct.intérieur	32	0,036	1,15	7	8,06
Tube fluoresc.extérieur	10	0,018	0,18	9	1,62
Lampe fluocompacte	8	0,009	0,07	0,17	0,01
				Ce tot2 (kWh)	11,80

III.4.2. Poste climatiseurs

Le Tableau 3 présente le bilan énergétique journalier de tous les climatiseurs de l'AT2ER.

Tableau 3 : Bilan énergétique journalier de la climatisation.

Désignation	Quantité	P. frigo. unit. (kW)	P. frigo. tot. (kW)	COP	P.tot. élect. (kW)	Nbre h. d'util.	E (kWh)
Roch_1	1	1,01	1,01	3,00	0,34	5,00	1,68
Roch_2	1	0,82	0,82	3,00	0,27	5,00	1,37
Adiyo_1	3	3,52	10,56	3,00	3,52	3,50	12,32
Adiyo_2	4	3,52	14,08	3,00	4,69	3,50	16,43
Roch_3	1	2,03	2,03	3,00	0,68	3,50	2,37
Adiyo_3	1	5,28	5,28	3,00	1,76	3,50	6,16
Zenith air_1	1	2,20	2,20	2,71	0,81	3,50	2,84
Zenith air_2	2	1,78	3,56	2,71	1,31	3,50	4,60
Adiyo_4	3	5,28	15,84	3,00	5,28	3,50	18,48
						Ce tot1 (kWh)	52,99

III.4.3. Appareils bureautiques

Le Tableau 4 présente le bilan énergétique journalier de tous les appareils de bureau de l'AT2ER.

Tableau 4 : Bilan énergétique journalier des appareils bureautiques.

APPAREILS BUREAUTIQUES					
Désignation	Quantité	P.unit (kW)	P.tot (kW)	Nbre h. d'util (h)	E (kWh)
Brouilleur de papier	6	0,30	1,80	0,25	0,45
Imprimante	8	0,50	4,00	3,00	12,00
Videoprojecteur	2	0,20	0,40	5,00	2,00
Scanner	1	0,03	0,03	0,50	0,01
Ordinateurs lenovo	20	0,20	0,40	6,00	2,40
Ordinateurs fjitsu	22	0,25	0,55	6,00	3,30
Régulateur	1	1,20	0,96	24,00	23,04
Serveur	1	0,01	0,01	24,00	0,22
SWITCH	2	0,03	0,06	24,00	1,44
Routeurs	2	0,04	0,04	24,00	0,96
				Ce tot3 (kWh)	45,82

III.4.4. Autres appareils électriques

Le Tableau 5 présente le bilan énergétique journalier de tous les autres appareils électriques de l'Agence.

Tableau 5 : Bilan énergétique journalier des autres appareils électriques.

AUTRES APPAREILS ELECTRIQUES					
Désignation	Quantité	P.unit (kW)	P.tot (kW)	Nbre h. d'util (h)	E (kWh)
Suppresseur	1	1,00	1,00	2,00	2,00
Cafetière	2	1,20	2,40	1,00	2,40
Filtre à eau	1	0,67	0,67	3,00	2,01
				Ce tot4 (kWh)	6,41

Le Tableau 6 synthétise le bilan énergétique réalisé au siège de l'AT2ER :

Tableau 6 : Tableau bilan énergétique journalier.

Désignation	E tot. (kWh)
Poste d'éclairage	11,80
Climatisation	52,99
Appareils électroniques	45,82
Autres appareils électriques	6,41
Ce tot. (kWh)	93,61

Ainsi, l'énergie électrique consommée mensuellement par calcul tournerait autour de 2 060 kWh.

Ce bilan énergétique a permis d'identifier les postes énergivores comme l'illustre graphiquement la figure en camembert (Figure 3) :

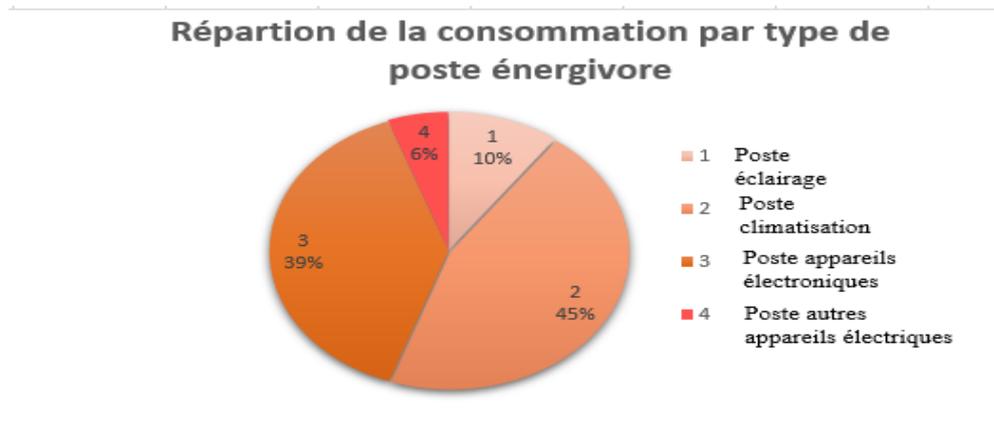


Figure 3 : Répartition de la consommation d'énergie par type de poste énergivore.

Ces postes énergivores ont certainement une incidence sur les factures d'énergie de la CEET.

III.5. Facture de consommation électrique de l'AT2ER

La facture d'électricité d'un ménage peut se définir comme la dépense financière pour l'ensemble de l'énergie électrique consommée par un ménage.

Nous n'avons pu travailler qu'avec les factures d'électricité de l'année 2019 couvrant les douze (12) mois de l'année. En effet, l'AT2ER a emménagé dans le bâtiment en Août 2018 et l'année 2020 a été perturbée par le confinement lié au Covid-19.

La puissance souscrite auprès du réseau de distribution de l'énergie électrique est de 39,6 kVA, réglage triphasé de 60 A.

La Figure 4 montre un graphique illustratif de la consommation électrique de l'AT2ER

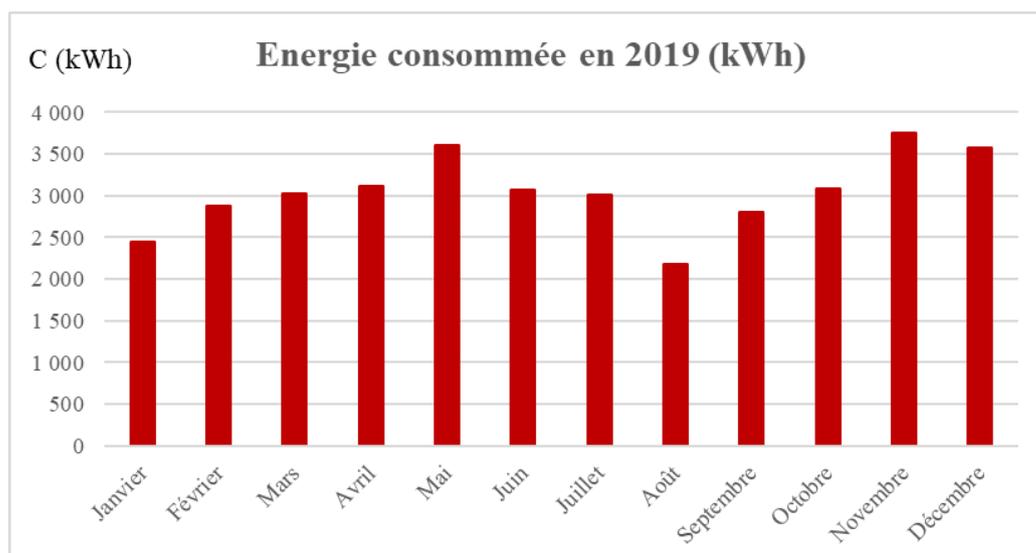


Figure 4 : Graphique de la consommation énergétique de l'AT2ER de l'année 2019.

L'étude des factures de consommation électrique de l'année 2019 nous a révélé que les plus fortes consommations énergétiques se situent au mois de mai, novembre et décembre et s'élevant à plus de **3 500 kWh/mois**. La consommation minimum est enregistrée en janvier, août et septembre et s'élève en moyenne autour de **2 000 kWh/mois**. Ces variations de la consommation s'expliquent par :

- le nombre de jours des relevés variant entre 28 et 42 jours ;
- des facteurs climatiques surtout.

Le Tableau 7 représente l'ensemble des factures électriques de 2019 de l'AT2ER :

Tableau 7 : Données des factures électriques de 2019.

Mois	Dépenses (F CFA)	Energie consommée (kWh)
Janvier	410 482	2 453
Février	473 587	2 885
Mars	493 693	3 026
Avril	519 871	3 122
Mai	590 092	3 601
Juin	511 661	3 066
Juillet	504 038	3 014
Août	382 653	2 186
Septembre	472 372	2 798
Octobre	515 180	3 090
Novembre	612 815	3 756
Décembre	586 427	3 576
Total	6 072 871	36 573

En effet à Lomé, les mois de mai et juin marquent le début de la saison des pluies et qui se prolongent, en juillet, août et septembre par la période de la mousson. Et comme il fait froid pendant la mousson les climatiseurs ne tournent pas à plein régime. Ce qui est le cas contraire des mois d'octobre et novembre début, de la petite saison sèche.

Nous avons ensuite cherché à déterminer la consommation énergétique mensuelle moyenne de l'AT2ER avec la formule (2) :

$$Em = \frac{\sum_{i=1}^{12} Ea}{12} \quad (2)$$

où :

- Em est l'énergie mensuelle moyenne (kWh) ;
- Ea est l'énergie annuelle (kWh).

L'énergie mensuelle moyenne consommée est de de **3 048 kWh** soit une consommation journalière moyenne de **101,6 kWh**. Cette valeur indique l'énergie journalière consommée en moyenne par l'Agence avec les données de la facture d'électricité de 2019.

Le bilan énergétique nous a révélé une consommation énergétique journalière s'élevant à **93,6 kWh** pour une consommation mensuelle de **2 808 kWh**. Tandis que les factures d'électricité de 2019 nous donnent une moyenne journalière de **101,6 kWh** pour une moyenne mensuelle de **3 048 kWh**. La marge d'erreur entre la valeur théorique estimée et la valeur de la consommation moyenne réelle est de **8,5%**, ce qui est acceptable dans le cadre de la présente étude.

Cette différence s'explique en partie par la variation du nombre de jours des relevés de la facture d'électricité variant entre 28 et 42 jours d'une part et d'autre part aux hypothèses sur les facteurs d'utilisation de tous les appareils électriques de l'Agence qui ne sont pas constantes sur toute l'année.

III.6. Données de l'analyseur de qualité d'énergie

Un analyseur de réseau et d'énergie permet de mesurer les paramètres de tension, de courant, de puissance et d'énergie utiles à un diagnostic complet pour 'une installation électrique.

Afin d'évaluer l'énergie électrique maximale et minimale qui est consommée par jour, un analyseur a été posé dans les installations électriques de l'Agence sur une durée de six (06)

jours.

L'analyseur de qualité d'énergie posé est un analyseur de type Firmwar 4.3. L'annexe_1 de ce mémoire se trouve les caractéristiques dudit l'analyseur ainsi que les données fournies par l'analyseur.

La pose de l'analyseur de qualité d'énergie nous donne les valeurs enregistrées qui sont présentées dans le Tableau 8 :

Tableau 8 : Relevé des puissances et des énergies électriques.

Date	Puissance totale (kW)	Consommation journalière (kWh)
13/12/2019	17,691	87,21
14/12/2019	3,985	28,84
15/12/2019	4,288	36,97
16/12/2019	17,892	158,41
17/12/2019	17,717	147,88
18/12/2019	20,052	158,21
Moyenne	13,6	102,92

L'enregistrement de l'analyseur nous donne un maxima de **20,05 kW** et un minima de **3,99 kW**. Les faibles puissances que nous pouvons remarquer dans le tableau ci-dessus sont des puissances relevées pendant le week-end. L'AT2ER ne travaille que du lundi au vendredi.

La moyenne de l'énergie journalière relevée avec l'analyseur est de **102,92 kWh** tandis que l'énergie journalière moyenne relevée avec la facture d'électricité est de **101,6 kWh**.

III.6.1. Vérification par le facteur de puissance

Pour un signal sinusoïdal le facteur de puissance est donné par le rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S . Une faible valeur du facteur de puissance se traduit par une mauvaise utilisation des équipements. Le facteur de puissance (FP) se calcule par la formule (3) :

$$FP = \frac{P}{S} \quad (3)$$

où :

- FP est le facteur de puissance ;
- P est la puissance active en kW ;
- S est la puissance apparente en kVA.

En présence des harmoniques, la puissance apparente (S) est composée de trois parties : Active (P), réactive (Q) et déformante (D). Son expression est donnée par l'équation (4) :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (4)$$

La puissance réactive (Q) est associée au courant fondamental. La puissance déformante (D) est due aux harmoniques de courant. Pour un signal sinusoïdal le facteur de puissance (FP) est égal au quotient de la puissance active (P) par la puissance apparente (S), Equation (5) :

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (5)$$

Par définition le facteur de puissance d'un appareil électrique est égal au rapport de la puissance active sur la puissance apparente et varie entre 0 à 1. Il permet ainsi d'identifier facilement les appareils plus ou moins consommateurs d'énergie réactive.

- un facteur de puissance proche de 1 ne conduira à aucune consommation d'énergie réactive (résistance) ;

- un facteur de puissance en dessous de 0,5 conduira à une consommation d'énergie réactive d'autant plus importante qu'il se rapproche de 0 (inductance).

L'ensemble des calculs effectués est résumé dans le Tableau 9 :

Tableau 9 : Résultat du facteur de puissance.

P (kW)	Q (kVAr)	D (kVAd)	S (kVA)	FP
20,052	2,654	2,485	20,387	0,984

Les effets des harmoniques sur les équipements électriques et électroniques sont bien connus. Ils causent notamment l'échauffement des câbles électriques, affectent les transformateurs et les moteurs asynchrones, et peuvent causer le mal fonctionnement de charges sensibles.

III.7. Analyse et discussion des résultats

Les calculs effectués au niveau des différents postes ont montré que le poste climatisation est le plus énergivore (**45%**) suivi du poste des appareils bureautique (**39%**), ensuite du poste éclairage (**10%**) et le poste autres appareils électriques (**6%**), confère Figure 4.

III.7.1. Les climatiseurs

Le poste de climatisation est le premier poste qui consomme beaucoup d'énergie. Les climatiseurs sont reconnus pour leur forte consommation du courant électrique. Néanmoins l'AT2ER utilise des climatiseurs avec la fonction inverter avec un bon coefficient de performance (COP). Sur les climatiseurs installés, l'on peut voir directement l'étiquette de la classe énergétique verte qui indique l'efficacité énergétique des climatiseurs.

Toutefois, nous rappelons qu'il faut respecter et maintenir les températures de consigne des climatiseurs au minimum 26°C.

III.7.2. Les appareils de bureau

Les appareils bureautiques sont le deuxième poste qui consomment de l'énergie électrique. Nous avons essayé de déterminer le facteur de puissance de la consommation électrique de l'AT2ER. La vérification du facteur de puissance nous a permis de voir quelle solution appliquer pour rentabiliser ou non la part de consommation des appareils électroniques. Le facteur de puissance calculé est proche de la valeur de **1** soit **0,984**, ce qui indique que les appareils électroniques de l'AT2ER ne polluent pas le réseau électrique de l'Agence.

III.7.3. Les lampes

La plupart des lampes utilisées à l'AT2ER sont des lampes fluorescentes. Ces lampes fluorescentes, consomment moins d'énergie mais aussi, ont une durée de vie courte (250 à 625 jours sans interruption)⁸. La part de consommation de l'éclairage dans la consommation énergétique de l'Agence est faible mais pas à négliger. D'ailleurs aujourd'hui, sur le marché, il est recommandé d'utiliser des lampes économes et la CEET en a distribué à quelques-uns de ses clients à Lomé pour les encourager à les utiliser.

III.7.4. Les autres appareils électriques

Ces appareils électriques selon le camembert de la Figure 4 sont le poste le moins énergivore. Cela peut s'expliquer par le fait que ces appareils ne sont pas en grand nombre dans l'Agence et leur nombre d'heure d'utilisation est faible.

Au total, on peut considérer que la consommation mensuelle moyenne de l'énergie (**3 048 kWh**) à l'Agence est raisonnable. Les équipements et outils de travail sont aux normes.

⁸ Durée de vies des ampoules, Mai 2011.

Cependant, il nous paraît nécessaire de sensibiliser les utilisateurs sur la nécessité d'avoir des réflexes, « des gestes et barrières économes ».

Le poste où on pourrait vraiment préconiser des mesures économes est le poste éclairage. Néanmoins, une autre solution serait d'installer un champ solaire photovoltaïque (PV) pour que la production de ce champ assure une partie des besoins électriques de l'AT2ER.

En effet l'Agence ne dispose pas d'un groupe électrogène secours pour produire de l'électricité lorsque surviennent des perturbations sur le réseau du distributeur national de l'électricité. Ainsi, pour ne pas trop dépendre de la CEET, et pour l'image de l'Agence elle même vu qu'elle valorise les énergies renouvelables, il serait raisonnable d'avoir une installation solaire PV.

Les deux mesures préconisées à savoir l'utilisation des lampes économes et l'installation des panneaux solaires participent à la recherche de l'efficacité énergétique.

III.8. Solutions proposées

Les solutions que nous allons proposer vont passer par une sensibilisation du personnel, l'option de remplacer les anciennes lampes par des lampes plus économes et l'installation d'un champ solaire PV pour alimenter une partie des charges de l'AT2ER.

Le bâtiment présente un bon niveau d'efficacité énergétique au niveau de la climatisation d'où l'absence de mesures spécifiques sur ce point.

III.8.1. Sensibilisation du personnel de l'AT2ER

L'objectif de la sensibilisation à l'AT2ER est de parvenir à des économies d'énergie par des changements de comportements, des mentalités voire des réflexes des agents qui y travaillent. En réalité, tous les supérieurs hiérarchiques et la plupart des agents sont des techniciens de l'électricité qui comprennent déjà la nécessité de réduire la consommation énergétique. Cependant nous avons élaboré des flyers pour rappeler aux agents les comportements idoines pour que les bons réflexes s'installent et perdurent.

Ces flyers ci-joint (annexés) sont à installer sur les portes d'entrée et dans les bureaux. Les photos des flyers à coller dans les locaux de l'Agence en Annexe_2 de ce mémoire.

III.8.2. Les lampes économes

Il existe différents modèles de lampes économes aujourd'hui à savoir les LED, les lampes

fluorescentes et les ampoules fluocompactes. La lampe électroluminescente, dite lampe LED est un type de lampe électrique qui utilise l'électroluminescence, phénomène opto-électronique issu de la technologie des diodes électroluminescentes. Les lampes LED figurent dans la classe énergétique A illustrées dans la Figure 5.

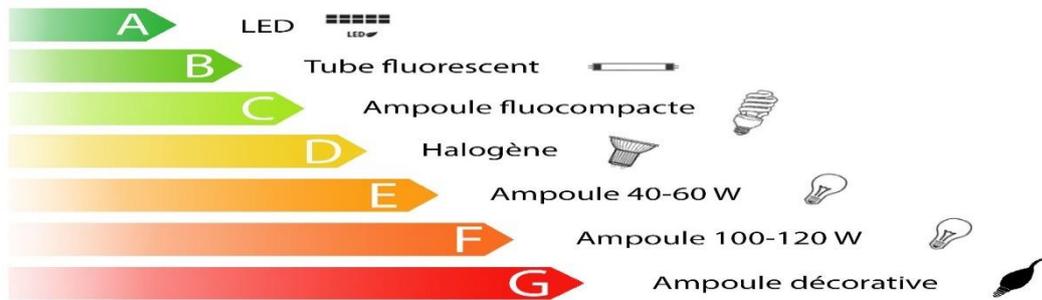


Figure 5 : Classe énergétique des lampes.

Dans le principe de fonctionnement des LED, le mouvement des électrons provoque une émission de lumière suivant le principe de l'électroluminescence.

Les lampes proposées pour remplacer les lampes fluorescentes sont des lampes économes de 20 W. La Figure 6 présente le modèle de LED proposée.



Figure 6 : Modèle de LED 20 W.

Le flux lumineux avec ces lampes proposées serait de 2000 lumens.

En appliquant la formule de l'équation (2), on obtient les résultats suivants synthétisés dans le Tableau 10 :

Tableau 10 : Energie totale consommée avec les lampes LED.

Désignation	Quantité	P.unit (kW)	P.tot (kW)	Nbre h. d'util. (E (kWh)
Tube Led 1,20	15	0,02	0,30	7	2,10
Tube Led 1,20 intérieur	32	0,02	0,64	7	4,48
Tube Led 1,20 extérieur	10	0,02	0,20	9	1,80
Lampe fluocompacte	8	0,01	0,07	0,17	0,01
				Ce.tot2' (kWh)	8,39

L'utilisation de ces lampes LED indique une consommation électrique journalière de **8,39 kWh** contre une consommation journalière actuelle de **11,8 kWh**, confère Tableau 2.

L'utilisation des lampes LED pourrait diminuer tant soit peu la consommation électrique de l'Agence. Nous pensons aussi que l'installation solaire pourrait à court terme réduire la facture énergétique de l'Agence.

III.8.3. Système solaire photovoltaïque

III.8.3.1. Généralités

L'énergie solaire PV est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire grâce à des panneaux solaires. Le solaire PV est dit renouvelable, car sa source (le soleil) est considérée comme inépuisable à l'échelle du temps humain.

L'électricité photovoltaïque est une technologie remarquable qui transforme le rayonnement solaire en électricité. Un système solaire se présente comme illustré à la Figure 7 :

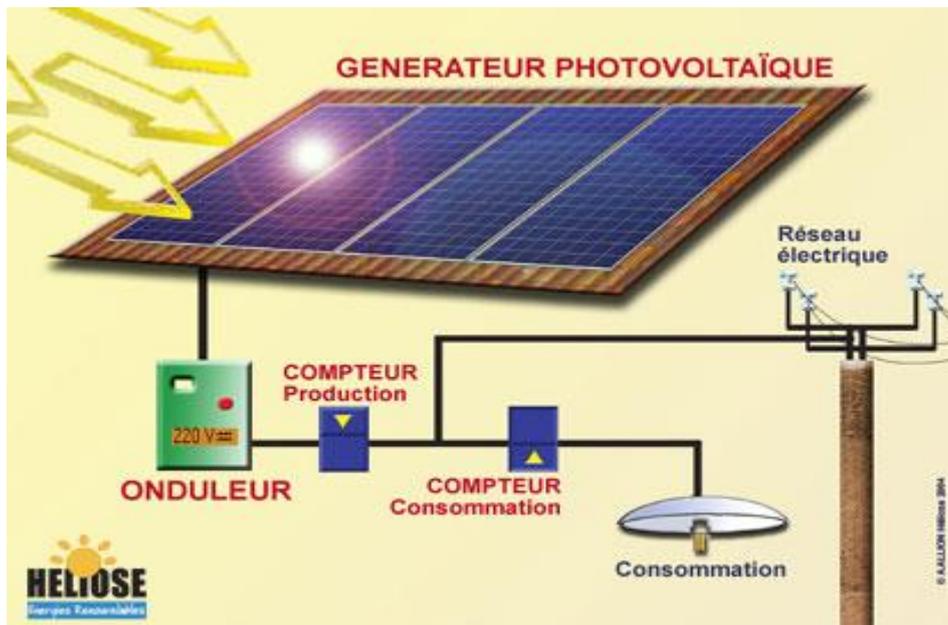


Figure 7 : Système de production de l'énergie solaire photovoltaïque.

III.8.3.2. Dimensionnement

Pour bien dimensionner, il faut au préalable déterminer les besoins journaliers et la surface sur laquelle les panneaux solaires seront posés.

III.8.3.2.1. Les besoins journaliers

Afin d'évaluer la puissance crête des panneaux solaires à installer, nous avons utilisé deux (02) paramètres de calcul : une revue des factures de la CEET et une revue des données de l'analyseur.

Les données des factures ont permis de déterminer le besoin moyen journalier qui est de **101,6 kWh**.

Les données de l'analyseur ont indiqué des pics de la consommation énergétique journalière. L'enregistrement de l'analyseur nous donne un maxima de **158,41 kWh** et un minima de **28,84 kWh**. La moyenne journalière sur cette période est de **102,92 kWh**.

En combinant les deux (02) consommations, nous avons retenu pour les calculs les valeurs journalières de **160 kWh** environ comme maxima et **100 kWh** comme la moyenne.

III.8.3.2.2. La surface totale disponible à l'AT2ER

Le siège de l'AT2ER dispose d'un bâtiment principal et d'un parking. La façade principale du bâtiment et son parking sont orientés vers le Sud. Le bâtiment principal est couvert de deux manières, une partie dallée et une autre tôle inclinée vers le Nord-Sud. Les endroits de pose des panneaux idéaux sont le parking (17 m x 4.5 m) et la partie dallée du bâtiment principal (9,2 m x 1 m +16,5 m x 6,8 m). Le récapitulatif des surfaces disponibles se trouve dans le Tableau 11 :

Tableau 11 : Surface disponible du champ solaire.

Désignation	Surface (m ²)
Parking	76,5
Bâtiment principal	121,4
Total	197,9

Nous allons proposer deux dimensionnements : un dimensionnement avec la surface totale dont dispose l'AT2ER et l'autre sur le bâtiment principal uniquement afin d'évaluer la faisabilité financière de l'un ou l'autre.

III.8.3.2.3. Les dimensionnements proprement dits

Le dimensionnement du champ solaire a été fait avec le logiciel PVSyst version 7.1.0. PVSyst est un logiciel de dimensionnement PV conçu pour être utilisé par les ingénieurs et les chercheurs. Il permet d'importer des données météorologiques d'une dizaine de sources

différentes ainsi que des données personnelles.

Nous avons choisi d'injecter directement la production du champ solaire PV dans le réseau électrique de l'AT2ER afin de réduire la consommation électrique de ce dernier avec un stockage d'une autonomie de deux (02) jours.

La Figure 8 présente le schéma synoptique de l'installation solaire PV :

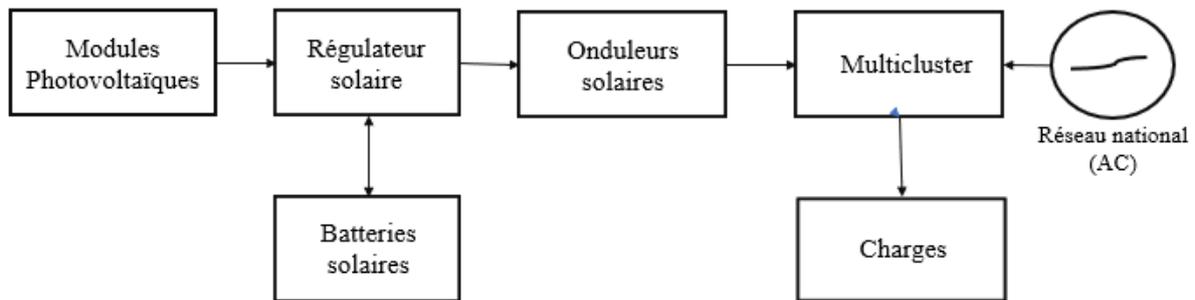


Figure 8 : Schéma synoptique de l'installation solaire PV.

1^{er} scénario : Surface totale disponible soit 197,9 m²

Le dimensionnement détaillé des équipements choisis ainsi que leurs caractéristiques se trouvent en Annexe_3 de ce mémoire. La synthèse des calculs effectués sur PVSyst est récapitulée dans le Tableau 12 :

Tableau 12 : Tableau des résultats du champ solaire avec la surface totale.

Pc tot. (kWc)	Superficie (m ²)	Pc inst (kWc)	Nbre de mod.	E jr (kWh)	% de couverture
39,06	197,9	33	99	84,48	84

Les panneaux choisis sont des panneaux polycristallins de 330 Wc. Le champ solaire qui sera installé va couvrir 84% des besoins journaliers de l'AT2ER.

2^{ème} scénario : Surface dallée du bâtiment principal soit 121,4 m²

Le dimensionnement détaillé des équipements choisis ainsi que leurs caractéristiques se trouvent en Annexe_3 de ce mémoire. La synthèse des calculs effectués sur PVSyst est récapitulée dans le Tableau 13 :

Tableau 13 : Tableau des résultats du champ solaire avec la surface du bâtiment principal.

Pc tot. (kWc)	Superficie (m ²)	Pc inst (kWc)	Nbre de mod.	E jr (kWh)	% de couverture
39,06	121	20,1	60	51,456	50

Les panneaux choisis sont des panneaux polycristallins de 330 Wc. Le champ solaire qui sera installé va couvrir 50% des besoins journaliers de l'AT2ER.

Pour la mise en œuvre des solutions proposées (les lampes économes et le système solaire), nous avons jugé bon d'effectuer une estimation financière de chaque solution afin de donner aux décideurs les outils d'une prise de décision.

IV. ÉTUDE DES COÛTS DES SOLUTIONS PROPOSÉES

Avec les factures d'énergie de l'année 2019, nous avons pu évaluer le coût total annuel de la consommation. Les données du calcul et le résultat obtenu sont dans le Tableau 14 :

Tableau 14 : Dépenses financières annuelles de l'AT2ER.

Mois	Dépenses (F CFA)
Janvier	410 482
Février	473 587
Mars	493 693
Avril	519 871
Mai	590 092
Juin	511 661
Juillet	504 038
Août	382 653
Septembre	472 372
Octobre	515 180
Novembre	612 815
Décembre	586 427
Dépense tot/an (F CFA)	6 072 871

Source : Facture énergie CEET 2019 et calcul sur Excel.

Ce montant total de plus de six millions (6 000 000) F CFA est à retenir car nécessaire pour apprécier les solutions proposées.

IV.1. Estimation financière pour les lampes économes

Il existe sur le marché togolais, divers types de lampes dites LED. Le prix de ces lampes varie suivant la qualité et les origines de fabrication. Le Tableau 15 nous en donne une idée.

Tableau 15 : Tableau des différents types de LED.

Fabricant	Type	Puissance (W)	Prix (F CFA)	Durée de vie (h)	Classe énergétique
OSRAM	Tube LED	20	7 500	30 000	A+
PHILIPS	Tube LED	20	15 000	30 000	A
SYLVANIA	Tube LED	20	12 500	40 000	A+

Source : <http://www.lewatt.tg/>

IV.1.1. Le coût de l'investissement pour l'achat des lampes

Pour sa durée de vie et sa classe énergétique, nous avons retenu de proposer les lampes SYLVANIA. Le nombre total de lampes fluorescentes à changer est de quarante-deux (42). Le coût total s'élève à : $(12\ 500 \times 42) = 525\ 000\ \text{F CFA}$.

L'économie financière et électrique annuelle qui serait réalisée avec les lampes économes est synthétisée dans le Tableau 16 :

Tableau 16 : Dépenses et économies totales avec les LED.

Dépense annuelle	6 072 871
Consommation annuelle (kWh)	36 573
Nouvelle dépense annuelle	5 931 881,36
Nouvelle consommation annuelle (kWh)	35 723,91
Economie annuelle	140 989,64
Economie annuelle (kWh)	849,09

L'économie réalisée sur la facture d'électricité se situerait autour de **140 000 F CFA/an** par rapport aux lampes fluorescentes actuelles. De même, la réduction de la consommation électrique annuelle serait de **849 kWh** environ.

La réduction de la consommation électrique, en modernisant l'éclairage avec des lampes LED, permet donc d'améliorer tant soit peu, l'efficacité énergétique.

IV.1.2. Le retour sur investissement

Nous avons déterminé le temps de retour sur investissement du choix de ces lampes. Le temps de retour sur investissement (TRI) est déterminé par la formule suivante :

$$TRI = \frac{CF_0}{CF_T} \quad (6)$$

où :

- TRI est le Temps de Retour sur Investissement ;
- CF_0 est l'investissement ;
- CF_T est le gain réalisé.

La durée de vie des lampes LED choisies est de 40 000 h soit quatre (04) à cinq (05) ans d'utilisation. En estimant la durée de vie de notre étude sur cinq (05) ans, le calcul du TRI est synthétisé dans le Tableau 17 :

Tableau 17 : Tableau du TRI et de la VAN.

Investissement	Gain	TRI	VAN
525 000	140 990	4	77 025,80

Le TRI ici exprimé en année nous montre que c'est à partir de l'année quatre (04) qu'on obtiendrait un retour sur l'investissement de l'achat des lampes LED choisies. Le TRI étant inférieur à la durée de vie des lampes ($4 < 5$).

La Valeur Actuelle Nette (VAN) ici déterminée nous permet de mesurer la rentabilité de notre investissement. Elle peut être négative comme positive et se calcule en se basant sur :

- la durée de vie des lampes ; dans notre cas d'étude, c'est cinq (05) ans ;
- le taux d'actualisation : dans notre pays (Togo), c'est 5,5%.

Une VAN positive veut dire que l'investissement dans les lampes LED choisies est rentable.

IV.2. Estimation financière du champs solaire PV

Nous allons évaluer financièrement les deux (02) scénarios d'installation solaire qui ont été proposés pour déterminer le temps de retour sur investissement de chacun.

IV.2.1. Les investissements suivants chaque scénario

1^{er} scénario : Investissement pour toute la surface disponible soit 197,9 m².

Les prix des différents équipements solaires PV utilisés sont détaillés dans le Tableau 18 :

Tableau 18 : Tableau des différents équipements solaires PV.

Surface totale de l'AT2ER			
Désignation	Quantité	Prix unit. (F CFA)	Prix tot. (F CFA)
Modules	99	105 000	10 395 000
Régulateur	1	430 000	430 000
Batteries	16	900 000	14 400 000
Onduleurs	6	200 000	1 200 000
Disjoncteur	1	127 000	127 000
Multicluster	1	2 300 000	2 300 000
Câble 10mm ²	100	1 500	150 000
Câble solaire 6mm ²	250	1 800	450 000
Câble 25mm ²	200	1 750	350 000
Barette de coupure	1	18 500	18 500
Barette de répartition	1	8 700	8 700
Piquet de terre 2m	1	10 900	10 900
Pose alu sur dalle et inclinée de 15° pour		20 000	1 200 000
Pose alu sur toit pour 39 panneaux		30 000	1 170 000
		Total	32 210 100

2^{ème} scénario : Investissement pour la surface du bâtiment principal soit 121,4 m².

Les prix des différents équipements solaires PV utilisés sont détaillés dans le Tableau 19 :

Tableau 19 : Tableau des différents équipements solaires PV.

Surface du bâtiment de l'AT2ER			
Désignation	Quantité	Prix unit. (F CFA)	Prix tot. (F CFA)
Modules	60	105 000	6 300 000
Régulateur	1	200 000	200 000
Batteries	8	471 000	3 768 000
Onduleur	1	1 000 000	1 000 000
Disjoncteur	1	127 000	127 000
Multicluster	1	2 300 000	2 300 000
Câble 10mm ²	65	1 500	97 500
Câble solaire 6mm ²	150	1 800	270 000
Câble 25mm ²	125	1 750	218 750
Barette de coupure	1	18 500	18 500
Barette de répartition	1	8 700	8 700
Piquet de terre 2m	1	10 900	10 900
Pose alu sur dalle et inclinée de 15° p		20 000	1 200 000
		Total	15 519 350

L'économie annuelle qui serait réalisée sur la facture d'énergie est présentée dans le Tableau 20 :

Tableau 20 : Economies réalisées dans les deux scénarios d'installation solaire PV.

	Dépense annuelle	Conso. Annuelle (kWh)	Economie réalisée	Economie (kWh)
1er scénario	6 072 871	35 723,91	5 101 211,64	30 008,08
2ème scénario	6 072 871	35 723,91	3 036 435,50	17 862

IV.2.2. Le retour sur investissement

Pour calculer le retour sur investissement, nous avons estimé la main d'œuvre à 15% de l'investissement et la durée de vie du système solaire à 25 ans. Les frais d'entretiens du système représentent 1% de l'investissement initial.

Tous les calculs de l'investissement total, du TRI (ici exprimé en année) et de la VAN sont synthétisés dans les Tableaux 21 et 22 :

1^{er} scénario :

Tableau 21 : Investissement et TRI de toute la surface disponible.

Investissement	Gain	TRI	VAN
37 363 716	5 101 211,64	7	31 063 937

2^{ème} scénario :

Tableau 22 : Investissement et TRI de la surface du bâtiment principal.

Investissement	Gain	TRI	VAN
18 002 446	3 036 435,50	6	22 728 300

Les VAN étant positives dans les deux scénarios, nous pouvons dire que l'installation de champ solaire PV est rentable. Il appartient aux décideurs de choisir le scénario qui conviendrait à leurs ressources du moment.

V. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX

Avec la nécessité de protéger l'environnement aujourd'hui, l'étude des impacts sociaux et environnementaux est devenue une composante incontournable de tout projet de développement.

En effet, face aux questions relatives à la dégradation de l'environnement et au réchauffement climatique, il est demandé à tous les Etats du monde⁹ d'exiger ces études d'impacts et de prendre des mesures convenables en vue de contribuer au développement durable de la planète Terre.

L'objectif est de produire des richesses tout en veillant à réduire les inégalités mais sans pour autant dégrader l'environnement.

V.1. Impacts environnementaux

V.1.1. Les lampes

Pour fonctionner, une lampe fluorescente a besoin de mercure. Le mercure d'une lampe fluorescente est enfermé dans le tube et normalement, nous ne devons donc pas y être exposés.

⁹ Dr Paulin IBANDA KABAKA, 2019

Or le mercure qu'il soit à l'état liquide ou solide est très volatile et dangereux pour la santé. Même en petite quantité, il endommage les systèmes nerveux, digestif et immunitaire. S'il arrivait que l'ampoule se brise, la vapeur de mercure se diffuse dans l'air et lorsque l'on s'approche pour la ramasser, c'est une inhalation directe.

Quant aux lampes LED, elles ne contiennent pas de mercure et sont économes.

C'est la production et le recyclage des lampes qui peuvent encore polluer l'environnement. L'utilisation proprement dite des lampes LED permet une consommation plus réduite de l'énergie.

V.1.2. Le système solaire PV

La production des modules photovoltaïques et des batteries, a un fort impact sur l'environnement. Par ailleurs, le transport des équipements du système PV des pays producteurs (Europe, Chine...) vers les pays utilisateurs, engendre des rejets de Dioxyde de Carbone (CO₂).

La pollution environnementale est évaluée lors de la fabrication, du transport, et à la fin du cycle de vie. Toutefois, l'utilisation proprement dite de la technologie n'a pas vraiment d'impacts sur l'environnement.

Pour approcher les rejets de CO₂ évités dans la présente étude, le facteur d'émission retenu est de 0,7 kg CO₂ par kWh produit. L'utilisation de l'énergie solaire PV pour alimenter une partie des charges de l'Agence contribuerait à protéger l'environnement des gaz à effet de serre.

En effet, dans le 1^{er} scénario d'utiliser toute la surface disponible à l'AT2ER, l'utilisation de l'énergie solaire PV va permettre de protéger l'environnement en le préservant des émissions de **21 t** de CO₂ par an.

Quant au 2^{ème} scénario où c'est la surface disponible sur le bâtiment de l'AT2ER qui couvrirait le champ solaire PV à installer, c'est **12,5 t** d'émission de CO₂ par an qui seront évitées pour préserver l'environnement.

V.2. Impacts sociaux

Dans notre étude, nous avons proposé un changement de lampes et une installation solaire PV. Les impacts sociaux liés à ces choix sont d'ordre purement interne à l'AT2ER. C'est l'Agence qui va le plus bénéficier de cette étude par l'amélioration de l'efficacité énergétique et par la

permanente disponibilité de l'énergie électrique dont le personnel a besoin pour accomplir ses tâches.

L'intérêt majeur du projet peut être vu comme une belle manière de « prêcher par l'exemple ». Le système solaire PV sur le toit de l'Agence serait une sorte de publicité pour les énergies renouvelables.

Les limites de l'étude

Cette étude présente quelques limites qu'il convient de signaler.

L'étude a été réalisée avec la facture énergétique d'une seule année. Le mieux aurait été d'avoir des factures sur trois (03) ou cinq (05) années pour se faire une idée réelle de la consommation énergétique.

Cette étude aurait pu aussi être consacrée à un projet de grande envergure mais à cause de la situation sanitaire (Covid-19) et des restrictions imposées ici et là, les projets de l'Agence sont mis en stand-by.

Nous espérons que notre travail servirait de modèles pour des études ultérieures qui permettraient d'aller plus loin, de faire plus grand et plus beau.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Pour faire face à la crise énergétique associée à la menace du changement climatique, nous devons trouver des solutions innovantes dans les secteurs de l'énergie et adopter des modes de consommations responsables. L'efficacité énergétique devient un enjeu majeur dans le secteur des bâtiments pour réduire sa consommation électrique et maîtriser sa facture d'électricité.

Notre étude montre bien qu'en changeant nos anciennes lampes par des lampes LED, nous pouvons réduire nos factures d'énergie. De même en installant le système PV dans nos maisons et dans nos services ou entreprises, on réalise des économies sur la consommation, on réduit notre dépendance vis-à-vis des sociétés distributrices d'énergie comme la CEET au Togo et on se met à l'abri des perturbations sur leurs réseaux comme les délestages ou autres coupures intempestives. Certes l'investissement pour l'installation solaire peut paraître lourd dans nos pays en voie de développement mais le retour sur investissement est plutôt bénéfique.

Comparé au nucléaire, l'utilisation de l'énergie solaire comme source d'énergie est économiquement et écologiquement bénéfique car elle n'a pas besoin de combustible et les préoccupations environnementales sont réduites.

Si la production d'électricité à partir des combustibles fossiles continue de jouer un rôle majeur dans nos pays, il est de plus en plus clair que l'énergie durable est le seul choix pour l'avenir. La création de l'AT2ER et la construction des centrales solaires dans le pays notamment à Blitta attestent de cette prise de conscience par les autorités de notre pays.

Recommandations

Pour faciliter l'application à grande échelle des principes de l'efficacité énergétique dans le pays, nous recommandons les actions suivantes :

- remplacer progressivement les luminaires peu efficaces par des luminaires de haute efficacité énergétique (à l'occasion des renouvellements des lampes ou dans les futures constructions) ;

- installer des minuteries pour éteindre automatiquement l'éclairage des couloirs, des toilettes et des lampes extérieures ;

- adopter et installer progressivement aussi le système solaire PV (sur le bâtiment principal de l'Agence puis plus tard sur toute la surface disponible.) ;

- généraliser l'utilisation des lampes LED et de l'énergie solaire dans les grands bâtiments administratifs de l'Etat en commençant par la Direction Générale de l'Energie (DGE) et le Ministère en charge des mines et de l'énergie ;

- mettre en place, par l'Etat, des mesures incitatives (réductions des taxes douanières ou fiscales sur les équipements PV) pour aider les foyers à adopter le système solaire et des lampes économes.

Pour assurer un avenir fiable, sain et écologiquement viable nos pays doivent promouvoir leur développement à partir des ressources énergétiques économiques accessibles et durables.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

Anis Abroug, Malek Jedidi (2018), *1^{er} Colloque International des Energies Nouvelles et Renouvelables - Innovation et Progrès Scientifique CIENRIPS'*: Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment en Tunisie, Hammamet, 27,28 et 29 Avril 2018, Tunisie.

Dr Paulin IBANDA KABAKA (2019), *Article sur la transition énergétique (Impacts sociaux et environnementaux)*: Enjeux et préalables à l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les bâtiments en France.

Thèses et mémoires

Ansar Ahmed Mounir Djebaili Imed Abd Errahmane (2017), *L'efficacité énergétique dans le bâtiment architectural. Cas d'étude : Évaluation des performances énergétiques du rectorat de l'Université d'Oum El Bouaghi*. Mé. Architecture et durabilité architecturale : Université Larbi Ben M'hidi - Oum El Bouagi, Faculté des Sciences de la Terre et d'Architecture Département d'Architecture.

Julien BELLIGOI (2010), *Audit énergétique d'un bâtiment de bureaux : proposition de stratégie de rénovations*. Mé. Faculté des Sciences Appliquées : Université de Liège.

Ahmed BENSENOUCI (2006), *Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide du logiciel de simulation DOE-2E*. Mé. Ecole de Technologie Supérieure, Université du Québec.

Abderrahmane BOURSAS (2013), *Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation*. Mé. Thermique du bâtiment et de réfrigération en Génie Climatique : Université Constantine 1 Faculté des Sciences de l'Ingénieur en Algérie.

Galo GUIE BI (2010), *Economie d'énergie et éclairage de la ville de Ouagadougou*. Mé. Génie Electrique et Energétique option Energie Renouvelable : Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE).

Amel LAHMAR (2017), *Filtrage et qualité d'énergie*. Mé. Science et Technologie en Electromécanique option Commande et Automatisation des systèmes électromécaniques : Université Badji Mokhtar Annaba.

Amadou MOUSSA MAIGA (2010), *Contribution à la mise en œuvre d'une politique d'efficacité énergétique au 2iE : Site de Kamboinsé*. Mé. Génie Electrique et Energétique option Energie Renouvelable : Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE) de l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE).

Celine Varieno (2012), *L'efficacité énergétique dans les bâtiments existants : déficit d'investissement, incitations et accompagnement*. Th. Sciences économiques : Université de Grenoble.

Cours

Pr. Yézoumah COULIBALY (2019), *Audit énergétique et économies d'énergie*, Novembre 2019 : Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE).

Pr. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE (2018), *Solar Thermal, Aspects économiques*, Juin 2018 : Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE).

Sites internet

- Valéry Giscard d'Estaing 2016. Idée d'un changement d'heure à la fin du mois de mars pour limiter la consommation d'énergie [en ligne]. Consulté le 20 Septembre 2020 à 16h00.

<URL : https://www.google.com/amp/s/mobile.francetvinfo.fr/replay-radio/histoires-d-info/on-n-a-pas-de-petrole-mais-on-a-des-idees-en-1976-on-passe-a-l-heure-d-ete_1774731.amp >

- Accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et à un coût abordable cf. le 7ème ODD [en ligne]. Consulté le 20 Septembre 2020 à 16h10 minutes.

<URL : <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/energy/> >

- La politique d'électrification rurale du Togo, de la promotion et de la valorisation des énergies renouvelables [en ligne]. Consulté le 21 Septembre 2020 à 8h.

<URL : <https://at2er.tg/qui-sommes-nous/> >

- Lampe fluorescente Wikipédia, définition [en ligne]. Consulté le 30 Septembre 2020 à 12h.

<URL : https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Lampe_fluorescente >

- Harmonique (électricité) Wikipédia, définition [en ligne]. Consulté le 1^{er} Octobre 2020 à 7h35 minutes.

<URL : <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Harmonique> >

- Durée de vie des ampoules 2011. Quelle est la durée de vie des ampoules ? Au moins 110 ans ! [en ligne]. Consulté le 10 Octobre 2020 à 23h.

<URL : <https://www.google.com/amp/s/www.abavala.com/combien-de-temps-durent-les-ampoules-au-moins-110-ans/amp/> >

ANNEXES

Annexe_1 : Les données de l'analyseur

Annexe_2 : Flyers des solutions proposées

Annexe_3 : Dimensionnement solaire PV avec PVSyst

Annexe_4 : Lampes économes de 20 W

Annexe_1: Les données de l'analyseur

- Indications de l'analyseur

Infos config				
C.A 8336	Numéro de série de l'appareil	127969PDH 2875	Version de la carte : 33.33	Firmware 4.3
Date de départ	Heure de départ	Date de fin	Heure de fin	
13/12/2019	12 :00:00	18/12/2019	18 :00:00	
Type de branchement électrique	Triphasé 4 fils 3V			
Capteurs	A193/MA193 AmpFLEX (100 A)			
Calcul des valeurs réactives Q (var) or N (var)	Q : Séparé (sans les harmoniques)			
Taux d'harmoniques de la phase	Valeur du fondamental en référence (%f)			
Papillotement de longue durée (Plt)	Fenêtre glissante			
Facteur K du transformateur	q = 1,7 e = 0,10			
Rapport des courants	1 :1			
Rapport des tensions entre phase et neutre	1 :1			
Agrégation	10 min			
Mesures U enregistrées	CF, rms, THDr, THDf, DC, pk+, pk-			
Mesures V enregistrées	CF, Pst, Plt, rms, THDr, THDf, unb (u2), DC, pk+, pk-			
Mesures A enregistrées	CF, FHL, rms, THDr, THDf, unb (u2), FK, DC, pk+, pk-			
Autres mesures enregistrées	Cos ϕ (DPF), F, PF, Tan ϕ , S (VA), Q (var), P (W), P DC (W), D (var)			
Harmoniques U enregistrées	0 - 50			
Harmoniques V enregistrées	0 - 50			
Harmoniques A enregistrées	0 - 50			

Annexe_2: Flyers des solutions proposées



Température de consigne des climatiseurs 26°C.



· J'éteins les lampes quand je quitte une pièce ou j'utilise la lumière naturelle du soleil si nécessaire ;

· Je ferme les portes et les ouvertures quand le climatiseur est allumé pour éviter de dépenser trop d'énergie ;

· J'ouvre mes fenêtres pour bénéficier de l'air frais naturel si nécessaire ;

· J'évite les consommations inutiles : je débranche les chargeurs dès que l'appareil est chargé.

J'ÉCONOMISE DE L'ÉNERGIE, JE CONTRIBUE AU DÉVELOPPEMENT DE MON ENTREPRISE ET À LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT.



Annexe_3: Dimensionnement solaire PV avec PVSyst

1- 1^{er} scénario : Toute la surface disponible

- Orientation:

The screenshot shows the 'Orientation, Variante "Nouvelle variante de simulation"' window in PVSyst. The 'Type de champ' is set to 'Plan incliné fixe'. The 'Paramètres du champ' section shows 'Inclinaison plan' at 15.0° and 'Azimut' at 0.0°. The 'Optimisation rapide' section is set to 'Irradiation annuelle'. The 'Météo incidente annuelle' section displays 'Facteur de Transposition' as 0.98, 'Perte par rapport à l'optimum' as -1.8%, and 'Global sur plan capteurs' as 1958 kWh/m². Two graphs are shown: 'Année' (Annual) showing a curve of performance vs. inclination, and 'Orientation du plan' (Plan orientation) showing a flat line at 1.0 performance vs. orientation. The 'Annuler' and 'OK' buttons are at the bottom right.

- Système:

Sous-champ ?

Nom et orientation du sous-champ

Nom

Orient. **Plan incliné fixe**

Inclinaison **15°**

Azimut **0°**

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc ?

Redimens. ... ou surface disponible(modules) m²

Sélection du module PV

Disponibles Nbre modules maximum **99**

Depuis 2017

Utiliser optimiseur

Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) **32.6 V**

Vco (-10°C) **50.7 V**

Sélection de l'onduleur

Disponibles 50 Hz 60 Hz

Depuis 2006

Nbre d'onduleurs Tension de fonctionnement: **240-550 V** Puissance globale ond. **27.0 kWac**

Tension entrée maximale: **600 V**

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série entre 8 et 11

Nb. chaînes entre 9 et 11

Perte surpuissance **0.1 %**

Rapport Pnom **1.21** ?

Nbre modules 99 Surface 196 m²

Cond. de fonctionnement

Vmpp (60°C) 293 V

Vmpp (20°C) 349 V

Vco (-10°C) 456 V

Irradiance plan **1000 W/m²**

Impp (STC) 96.1 A

Isc (STC) 101 A

Isc (aux STC) 101 A

Max. données STC

Puiss. max. en fonctionnement (à 1000 W/m² et 50°C) **29.5 kW**

Puiss. nom. champ (STC) 32.7 kWc

- Stockage:

Système réseau avec gestion du stockage

Type de système - Stratégie de stockage
 Autoconsommation

Pack de batteries Autoconsommation

Définition du pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

Eternity 2 V 3069 Ah Pb Sealed Gel 24 OPzV-ET 3950 Solar

Pb-acide

16	<input type="checkbox"/> batteries en série	Nombre de batteries	16	Tension du pack batteries	32 V
1	<input checked="" type="checkbox"/> batteries en parallèle	Nombre d'éléments	16	Capacité globale (C10)	3069 Ah
100.0	% Etat d'usure initial (nb. de cycles)			Energie stockée (80% DOD)	78.6 kWh
100.0	% Etat d'usure initial (statique)			Poids total	3619 kg
				Nbre de cycles à 50 % DOD	2863
				Energie totale stockée durant la vie de la batterie	149.2 MWh

Température batterie en opération

Mode tempér. Température ambiante extérieure

La température est importante pour la durée de vie de la batterie
 Une augmentation de 10 °C diminue la durée de vie "statique" d'un facteur 2

Information système

PNom du champ PV 32.7 kWc
 Puissance max. de l'utilisateur 20.0 kW

Ce pack de batteries représente environ :

Durée de charge en plein soleil 2.4 heures
 Décharge sous consommation moyenne 3.9 heures
 Décharge sous consommation maximale 3.9 heures

Résumé du système

Annuler OK

Fiche technique des équipements choisis :

- Panneaux solaires polycristallins:

NEW

Preliminary Technical Information Sheet

CanadianSolar

KuDymond

HIGH EFFICIENCY POLY^{GEN 3} MODULE

CS3U-325 | 330 | 335 | 340P-FG

Canadian Solar's KuDymond CS3U-P-FG module is a high power double-glass module with industry leading cell technology and the innovative LIC (Low Internal Current) module technology.

The KuDymond poly modules can reach up to 340 W with the following unique features:

- **Higher** power classes for equivalent module sizes
- **High** module efficiency up to 17.14 %
- **LOW** hot spot temperature risk
- **LOW** temperature coefficient (Pmax): $-0.39\% / ^\circ\text{C}$
- **LOW** NMOT (Nominal Module Operating Temperature): $43 \pm 2\ ^\circ\text{C}$

More power output thanks to low NMOT: $43 \pm 2\ ^\circ\text{C}$

Low power loss in cell connection

Safer: lower hot spot temperature

Low BoS cost with 1500 V_{oc} system voltage

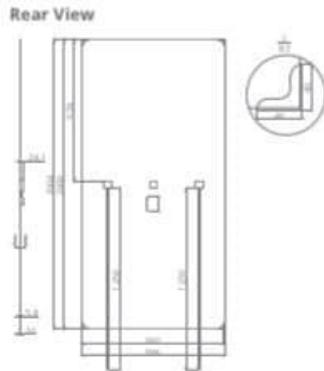
30 years linear power output warranty

10 years product warranty on materials and workmanship

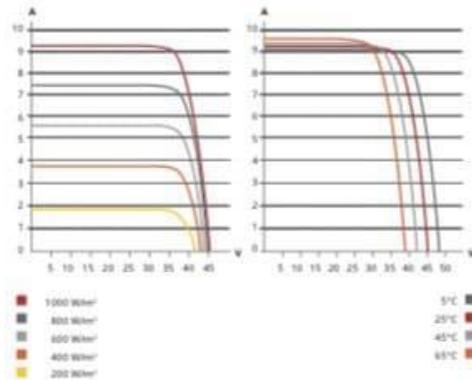
PRODUCT CERTIFICATES*
IEC 61215 / IEC 61730, 2005 & 2016; VDE / CE (Expected by mid-July, 2017)

* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3U-325P-FG / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3U	325P-FG	330P-FG	335P-FG	340P-FG
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W	340 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.8 V	38.0 V	38.2 V	38.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.60 A	8.69 A	8.77 A	8.86 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.3 V	45.5 V	45.7 V	45.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.20 A	9.28 A	9.36 A
Module Efficiency	16.38%	16.63%	16.89%	17.14%
Operating Temperature	-40°C – +85°C			
Max. System Voltage	1500 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	Type 3 / Type 13 (UL 1703) or CLASS A (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	30 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 – + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 156 × 78 mm
Cell Arrangement	144 (2 × (12 × 6))
Dimensions	2000 × 992 × 5.8 mm (78.7 × 39.1 × 0.23 in) without J-Box and corner protector
(Incl. corner protector)	2004 × 996 × 8.5 mm (78.9 × 39.2 × 0.33 in) without J-Box
Weight	29.0 kg (63.9 lbs)
Front / Back Glass	2.5 mm heat strengthened glass
Frame	Frameless
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1250 mm (49.2 in)
Connector	T4 series or UTX or MC4 series (1500 V), T4 series (1000 V)
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	660 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3U	325P-FG	330P-FG	335P-FG	340P-FG
Nominal Max. Power (Pmax)	237 W	240 W	244 W	248 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.5 V	34.7 V	34.9 V	35.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.87 A	6.92 A	7.00 A	7.07 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.9 V	42.1 V	42.3 V	42.5 V
Short Circuit Current (Isc)	7.38 A	7.44 A	7.51 A	7.57 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.39 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	43 ± 2 °C

PARTNER SECTION



The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC. May, 2017. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.545_EN
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

- Onduleurs

Product Specifications

Electrical Specifications	
Maximum AC power output	5000 W
AC output voltage (nominal)	240 Vac
AC output voltage range	211 - 264 Vac
AC frequency (nominal)	60 Hz
AC frequency range	59.3 - 60.5 Hz
Maximum continuous output current	23A
Current THD	< 2%
Power factor	> 0.9
DC input voltage range	235 - 600 Vdc
Peak power tracking voltage range	235-550 Vdc
Peak inverter efficiency	96.5%
CEC efficiency	95.5%
Night-time power consumption	1 W
Output over-current protection	15 A
Mechanical Specifications	
Operating temperature range	-13F to +149F (-25°C to +65°C)
Enclosure type	NEMA 3R
Unit weight	57.0 lbs (25.8 kg)
Shipping weight	60.0 lbs (27.2 kg)
Shipping dimensions (H x W x D)	34.1 x 20.4 x 10.3" (86.6 x 51.8 x 26.2 cm)
Inverter dimensions (H x W x D)	28.5 x 15.9 x 5.7" (75.5 x 40.3 x 14.6 cm)
Mounting	Wall mount (mounting bracket included)
Features	
PV/Utility disconnect	Eliminates need for external PV (DC) disconnect. Complies with NEC requirements.
Cooling	Convection cooled, no fan required.
Display	Backlit, 2-line, 16-character liquid crystal display indicates instantaneous power, daily and lifetime energy production, PV array voltage and current, utility voltage and frequency, time online "selling" today, fault messages. Installer, customizable screens
Communications	RS 232 and two Xanbus RJ45 ports
Wiring box	PV, utility, ground, and communications connections. Wiring box can be separated from the inverter.
Warranty	5-year parts (10-year extended warranty available)
Part number	864-0118
Options	
Positive grounding	Positive grounding configurations available for the GT2.5-NA-DS-240, GT3.3-NA-DS-240, and GT3.3-NA-DS-208 inverters

Product Manufacturer: Xantrex Technology Inc.

- Batteries:



Eternity TECHNOLOGIES

+971 724 33535
info@eternitytechnologies.com
www.eternitytechnologies.com

OPzV Solar Power

Eternity Technologies valve regulated lead-acid batteries for the solar power and renewable energy market. With an innovative Gel-Technology design Eternity Technologies OPzV batteries have a reliable maintenance-free and leakage-free construction.

N Part of our Network Power range

Features

- High energy density and cyclic performance
- Robust tubular positive electrode design, compliant with DIN 40742
- >1500 cycles at 80% D.O.D at 20°C (68°F)
- Low self discharge rate allows for up to 2 years shelf life
- Operating temperature -20°C to +55°C
- EUROBAT design life: Long Life > 12 years
- Fully recyclable with low CO₂ footprint

Applications

- Solar/ Wind Power Stations
- Traffic Systems
- Hydro Power Generation
- Off Grid Solutions
- Telecommunications/ Mobile Phone Stations
- Power Distribution Companies

ET/F001-1015

Compliant with IEC 60896-21/22/ IEC 61427

Cell specification

Cell Type	Plate (Ah)	Length (mm)	Width (mm)	Height over lid (mm)	Height over pillar (mm)	Typical max weight (kg)	Internal resistance (mOhm)	Short circuit current (A)	Capacity (Ah) C120 - 1.85V Cell at 20°C
4 OPzV-ET 280SOLAR	50	105	208	367	392	18.4	0.95	1650	274
5 OPzV-ET 350SOLAR	50	126	208	367	392	22.2	0.78	2100	345
6 OPzV-ET 400SOLAR	50	147	208	367	392	26.2	0.63	2550	405
5 OPzV-ET 500SOLAR	70	126	208	483.5	509	30.7	0.63	2800	500
6 OPzV-ET 600SOLAR	70	147	208	483.5	509	36.2	0.54	3400	599
7 OPzV-ET 700SOLAR	70	168	208	483.5	509	41.7	0.46	4050	695
6 OPzV-ET 900SOLAR	100	147	208	658	681	50.0	0.51	4350	890
8 OPzV-ET 1200SOLAR	100	212	193	657	682	66.3	0.39	4550	1178
10 OPzV-ET 1500SOLAR	100	212	235	659	684	81.7	0.33	6050	1484
12 OPzV-ET 1800SOLAR	100	212	277	658	683	97.0	0.28	7600	1783
12 OPzV-ET 2000SOLAR	125	212	277	809	834	111.9	0.25	8500	1940
16 OPzV-ET 2600SOLAR	125	215	400	784	809	155.6	0.21	10500	2595
20 OPzV-ET 3300SOLAR	125	214	489	782	807	190.1	0.16	13000	3274
22 OPzV-ET 3600SOLAR	125	214	578	784	809	216.14	0.13	14600	3601
24 OPzV-ET 3950SOLAR	125	214	578	784	809	226.2	0.11	16000	3928
26 OPzV-ET 4250SOLAR	125	214	578	784	809	236.0	0.11	17300	4255

Capacities C10 - C240

Cell Type U _e (100%) / VPC Ref Temp	C10 1.80 20°C	C24 1.80 20°C	C48 1.80 20°C	C72 1.80 20°C	C100 1.85 20°C	C120 1.85 20°C	C240 1.85 20°C
4 OPzV-ET 280SOLAR	214	244	255	270	266	274	282
5 OPzV-ET 350SOLAR	270	308	321	340	336	345	355
6 OPzV-ET 400SOLAR	316	360	376	398	394	405	417
5 OPzV-ET 500SOLAR	391	450	454	485	487	500	515
6 OPzV-ET 600SOLAR	468	538	543	580	583	599	617
7 OPzV-ET 700SOLAR	543	624	630	673	676	695	716
6 OPzV-ET 900SOLAR	696	745	800	870	866	890	917
8 OPzV-ET 1200SOLAR	821	985	1059	1151	1147	1178	1213
10 OPzV-ET 1500SOLAR	1159	1240	1333	1449	1444	1484	1529
12 OPzV-ET 1800SOLAR	1393	1491	1602	1741	1735	1783	1836
12 OPzV-ET 2000SOLAR	1516	1713	1895	1966	1904	1940	1998
16 OPzV-ET 2600SOLAR	2027	2270	2453	2574	2529	2595	2673
20 OPzV-ET 3300SOLAR	2558	2865	3095	3249	3192	3274	3372
22 OPzV-ET 3600SOLAR	2813	3151	3404	3573	3511	3601	3709
24 OPzV-ET 3950SOLAR	3069	3437	3713	3898	3830	3928	4046
26 OPzV-ET 4250SOLAR	3325	3791	4023	4223	4149	4255	4383

Horizontal installation possible up to 12 OPzV-ET 1800SOLAR VO option available

*For horizontal storage of cells larger than 12 OPzV-ET 1800SOLAR please contact Eternity Technologies

2- 2^{ème} scénario : Surface du bâtiment principal

- Orientation:

The screenshot shows a software window titled "Orientation, Variante 'Nouvelle variante de simulation'". The "Type de champ" is set to "Plan incliné fixe".

Paramètres du champ

- Inclinaison plan: 15.0 °
- Azimut: 0.0 °

Optimisation rapide

- Optimisation par rapport à:
 - Irradiation annuelle
 - Eté (Avr-Sept)
 - Hiver (Oct-Mars)

Météo incidente annuelle

- Facteur de Transposition: 0.98
- Perte par rapport à l'optimum: -1.8 %
- Global sur plan capteurs: 1958 kWh/m²

Two graphs are displayed:

- Inclin. 15°**: A diagram showing a blue line representing the panel's orientation relative to a horizontal axis.
- Azimut 0°**: A diagram showing a blue rectangle representing the panel's orientation relative to a horizontal axis labeled "Ouest" and "Est", with a vertical line labeled "Sud".

Two optimization graphs are shown:

- Année**: A graph of irradiation vs. "Inclinaison plan" (0 to 90 degrees). A green curve shows the irradiation, with a purple dot at approximately 15 degrees. A tooltip indicates "FTranspos. = 0.98" and "Perte/Opt. = -1.8 %".
- Orientation du plan**: A graph of irradiation vs. "Orientation du plan" (-90 to 90 degrees). A horizontal green line is shown at a value of 1.0, with a purple dot at 0 degrees.

Buttons at the bottom: "Annuler" (with a red X) and "OK" (with a green checkmark).

- Système:

Définition d'un système réseau, Variante VC0: "Nouvelle variante de simulation"

Sous-champ

Nom et orientation du sous-champ

Nom: Incinaison: **15°**
 Orient.: **Plan incliné fixe** Azimut: **0°**

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée: kWc
 Redimens. ... ou surface disponible(modules): m²

Sélection du module PV

Disponibles: Nbre modules maximum: **60**

Canadian Solar Inc. 330 Wp 32V Si-poly CS3U - 330P 1500V Depuis 2017 Manufacturer 2017

Utiliser optimiseur

Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) **32.6 V**
 Vco (-10°C) **50.7 V**

Sélection de l'onduleur

Disponibles: 50 Hz
 60 Hz

Zeversolar 17 kW 270 - 950 V TL 50/60 Hz Eversol TLC17K Depuis 2014

Nb. d'entrées MPPT: Tension de fonctionnement: **270-950 V** Puissance onduleur utilisée: **17.0 kWac**
 Utilise multi-MPPT Tension entrée maximale: **1000 V** **onduleur avec 2 MPPT**

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série: entre 9 et 19
 Nb. chaînes: entre 3 et 4

Perte surpuissance: **0.0 %**
 Rapport Pnom: **1.16**

Nbre modules: 60 **Surface: 119 m²**

Cond. de fonctionnement

Vmpp (60°C): 489 V
 Vmpp (20°C): 581 V
 Vco (-10°C): 760 V

Irradiance plan: **1000 W/m²**
 Imp (STC): 35.0 A
 Isc (STC): 36.8 A

Max. données STC
 Puiss. max. en fonctionnement (à 1000 W/m² et 50°C): **17.9 kW**

Isc (aux STC): 36.8 A **Puiss. nom. champ (STC): 19.8 kWc**

- Stockage:

Système réseau avec gestion du stockage

Type de système - Stratégie de stockage
 Autoconsommation

Autoconsommation

Pack de batteries Autoconsommation

Définition du pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

Rolls 8 V 681 Ah Pb Sealed Plates 8-CS-25PS

Pb-acide

8	<input type="checkbox"/> batteries en série	Nombre de batteries	8	Tension du pack batteries	64 V
1	<input checked="" type="checkbox"/> batteries en parallèle	Nombre d'éléments	32	Capacité globale (C10)	681 Ah
100.0	% Etat d'usure initial (nb. de cycles)			Energie stockée (80% DOD)	34.9 kWh
100.0	% Etat d'usure initial (statique)			Poids total	1072 kg
				Nbre de cycles à 50 % DOD	3200
				Energie totale stockée durant la vie de la batterie	77.4 MWh

Température batterie en opération

Mode tempér. Température ambiante extérieure

La température est importante pour la durée de vie de la batterie
 Une augmentation de 10 °C diminue la durée de vie "statique" d'un facteur 2

Information système

PNom du champ PV **19.80 kWc**
 Puissance max. de l'utilisateur **10.00 kW**

Ce pack de batteries représente environ :

- Durée de charge en plein soleil **1.8 heures**
- Décharge sous consommation moyenne **3.5 heures**
- Décharge sous consommation maximale **3.5 heures**

Résumé du système

Annuler OK

Fiche technique des équipements choisis :

- Panneaux solaires polycristallins:

NEW

Preliminary Technical Information Sheet

CanadianSolar

KuDymond

HIGH EFFICIENCY POLY^{GEN 3} MODULE

CS3U-325 | 330 | 335 | 340P-FG

Canadian Solar's KuDymond CS3U-P-FG module is a high power double-glass module with industry leading cell technology and the innovative LIC (Low Internal Current) module technology.

The KuDymond poly modules can reach up to 340 W with the following unique features:

- **Higher** power classes for equivalent module sizes
- **High** module efficiency up to 17.14 %
- **LOW** hot spot temperature risk
- **LOW** temperature coefficient (Pmax): -0.39 % / °C
- **LOW** NMOT (Nominal Module Operating Temperature): 43 ± 2 °C

More power output thanks to low NMOT: 43 ± 2 °C

Low power loss in cell connection

Safer: lower hot spot temperature

Low BoS cost with 1500 V_{DC} system voltage

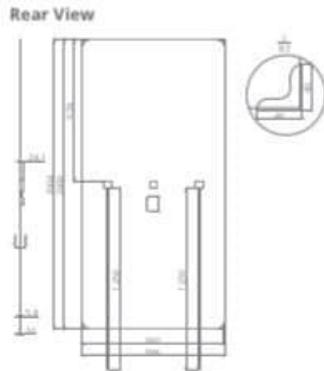
30 years linear power output warranty

10 years product warranty on materials and workmanship

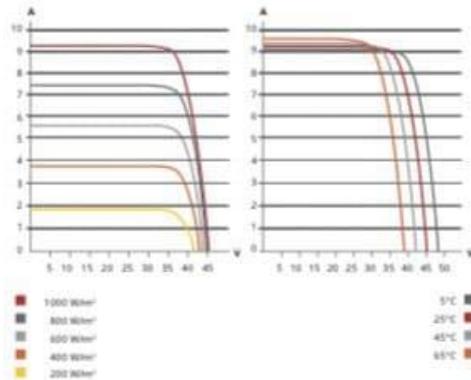
PRODUCT CERTIFICATES*
IEC 61215 / IEC 61730, 2005 & 2016; VDE / CE (Expected by mid-July, 2017)

* Please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific product certificates applicable in your market.

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3U-325P-FG / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS3U	325P-FG	330P-FG	335P-FG	340P-FG
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W	340 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.8 V	38.0 V	38.2 V	38.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.60 A	8.69 A	8.77 A	8.86 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.3 V	45.5 V	45.7 V	45.9 V
Short Circuit Current (Isc)	9.12 A	9.20 A	9.28 A	9.36 A
Module Efficiency	16.38%	16.63%	16.89%	17.14%
Operating Temperature	-40°C – +85°C			
Max. System Voltage	1500 V (IEC) or 1000 V (UL)			
Module Fire Performance	Type 3 / Type 13 (UL 1703) or CLASS A (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	30 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 – + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 156 × 78 mm
Cell Arrangement	144 [2 × (12 × 6)]
Dimensions	2000 × 992 × 5.8 mm (78.7 × 39.1 × 0.23 in) without J-Box and corner protector
(Incl. corner protector)	2004 × 996 × 8.5 mm (78.9 × 39.2 × 0.33 in) without J-Box
Weight	29.0 kg (63.9 lbs)
Front / Back Glass	2.5 mm heat strengthened glass
Frame	Frameless
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1250 mm (49.2 in)
Connector	T4 series or UTX or MC4 series (1500 V), T4 series (1000 V)
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	660 pieces

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS3U	325P-FG	330P-FG	335P-FG	340P-FG
Nominal Max. Power (Pmax)	237 W	240 W	244 W	248 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.5 V	34.7 V	34.9 V	35.1 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.87 A	6.92 A	7.00 A	7.07 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.9 V	42.1 V	42.3 V	42.5 V
Short Circuit Current (Isc)	7.38 A	7.44 A	7.51 A	7.57 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.39 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	43 ± 2 °C

PARTNER SECTION



The aforesaid datasheet only provides the general information on Canadian Solar products and, due to the on-going innovation and improvement, please always contact your local Canadian Solar sales representative for the updated information on specifications, key features and certification requirements of Canadian Solar products in your region.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC. May, 2017. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V5.545_EN
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

- Onduleurs:

Three-Phase String Inverters 15 kW to 20 kW

> Residential, Commercial, Solar Inverters



Eversol TLC Series

TLC15K/17K/20K

Introduction

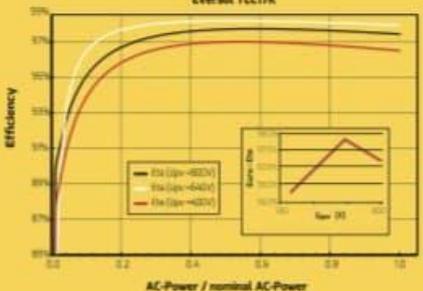
We believe that the world would be a better place if everybody had easy access to the cleanest energy. By creating simple, easy to use, affordable and reliable inverters we are revolutionizing access to solar power for businesses and large scale PV developers. Ideal for small commercial scale PV plants, our Eversol TLC three phase inverter.

Features

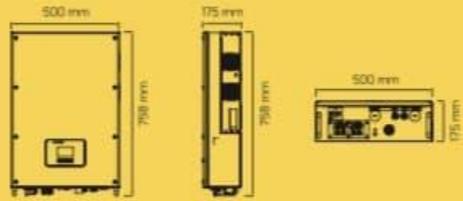
- Efficiency 98.3%
- Max. input voltage 1000V
- Graphical display
- Multiple Maximum Powerpoint Tracking
- IP65 protection class
- RS485 and Modbus RTU communications
- Grid management functions via ZeverCom, ZeverCom WiFi or ZeverManager
- Easy handling for installation and maintenance

Conversion efficiency

Eversol TLC17K



Dimensions



BANGSU ZEVSOLAR NEW ENERGY CO., LTD.
 No.798 Xiangying Road, Suzhou 215011, China • ☎ +86 512 6937 0998 • 📠 +86 512 6937 3169
 Sales: info@zeversolar.net

For contact information in your region please visit www.zeversolar.com



Three-Phase String Inverters 15 kW to 20 kW

Technical data	Eversol TLC15K	Eversol TLC17K	Eversol TLC20K
Input (DC)			
DC convertible power (@cosφ=1)	17250W	19520W	21000W
Max. input voltage		1000V	
MPP voltage range / rated input voltage		270-950V / 640V	
Min. start voltage		250V	
Min. feed-in power		12W	
Max. input current per MPPT		22A / 22A	
Number of MPPTs		2	
Number of independent MPPT inputs		2 / 2	
Output (AC)			
Rated active power	15000W	17000W	20000W
Max. apparent AC power	16500VA	18700VA	20000VA
Nominal AC voltage		3/N/PE, 220/380V, 230/400V, 240/415V	
Nominal AC voltage range (line to line)		277-520V	
AC power frequency / range		50,60 / ±5Hz	
Rated power frequency / rated grid voltage		50Hz / 230V	
Max. output current	3 x 24A	3 x 25,6A	3 x 30A
Power factor (@rated power)		> 0.99	
Adjustable displacement power factor		0.85 inductive ... 0.85 capacitive	
Feed-in phases / connection phases		3 / 3	
Harmonic distortion (THD) at rated output		< 3%	
Efficiency			
Max. efficiency / European weighted efficiency		98.2% / 97.9%	
MPPT efficiency		99.50%	
Protective devices			
DC isolator		-	
PV iso / Grid monitoring		• / •	
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability		• / •	
GFD function		•	
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)		1 / 1 (DC), II (AC)	
General data			
Interfaces: RS485 / RS485 ¹⁾ & Ethernet & WPI & a RJ45 ²⁾ (DREI)		• / -	
Earth Fault Alarm ³⁾		cloud based, audible and visible	
Display		graphical LCD	
Dimensions (W x H x D)		500 x 758 x 175mm	
Weight		43kg	
Cooling concept		fan cooling	
Noise emission (typical)		< 60 dB(A)@1m	
Installation		indoor & outdoor	
Mounting information		wall mounting bracket	
DC connection technology		SUNCLII	
AC connection technology		plug-in	
Operating temperature range		-25°C ... +60°C / -13°F ... +140°F	
Relative humidity (non-condensing)		0% ... 100%	
Max. operating altitude		2000m	
Degree of protection (according to IEC 60529)		IP55 (fans), IP65 (others)	
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)		4E4H	
Topology		transformerless	
Self-consumption (night)		< 1W	
Standby power		< 12W	

• standard / - optional / - not available
 1) For connection to approved smart meters in zero export installations.
 2) Avoid GND interface to DREI in Australia & New Zealand.
 3) Selectable in SmartCloud, audible alarm will only be activated in 454777 setting.

As of August 2016 / Technical data is subject to revisions.

- Batteries:

Rolls

FLOODED DEEP CYCLE BATTERIES

8 CS 25P



CONTAINER: (INNER)	Polypropylene	WEIGHT DRY:	155 kg	342 Lbs.
COVER: (INNER)	Polypropylene - heat sealed to inner container	WEIGHT WET:	192 kg	424 Lbs.
CONTAINER: (OUTER)	High Density Polyethylene	LENGTH:	718 mm	28 1/4 Inches
COVER: (OUTER)	High Density Polyethylene snap fit to outer container	WIDTH:	286 mm	11 1/4 Inches
TERMINALS:	Flag with stainless steel nuts & bolts	HEIGHT:	464 mm	18 1/4 Inches
HANDLES:	Molded			

8 VOLTS

PLATE HEIGHT:	273 mm	10.750 Inches
PLATE WIDTH:	143 mm	5.625 Inches
THICKNESS (POSITIVE):	6.60 mm	0.260 Inches
THICKNESS (NEGATIVE):	4.57 mm	0.180 Inches

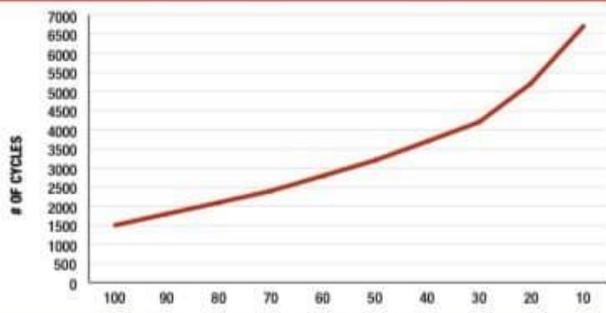
POSITIVE PLATE DOUBLE WRAPPED WITH SLAYER
ENVELOPED WITH HEAVY DUTY SEPARATOR

COLD CRANK AMPS (CCA):	0°F / -17.8°C	2184
MARINE CRANK AMPS (MCA):	32°F / 0°C	2510
RESERVE CAPACITY (RC @ 25A):		1624 Minutes

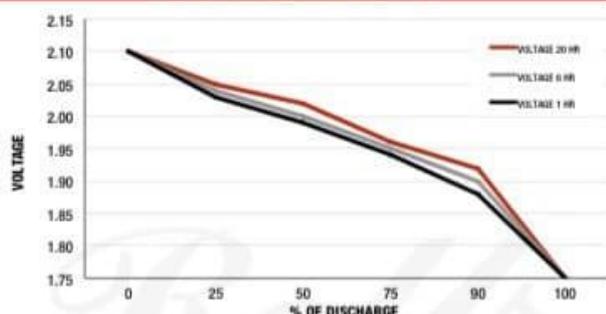


CELLS:	25 Plates/Cell	4 Cell
SEPARATOR THICKNESS:	3 mm	0.105 Inches
GLASS MAT INSULATION:	1 mm	0.020 Inches
ELECTROLYTE RESERVE ABOVE PLATES	96 mm	3.75 Inches

CYCLE LIFE VS. DEPTH OF DISCHARGE



VOLTAGE VS. DEPTH OF DISCHARGE



CAPACITY 820 AH

HOURLY RATE:	SPECIFIC GRAVITY	CAPACITY / AMP HOUR	CURRENT / AMPS
@ 100 HOUR RATE	1.280	1156	11.56
@ 72 HOUR RATE	1.280	1091	15.15
@ 50 HOUR RATE	1.280	1009	20.17
@ 24 HOUR RATE	1.280	853	35.53
@ 20 HOUR RATE	1.280	820	41.00
@ 15 HOUR RATE	1.280	763	50.84
@ 12 HOUR RATE	1.280	713	59.45
@ 10 HOUR RATE	1.280	681	68.06
@ 8 HOUR RATE	1.280	640	79.95
@ 6 HOUR RATE	1.280	582	97.03
@ 5 HOUR RATE	1.280	549	109.88
@ 4 HOUR RATE	1.280	508	127.10
@ 3 HOUR RATE	1.280	459	153.07
@ 2 HOUR RATE	1.280	394	196.80
@ 1 HOUR RATE	1.280	279	278.80

Ampere Hour capacity ratings based on specific gravities of 1.280. Reduce capacities 5% for 1.265 specific gravity and 10% for specific gravities of 1.250

WWW.ROLLSBATTERY.COM SURRETTE BATTERY COMPANY 1 STATION RD SPRINGHILL, NS CANADA B0M 1X0

SPEC 01 1/1/2014 REV. 1

- Régulateur de charge:

SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES																																						
<p>Électrique</p> <ul style="list-style-type: none"> Courant nominal solaire, de charge ou de dérivation <table border="0"> <tr> <td>TriStar-45</td> <td>45A</td> </tr> <tr> <td>TriStar-60</td> <td>60A</td> </tr> </table> Tension du circuit 12-48V Précision en <table border="0"> <tr> <td>12/24V</td> <td>≤0,1% ±50mV</td> </tr> <tr> <td>en 48V</td> <td>≤0,1% ±100mV</td> </tr> </table> Tension minimale de fonctionnement 9V Tension solaire maximale (Voc) 125V Consommation <table border="0"> <tr> <td>Régulateur</td> <td><20mA</td> </tr> <tr> <td>Compteur</td> <td>7,5mA</td> </tr> </table> <p>Mécanique</p> <ul style="list-style-type: none"> Dimensions <table border="0"> <tr> <td>Hauteur:</td> <td>26,0cm/10,3 po</td> </tr> <tr> <td>Largeur:</td> <td>12,7cm/5,0 po</td> </tr> <tr> <td>Profondeur:</td> <td>7,1cm/2,8 po</td> </tr> </table> Poids 1,6 kg/3,5 lb Fil de plus gros calibre 35mm²/2 AWG Pastilles excentriques 2,5/3,2 cm défonçables (1,0/1,25 po) Enceinte Type 1, pour utilisation à l'intérieur 	TriStar-45	45A	TriStar-60	60A	12/24V	≤0,1% ±50mV	en 48V	≤0,1% ±100mV	Régulateur	<20mA	Compteur	7,5mA	Hauteur:	26,0cm/10,3 po	Largeur:	12,7cm/5,0 po	Profondeur:	7,1cm/2,8 po	<p>Écologique</p> <ul style="list-style-type: none"> Température ambiante de fonctionnement <table border="0"> <tr> <td>Régulateur</td> <td>-40°C à +60°C</td> </tr> <tr> <td>Compteur</td> <td>-40°C à +60°C</td> </tr> </table> Température d'entreposage -55°C à +85°C Humidité 100% (sans condensation) Tropicalisation Revêtement enrobant sur les deux faces de toutes les cartes de circuits imprimés <p>Protections électroniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Protection contre l'inversion de polarité (toute combinaison) Protection contre les court-circuits Protection contre les surintensités Protection contre la foudre et les surtensions transitoires par suppresseurs de tension transitoire de 4500 W Protection contre les hautes températures par réduction automatique du courant ou arrêt complet Empêche la fuite de courant inverse de la batterie la nuit 	Régulateur	-40°C à +60°C	Compteur	-40°C à +60°C	<p>Options</p> <ul style="list-style-type: none"> Compteur TriStar — Affichage 2 x 16, se fixe au régulateur et fournit de l'information sur le circuit et sur le régulateur, enregistrement chronologique des données, diagrammes à barres, choix de 5 langues <table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>13,5v</td> <td>25c</td> <td>12,3A</td> <td>V</td> <td>14,4 V</td> <td>1135</td> <td>7Ah</td> </tr> <tr> <td>1234,5Ah</td> <td>ENTRETIEN</td> <td>A</td> <td></td> <td>12,3 V</td> <td>11,3</td> <td>kWh</td> </tr> </table> Compteur de télémesure TriStar — Comprend 30 m de câble pour le montage due compteur à distance du régulateur Sonde thermique à distance — Assure la charge stabilisée en température en mesurant la température de la batterie (câble de 10 m) <p>Certifications</p> <ul style="list-style-type: none"> Conforme aux normes de la C.E. Homologué ETL (UL 1741) cETL (CSA-C22.2 No.107.1-95) TUV (IEC 62109-1) Conforme au National Electric Code des É.-U. Fabriqué dans un établissement agréé ISO 9001 MET Labs (EN 60335-1, EN 60335-2-29) 	13,5v	25c	12,3A	V	14,4 V	1135	7Ah	1234,5Ah	ENTRETIEN	A		12,3 V	11,3	kWh
TriStar-45	45A																																					
TriStar-60	60A																																					
12/24V	≤0,1% ±50mV																																					
en 48V	≤0,1% ±100mV																																					
Régulateur	<20mA																																					
Compteur	7,5mA																																					
Hauteur:	26,0cm/10,3 po																																					
Largeur:	12,7cm/5,0 po																																					
Profondeur:	7,1cm/2,8 po																																					
Régulateur	-40°C à +60°C																																					
Compteur	-40°C à +60°C																																					
13,5v	25c	12,3A	V	14,4 V	1135	7Ah																																
1234,5Ah	ENTRETIEN	A		12,3 V	11,3	kWh																																
<p>GARANTIE: période de garantie de cinq ans . Contactez Morningstar ou votre distributeur agréé pour les termes complets .</p>																																						
<p>Revision: 4/2016.FR Control no. MS-001806 Copyright 2016 www.morningstarcorp.com</p>																																						

- Disjoncteur de coupure

Caractéristiques produits: tétrapolaires 400 V~pour peigne hx³ optimisé tétrapolaire réf. 4 052 00/01/02type acvis/auto: sensibilité: 300 main: 40 A nombre de modules: 7 caractéristiques généraux disjoncteurs différentiels monoblocs dx³ 6000 - 10 ka - courbe C - protection tête de groupement.

Informations générales sur le produit

Marque	LEGRAND
Nom du produit	disjoncteur différentiel legrand dx3 40a courbe c
Catégorie	DISJONCTEUR
Référence	8610

- Multicluster box 6.3-11 Sunny Island

La puissance du distributeur principal AC pour les systèmes Sunny Island a été augmentée de 20%. Cela permet aux systèmes hors réseau et hybrides dans les plages de puissance de 20 à 300 kW d'être mis en œuvre de manière encore plus rentable. Les coûts spécifiques pour l'ensemble du système sont réduits grâce à une puissance PV maximale de 360 kW et à la capacité de conception flexible du Sunny Island 6.0H / 8.0H. Sur la base d'une technologie éprouvée, 2 à 12 clusters triphasés, chacun composé de 3 onduleurs Sunny Island, peuvent être connectés en parallèle. Pour simplifier l'installation, toutes les Multicluster Box sont entièrement câblées et montées en usine et disposent d'un connecteur principal pour les générateurs, la répartition de la charge et les systèmes photovoltaïques ou éoliens. Tous les câbles de données nécessaires à l'installation sont inclus dans la livraison. Avec la solution Multicluster pour Sunny Island, vous avez vraiment pensé à tout. Même les solutions d'approvisionnement en énergie complexes sont faciles à mettre en œuvre.

Souple

- > Trois classes de puissance différentes, de 20 kW à 300 kW
- > Différents générateurs, PV et grandeurs de charge

Facile

- > Distribution AC intégrée pour Sunny Island, générateur, PV
- > Contacteur de délestage intégré

Sûr

- > Bypass automatique pour le générateur PV
- > Anti-flotage actif
- > Surveillance du courant inverse

Robuste

- > Indice de protection élevé IP65
(MC-Box-6.3-11)
- > Indice de protection élevé IP54
(MC-Box-12.3 / MC-Box-36.3-11)
- > Garantie SMA de 5 ans

Plus d'information:

- > Fiche technique SMA Multicuster-Box-6.3
- > Manuel d'utilisation de la SMA Multicuster-Box-6.3
- > SMA Multicuster-Box-6.3 Mode d'emploi
- > Garantie SMA Multicuster-Box-6.3

- Câbles 6 mm², 10 mm² et 25 mm²

Description du fil 10mm² vert/jaune :

o **gamme de fil :**

- o Type de la série : Harmonisée (H)
- o Type tension : 450/750 V (07)
- o Enveloppe isolante : PVC (V)
- o Type de câble : Rigide, massif (R)
- o Température maximale à l'âme : 70°C en permanence, 160°C en court-circuit
- o Classe 2 câblée selon NF C 32-013 ou HD 383 ou CEI 60 228

o **Conditions d'utilisation :**

- o Adapté pour le câblage de la barette de terre au tableau électrique
- o Utilisation jusqu'à 60A
- o Destiné à l'équipement des installations domestiques, logements ou bureaux
- o Convient pour des installations fixes et protégées, dans des dispositifs d'éclairage et de commande
- o Tensions jusqu'à 1000V en courant alternatif ou jusqu'à 750V en courant continu à la terre

Caractéristiques techniques

- **Données technique sur le fil vert/jaune de 16mm² :**
 - Matériau Ame : Métal cuivre nu
 - Matériau isolation : PVC
 - Couleur : vert/jaune
 - Section : 10 mm²
- **Dimensions et poids :**
 - Poids : 0,110 kg par mètre
 - Couleur : Vert/jaune
- **Conformité et protection :**
 - NF C 32-013
 - HD 383
 - CEI 60 228

Caractéristiques :

- **Section** 25mm²
- **Nombre de conducteurs** 1
- **Tension** 450/750V
- **Conditionnement** Couronne
- **Ame (constitution)** Cuivre nu câblé- classe 2
- **Comportement au feu** NFC 32-070 2.1 cat. C2
- **Température de fonctionnement** -5/+70°C
- **Isolation** PVC
- **Diamètre ext approximatif (mm)** 9,7
- **Masse du cuivre (kg/km)** 240
- **Poids approximatif (Kg/Km)** 268
- **Couleur de gaine** ROUGE

Fiche technique

Fils

Type de fil	HO7V-R
Rigide / Souple	Rigide
Couleur	Rouge
Section	25 mm ²
Conditionnement	Couronne 100m

Annexe_4: Lampes économes de 20 W

- Lampes OSRAM

Détails du produit	
	
OSRAM tube LED G13 150cm SubstiTUBE 20W 4 000K	
Référence	7262685
Fabricant	OSRAM
Température de couleur	blanc neutre (4 000 K)
Culot	G13
Classe d'efficacité énergétique	A+
Flux lumineux total	2 200
Puissance absorbée	20,0 W
Durée de vie moyenne (en h)	30000
Valeur comparative (en W)	58
Teneur en mercure (en mg Hg)	0.00
Rendu des couleurs (en Ra)	80
Consommation énergétique en kwh/1 000 heures	20.00
Longueur (en cm)	151,3
Diamètre (en cm)	2,6
Flux lumineux par ampoule (en Lumen)	2200 lm

- Lampes PHILIPS

Fiche produit	
Type de produit	Tube LED
Série	Philips CorePro LEDlamps
Caractéristiques de l'ampoule	
Culot	G13
Finition	Enveloppe enduite
Forme de l'ampoule	Tubulaire
Informations écoresponsables	
Propriétés écologiques	Longue durée de vie
Consommation énergétique	
Classe énergétique	A
Consommation d'énergie	20 kWh/1000h
Caractéristiques électriques	
Puissance	20 W
Tension	230 V
Données photométriques	
Couleur de lumière	Blanc neutre
Température de couleur	4 000 K
Flux lumineux	1 600 lumens
Indice de rendu de couleur (Ra)	80 Ra
Autres caractéristiques	
Durée de vie	30 000 h
Dimensions & Poids	
Diamètre	27 mm
Longueur	1 200 mm

- Lampes SYLVANIA

Spécifications techniques 	
EAN	5410288282886
Durée ampoule	40000
Type d'ampoule	G13
Marque	Sylvania
Référence fournisseur	28288
Tension (V)	240
Puissance (W)	20
Lumens	2000
Longueur (mm)	1200
Largeur (mm)	28
Hauteur (mm)	28
Poids (g)	208
Garantie (année)	2
Température de couleur (K)	6500
Technologie	LED
Classe énergétique	A+
Forme de l'ampoule	Buis
Dimmable	Nee