



EFFICACITE ENERGETIQUE DES BATIMENTS : ANALYSE DES POTENTIALITES DU BATIMENT DE LA SONABEL ZAD.

Mémoire pour l'obtention du
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : électricité

Présenté et soutenu publiquement le 03 Novembre 2016 par

Ariane Gwladys BADO

Travaux dirigés par :

M. Abdoulaye SAWADOGO

Ingénieur Génie Industriel, Chef du
Département Ingénierie des Projets
d'Investissement. (SONABEL).

Maître de stage

M. Henri KOTTIN

Ingénieur, Enseignant-Chercheur 2iE /
Laboratoire d'Energie Solaire et d'Economie
d'Energie (LESEE).

Encadreur

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Yézouma COULIBALY

Membres et correcteurs : Dr. Ahmed BAGRE

Ing. Henri KOTTIN

Promotion [2014/2015]



Dédicace

Au créateur ineffable, source de lumière et de sagesse

A mes mères

BADO Elisabeth & TRAORE Delphine qui ne cessent de
prier pour moi.



Citation

L'ambition, c'est la richesse des pauvres.

Marcel Pagnol



Remerciements

Mes remerciements vont à l'endroit de :

Mes parents

Mes frères et sœurs

A Mr KOTTIN pour ses conseils et le temps consacré à mon travail au sein de l'Institut.

A Mr SAWADOGO, Mr NANA, Mr OUEDRAOGO et à tout le personnel du DEPE SONABEL pour leur encouragement permanent.

Un merci particulier à Mr DAHOURO et à Mr YIELKOUNI pour leur aide dans la recherche de données.

A la famille KABORE pour leur aide tout au long de mon travail.



Résumé

L'efficacité énergétique vise à réduire les dépenses en énergie tout en maintenant une qualité de service identique, voir une amélioration pour l'utilisateur.

Cette étude porte sur l'optimisation de la consommation du bâtiment R+2 existant de la SONABEL ZAD. Sa consommation énergétique est excessive selon le code de qualité énergétique ivoirien. [6]. En effet, le bâtiment a une consommation annuelle de 470 907 kWh avec un indice de consommation de 232 kWh/m²/an.

La réduction de la consommation se fera à travers les axes suivants : l'éclairage ; la bureautique ; la climatisation ; l'étude de la facture et les habitudes des occupants.

Après l'application des mesures d'économie d'énergie, la nouvelle consommation annuelle du bâtiment de la ZAD est de 231 360 kWh avec un indice de 114 kWh/m²/an. Ce qui rendra sa consommation acceptable. La réduction globale de la consommation représente 51% de la consommation initiale.

Une centrale photovoltaïque sera également dimensionnée à titre d'apport d'énergie renouvelable. Les simulations du logiciel HOMER prévoient une production annuelle photovoltaïque de 90 506 kWh.

Le coût d'investissement global du projet est estimé à 133 369 324 francs CFA. Les économies seront d'une valeur de 35 975 736 francs CFA/an pour un retour sur investissement de 3,71 ans.

Mots Clés :

1. Efficacité énergétique
2. Bâtiment
3. Audit
4. RO
5. Photovoltaïque



Abstract

Energy efficiency aims to reduce users' needs in energies without a reduction of their comfort, or it's improvement in a better way.

This study deals with the consumption's optimization of the existing ground+2 building of SONABEL ZAD. Its energy consumption is abusive according to the Ivorian energy quality code. [6]. The building has an annual consumption of 470 907 kWh with an index consumption of 232 kWh/m²/year.

The consumption reduction will occur through the following points: lighting; office automation; air conditioning; electricity bill study and occupant's habits

After the application of the economic measures, the new annual consumption of ZAD building is 231 360 kWh with an index of 114 kWh/m²/year. Those make its consumption acceptable. The global reduction of the consumption is about 51% of the initial consumption.

A photovoltaic system will be calculated as a renewable energy supply. The software HOMER simulations foresees an annual photovoltaic production of 90 506 kWh.

The global investment of the project is around 133 369 324 francs CFA. The savings will be annually about 35 975 736 francs with a return on investment time of 3.71 years.

Key words:

1. Energy Efficiency
2. Building
3. Audit
4. RO
5. Photovoltaic



Liste des abréviations

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (France)

COP : Coefficient de Performance

DPE : Diagnostic de Performance Energétique

EER: Ratio d'Efficacité Energétique en Climatisation

EMOY : Eclairage moyen

G. E. : Groupe Electrogène

Grid : Réseau SONABEL

HTA : Haute Tension A

ICE : Indice de Consommation d'Energie.

IR_{C02} : Indice de Rejet de dioxyde de carbone.

kWh: kilowattheure

LED : Diode Electroluminescente

MW: mégawatheure

PV : photovoltaïque

RO : Rapport de consommation d'électricité.

STC : Standard Test Conditions

SONABEL : Société National Burkinabé d'Electricité.

Wc : Watt crête



SOMMAIRE

CONTENU

<i>I. PRESENTATION DE LA SOCIETE :</i>	3
1. Cadre institutionnel du secteur de l'électricité	3
2. La SONABEL	4
La SONABEL, acteur du sous-secteur	4
Missions de la SONABEL	4
Organisation de la SONABEL	5
Présentation de la Direction des Etudes, de la Planification et des Equipements (DEPE)	6
Missions du Département Ingénierie des Projets d'Investissement (DIPI).	6
<i>II. NOTION D'EFFICACITE ENERGETIQUE :</i>	8
<i>III. GENERALITES SUR LE THEME.</i>	10
1. Contexte	10
2. Problématique	10
3. Les objectifs	10
4. Méthodes et Matériels	11
<i>I. AUDIT ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT.</i>	13
1. présentation du bâtiment :	13
2. Pré-diagnostic :	14
3. Audit du bâtiment	17
3.1. Audit sur la climatisation	17
3.2. Audit de l'éclairage	18
3.3. Audit sur la bureautique	18
3.4. Etat de la consommation	19
<i>II. LES SOLUTIONS DE RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION.</i>	23
1. L'efficacité énergétique passive	23
1.1. Structure du bâtiment	23
1.2. L'éclairage.	23
1.3. La bureautique.	25
1.4. La climatisation.	26



2.	L'efficacité énergétique active	27
2.1.	Analyse de la facture et optimisation tarifaire	27
2.2.	Les habitudes des occupants.	30
3.	Récapitulatifs des solutions d'économie d'énergie	32
<i>I.</i>	<i>Les énergies renouvelables du Burkina</i>	<i>34</i>
1.	Energie du vent.....	34
2.	Energie hydraulique	34
3.	Energie solaire	34
<i>II.</i>	<i>Conception d'un champ photovoltaïque</i>	<i>37</i>
1.	Conditions d'installation d'un champs photovoltaïque.	37
2.	Dimensionnement du système.....	38
3.	Intégration au système du bâtiment	47
4.	Récapitulatif de la production photovoltaïque	48
<i>I.</i>	<i>CONCEPTION ET ANALYSE DES DIFFÉRENTS SCENARII D'ALIMENTATION DU BATIMENT</i>	<i>49</i>
1.	le prix du kWh.....	51
2.	la continuité de service	51
3.	les émissions de GES.....	51
4.	Evaluation globale des configurations.....	51
<i>II.</i>	<i>ANALYSE DES LIMITES ÉVENTUELLES DES PROPOSITIONS POUR RÉPLICATION À D'AUTRES</i>	
	<i>BÂTIMENTS52</i>	
1.	Les limites de l'Audit du bâtiment.....	52
2.	les limites de la production photovoltaïque.....	52
<i>III.</i>	<i>ÉTAT FINANCIER</i>	<i>53</i>
<i>IV.</i>	<i>IMPACT ENVIRONNEMENTALE</i>	<i>54</i>
<i>V.</i>	<i>IMPACT ECONOMIQUE ET SOCIAL.....</i>	<i>55</i>
1.	Recommandations.....	57
5.	Perspectives.....	57



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Valeurs indicatives de quelques indices de consommation de bâtiments climatisés en climat tropical humide ICE (en kWh/m ² /an)[6]	9
Tableau 2: résultats d'évaluation de l'éclairage	18
Tableau 3: valeurs des temps de consommation des équipements	19
Tableau 4: récapitulatif de la consommation annuelle du bâtiment de la ZAD	20
Tableau 5: Etat de la facture du bâtiment	22
Tableau 6: récapitulatif des éclairages des bureaux	24
Tableau 7: récapitulatif des solutions d'éclairage	25
Tableau 8 : Fiche de méthode simplifiée de calcul de charge de climatisation (YORK)[12]	26
Tableau 9:Récapitulatif des solutions de climatisation.....	27
Tableau 10 : répartition des tranches horaire dans la journée.....	28
Tableau 11: Etat de la facture optimisée.....	29
Tableau 12:Récapitulatif des mesures des occupants	31
Tableau 13: Récapitulatif de l'audit énergétique du bâtiment.....	33
Tableau 14: avantages et inconvénients des énergies renouvelables du Burkina Faso ..	36
Tableau 15: Calcul des chutes de tension.	42
Tableau 16 : Récapitulatif des chutes de tension AC	44
Tableau 17: Conditions d'installation des parafoudres DC (UTE C 15-712-1).....	46
Tableau 18: récapitulatif du système photovoltaïque.....	48
Tableau 19:Hypothèses de la simulation HOMER.....	50
Tableau 20: Résultats de la simulation HOMER.....	50
Tableau 21: Récapitulatif des notes des configurations suivant les critères	51
Tableau 22: classement des solutions selon l'investissement requis.....	53
Tableau 23: classement des solutions selon le temps de retour sur investissement	53



LISTE DES FIGURES ET PHOTOGRAPHIES

Figure 1: organigramme de la SONABEL	5
Figure 2: organigramme de la DEPE	8
Figure 3: étiquettes consommation d'énergie et d'émission de gaz à effet de serre du DPE [7].....	9
Figure 4:démarche générale de maîtrise énergétique. [8].....	11
Figure 5: Schéma de distribution du bâtiment.	15
Figure 6:Profil de la consommation au fil des années.	15
Figure 7 : répartition des consommations d'énergie avant audit	20
Figure 8: Evolution de la consommation	32
Figure 9: carte d'ensoleillement du Burkina Faso.....	35
Figure 10: Vue de dessus du bâtiment portant les panneaux photovoltaïques	38
Figure 11: courbes des besoins horaires et de la production photovoltaïque horaire	39
Figure 12: tableau de compatibilité des panneaux avec l'onduleur	40
Figure 13: synoptique simplifiée du système PV	41
Figure 14: Synoptique du système PV	45
Figure 15: évolution de la facture cumulée sur les 25 ans.....	54
photographie 1:Aile ouest du bâtiment de la ZAD	13
photographie 2:Aile est du bâtiment de la ZAD.	14
photographie 3: climatiseurs fenêtres du bâtiment.	18



INTRODUCTION

L'accès à l'énergie est connu comme l'un des principaux freins au développement des pays subsahariens. [1]. Face à la crise énergétique, l'augmentation du coût des énergies et le réchauffement climatique, il est important de trouver des perspectives d'une réorientation énergétique qui respecte l'homme et l'environnement. Gilles CARBONNIER et Jacques GRINEVALD soutiennent que dans les grands centres urbains des pays en voie de développement, l'un des défis consiste à réduire l'intensité de la consommation d'énergie. [2]

Au Burkina Faso, dans les centres urbains et dans la plupart des zones rurales, l'électricité est distribuée exclusivement par la Société Nationale d'Électricité du Burkina (SONABEL). Cependant, force est de constater que la SONABEL éprouve des difficultés à satisfaire la demande. En 2016 par exemple, le déficit en période de pointe était de 91 MW. Dans ce contexte, la société cherche en permanence des solutions pour réduire ce déficit, en diminuant par exemple sa propre consommation d'électricité.

Le Ministère de l'Énergie, des Mines et des Carrières est chargé du développement énergétique au Burkina Faso. Les actions d'efficacité énergétique sont assurées par la Direction Générale de l'Efficacité Énergétique. A la suite du « contrat plan » entre l'Etat et la SONABEL [3], cette dernière désire se tourner vers l'efficacité énergétique dans les bâtiments.

En outre, la valorisation des énergies propres et renouvelables est un véritable atout pour les pays en voie de développement. Avec son fort potentiel solaire, qui est peu exploité, la production photovoltaïque offre la solution idéale pour le développement du réseau électrique du pays. Le photovoltaïque se caractérise par une absence d'émission de gaz à effet de serre et un faible coût de maintenance à l'inverse de la production thermique.

De même, le plan Afrique 2020 de la Banque Africaine de Développement (BAD), lancé en avril 2010 visait à faire du solaire photovoltaïque le « nouveau moteur de développement économique ». [4]. La SONABEL, en tant que société productrice d'énergie électrique se doit d'être un exemple, un promoteur du photovoltaïque.



C'est dans cette optique qu'il a été suggéré de réaliser une étude sur les bâtiments administratifs de la SONABEL. Dans notre cas il s'agira du bâtiment de la SONABEL ZAD.

L'étude débute par la réalisation d'un audit énergétique dans le but de déterminer la consommation et la qualité énergétique du bâtiment. Par la suite, il est question de suggérer des solutions afin de réduire la consommation du bâtiment. Pour appuyer la réduction de la consommation, il est envisagé le dimensionnement d'un champ photovoltaïque sur la toiture de la SONABEL ZAD. Et enfin, il sera fait une analyse technique, financière et sociale des travaux.



PARTIE I : GENERALITES

I. PRESENTATION DE LA SOCIETE :

La présente étude se déroule sous la tutelle de la SONABEL.

1. CADRE INSTITUTIONNEL DU SECTEUR DE L'ELECTRICITE

Le sous-secteur de l'électricité au Burkina Faso est règlementé par la loi n° 053-2012/AN du 17 Décembre 2012. Elle a pour objectif d'assurer un approvisionnement efficace, suffisant et pérenne du Burkina Faso en énergie électrique afin de promouvoir le développement socio-économique durable du pays.

Les acteurs du sous-secteur de l'électricité sont :

- Le Gouvernement ou l'Etat (Ministère de l'Energie)
- L'Autorité de régulation du sous-secteur de l'électricité (ARSE)
- La Société nationale d'électricité du Burkina (SONABEL)
- Le Fonds de développement de l'électrification (FDE)
- Les personnes physiques ou morales auxquelles le service public de l'électricité est délégué
- Les personnes physiques ou morales titulaires d'une licence, d'une concession, d'une autorisation ou soumises à l'obligation de déclaration conformément aux dispositions de la loi citée ci-dessus.
- Les collectivités territoriales.



2. LA SONABEL

La SONABEL, acteur du sous-secteur

Dans le sous-secteur de l'électricité, la SONABEL est une structure chargée de produire, transporter et de distribuer de l'électricité dans le premier segment du territoire.

Le premier segment est défini comme l'ensemble des périmètres gérés par la SONABEL. Le transport et la distribution de l'électricité dans le premier segment du sous-secteur de l'électricité relèvent du monopole accordé à la SONABEL, cependant la production d'électricité est sujette à la concurrence.

La SONABEL a pris le statut de Société d'Etat par décret n° 95/160/PRES/MICM/TPHU du 14 avril 1995. Elle a son siège social à OUAGADOUGOU et a un capital de **63 308 270 000** francs CFA.

La SONABEL est l'acheteur central d'électricité. Elle peut acquérir de l'électricité auprès des producteurs et mener des activités d'importation et d'exportation d'énergie électrique. Elle est également responsable du développement du réseau de transport afin de permettre le raccordement des producteurs, des réseaux publics de distribution et des consommateurs ainsi que l'interconnexion avec les réseaux des pays de la sous-région.

Missions de la SONABEL

La SONABEL est chargée dans l'exercice de sa mission de service public de l'électricité dans le premier segment de :

- ✘ Assurer l'approvisionnement en électricité en quantité suffisante
- ✘ Veiller à la continuité et la qualité du service public de l'électricité
- ✘ Améliorer l'accès à l'électricité aux populations
- ✘ Contribuer à la mise en œuvre du plan national d'électrification en développant l'électrification

- ✘ Respecter les dispositions réglementaires et de développer toute initiative en matière de préservation de l'environnement.
- ✘ Elaborer un rapport annuel à l'attention de l'Autorité de régulation du sous-secteur de l'électricité
- ✘ Fournir à l'Autorité de régulation du sous-secteur de l'électricité toutes les informations requises par cette dernière concernant les données opérationnelles et financières de la société.

Organisation de la SONABEL

La SONABEL est organisée en directions centrales référant à une Direction générale. Les directions centrales sont elles-mêmes subdivisées en départements, services, divisions et équipes pour les divisions techniques. Des départements à missions transversales sont directement rattachés à la Direction générale.

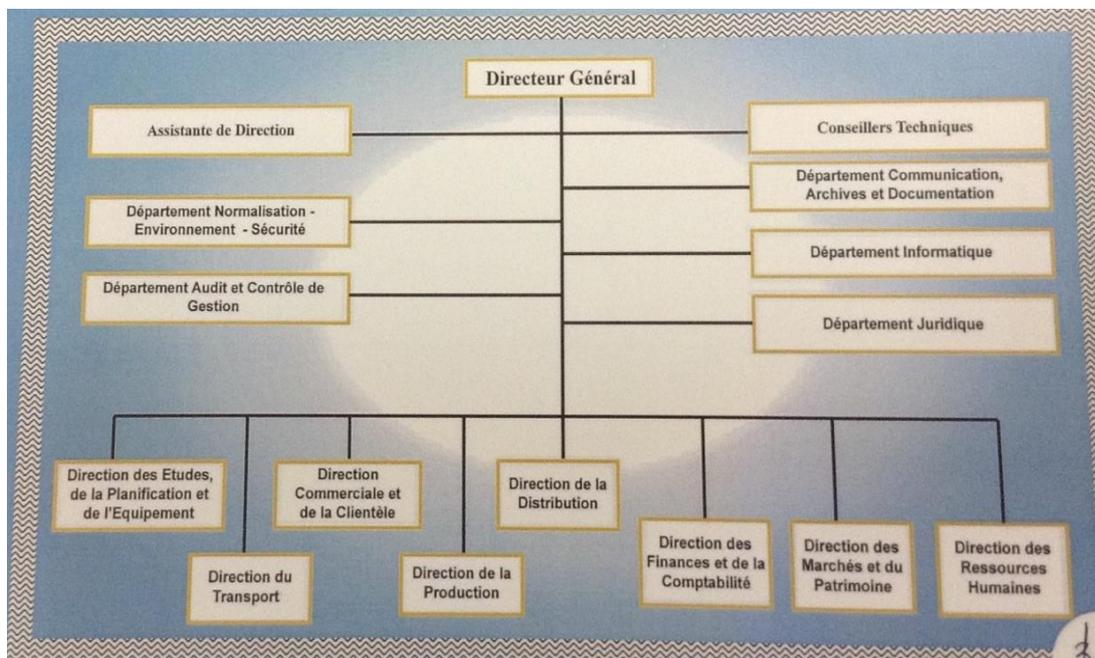


FIGURE 1: ORGANIGRAMME DE LA SONABEL



Présentation de la Direction des Etudes, de la Planification et des Equipements (DEPE)

La Direction des Etudes, de la Planification et de l'Équipement, (DEPE) compte, outre le Département Ingénierie des Projets d'Investissement où s'est déroulé notre stage, les départements ci-après : Le Département Planification, Etudes Economiques et Financières, (DPEEF), chargé principalement de la réalisation des études prospectives, des études économiques et financières des projets d'investissement, des schémas directeurs et plans d'investissements de la SONABEL, ainsi que de l'élaboration des fiches pour la recherche de financements.

Le Département Génie Civil, (DGC), dont la mission est de veiller à l'élaboration de dossiers d'appel d'offres et à la réalisation d'ouvrages dans le domaine du génie civil conformes aux spécifications exigées et répondant aux besoins des exploitants. Le Département Suivi des Projets d'Investissement, (DSPI), s'occupe principalement du suivi de la réalisation des services d'ingénierie, du suivi de l'exécution des projets d'infrastructures nouvelles, de renforcement, de renouvellement ou de développement d'ouvrages de transport, de distribution, de télécommunication existants.

L'étude de **l'EFFICACITE ENERGETIQUE DES BATIMENTS : Analyse des potentialités du bâtiment de la SONABEL ZAD** a été faite sous la tutelle du Département Ingénierie des Projets d'Investissement (DIPI) dont les missions et l'organisation sont déclinées ci-après :

Missions du Département Ingénierie des Projets d'Investissement (DIPI).

Le DIPI a pour mission de veiller à la réalisation des études électriques, mécaniques et hydro-électriques et des projets techniques en vue de l'organisation des appels d'offres pour l'exécution proprement dite des projets.

Il dispose de trois (03) services :



a. Le service Etudes Electriques (SEE)

Les attributions du SEE sont de :

- Assurer la relation avec l'expertise technique des clients et intégrer leurs spécifications et leurs besoins d'exploitant à l'intérieur des différents mandats confiés au service ;
- Optimiser les concepts techniques, développer l'ingénierie détaillée, veiller à l'obtention des permis nécessaires, en accord avec les politiques environnementales de l'entreprise.

b. Le service Etudes Mécaniques et Hydrauliques (SEMH)

Ses attributions sont de :

- Etablir la relation avec l'expertise des clients dans sa sphère d'intervention et d'intégrer leurs spécifications et leurs besoins d'exploitant à l'intérieur des différents mandats confiés à l'unité ;
- Optimiser les concepts techniques, développer l'ingénierie détaillée, veiller à l'obtention des permis nécessaires, en accord avec les politiques environnementales de l'entreprise ;
- Elaborer des plans et devis des nouvelles constructions ou des réfections majeures dans les domaines mécaniques et hydrauliques.

c. Le service des Eudes des Energies Renouvelables (SEER)

Il a pour attributions de :

- Réaliser les études de prospection en matière d'énergies renouvelables qui permettront d'augmenter la production et la distribution de l'énergie électrique ;
- Acquérir tous les équipements nécessaires à la production d'énergie renouvelable ;
- Veiller à l'exploitation des ressources énergétiques renouvelables identifiées.

L'organigramme de la Direction des Etudes, de la Planification et de l'Équipement se présente comme suit :

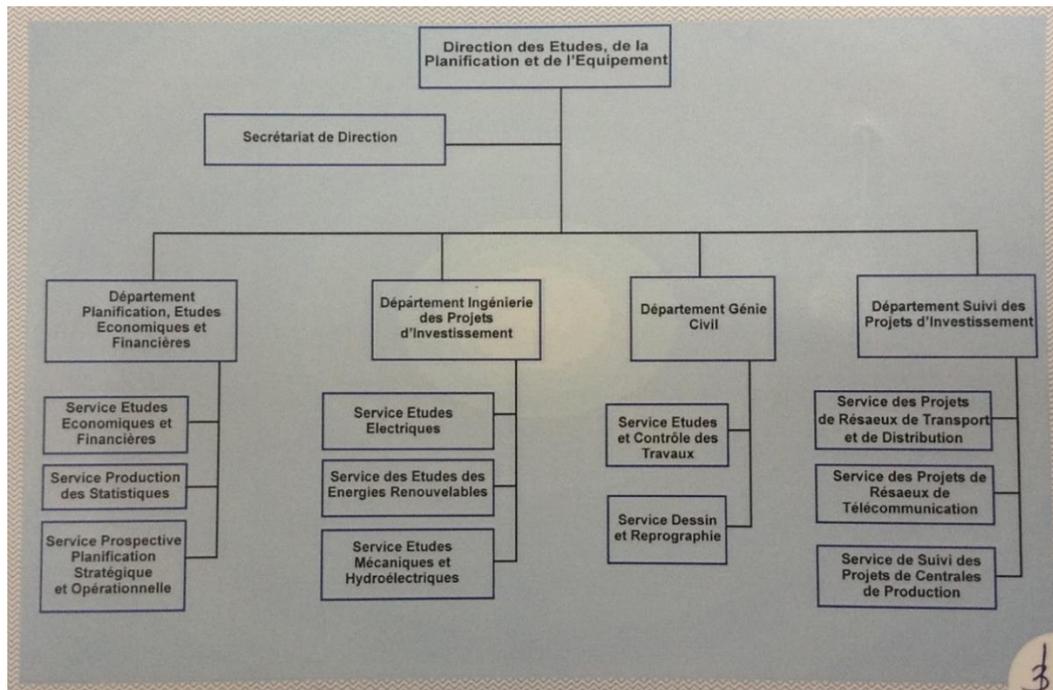


FIGURE 2: ORGANIGRAMME DE LA DEPE

II. NOTION D'EFFICACITE ENERGETIQUE :

De manière générale, l'**efficacité énergétique** désigne l'état de fonctionnement d'un système pour lequel la consommation d'énergie est minimisée. [5]. Depuis quelques années, on lui associe souvent le concept d'énergie intelligente ou de réseau intelligent. Elle concerne notamment les équipements motorisés, mais aussi les bâtiments.

Les équipements électriques ont toujours un rendement ; ce rendement constitue l'analyse de l'efficacité énergétique, cependant pour les bâtiments, ceci est complexe car le bâtiment se compose de plusieurs équipements. De plus, les équipements telle la climatisation ont un rendement qui est en fonction de l'enveloppe du bâtiment.

Il existe plusieurs bases d'évaluation du niveau d'efficacité énergétique des bâtiments. Le code de qualité énergétique ivoirien est une référence en Afrique noire francophone. Il

définit un indice de consommation d'énergie appelé « RO » ou « ICE ». Il établit un tableau donnant les valeurs indicatives de ratio selon le type, la taille et l'activité du bâtiment.

Type d'activité	Indice de consommation	
	Situation médiocre	Référence (objectif du code)
Grand immeuble de bureau	> 275	160
petit immeuble de bureau	> 250	150
Grand hôtel	> 300	180
Hôpital	> 400	250
Centre Commercial	> 300	200
Appartement (dans grand immeuble)	> 200	130

TABLEAU 1: VALEURS INDICATIVES DE QUELQUES INDICES DE CONSOMMATION DE BATIMENTS CLIMATISES EN CLIMAT TROPICAL HUMIDE ICE (EN kWh/m²/AN)[6]

La base européenne est le diagnostic de performance énergétique (DPE). Depuis le 2 janvier 2008, le DPE doit être affiché dans le hall d'accueil des bâtiments publics, des logements et bâtiments à loués.

Le DPE est une étiquette votée par l'Union Européenne en application de la « Directive pour la performance énergétique des bâtiments ». Il classe les bâtiments selon leur consommation d'énergie et leur émission de gaz à effet de serre.

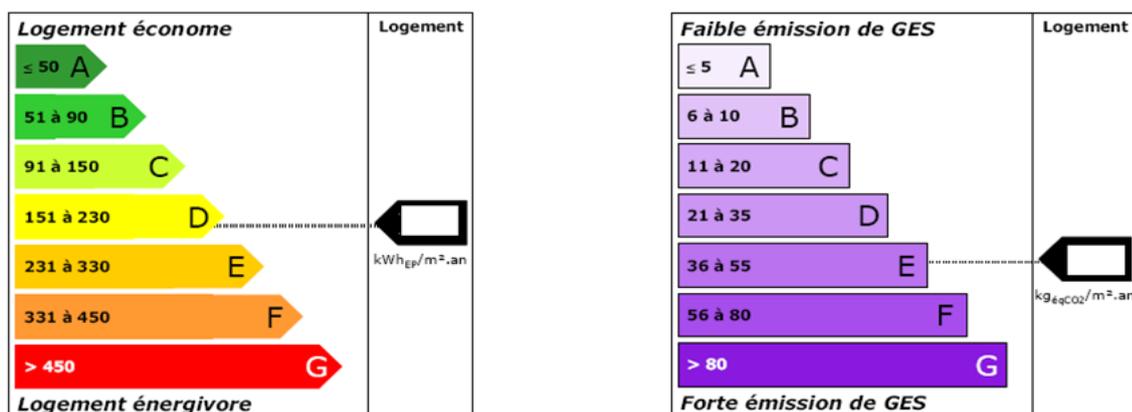


FIGURE 3: ETIQUETTES CONSOMMATION D'ENERGIE ET D'EMISSION DE GAZ A EFFET DE SERRE DU DPE [7]

Les deux analyses se font sur la même base. Le facteur de comparaison représente le rapport entre la consommation électrique annuelle de l'édifice et sa surface habitable en kWh/m²/an.



III. GENERALITES SUR LE THEME.

1. CONTEXTE

Au Burkina Faso, dans les centres urbains et dans la plupart des zones rurales, l'électricité est distribuée exclusivement par la Société Nationale d'Électricité du Burkina (SONABEL). Cependant, force est de constater que depuis quelques années maintenant, la SONABEL éprouve des difficultés à satisfaire la demande. Dans ce contexte, la société cherche en permanence des solutions pour réduire ce déficit, en diminuant par exemple sa propre consommation d'électricité. Cette étude entre en droite ligne dans cet objectif global, puisqu'il vise entre autres à proposer des solutions d'efficacité énergétique dans les bâtiments administratifs de la SONABEL.

2. PROBLEMATIQUE

Le déficit en période de pointe 2016 a été de 91 MW soit 37% de la demande. En plus d'augmenter sa production, il existe la nécessité de trouver les voies et moyens les plus adaptés pour réduire la demande.

Quels sont les voies et moyens les plus à même de permettre la réduction de la consommation des bâtiments de la SONABEL ? Quelles sont les perspectives de répliquions à d'autres bâtiments ? Quel sera l'impact global de la réduction de la consommation des bâtiments ?

3. LES OBJECTIFS

3.1. Objectif général

L'objectif de l'étude est de trouver les voies et moyens pour réduire la consommation d'énergie électrique du bâtiment.

3.2. Objectifs spécifiques

À travers cette étude, la SONABEL voudrait :

- Réduire le montant alloué à la dépense énergétique dans les charges financières d'exploitation de ses bâtiments administratifs ;
- Contribuer à la réduction du déficit énergétique au Burkina Faso en diminuant l'impact de ses bâtiments administratifs
- Se positionner comme une entreprise responsable, soucieuse de l'environnement, qui améliore continuellement son bilan carbone.
- Et être un exemple pour les autres entreprises.

4. METHODES ET MATERIELS

4.1. Méthodes

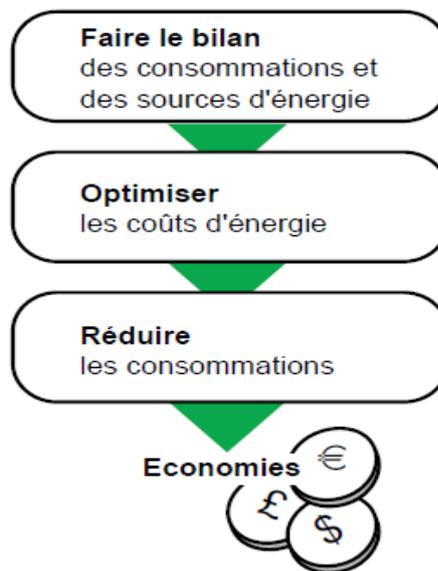


FIGURE 4: DEMARCHE GENERALE DE MAITRISE ENERGETIQUE. [8]



L'étude s'articulera autour des points suivants :

- ✚ La réalisation d'un audit du bâtiment et la proposition de mesures d'économies d'énergie
- ✚ Conception d'une centrale photovoltaïque avec injection sur le réseau interne du bâtiment.
- ✚ Comparaison de différents scénarii d'alimentation par différentes sources d'énergie suivant plusieurs critères : coût du kWh final, disponibilité de l'énergie, émission de GES
- ✚ Analyse des limites éventuelles des propositions pour répliation à d'autres bâtiments

4.2. Matériels

Les outils utilisés pour l'étude sont :

- ✘ Les logiciels Microsoft pour les notes de calcul et la rédaction,
- ✘ Le logiciel de dimensionnement photovoltaïque Sunny Design de SMA Solar Technology.
- ✘ Le logiciel dimensionnement photovoltaïque PVSyst
- ✘ Le logiciel d'analyse financière et d'optimisation HOMER
- ✘ Google sketchup pour les vues du bâtiment.
- ✘ Dialux light pour l'évaluation photométrique.
- ✘ Analyseur réseau pour la mesure des consommations.
- ✘ Luxmètre pour les mesures photométriques
- ✘ Thermomètre pour la mesure de la température des bureaux.

PARTIE II : ETUDE DU BATIMENT

Selon l'ADEME, le secteur du bâtiment constitue le plus gros consommateur d'énergie parmi tous les secteurs économiques, il est donc le plus grand point concerné par les économies d'énergie [9].

I. AUDIT ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT.

1. PRESENTATION DU BATIMENT :

Le bâtiment de la ZAD est construit avec des murs en parpaing 15 centimètres avec un enduit par face de 2,5 cm. Le bâtiment possède deux ailes, EST et OUEST avec trois niveau chacun. Le bâtiment sert de bureaux pour la DIRECTION REGIONALE DU KADIOGO autrefois DIRECTION REGIONALE DU CENTRE. Communément appelé la SONABEL ZAD, le RDC de l'aile EST sert de guichet de payment des factures d'électricité.



PHOTOGRAPHIE 1: AILE OUEST DU BATIMENT DE LA ZAD



PHOTOGRAPHIE 2: AILE EST DU BATIMENT DE LA ZAD.

2. PRE-DIAGNOSTIQUE :

Le bâtiment étant à usage de bureau, la bureautique est un point important dans la consommation. Les climatiseurs installés sont de type Monobloc fenêtre. Pour ce qui est de l'éclairage, il est assuré par des lampes fluorescentes de 36W de chez Philips.

Nous avons constaté que certaines imprimantes sont très peu utilisées. Aussi les climatiseurs sont défectueux et bruyants.

Le bâtiment est alimenté en moyenne tension et secouru par un groupe électrogène comme le montre la figure ci-dessous :

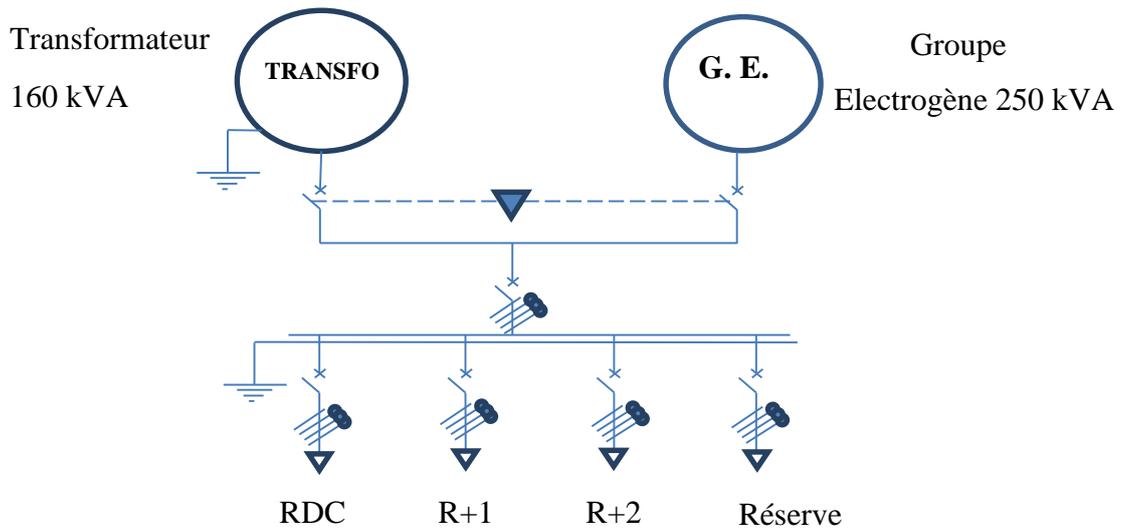


FIGURE 5: SCHEMA DE DISTRIBUTION DU BATIMENT.

Pour le pré-diagnostic, nous avons pu recueillir les factures du bâtiment de 2013 à 2015 en annexe 1. Cela a permis d'établir le profil de la consommation suivant :

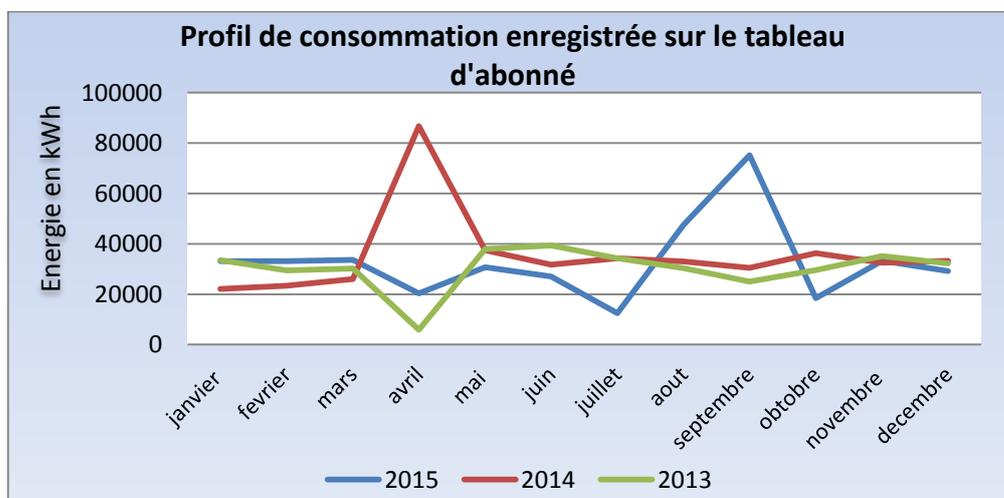


FIGURE 6: PROFIL DE LA CONSOMMATION AU FIL DES ANNEES.

Les baisses de consommation d'avril 2013 et d'avril, de juillet et d'octobre 2015 correspondent à des périodes d'indisponibilité du réseau. Les pics d'avril 2014 et de septembre 2015 se justifient non seulement par une augmentation de la demande du bâtiment et un faible taux de coupure d'électricité contrairement aux autres années mais surtout par une forte



probabilité d'erreur de relèvement des données. L'écrtage de la pointe en 2015 se justifie probablement par la campagne de sensibilisation sur les mesures d'économie d'énergie.

Il est également à noter que les heures de délestage ont augmenté au fil des années. En 2013, il y a eu 188 heures de délestages contre 240 heures en 2014 et 340 heures en 2015. [10].

Le bâtiment a une surface habitable de 677 m² par niveau, soit 2031 m² pour l'ensemble de l'édifice. Pour le calcul du ratio de la consommation, nous avons choisi la consommation annuelle la plus élevée soit celle de l'année 2014. Cela parce que l'année a été moins marquée par les délestages. La consommation constatée est de 427 236 kWh. On a :

$$RO = \frac{\text{Consommation annuelle en kWh}}{\text{Surface habitable en m}^2}$$

$$RO = \frac{427\,236}{2\,031}$$

$$RO = 210 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$$

Nous avons un ratio de 210 kWh/m²/an. Selon le code de qualité énergétique ivoirien, le bâtiment consomme au-delà de la référence qui est de 150 kWh/m²/an pour les petits immeubles de bureau. De là, il va s'en dire que le bâtiment consomme plus qu'il ne devrait, d'où la nécessité d'optimiser sa consommation.

Sur la base des rapports d'activités de la SONABEL des années antérieures, il ressort que chaque kWh produit rejette 0,68 kg CO₂ dans l'atmosphère.

$$IRCO_2 = ICE * 0,68$$

$$IRCO_2 = 210 * 0,68$$

$$IRCO_2 = 142,8 \text{ kgeqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$$

Le bâtiment a un indice de rejet de CO₂ de 142,8 kgeqCO₂/m²/an. L'énergie venant du réseau ayant un fort taux de pollution à la production, il est donc également nécessaire de valoriser les sources à faibles émissions de gaz à effet de serre telles les énergies renouvelables.



3. AUDIT DU BÂTIMENT

L'audit consistera à évaluer l'état du bâtiment. Il s'agira de recenser tous les équipements électriques du bâtiment avec leur consommation et l'état de fonctionnement. Les grands points de consommation du bâtiment de la ZAD sont l'éclairage, la bureautique et la climatisation.

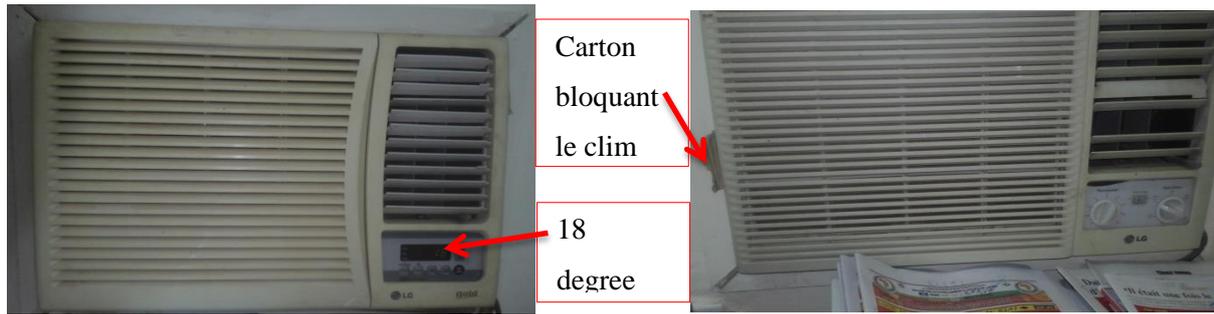
3.1. AUDIT SUR LA CLIMATISATION

Le climat tropical chaud et sec du Burkina Faso se caractérise par des températures élevées et de grands écarts de températures journalières. L'amplitude thermique moyenne est de 12°C. L'ensoleillement est élevé avec une humidité relative moyenne faible d'environ de 15 % [11]. L'étude de la climatisation passe par une analyse de la zone de confort des occupants, situation dans laquelle ils sont supposés de n'avoir ni chaud ni froid.

Le dimensionnement de la climatisation se fait en fonction de la chaleur à évacuer du bâtiment. Les parois latérales du bâtiment et les ouvertures du bâtiment constituent les sources de chaleur principales. En effet, les échanges de chaleur entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur se font à travers les parois.

La majorité des fenêtres du bâtiment sont encastrées avec un décalage intérieur par rapport aux parois des murs du bâtiment empêchant ainsi les rayons du soleil de les atteindre.

La climatisation des bureaux est assurée par des climatiseurs monoblocs fenêtres de (02) deux ou (03) trois chevaux. Ils ont un COP faible et sont très bruyant, ce qui perturbe les occupants. La consigne est de 18°C dans la majorité des bureaux ; consigne qui est rarement atteinte. Dans d'autres bureaux la régulation ne marche plus. L'isolation autour des climatiseurs est mauvaise. En outre, l'admission d'air externe dans le local est aussi importante. Les portes des bureaux ne sont souvent pas fermées, ce qui favorise également les apports de chaleur.



PHOTOGRAPHIE 3: CLIMATISEURS FENETRES DU BATIMENT.

3.2. AUDIT DE L'ÉCLAIRAGE

L'éclairage dans tout le bâtiment est assuré par des réglottes fluorescentes de 36W Philips. Chaque bureau est en général éclairé par (04) quatre lampes ou plus. Les murs sont de couleur blanche, ce qui favorise la réflexion du flux lumineux.

Les résultats ci-dessous de l'évaluation de l'éclairage de quelques bureaux type, à l'aide d'un luxmètre, montre qu'ils ont un éclairage moyen compris entre 400 et 550 lux. Les bureaux ayant les mêmes caractéristiques, nous déduisons donc qu'ils ont le même éclairage.

Bureaux	Eclairages (lux)
DRK	480
Secrétariat DRK	468
Chef service grand compte	433
Service recouvrement	547

TABLEAU 2: RESULTATS D'EVALUATION DE L'ECLAIREMENT

3.3. AUDIT SUR LA BUREAUTIQUE

La bureautique du bâtiment se compose principalement d'ordinateurs. Les imprimantes sont pour la plupart de marque HP fonctionnant avec un système laser. Il est également utilisé



des imprimantes EPSON qui ont, elles un système de fonctionnement matricielle. Elles sont principalement utilisées pour l'impression des factures et des cartes.

Les bureaux de certains chefs de service ou des secrétaires sont équipés de réfrigérateurs et de cafetières.

3.4. ETAT DE LA CONSOMMATION

La consommation constatée est de 427 236 kWh pour l'année 2014. En partant sur la base que le réseau SONABEL n'a été disponible que 97 % du temps en 2014. [10]. La consommation réelle du bâtiment en 2014 devrait être égale à 440 450 kWh.

Les heures de travail vont de 7h30 à 16h, soit 8h30 de travail par jour du lundi à vendredi. Chaque employé a un mois de congé. En incluant les jours fériés, les bureaux sont occupés en moyenne 47 semaines par an. En affectant les heures de fonctionnement, définies dans le tableau 3, aux divers équipements, le bilan de puissance en annexe 2 nous permet d'estimer exhaustivement la consommation du bâtiment.

Equipements	Temps de fonctionnement
Réglettes 36 W	9 heures * 5 jours * 47 semaines
Appliques 18 W	5 heures * 5 jours * 47 semaines
Climatiseurs	9 heures * 5 jours * 47 semaines
Imprimantes	3 heures * 5 jours * 47 semaines
Ordinateurs	9 heures * 5 jours * 47 semaines
Réfrigérateurs	1/3*24 heures * 365 jours
Cafetières	2 heures * 5 jours * 47 semaines

TABLEAU 3: VALEURS DES TEMPS DE CONSOMMATION DES EQUIPEMENTS

Après recensement des équipements de tous les bureaux, la consommation annuelle de chaque équipement est calculée en multipliant la puissance absorbée de ce dernier par le nombre d'heure de fonctionnement dans l'année.

De la somme de la consommation de tous les équipements, et avec un facteur de sécurité de 10%, il ressort que la consommation réelle du bâtiment, sans interruptions, serait de 470 907 kWh par an.

EQUIPEMENTS	TYPES	QUANTITES	CONSOMMATION ANNUELLE
CLIMATISATION	3 CV	10	60 434kWh
	2 CV	76	290 084 kWh
ECLAIRAGE	36 W	578	71 488 kWh
	18W	13	442 kWh
BUREAUTIQUE	-	140	44 046kWh
AUTRES	-	11	4 412kWh
TOTAL	-	828	470 907 kWh

TABEAU 4: RECAPITULATIF DE LA CONSOMMATION ANNUELLE DU BATIMENT DE LA ZAD

La nouvelle valeur de la consommation donne un ICE de 232 kWh/m²/an. Nous remarquons que la climatisation possède la plus grande part de la consommation. En effet, le plus grand poste d'économie d'énergie est de loin la climatisation active dans les pays tropicaux. [6].

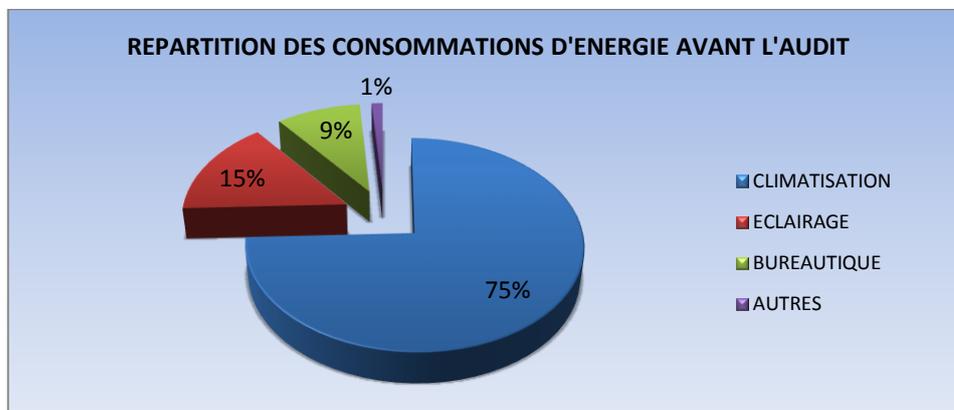


FIGURE 7 : REPARTITION DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE AVANT AUDIT

Le bâtiment de la SONABEL ZAD est alimenté en HTA. Le transformateur a une puissance de 160 kVA sans batterie de condensateurs. Le compteur est placé après le transformateur. Le comptage est fait en moyenne tension double tarif de type E2. En l'absence du réseau, la charge du bâtiment est assurée par un groupe électrogène de 250 kVA. Le bâtiment



est facturé en double tarif conformément à la grille tarifaire en vigueur au Burkina Faso joint en annexe 3.

Avec le programme Excel de Monsieur Geodefroy Thiombiano, l'analyse des factures électriques du bâtiment de juillet 2015 à juin 2016 montre une facture totale de 43,34 millions/an. Son facteur de puissance moyen est de 0,77. Le montant de la consommation en heure de pointe représente 49% de la facture avec un coût moyen du kWh de 109 francs.

On observe également des pénalités dues au mauvais facteur de puissance et à des dépassements de la puissance souscrite.



SITUATION DE LA PERIODE DE: **juil-15** à **juin-16**

NOM DE L'ABONNE: *étude de la ZAD*

NATURE DE L'ABONNEMENT MT
PUISSANCE DES TRANSFORMATEURS 160 kVA
PUISSANCE SOUSCRITE 80 kW
PUISSANCE CONDENSATEURS 0 kVAr
TARIFICATION
TARIF HEURES PLEINES : 54 FCFA/kWh
TARIF HEURES DE POINTE : 118 FCFA/kWh
PRIME FIXE ANNUELLE : 0 FCFA/kWh/AN
LOCATION ET ENTRETIEN COMPTEUR: 0 FCFA

PERIODE	ENER. ACTIVE		ENER REAC.	HEURES ATTEINT	PUIS. kW	PROD. REAC. kVAr	CONDOCOND			PENAL. COS phi	PENAL. PUIS.S	PRIME FIXE	MONTANT ELEC			TAXES TV&TVA	FACT. Calculée	FACT. SONABEL
	HPL kWh	HPT kWh					MINI kVAr	MAX kVAr	FCFA				FCFA	FCFA				
juil-15	6 320	6 193	8 103	720	133	0	5	16	36 845	187 620	0	367 157	786 216	272 134	1 613 127	1 613 127		
août-15	25 517	22 062	32 270	1 224	145	0	7	28	40 881	230 100	0	1 429 057	2 699 904	899 931	5 258 992	5 258 992		
sept-15	40 118	35 096	49 928	2 043	134	0	6	27	45 368	191 160	0	2 241 516	4 284 984	1 391 564	8 109 224	8 109 224		
oct-15	10 988	7 482	15 437	883	145	0	10	22	133 183	230 100	0	668 805	995 216	386 143	2 280 264	2 280 264		
nov-15	18 556	14 766	21 930	529	143	0	0	41	0	223 020	0	1 024 380	1 781 210	625 543	3 654 153	3 654 153		
déc-15	16 399	12 821	19 763	622	146	0	7	33	7 374	233 640	0	910 192	1 555 053	556 467	3 255 352	3 255 352		
janv-16	11 660	8 259	16 103	842	119	0	10	23	116 160	138 060	0	696 942	1 078 639	393 083	2 306 724	2 306 724		
févr-16	11 875	8 388	15 736	667	107	0	10	27	84 011	95 580	0	693 611	1 070 620	384 029	2 243 840	2 243 840		
mars-16	12 574	9 544	16 376	702	126	0	9	26	68 771	162 840	0	724 950	1 202 491	429 995	2 520 276	2 520 276		
avr-16	18 884	14 895	21 482	720	163	0	0	31	0	293 820	0	1 045 008	1 801 270	646 914	3 787 012	3 787 012		
mai-16	21 412	16 685	22 372	748	170	0	0	30	0	318 600	0	1 184 058	2 016 148	725 456	4 244 262	4 244 262		
juin-16	20 490	15 882	21 103	665	171	0	0	32	0	322 140	0	1 132 326	1 917 972	694 885	4 067 323	4 067 323		
TOTAL	214 793	172 073	260 603	10 365					532 593	2 626 680	0	12 118 002	21 189 723	7 406 144	43 340 549	43 340 549		
MOY.	17 899	14 339	21 717	864	142	0	5	28	44 383	218 890	0	1 009 834	1 765 810	617 179	3 611 712	3 611 712		
REPARTITION MONTANT FACTURE :									1%	6%	0%	28%	49%	17%				
PENALITES DIVERSES									3 159 273	FCFA	SOIT	7,3%	DE LA FACTURE					
COÛT MOYEN DU kWh									109	FCFA								
FACTEUR DE PUISSANCE MOYEN									0,777	FCFA								
CONSOMMATION TOTALE APPARENTE									511 502	kVAh								
CONSOMMATION TOTALE REACTIVE									321 950	kVARh								
ENERGIE REACTIVE EN FRANCHISE $T_{gphi} = .75(kVARh/AN)$									298 078	kVARh								
ENERGIE REACTIVE A FACTURER (kVARh/AN)									23 872	kVARh								

TABLEAU 5: ETAT DE LA FACTURE DU BATIMENT



II. LES SOLUTIONS DE RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION

L'amélioration du bâtiment passe par deux (02) niveaux : l'analyse passive et l'analyse active de ses caractéristiques.

1. L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE PASSIVE

L'efficacité énergétique passive, comme l'indique son nom se définit comme une analyse qui ne nécessite pas un contrôle continue dans sa mise en œuvre.

Elle résulte d'une part de l'isolation du bâtiment, de sa perméabilité à l'air et d'autre part, d'un choix d'équipements plus performants, c'est à dire des produits qui rendront le même service en consommant moins [9].

1.1. STRUCTURE DU BATIMENT

L'isolation est la capacité des parois du bâtiment à freiner les échanges de chaleur. Une bonne isolation signifie un faible échange de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Plus la surface latérale du bâtiment est grande plus les échanges sont importants. Ces derniers sont d'autant plus importants lorsque la surface est frappée par le soleil. Les actions passives seront donc de :

- ❖ Installer des persiennes aux fenêtres n'ayant pas un décalage vers l'intérieur par rapport aux parois des murs.
- ❖ Planter des arbres autour du bâtiment et surtout devant les entrées pour produire de l'ombre sur le bâtiment.

1.2. L'ECLAIRAGE.

L'éclairage moyen exigé pour avoir un confort visuel dans les bureaux et salles de réunion est de 500 lux.



Selon la **Fédération des industries électriques, électroniques et de communication** (FIEEC), l'ensemble lampes-luminaire devra respecter les seuils suivants :

- Eclairage général : l'efficacité lumineuse ≥ 65 lm/W ;
- Eclairage d'appoint ou d'accentuation : efficacité lumineuse ≥ 40 lm/W ;
- Indice de rendu des couleurs ≥ 80 .

Ainsi les lampes devront fournir au minimum un flux de 65 lm par watt et avoir un indice de restitution des couleurs d'au moins 80.

Pour la réduction de la consommation de l'éclairage, il est suggéré de changer les lampes 36W de Philips par des lampes LED 18W telle celles de VISION-EL vendu par **Led&fluo** ou les LED de **Hage Matériaux** qui n'utilise ni ballast, ni de starter. Le flux lumineux de ces dernières est de l'ordre de 2000 lumens contre 2600 lumens pour les tubes fluorescents.

Les simulations dans DIALUX light des bureaux (annexe 5,6 et 7) pour une hauteur de montage de 3 mètres avec (04) quatre tubes fluorescents PHILIPS TMS022 TL-D36W et avec (04) quatre tubes LED Pro 18W T8 1200 Blanc jour de VISION-EL offrent les résultats suivants :

Surfaces	Lampes fluorescentes		Lampes LED	
	Degré de réflexion	EMOY (lux)	Degré de réflexion	EMOY (lux)
Plan utile à 1 m	-	576	-	548
Sol (en mortier)	47	484	47	460
Plafond (blanc)	86	383	86	364
Murs (blanc)	86	428	86	406

TABLEAU 6: RECAPITULATIF DES ECLAIREMENTS DES BUREAUX

Il n'existe pas une grande différence entre les résultats des deux sources lumineuses, il est donc préférable d'utiliser les tubes LED.



Avec les tubes LED, la consommation d'énergie de l'éclairage, précédemment estimée à 71 108 kWh/an sera réduite à 25 782 kWh/an.

Avec un coût du kWh de 109 francs, déduit précédemment, et une énergie non consommée de 45 326 kWh, les économies s'évaluent à 4 940 534 f CFA/an.

	Nombre	Prix unitaire	Prix total	unités
LED 18W + Boitier	578	32 000	18 496 000	f CFA
LED 10W + Boitier	13	19 000	247 000	f CFA
Autres (Taxe, transport, main d'œuvre)	ENS	3 748 600	3 748 600	
TOTAL investissement		22 486 600		f CFA
	Nombre	Prix unitaire	Prix total	Unités
Economie générée sur la consommation	45 326	109	4 940 534	f CFA/an
Temps de retour sur investissement		4,55		Années

TABLEAU 7: RECAPITULATIF DES SOLUTIONS D'ECLAIRAGE

$$\text{Temps de retour sur investissement} = \frac{\text{Investissement}}{\text{gain annuel}}$$

Le temps de retour sur investissement est de 4 ans et 7 mois.

1.3. LA BUREAUTIQUE.

La bureautique se compose d'imprimantes, de fax, de photocopieuses. Pour réduire la consommation, il faudra centraliser les équipements. Les équipements producteurs de chaleur doivent être groupés autant que possible dans un local ventilé naturellement.

Ainsi les imprimantes seront principalement dans les secrétariats et les salles de reprographie.

Au total, il est possible de ne plus utiliser sept imprimantes dans tout le bâtiment. Elles seront vendues ou réutilisées dans d'autres bâtiments de la SONABEL. Le retrait de ces imprimantes implique une réduction de la consommation du bâtiment. En effet, la réduction du



nombre d'imprimantes utilisées permettra une réduction de la consommation de 3 710 kWh ; avec un kWh coûtant 109 francs, il est possible de réaliser une économie financière de 404 390 francs CFA annuellement.

1.4. LA CLIMATISATION.

En climatisation, il faudra s'assurer de l'efficacité énergétique des équipements. Le critère d'évaluation de la climatisation est le COP frigorifique. Il est recommandé d'installer des équipements avec un COP de 3 au minimum. Il faudra également s'assurer que la puissance du climatiseur est adaptée à la charge à évacuer.

Les bureaux sont équipés de climatiseur fenêtres LG Gold très usés qui ne sont plus fabriqués. Ils ont un rendement très faible. La plupart des climatiseurs n'atteignent pas la consigne de température. Aussi, en cas de panne, il est difficile de trouver les pièces de rechange.

Afin de refaire le système de climatisation, il a été réalisé une estimation des apports caloriques du bâtiment par la méthode simplifiée (York).

	charges thermiques		unités	Quantité	facteur	puissance
poste 1	VITRAGES	à l'ombre	m ²		50	0
		enseleillé sans stores	m ²		180	0
		enseleillé avec stores intérieurs	m ²		135	0
		enseleillé avec stores extérieurs	m ²		90	0
poste 2	MURS EXTERIEURS	enseleillés, isolés	m ²		9	0
		enseleillés, non isolés	m ²		23	0
		non enseleillés, isolés	m ²		7	0
		non enseleillés, non isolés	m ²		12	0
poste 3	CLOISONS		m ²		10	0
poste 4	PLAFOND OU TOIT	isolé	m ²		5	0
		non isolé	m ²		12	0
		sous toit isolé	m ²		10	0
		sous toit non isolé	m ²		24	0
poste 5	PLANCHER	à l'ombre	m ²		7	0
		enseleillé sans stores	m ²		10	0
poste 6	RENOUVELLEMENT D'AIR		m ³ /h		4,5	0
poste 7	OCCUPANTS		nb		144	0
poste 8	APPAREILS ELECTRIQUES ECLAIRAGE		nb.Puiss		160	0
PUISSANCE A INSTALLER				0		

TABLEAU 8 : FICHE DE METHODE SIMPLIFIE DE CALCUL DE CHARGE DE CLIMATISATION (YORK)[12]



Dans la climatisation individuelle, les systèmes split sont plus performants que les systèmes monoblocs. Les climatiseurs seront donc remplacés par des climatiseurs split system.

Les simulations seront faites avec les climatiseurs split system de marque SHARP. C'est l'une des marques les plus rencontrées localement. Elle possède plusieurs show-rooms dans le pays.

Avec les nouvelles puissances, les kilowattheures non consommés s'évaluent à 145 034.

	Nombre	Prix unitaire	Prix total	Unités
Climatiseur Sharp 12 000 BTU	67	236 000	15 812 000	f CFA
Climatiseur Sharp 18 000 BTU	14	306 800	4 295 200	f CFA
Autres (taxes, transport, main d'œuvre)	ENS	4 021 400	4 021 400	f CFA
TOTAL		24 128640		f CFA
	Nombre	Prix unitaire	Prix total	Unités
Economie générée sur la consommation	145 034	109	15 808 706	f CFA/an
Temps de retour sur investissement		1,53		Années

TABLEAU 9: RECAPITULATIF DES SOLUTIONS DE CLIMATISATION

L'investissement sera récupéré au bout d'un an et 7 mois.

2. L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ACTIVE

L'efficacité énergétique active, contrairement à celle passive est un système de contrôle en continu de la performance énergétique globale du bâtiment.

Elle est basée sur une utilisation diligente des équipements et une offre de systèmes intelligents de régulation, d'automatismes. Cela afin de réduire la facture et d'améliorer la qualité et la disponibilité de l'énergie en consommant l'énergie juste nécessaire.

2.1. ANALYSE DE LA FACTURE ET OPTIMISATION TARIFAIRE



L'un des avantages majeurs de l'efficacité énergétique est la réduction de la facture.

La grille tarifaire en vigueur au Burkina Faso, révisée en septembre 2006, compte six (06) tarifs notés : A, B, C, D, E et F. les tarifs A, B et C font partis de la grille Simple tarif. La grille D concerne les consommateurs basse tension double tarif. La haute tension, elle est régulée par la grille E et enfin la grille F pour l'éclairage public.

Notre bâtiment se situe dans la grille E, qui est sujet au comptage horaire. Le coût de l'énergie consommée est fonction de la période de la journée. A cet effet, la journée est divisée en deux tranches horaires : 17 heures pleines et 7 heures de pointe réparties comme suit :

Heures pleines	Heures de pointe	Heures pleines	Heures de pointe	Heures pleines
0 H à 10 H	10 H à 14 H	14 H à 16H	16 H à 19 H	19 H à 0H

TABLEAU 10 : REPARTITION DES TRANCHES HORAIRE DANS LA JOURNEE.

Les éléments de la facture sont :

- ✚ Coût proportionnel par kWh consommé ; (heures pleines et heures de pointe),
- ✚ Prime fixe,
- ✚ Majoration si la puissance appelée est supérieure à la puissance souscrite,
- ✚ Majoration si le facteur de puissance des installations de l'abonné est inférieur à 0,8,
- ✚ Majoration pour pertes de comptage du transformateur s'il y a lieu,
- ✚ Pénalité si la consommation annuelle est inférieure à la consommation annuelle garantie,
- ✚ Frais de location du système de comptage,
- ✚ Taxes diverses (Télévision, Développement électrification, TVA).

La feuille Excel de Monsieur Godefroy Thiombiano offre la possibilité d'améliorer la facture.



FACTURE OPTIMISEE

NOM DE L'ABONNE: *etude de la ZAD*

NATURE DE L'ABONNEMENT **MT**
 PUISSANCE DES TRANSFORMATEURS **160 kVA**
 PUISSANCE A SOUSCRIRE **80 kW**
 PUISSANCE CONDENSATEURS **35 kVAr**
 TARIF HEURES PLEINES **54 FCFA/kWh**
 TARIF HEURES DE POINTE **118 FCFA/kWh**
 PRIME FIXE ANNUELLE **0 FCFA/kW/AN**
 LOCATION ET ENTRETIEN COMPTEUR **0 FCFA**

PERIODE	ENE ACTIVE		ENER REAC.	HEURES H	PUISS. ATTEINT kW	PROD. REAC. kVAr	PUISS. APPAR kVA	CONDOPENAL./BONI MAX kVAr	PENAL. COS phi FCFA	PUISS.S FCFA	PRIME FIXE FCFA	MONTANT ELEC			TAXES TV&TVA FCFA	FACT. Calculée FCFA	FACT. SONABEL FCFA	
	HPL kWh	HPT kWh										FCFA	FCFA	FCFA				
juil-15	6 320	6 193	8 103	720	133	25 200	196	0	-89 322	187 620	0	326 994	700 212	249 424	1 464 250	1 391 736		
août-15	25 517	22 062	32 270	1 224	145	42 840	146	0	-327 046	230 100	0	1 301 715	2 459 318	833 704	4 824 837	4 987 474		
sept-15	40 118	35 096	49 928	2 043	134	71 505	136	0	-518 491	191 160	0	2 047 859	3 914 782	1 290 070	7 443 871	7 883 656		
oct-15	10 988	7 482	15 437	883	145	30 905	169	0	-122 467	230 100	0	566 054	842 317	340 126	1 978 597	2 008 746		
nov-15	18 556	14 766	21 930	529	143	18 515	145	3	-140 280	223 020	0	973 161	1 692 150	600 293	3 488 624	3 390 990		
déc-15	16 399	12 821	19 763	622	146	21 770	146	0	-179 425	233 640	0	841 225	1 437 223	522 844	3 034 932	2 979 657		
janv-16	11 660	8 259	16 103	842	119	29 470	131	0	-132 754	138 060	0	599 240	927 428	348 279	2 013 007	2 143 813		
févr-16	11 875	8 388	15 736	667	107	23 345	110	0	-134 418	95 580	0	607 735	938 067	344 711	1 986 093	2 131 055		
mars-16	12 574	9 544	16 376	702	126	24 570	129	0	-148 694	162 840	0	643 157	1 066 819	390 851	2 263 667	2 328 125		
avr-16	18 884	14 895	21 482	720	163	25 200	163	0	-227 702	293 820	0	961 407	1 657 168	605 927	3 518 322	3 440 304		
mai-16	21 412	16 685	22 372	748	170	26 180	170	0	-256 016	318 600	0	1 089 333	1 854 856	679 373	3 942 162	3 868 314		
juin-16	20 490	15 882	21 103	665	171	23 275	171	0	-228 772	322 140	0	1 047 402	1 774 124	653 706	3 797 372	3 687 198		
TOTAL	214 793	172 073	260 603	10 365					-2 505 387	2 626 680	0	11 005 282	19 264 464	6 859 308	39 755 734	40 241 068		
MOY.	17 899	14 339	21 717	864	142	30 231	151	0	-208 782	218 890	0	917 107	1 605 372	571 609	3 312 978	3 353 422		
REPARTITION MONTANT FACTURE :											-6,3%	6,6%	0,0%	27,7%	48,5%	17,3%		
PENALITES(+)/BONIFICATIONS(-)											121 293	FCFA	SOIT	0,3%	FACTURE			
COÛT MOYEN DU kWh											109	FCFA	100	FCFA				
FACTEUR DE PUISSANCE MOYEN											0,777	COS PHI	0,977					
CONSOMMATION TOTALE APPARENTE											511 502	S	406 793	kVAh	kVAh			
CONSOMMATION TOTALE REACTIVE											321 950	Q	-87 404	kVArh	kVArh			
ENERGIE REACTIVE EN FRANCHISE Tgphi=.75											298 078	Bn	298 078	kVArh	kVArh			
ENERGIE REACTIVE A FACTURER											23 872	Fact	0	kVArh	kVArh			

TABLEAU 11: ETAT DE LA FACTURE OPTIMISEE



En gardant la même puissance souscrite, l'installation d'une batterie de condensateurs de 35 kVAR permettra de ramener le facteur de puissance à 0,977. Nous proposons une batterie automatique triphasée de chez LEGRAND. Elle se compose de (03) trois gradins de 5,10 et 20 kVAR. L'investissement s'évaluera à 1 995 552 francs CFA.

Les bonifications annuelles s'élèvent à 2,5 millions de francs CFA.

$$\text{Temps de retour sur investissement} = \frac{\text{Investissement}}{\text{gain annuel}} = \frac{1\,995\,552}{2\,500\,000} = 0,8 \text{ an}$$

Le temps de retour sur investissement sera de 10 mois après sa mise en œuvre.

2.2. LES HABITUDES DES OCCUPANTS.

Les habitudes des occupants sont très importantes, voir tout autant que la consommation des équipements. Il est donc nécessaire de réaliser une campagne de sensibilisation des occupants sur les bons gestes de tous les jours.

Les mesures d'économie d'énergie suggérées sont listées ci-dessous :

- Eteindre l'éclairage des zones non occupées : Il est demandé aux usagers de tout arrêter pour une absence de courte ou de longue durée.
- Fermer les portes et les fenêtres en période de climatisation
- Arrêter les appareils de bureautique non utilisés, particulièrement les imprimantes.
- Limiter les infiltrations et renouvellement d'air : le renouvellement d'air est important. Chaque matin, il faut aérer le local en ouvrant porte et fenêtre pendant une minute avant de climatiser afin d'évacuer l'air vicié et équilibrer la température de la pièce avec la température extérieure.
- Pendant les périodes fraîches les bâtiments provoquent un appel d'air extérieur vers l'intérieur causé par la différence de température (Effet thermosiphon). Il faudra favoriser ce rafraichissement naturel à la climatisation pendant ces périodes.



- Autant que possible, utiliser les imprimantes en commun comme suggéré plus haut.

Lorsque ces principes sont respectés, on réduira la consommation d'énergie du bâtiment. Ce poste de réduction de la consommation dépend de plusieurs personnes, si bien qu'on a tendance à le juger non quantifiable en termes d'économie d'énergie.

Sur une analyse optimiste, on supposera que :

- Pendant (02) deux mois, soit en milieu d'harmattan et de la saison des pluies, la climatisation ne sera pas utilisée.
- Le temps de fonctionnement des luminaires dans les toilettes et les couloirs sera réduit à (03) trois heures par jour.
- Une réduction d'une heure de l'utilisation journalière des luminaires de bureaux.

Le tableau ci-dessous montre les investissements, les économies générées et le temps de retour sur investissement.

	Nombre	Prix unitaire	Prix total	Unités
Ferme-porte Vachette Leroy Merlin	85	32 000	2 720 000	f CFA
Autres (taxes, transport, main d'œuvre)	ENS	544 000	544 000	f CFA
TOTAL		3264000		f CFA
	Nombre	Prix unitaire	Prix total	f CFA
Economies Financières	45 476	109	4 956 884	f CFA /an
Temps de retour sur investissement		0,66		Années

TABLEAU 12: RÉCAPITULATIF DES MESURES DES OCCUPANTS

L'amélioration des habitudes des occupants nécessite un investissement de 3 264 000 de francs CFA. Cependant, cela permettra d'économiser 4 956 884 de francs CFA chaque année. Le temps de retour sur investissement sera de (08) huit mois.

3. RECAPITULATIFS DES SOLUTIONS D'ECONOMIE D'ENERGIE

Après application des diverses solutions sur les équipements du bâtiment, il ressort une réduction globale de la consommation de 51%. La nouvelle consommation du bâtiment est de **231 360 kWh/an.**

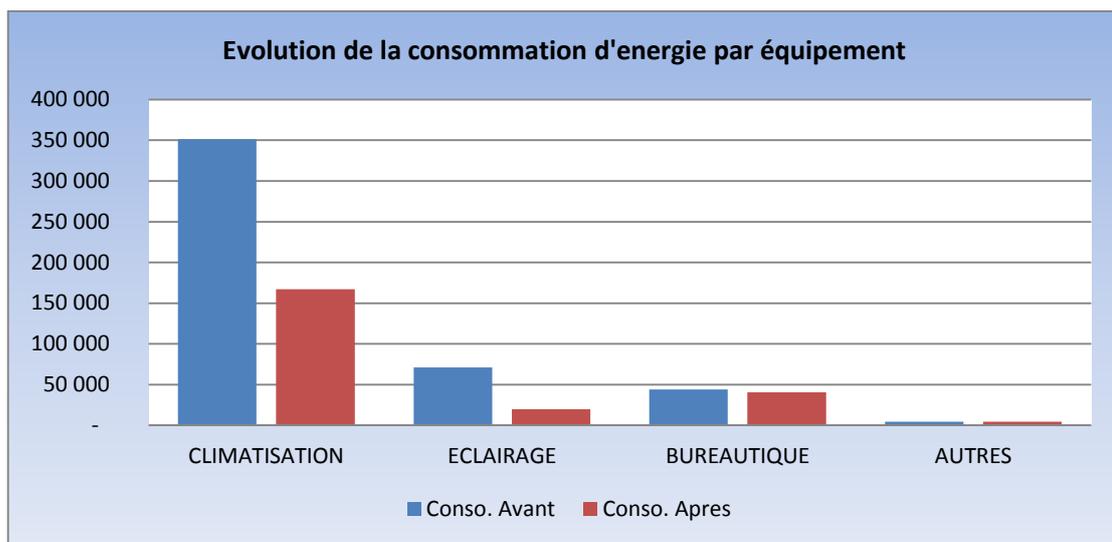


FIGURE 8: EVOLUTION DE LA CONSOMMATION

Il est constaté que la proportion de la climatisation demeure la plus élevée bien que tous les points ont connu une baisse de consommation.

$$RO = \frac{\text{Consommation annuelle en kWh}}{\text{Surface habitable en m}^2}$$

$$RO = \frac{231\,360}{2\,031}$$

$$RO = 114 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$$

Le bâtiment consomme à présent 114 kWh/m²/an. Pour le code de qualité énergétique ivoirien, le bâtiment consomme efficacement son énergie car sa consommation est inférieure à 150 kWh/m²/an.



L'audit énergétique du bâtiment générera au total les économies décrites dans le tableau ci-dessous. Il nécessitera un investissement de plus de 51 millions, avec des économies annuelles globales de 26 110 582 francs CFA et un retour sur investissement de (02) deux ans.

	Consommation Avant (kWh)	Consommation Apres (kWh)	Différence (kWh)	Economie (f CFA)	Investissement
CLIMATISATION	351 340	166 958	184 382	20 097 654	51 874 792
ECLAIRAGE	71 108	19 654	51 454	5 608 540	
BUREAUTIQUE	44 046	40 336	3 710	404 389	
AUTRES	4 412	4 412	-	-	
TOTAL	470 907	231 360	239 547	26 110 582	51 874 792

TABLEAU 13: RECAPITULATIF DE L'AUDIT ENERGETIQUE DU BATIMENT

En plus de l'audit énergétique, l'intégration d'une production d'énergies renouvelables est un point non négligeable pour réduire sa facture électrique.



PARTIE III : LA PRODUCTION D'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

I. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES DU BURKINA

Les énergies renouvelables ou encore les énergies gratuites sont des sources énergétiques non facturées. Elles sont diverses :

1. ENERGIE DU VENT

Le vent est porteur d'une force motrice que l'homme utilise depuis longtemps. Pour la transformer en électricité, il fait appel à l'éolienne.

Les vents du Burkina ont une vitesse moyenne de 10 m/s [13]. Les plus grandes vitesses sont enregistrées dans le Sud-Est. Cependant, les vents sont très peu réguliers, ce qui ne permet pas d'avoir un bon rendement et freine son utilisation.

2. ENERGIE HYDRAULIQUE

Une centrale hydroélectrique utilise l'énergie potentielle et le débit d'un cours d'eau.

Le Burkina possède plusieurs cours d'eau. L'énergie hydroélectrique du Burkina est produite par quatre (04) barrages : Kompienga, Bagré, Tourni et Niofila. La puissance hydraulique totale installée est de 32 mégawatts avec une production de 93 GWh en 2015 [14].

3. ENERGIE SOLAIRE

L'énergie solaire se définit comme l'énergie provenant du rayonnement qui atteint la surface de la terre.

Pour ce qui est du solaire, le pays a un fort taux d'ensoleillement, en moyenne 5,5 kWh/m²/j. Aussi, le solaire offre une grande flexibilité dans le choix du lieu d'implantation. La technologie la plus répandue est le photovoltaïque. La puissance installée au Burkina est actuellement de 1 506 kilowatt crête. [14]

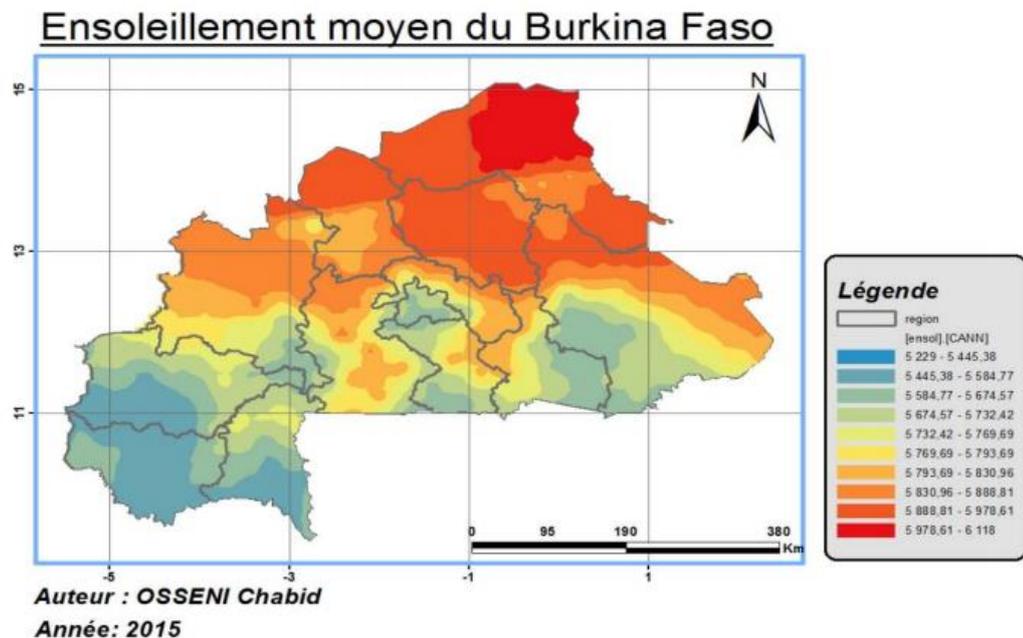


FIGURE 9: CARTE D'ENSOLEILLEMENT DU BURKINA FASO

	Avantages	Inconvénients
Energie du vent	<ul style="list-style-type: none"> -Pas d'effets de GES -Faible occupation des surfaces au sol -Bâtiment peut faire office de mat 	<ul style="list-style-type: none"> -Pollution sonore ; -Dangereuse pour les oiseaux ; -Coût de fabrication très élevé des éoliennes ; -Production intermittente -Dépendante de la topographie ou de la structure du bâtiment.
Energie hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> -Faibles émissions de GES -Production électrique réglable. -Faiblement intermittente -Energie maîtrisée au Burkina -Durée de vie élevée 	<ul style="list-style-type: none"> -Point de production localisé et limité -Bouleversement de la circulation de l'eau et de l'écosystème aquatique -Construction coûteuse -Dépend de la pluviométrie, du stock d'eau et n'est disponible qu'en saison de pluie
Energie solaire photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> -Faibles émissions de GES -Points d'implantation variés -Disponible toute l'année -Faible impact environnemental 	<ul style="list-style-type: none"> -Investissement élevé -Pas de filière recyclage -Rendement diminue dans le temps

TABLEAU 14: AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES ENERGIES RENOUVELABLES DU BURKINA FASO

Au vue des avantages et des inconvénients ci-dessus cités l'énergie solaire photovoltaïque est la source d'énergie la plus appropriée aux bâtiments.



II. CONCEPTION D'UN CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE

Le Grenelle de l'Environnement du 24 et 25 Octobre 2007 pointait le photovoltaïque comme la solution première pour réduire la consommation des bâtiments [15].

La conception du champ photovoltaïque passera tout d'abord par le choix des équipements et des caractéristiques optimales d'implantation des panneaux. Ensuite, il s'agira de dimensionner le système photovoltaïque. Enfin, il faudra étudier les conditions d'injection de l'énergie produite dans le réseau du bâtiment.

1. CONDITIONS D'INSTALLATION D'UN CHAMPS PHOTOVOLTAÏQUE.

L'inclinaison optimale des panneaux à Ouagadougou est de 15° vers le sud. Cette valeur est confirmée par les données d'ensoleillement générées par le programme **PVgis** en annexe 13 [15]. Cependant, le bâtiment est orienté vers le Sud-Est. Le toit du bâtiment est plat. Le projet est limité par la surface disponible des toits.

Nous proposons d'installer des modules de 325W de chez Solar World. Forte d'une longue expérience sur le marché américain [16], Solar World est la marque de panneaux choisie par le **projet solaire Zagtoui**.

Les onduleurs quant à eux seront de préférence de la marque SMA. Elle est désignée comme la marque préférée dans le monde. [17]

a. Le système d'intégration

Les conditions d'intégration des panneaux sont [18] :

- ❖ Entre 2 colonnes de modules, l'espace est de 20 millimètres
- ❖ Entre 2 lignes de modules, l'espace est 2 mètres
- ❖ Espaces de sécurité 20 cm tout autour des bordures du toit.
- ❖ Un taux d'occupation de 50%

b. Le calepinage

Le calepinage est la disposition des panneaux sur le toit du bâtiment.

Le bâtiment est constitué de deux (02) ailes. L'aile Ouest a un excellent emplacement, sans ombrages probables. Cependant l'aile Est est à proximité d'un bâtiment R+4 qui dès 14h30 projette de l'ombre sur le bâtiment.

On a une surface de 403 m² sur l'aile Ouest et 346 m² sur l'aile Est. Toute l'aile Ouest sera entièrement occupée par les panneaux. Sur l'aile Est, les panneaux n'occuperont que l'espace sans ombrage.

Le calepinage permet l'installation de 150 panneaux au total, offrant une puissance de 48,75 kWc.

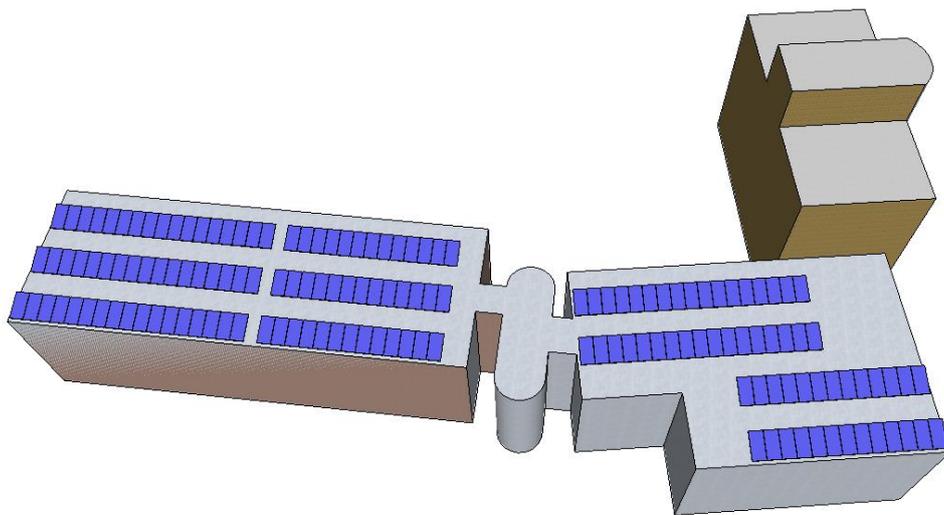


FIGURE 10: VUE DE DESSUS DU BATIMENT PORTANT LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

2. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME

Les données de la consommation horaire en kilowatt du bâtiment du mois de janvier à juin 2016 obtenu grâce à un analyseur réseau Chauvin Arnoux ont permis d'établir le tableau

des besoins en annexe 15. Les données des estimations de la production maximale horaire photovoltaïque faites par PVSyst ont également permis d'établir un tableau de la production horaire maximale sur une année (annexe 14).

La transposition de ces données dans la figure ci-dessous, permet d'écartier toute possibilité de surtension du réseau car la production photovoltaïque est toujours inférieure à la demande.

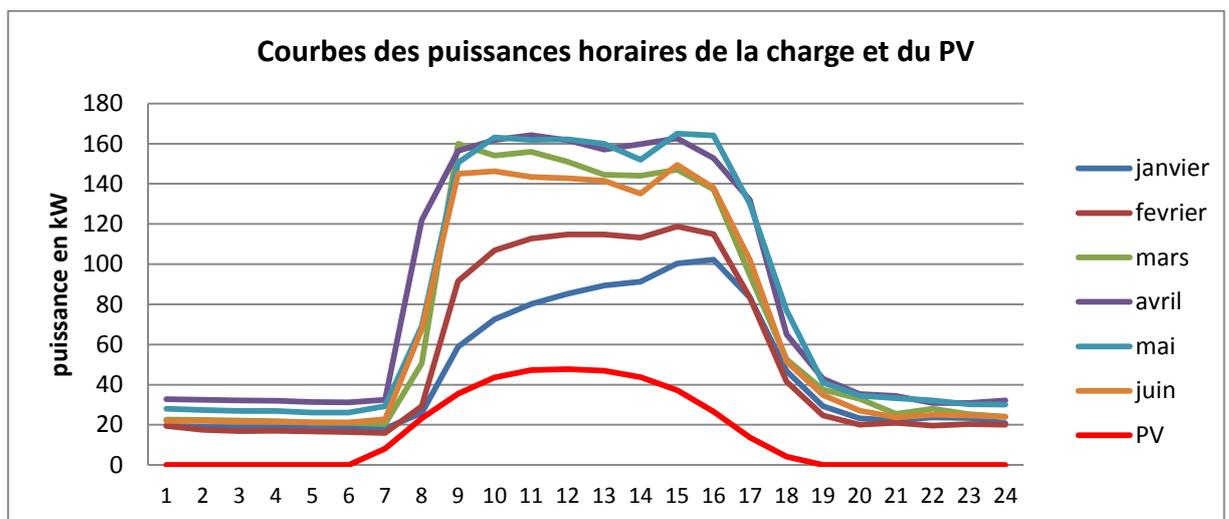


FIGURE 11: COURBES DES BESOINS HORAIRES ET DE LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE HORAIRE

a. Dimensionnement électrique

Le choix de la configuration a été fait à l'aide du logiciel Sunny designer. Le champ Est se compose de 60 panneaux également repartis sur deux (02) onduleurs de 12kVA. Le champ Ouest quant à lui a 90 panneaux repartis sur (03) onduleurs de 12 kVA.

Ainsi, nous aurons 150 panneaux photovoltaïques répartis également sur 05 onduleurs Sunny Tripower de SMA d'une puissance de 12 kVA.

Pour ce qui est du branchement, chaque onduleur reçoit une branche de 17 panneaux à son entrée A et une autre branche de 13 panneaux à l'entrée B.

1 x STP 12000TL-20 (Section de l'installation 1)			
Puissance de crête:	9,75 kWp		
Nombre total de panneaux photovoltaïques:	30		
Nombre d'onduleurs photovoltaïques:	1		
Puissance DC max. (cos φ = 1):	12,28 kW		
Puissance active AC max. (cos φ = 1):	12,00 kW		
Tension du réseau:	400V (230V / 400V)		
Rapport de puissance nominale:	126 %	✓	
Coefficient de dimensionnement:	79 %		
Facteur de déphasage (cos φ):	1		


STP 12000TL-20

Données de configuration photovoltaïques			
Entrée A: Générateur photovoltaïque 1			
17 x SolarWorld AG SW 325 XL mono (33 mm) (07/2015), Azimut: -45 °, Inclinaison: 15 °, Type de montage: Installation libre			
Entrée B: Générateur photovoltaïque 1			
13 x SolarWorld AG SW 325 XL mono (33 mm) (07/2015), Azimut: -45 °, Inclinaison: 15 °, Type de montage: Installation libre			

	Entrée A:	Entrée B:	
Nombre de strings:	1	1	
Panneaux photovoltaïques par string:	17	13	
Puissance de crête (entrée):	5,53 kWp	4,23 kWp	
Tension photovoltaïque caractéristique:	✓ 574 V	✓ 439 V	
Tension photovoltaïque min.:	538 V	412 V	
Tension DC min. (tension de red 230 V):	150 V	150 V	
Tension photovoltaïque max.:	✓ 808 V	✓ 618 V	
Tension DC max.:	1000 V	1000 V	
Courant du générateur PV max.:	✓ 8,8 A	✓ 8,8 A	
Courant DC max.:	18 A	10 A	

FIGURE 12: TABLEAU DE COMPATIBILITE DES PANNEAUX AVEC L'ONDULEUR

Le système se compose d'un sous-champ Est et d'un sous-champ Ouest respectivement de 19,5 kWc et de 29,25kWc.

b. Calcul des sections de câbles

Le calcul de la section d'un câble s'effectue en fonction de deux paramètres : la chute de tension et le courant maximum admissible.

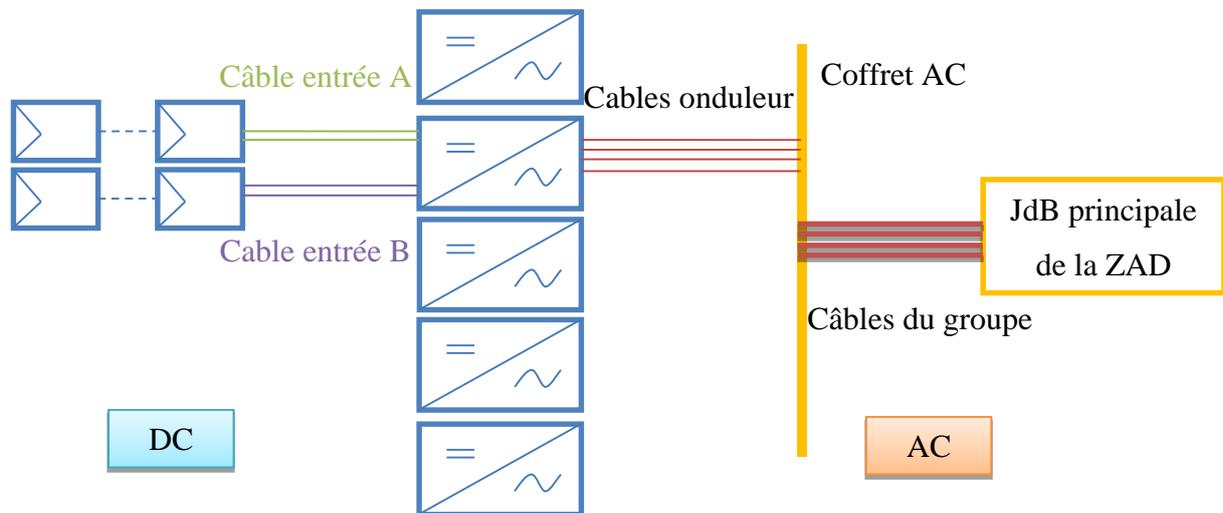


FIGURE 13: SYNOPTIQUE SIMPLIFIEE DU SYSTEME PV

✘ Dans la partie courant continue

Les estimations sont régies par l'UTE C 15-712-1. Les caractéristiques des panneaux sont les suivantes : $I_{mpp} = 8,84 \text{ A}$; $I_{cc} = 9,48 \text{ A}$ et $U_{mpp} = 37 \text{ V}$.

Il n'y a qu'une chaîne alors il n'y a pas de risque de courant de retour. Aussi, le courant admissible dans les câbles I_z devra être supérieur ou égal à $1,25 I_{cc}$ soit $11,85 \text{ A}$.

La formule de calcul de chute de tension est :

$$\varepsilon = \frac{\rho * L * I}{S * V}$$

ε = chute de tension

ρ = résistivité des câbles en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

L = longueur des câbles en m

S = section des câbles en mm^2

I = I_{mpp} = courant circulant dans les câbles

V = $n_p * U_{mpp}$ = tension circulant dans les câbles



Les câbles sont en alliage de cuivre et d'aluminium à 25%.

La chute de tension de l'ensemble de la partie DC de chaque groupe est inférieure ou égale à 0,01 soit 1% de la tension.

		Longueur L (m)	Résistivité ρ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	Courant I (A)	Tension U (V)	Section (mm^2)	Chute de tension	Total
GROUPES 1	NEUTRE 17	50,48	0,0264	8,84	629	6	0,00312	0,009
	PHASE 17	33,03	0,0264	8,84	629	6	0,00204	
	NEUTRE 13	32,03	0,0264	8,84	481	6	0,00259	
	PHASE 13	18,79	0,0264	8,84	481	6	0,00152	
GROUPES 2	NEUTRE 17	47,07	0,0264	8,84	629	6	0,00291	0,008
	PHASE 17	29,62	0,0264	8,84	629	6	0,00183	
	NEUTRE 13	28,62	0,0264	8,84	481	6	0,00231	
	PHASE 13	15,38	0,0264	8,84	481	6	0,00124	
GROUPES 3	NEUTRE 17	53,02	0,0264	8,84	629	6	0,00327	0,010
	PHASE 17	35,57	0,0264	8,84	629	6	0,00220	
	NEUTRE 13	34,57	0,0264	8,84	481	6	0,00279	
	PHASE 13	21,33	0,0264	8,84	481	6	0,00172	
GROUPES 4	NEUTRE 17	22,32	0,0264	8,84	629	6	0,00138	0,007
	PHASE 17	5	0,0264	8,84	629	6	0,00031	
	NEUTRE 13	40,75	0,0264	8,84	481	6	0,00329	
	PHASE 13	27,25	0,0264	8,84	481	6	0,00220	
GROUPES 5	NEUTRE 17	25,32	0,0264	8,84	629	6	0,00156	0,006
	PHASE 17	8	0,0264	8,84	629	6	0,00049	
	NEUTRE 13	33,75	0,0264	8,84	481	6	0,00272	
	PHASE 13	20,25	0,0264	8,84	481	6	0,00163	

TABLEAU 15: CALCUL DES CHUTES DE TENSION.

Le courant admissible I_z des câbles 6 mm^2 définie dans le tableau des courants admissibles en annexe 15 est supérieur à 11,85 A.

✘ En courant alternatif

Les calculs sont faits sur la base de la norme française C 15-100. Le courant maximum de sortie de l'onduleur est $I_n = 17,4$ A et son facteur de puissance est de 1.

Les câbles onduleurs seront soumis à I_n et les câbles groupes à $5I_n$.



➤ Les câbles onduleurs seront sur chemins de câbles perforés.

Ils sont soumis au courant I_n de l'onduleur.

- Mode de pose : 13
- Méthode de référence F : $f_1 = 1$
- Température 40°C, PR 3 : $f_2 = 0,91$
- Neutre non chargé : $f_3 = 1$
- Nombre de circuit =2 : $f_4 = 0,73$
- Nombre de couches = 2 : $f_5 = 0,8$

$$I_z(A) = k_3 \cdot I_b / (f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5)$$

$$I_z = 33 \text{ A}$$

S = 4 mm² cuivre.

➤ Les câbles groupes eux seront dans des goulottes

Ils sont soumis à un courant $5I_n$ venant des 5 onduleurs.

- Mode de pose : 32
- Méthode de référence B : $f_1 = 1$
- Température 40°C, PR3 : $f_2 = 0,91$
- Neutre non chargé : $f_3 = 1$
- Nombre de circuit : $f_4 = 1$
- Nombre de couches : $f_5 = 1$

$$I_z = 95,6 \text{ A}$$

S = 25 mm² cuivre.



La formule de la chute de tension est :

$$\varepsilon = \Delta u = \sqrt{3} \cdot I_b \left(R \cdot \frac{L}{S} \cos\varphi + X L \sin\varphi \right) \quad \text{Et} \quad \varepsilon(\%) = \frac{100 \cdot \Delta u}{U_n}$$

R = Résistivité : 0,0225 Ω.mm²/m pour le cuivre,

L : Longueur simple de la canalisation, en mètres.

S : Section des conducteurs, en mm²

Cos φ : Facteur de puissance

X : Réactance linéique des conducteurs

I_b : Courant d'emploi, en ampères.

U_n : Tension nominale entre phases (Tension composée) en volts (V)

La chute de tension total AC est de 1,53%.

	L	I _b	S	cosp	sin ρ	X	R	ΔU	Δu%
ONDULEUR 1	5	17,4	4	1	0	0,08	0,0225	0,848	0,21
ONDULEUR 2	4,5	17,4	4	1	0	0,08	0,0225	0,763	0,19
ONDULEUR 3	4	17,4	4	1	0	0,08	0,0225	0,678	0,17
ONDULEUR 4	3,5	17,4	4	1	0	0,08	0,0225	0,593	0,15
ONDULEUR 5	3	17,4	4	1	0	0,08	0,0225	0,509	0,13
GROUPE	20	87	25	1	0	0,08	0,0225	2,712	0,68
							TOTAL	6,10	1,53

TABLEAU 16 : RECAPITULATIF DES CHUTES DE TENSION AC

c. Calibrage des équipements de protections

La protection du système photovoltaïque sera comme dans la figure ci-dessous :

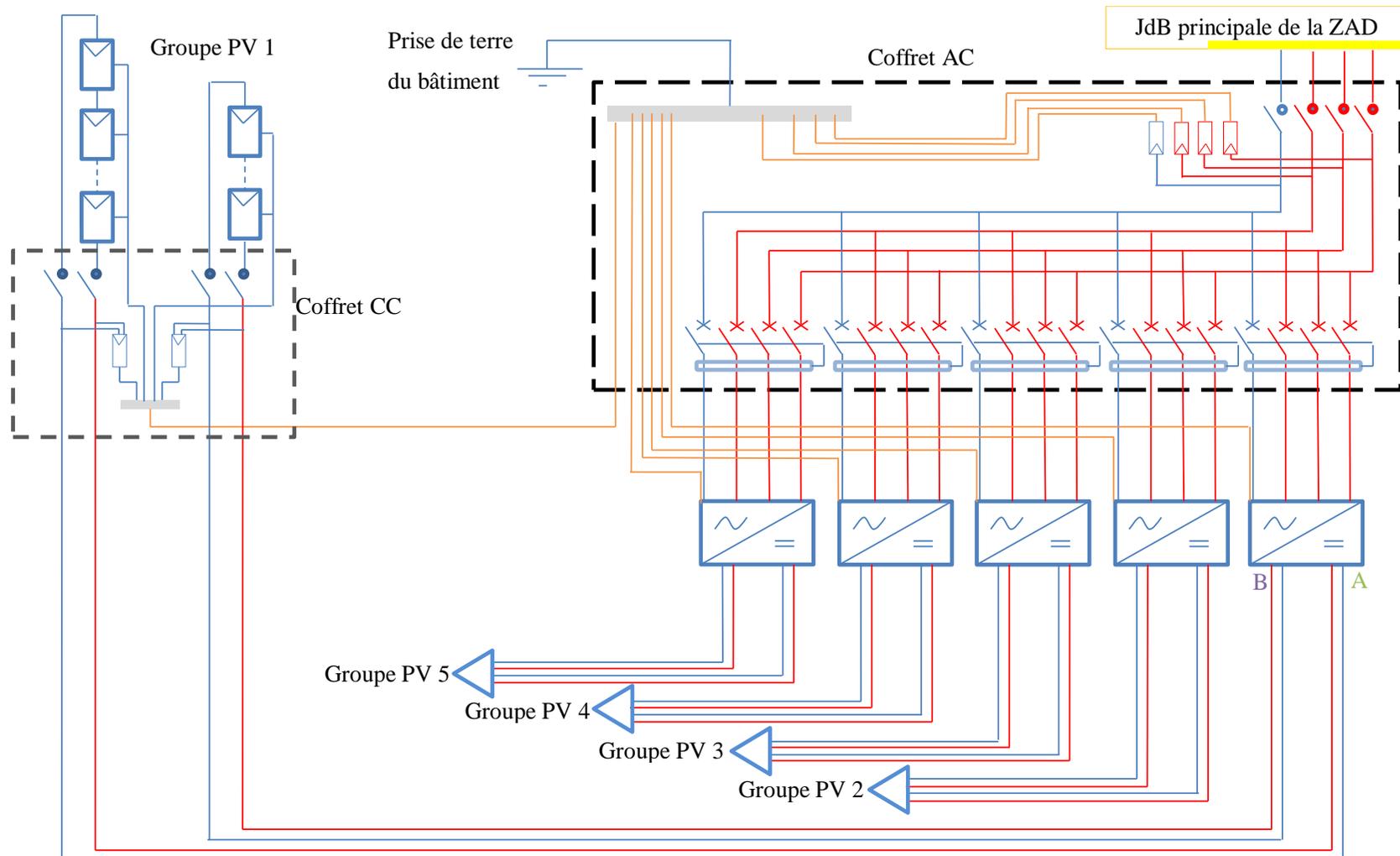


FIGURE 14: SYNOPTIQUE DU SYSTEME PV

✘ Partie CC

✓ Parafoudres

Les parafoudres se justifient par la densité de foudroiement, la longueur des câbles et l'usage du bâtiment comme décrit dans le tableau 12.

Type d'installation	Locaux d'habitation individuelle	Centrale de production au sol	Bâtiments Tertiaires/Industriels/Agricoles
L_{crit} (en m)	$115/N_g$	$200/N_g$	$450/N_g$
$L \geq L_{crit}$	Parafoudre(s) obligatoire(s) côté d.c. ⁽¹⁾		
$L < L_{crit}$	Parafoudre(s) non obligatoire(s) côté d.c. ⁽²⁾		

TABLEAU 17: CONDITIONS D'INSTALLATION DES PARAFOUDRES DC (UTE C 15-712-1)

N_g au Burkina se situe entre 10 et 14 [19] d'où $L_{critique} = 450/14 = 32,14$ m.

La majorité des conduits ont une longueur supérieure à la longueur critique, il sera donc installé des parafoudres de type 2 dans la partie DC.

✓ Interrupteur-sectionneur

Le courant assigné des interrupteurs devra être supérieur ou égale à $1,25I_{cc} = 11,85$ A. La tension, elle sera supérieure ou égale à la tension à vide U_{co} multiplié par le coefficient k prenant en compte l'effet de la température. $U_{co17} = 17*46,1 = 783,7$ V et $U_{co13} = 13*46,1 = 599,3$ V.

✘ Partie AC



✓ Parafoudres

Conformément au paragraphe 13.2.1 du guide de l'UTE C15-712-1, « la protection par parafoudre est obligatoire en présence de paratonnerre ou lorsque la densité de foudroissement (N_g) est supérieure à 2,5 ». Le parafoudre sera de type 2.

✓ Disjoncteurs

Les conditions à respecter sont : I_b supérieur à I_n et I_n supérieur à I_z .

I_b = le courant maximal d'emploi dans les conducteurs = I_{\max} onduleur = 17,4 A

I_n = le courant assigné du disjoncteur ou courant nominal du disjoncteur.

I_z = le courant maximal admissible dans les conducteurs =

Pour les disjoncteurs onduleur $I_b=17,4$ A et $I_z = 45$ A

✓ Dispositif différentiel

Le calibre du dispositif dépend de la valeur de la résistance de la prise de terre du bâtiment et de la tension limite U_L . U_L est égale à 50 V pour les bâtiments à usage de bureaux.

La sensibilité du dispositif $I\Delta n$ est :

$$I\Delta n = \frac{U_L}{R_m} \text{ Avec } I\Delta n \leq I_d \text{ (courant de défaut)}$$

Pour notre bâtiment, R_m à sa construction était de 240Ω

$$I\Delta n = \frac{50}{240} = 208 \text{ mA}$$

Alors $I\Delta n$ est de 100 mA

3. INTEGRATION AU SYSTEME DU BATIMENT

La production photovoltaïque sera injectée sur le jeu de barre principale du bâtiment. En outre, le système d'exploitation final sera fait de telle sorte que :



- ✚ Le réseau SONABEL demeure la source principale alimentant la charge.
- ✚ En l'absence du réseau, le groupe électrogène prendra la relève.
- ✚ La totalité de la production photovoltaïque sera injectée sur le réseau et la source principale, le réseau ou le groupe, produira le complément d'énergie nécessaire.

4. RECAPITULATIF DE LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE

La production photovoltaïque annuelle selon Sunny design de SMA Solar est de 90 506 kWh. Soit une réduction de la facture de 9 141 106 francs au tarif SONABEL actuel.

	Nombre	Prix unitaire	Prix total	Unités
Panneaux SW 325W	150	232 815	34 922 250	f CFA
Support	150	83 000	12 450 000	f CFA
onduleurs	5	1 587 384	7 936 920	f CFA
Câbles PV1-F 1*6 mm ²	750	1100	825 000	f CFA
Câbles PV1-F 1*4 mm ²	60	899	53 940	f CFA
Câbles U1000 R02V 4*25 mm ²	100	2240	224 000	f CFA
Protections	ENS	11 500 000	11 500 000	f CFA
Autres (taxes, transport, main d'œuvre)	ENS	13 582 422	13 582 422	
TOTAL		81 494 532		f CFA
	Nombre	Prix unitaire	Prix total	Unités
Economies sur la consommation	90 506	109	9 865 154	f CFA
Temps de retour sur investissement		8,26		Année

TABLEAU 18: RECAPITULATIF DU SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE



PARTIE IV : ANALYSE DES SCENARII D'ALIMENTATION ET DES LIMITES DE REPLICATION.

I. CONCEPTION ET ANALYSE DES DIFFÉRENTS SCENARII D'ALIMENTATION DU BATIMENT

Il s'agit de trouver la configuration qui offrira le meilleur service en termes de coût du kWh, de continuité service. et d'émission de gaz à effet de serre.

Composants ou ressources	Hypothèses
Réseau	Coût : 109 francs CFA
Groupe électrogène	-Puissance : 200 kW - Coût : 58 500 000 francs CFA -Opération et maintenance : 3504 francs CFA/h -Durée de vie : 15000 heures -Remplacement : 58 500 000 francs CFA -Ration mini de charge : 30%
Générateur PV	-Coût : 41 176 980 francs CFA -Opération et maintenance : 1755 francs CFA/h -Remplacement : 41 176 980 francs CFA -Puissance : 48,5 kW -Réflexion au sol : 20 % -Durée de vie : 25ans, -Pistage : non - Inclinaison : 15° -Azimut : 45°
Batterie	-Hoppecke OPzS 3000 -Coût : 1 270 035 francs CFA -Remplacement : 1 270 035 francs CFA -Opération et maintenance : 5 850francs CFA/h

Composants ou ressources	Hypothèses
Onduleurs	-Puissance : 60 KW -Coût : 7 897 500 francs CFA -Remplacement : 7 897 500 francs CFA -Opération et maintenance : 78 975 francs CFA -Rendement : 96% -Capacité à redresser : 100% -Rendement mode redresseur : 85% -Durée de vie : 20 ans
Charge	-Consommation : 460 kWh/jr -Pique de consommation : 76 kW

TABLEAU 19: HYPOTHESES DE LA SIMULATION HOMER

Les hypothèses ci-dessus ont permis d'effectuer une analyse des différents scénarii d'alimentation de la charge du bâtiment. Les résultats en annexe 26 montrent toutes les configurations possibles.

Comme le montre les résultats optimisés ci-dessous, la production photovoltaïque est toujours associée à d'autres sources.

	PV (kW)	Label (kW)	H3000	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	48.75			60	500	\$ 83,888	15,397	\$ 280,712	0.129	0.51		
	48.75	200		60	500	\$ 183,888	13,620	\$ 357,996	0.164	0.51		0
					500	\$ 0	31,330	\$ 400,504	0.187	0.00		0
		200			500	\$ 100,000	29,553	\$ 477,786	0.223	0.00		0
	48.75		3000	60	500	\$ 6,596,888	115,226	\$ 8,069,857	3.708	0.51		
	48.75	200	3000	60	500	\$ 6,696,888	113,448	\$ 8,147,139	3.743	0.51		0
			3000	60	500	\$ 6,526,500	131,438	\$ 8,206,724	3.824	0.00		
		200	3000	60	500	\$ 6,626,500	129,661	\$ 8,284,007	3.860	0.00		0

TABLEAU 20: RESULTATS DE LA SIMULATION HOMER



1. LE PRIX DU KWH

La configuration PV-Réseau est celle qui offre le plus bas prix, soit 0,129 \$ ou 75,4 francs CFA. Elle est suivie par la configuration PV-Réseau -G.E. avec un coût de 95,8 francs CFA. Et en troisième le Réseau uniquement avec un coût de 109 francs CFA.

Les configurations avec batteries sont les plus coûteuses.

2. LA CONTINUITÉ DE SERVICE

En termes de continuité de service, la configuration PV- Réseau -G. E. semble la plus fiable car le G.E. est à 98% disponible. La production photovoltaïque est conditionnée par la météo et le Réseau dans la configuration PV-Réseau. Les deux dernières configurations ont donc le même taux de disponibilité, estimé à 95%.

3. LES ÉMISSIONS DE GES

Les résultats des émissions en annexe 27 montrent que la configuration Réseau uniquement est la plus polluante. Les deux autres ont le même taux de pollution.

4. ÉVALUATION GLOBALE DES CONFIGURATIONS

L'évaluation des critères de 0 à 2 des différents critères a permis d'établir la matrice d'aide au choix suivante :

	Prix du kWh	disponibilité	GES	TOTAL
PV- Réseau	2	0	1	3
PV- Réseau- G. E.	1	2	1	4
Réseau	0	0	0	0

TABLEAU 21: RECAPITULATIF DES NOTES DES CONFIGURATIONS SUIVANT LES CRITERES

La configuration PV-Réseau-G. E. avec 4 points est la plus appropriée au bâtiment de la ZAD.



II. ANALYSE DES LIMITES ÉVENTUELLES DES PROPOSITIONS POUR RÉPLICATION À D'AUTRES BÂTIMENTS

1. LES LIMITES DE L'AUDIT DU BATIMENT

L'audit énergétique des bâtiments est applicable à tout type d'édifice énergivore. Cependant, les économies seront moindres pour les édifices à usage domestique et plus important pour les grands bâtiments à usage de bureaux.

Il est également à noter que pour les bâtiments alimentés en basse tension, l'analyse de la facture de Monsieur Geodefroy Thiombiano n'aboutira qu'à un changement de la puissance souscrite.

2. LES LIMITES DE LA PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE.

La puissance photovoltaïque est fonction de plusieurs critères :

i. La surface disponible :

Chaque bâtiment a une surface exploitable limitée.

ii. Les ombrages :

Les bâtiments ayant un fort pourcentage de leur surface utile ombragée ne sont pas appropriés pour une centrale photovoltaïque.

iii. L'orientation du bâtiment :

L'ensoleillement reçu sur un toit est fonction de l'orientation du bâtiment qui sera aussi l'orientation des panneaux.

iv. Le taux de pénétration photovoltaïque :

Une analyse plus poussée de l'influence de la production photovoltaïque montre une réduction du prix de revient du kWh pour une centrale plus grande. En effet, pour une centrale photovoltaïque de 110 kWc, le coût du kWh pour le bâtiment de la ZAD serait de 0,065 \$ soit 38 francs CFA.

Cependant, au-delà de 110 kWc le coût du kWh ne baisse plus. Il existe donc une limite de pénétration photovoltaïque pour chaque bâtiment.

III. ÉTAT FINANCIER

Désignation	Investissements
Bureautique	-
Facturation	1 995 552
Habitudes occupants	3 264 000
Eclairage	22 486 600
climatisation	24 128 640
Système PV	81 494 532

TABLEAU 22: CLASSEMENT DES SOLUTIONS SELON L'INVESTISSEMENT REQUIS

Désignation	Temps de retour sur investissement (an)
Bureautique	-
Facturation	0,8
Habitudes occupants	0,66
Climatisation	1,53
Eclairage	4,55
Système PV	8,26

TABLEAU 23: CLASSEMENT DES SOLUTIONS SELON LE TEMPS DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT

A l'issue des mesures d'économie d'énergie, avec un investissement de 51 874 792 francs CFA ; il est possible de réaliser une économie financière de 26 110 582 francs CFA. Pour ce qui est du solaire photovoltaïque, il permettra de réaliser des économies d'une valeur de 9 865 154 francs CFA avec un investissement de 81 494 532 francs CFA.

La nouvelle facture d'électricité annuelle du bâtiment serait de 14 085 401 francs CFA pour un kilowattheure ne coûtant que 100 francs CFA.

La figure ci-dessous met en évidence le grand intérêt de l'audit énergétique.

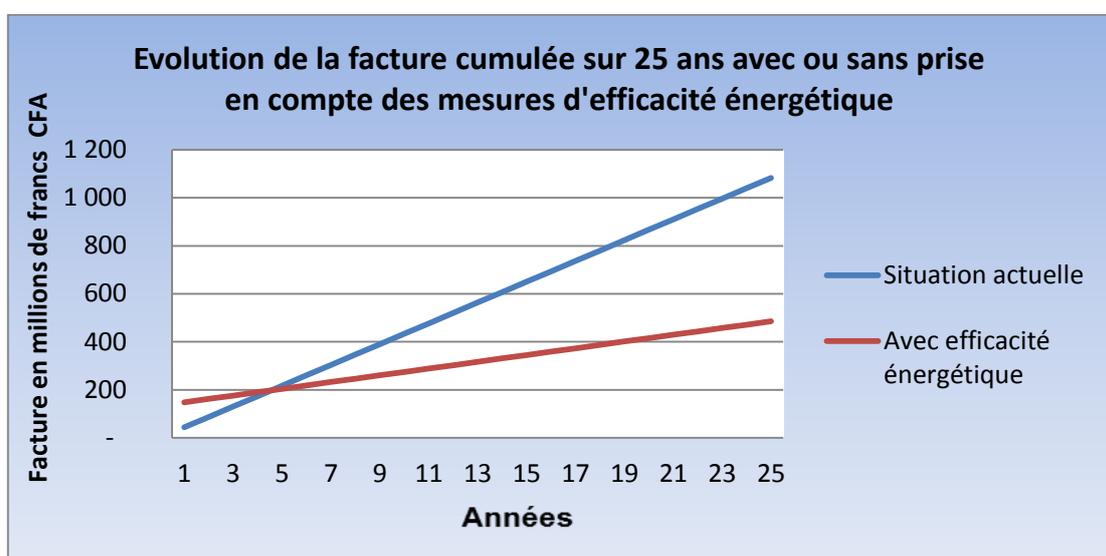


FIGURE 15: EVOLUTION DE LA FACTURE CUMULEE SUR LES 25 ANS

La facture au bout de 25 ans, dans la situation actuelle s'élèvera à 1 084 millions de francs contre 486 millions si les mesures d'économies étaient appliquées.

IV. IMPACT ENVIRONNEMENTALE

L'énergie achetée au réseau SONABEL est à présent de 140 854 kWh/an. Le bâtiment produira annuellement 55 017 kgeqCO₂. Le nouvel indice de pollution est :

$$IRCO_2 = \frac{\text{Quantité de CO}_2 \text{ rejetée en kg}}{\text{Surface habitable en m}^2}$$



$$ICE = \frac{55\,018}{2\,031}$$

$$IRC_{CO2} = 27 \text{ kgeqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$$

V. IMPACT ECONOMIQUE ET SOCIAL

La SONABEL possède (03) trois autres bâtiments administratifs de même envergure que le bâtiment de la ZAD. En supposant une réduction de la consommation de 30% sur chaque bâtiment, il est possible d'économiser 576 000 kWh chaque année.

La consommation d'un ménage de confort moyen est 2,5 kWh par jour (moyenne d'une étude réalisée sur un échantillon réduit de ménage.)

L'économie de la consommation des (04) quatre bâtiments réunis pourrait alimentée 631 foyers de confort moyen pendant toute l'année.



CONCLUSION

Au terme de l'analyse, il ressort que la consommation des bâtiments de la SONABEL peut être optimisée. En effet, l'analyse des équipements laisse entrevoir une possibilité de réduction de la consommation électrique initiale de 51%.

Les mesures pour la bureautique ne nécessitent aucun investissement. Cependant les économies ne sont que de 400 milles francs par an.

La climatisation, constituant le point d'économie le plus important, permet de réaliser la plus grande quantité de kWh mais le coût d'investissement des mesures est le plus élevé.

Pour ce qui est de l'éclairage, pour un investissement de 5,67 millions, il est possible de réduire la consommation de 52 026 KWh.

La production photovoltaïque prévue est de 90 MW/an. Cette mesure n'implique aucune réduction de la consommation mais plutôt une réduction de la facture.

En plus des intérêts évidents que sont la réduction de la consommation et de la facture pour les bâtiments de la SONABEL, le projet permettra en période de pointe d'alimenter pendant toute l'année 631 ménages de confort moyen et la réduction des émissions de gaz à effets de serre.



RECOMMANDATIONS – PERSPECTIVES

1. RECOMMANDATIONS

- ✚ Application de l'étude de l'efficacité énergétique des bâtiments avant leur construction permettra de faire des économies sur les câbles et la puissance du groupe secours.
- ✚ Amélioration du système de sécurité incendie du bâtiment.

5. PERSPECTIVES

- ▣ Intégrer la vente de surplus ou totale de la production photovoltaïque
- ▣ Augmenter la production photovoltaïque en installant une microcentrale au-dessus du parking.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Y. Azoumah et coll. Sustainable electricity generation for rural and péri-urban population of sub-Saharan Africa. www.Elsevier.com
- [2] Gilles CARBONNIER et Jacques GRINEVALD « Energy and Development ». Revue internationale de politique de développement 2 / 2011
- [3] Fonds Africain de Développement BURKINA FASO. Départements ONEC/ OSGE. Programme d'Appui Budgétaire au secteur de l'Energie (PASE) Rapport d'Evaluation. Juin 2015.
- [4] Arnaud Alia et al.- le solaire en Afrique 2020-quatre scénarii de discours possibles par la BAD en 2020. - décembre 2007.
- [5] Wikipédia. Efficacité énergétique (économie). [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Efficacité_énergétique_\(économie\)](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Efficacité_énergétique_(économie))
- [6] Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie (IEPF). Efficacité énergétique de la climatisation en région tropicale. TOME 2 : Exploitation des installations existantes.
- [7] Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME). Audit énergétique bâtiment. Rapport type – Juin 2011.
- [8] Nicolas CHAUMIER. Cahier technique Schneider Electric n° 206 : Les économies d'énergie dans le bâtiment.
- [9] TRAAM 2014 STI2D. Académie de Nice. Efficacité Energétique Active. Partie 1 : Intérêts, Analyse et Solutions.
- [10] Société Nationale d'Electricité du Burkina. Rapport d'activités 2013, 2014 et 2015.
- [11] NASA (ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER) <https://eosweb.larc.nasa.gov/> .



[12] Yézouma COULIBALY. Cours ECONOMIES D'ENERGIE DANS LE BATIMENT ET DANS L'INDUSTRIE.

[13] Weather Online. www.w.o.france.fr

[14] Autorité de Régulation du Sous-Secteur de l'Electricité (ARSE). www.arse.bf

[15] Actu environnement. Com. Les perspectives de développement de l'Energie solaire sont au beau fixe. Du 05 novembre 2007. Consulté le 22 aout 2016

[16] **Photovoltaic Geographical Information System.**
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solres.htm>

[17] Fabricants de panneaux solaires photovoltaïques. www.quelleenergie.fr/economies-energie/panneaux-solaires-photovoltaïques/fabricants consultée le 06 septembre 2016

[18] SMA la marque préférée dans le monde. www.SMA-France.com/en-tete/presse/dernières-nouvelles/détail-de-l'actualité/news/4260-sma-solar-technology-est-la-marque-préférée-d'onduleurs-photovoltaïques-dans-le-monde.html consultée le 06 septembre 2016.

[19] Louis-Paul Hayoun et Aurian Arrigoni. LES INSTALLATIONS PHOTOVOLTAIQUES : conception et dimensionnement des installations raccordées au réseau.

[20] Lucien Yoppa. Analyse du phénomène de la foudre sur les installations d'OCM : Optimisation de la protection.



ANNEXES

ANNEXE 1 : FACTURE DU BATIMENT DE LA ZAD DE 2015 ; 2014 ET 2013	62
ANNEXE 2 : BILAN DE PUISSANCE DU BATIMENT	64
ANNEXE 3 : GRILLE TARIFAIRE DE LA SONABEL	65
ANNEXE 4 : FICHE TECHNIQUE DE LA LAMPE LED VISION EL 18W.	66
ANNEXE 5 : CARACTERIQUE DU BUREAU	67
ANNEXE 6 : RESULTATS DE SIMULATIONS AVEC LES LAMPES FLUORESCENTES.....	68
ANNEXE 7 : RESULTATS DE SIMULATIONS AVEC LES LAMPES LED	69
ANNEXE 8 : FICHE TECHNIQUE CLIMATISEUR SHARP 12000 BTU.....	70
ANNEXE 9 : FICHE TECHNIQUE CLIMATISEUR SHARP 18000 BTU.....	71
ANNEXE 10: FICHE TECHNIQUE BATTERIE DE CONDENSATEURS	72
ANNEXE 11: BILAN DE PUISSANCE DE LA NOUVELLE CONSOMMATION.....	73
ANNEXE 12: PLAN DU BATIMENT DE LA ZAD	74
ANNEXE 13:RESULTATS D'ENSOLEILLEMENTA OUAGADOUGOU PAR PVGis	75
ANNEXE 14: RESULTATS DE SIMULATION DE LA PRODUCTION SOLAIRE MINIMUM ET MAXIMUMUN HORAIRE.	76
ANNEXE 15: CHARGE HORAIRE DU BATIMENT DE LA ZAD	78
ANNEXE 16: FICHE TECHNIQUE ONDULEURS STP 12000TL-20	79
ANNEXE 17: TABLEAU DES DISPOSITIFS DE PROTECTION DES MODULES PV	81
ANNEXE 18: TABLEAU DES COURANTS ADMISSIBLES DES CABLES DE CHAINES PV	82



ANNEXE 19: COURANTS ADMISSIBLES DES CABLES POUR INSTALLATIONS PHOTOVOLTAIQUES POUR UNE TEMPERATURE MAXIMUM A L'AME DE 90°C.....	83
ANNEXE 20: TABLEAU 52 D DE LA NF C15 100.....	84
ANNEXE 21: TABLEAU 52 C DE LA NF C15 100.....	85
ANNEXE 22: TABLEAU 52 E DE LA NF C15 100.....	87
ANNEXE 23: TABLEAU 52 F DE LA NF C15 100.....	88
ANNEXE 24: TABLEAU 52 J1 DE LA NF C15 100.....	89
ANNEXE 25: TABLEAU 52 L DE LA NF C15 100.....	90
ANNEXE 26: TABLEAU DES DIVERS SCENARIOS DE HOMER.....	91
ANNEXE 27: TABLEAU DES EMISSIONS DE GES PAR CONFIGURATION.....	92
ANNEXE 27-1: CONFIGURATION PV-GRID.....	92
ANNEXE 27-2: CONFIGURATION PV-GRID-G. E.....	92
ANNEXE 27-3: CONFIGURATION GRID.....	92
ANNEXE 28: TABLEAU D'EVOLUTION DE LA FACTURE SUR 25 ANS.....	93



ANNEXE 1 : FACTURE DU BATIMENT DE LA ZAD DE 2015 ; 2014 ET 2013

ANNEE 2015

mois	consommation			Réactif	Horaire	Montant
	heure pleine	heure pointe	TOTAL (kWh)			
janvier	16709	16398	33107	15305	720	3,820,878
février	16694	16433	33127	15103	720	3,829,095
mars	16906	16754	33660	15149	720	3,889,464
avril	10598	9712	20310	13511	839	2,369,781
mai	15848	14926	30774	18208	673	3,444,632
juin	14724	12276	27000	16196	638	3,027,762
juillet	6320	6193	12513	8103	720	1,613,127
août	25517	22062	47579	32270	1224	5,258,992
septembre	40118	35096	75214	49928	2043	8,109,224
octobre	10988	7482	18470	15437	883	2,280,264
novembre	18556	14766	33322	21930	529	3,654,153
décembre	16399	12821	29220	19763	622	3,255,352

ANNEE 2014

mois	heure pleine	heure pointe	TOTAL	Réactif	Horaire	Montant
janvier	12420	9668	22088	13697	712	2,459,682
février	12709	10665	23374	13926	720	2,593,970
mars	13940	12138	26078	15593	768	2,999,239
avril	44800	41909	86709	49894	720	9,438,074
mai	18321	19127	37448	19390	658	4,364,494
juin	16131	15633	31764	17492	632	3,701,254
juillet	17432	16812	34244	15142	715	3,957,810
août	16782	16223	33005	16317	720	3,792,133
septembre	15632	14825	30457	14872	712	3,513,596
octobre	17463	18802	36265	15915	720	4,221,714
novembre	16837	15672	32509	14144	720	3,737,338
décembre	16829	16466	33295	15278	720	3,847,064



ANNEE 2013

mois	heure pleine	heure pointe	TOTAL	Réactif	Horaire	Montant
janvier	17641	15812	33453	18264	728	3,778,138
février	15923	13584	29507	14186	715	3,370,977
mars	16337	13923	30260	16207	1469	3,536,757
avril	3166	2693	5859	2942	720	1,028,971
mai	17804	20147	37951	18887	720	4,475,759
juin	18837	20468	39305	19893	712	4,582,242
juillet	16460	17786	34246	18210	720	4,012,632
aout	14671	15717	30388	18090	720	3,469,880
septembre	12775	12259	25034	15212	702	2,831,618
octobre	14565	15036	29601	17104	720	3,456,569
novembre	17801	17378	35179	19335	713	4,001,220
décembre	17625	14673	32298	18636	712	3,599,579

ANNEXE 2 : BILAN DE PUISSANCE DU BATIMENT

niveau	DESIGNATIONS	QTES	P UNIT(W)	P TOTALE	COS PHI	Puissance app	Heures	Puissance conso	
RDC	Reglette 36 W	164	45	7380	0,86	8 581	2 115	18 150	
	APPLIQUE 18 W	4	22,5	90	0,86	105	1 175	123	
	Climatiseur		24	1472	35328	0,85	41 562	2 115	87 904
			6	2208	13248	0,85	15 586	2 115	32 964
	EPSON LQ 2190	3	46	138	1	138	705	97	
	EPSON FX 890	2	53	106	1	106	705	75	
	LASER JET P2055dn	4	570	2280	1	2 280	705	1 607	
	LASER JET COLOR MFP M 276 nw	2	315	630	1	630	705	444	
	LASER JET P1102	1	360	360	1	360	705	254	
	LASER JET COLOR MFP M 401 dn	1	570	570	1	570	705	402	
	LASER JET 1018	1	220	220	1	220	705	155	
	LASER JET 1320	1	340	340	1	340	705	240	
	Brasseur d'air	4	75	300	0,85	353	2 115	746	
	Sterilisateur	1	950	950	0,85	1 118	235	263	
	Refrigerateur	2	53	106	0,85	125	2 920	364	
	Refrigerateur MEDECIN	1	118	118	0,85	139	2 920	405	
	Ordinateur	24	130	3120	1	3 120	2 115	6 599	
Cafetiere	1	1100	1100	0,85	1 294	470	608		
R+1	Reglette 36 W	202	45	9090	0,86	10 570	2 115	22 355	
	APPLIQUE 18 W	4	22,5	90	0,86	105	1 175	123	
	Climatiseur		22	1472	32384	0,85	38 099	2 115	80 579
			4	2208	8832	0,85	10 391	2 115	21 976
	TRACEUR DESIGN JET Z 5200	2	170	340	1	340	705	240	
	CANON IR 5000	1	1500	1500	1	1 500	705	1 058	
	LASER JET P2055dn	8	570	4560	1	4 560	705	3 215	
	EPSON LQ 2190	5	46	230	1	230	705	162	
	EPSON FX 890	4	53	212	1	212	705	149	
	CANON IR 2016	1	1600	1600	1	1 600	705	1 128	
	SHARP AR-M207	1	1200	1200	1	1 200	705	846	
	LASER JET P2015 dn	1	350	350	1	350	705	247	
	ECOSYS FS 1040	1	304	304	1	304	705	214	
	LASER JET COLOR MFP M 401 dn	1	570	570	1	570	705	402	
	IBM 6400	2	240	480	1	480	705	338	
	RS 6000	1	1600	1600	1	1 600	705	1 128	
	Ordinateur	27	130	3510	1	3 510	2 115	7 424	
Refrigerateur	1	53	53	0,85	62	2 920	182		
Cafetiere	1	1100	1100	0,85	1 294	470	608		
R+2	Reglette 36 W	190	45	8550	0,85	10 059	2 115	21 274	
	APPLIQUE 18 W	5	22,5	112,5	0,85	132	1 175	156	
	Climatiseur	26	1472	38272	0,85	45 026	2 115	95 230	
	LASER JET COLOR MFP M 276 nw	1	315	315	1	315	705	222	
	LASER JET P2055dn	7	570	3990	1	3 990	705	2 813	
	CANON IR 5000	1	1500	1500	1	1 500	705	1 058	
	DESKJET 6980	2	55	110	1	110	705	78	
	EPSON DFX 9000N	1	185	185	1	185	705	130	
	LASER JET COLOR MFP M 401 dn	3	570	1710	1	1 710	705	1 206	
	LASER JET P2015 dn	1	350	350	1	350	705	247	
	EPSON FX 890	1	53	53	1	53	705	37	
	ECOSYS FS 1040	1	304	304	1	304	705	214	
	PROJECTEUR EPSON EB-S18	1	270	270	1	270	705	190	
	Ordinateur	27	130	3510	1	3 510	2 115	7 424	
	Refrigerateur	2	53	106	0,85	125	2 920	364	
	Cafetiere	2	1100	2200	0,85	2 588	470	1 216	
	AUTRES	Reglette 36 W	22	45	990	0,85	1 165	2 115	2 463
							SOMME	428 097	
							COEFF. D'EXTENSION	1,1	
							TOTAL (kWh)	470 907	



ANNEXE 3 : GRILLE TARIFAIRE DE LA SONABEL

Arrêté n°...../MMCE/MCPEA/MFB du 26 juillet 2006

TENSION	Catégories et tranches tarifaires	Tarifs du kWh (F CFA)			Redevance (F CFA)	PRIME FIXE (F CFA)	Avance sur Consommation (F CFA)	Frais ETS police et de pose (F CFA)	Timbres (F CFA)	Liasses (F CFA)	TOTAL Abonnement (F CFA)	
B A S S E T E N S I O N B T	I) USAGE DOMESTIQUE PARTICULIERS ET ADMINISTRATION											
	MONOPHASE 2 FILS	Tarif type A (monophasé)	Tranche 1 0 à 50 kWh	Tranche 2 51 à 100 kWh	Tranche 3 plus de 100 kWh							
		1 à 3A	75	128	138	1 132	-	3 375	691	400	108	4 574
		Tarif type B (monophasé)	Tranche 1 0 à 50 kWh	Tranche 2 51 à 200 kWh	Tranche 3 plus de 200 kWh							
		5A	96	102	109	457	1 774	8 175	691	400	108	9 374
		10A	96	102	109	457	3 548	16 350	691	400	108	17 549
		15A	96	102	109	457	5 322	24 525	691	400	108	25 724
		20A	96	102	109	764	7 097	32 700	691	400	108	33 899
		25A	96	102	109	764	8 870	40 875	691	400	108	42 074
	30A	96	102	109	764	10 644	49 050	691	400	108	50 249	
	TRIPHASE 4FILS	II) USAGE DOMESTIQUE ET FORCE MOTRICE PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Tranche 1 0 à 50 kWh	Tranche 2 51 à 200 kWh	Tranche 3 plus de 200 kWh							
		Tarif type C (triphasé)										
		10A	96	108	114	1 226	10 613	51 300	1 380	400	108	53 188
		15A	96	108	114	1 226	15 918	76 950	1 380	400	108	78 838
		20A	96	108	114	1 373	21 224	102 600	1 380	400	108	104 488
		25A	96	108	114	1 373	26 531	128 250	1 380	400	108	130 138
	DOUBLE TARIF	III) B.T. / TARIFS HORAIRES PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Heures de pointe	Heures pleines								
		Tarif type D1 Non industriel	165	88	8 538	34 582 par kW par an	PS X 100 X 165	1 380	4 000	108		
Tarif type D2 Industriel		140	75	7 115	28 818 par kW par an	PS X 100 X 140	1 380	4 000	108			
MOYENNE TENSION (MT)	IV) M.T. / TARIFS HORAIRES PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Heures de pointe	Heures pleines									
	Tarif type E1 Non industriel	139	64	8 538	70 826 par kW par an	PS X 100 X 139	1 380	4 000	108			
	Tarif type E2 Industriel	118	54	7 115	64 387 par kW par an	PS X 100 X 118	1 380	4 000	108			
ECLAIRAGE PUBLIC Tarif type F	TARIF UNIQUE	5A - 15A mono		381								
		20A et plus mono		637								
		10A - 15A triphasé		1 022								
	122		20A et plus triphasé	1 144								

- PS = Puissance Souscrite
 - Pour la BT double tarif et la MT : Pénalisation si Cos phi < 0,8 et Bonification si Cos phi > 0,9
 - Heures de pointe : de 10h à 14 h et de 16h à 19h
 - Heures pleines : de 0h à 10h, de 14h à 16h et de 19h à 0h
 - L'administration est dispensée du versement de l'avance sur consommation

ANNEXE 4 : FICHE TECHNIQUE DE LA LAMPE LED VISION EL 18W.



Fiche technique

Tube LED professionnel 18 watt Blanc lumière du jour

Format T8 en 1200 mm

230 Volt AC. Ne nécessite pas de ballast, ni starter

Blanc lumière du jour : 6400 °K

Puissance lumineuse : 2000 lumens

Durée de vie : 30 000 heures

Puissance absorbée : 18W

Puissance restituée : 36W

Diamètre : 26 mm

Protection ALU

Marque : Vision-EL

Conforme aux Normes CE - RoHS - EMC

Label énergie A++

Garantie fabricant 1 an

Attention : le montage des tubes LED à la place des tubes néon classiques nécessite une intervention électrique sur le support. Les tubes LED n'ont plus besoin de ballast ni de starter pour fonctionner. Il faut donc supprimer ces 2 éléments. Cette intervention doit être faite par un professionnel agréé. Toute utilisation non conforme de nos tubes LED ne sera pas couverte par la garantie.



ANNEXE 5 : CARACTERIQUE DU BUREAU

Projet 1



DIALux
22.09.2016

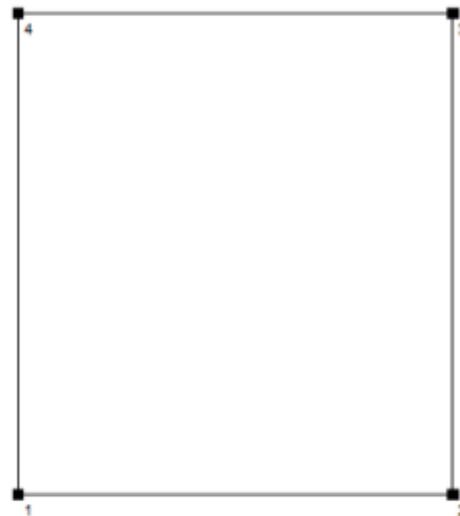
Editeur (trice)
Téléphone
Fax
Email

Pièce 1 / Protocole de saisie

Hauteur du plan utile: 1.000 m
Zone périphérique: 0.000 m

Facteur d'entretien: 0.90

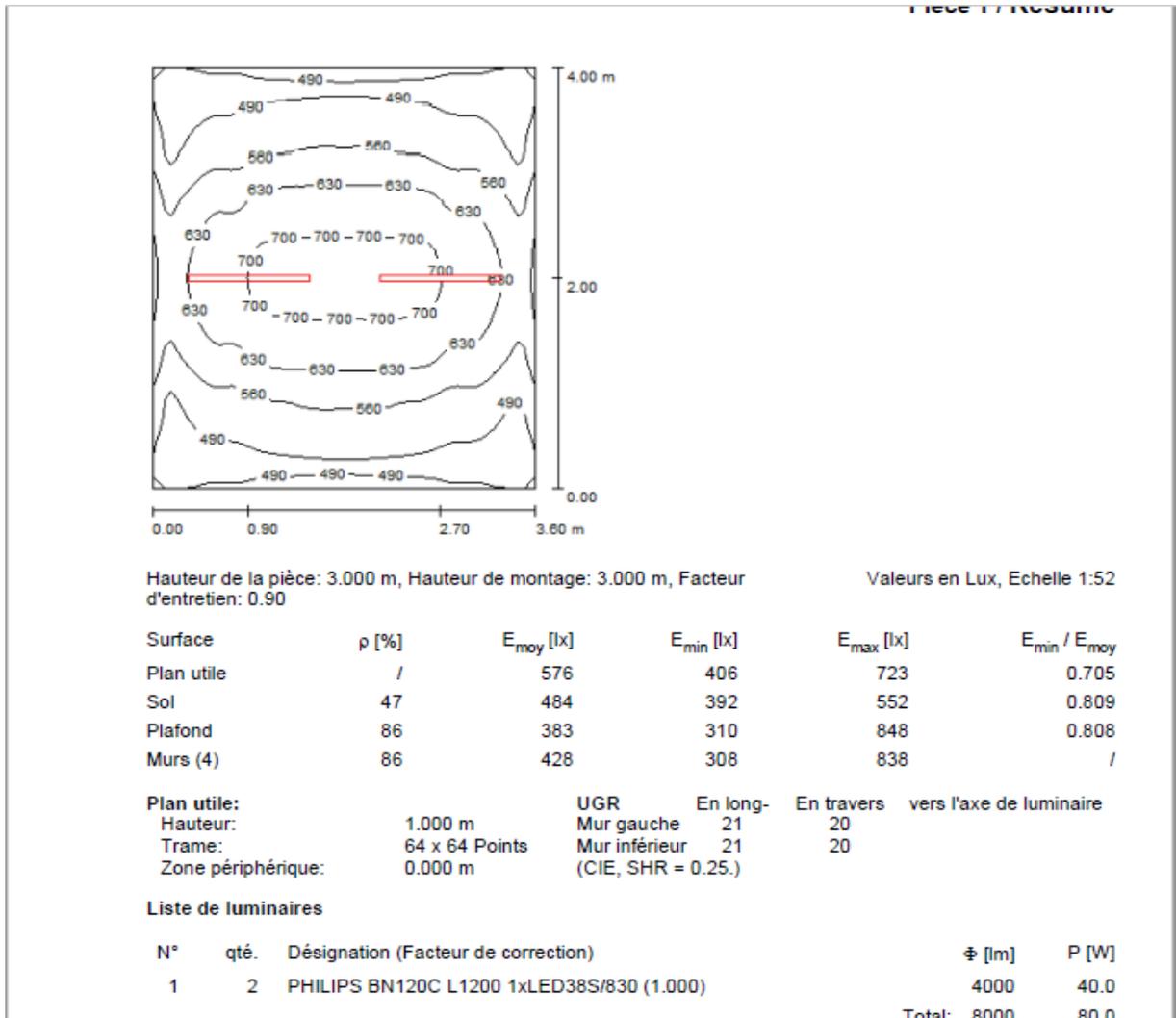
Hauteur de la pièce: 3.000 m
Surface au sol: 14.40 m²



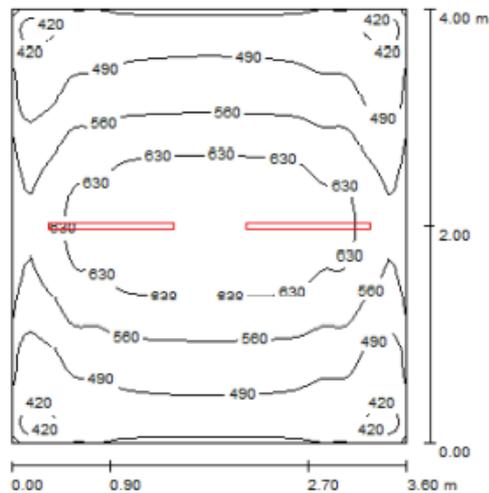
Surface	Rho [%]	de ([m] [m])	à ([m] [m])	Longueur [m]
Sol	47	/	/	/
Plafond	88	/	/	/
Paroi 1	88	(0.000 0.000)	(3.600 0.000)	3.600
Paroi 2	88	(3.600 0.000)	(3.600 4.000)	4.000
Paroi 3	88	(3.600 4.000)	(0.000 4.000)	3.600
Paroi 4	88	(0.000 4.000)	(0.000 0.000)	4.000



ANNEXE 6 : RESULTATS DE SIMULATIONS AVEC LES LAMPES FLUORESCENTES



ANNEXE 7 : RESULTATS DE SIMULATIONS AVEC LES LAMPES LED



Hauteur de la pièce: 3.000 m, Hauteur de montage: 3.000 m, Facteur d'entretien: 0.90

Valeurs en Lux, Echelle 1:52

Surface	ρ [%]	E_{moy} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{moy}
Plan utile	/	548	386	687	0.705
Sol	47	460	372	524	0.809
Plafond	86	364	294	806	0.808
Murs (4)	86	406	292	796	/

Plan utile:	UGR	En long-	En travers	vers l'axe de luminaire
Hauteur: 1.000 m	Mur gauche	21	20	
Trame: 64 x 64 Points	Mur inférieur	21	20	
Zone périphérique: 0.000 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Liste de luminaires

N°	qté.	Désignation (Facteur de correction)	Φ [lm]	P [W]
1	2	PHILIPS BN120C L1200 1xLED38S/830 (1.000)	3800	40.0
			Total: 7600	80.0

Puissance installée spécifique: $5.56 \text{ W/m}^2 = 1.01 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Surface au sol: 14.40 m^2)



ANNEXE 8 : FICHE TECHNIQUE CLIMATISEUR SHARP 12000 BTU



- Puissance : 12000 BTU (1,5 CV)
- Puissant Jet Stream rapidement.
- Fonction Auto restart
- Consommation électrique : 1120 W

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

- Poids net - Unité extérieure : (kg) 29
- La dimension du tuyau (pouces) - Côté liquide 1/4
- La dimension du tuyau (pouces) - Côté gaz 1/2
- Réfrigérant : R22
- Niveau de pression sonore : 38 dB [unité intérieure (Salut)]
48 dB [unité extérieure (Salut)]
- Consommation : de 1090 à 1120 watts
- Puissance frigorifique : 3,50 ampères
- Capacité de refroidissement BTU / h 12.000
- Puissance d'entrée-A ; 220-240V, 50Hz

- Dimensions (W x H x D) - Unité extérieure : 730 x 540 x 250 mm
- Dimensions (W x H x D) - Unité intérieure : 860 x 292 x 223 mm
- Courant de fonctionnement : de 5,0 à 4,9 ampères
- Débit d'air : 10.9 m3/min
- Poids net : 9 kg



ANNEXE 9 : FICHE TECHNIQUE CLIMATISEUR SHARP 18000 BTU



- Puissance : 18000 BTU (2 CV)
- Puissant Jet Stream rapidement.
- Fonction Auto restart
- Consommation électrique : 1790 W

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Poids net - Unité extérieure : (kg) 35

La dimension du tuyau (pouces) - Côté liquide 1/4

La dimension du tuyau (pouces) - Côté gaz 1/2

Réfrigérant : R22

Niveau de pression sonore : 44 dB [unité intérieure (Salut)

53 dB [unité extérieure (Salut)

Consommation : de 1740 à 1790 watts

Puissance frigorifique : 5.01 ampères

Capacité de refroidissement BTU / h 18.000

Puissance d'entrée-A ; 220-240V, 50Hz

Dimensions (W x H x D) - Unité extérieure : 780 x 540 x 269 mm

Dimensions (W x H x D) - Unité intérieure : 1050 x 313 x 313 mm

Courant de fonctionnement : de 8,2 à 7,8 ampères

Débit d'air : 16,1 m³/min

Poids net unité intérieur : 11,5 kg



ANNEXE 10: FICHE TECHNIQUE BATTERIE DE CONDENSATEURS

 **legrand**[®]

e-catalogue 2016

REF . 4 150 29



BATTERIE AUTOMATIQUE TRIPHASÉE BX 400 V - 50 HZ - 35 KVAR

 **legrand**[®]

Tarif unitaire HT	2 340,00 €
Emballage (nombre nb d'unités)	1
Volume (dm ³)	80,999
Poids (g)	22 490,00

Caractéristiques du produit

Batteries de condensateurs automatiques

- Réseau triphasé 400 V - 50 Hz
- La compensation s'adapte aux besoins de l'exploitation
- A utiliser dans les cas suivants :
 - Installations électriques à charge variable ou compensation de tableaux généraux (TGBT, TD ou gros départ)
 - pollution harmonique : THDu \leq 2%, THDi \leq 10 %
 - prévoit le disjoncteur de protection en amont de la batterie de condensateur automatique
 - prévoit un transformateur de courant (TI) de calibre adéquat suivant votre installation, type 4 121 02
- Puissance de la batterie : 35 kvar
- Gradins : 5 + 10 + 20 kvar

Caractéristiques générales

Batteries de condensateurs BX

Documentation associée

Pages catalogue & annexes

- [page commerciale \(p.127\)](#)
- [Page technique \(p.186\)](#)
- [Page technique \(p.186\)](#)

Documents & argumentaires commerciaux

- [Optimiser la performance électrique des bâtiments](#)

Logiciels métiers

- [Logiciel XL PROCP 400](#)
- [Logiciel XL PROCP CALCUL](#)

Fiches techniques / Guides métier

- [Optimiser la performance électrique des bâtiments](#)

Reportages chantiers

- [Immeuble Eu1 à Aix en Provence - une solution complète](#)
- [Aéroport Fiviers de Hinc, le stade où la puissance s'élève](#)

CCTP - Fiches d'aide à la rédaction

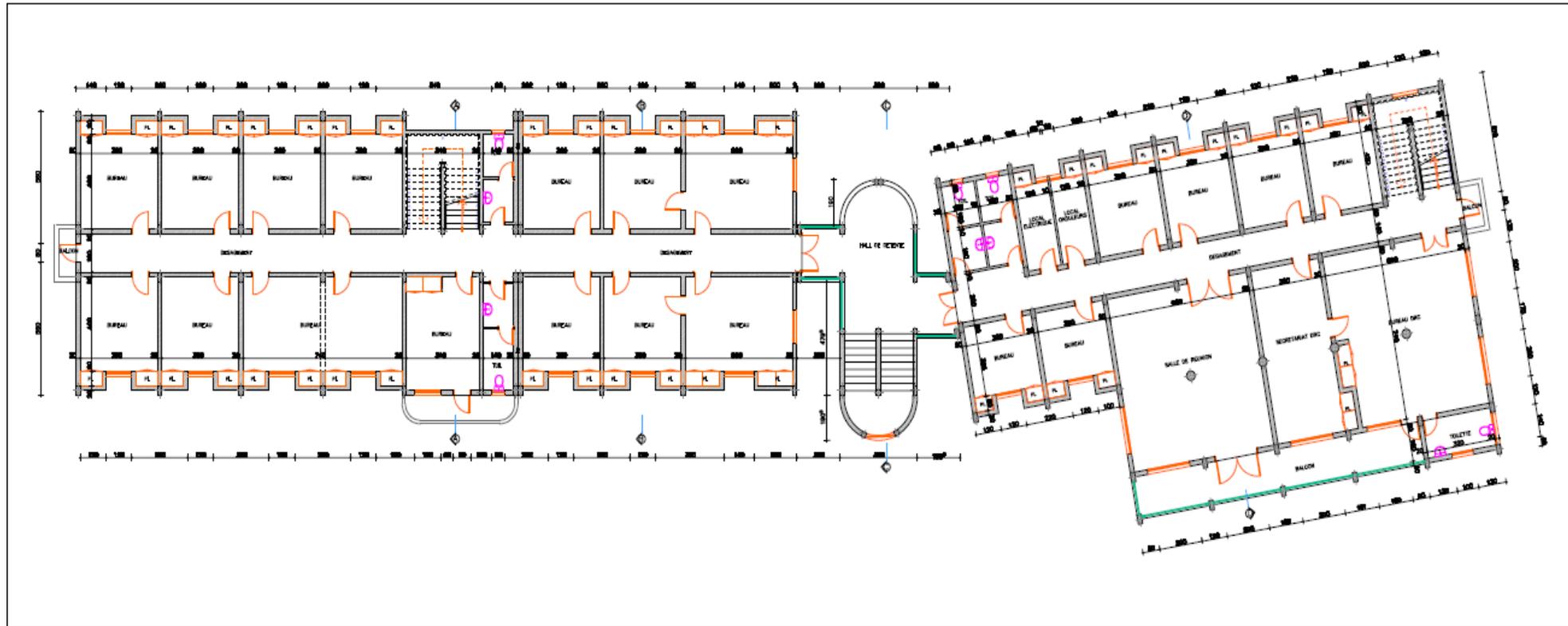
- [Bata CCTP "compensation de l'énergie réactive"](#)



ANNEXE 11: BILAN DE PUISSANCE DE LA NOUVELLE CONSOMMATION.

niveau	DESIGNATIONS	QTES	P UNIT(W)	P TOTALE	COS PHI	Puissance app	Heures	Puissance conso	
RDC	Reglette LED 18W	115	18	2070	1	2 070	1 880	3 892	
	Reglette LED 18W COULOIR ET TOIL	49	18	882	2	441	705	311	
	APPLIQUE 10 W	4	10	40	1	40	705	28	
	Climatiseur		24	1120	26880	0,85	31 624	1 283	40 557
			6	1790	10740	0,85	12 635	1 283	16 205
	EPSON LQ 2190	3	46	138	1	138	705	97	
	EPSON FX 890	2	53	106	1	106	705	75	
	LASER JET P2055dn	4	570	2280	1	2 280	705	1 607	
	LASER JET COLOR MFP M 276 nw	2	315	630	1	630	705	444	
	LASER JET P1102	1	360	360	1	360	705	254	
	LASER JET COLOR MFP M 401 dn	1	570	570	1	570	705	402	
	LASER JET 1018	1	220	220	1	220	705	155	
	LASER JET 1320	1	340	340	1	340	705	240	
	Brasseur d'air	4	75	300	0,85	353	2 115	746	
	Sterilisateur	1	950	950	0,85	1 118	235	263	
	Refrigerateur	2	53	106	0,85	125	2 920	364	
	Refrigerateur MEDECIN	1	118	118	0,85	139	2 920	405	
Ordinateur	22	130	2860	1	2 860	2 115	6 049		
Cafetiere	1	1100	1100	0,85	1 294	470	608		
R+1	Reglette LED 18W	175	18	3150	0,86	3 663	1 880	6 886	
	Reglette LED 18W COULOIR ET TOIL	27	19	513	1,86	276	705	194	
	APPLIQUE 10 W	4	10	40	0,86	47	705	33	
	Climatiseur		24	1120	26880	0,85	31 624	1 283	40 557
			2	1790	3580	0,85	4 212	1 283	5 402
	TRACEUR DESIGN JET Z 5200	2	170	340	1	340	705	240	
	CANON IR 5000	1	1500	1500	1	1 500	705	1 058	
	LASER JET P2055dn	5	570	2850	1	2 850	705	2 009	
	EPSON LQ 2190	5	46	230	1	230	705	162	
	EPSON FX 890	4	53	212	1	212	705	149	
	CANON IR 2016	1	1600	1600	1	1 600	705	1 128	
	SHARP AR-M207	1	1200	1200	1	1 200	705	846	
	LASER JET P2015 dn	1	350	350	1	350	705	247	
	ECOSYS FS 1040	1	304	304	1	304	705	214	
	LASER JET COLOR MFP M 401 dn	1	570	570	1	570	705	402	
	IBM 6400	2	240	480	1	480	705	338	
	Ordinateur	26	130	3380	1	3 380	2 115	7 149	
Refrigerateur	1	53	53	0,85	62	2 920	182		
Cafetiere	1	1100	1100	0,85	1 294	470	608		
R+2	Reglette LED 18W	131	18	2358	0,85	2 774	1 880	5 215	
	Reglette LED 18W COULOIR ET TOIL	25	18	450	1,85	243	705	171	
	APPLIQUE 10 W	5	10	50	0,85	59	705	41	
	Climatiseur		19	1120	21280	0,85	25 035	1 283	32 108
			6	1790	10740	0,85	12 635	1 283	16 205
	LASER JET COLOR MFP M 276 nw	1	315	315	1	315	705	222	
	LASER JET P2055dn	7	570	3990	1	3 990	705	2 813	
	CANON IR 5000	1	1500	1500	1	1 500	705	1 058	
	DESKJET 6980	2	55	110	1	110	705	78	
	EPSON DFX 9000N	1	185	185	1	185	705	130	
	LASER JET COLOR MFP M 401 dn	3	570	1710	1	1 710	705	1 206	
	LASER JET P2015 dn	1	350	350	1	350	705	247	
	EPSON FX 890	1	53	53	1	53	705	37	
	PROJECTEUR EPSON EB-S18	1	270	270	1	270	705	190	
	Ordinateur	27	130	3510	1	3 510	2 115	7 424	
	Refrigerateur	2	53	106	0,85	125	2 920	364	
	Cafetiere	2	1100	2200	0,85	2 588	470	1 216	
AUTRES	Reglette LED 20W	22	20	440	0,85	518	2 115	1 095	
							SOMME	210 327	
							COEFF. D'EXTENSION	1,1	
							TOTAL (kWh)	231 360	

ANNEXE 12: PLAN DU BATIMENT DE LA ZAD





ANNEXE 13: RESULTATS D'ENSOLEILLEMENTA OUAGADOUGOU PAR PVGIS



Photovoltaic Geographical Information System

European Commission
Joint Research Centre
Ispra, Italy

Incident global irradiation for the chosen location

Location: 12°20'8" North, 1°29'58" West, Elevation: 319 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 15 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	H(90)	DNI	lopt	D/G
Jan	5780	6610	4940	6170	40	0.31
Feb	6260	6830	4140	6150	31	0.32
Mar	7050	7250	3130	5780	16	0.39
Apr	6310	6150	1390	5220	-1	0.37
May	6270	5840	972	5260	-14	0.36
Jun	6090	5560	962	5110	-20	0.37
Jul	5680	5260	962	4520	-17	0.39
Aug	5440	5220	993	4130	-6	0.42
Sep	5760	5800	2080	4670	10	0.38
Oct	6180	6570	3540	5480	25	0.36
Nov	5920	6680	4700	6190	37	0.31
Dec	5630	6550	5220	6330	43	0.30
Year	6030	6190	2740	5410	15	0.36

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m²/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m²/day)

H(90): Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m²/day)

DNI: Direct normal Irradiation (Wh/m²/day)

lopt: Optimal Inclination (deg.)

D/G: Ratio of diffuse to global Irradiation (-)

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>



ANNEXE 14: RESULTATS DE SIMULATION DE LA PRODUCTION SOLAIRE MINIMUM ET MAXIMUM UN HORAIRE.

variante de simulation SANS OMBRAGES
Hourly minimum values for E_Grid [kW]

	0H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H	
Janvier	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	18.9	26.4	34.5	33.7	30.7	27.7	23.0	18.2	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	26.5	37.0	42.2	44.1	43.1	39.7	33.5	23.6	11.7	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mars	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	23.8	32.4	38.3	26.7	31.1	31.0	26.9	21.3	11.3	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Avril	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	6.8	16.4	17.9	16.7	22.4	19.8	21.0	7.7	2.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mai	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	3.6	5.4	9.3	12.9	11.8	12.6	12.1	11.5	4.4	4.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Juin	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	6.4	8.8	15.7	26.5	21.2	24.5	22.3	18.9	13.9	8.3	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Juillet	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	5.0	7.4	14.3	15.8	12.7	15.6	10.4	8.8	6.2	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Août	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	3.3	2.6	6.7	7.3	7.5	6.7	5.4	4.2	2.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Septembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	1.8	2.8	14.9	20.4	13.6	14.8	7.8	2.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Octobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	7.0	22.9	22.9	23.9	28.8	25.6	17.2	11.7	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	23.7	31.4	37.1	39.6	37.5	33.9	26.9	16.4	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Décembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	20.4	29.9	35.4	34.9	23.3	9.0	4.3	1.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Année	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.8	2.6	6.7	7.3	7.5	6.7	4.3	1.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



variante de simulation SANS OMBRAGES
Hourly maximum values for E_Grid [kW]

	0H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H	
Janvier	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	30.2	39.7	44.1	45.4	44.4	40.7	34.3	24.3	11.9	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	31.0	40.3	45.9	47.7	46.9	43.4	36.6	26.6	13.7	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mars	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	16.7	31.2	39.8	43.8	44.9	43.6	40.5	34.8	24.8	13.5	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Avril	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	21.5	33.0	41.3	46.0	44.3	43.3	40.1	34.0	24.0	11.8	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mai	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	21.4	34.0	42.2	44.7	44.0	42.4	38.5	31.7	21.9	11.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Juin	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	19.3	32.0	38.4	42.7	43.3	42.4	38.4	31.8	22.0	11.7	4.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Juillet	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	19.3	31.3	39.8	43.1	44.4	43.3	39.6	33.8	25.3	13.6	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Août	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	20.1	33.1	41.1	47.3	45.5	44.2	40.7	37.2	24.6	12.9	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Septembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	23.3	35.0	43.6	46.7	46.6	45.5	43.7	33.6	24.2	13.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Octobre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	22.2	35.5	42.7	45.5	45.9	44.5	40.3	32.5	21.4	9.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	21.1	34.9	42.4	46.0	46.2	44.0	39.2	31.0	19.5	7.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Décembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	18.1	32.7	43.1	47.1	46.1	44.5	39.9	32.4	21.9	10.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Année	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	23.3	35.5	43.6	47.3	47.7	46.9	43.7	37.2	26.6	13.7	4.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



ANNEXE 15: CHARGE HORAIRE DU BATIMENT DE LA ZAD

heures	janvier	fevrier	mars	avril	mai	juin
0	19.6	19.40	22.60	32.8	28	22
1	19	17.50	22.5	32.5	27.33	22
2	18.5	16.83	22.17	32.17	26.83	21.67
3	18.67	17.00	21.83	32	26.83	21.5
4	18.67	16.67	21.17	31.33	26.17	21.17
5	18.50	16.33	21	31.17	26.17	21.17
6	18.17	16.00	20.33	32.5	29.33	22.83
7	26.00	29.33	50.5	122	69.17	67.5
8	58.83	91.50	160	156.5	150.5	145
9	72.50	106.83	154	161.83	163.17	146.33
10	80.17	112.67	156	164.17	161.83	143.33
11	85.17	114.83	151	161.67	162.17	142.83
12	89.33	114.83	144.5	157	160	141.5
13	91.33	113.17	144	159.83	152	135.17
14	100.33	118.83	147	162.67	165	149.5
15	102.17	115.00	137.17	152.83	164	138
16	83.33	83.33	94.5	132	130	102
17	46.83	41.50	52.67	65	77	51.5
18	29.33	24.67	37.5	43	41	34.83
19	23.17	20.00	33	35.33	34.5	27
20	22.17	21.00	25.5	34.33	33.17	23.67
21	23.67	19.50	28	30.83	32.17	25
22	23.33	20.33	25.33	30.83	30.17	24.67
23	20.83	20.00	24	32.17	30	24



ANNEXE 16: FICHE TECHNIQUE ONDULEURS STP 12000TL-20

Entrée DC

	STP 12000TL-20
Puissance DC maximale pour $\cos \varphi = 1$	12275 W
Tension d'entrée maximale	1000 V
Plage de tension MPP	440 V à 800 V
Tension d'entrée assignée	580 V
Tension d'entrée minimum	150 V
Tension d'entrée de démarrage	188 V
Courant d'entrée maximal, entrée A	18 A
Courant d'entrée maximal, entrée B	10 A
Courant d'entrée maximal par string, entrée A	18 A
Courant d'entrée maximal par string, entrée B	10 A
Courant de court-circuit maximal, entrée A*	25 A
Courant de court-circuit maximal, entrée B*	15 A
Courant de retour maximal de l'onduleur réinjecté dans l'installation pendant 1 s au plus	0 A
Nombre d'entrées MPP indépendantes	2
Strings par entrée MPP	2
Catégorie de surtension selon IEC 60664-1	II

* Selon IEC 62109-2: ISC PV

Sortie AC

	STP 12000TL-20
Puissance assignée à 230 V, 50 Hz	12000 W
Puissance apparente AC maximale pour $\cos \varphi = 1$	12000 VA
Tension de réseau assignée	~3/N/PE, 230 V / 400 V
Plage de tension AC*	160 V à 280 V
Courant nominal AC à 220 V	17,4 A



Courant nominal AC à 230 V	17,4 A
Courant nominal AC à 240 V	16,7 A
Courant de sortie maximal	17,4 A
Taux de distorsion harmonique du courant de sortie en cas de taux de distorsion harmonique de la tension AC < 2 % et puissance AC > 50 % de la puissance assignée	≤3 %
Courant de sortie maximal en cas de dysfonctionnement	30 A
Fréquence de réseau assignée	50 Hz
Fréquence de réseau AC*	50 Hz / 60 Hz
Plage de travail pour une fréquence du réseau AC de 50 Hz	45,5 Hz à 54,5 Hz
Plage de travail pour une fréquence du réseau AC de 60 Hz	55,5 Hz à 64,5 Hz
Facteur de déphasage $\cos \varphi$, réglable	0,8 inductif à 1 0,8 capacitif
Phases d'injection	3
Phases de raccordement	3
Catégorie de surtension selon IEC 60664-1	III

* En fonction du jeu de données régionales paramétré

Rendement

	STP 12000TL-20
Rendement maximal, η_{\max}	98,2 %
Rendement européen, η_{EU}	97,9 %



ANNEXE 17: TABLEAU DES DISPOSITIFS DE PROTECTION DES MODULES PV

Tableau 6 – Dimensionnement des dispositifs de protection des modules PV

Nc Nombre de chaînes du générateur	Np Nombre de chaînes par dispositif de protection	Courant inverse maximal dans une chaîne	Obligation de protection	I_n Courant assigné des dispositifs de protection
1	-	-	NON	-
2	-	$1,25 I_{scSTC}$		-
Nc ≤ Nc_{max}	-	$(Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$		-
Nc > Nc_{max}	1	$(Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$	OUI	$I_n \geq 1,4 I_{scSTC}$ $I_n \leq I_{RM}$
	Np > 1	$(Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$		$I_n \geq Np 1,4 I_{scSTC}$ $I_n \leq I_{RM} - (Np - 1) I_{scSTC}$

Note : Si le choix est fait d'utiliser des dispositifs de protection dans le cas $Nc \leq Nc_{max}$, les mêmes règles de dimensionnement que le cas $Nc > Nc_{max}$ seront utilisées.



ANNEXE 18: TABLEAU DES COURANTS ADMISSIBLES DES CABLES DE CHAINES PV

Tableau 7 – Courants admissibles des câbles de chaînes PV

Nc Nombre de chaînes du générateur	Np Nombre de chaînes par dispositif de protection	Courant inverse maximal dans un câble de chaîne	Avec protection ?	I_n Courant assigné des dispositifs de protection des modules	I_z Courant admissible des câbles de chaînes
1	-	-	NON	-	$I_z \geq 1,25 I_{scSTC}$
2	-	$1,25 I_{scSTC}$		-	$I_z \geq 1,25 I_{scSTC}$
Nc	-	$(Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$		-	$I_z \geq (Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$
Nc	1	$(Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$	OUI	I_n déterminé par le tableau 9a	$I_z \geq I_2$ si $Nc < 20$ $I_z \geq I_n$ si $Nc \geq 20$
	$Np > 1$	$(Nc - 1) 1,25 I_{scSTC}$			$I_z \geq k_p I_2$ si $Nc/Np < 20$ $I_z \geq k_p I_n$ si $Nc/Np \geq 20$

Note : Pour les disjoncteurs conformes à la norme NF EN 60947-2, le courant conventionnel de fonctionnement I_2 est pris égal à $1,3 I_n$. Pour les fusibles, le courant I_2 est pris égal à $1,45 I_n$.



ANNEXE 19: COURANTS ADMISSIBLES DES CABLES POUR
INSTALLATIONS PHOTOVOLTAIQUES POUR UNE TEMPERATURE MAXIMUM
A L'AME DE 90°C

**Tableau B1 – Courant admissible des câbles pour installations photovoltaïques
pour une température maximale à l'âme de 90 °C**

Section mm ²	Intensité en A
	Type de pose Deux câbles adjacents sur paroi
1,5	14
2,5	19
4	26
6	33
10	46
16	62
25	82
35	102

Les calculs ont été effectués selon la norme CEI 60364-5-52.



ANNEXE 20: TABLEAU 52 D DE LA NF C 15 100

TABLEAU 52D
(Extrait de la Norme NF C 15-100)

Températures maximales de fonctionnement en fonction du type isolations

TYPE D'ISOLATION	TEMPERATURE MAXIALE DE FONCTIONNEMENT (Voir note 1) (°C)
Polychlorure de vinyle (PVC) Polyéthylène réticulé (PR) et éthylène-propylène (EPR) Minéral (avec gaine en PVC ou nu et accessible) Minéral (nu et inaccessible et ne trouvant pas au contact de matériaux combustibles)	Conducteur : 70 Conducteur : 90 Gaine métallique : 70 Gaine métallique : 105 (voir note 2)

ANNEXE 21: TABLEAU 52 C DE LA NF C15 100

Exemple	Description	Réf.	Exemple	Description	Réf.
0 - POSE SOUS CONDUIT					
	Conducteurs isolés dans des conduits encastrés dans les parois thermiquement isolées.	1		- sur des chemins de câbles ou tablettes non perforés.	12
	Câbles multiconducteurs dans des conduits encastrés dans des parois thermiquement isolées.	2		- sur des chemins de câbles ou tablettes perforés, en parcours horizontal ou vertical.	13
	Conducteurs isolés dans des conduits en montage apparent.	3		- sur des combes.	14
	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits en montage apparent.	3A		- fixés par des câbles, et espacés de la paroi.	15
	Conducteurs isolés dans des conduits profilés en montage apparent.	4		- sur échelles à câbles.	16
	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits profilés en montage apparent.	4A		Câbles mono- ou multiconducteurs suspendus à un câble porteur ou autoporteur.	17
	Conducteurs isolés dans des conduits encastrés dans une paroi.	5		Conducteurs nus ou isolés sur broches.	18
	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits encastrés dans une paroi.	5A	2 - POSE DANS LES VIDES DE CONSTRUCTION		
1 - POSE À L'AIR LIBRE				Câbles mono- ou multiconducteurs dans des vides de construction.	21
	Câbles mono- ou multiconducteurs, avec ou sans armure : - fixés sur un mur.	11		Conducteurs isolés dans des conduits dans des vides de construction.	22
	- fixés à un plafond.	11A		Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits dans des vides de construction.	22A

Exemple	Description	Réf.	Exemple	Description	Réf.
	Conducteurs isolés dans des conduits profilés dans des vides de construction.	23	4 - POSE DANS LES CANIVEAUX		
	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits profilés dans des vides de construction.	23A		Conducteurs isolés dans des conduits ou câbles multiconducteurs dans des caniveaux lamés en béton horizontal ou vertical.	41
	Conducteurs isolés dans des conduits profilés noyés dans la construction.	24		Conducteurs isolés dans des conduits dans des caniveaux ventilés.	42
	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits profilés noyés dans la construction.	24A		Câbles mono- ou multiconducteurs dans des caniveaux ouverts ou ventilés.	43
	Câbles mono- ou multiconducteurs - dans des faux plafonds - dans des plafonds suspendus	25	5 - ENCASTREMENT DIRECT		
3 - POSE DANS LES GOULIOTES				Câbles multiconducteurs encastrés directement dans des parois thermiquement isolantes.	51
	Conducteurs isolés ou câbles mono- ou multiconducteurs dans des gouttières (à la paroi) - en parcours horizontal.	31		Câbles mono- ou multiconducteurs encastrés directement dans des parois sans protection mécanique complémentaire.	52
	- en parcours vertical.	32		Câbles mono- ou multiconducteurs encastrés directement dans des parois avec protection mécanique complémentaire.	53
	Conducteurs isolés dans des gouttières encastrées dans des planches.	33	6 - POSE ENTERRÉE		
	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des gouttières encastrées dans des planches.	33A		Câbles mono- ou multiconducteurs dans des conduits ou dans des conduits profilés enterrés.	61
	Conducteurs isolés dans des gouttières suspendues.	34		Câbles mono- ou multiconducteurs enterrés sans protection mécanique complémentaire.	62
	Câbles mono- ou multiconducteurs dans des gouttières suspendues.	34A		Câbles mono- ou multiconducteurs enterrés avec protection mécanique complémentaire.	63

ANNEXE 22: TABLEAU 52 E DE LA NF C15 100

Pour chacun des modes de pose décrits dans le tableau 52C, le tableau indique la méthode de référence (repérée par l'une des lettres : B, C, E ou F) et les facteurs de correction éventuels à appliquer

	Mode de pose (numéro de référence du Tableau 52C)	Méthode de référence	Facteur de correction Kl	Remarques
Conduits	1	B	0,77	(*) Pour des câbles dans les conduits (modes de pose 3A, 4A et 5A) appliquer un facteur de 0,9
	2	B	0,7	
	3	B	(*)	
	4	B	(*)	
	5	B	(*)	
Câbles	11			(*) Pour les poses sous-plafonds, appliquer un facteur de 0,95
	12	C	(*)	Parcours horizontal ou vertical E = Multi F = Uni
	13	E,F		
	14	E,F		
	15	E,F		
	16	E,F		
	17	E,F		
18	C	1,21		
Vide de construction	21	B	0,95	(*) Pour des câbles dans le vide de construction (modes de pose 22A, 23A et 24A) appliquer un facteur de 0,865
	22	B	0,95 (*)	
	23	B	0,95 (*)	
	24	B	0,95 (*)	
	25	B	0,95	
Goulotte	31	B	(*)	(*) Pour des câbles dans des goulotte (modes de pose 31A, 32A 33A et 34A) appliquer un facteur de 0,9
	32	B	(*)	
	33	B	(*)	
	34	B	(*)	
Caniveaux	41	B		
	42	B	0,95	
	43	B		
Encastrés	51	B		
	52	C	0,77	
	53	C		
Moulures	71	B		(*) Pour des câbles multiconducteurs, appliquer un facteur de 0,9
	72	B	(*)	
	73	B	(*)	
	74	B	(*)	
Immergé	81			A l'étude

* *Exemple* Une pose sur chemin de câble (ou tablettes non perforées) correspond à la référence 12 du tableau 52C et à la méthode de référence « C » du tableau 52E.



ANNEXE 23: TABLEAU 52 F DE LA NF C15 100

TABLEAU 52F (Extrait partiel Norme NF C 15-100)

Methode de reference	ISOLANT ET NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGES								
	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2			
B	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2			
C		PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2		
E			PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2	
F				PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2
S (mm ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cuivre									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
6	36	41	43	48	51	54	58	63	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
16	68	76	80	85	94	100	107	115	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
150		299	319	344	371	395	441	473	504
185		341	364	392	424	450	506	542	575
240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940
500					749	868	946		1083
630					855	1005	1088		1254
Aluminium									
2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	
4	22	25	26	28	31	32	35	38	
6	28	32	33	36	39	42	45	49	
10	39	44	46	49	54	58	62	67	
16	53	59	61	66	73	77	84	91	
25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
150		227	245	261	283	304	324	346	389
185		259	280	298	323	347	371	397	447
240		305	330	352	382	409	439	470	530
300		351	381	406	440	471	508	543	613
400					526	600	663		740
500					610	694	770		856
630					711	808	899		996

ANNEXE 24: TABLEAU 52 J1 DE LA NF C 15 100

TABLEAU 52J1(Extrait Norme NF C 15-100)

Influence de la température ambiante pour les situations de pose non enterrées

Température ambiante (°C)	Elastomère (caoutchouc)	ISOLATION			
		PVC	PR / EPR	Minérale*	
				Gaine en PVC ou câble nu et accessible 70°C	Câble nu et inaccessible 105°C
10	1,20	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,22	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,15	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,07	1,06	1,04	1,07	1,04
35	0,93	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,82	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,71	0,79	0,87	0,77	0,88
50	0,58	0,71	0,82	0,67	0,84
55		0,61	0,76	0,57	0,80
60		0,50	0,71	0,45	0,75
65			0,65		0,70
70			0,58		0,65
75			0,50		0,60
80			0,41		0,54
85					0,47
90					0,40
95					0,32

- Pour des températures ambiantes supérieures : consulter le fabricant

ANNEXE 25: TABLEAU 52 L DE LA NF C15 100

EXTRAIT TABLEAU 52L (Extrait Norme NF C 15-100)

Facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits
ou de plusieurs câbles multiconducteurs (en une couche)

À appliquer aux valeurs de références des tableaux :

- 52 F : courant admissible pour les méthodes de références B, C, E, F.
- 52 H : courant admissible pour les conducteurs à isolation minérale

DISPOSITION DE CIRCUITS OU DE CÂBLES JOINTIFS	FACTEURS DE CORRECTION												Méthodes de référence	Modes de pose
	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20		
Encastré ou noyé dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40	B, C	1, 2, 3, 3A, 4, 4A, 5, 5A, 21, 22, 22A, 23, 23A, 24, 24A, 25, 31, 31A, 32, 32A, 33, 33A, 34, 34A, 41, 42, 43, 71
Simple couche sur les murs ou sur les plancher ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles	C	11, 12		
Simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64		E, F	11A		
Simple couche sur les tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72		E, F	13		
Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, treillis soudés etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			14, 15, 16, 17		



ANNEXE 26: TABLEAU DES DIVERS SCENARII DE HOMER

			PV (kW)	Label (kW)	H3000	Conv. (kW)	Grid (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75		60	500	\$ 83,888	15,397	\$ 280,712	0.129	0.51		
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	200		500	\$ 183,888	13,620	\$ 357,995	0.164	0.51		0
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	250		500	\$ 208,888	13,176	\$ 377,315	0.173	0.51		0
							500	\$ 0	31,330	\$ 400,504	0.187	0.00		
					200		500	\$ 100,000	29,553	\$ 477,786	0.223	0.00		0
					250		500	\$ 125,000	29,109	\$ 497,107	0.232	0.00		0
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	200		0	\$ 183,888	294,691	\$ 3,951,027	0.515	0.14	265,270	8,557
					200		0	\$ 100,000	306,126	\$ 4,013,317	0.597	0.00	271,681	8,760
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	250		60	\$ 208,888	367,208	\$ 4,903,040	0.526	0.12	331,584	8,557
					250		0	\$ 125,000	380,323	\$ 4,986,810	0.594	0.00	339,450	8,760
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75		3000	60	\$ 6,596,888	115,226	\$ 8,069,857	3.708	0.51		
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	200	3000	60	\$ 6,696,888	113,448	\$ 8,147,139	3.743	0.51		0
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	250	3000	60	\$ 6,721,888	113,004	\$ 8,166,460	3.752	0.51		0
						3000	60	\$ 6,526,500	131,438	\$ 8,206,724	3.824	0.00		
					200	3000	60	\$ 6,626,500	129,661	\$ 8,284,007	3.860	0.00		0
					250	3000	60	\$ 6,651,500	129,217	\$ 8,303,327	3.869	0.00		0
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	200	3000	60	\$ 6,696,888	138,561	\$ 8,468,168	3.945	0.41	38,875	892
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	250	3000	60	\$ 6,721,888	142,848	\$ 8,547,959	3.982	0.41	42,207	878
					200	3000	60	\$ 6,626,500	191,418	\$ 9,073,461	4.227	0.00	85,811	2,113
					250	3000	60	\$ 6,651,500	203,904	\$ 9,258,082	4.303	0.00	94,365	2,113
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75		10000	60	\$ 21,793,888	348,159	\$ 26,244,526	12.058	0.51		
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	200	10000	60	\$ 21,893,888	346,382	\$ 26,321,810	12.093	0.51		0
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	250	10000	60	\$ 21,918,888	345,938	\$ 26,341,130	12.102	0.51		0
						10000	60	\$ 21,723,500	364,372	\$ 26,381,394	12.292	0.00		
					200	10000	60	\$ 21,823,500	362,595	\$ 26,458,678	12.328	0.00		0
					250	10000	60	\$ 21,848,500	362,151	\$ 26,477,998	12.337	0.00		0
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	200	10000	60	\$ 21,893,888	366,146	\$ 26,574,458	12.381	0.48	34,047	773
			<input checked="" type="checkbox"/>	48.75	250	10000	60	\$ 21,918,888	369,738	\$ 26,645,382	12.412	0.48	36,946	761
					200	10000	60	\$ 21,823,500	418,686	\$ 27,175,716	12.662	0.00	80,818	1,983
			<input checked="" type="checkbox"/>		250	10000	60	\$ 21,848,500	430,334	\$ 27,349,612	12.714	0.00	88,843	1,983



ANNEXE 27: TABLEAU DES EMISSIONS DE GES PAR CONFIGURATION
ANNEXE 27-1: CONFIGURATION PV-GRID

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	50,103
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	217
Nitrogen oxides	106

ANNEXE 27-2: CONFIGURATION PV-GRID-G. E.

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	50,103
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	217
Nitrogen oxides	106

ANNEXE 27-3: CONFIGURATION GRID

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	106,113
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	460
Nitrogen oxides	225



ANNEXE 28: TABLEAU D'EVOLUTION DE LA FACTURE SUR 25 ANS

annees	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
sans mesures	43	87	130	173	217	260	303	347	390	433	477	520	563	607	650	693	737	780	823	867	910	953	997	1040	1084
avec mesures d'economie	149	163	178	192	206	220	235	249	263	277	291	306	320	334	348	362	377	391	405	419	434	448	462	476	490