



REPUBLIQUE DU BENIN

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE d'ABOMEY CALAVI

ECOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY CALAVI

CENTRE AUTONOME DE PERFECTIONNEMENT

Spécialité : GENIE ELECTRIQUE

Mémoire de fin de formation pour l'obtention de la Licence Professionnelle en

Génie Electrique

Thème :

Audit, Economie et Gestion de l'Energie au sein d'un
bâtiment : Cas pratique de HECM Porto Novo

Présenté par : Bérénice AHOKPA

Superviseurs :

Superviseur :

Docteur ANAGO Guy
Fortuné

Co-superviseur :

Docteur APOVO Didier
Berléo

Jury

Président : Pr AGBOMAHENA Macaire, Enseignant à l'EPAC, Chef du
département Génie électrique

Membres : 1) Dr ANAGO Guy Fortuné, Enseignant à l'EPAC
2) Dr AGUEMON Pierre, Enseignant à l'EPAC

Année académique : 2021-2022

8ème Promotion

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire :

- À mes parents AHOKPA Adolphe et DEGBO Solange, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours ;
- À ma femme MAHOUNOU Honnorate et ma fille AHOKPA Osnelle Stella, pour leur présence rassurante et leurs encouragements constants ;
- Et à tous ceux qui, de près ou de loin, ont cru en moi et m'ont inspiré à donner le meilleur de moi-même.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été rendue possible grâce au soutien, à l'encadrement et à l'accompagnement de nombreuses personnes à qui je tiens à exprimer ici ma profonde gratitude. Je remercie d'abord **le Tout-Puissant Dieu**, source de toute sagesse, pour m'avoir donné la santé, la force et la persévération nécessaires pour mener à bien cette formation et finaliser ce travail.

Mes remerciements vont ensuite à **l'Université d'Abomey-Calavi**, et plus particulièrement à **l'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC)**, au Centre Autonome de Perfectionnement (CAP) pour m'avoir offert une formation de qualité, fondée à la fois sur la rigueur scientifique et l'ouverture professionnelle. Je remercie tous les enseignants de l'EPAC pour leur dévouement, leur compétence et leur disponibilité tout au long de mon parcours académique. Je remercie également **le Directeur de l'EPAC**, **le Chef CAP** ainsi que **les membres du corps administratif et technique**, pour les efforts fournis en vue du bon déroulement des enseignements et des travaux pratiques dans des conditions souvent complexes.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance au **Docteur ANAGO Guy Fortuné** et au **Docteur APOVO Didier Berléo**, mes encadreurs, pour leur patience, leurs conseils avisés, leurs remarques constructives et leur accompagnement bienveillant tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Leurs orientations m'ont été d'une aide précieuse, tant sur le plan scientifique que méthodologique.

Mes sincères remerciements vont à tous **mes enseignants du CAP**, qui ont contribué à ma formation, et à tous mes camarades de promotion pour les moments d'entraide, de collaboration et de fraternité vécus ensemble. Cette expérience commune restera gravée dans ma mémoire.

Je n'oublie pas de remercier **les responsables de CONTRELEC** pour m'avoir accueilli en stage et permis de mieux comprendre les réalités du terrain. Leur disponibilité et leurs explications m'ont permis de faire le lien entre la théorie et la pratique.

À **ma famille**, je dis un grand merci.

A mon tuteur AYISSIWEDE Simplice pour m'avoir orienté vers l'EPAC pour ma formation, TONOU hyacinthe et DOUBOGAN Blaise pour leur accompagnement et soutien moral.

À mes sœurs AHOKPA Christelle, AHOKPA Lucrèce, AHOKPA Ruth et AHOKPA Marie Claire pour leur soutien moral, et affectif ; à mes frères DOVONON Jonas Cédec pour leurs encouragements constants ; et à tous mes proches pour leur confiance et leur motivation.

Enfin, j'exprime ma gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Que chacun trouve ici l'expression sincère de ma reconnaissance.

RESUME

Dans un contexte mondial marqué par la raréfaction des ressources énergétiques et l'augmentation constante des coûts de l'énergie, la maîtrise de la consommation énergétique dans les bâtiments devient une priorité. Ce mémoire s'inscrit dans cette dynamique en étudiant l'audit énergétique, les stratégies d'économie et la gestion rationnelle de l'énergie au sein du bâtiment principal de **HECM Porto-Novo**.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la consommation énergétique du bâtiment, d'identifier les sources de gaspillage, et de proposer des solutions techniques, économiques et durables pour optimiser l'usage de l'énergie. Pour y parvenir, une approche méthodologique rigoureuse a été adoptée : collecte des données énergétiques, observation des installations, entretien avec le personnel technique, et analyse des équipements consommateurs d'énergie.

Les résultats de l'audit ont mis en lumière une consommation énergétique relativement élevée, liée en grande partie à l'usage non optimisé des équipements d'éclairage, de climatisation et de ventilation. L'étude a permis d'identifier des axes d'amélioration tels que le remplacement des lampes classiques par des LED, des ventilateurs, ainsi que la sensibilisation des usagers à l'adoption de comportements écoénergétiques.

Sur le plan économique, les recommandations formulées permettent non seulement de réduire significativement la facture énergétique de l'établissement avec une économie financière de 2 027 560 F CFA par an, elles assurent une gestion plus durable et écologique du bâtiment en réduisant plus de 4781,86 kg de CO₂ par an. Le délai de retour sur investissement à la mise en œuvre des propositions est d'un an huit mois. Ce travail met donc en évidence l'importance d'un audit énergétique comme outil stratégique de pilotage, et propose un modèle applicable à d'autres établissements d'enseignement supérieur et de tout autre bâtiment au Bénin.

Mots clés : Audit énergétique, Optimisation énergétique, Comportements écoénergétiques, Gestion durable de l'énergie

ABSTRACT

In a global context marked by the depletion of energy resources and the constant rise in energy costs, controlling energy consumption in buildings has become a top priority. This study aligns with this dynamic by analyzing the energy audit, energy-saving strategies, and rational energy management within the main building of HECM Porto-Novo.

The primary objective of this study is to assess the building's energy consumption, identify sources of waste, and propose technical, economic, and sustainable solutions to optimize energy use. To achieve this, a rigorous methodological approach was adopted: collection of energy data, observation of installations, interviews with technical staff, and analysis of energy-consuming equipment.

The audit results revealed a relatively high level of energy consumption, largely due to inefficient use of lighting, air conditioning, and ventilation systems. The study identified several areas for improvement, such as replacing conventional lamps with LED lights, using fans, and raising awareness among users to adopt energy-saving behaviors.

Economically, the recommendations provided not only significantly reduce the institution's energy bill—with an estimated annual savings of 2,027,560 CFA francs but also ensure a more sustainable and eco-friendly management of the building by reducing over 4,781.86 kg of CO₂ emissions per year. The payback period for implementing the proposed measures is estimated at one year and eight months. This work thus highlights the importance of energy audits as a strategic management tool and offers a model that can be applied to other higher education institutions and buildings throughout Benin.

Keywords : Energy audit, Energy optimization, Energy-saving behaviors, Sustainable energy management.

SOMMAIRE

| | |
|---|------|
| DÉDICACE..... | |
| REMERCIEMENTS | i |
| RESUME..... | ii |
| ABSTRACT | iii |
| SOMMAIRE | iv |
| LISTES DES TABLEAUX..... | vi |
| LISTE DE FIGURES | vii |
| LISTES DES PHOTOS..... | viii |
| LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS | ix |
| LISTE DES NOMENCLATURE | x |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| 1 CHAPITRE 1 : CADRE ET DEROULEMENT DU STAGE..... | 2 |
| Introduction | 3 |
| 1.1 Présentation de HECKM Porto-Novo | 3 |
| 1.2 Présentation du lieu de stage | 6 |
| Conclusion..... | 8 |
| 2 CHAPITRE 2 : presentation du TRAVAIL DE FIN D'ETUDE..... | 9 |
| Introduction | 10 |
| 2.1 Présentation du cahier des charges | 10 |
| 2.2 Démarche méthodologique et organisationnelle | 11 |
| 2.3 Diagnostique du circuit électrique du bâtiment..... | 13 |
| 3 CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET ANALYSE..... | 22 |
| Introduction | 23 |
| 3.1 Description des usages énergétiques | 23 |
| 3.2 Résultats de collecte de données et campagne de mesures | 27 |
| 3.3 Analyse des factures d'électricité (SBEE) | 28 |
| 3.4 Répartition de la consommation par poste | 29 |
| 3.5 Diagnostic énergétique | 31 |
| 3.6 Recommandations techniques et économiques | 32 |
| 3.7 Perspectives d'amélioration globale..... | 34 |
| 3.8 Limites des résultats | 35 |
| Conclusion..... | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 4 CHAPITRE 4 : DISCUSSION – ÉVALUATION DE LA RENTABILITÉ ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL | 37 |
| Introduction | 38 |
| 4.1 Évaluation économique des actions recommandées | 38 |
| 4.2 Analyse de la rentabilité | 39 |
| 4.3 Évaluation environnementale | 40 |
| 4.4 Analyse des gains indirects | 40 |
| 4.5 Difficultés rencontrées et leçons tirées..... | 42 |
| 4.6 Perspectives de généralisation..... | 43 |
| Conclusion..... | 44 |
| CONCLUSION GENERALE | 46 |
| 5 Références bibliographiques | 47 |
| Table des matières | 48 |

LISTES DES TABLEAUX

| | |
|--|-----------|
| Tableau 2 Résultat des colletés des données | 27 |
| Tableau 3 Résultat et comparaison de mesures de tension | 27 |
| Tableau 4 Récapitulatif de la consommation | 31 |
| Tableau 5 : Récapitulatif des équipements de grande consommation | 31 |
| Tableau 6 Comparaison des climatiseurs LG du bâtiment au nouveau climatiseur économique | 33 |
| Tableau 7 Propositions des action et recommandation | 38 |

LISTE DE FIGURES

| | |
|---|-----------|
| Figure 1 Organigramme du CONTRELEC BENIN..... | 7 |
| Figure 2 Schéma du circuit de rapatrions de l'ensemble de l'installation | 15 |
| Figure 3 Schéma de circuit électrique du Rez de chaussée | 16 |
| Figure 4 Schéma de circuit électrique du 1er étage | 17 |
| Figure 5 Schéma de circuit électrique du 2e étage | 18 |
| Figure 6 Schéma de circuit électrique du 3e étage | 19 |
| Figure 7 Schéma de circuit électrique du 4e étage | 20 |
| Figure 8 Diagramme de répartition des équipements de grande consommation..... | 31 |

LISTES DES PHOTOS

| | |
|--|-----------|
| Photo 1 : Vue sur le bâtiment HECM Porto Novo | 4 |
| Photo 2 : Vue sur la face devant (face nord) du bâtiment HECM Porto Novo | 4 |
| Photo 3 : Vue sur la face de derrière (face sud) du bâtiment HECM Porto Novo | 5 |
| Photo 4 Compteur électrique du bâtiment..... | 13 |
| Photo 5 Groupe électrogène du bâtiment..... | 14 |
| Photo 6 Coffret du 1er étage | |
| Photo 7 Coffret du 1er étage montant une mauvaise organisation de fils TH et câble..... | 14 |
| Photo 8 Tubes fluorescentes duo de 120 cm avec ballast..... | 24 |
| Photo 9 Lampes halogènes de 25W..... | 24 |
| Photo 10 Ventilateur SMC de 75W | 25 |
| Photo 11 Moteur d'un ventilateur SMC montrant les caractéristiques..... | 25 |
| Photo 12 Rhéostat..... | 26 |
| Photo 13 Condensateur d'un climatiseur de 1.5Cv | 26 |

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

| | | |
|-----------------|---|---|
| CAP | : | Centre Autonome de Perfectionnement |
| CFA | : | Franc des Colonies Françaises d'Afrique |
| CONTRELEC | : | Agence de Contrôle des Installations Electriques |
| DAF | : | Direction de l'Administration et de la Finance |
| DEE | : | Direction des Etudes D'Expertise |
| DG | : | Direction Général |
| EPAC | : | Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi |
| GSM | : | Global Système For Mobile Communication |
| HECM | : | Haute Ecole de Commerce et de Management |
| LED | : | Diode électroluminescente |
| LG | : | Life's Good |
| NFC | : | Norme Française définissant les règles des Conception des Installation Electrique |
| ONG | : | Organisation Non Gouvernemental |
| SBEE | : | Société Béninoise de l'Energie Electrique |
| SMC | : | Matière à Mouler en Feuille |
| CO ₂ | : | Dioxyde de Carbone |

LISTE DES NOMENCLATURE

| | | |
|-----|---|---------------|
| A | : | Ampère |
| Cm | : | Centimètre |
| Cv | : | Cheval Vapeur |
| Hz | : | Hertz |
| KWh | : | Kilowattheure |
| Lx | : | Lux |
| mA | : | Milli Ampère |
| V | : | Volt |
| VA | : | Volt Ampère |
| Wh | : | Wattheure |

INTRODUCTION GENERALE

Entre la réduction des ressources énergétiques, la montée des prix de l'électricité et les préoccupations environnementales croissantes, la gestion rationnelle de l'énergie est devenue une priorité, notamment dans le secteur du bâtiment. Les bâtiments, qu'ils soient résidentiels, tertiaires ou industriels, représentent une part importante de la consommation énergétique globale. À ce titre, ils constituent un levier essentiel dans la quête d'efficacité énergétique et de durabilité.

Au Bénin, l'augmentation progressive de la demande en électricité, combinée à une offre encore insuffisante et coûteuse, accentue la nécessité d'une meilleure maîtrise des consommations énergétiques. De nombreuses structures, notamment les établissements publics et les entreprises, présentent des installations énergétiques vieillissantes, souvent peu efficientes, sans système de suivi ni planification énergétique rigoureuse.

C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent mémoire, qui porte sur le thème : "**Audit, économie et gestion de l'énergie au sein d'un bâtiment**" : **Cas pratique du bâtiment de HECM PORTO-NOVO**. Ce bâtiment est à usage bureaux, salles de cours, salles de documentation et médicale. Il utilise principalement l'énergie électrique pour l'éclairage, les équipements informatiques, la ventilation et quelques climatiseurs.

L'objectif principal de ce travail est **d'évaluer la performance énergétique du bâtiment, d'identifier les sources de gaspillage d'énergie, et de proposer des actions concrètes d'optimisation énergétique** susceptibles de réduire la consommation, les coûts et l'impact environnemental.

Pour y parvenir, nous avons adopté une démarche méthodologique rigoureuse fondée sur :

- Une collecte des données de consommation énergétique (factures, mesures physiques, inventaire des équipements),
- Une analyse des postes de grandes consommations,
- Et une proposition de solutions techniques, organisationnelles ou comportementales.

Le travail s'organise en quatre grands chapitre : le premier présente le cadre et le déroulement du stage, le second présente le travail de fin d'étude, le troisième, les résultats des analyses tandis que le quatre présente la discussion, l'évaluation de la rentabilité et impact environnemental

CHAPITRE 1 : CADRE ET DEROULEMENT DU STAGE

Introduction

Dans le cadre de la réalisation de ce mémoire, il est essentiel de présenter les deux structures principales qui ont encadré le travail de recherche et d'analyse : l'Institut universitaire HECM Porto-Novo, qui constitue le terrain d'étude de l'audit énergétique, et l'Agence CONTRELEC Bénin, lieu d'accueil du stage professionnel. Cette double présentation permet de mieux comprendre le contexte dans lequel les activités ont été menées, en mettant en lumière à la fois l'environnement académique et les missions professionnelles qui ont contribué à l'élaboration du présent travail. Elle offre également une vision claire de la complémentarité entre la formation théorique et l'expérience pratique acquise au sein d'une structure spécialisée dans le contrôle des installations électriques.

1.1 Présentation de HECM Porto-Novo

1.1.1 Situation géographique

L'Institut universitaire de la Haute Ecole du Commerce et de Management de porto Novo (HECM Porto-Novo) est situé dans la ville capitale du Bénin dans l'arrondissement de AGBOKOU quartier AVAKPA, à 50 m environ de la voie inter état. Il bénéficie d'un environnement urbain favorable à l'accueil des étudiants et à la mise en œuvre de projets innovants. Il est composé de quatre niveaux quasi identiques plus le rez-de-chaussée hébergeant des salles de cours, les bureaux administratifs, les toilettes, les couloirs, les halls... Quelques images illustratives.



Photo 1 : Vue sur le bâtiment HECM Porto Novo



Photo 2 : Vue sur la face devant (face nord) du bâtiment HECM Porto Novo



Photo 3 : Vue sur la face de derrière (face sud) du bâtiment HECM Porto Novo

1.1.2 Mission

HECM Porto-Novo s'engage dans une mission fondamentale : former des professionnels compétents et aptes à répondre aux exigences du monde du travail. Elle concentre ses efforts sur des domaines stratégiques tels que la gestion, l'économie, l'informatique et la technologie, en tenant compte des besoins évolutifs du marché.

Les enseignements dispensés sont conçus pour développer chez les apprenants un esprit critique, une capacité d'analyse approfondie et une maîtrise pratique des outils et concepts propres à chaque domaine de spécialité.

Enfin, HECM Porto-Novo accorde une grande importance à l'insertion professionnelle de ses étudiants. À travers des stages, des projets concrets, et des partenariats avec le monde de l'entreprise, elle prépare ses diplômés à intégrer efficacement le marché de l'emploi, tout en contribuant activement au développement économique et technologique du pays

1.2 Présentation du lieu de stage

1.2.1 Historique du CONTRELEC Bénin

L'Agence de Contrôle des Installations Électriques Intérieures (CONTRELEC) est un établissement public béninois. Elle a été créée par le décret n°2008-629 du 22 octobre 2008, dans le but de renforcer la sécurité des installations électriques intérieures au Bénin. CONTRELEC est placée sous la tutelle du Ministère de l'Énergie. Sa mission principale est de garantir la conformité des installations électriques intérieures aux normes et réglementations en vigueur, afin d'assurer la sécurité des personnes et des biens. À cet effet, elle est chargée de :

- Effectuer le contrôle obligatoire des installations électriques intérieures avant leur première mise sous tension ;
- Réaliser, sur demande, le contrôle des installations déjà mises sous tension ;
- Procéder à l'expertise des installations électriques dans les bâtiments ;
- Élaborer et mettre en œuvre des études et actions visant au respect des normes de sécurité dans la réalisation des installations électriques intérieures ;
- Effectuer le contrôle obligatoire périodique des installations électriques intérieures dans les bâtiments à réglementation particulière, tels que les immeubles de grande hauteur, les établissements recevant du public, les unités industrielles et les établissements classés dangereux.

Le siège de CONTRELEC est situé à Cotonou, au quartier Sodjatimè, Carré 145. L'agence est dirigée par un Directeur Général et dispose d'un Conseil d'Administration, dont les membres ont été installés en avril 2021.

1.2.2 Organigramme CONTRELEC

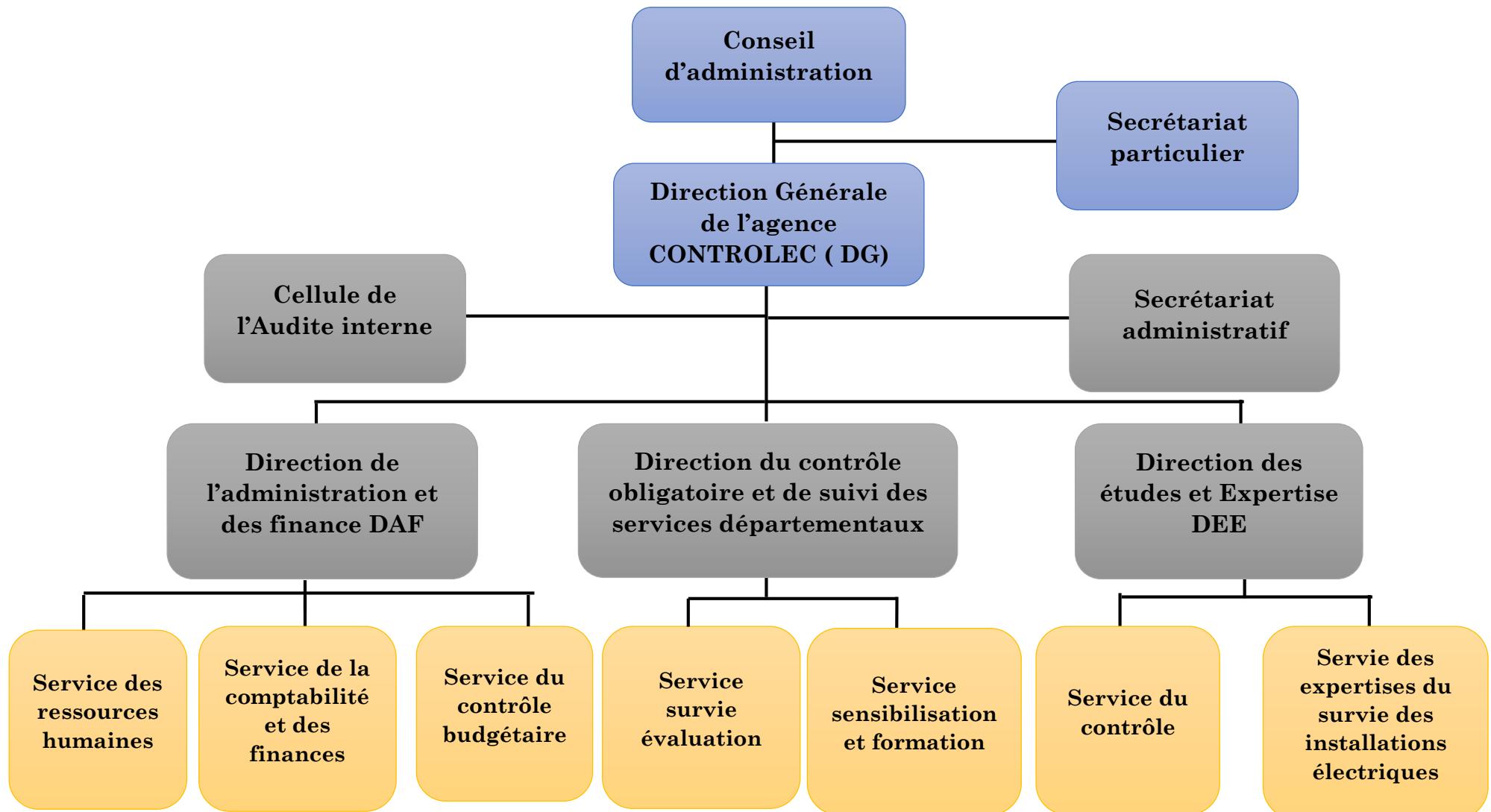


Figure 1 Organigramme du CONTRELEC BENIN

1.2.3 Travaux effectués au cours du stage

Au cours de notre stage, nous avons eu a :

- Effectuer le contrôle des installations électriques intérieures avant leur première mise sous tension ;
- Réaliser, sur demande, le contrôle des installations déjà mises sous tension ;
- Procéder à l'expertise des installations électriques dans les bâtiments ;

Conclusion

La présentation de HECM Porto-Novo et de CONTRELEC Bénin permet de situer le cadre institutionnel du présent mémoire. D'un côté, l'Institut HECM représente le lieu d'application de l'audit énergétique, avec un fort potentiel d'optimisation de la consommation énergétique dans un environnement éducatif. De l'autre, CONTRELEC Bénin, en tant qu'agence spécialisée dans le contrôle et la conformité des installations électriques, a offert un cadre professionnel idéal pour acquérir des compétences techniques en lien direct avec les enjeux de sécurité et d'efficacité énergétique. Cette synergie entre théorie et pratique a constitué un levier fondamental dans la réussite du projet de mémoire

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU TRAVAIL DE FIN D'ETUDE

Introduction

Afin de mener à bien l'étude énergétique du bâtiment de HECM Porto-Novo, il est indispensable de définir clairement le cadre du travail à travers un cahier des charges structuré. Celui-ci présente la problématique de départ, les objectifs visés, la méthodologie employée ainsi que les résultats attendus. Dans un contexte où la consommation énergétique représente un enjeu économique et environnemental majeur, cette démarche vise à identifier les défaillances du système électrique du bâtiment et à proposer des solutions concrètes pour en améliorer l'efficacité.

Cette section présente donc la logique du travail accompli, depuis la formulation des besoins jusqu'à l'analyse technique du circuit électrique, en passant par les étapes clés de la méthodologie adoptée. Elle jette ainsi les bases de l'audit énergétique et oriente les recommandations à venir.

2.1 Présentation du cahier des charges

2.1.1 Problématique

Dans un contexte de crise énergétique mondiale, les bâtiments institutionnels font face à une pression importante pour maîtriser leur consommation d'énergie. Malgré leur rôle essentiel dans le développement éducatif, ces structures présentent souvent un profil de consommation peu optimisé. En particulier, l'absence d'un suivi rigoureux des flux énergétiques et la vétusté de certaines installations entraînent des pertes non négligeables. Ainsi, la problématique centrale de ce mémoire est la suivante : comment améliorer la performance énergétique d'un bâtiment tout en maîtrisant les coûts et en réduisant son impact environnemental ?

2.1.2 Objectif général

En général, ce travail consistera à réaliser un audit énergétique et économique du bâtiment de HECM Porto Novo afin de diagnostiquer les inefficacités, proposer des solutions d'amélioration et contribuer à une gestion énergétique durable.

2.1.3 Objectifs spécifiques

Plus spécifiquement, il s'agira de :

- Identifier les sources principales de consommation d'énergie dans le bâtiment ;
- Analyser les données de consommation (factures, relevés, mesures) pour évaluer les postes de grande consommation ;

- Proposer des solutions techniques et économiques pour améliorer l’efficacité énergétique ;
- Évaluer les impacts environnementaux et économiques des solutions recommandées.

2.1.4 Méthodologie adoptée

La méthodologie adoptée repose sur une démarche d’audit en plusieurs étapes :

- Inventaire et classification des équipements électriques ;
- Relevés de consommation à l’aide d’outils de mesure (multimètre, analyseur de puissance, pinces ampèremétriques) ;
- Analyse documentaire des factures d’électricité fournies par la SBEE ;
- Entretiens avec les responsables du bâtiment ;
- Diagnostic des installations électriques et élaboration de schémas ;
- Traitement et analyse des données avec des outils informatiques (Excel, Visio).

2.1.5 Résultats attendus

Pour l’atteinte des objectifs fixés, les résultats ci-après sont attendus :

- Une cartographie précise des usages énergétiques du bâtiment ;
- Un rapport de diagnostic énergétique accompagné de schémas explicatifs ;
- Des recommandations détaillées sur les actions à entreprendre pour optimiser la consommation ;
- Une estimation des économies potentielles et des impacts environnementaux positifs ;
- Un modèle de plan d’action pour une gestion énergétique efficiente et durable.

2.2 Démarche méthodologique et organisationnelle

La réalisation de l’audit énergétique du bâtiment repose sur une démarche structurée en plusieurs phases successives. Cette organisation méthodologique a permis de collecter des données fiables, de réaliser des analyses pertinentes et de formuler des recommandations concrètes.

2.2.1 Phase préparatoire

Elle a consisté à :

- Définir les objectifs spécifiques de l’audit ;

- Identifier les ressources matérielles et humaines nécessaires ;
- Elaborer un calendrier d'intervention en concertation avec les responsables du site.

2.2.2 Phase de collecte de données

Cette étape a permis de réunir les informations indispensables à l'analyse énergétique :

- Recueil des plans électriques et des données techniques des installations ;
- Relevés sur site des puissances installées et des durées d'utilisation ;
- Mesures ponctuelles avec des instruments adaptés (analyseur de puissance, multimètre, pince ampèremétrique) ;
- Collecte et analyse des factures d'électricité sur les douze derniers mois.

2.2.3 Phase d'analyse et de diagnostic

À partir des données collectées, plusieurs actions ont été menées :

- Calculs de la consommation annuelle par poste ;
- Évaluation des rendements énergétiques des équipements ;
- Identification des dysfonctionnements et sources de gaspillage ;
- Elaboration de schémas du circuit électrique pour faciliter la visualisation des flux d'énergie.

2.2.4 Phase de proposition

Elle a consisté à :

- Définir des axes d'amélioration réalisistes, techniquement faisables et économiquement rentables ;
- Elaborer des fiches actions détaillant les coûts, les économies attendues et les impacts environnementaux ;
- Déterminer les priorités d'intervention selon un ordre d'urgence ou de rentabilité.

2.2.5 Phase de validation et de restitution

Les résultats ont été présentés à l'équipe technique et à l'administration du bâtiment sous forme de rapport structuré, accompagné de graphiques, tableaux et schémas. Cette démarche rigoureuse constitue le socle de l'étude, garantissant la fiabilité des constats et la pertinence des recommandations qui seront formulées dans les chapitres suivants.

2.3 Diagnostique du circuit électrique du bâtiment

2.3.1 Présentation et étude des paramètres électriques du compteur du Bâtiment

Le bâtiment est alimenté par un compteur prépayé (compteur à carte) triphasé de 60A/400V/50Hz à une sensibilité de 500mA. Sa puissance largement supérieure à la charge totale de l'ensemble du bâtiment permet de couvrir toutes ses charges électriques et celles de l'institut en général. Malgré qu'il soit exposé à l'air libre, il est à l'abris de tout danger, du soleil, de la pluie... Cet espace est bien aéré et respecte la température ambiante normale pour un équipement électronique.



Photo 4 Compteur électrique du bâtiment

2.3.2 Présentation et étude des paramètres électriques du générateur de secours (groupe électrogène) du Bâtiment

Le bâtiment dispose d'un groupe électrogène comme générateur de secours d'une puissance de 70KVA/ 400V/50Hz triphasé. Cette puissance largement supérieure à la charge totale de l'ensemble du bâtiment permet de couvrir toutes les charges électriques du bâtiment. Bien qu'il soit à l'air libre, il est protégé contre le vol, les rayons directs du soleil et de la pluie.



Photo 5 Groupe électrogène du bâtiment

2.3.3 Présentation du circuit électrique de de l'ensemble du bâtiment

Le bâtiment dispose d'un circuit électrique bien réparti bien que le respect normal de la norme NFC15100 n'a pas été observé sur tous les points. Ainsi entre le compteur et le groupe électrogène existe un inverseur automatique de source afin de pourvoir discipliner les deux sources d'énergie. De l'inverseur aux différents coffrets électriques (5 coffrets au total : un au rez-de-chaussée, un au premier étage, un au deuxième étage, un au troisième étage et un au quatrième étage), la connexion est faite par un câble de 10 mm² avec le respect des couleurs. La protection des biens et des personnes, de mesure sécuritaire est prise. Nous notons la présence de la terre, des disjoncteurs tétrapolaires, des parafoudres et des disjoncteurs bipolaires de différentes calibre (10A, 16A, 32A, 63A) répartis selon le circuit d'utilisation ; il faut remarquer l'absence totale des disjoncteurs différentiels ; un appareil sans lequel notre mise à la terre n'aura pas de sens. Notons également la surcharge du coffret ce qui peut créer des courts circuits ; l'utilisation des chattertons ce qui n'est pas recommandée, l'absence totale de l'utilisation des peignes de connexion.

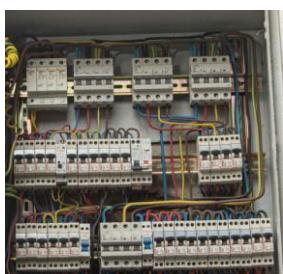


Photo 6 Coffret du 1er étage organisation de fils TH et câble

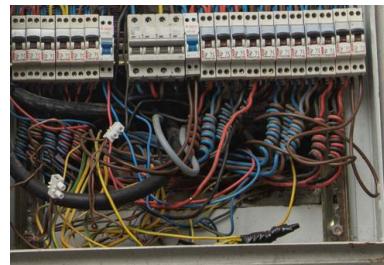


Photo 7 Coffret du 1er étage montant une mauvaise organisation de fils TH et câble

2.3.4 Schéma du circuit de rapatrions de l'ensemble de l'installation

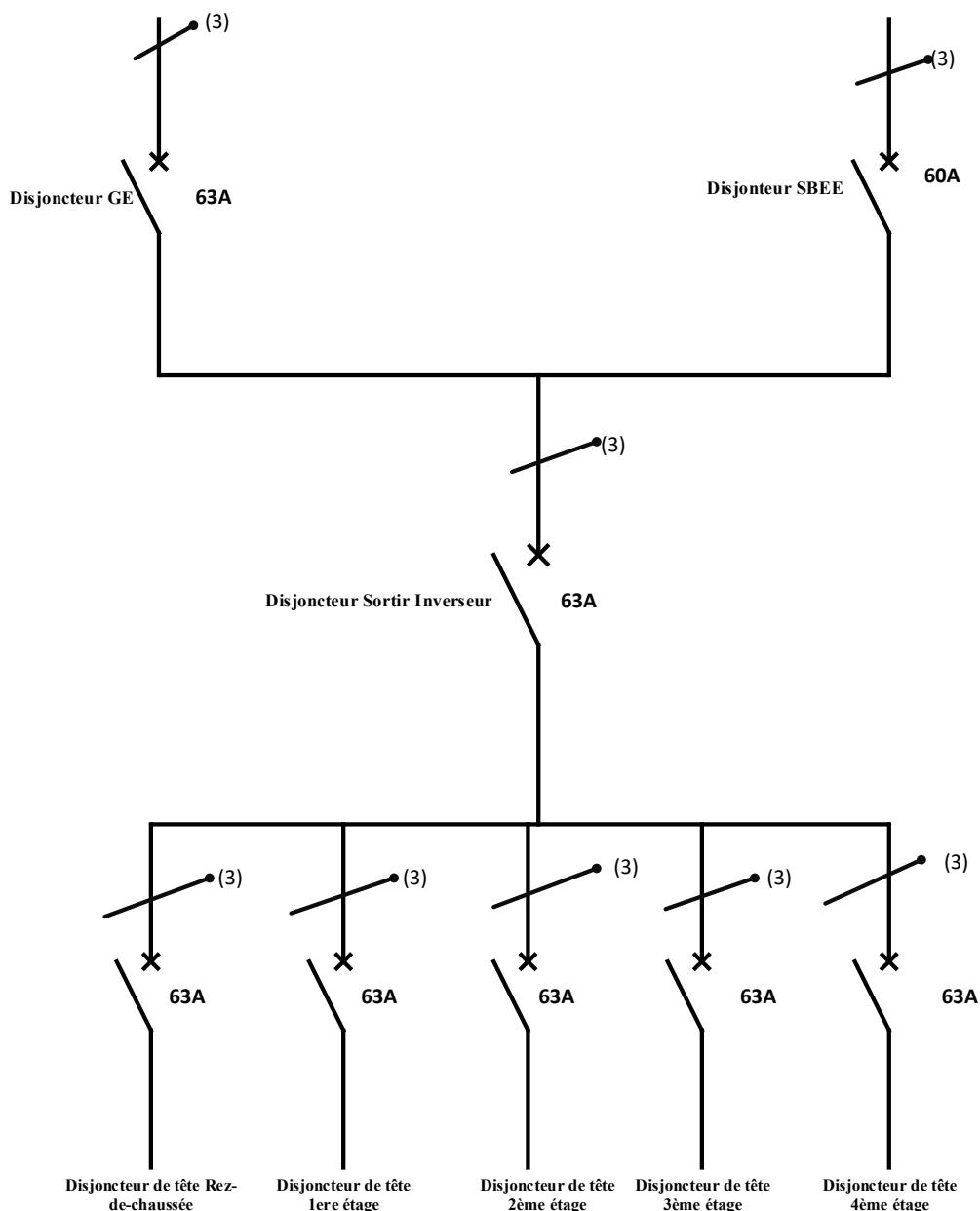


Figure 2 Schéma du circuit de rapatrions de l'ensemble de l'installation

2.3.5 Schéma détaillé par niveau

2.3.5.1 Rez-de-chaussée

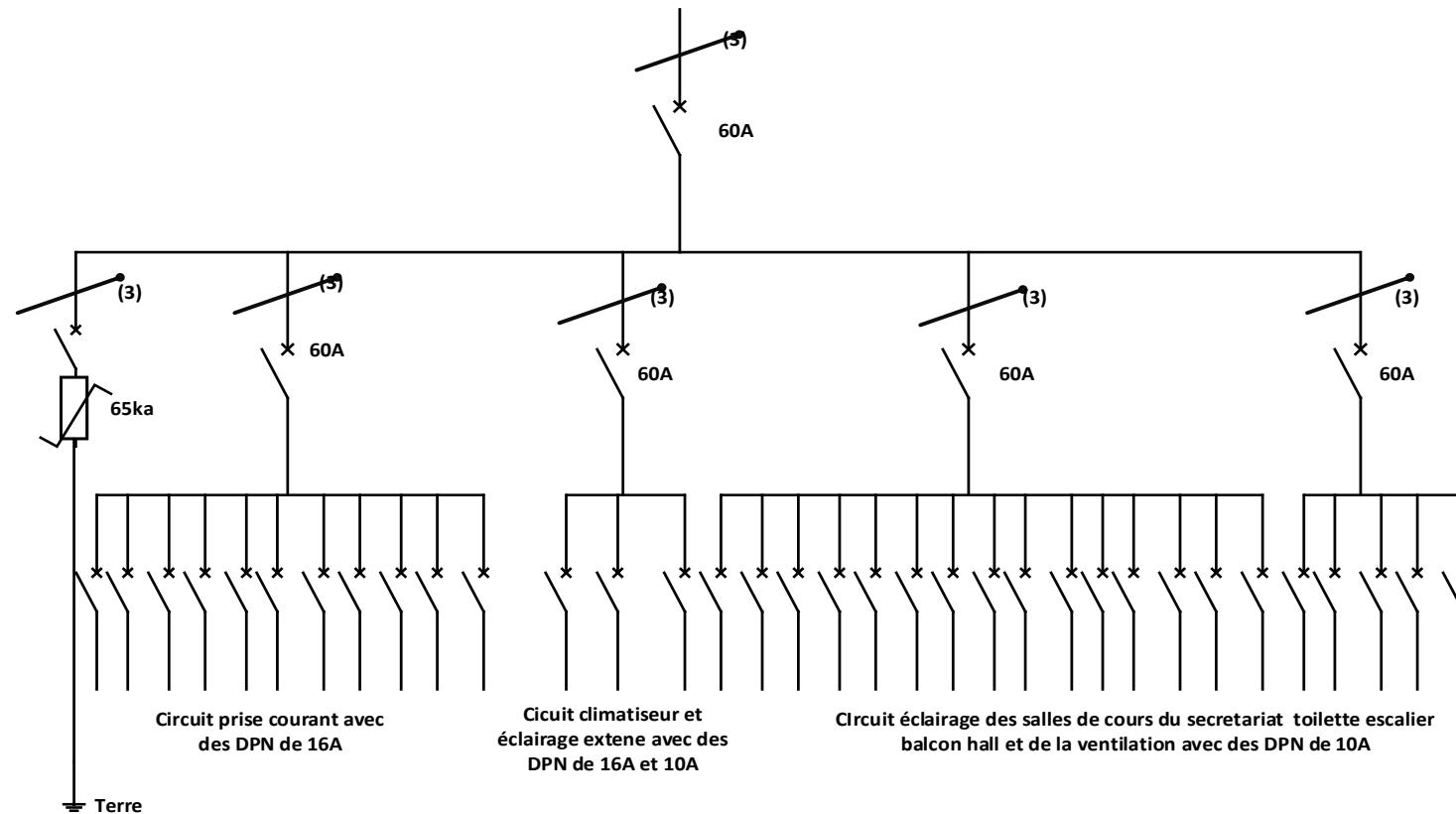


Figure 3 Schéma de circuit électrique du Réez-de- chaussée

2.3.5.2 1^{er} étage

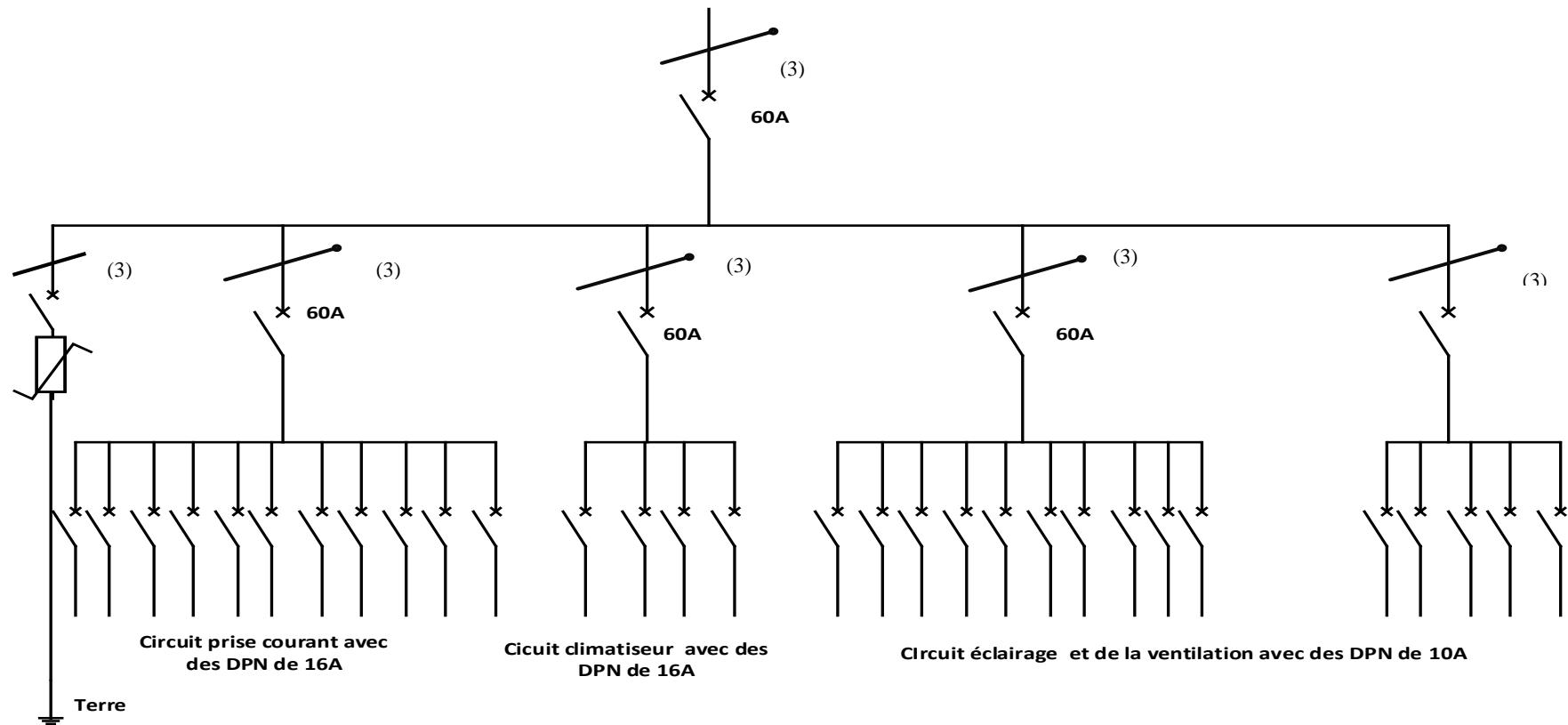


Figure 4 Schéma de circuit électrique du 1^{er} étage

2.3.5.3 2^e étage

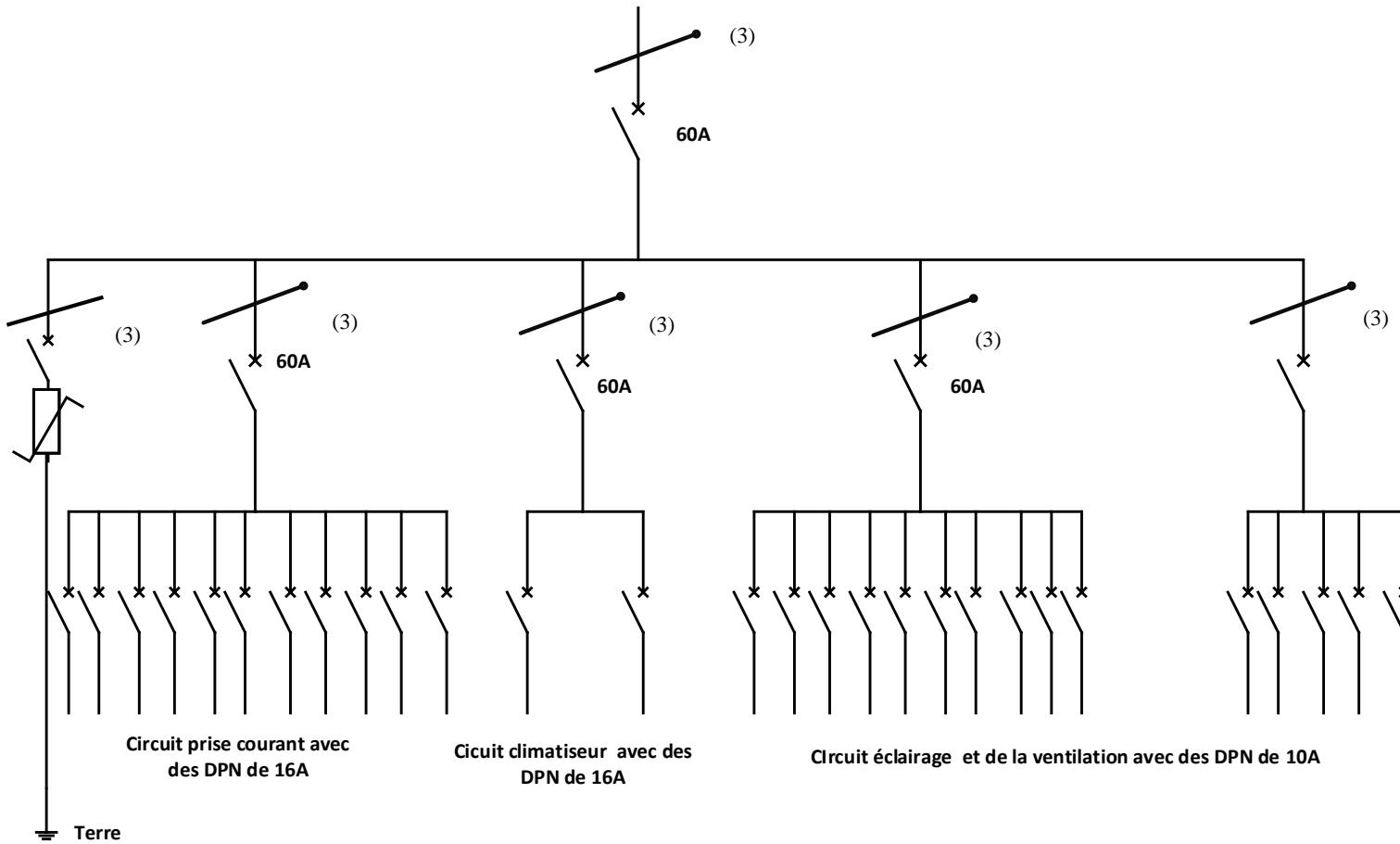


Figure 5 Schéma de circuit électrique du 2e étage

2.3.5.4 3^e étage

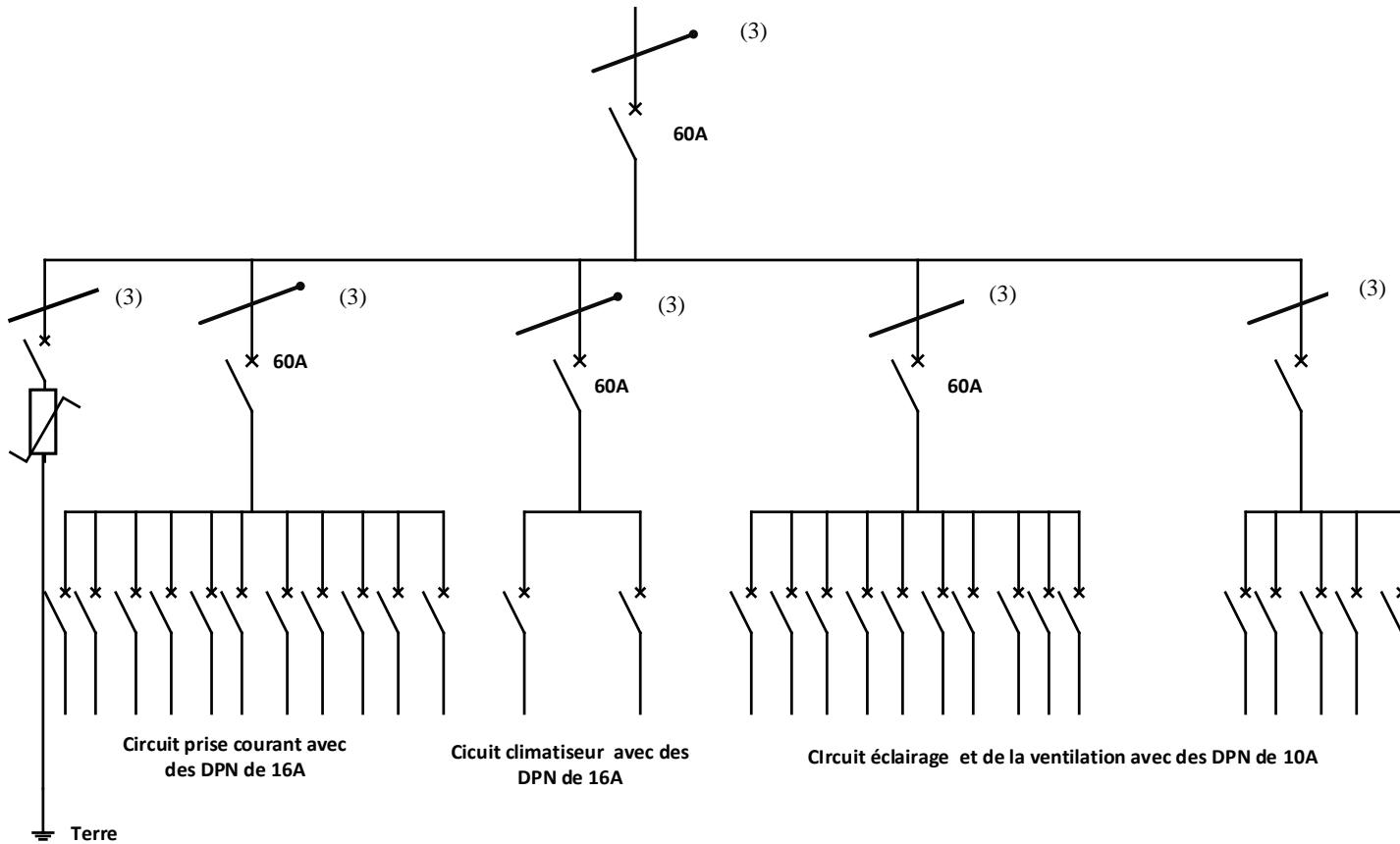


Figure 6 Schéma de circuit électrique du 3e étage

2.3.5.5 4^e étage

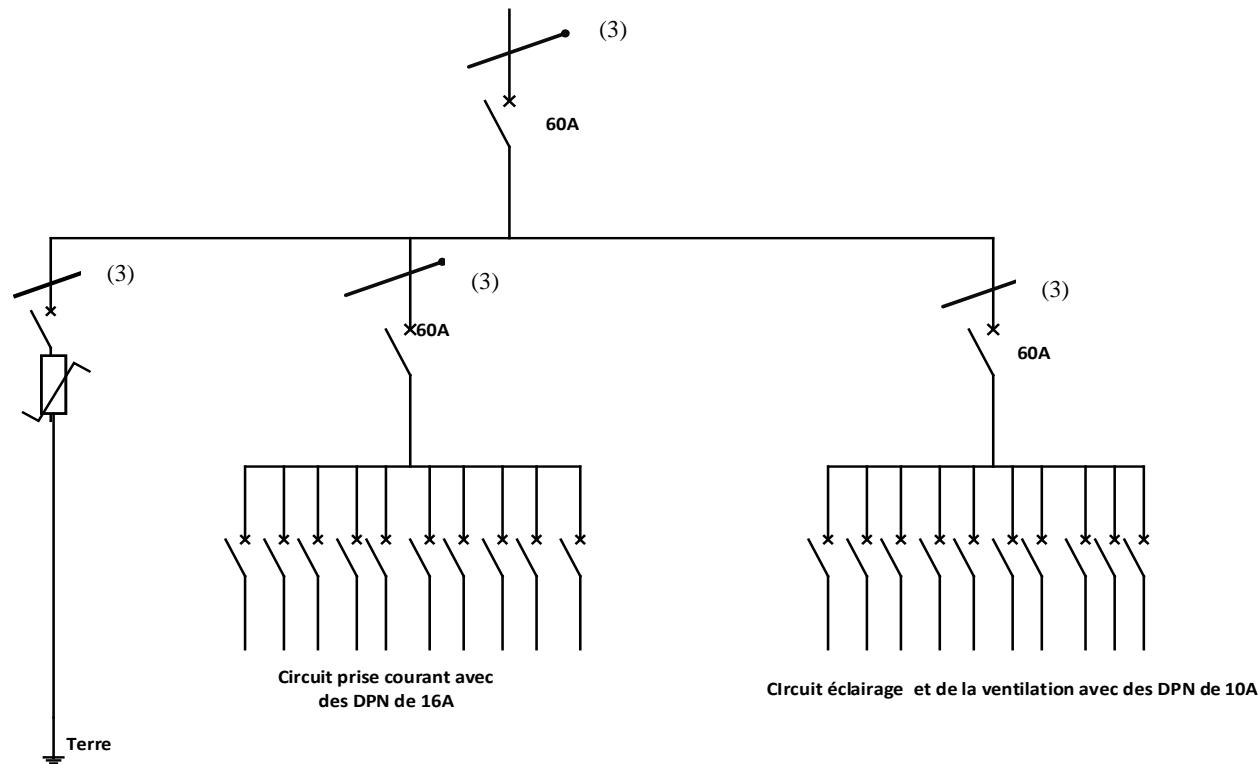


Figure 7 Schéma de circuit électrique du 4e étage

Conclusion

La présente section a permis de poser les fondements méthodologiques et techniques de l'audit énergétique. À travers une démarche rigoureuse et progressive allant de la formulation de la problématique à l'analyse détaillée du circuit électrique du bâtiment un diagnostic clair des installations a été établi. Les différents relevés, observations et mesures ont mis en lumière des dysfonctionnements notables, tels que l'absence de disjoncteurs différentiels, la surcharge de certains coffrets ou encore une organisation défaillante des câblages. Ces constats justifient la nécessité de mesures correctives urgentes pour garantir non seulement l'efficacité énergétique du bâtiment, mais aussi la sécurité des usagers. Les éléments analysés ici serviront de socle aux propositions d'amélioration qui seront développées dans les chapitres suivants.

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET ANALYSE

Introduction

Dans le cadre d'un audit énergétique, l'analyse détaillée de la consommation permet de mieux comprendre les usages spécifiques de l'énergie, d'identifier les postes à forte consommation et de proposer des pistes d'optimisation. Cette partie présente une évaluation complète de l'utilisation de l'électricité au sein du bâtiment de l'HECM Porto-Novo. Elle s'appuie sur une collecte rigoureuse des données d'équipement, des mesures de terrain, l'analyse des factures de la SBEE ainsi que l'évaluation du comportement des usagers. L'objectif est de dresser un diagnostic énergétique précis afin d'élaborer des recommandations techniques, économiques et organisationnelles adaptées à la réalité du site.

3.1 Description des usages énergétiques

Le bâtiment de HECM Porto Novo est alimenté en électricité par la SBEE via un compteur triphasé de 60A, il a une source secondaire de secours via un groupe électrogène de 70KVA. Ainsi cette source assure l'éclairage, la ventilation, la climatisation et autres.

3.1.1 L'éclairage

Dans un bâtiment comme l'immeuble de HECM Porto Novo, l'éclairage représente un facteur de consommation électrique importante. Ainsi, il est important de veiller à limiter les puissances installées à une densité moyenne d'éclairage selon la norme, de différencier le niveau d'éclairement entre l'éclairage d'ambiance et le poste de travail et d'utiliser des lampes et une régulation performante (lampes basse consommation, éclairage direct, détecteurs de présence, détecteur crépusculaire et horloge) pour l'éclairage des couloirs, hall, balcon et extérieur. Le niveau d'éclairement correspond au flux lumineux par unité de surface. On parle également de densité du flux lumineux. L'unité du niveau d'éclairement est le lux (lx) = 1 lm/m^2 . Selon les tâches visuelles, différents niveaux d'éclairement sont préconisés. On distingue généralement :

- ❖ 50 à 100 lux pour l'orientation, par exemple dans les couloirs.
- ❖ 100 à 200 lux pour des tâches visuelles simples, comme jouer, manger ou se déplacer dans un escalier.
- ❖ 300 à 500 lux pour des tâches visuelles normales, comme cuisiner, écrire ou lire. **Cette plage de niveau d'éclairement est recommandée pour les salles de classes et bureau selon la norme EN 12464-1 relative à l'éclairage des lieux de travail intérieurs**
- ❖ 1000 lux pour des travaux de couture ou de précision.

Au cours de notre visite, nous avons recensé deux cent soixante-quatre (264) points lumineux. Il s'agit de soixante-deux (62) de type fluocompacte avec une puissance de 20W et deux cent deux (202) luminaires de deux tubes fluorescents de 120 cm (lampes de 36W plus ballaste fer magmatique de 4W) par luminaire. Les différents modes et équipements d'éclairage sont les suivants : Les tubes fluorescents sont dans les couloirs, les bureaux administratifs, les salles de cours les halls et les escaliers. Dans les couloirs, les toilettes et les balcons, nous avons aussi des appliques constituées les lampes fluocompactes. La commande de ces points lumineux est faite par les interrupteurs simples ou à doubles allumages, par un télérupteur au troisième étage et une minuterie au quatrième étage. Les photos si dessous présentes les différents types de lampes



Photo 8 Tubes fluorescences duo de 120 cm avec ballast



Photo 9 Applique avec Lampes fluocompacte de 20W

3.1.2 Ventilation

Dans un bâtiment comme HECM les salles de cours et autres bureaux doit être ventilé afin d'assurer leur confort. Ainsi nous notons 169 brasseurs long bras de marque SMC d'une puissance de 75W installés dans les bureaux, hall et salles de cours. Par ailleurs la position du bâtiment par rapport aux quatre points cardinaux nous permet de constater que les fenêtres installées sur l'horizon nord et sud facilitent l'entrée d'air. Etant donné que la direction des vents dominante dans la localité du site audité est du sud vers le Nord (Gbaguidi, et al., 2011) nous aurons peu de chaleur avec une utilisation faible du brasseur.



Photo 10 Ventilateur SMC de 75W



Photo 11 Moteur d'un ventilateur SMC montrant les caractéristiques



Photo 12 Rhéostat

3.1.3 Climatisation

La notion de confort idéal se caractérise par l'absence de gêne sensorielle. Pour cela les bureaux administratifs sont dotés des climatiseur LG de 1,5 cv de type mono split. Ces climatiseurs sont au nombre de sept (7) à compter des bureaux du fondé, du directeur des études, du coordonnateur des cours du soir, du surveillant, de la salle à accès interdit et du secrétariat. Ils sont caractérisés par la puissance frigorifique qu'ils produisent et la puissance électrique absorbée. Les climatiseurs installés sont des LG composés d'un bloc extérieur, et d'un blocs intérieurs reliés par une tuyauterie. Le bloc extérieur comprend le compresseur, et le bloc intérieur l'évaporateur. Du fait de la bonne ventilation des locaux, le recours a la climatisation est moindre.



Photo 13 Condensateur d'un climatiseur de 1,5 cv

3.2 Résultats de collecte de données et campagne de mesures

3.2.1 Collecte de données

Pendant notre visite, nous avons eu à collecter le nombre de point d'éclairage, de ventilateur et de climatisation

Le tableau 1 résume le résultat de ces collectes

Tableau 1 Résultat des colletés des données

| N° | Equipements de consommation | Nombre |
|----|--|--------|
| 1 | Tube fluorescent de 120 Cm | 404 |
| 2 | Lampes fluocompactes (éclairage douche) | 20 |
| 3 | Lampes fluocompactes (éclairage des balcons) | 20 |
| 4 | Lampes fluocompactes (éclairage extérieur) | 8 |
| 5 | Lampes fluocompactes (éclairage intérieur) | 14 |
| 6 | Brasseur | 169 |
| 7 | Climatiseur | 7 |

3.2.2 Campagne de mesure

La prise de la mesure de la tension a vidé ainsi que la tension en charge du compteur révèle que la tension est normale et est dans l'ordre de 230V

Le tableau 2 fait le récapitulatif des mesures prises au heures de pointe et heures de non pointe

Tableau 2 Résultat et comparaison de mesures de tension

| Tension | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Heure de non pointe | | | | | | |
| Plage de tension | V1 | V2 | V3 | L1-L2 | L2-L3 | L3-L1 |
| Mesure relevée | 228 | 230 | 232 | 385 | 390 | 401 |
| Heure de pointe | | | | | | |
| Mesure relevée | 225 | 228 | 230 | 380 | 385 | 395 |
| Conformité à la valeur Normalisée (EN50160) | Conforme | Conforme | Conforme | Conforme | Conforme | Conforme |
| Existence de déséquilibre de tension (EN50160) | OUI | | | --- | | |

3.3 Analyse des factures d'électricité (SBEE)

❖ Hypothèse de calcul :

Les factures mensuelles d'électricité de la SBEE ont été analysées sur une période de douze mois. Cette analyse a révélé une consommation moyenne mensuelle en franc CFA est de 500000. Ainsi pour les clients professionnels en basse tension avec une consommation mensuelle supérieure à 250 kWh, le tarif applicable est de 125 FCFA par kWh. La prime fixe est calculée en fonction de la puissance souscrite. Pour un compteur triphasé de 60A, la puissance souscrite est généralement de 40 kVA. La prime fixe est de 500 FCFA par kVA, avec une TVA de 18% soit : $40 \text{ kVA} \times 500 \text{ FCFA} \times 1,18 = 20\,000 \times 1,18 \text{ FCFA}$. En plus du tarif de l'énergie et de la prime fixe, les taxes suivantes s'appliquent :

- ❖ TVA (Taxe sur la Valeur Ajoutée) : 18 % du montant total (énergie consommée + prime fixe).
- ❖ TCER (Taxe pour la Contribution à l'Électricité Rurale) : 3 FCFA par kWh consommé.
- ❖ TSE (Taxe sur l'Électricité) : 2 FCFA par kWh consommé

❖ Etape de calcul :

1- Retrais des charges fixe de la facture

$$500\,000 - (20\,000 \times 1,18) = 476\,400$$

2- Calcule du prix total par kWh (Energie +taxe variable)

$$125+2+3 = 130$$

3- Calcul du nombre du kWh consommé

$$kWh = \frac{476\,400}{130} = 3105,6$$

4- Calcul du prix unitaire par kWh compos tous taxe

$$\text{PU/ kWh} = \frac{500\,000}{3105,6} = 160,9$$

Cette analyse de facture nous a permis de déterminer qu'avec un achat de 500 000 F CFA, le personnel du bâtiment souscrit environ 3 105,6 kWh, ce qui permet de mieux répartir les postes de consommation et d'évaluer le coût en francs CFA, chaque kWh consommé revenant à environ 161 F.

3.4 Répartition de la consommation par poste

Afin de mieux cerner les principaux pôles de consommation énergétique du bâtiment, une analyse détaillée a été menée sur les équipements les plus consommateurs, notamment les lampes, les brasseurs et les climatiseurs, en vue d'évaluer leur part respective dans la consommation totale d'électricité. Le tableau 3 est récapitulatif du nombre total de chaque appareil et équipement décomptés, (ceux qui sont vraiment usage), leurs puissances totales, le temps d'utilisation journalière, la consommation mensuelle et le pourcentage de consommation.

Tableau 3 Récapitulatif de la consommation par poste de consommation

| N° | Equipements de consommation | Nombre | nombre utiliser par jour | Puissance unitaire(W) | Puissance total théorique | temps d'utilisation journalière (h) | Consommation journalière (Wh) | Consommation mensuelle (Wh) | Part (%) |
|-------|--|--------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------|
| 1 | Tube fluorescent duo 120 Cm | 404 | 268 | 40 | 10720 | 4 | 42880 | 1286400 | 41,67 |
| 2 | Lampes fluocompactes (éclairage douche) | 20 | 13 | 20 | 260 | 4 | 1040 | 31200 | 1,01 |
| 3 | Lampes fluocompactes (éclairage des balcons) | 20 | 13 | 20 | 260 | 2 | 520 | 15600 | 0,51 |
| 4 | Lampes fluocompactes (éclairage externe) | 8 | 5 | 20 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | Lampes fluocompactes (éclairage interne) | 14 | 9 | 20 | 180 | 12 | 2160 | 64800 | 2,10 |
| 6 | Brasseurs | 169 | 81 | 75 | 6075 | 4 | 24300 | 729000 | 23,61 |
| 7 | Climatiseur | 7 | 4 | 1103 | 4412 | 4 | 17648 | 529440 | 17,15 |
| 8 | Autres | | | | 2394 | 6 | 14364 | 430920 | 13,96 |
| Total | | | | 1298 | 24401 | | 88548 | 3087360 | 100 |

Explication : Facteur d'utilisation $FU = \text{Durée réelle d'utilisation des équipement} / \text{Durée total de fonctionnement possible}$ $FU = \frac{6}{10} = 0,66$

Donc le facteur d'utilisation des équipements par jour est de 0,6

3.5 Diagnostic énergétique

De la répartition des consommations par poste, il ressort que les points d'éclairage font 45,34% la ventilateur 23,61%, les climatiseur 17,15% et les autres équipement (ordinateur, imprimantes, vidéo projecteur, machines et appareils de TP 13,96 % de consommation totale mensuelle Ainsi nous pouvons les classer en deux point

3.5.1 Point fort

Les points forts du bâtiment ayant une consommation significative et constituées de source de gaspillage pouvant impacter la consommation totale sont résumé dans le tableau 4

TABLEAU 4 : RECAPITULATIF DE LA CONSOMMATION

| N° | Equipements consommation | de Consommation mensuelle en kWh | Pourcentage |
|----|-----------------------------|--|-------------|
| 1 | Lumière | 1398 | 45,34% |
| 2 | Ventilateur | 729 | 23,61%, |
| 3 | Climatisation | 529,44 | 17,15% |
| 4 | Autres | 430,92 | 13,96 |

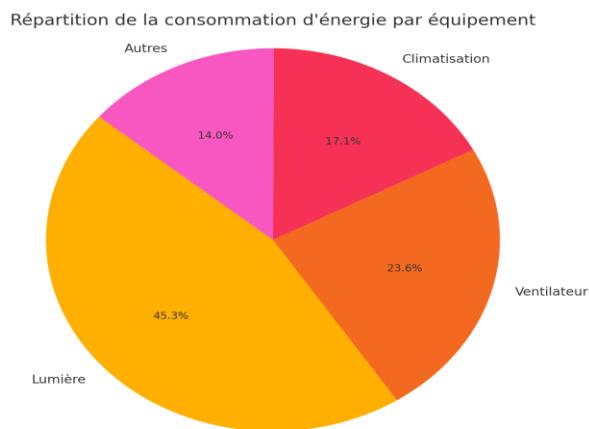


Figure 8 Diagramme de répartition des équipements de grande consommation

4.1 Recommandations techniques et économiques

4.1.1 Éclairage

Le choix du type d'éclairage est le premier levier de réductions de la consommation énergétique. Nous recommandons l'utilisation de lampes basse consommation, plus économiques et plus écologiques que les tubes fluorescents et lampes halogènes utilisés. Le choix d'une lampe de basse consommation doit se faire en fonction de son usage, afin de garantir une qualité d'éclairage suffisante. Les « lampes de basse consommation » consomment 2 à 3 fois moins d'énergie les tubes fluorescents et lampes halogènes et durent 6 à 10 fois plus longtemps. L'acquisition d'une « lampe basse consommation » procure un gain net sur la consommation énergétique et sur la durée de vie de l'ampoule. Parmi les solutions que nous voulons apporter afin d'avoir une efficacité énergétique sur l'éclairage, nous avons

- L'installation des lampes basse consommation (les lampes ou ampoules LED) en remplacement les tubes fluorescents et lampes halogène
- L'optimisation de l'espace en fonction de l'accès à la lumière serait d'un atout certain.
- Adapter les points de lumière aux besoins d'usage.
- Installation de détecteurs de présence ou de passage,
- Mettre en place un dispositif de temporisation qui éteint automatiquement l'éclairage après un laps de temps défini ;
 - Adapter l'éclairage en fonction de la luminosité extérieure.
 - Installation de capteurs de luminosité qui, en fonction de l'intensité lumineuse des salles de cours des couloirs, des bureaux escaliers, hall et balcon pilotent la mise en marche, l'intensité ou l'arrêt de l'éclairage.
- Sensibiliser les étudiants et professeurs à éteindre les points de lumière lorsqu'ils ne sont pas dans les salles des cours.
- Installer un système de gestion de l'éclairage a distancé par le réseau GSM

En effet, l'installation d'un système piloté par une horloge, d'un détecteur de présence, d'une gradation automatique de l'éclairage au moyen d'une cellule photo-électrique qui prend en compte la lumière naturelle et la combinaison d'une cellule photo-électrique avec un détecteur de présence, la gestion avec le réseau GSM va participer à un gain potentiel non négligeable. L'éclairage doit être éteint quand le niveau d'éclairement fourni par la lumière du jour est suffisant, ainsi l'implantation des détecteurs doit couvrir au mieux les zones concernées et pouvoir discipliner chaque zone éclairée en fonction de la présence ou de l'absence de

l'utilisateur. Le gain potentiel est donc constitué par les économies constatées sur la qualité des lampes, sur les allumages inutiles ou les oubli d'extinctions.

4.1.2 Ventilation

Parmi les solutions que nous voulons apporter afin d'avoir une efficacité énergétique sur la ventilation, nous avons :

- Adapté la ventilation en fonction du vent extérieur.
- Sensibilisé les étudiants et professeurs à éteindre les brasseurs lorsqu'ils ne sont pas dans les salles des cours.
- Installé un système de gestion des ventilateurs à distancé par le réseau GSM

4.1.3 Climatisation

Le tableau 5 fait la comparaison des convertisseurs LG au nouveau climatiseur existant sur le marché

Tableau 5 : Comparaison des climatiseurs LG du bâtiment au nouveau climatiseur économique

| Technologie de refroidissement | Système de refroidissement classique, à vitesse fixe | Technologie Inverter, ajustant automatiquement la vitesse du compresseur |
|--------------------------------|--|--|
| Consommation d'énergie | Très énergivores, consommation constante et élevée | Faible consommation, jusqu'à 70% d'économie d'énergie |
| Performance | Refroidissement rapide mais non régulé | Refroidissement intelligent, stable et progressif |
| Bruit | Niveau sonore élevé pendant le fonctionnement | Très silencieux, grâce à la technologie Dual Inverter |
| Durabilité | Usure rapide du compresseur | Compresseur plus durable avec garantie jusqu'à 10 ans |
| Impact environnemental | Gaz réfrigérants anciens (R22) peu écologiques | Gaz écologiques (R32), respectueux de l'environnement |
| Connectivité | Pas de contrôle intelligent | Compatibles avec Wi-Fi, contrôle via smartphone (SmartThinQ) |
| Design | Boîtiers classiques, encombrants | Design moderne, compact et esthétique |
| Fonctionnalités | Fonctions limitées (refroidir ou chauffer) | Déshumidification, purification d'air, détection de présence, etc. |
| Prix | Moins chers à l'achat mais plus coûteux sur la durée | Coût plus élevé à l'achat, mais rentabilisé par les économies d'énergie |

En conclusion les climatiseurs LG étaient adaptés à l'époque, mais peu efficaces sur le plan énergétique et environnemental. En revanche, les nouveaux modèles LG, équipés de la technologie Dual Inverter, sont bien plus performants, économiques, silencieux et respectueux de l'environnement. Bien qu'ils soient plus chers à l'achat, ils permettent des économies considérables à long terme et offrent un meilleur confort d'utilisation.

4.2 Perspectives d'amélioration globale

Afin de maximiser les bénéfices énergétiques et économiques issus des recommandations précédentes, une approche intégrée et progressive d'amélioration des installations est nécessaire. Ces perspectives s'inscrivent dans une logique de développement durable et de gestion optimisée des ressources énergétiques.

- Elaboration d'un plan global de transition énergétique
- Mettre en place un schéma directeur d'optimisation énergétique couvrant l'éclairage, la ventilation et la climatisation. Ce plan inclurait :
 - Un audit énergétique approfondi pour identifier les priorités d'action.
 - Un calendrier de remplacement progressif des équipements de grande consommation.
 - Une estimation des coûts d'investissement et des économies attendues à court, moyen et long terme.
 - Digitalisation et automatisation intelligente
 - Promouvoir l'intégration des technologies de contrôle automatisé (détecteurs, capteurs, GSM,) pour une gestion fine de la consommation. Une centralisation via une application ou un tableau de bord intelligent permettrait :
 - Le suivi en temps réel des performances énergétiques.
 - L'activation ou la désactivation automatique des équipements selon les besoins réels.
 - L'analyse des données de consommation pour ajuster les comportements.

4.2.1 Formation et responsabilisation des usagers :

La réussite de la transition repose aussi sur le changement de comportements des usagés. Il est essentiel de :

- Former les étudiants, enseignants et agents techniques aux écogestes.
- Mettre en place des affichages de sensibilisation dans les bâtiments.

- ✚ Créer un comité énergie chargé du suivi des bonnes pratiques et de l’évaluation des résultats.

4.2.2 Recherche de financements et de partenariats

Pour supporter les investissements initiaux, il est recommandé de :

- ✚ Identifier des partenaires techniques (fournisseurs de LED, fabricants de ventilateurs et climatiseurs à basse consommation).
- ✚ Chercher des subventions publiques ou privées pour la transition énergétique.
- ✚ Engager des discussions avec des ONG ou bailleurs de fonds en lien avec les thématiques d’énergie durable ou d’éducation.

4.2.3 Suivi-évaluation et amélioration continue

Mettre en place un système d’évaluation périodique des économies réalisées, de la satisfaction des usagers et de la durée de vie des équipements. Les résultats permettront :

- ✚ D’ajuster la stratégie en fonction des retours d’expérience.
- ✚ De justifier les investissements futurs par des indicateurs concrets.
- ✚ D’optimiser les performances grâce à l’analyse comparative des données.

En résumé ces perspectives visent à rendre l’environnement de travail et d’apprentissage plus performant, plus durable et moins coûteux à gérer. Une démarche cohérente entre investissements matériels, innovations technologiques et implication humaine constitue la clé d’un succès durable

4.3 Limites des résultats

Malgré leur pertinence et leur portée stratégique, les perspectives d’amélioration globale présentées ci-dessus peuvent rencontrer plusieurs limites, tant au niveau technique, financier, qu’organisationnel.

4.3.1 Contraintes financières importantes

La mise en œuvre d’un plan global de transition énergétique nécessite des investissements initiaux relativement élevés, notamment pour l’acquisition des équipements performants (LED, climatiseurs Inverter, ventilateurs BLDC), les systèmes de gestion intelligente et les formations. Ces coûts peuvent constituer un frein, surtout dans un contexte de ressources budgétaires limitées ou de priorité à d’autres urgences.

4.3.2 Dépendance technologique et maintenance

L’intégration de systèmes automatisés et de capteurs implique une certaine dépendance à la technologie. Cela suppose une maintenance régulière, des mises à jour logicielles et des réparations éventuelles, ce qui nécessite des compétences spécifiques rarement disponibles localement. En cas de panne ou de dysfonctionnement, l’efficacité énergétique pourrait être compromise

4.3.3 Résistance au changement

Même avec une campagne de sensibilisation bien menée, il peut persister une résistance au changement de la part des usagers (étudiants, enseignants, personnel administratif). Les comportements anciens, tels que l’oubli d’éteindre les équipements, peuvent perdurer et réduire les bénéfices escomptés, notamment si le suivi et le contrôle sont insuffisants.

4.3.4 Accès limité aux financements ou partenariats

La recherche de financements externes (ONG, subventions, bailleurs de fonds) peut s’avérer complexe et longue. Les démarches administratives, les exigences de cofinancement ou les retards dans les décaissements peuvent ralentir voire bloquer l’exécution du projet.

4.3.5 Difficulté de mesure des impacts à court terme

Les économies d’énergie et les bénéfices financiers issus des investissements ne sont généralement visibles qu’à moyen ou long terme. Cette temporalité peut décourager les décideurs à poursuivre les efforts, notamment en l’absence d’indicateurs immédiats de performance ou de retours visibles sur investissement

Conclusion

L’analyse énergétique du bâtiment de l’HECM Porto-Novo a mis en évidence une répartition inégale et parfois inefficace de la consommation électrique, dominée par l’éclairage et la climatisation. Des dysfonctionnements, des équipements énergivores ainsi qu’un manque de dispositifs de contrôle ont été observés. Toutefois, plusieurs leviers d’amélioration sont envisageables, notamment par le remplacement des appareils obsolètes, l’optimisation de l’éclairage, l’installation de climatiseurs à technologie Inverter, et la mise en place d’un système de gestion énergétique efficace. Ces recommandations constituent la base d’un plan d’action visant à réduire durablement les charges énergétiques de l’établissement tout en améliorant le confort des usagers.

CHAPITRE 4 : DISCUSSION – ÉVALUATION DE LA RENTABILITÉ ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Introduction

L’efficacité énergétique d’un bâtiment ne se limite pas à la réduction de la consommation d’énergie, elle implique également une analyse approfondie des impacts économiques, environnementaux et sociaux des actions correctives proposées. Cette partie vise à quantifier les coûts et bénéfices associés à la mise en œuvre des recommandations issues du diagnostic énergétique réalisé au sein du bâtiment de l’HECM Porto-Novo. À travers une évaluation économique rigoureuse, une analyse de la rentabilité, ainsi qu’une estimation des gains environnementaux et indirects, il s’agit d’établir la faisabilité et la pertinence globale des mesures recommandées. Par ailleurs, les difficultés rencontrées durant l’audit ainsi que les leçons tirées orientent la réflexion vers des perspectives de généralisation et d’intégration durable de ces démarches dans la gestion énergétique des établissements publics au Bénin.

5.1 Évaluation économique des actions recommandées

L’évaluation économique constitue une étape cruciale dans la validation des mesures d’optimisation énergétique proposées. Elle permet de quantifier les coûts associés à la mise en œuvre des actions correctives et d’estimer les gains potentiels en matière de réduction de consommation électrique. Cette analyse fournit également des éléments décisifs sur la rentabilité des investissements et le temps de retour sur investissement.

5.1.1 Coût total des actions

Le tableau ci-dessous présente une estimation des principaux investissements requis pour la mise en œuvre des actions correctives retenues à l’issue du diagnostic énergétique :

Tableau 6 Propositions des actions et recommandation

| Action recommandée | Nombre d’unités | Coût unitaire (FCFA) | Coût total estimé (FCFA) |
|---|---|----------------------|--------------------------|
| Sensibilisé l’ensemble du personnel à éteindre les équipements à la sortie des locaux et à mettre en œuvre des gestes écoénergétiques | 2 sessions pour la 1 ^{ère} année | 50 000 | 100 000 |
| Remplacement des lampes fluorescentes 40W par des lampes LED 18W offrant un même flux | 404 | 5000 | 2020000 |
| Remplacements des lampes fluocompactes de 20W par des LED de 12W offrant un même flux | 62 | 3000 | 186000 |
| Mise en place de détecteurs de présence pour l’éclairage | 10 | 15000 | 150000 |
| Mise en place des systèmes de surveillance via GSM | 5 | 150000 | 750000 |
| Sensibilisation et formation du personnel | 1 session | 100000 | 100000 |
| Total | | | 3306000 |

Ces investissements sont ponctuels et peuvent être étaisés selon les priorités budgétaires de l'établissement.

5.1.2 Économies d'énergie annuelles attendues

L'impact des actions proposées se mesure en termes de réduction de la consommation électrique et donc de la facture mensuelle. L'estimation ci-dessous repose sur les relevés de consommation mensuelle de 500 000 FCFA, soit environ 3 124 kWh/mois à un coût moyen de 160 FCFA/kWh.

Tableau 7 : présentation de l'économie sur la consommation annuelle

| Action recommandée | Réduction de puissance ou d'heure | Consommation annuelle économisée | Économie annuel |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| Remplacement des lampes fluorescentes | | | |
| 40W par des lampes LED 18W offrant un même flux lumineux | 22 W | 8490,24 | 136 6930 |
| Remplacements des lampes fluocompactes de 20W par des LED de 12W offrant un même flux lumineux | 8 W | 44,64 | 7190 |
| Sensibilisation pour les gestions de la ventilation | 1 h | 2187 | 352 110 |
| Mise en place du système de surveillance par GSM | 1 h | 1995,84 | 321 330 |
| Total | | 12717,72 | 2 027 560 |

D'après le tableau l'économie annuelle sur consommation est de 2 027 560 F CFA

5.2 Analyse de la rentabilité

L'analyse de rentabilité repose principalement sur le calcul du temps de retour sur **investissement**, qui mesure le nombre d'années nécessaires pour que les économies générées égalent le montant investi.

- ➡ **Investissement total : 3 306 000 FCFA**
- ➡ **Économie annuelle estimée : 2 027 560 FCFA**

Temps de retour sur investissement: Un an huit mois (1,63 ans)

Les 1,63 ans montre que les actions recommandées sont hautement rentables. En deux années, l'investissement sera totalement amorti. Par la suite, les économies générées constitueront un gain net pour l'établissement, avec des bénéfices récurrents sur le long terme.

Outre l'aspect financier, la mise en œuvre de ces actions améliore :

Le **confort thermique et visuel** des occupants,

La **durabilité des équipements électriques**,

L'image de l'établissement, en cohérence avec les principes de développement durable.

5.3 Évaluation environnementale

L'efficacité énergétique ne se limite pas aux économies financières. Elle constitue également une réponse directe aux défis environnementaux majeurs, en particulier la lutte contre le changement climatique. Cette section vise à quantifier les bénéfices environnementaux liés à la mise en œuvre des mesures proposées à travers la réduction des émissions de gaz à effet de serre, en particulier le dioxyde de carbone (CO₂), principal responsable du réchauffement planétaire. Cette proposition permettra de réduire **4781,86 kg¹ de CO₂ par an**. Elle met également en lumière la contribution du projet aux Objectifs de Développement Durable définis par l'Organisation des Nations Unies.

5.4 Analyse des gains indirects

Au-delà des bénéfices énergétiques, économiques et environnementaux directement quantifiables, les actions d'optimisation énergétique dans un bâtiment produisent également des effets positifs indirects mais tout aussi significatifs. Ces gains concernent le bien-être des usagers, la valorisation de l'image du bâtiment, ainsi que l'amélioration globale des conditions de travail ou d'apprentissage. Cette section aborde deux des retombées indirectes les plus marquantes : l'amélioration du confort des usagers et la valorisation de l'image du bâtiment.

5.4.1 Amélioration du confort des usagers

La mise en œuvre de dispositifs économes et mieux dimensionnés (remplacement des ventilateurs SMC 75W par des ventilateurs basse consommation, optimisation de l'usage des climatiseurs, etc.) contribue directement à une meilleure régulation thermique dans les pièces.

¹ Facteur d'Emission de CO₂ du mix énergétique du Bénin = 0,376 kgCO₂eq/kWh (D'après PDEHR Bénin)

L'installation de ventilateurs ou de climatiseurs adaptés aux volumes et à l'occupation des espaces permet de maintenir une température intérieure stable et agréable, tout en réduisant la surconsommation énergétique.

Un bâtiment bien ventilé, bien éclairé et modérément climatisé favorise le confort physique et réduit les sensations d'inconfort liées à la chaleur, à l'humidité ou à un éclairage inadéquat.

Le passage à l'éclairage LED améliore considérablement le confort visuel. Contrairement aux anciens tubes fluorescents souvent sujets au scintillement et à la dégradation lumineuse, les luminaires LED assurent une lumière stable, uniforme et bien répartie, réduisant la fatigue oculaire, surtout dans les salles de cours, bureaux ou bibliothèques.

De plus, certains anciens équipements produisent un bruit de fond (ventilateurs ou tubes fluorescents défectueux). Le remplacement de ces équipements améliore également le confort acoustique, indispensable dans les espaces de concentration ou d'écoute.

Des conditions de confort améliorées influencent positivement l'état mental, la concentration, la motivation et la productivité des usagers. Étudiants, enseignants et personnel administratif sont plus enclins à passer du temps dans des espaces agréables, ce qui peut se traduire par une meilleure performance académique ou professionnelle.

L'amélioration du cadre de vie contribue également à la santé globale, en réduisant les risques de maux de tête, de stress thermique ou de fatigue liés à des conditions ambiantes inadaptées.

5.4.2 Valorisation de l'image du bâtiment

La transition vers un bâtiment plus sobre en énergie valorise son image à travers une démarche responsable. Dans un contexte où les établissements d'enseignement supérieur jouent un rôle modèle, une telle initiative montre l'engagement de l'institution en faveur du développement durable, de la gestion rigoureuse des ressources publiques et de la lutte contre le changement climatique.

Cette démarche permet à l'établissement de s'inscrire dans une logique de responsabilité sociétale des organisations, valorisée à la fois par les usagers, les autorités, les partenaires institutionnels, voire les bailleurs de fonds.

Un bâtiment moderne, bien éclairé, climatisé intelligemment et respectueux de l'environnement constitue un atout d'attractivité pour les étudiants, enseignants et partenaires. Cela peut

influencer positivement le choix des apprenants à s'y inscrire ou celui des intervenants à y collaborer.

De plus, la réputation d'un établissement joue un rôle clé dans l'obtention de financements, dans la création de partenariats ou dans l'accueil de colloques scientifiques. Une image écologique renforcée peut devenir un facteur de différenciation stratégique.

Les investissements dans des équipements durables augmentent la valeur patrimoniale du bâtiment. À long terme, un bâtiment énergétiquement efficace est moins coûteux en entretien, en consommation et en rénovation. Il constitue donc un capital mieux préservé et valorisé.

Enfin, la documentation issue de l'audit (rapports, données énergétiques, recommandations) pourra servir de référence ou de modèle pour d'autres établissements souhaitant engager une démarche similaire, renforçant ainsi la reconnaissance de l'établissement dans la sphère académique ou institutionnelle.

5.5 Difficultés rencontrées et piste d'amélioration

5.5.1 Difficultés rencontrées

La réalisation de cet audit énergétique, bien qu'enrichissante, a été confrontée à plusieurs obstacles techniques, organisationnels et humains. Ces difficultés, récurrentes dans les contextes institutionnels africains, méritent d'être relevées afin d'optimiser les démarches futures.

L'un des premiers défis a concerné la disponibilité et la fiabilité des données de consommation. Les factures de la SBEE n'étaient pas toutes centralisées ni archivées systématiquement. Il a fallu procéder à des collectes manuelles et solliciter plusieurs départements administratifs pour reconstituer les historiques mensuels de consommation. De plus, certaines informations (comme la répartition par sous-compteurs) étaient absentes, rendant difficile l'identification précise des postes énergivores.

Pour une évaluation précise, l'usage de wattmètres, de luxmètres ou de pinces ampèremétriques est souvent indispensable. Faute de matériel de mesure professionnel accessible en temps réel, certains calculs ont été effectués par estimation théorique, ce qui réduit la précision des analyses. L'absence d'un système de monitoring énergétique en temps réel a été particulièrement limitante.

L’autre difficulté notable a été d’ordre humain. Certains usagers ou responsables techniques ont manifesté une réticence à l’égard de l’audit, craignant qu’il aboutisse à des critiques de leur mode de gestion ou à des restrictions d’usage. Cette résistance, parfois passive, s’est traduite par une faible disponibilité pour les entretiens, voire une dissimulation d’informations. Elle reflète un manque de culture énergétique dans certains milieux professionnels.

Le stage ayant une durée déterminée, il n’a pas été possible d’observer certaines actions dans la durée (ex. : saison chaude/saison fraîche). L’absence de données sur une année complète a contraint les estimations à se baser sur des moyennes mensuelles, ce qui peut lisser certaines pointes de consommation.

5.5.2 Piste d’amélioration

Ces difficultés, loin d’avoir freiné le processus, ont constitué des occasions d’apprentissage professionnel et méthodologique significatives.

L’audit a renforcé l’importance de l’observation directe, du dialogue avec les usagers, et de l’ingéniosité dans la collecte des données. En l’absence d’instruments sophistiqués, une bonne connaissance des puissances nominales et des temps d’utilisation a permis des estimations raisonnablement fiables.

Ce travail a mis en lumière l’impérieuse nécessité de sensibiliser les acteurs dès le début d’un audit. Une meilleure appropriation du projet par les responsables techniques, le personnel administratif et les usagers conditionne son efficacité et l’acceptation des recommandations.

Face aux contraintes de terrain, une flexibilité dans la méthode mais une rigueur dans le raisonnement s’impose. Cela permet de rester crédible tout en s’adaptant au contexte local, notamment dans des pays où les pratiques documentaires et techniques peuvent être hétérogènes.

Enfin, l’audit a permis de développer une vision globale et interconnectée de la gestion énergétique : aucun poste (éclairage, ventilation, climatisation, bureautique) ne peut être isolé sans comprendre les usages, les comportements humains et la gouvernance institutionnelle.

5.6 Perspectives de généralisation

Les résultats de cet audit ne doivent pas rester isolés ou ponctuels. Ils ouvrent la voie à une réflexion plus large sur la mise en œuvre systématique d’audits énergétiques dans les établissements d’enseignement supérieur au Bénin et en Afrique de l’Ouest.

5.6.1 Reproductibilité du modèle d’audit

Le protocole mis en place (collecte de données, analyse des postes, recommandations techniques et économiques) est reproductible dans d’autres établissements, avec les adaptations nécessaires à chaque contexte. Un modèle simplifié pourrait être développé pour les lycées, collèges ou mairies disposant de peu de moyens mais souhaitant entamer une transition énergétique.

5.6.2 Intégration dans les politiques de gestion énergétique

Les résultats de ce mémoire peuvent alimenter les politiques internes des établissements en matière de maîtrise des charges et de performance énergétique. Une institution ayant plusieurs bâtiments peut planifier un audit tournant ou simultané pour identifier les plus grands gisements d’économies.

5.6.3 Crédit de référentiels énergétiques locaux

Ce travail peut servir de base à l’élaboration d’un référentiel énergétique adapté aux bâtiments administratifs ou pédagogiques au Bénin, prenant en compte les données climatiques locales, les tarifs de la SBEE, et les équipements les plus couramment utilisés. Ce référentiel permettrait de comparer les performances entre établissements.

5.6.4 Mise en réseau des établissements engagés

La mise en réseau des établissements ayant mené un audit permettrait le partage d’expériences et de bonnes pratiques. Elle favoriserait également l’émergence d’initiatives concertées pour la négociation d’achats groupés de matériel basse consommation ou de systèmes solaires.

Enrichissement des curricula universitaires

Ce type de projet peut être intégré dans les formations en génie énergétique, en environnement, ou en gestion des infrastructures publiques. Il constitue un support pédagogique concret pour les étudiants et un laboratoire d’innovation appliquée.

Conclusion

L’évaluation économique confirme que les actions recommandées sont financièrement viables avec un temps de retour sur investissement inférieur à trois ans, offrant ainsi un avantage économique tangible pour l’établissement. En parallèle, l’impact environnemental positif se

traduit par une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre, contribuant à l'atténuation des changements climatiques. Les gains indirects, notamment l'amélioration du confort des usagers et la valorisation de l'image institutionnelle, renforcent l'intérêt d'une telle démarche. Malgré les contraintes techniques et organisationnelles rencontrées, ce travail met en lumière l'importance d'une approche globale, participative et adaptée au contexte local. Enfin, les résultats obtenus ouvrent des perspectives encourageantes pour la diffusion de ce modèle d'audit énergétique dans d'autres établissements, contribuant ainsi à une gestion plus durable et responsable des ressources énergétiques au Bénin et en Afrique de l'Ouest.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE

L'étude a mis en lumière les principaux postes de consommation énergétique, notamment l'éclairage, la ventilation et la climatisation, tout en révélant des opportunités d'optimisation significatives. Grâce à une analyse rigoureuse des données de consommation, une évaluation économique des actions recommandées, et une projection des impacts environnementaux et sociaux, ce travail a abouti à des recommandations concrètes et adaptées au contexte local.

Au-delà des résultats quantitatifs, l'audit a permis de sensibiliser les parties prenantes à l'importance de comportements écoénergétiques et de stratégies de gestion durable. Les difficultés rencontrées, notamment l'accès limité aux données et la résistance initiale de certains usagers, ont été converties en leviers d'apprentissage, soulignant l'importance d'une approche à la fois technique et humaine dans tout projet d'optimisation énergétique.

Les perspectives de généralisation de cette démarche sont prometteuses. L'adaptation de ce modèle à d'autres établissements et son intégration dans les politiques publiques de gestion énergétique pourraient contribuer à réduire la facture énergétique nationale tout en améliorant le confort des usagers et en valorisant l'image des institutions engagées dans la transition durable.

En somme, ce mémoire témoigne de la faisabilité et de l'intérêt stratégique d'un audit énergétique bien conduit. Il ouvre la voie à une meilleure gouvernance de l'énergie dans les bâtiments publics et propose une démarche reproductible, mobilisant à la fois les savoirs techniques, la conscience environnementale et la volonté d'innovation locale.

Références bibliographiques

- [1] FE =0.376 kg CO₂ eq/kWh : D'après le Prend Directeur de l'électrification Rural
- [2] GBAGUIDI Victor S., GBAGUIDI Gérard Aïssè, ADJOVI Edmond, AMEY Kossi B., ZANKPE Marcel, DANVI Alexandre-Eudes, ALODEHOU Eustache; CARTOGRAPHIE DES DIRECTIONS DOMINANTES DES VENTS AU BÉNIN OUTIL DE CONCEPTION ET DE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES.Journal de Recherche Scientiques de l'Université de Lomé (Togo), Série E, 2011, 13(1) : 1-16
- [3] Calcule de prix unitaire par kWh facture de la SBEE
- [4] EN 12464-1 : 2021 lumière et éclairage- Eclairage des lieux de travail- Part 1 : lieux de travail intérieur Editeur : comité Européen de Normalisation (CEN) juillet 2021 replaçant la EN 12464-1 du 2011
- [5] NF EN 15193-1 2017 (éclairage dans les bâtiments- besoin d'éclairage)
Partie 1 : Méthodologie de calcul pour déterminer les consommations liées à l'éclairage : facteur d'utilisation y est utilisé dans le calcul du LENI un indicateur normalisé

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|------|
| DÉDICACE..... | |
| REMERCIEMENTS | i |
| RESUME..... | ii |
| ABSTRACT | iii |
| SOMMAIRE | iv |
| LISTES DES TABLEAUX..... | vi |
| LISTE DE FIGURES | vii |
| LISTES DES PHOTOS..... | viii |
| LISTE DES NOMENCLATURE | x |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| 1 CHAPITRE 1 : CADRE ET DEROULEMENT DU STAGE..... | 2 |
| Introduction | 3 |
| 1.1 Présentation de HECM Porto-Novo | 3 |
| 1.1.1 Situation géographique | 3 |
| 1.1.2 Mission..... | 5 |
| 1.2 Présentation du lieu de stage | 6 |
| 1.2.1 Historique du CONTRELEC Bénin | 6 |
| 1.2.2 Organigramme CONTRELEC..... | 6 |
| 1.2.3 Travaux effectués au cours du stage | 8 |
| Conclusion..... | 8 |
| 2 CHAPITRE 2 : presentation du TRAVAIL DE FIN D'ETUDE..... | 9 |
| Introduction | 10 |
| 2.1 Présentation du cahier des charges..... | 10 |
| 2.1.1 Problématique | 10 |
| 2.1.2 Objectif général | 10 |
| 2.1.3 Objectifs spécifiques..... | 10 |
| 2.1.4 Méthodologie adoptée..... | 11 |
| 2.1.5 Résultats attendus | 11 |
| 2.2 Démarche méthodologique et organisationnelle | 11 |
| 2.2.1 Phase préparatoire | 11 |
| 2.2.2 Phase de collecte de données | 12 |
| 2.2.3 Phase d'analyse et de diagnostic..... | 12 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.2.4 | Phase de proposition..... | 12 |
| 2.2.5 | Phase de validation et de restitution | 12 |
| 2.3 | Diagnostique du circuit électrique du bâtiment..... | 13 |
| 2.3.1 | Présentation et étude des paramètres électriques du compteur du Bâtiment..... | 13 |
| 2.3.2 | Présentation et étude des paramètres électriques du générateur de secours (groupe électrogène) du Bâtiment | 13 |
| 2.3.3 | Présentation du circuit électrique de de l'ensemble du bâtiment..... | 14 |
| 2.3.4 | Schéma du circuit de rapatrions de l'ensemble de l'installation | 15 |
| 2.3.5 | Schéma détaillé par niveau | 16 |
| | Conclusion | 21 |
| 3 | CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET ANALYSE..... | 22 |
| | Introduction | 23 |
| 3.1 | Description des usages énergétiques | 23 |
| 3.1.1 | L'éclairage..... | 23 |
| 3.1.2 | Ventilation | 25 |
| 3.1.3 | Climatisation..... | 26 |
| 3.2 | Résultats de collecte de données et campagne de mesures | 27 |
| 3.2.1 | Collecte de données | 27 |
| 3.2.2 | Campagne de mesure | 27 |
| 3.3 | Analyse des factures d'électricité (SBEE) | 28 |
| 3.4 | Répartition de la consommation par poste | 29 |
| 3.5 | Diagnostic énergétique | 31 |
| 3.5.1 | Point fort..... | 31 |
| 4 | Tableau 4 : Récapitulatif de la consommation..... | 31 |
| 4.1 | Recommandations techniques et économiques | 32 |
| 4.1.1 | Éclairage..... | 32 |
| 4.1.2 | Ventilation | 33 |
| 4.1.3 | Climatisation..... | 33 |
| 4.2 | Perspectives d'amélioration globale..... | 34 |
| 4.2.1 | Formation et responsabilisation des usagers :..... | 34 |
| 4.2.2 | Recherche de financements et de partenariats | 35 |
| 4.2.3 | Suivi-évaluation et amélioration continue | 35 |
| 4.3 | Limites des résultats | 35 |
| 4.3.1 | Contraintes financières importantes..... | 35 |
| 4.3.2 | Dépendance technologique et maintenance | 36 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 4.3.3 | Résistance au changement..... | 36 |
| 4.3.4 | Accès limité aux financements ou partenariats | 36 |
| 4.3.5 | Difficulté de mesure des impacts à court terme | 36 |
| Conclusion..... | | 36 |
| 5 | CHAPITRE 4 : DISCUSSION – ÉVALUATION DE LA RENTABILITÉ ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL..... | 37 |
| Introduction | | 38 |
| 5.1 | Évaluation économique des actions recommandées | 38 |
| 5.1.1 | Coût total des actions | 38 |
| 5.1.2 | Économies d'énergie annuelles attendues..... | 39 |
| 5.2 | Analyse de la rentabilité..... | 39 |
| 5.3 | Évaluation environnementale | 40 |
| 5.4 | Analyse des gains indirects | 40 |
| 5.4.1 | Amélioration du confort des usagers | 40 |
| 5.4.2 | Valorisation de l'image du bâtiment | 41 |
| 5.5 | Difficultés rencontrées et piste d'amélioration | 42 |
| 5.5.1 | Difficultés rencontrées | 42 |
| 5.5.2 | Piste d'amélioration | 43 |
| 5.6 | Perspectives de généralisation..... | 43 |
| 5.6.1 | Reproductibilité du modèle d'audit | 44 |
| 5.6.2 | Intégration dans les politiques de gestion énergétique..... | 44 |
| 5.6.3 | Création de référentiels énergétiques locaux..... | 44 |
| 5.6.4 | Mise en réseau des établissements engagés | 44 |
| Conclusion..... | | 44 |
| CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE | | 46 |
| 6 | Références bibliographiques | 47 |
| Table des matières | | 48 |