



**AUDIT ENERGETIQUE : CAS DE L'IMMEUBLE
RAMADA PEARL HOTEL**

**MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2IE AVEC
GRADE DE MASTER EN GÉNIE ÉLECTRIQUE, ÉNERGÉTIQUE ET
INDUSTRIEL
SPÉCIALITE : ÉNERGIES RENOUVELABLES**

Présenté et soutenu publiquement ...par :

NIANGAO Ophelie Melissa (20150024)

Encadrant 2iE : Dr.-Ing Aboubakar GOMNA

Maître de stage : Rasmané SANFO

Structure d'accueil du stage : MOUSSTAKBAL NEGOCE

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Prénom NOM

Membres et correcteurs : Prénom NOM

Prénom NOM

Prénom NOM

Promotion [2021/2022]

DEDICACES

Je dédie particulièrement ce mémoire :

A mes très chers parents Bapan NIANGAO et Kadidia TRAORE pour leur sacrifice, leur soutien, leur confiance et leur prière tout au long de mes études,

A mes chers frères Prisca et Kenneth

A toute ma famille

A mes chers ami(e)s

A toutes les personnes qui m'ont toujours témoigné leur soutien multiforme tout au long de mes études.

A la mémoire de tous les êtres chers que j'ai perdus.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux et le fruit de votre soutien infailible.

Puisse Dieu vous bénir et se souvenir toujours de vous.

CITATIONS

« Dans un environnement qui change, il n'y a pas de plus grand risque que de rester immobile. »

Jacques Chirac

« Choisissez un travail que vous aimez et vous n'aurez pas à travailler un seul jour de votre vie. »

Confucius

« L'énergie est notre avenir, économisons-la »

Slogan Dalkia France

REMERCIEMENTS

Je tiens à témoigner ma profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin ont contribué significativement à la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements distingués vont à l'endroit de :

- L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) et de tout son corps enseignant pour l'accueil et la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont prodigués tout au long de cette de formation.
- Dr.-Ing Aboubakar GOMNA, mon enseignant et encadrant pour sa disponibilité, sa patience et son suivi durant la réalisation de ce mémoire.
- MES Energie et toute sa direction pour m'avoir acceptée au sein de l'entreprise.
- M. Rasmané SANFO, mon maître de stage pour ses conseils, son encadrement, et sa disponibilité.
- Pr Yézouma COULIBALY pour son encadrement et sa disponibilité à répondre à mes multiples préoccupations.
- El Hadji Hamidou OUEDRAOGO et M. David ZONGO, respectivement le PDG et le DG de Ramada Pearl Hôtel pour m'avoir facilité les travaux de recherche.
- M. François OUANGRAOUA, l'électricien de Ramada Pearl Hôtel pour sa disponibilité, sa patience, sa volonté, ses encouragements et ses conseils tout au long de cette étude.

Je ne saurais clôturer sans remercier mes promotionnaires et toutes les personnes non citées qui ont été présents et m'ont apporté leur aide multiforme jusqu'aux derniers instants. Veuillez recevoir toute ma gratitude.

RESUME

En Afrique, le secteur du bâtiment consomme environ 50% de la consommation totale en énergie électrique [1]. Sa dépense énergétique, principalement liée à la climatisation, à la réfrigération, la production d'eau chaude et à l'éclairage a un coût élevé. Pour une transition énergétique réussie, il faudra adopter des mesures pour favoriser les économies d'énergie dans le secteur du bâtiment. C'est dans ce sens que le responsable de Ramada Pearl Hôtel souhaite alléger les factures d'électricité de l'hôtel qui s'élevaient à 71 370 437 FCFA en 2019 contre 39 741 171 FCFA en 2020 lorsque la pandémie à COVID-19 battait son plein au Burkina Faso.

Situé à Ouagadougou, Ramada Pearl Hôtel a sollicité les services de Mousstakbal Negoce pour réaliser un audit énergétique en son sein. Cette mission nous a été assignée lors de notre stage dans l'entreprise sous le thème « Audit énergétique : cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel ».

En fin d'études, nous avons répertorié des défaillances électriques et constaté que la consommation énergétique de l'hôtel est en grande partie due à la climatisation. Le système de climatisation consomme plus de 50% de sa consommation énergétique et le mode de fonctionnement adopté pour ses chauffe-eaux électriques et solaires ne lui permet pas de faire de grandes économies. Comme solutions, il lui a été recommandé de remplacer progressivement les climatiseurs actuels par des plus performants, de modifier le principe de fonctionnement des chauffe-eaux, de mettre en place une installation solaire photovoltaïque et de sensibiliser l'ensemble du personnel et clients sur la gestion rationnelle de l'énergie.

La mise en œuvre de ces solutions va engendrer un investissement total de 104 439 204 FCFA pour des économies de plus de 10 000 000 FCFA par an avec un temps de retour sur investissement de 7 ans.

Mots clés :

- 1-Audit énergétique
- 2-Consommation énergétique
- 3-Economies d'énergie
- 4-Hôtel Ramada
- 5-Factures d'électricité élevées

ABSTRACT

In Africa, the building sector consumes about 50% of total electrical energy consumption [1]. Its energy expenditure, mainly related to air conditioning, refrigeration, hot water production and lighting, has a high cost. For a successful energy transition, it will be necessary to adopt measures to promote energy savings in the building sector. It is in this sense that the manager of Ramada Pearl Hotel wishes to reduce the electricity bills of the hotel which amounted to 71,370,437 FCFA in 2019 against 39,741,171 FCFA in 2020 when the COVID-19 pandemic was beating its full in Burkina Faso.

Located in Ouagadougou, Ramada Pearl Hotel requested the services of Mousstakbal Negoce to carry out an energy audit within it. This mission was assigned to us during our internship in the company under the theme "Energy audit: case of the Ramada Pearl Hotel building".

At the end of the studies, we identified electrical failures and found that the hotel's energy consumption is largely due to air conditioning. The air conditioning system consumes more than 50% of its energy consumption and the mode of operation adopted for its electric and solar water heaters does not allow it to make major savings. As solutions, it was recommended to gradually replace the current air conditioners with more efficient ones, to modify the operating principle of water heaters, to set up a photovoltaic solar installation and to raise awareness among all staff and customers on the rational energy management.

The implementation of these solutions will generate a total investment of 104,439,204 FCFA for savings of more than 10,000,000 FCFA per year with a return-on-investment time of 7 years.

Key words :

-
- 1- Energy audit
 - 2-Energy consumption
 - 3-Energy savings
 - 4-Hotel Ramada
 - 5-High electricity bills

LISTE DES ABREVIATIONS

HPL : Heure Pleine

HPT : Heure de Pointe

TRI : Temps de Retour sur Investissement

SONABEL : Société Nationale d'Electricité du Burkina

COP : Coefficient de performance

V_e : Volume d'eau chaude journalier

$B_{e\ pers}$: Besoin en eau chaude par personne

ρ_e : masse volumique de l'eau ($1\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$)

C_{Pe} : chaleur spécifique de l'eau

B_{net} : Besoin net journalier en chaleur

T_{ef} : Température d'utilisation finale de l'eau

T_{ei} : Température initiale de l'eau

N_{CS} : nombre de capteurs thermiques

S_{CS} : surface des capteurs thermiques

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Répartition des heures pleines dans la journée	5
Tableau 2 : Répartition des heures de pointe dans la journée	6
Tableau 3 : Données spécifiques	16
Tableau 4 : Composition des parois de l'hôtel	17
Tableau 5 : Références d'abonnement SONABEL de l'hôtel Ramada	20
Tableau 6 : Vérification des factures d'électricité de l'hôtel Ramada.....	27
Tableau 7 : Données sur la consommation énergétique de l'hôtel Ramada	30
Tableau 8 : Bonifications sur les factures d'électricité de l'hôtel Ramada.....	31
Tableau 9: Coûts de pénalité de l'hôtel Ramada dus aux dépassements de puissance souscrite.....	33
Tableau 10 : Résultats de l'enquête	36
Tableau 11 : Données du service de buanderie	37
Tableau 12 : Résultats des analyses	39
Tableau 13 : Récapitulatif du surpresseur d'eau.....	40
Tableau 14 : Informations relatives aux chauffe-eaux solaires.....	41
Tableau 15 : Informations relatives aux chauffe-eaux électriques	41
Tableau 16 : Estimation du besoin en eau chaude de l'hôtel	42
Tableau 17 : Estimation de la consommation énergétique des chauffe-eaux électriques	44
Tableau 18 : Résultats du dimensionnement des chauffe-eaux solaires.....	45
Tableau 19 : Evaluation de la consommation énergétique des chauffe-eaux pour le système de préchauffage	46
Tableau 20 : Estimation des charges de fonctionnement des chauffe-eaux pour le système de préchauffage	47
Tableau 21 : Bilan thermique de l'hôtel	48
Tableau 22 : Evaluation de la consommation énergétique en climatisation	49
Tableau 23 : Evaluation de la consommation énergétique des climatiseurs performants.....	50
Tableau 24 : Estimation des charges de fonctionnement avec les climatiseurs performants.....	51
Tableau 25 : Récapitulatif du dimensionnement solaire photovoltaïque.....	53
Tableau 26 : Configuration du champ photovoltaïque	54
Tableau 27 : Données nécessaires de l'installation photovoltaïque	54
Tableau 28 : Coûts détaillés de l'installation photovoltaïque	55
Tableau 29 : Récapitulatif des solutions d'efficacité énergétique	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de MES Energie	2
Figure 2 : Présentation de Ramada Pearl Hôtel	19
Figure 3 : Profil des factures d'électricité de l'hôtel Ramada de 2019-2021	22
Figure 4 : Profil des factures d'électricité de l'hôtel Ramada suivi des clients enregistrés en 2019.....	24
Figure 5 : Profil des factures d'électricité suivi des clients enregistrés en 2020.....	25
<i>Figure 6 : Profil des factures d'électricité suivi des clients enregistrés en 2021</i>	<i>26</i>
Figure 7 : Répartition des factures d'électricité de 2019	28
Figure 8 : Répartition des factures d'électricité de 2020	29
Figure 9 : Profil de la puissance enregistrée par l'hôtel	32
Figure 10 : Profil de la puissance enregistrée de l'hôtel Ramada en 2019 pour une puissance souscrite de 200 kW.....	34
Figure 11 : Schéma illustratif du système solaire photovoltaïque connecté au résea.....	53

TABLE DES MATIERES

<i>DEDICACES</i>	ii
<i>CITATIONS</i>	iii
<i>REMERCIEMENTS</i>	iv
<i>RESUME</i>	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
<i>LISTE DES ABREVIATIONS</i>	vii
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	viii
<i>LISTE DES FIGURES</i>	ix
<i>TABLE DES MATIERES</i>	x
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE	1
I.Contexte et justification	1
II.Présentation de la structure d'accueil	1
III.Problématique	2
IV.Objectifs	3
IV.1 Objectif global	3
IV.2 Objectifs spécifiques	3
CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE DE L'ETUDE	4
I.Etat des lieux	4
II.Analyse des factures d'électricité	4
III.Composition d'une facture Haute Tension Catégorie A (HTA)	5
III.1 Le coût de la consommation active en heures pleines	5
III.2 Le coût de la consommation active en heures de pointe	5
III.3 La prime fixe	6
III.4 Pénalité de dépassement de la puissance souscrite	8
III.5 Taxes diverses	8
III.6 Facture complémentaire	9
III.7 Facture mensuelle	9
IV.Système de chauffage d'eau	9
V.Système de climatisation	12
VI.Maîtrise des dépenses d'énergie	17
VII.Rapport d'audit énergétique	17
CHAPITRE 3 : Résultats de l'audit énergétique	18
I. Description de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel	18

I.1	Catégorie et profil d'occupation de Ramada Pearl Hôtel	18
I.2	Architecture et Orientation	19
I.3	Alimentation électrique	19
I.4	Appareillage électrique	20
I.4.1	Chambres	20
I.4.2	Salles de réunion	20
I.4.3	Salle d'accueil et circulations	20
I.4.4	Cuisine, bar et restaurant	21
I.4.5	Bureaux	21
I.4.6	Toilettes	21
I.4.7	Buanderie	21
I.4.8	Autres appareils	21
II	Etat des lieux	21
III	Pré-diagnostic énergétique	22
III.1	Analyse des factures d'électricité l'hôtel Ramada	22
III.2	Analyse des factures d'électricité et des clients de l'hôtel Ramada	23
III.3	Vérification des factures d'électricité de l'hôtel Ramada	27
III.4	Analyse des pénalités sur les factures d'électricité	30
III.4.1	Facteur de puissance	30
III.4.2	Dépassement de puissance souscrite	32
IV	Le service de buanderie	35
V	Système de surpression d'eau	38
VI	Système de chauffe-eau	40
VII	Système de climatisation	47
VIII	Mesures d'économie d'énergie adoptées	51
IX	Maitrise des dépenses d'énergie	52
ANNEXES		59

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION GENERALE

I. Contexte et justification

A l'heure du défi climatique, les filières de l'énergie et du bâtiment sont au cœur de l'actualité. Si la transition énergétique n'est possible que dans le cas de développement de solutions alternatives aux énergies fossiles, il est aussi indispensable de faire en sorte que les secteurs résidentiels et commerciaux adoptent des solutions en efficacité énergétique. En Afrique, le secteur du bâtiment représente environ 50 % de la consommation totale en énergie électrique [1]. Les dépenses énergétiques courantes associées à ce secteur comprennent la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire, la réfrigération, l'éclairage et l'utilisation d'une variété d'équipements. Avec le coût élevé de l'électricité, une mauvaise gestion de l'énergie dans ces différents postes entraîne la hausse des factures.

Pour réduire la consommation énergétique et lutter contre le changement climatique, des mesures d'efficacité doivent être adoptées dans le secteur du bâtiment. La rénovation énergétique des bâtiments existants et la bonne gestion de l'énergie sont des solutions encouragées par l'Etat burkinabè pour une transition réussie vers les énergies vertes.

C'est dans ce contexte que Ramada Pearl Hôtel, ayant constaté que ses factures d'électricité sont élevées, a décidé de faire un audit énergétique pour déterminer les principales causes et trouver des solutions pour les réduire.

Pour mener à bien cette étude, notre travail sera subdivisé en 3 grandes parties : la 1^{ère} et la 2^e parties concerneront les généralités et la méthodologie de l'étude, la dernière fera cas des résultats de l'audit énergétique puis des potentielles pistes d'amélioration rentables pour l'hôtel.

II. Présentation de la structure d'accueil

La structure d'accueil de ce stage est l'entreprise Mousstakbal Négoce également appelée MES Energies. Créée en 2011, MES Energie est une entreprise burkinabè évoluant dans les énergies renouvelables avec pour objectif de mettre en œuvre des solutions innovantes et de rendre l'énergie solaire accessible à tous. Son siège est situé à Ouaga 2000, zone Sonatur. Ses domaines d'activités sont l'installation de systèmes photovoltaïques et thermiques, l'éclairage public, le pompage solaire et l'étude en optimisation énergétique. En plus de ces services, elle commercialise les équipements solaires tels que les panneaux photovoltaïques, les batteries, les convertisseurs, etc.

Pour le bon fonctionnement et l'atteinte de ses objectifs, MES Energie est constitué de plusieurs départements et directions spécifiques. La figure 1 présente l'organigramme de l'entreprise.

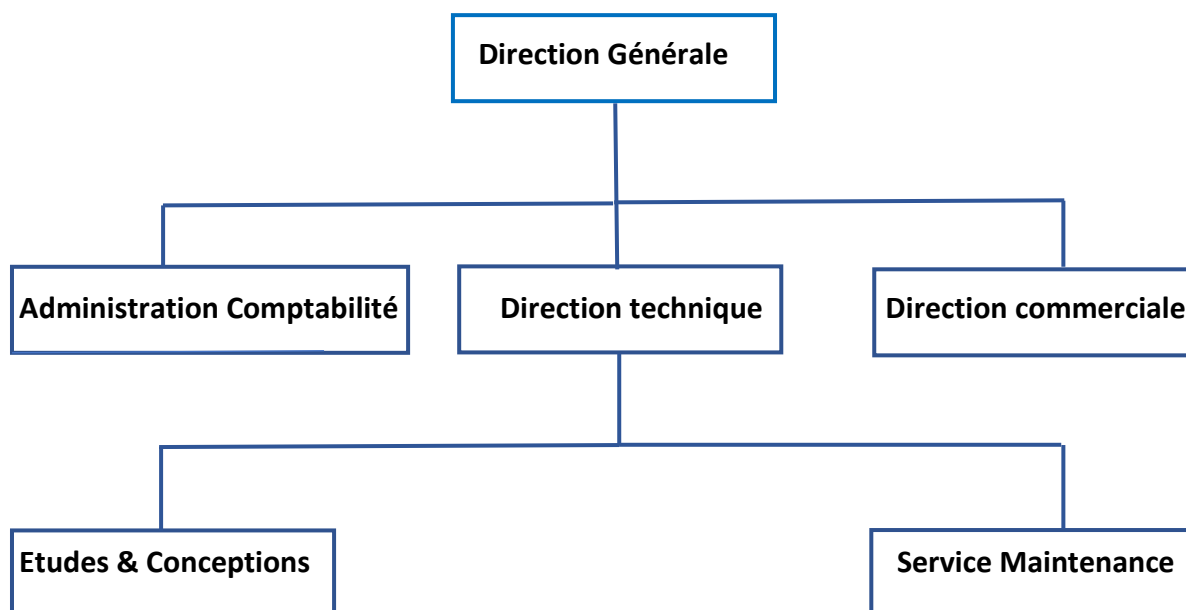


Figure 1: Organigramme de MES Energie

III. Problématique

Ramada Pearl Hôtel est un hôtel situé en plein cœur de Ouagadougou, à environ 1 km de l'aéroport. C'est un immeuble à 8 niveaux recevant chaque année de nombreux clients nationaux et internationaux. Ramada Pearl Hôtel souhaite réduire ses factures d'électricité. Pour y parvenir, il a pris l'initiative d'installer des batteries de condensateurs de 50 kVAr pour relever son facteur de puissance et bénéficier de bonifications mais les coûts d'électricité demeurent élevés. Récemment, l'hôtel a même fait installer des chauffe-eaux solaires pour réduire sa consommation énergétique en production d'eau chaude. L'installation de ces chauffe-eaux va-t-elle contribuer à alléger les factures d'électricité de l'hôtel Ramada ? Quelle est la cause réelle de cette forte dépense énergétique ?

C'est la raison pour laquelle MES Energie a été contactée pour faire l'audit énergétique de Ramada Pearl Hôtel. Cette étude va consister à répertorier les principaux postes consommateurs d'énergie de l'hôtel et à apporter des solutions d'amélioration qui vont lui permettre de réduire ses factures d'électricité.

IV. Objectifs

IV.1 Objectif global

L'objectif général de l'audit énergétique de l'hôtel Ramada est de proposer des solutions en vue de réduire sa consommation énergétique.

IV.2 Objectifs spécifiques

Pour atteindre notre objectif général, des objectifs spécifiques doivent être élaborés ; il s'agit de :

- Faire un état des lieux des consommations ;

- Proposer des solutions d'économies d'énergie.

L'élaboration de ces mesures requiert au préalable une connaissance de la situation énergétique actuelle de l'hôtel qui va constituer en grande partie cet audit énergétique.

CHAPITRE 2 : METHODOLOGIE DE L'ETUDE

L'audit énergétique d'un bâtiment en général est une étude qui consiste à faire au préalable un état des lieux détaillé des performances des systèmes énergétiques de ce bâtiment pour ensuite faire une synthèse permettant de porter un jugement sur la situation énergétique du dit bâtiment dans l'objectif de proposer des solutions d'amélioration.

I. Etat des lieux

Une visite de l'hôtel a été menée pour recueillir des données qui nous ont permis d'évaluer la consommation des différents systèmes énergétiques de l'hôtel. Elle a consisté à récupérer les factures d'électricité, à repérer l'architecture et l'orientation de l'immeuble, à étudier entre autres le système de chauffage d'eau, de climatisation, d'éclairage et à noter les mesures d'économies d'énergie adoptées par l'hôtel. Une observation a également été faite sur les habitudes du personnel quant à la gestion de l'énergie.

II. Analyse des factures d'électricité

La SONABEL est la compagnie d'électricité du Burkina Faso. Elle a la charge de fournir l'électricité à ses abonnés en contrepartie d'une facture. La facture d'électricité désigne le prix de toutes les taxes comprises à savoir la consommation d'électricité, le type d'abonnement et les diverses taxes. Elle est fournie mensuellement au client qui doit s'en acquitter.

L'analyse des factures d'électricité va consister à lire, comprendre, interpréter et à recalculer les différents coûts attribués afin d'identifier les potentielles erreurs présentes, ou les ajustements d'abonnement à faire. Des incompréhensions ou manques d'informations peuvent être à l'origine d'une facture d'électricité élevée.

Pour une meilleure analyse des factures d'électricité de l'hôtel, nous avons collecté les factures d'électricité des trois dernières années c'est-à-dire de 2019-2021. Prendre en compte la période 2019-2021 nous a permis de faire une analyse réelle des factures d'électricité sur un temps relativement long. Il faut noter que Ramada Pearl Hôtel a opté pour un abonnement Moyenne Tension (MT) type E1 ; pour plus d'informations sur la grille tarifaire de la SONABEL, voir l'Annexe 1. Pour un abonnement MT, la tarification de l'énergie se fait en double tarif c'est-à-dire que le coût de l'énergie consommée est fonction de la période de la journée. Nous faisons cas des heures pleines et des heures de pointe. Ce type d'abonnement correspond aux gros

consommateurs d'énergie qui ont la possibilité de reporter leur consommation aux heures pleines où le prix de l'électricité est le moins cher comparé aux heures de pointe.

III. Composition d'une facture Moyenne Tension type E1 (MT)

La facturation de l'énergie consommée mensuellement pour un abonnement en moyenne tension type E1 se calcule suivant les paramètres ci-dessous :

- le coût de la consommation active en heures pleines ;
- le coût de la consommation active en heures de pointe ;
- la prime fixe ;
- les pénalités de dépassement de la puissance souscrite ;
- les taxes diverses.

III.1 Le coût de la consommation active en heures pleines

Il correspond au coût de l'énergie active consommée par l'abonné en heures pleines qui est de 17 h réparties selon le Tableau 1 ;

Tableau 1: Répartition des heures pleines dans la journée

00 h à 10 h	14 h à 16 h	19 h à 00 h
Heures pleines		
10 h	2 h	5 h

Ce coût est obtenu à l'aide de la relation (1) :

$$\text{Coût}_{\text{cons.active HPL}} = \text{Energie}_{\text{active cons. HPL}} \times \text{Tarif}_{\text{HPL}} \quad (1)$$

Avec :

$\text{Coût}_{\text{cons.active HPL}}$: coût de la consommation active en heures pleines (FCFA)

$\text{Energie}_{\text{active cons. HPL}}$: énergie active consommée en heures pleines (kWh)

$\text{Tarif}_{\text{HPL}}$: coût de l'énergie active en heure pleine (FCFA·kWh⁻¹)

III.2 Le coût de la consommation active en heures de pointe

Il correspond au coût de l'énergie active consommée par l'abonné en heures de pointe qui est de 7 h réparties selon le Tableau 2 :

Tableau 2 : Répartition des heures de pointe dans la journée

10 h à 14 h	16 h à 19 h
Heures de pointe	
4 h	3 h

Ce coût est obtenu à l'aide de la relation (2) :

$$\text{Coût}_{\text{cons. active HPT}} = \text{Energie}_{\text{act. cons. HPT}} \times \text{Tarif}_{\text{HPT}} \quad (2)$$

Avec :

$\text{Coût}_{\text{cons. active HPT}}$: coût de la consommation active en heures pleines (FCFA)

$\text{Energie}_{\text{act. cons. HPT}}$: énergie active consommée en heures pleines (kWh)

$\text{Tarif}_{\text{HPL}}$: coût de l'énergie active en heure pleine (FCFA·kWh⁻¹)

III.3 La prime fixe

La prime fixe est désignée comme la contrepartie que la SONABEL demande à l'abonné pour lui fournir en permanence le niveau de puissance auquel il a souscrit. Ce montant est inclus dans sa facture mensuelle et varie en fonction de la catégorie du type d'abonnement, du tarif que l'abonné a choisi et du facteur de puissance.

Pour notre cas, l'hôtel Ramada qui, s'est abonné pour la HTA, tarif E1, a une prime fixe mensuelle de 70 826 FCFA.

Concernant le facteur de puissance du bâtiment qui influe sur la prime fixe, si celui-ci est inférieur à 0,8, la prime fixe est affectée d'un coefficient de majoration k_{maj} . Par contre, si le facteur de puissance est supérieur à 0,9, la prime fixe est affectée d'un coefficient de minoration k_{min} .

Les équations nous permettant de calculer les coefficients k_{maj} et k_{min} , de même que le coût lié à la prime fixe sont données par les relations (3), (4) et (5) :

Si $\tan(\phi) > 0,75$ ou $\cos(\phi) < 0,8$, cas de pénalité pour mauvais facteur de puissance

$$k_{maj} = \frac{[1 + (\tan(\phi) - 0,75)]}{3} \quad (3)$$

Si $\tan(\phi) < 0,48$ ou $\cos(\phi) > 0,9$, cas de bonification pour bon facteur de puissance

$$k_{min} = \frac{[1 - (0,48 - \tan(\phi))]}{6} \quad (4)$$

$$Prime_{fixe} = \frac{P_{souscrite} \times Tarif_{prime\ fixe\ annuelle} \times (1 + m)}{12} \quad (5)$$

Avec :

$Prime_{fixe}$: la prime fixe mensuelle (FCFA)

$P_{souscrite}$: la puissance souscrite (kW)

$Tarif_{prime\ fixe\ annuelle}$: la prime fixe annuelle (FCFA·kW⁻¹·an⁻¹)

m : le coefficient de majoration ou de minoration

Les différents tarifs cités peuvent être consultés sur la grille tarifaire de la SONABEL en Annexe 1.

III.4 Pénalité de dépassement de la puissance souscrite

En MT, il n'est pas concevable d'interrompre la fourniture d'électricité pour dépassement de la puissance souscrite tel qu'en abonnement basse tension (BT). En contrepartie, l'abonné doit payer des pénalités pour dépassement de puissance souscrite. Cette pénalité est déterminée de la manière suivante : pour chaque kW de dépassement, la pénalité correspond à une utilisation de la puissance atteinte pendant 30 h au tarif en heure de pointe.

$$Pénalités_{DPuissance} = 30 \times (P_{appelée} - P_{souscrite}) \times Tarif_{HPT} \quad (6)$$

Avec :

$Pénalités_{DPuissance}$: pénalités de dépassement de puissance souscrite

$P_{appelée}$: puissance appelée.

$P_{souscrite}$: puissance souscrite

$Tarif_{HPT}$: tarif heure de pointe.

III.5 Taxes diverses

- La redevance ou taxe sur la location et l'entretien du système de comptage concernent les frais de location du compteur d'électricité ainsi que la contribution de l'abonné à l'entretien du système de comptage. Cette taxe est fonction du type d'abonnement. Pour l'abonnement HTA de type E1 elle s'élève à 8 538 FCFA ;
- La Taxe de Soutien au Développement des Activités Audiovisuelles de l'État (TSDAAE), est un prélèvement de 2 FCFA·kWh⁻¹ que la SONABEL retient mensuellement sur chaque abonné au profit du trésor public pour les besoins de l'état en matière de développement des activités audiovisuelles ;
- La Taxe de Développement de l'Électricité (TDE) qui correspond à un prélèvement effectué sur chaque abonné de la SONABEL pour le financement de l'électrification rurale. Cette taxe est chiffrée à 2 FCFA·kWh⁻¹ ;
- La Taxe sur la Valeur Ajoutée (TVA) qui est prélevée à hauteur de 18 % des différents coûts (coût de la consommation en énergie active, prime fixe, pénalité due au dépassement de puissance souscrite, redevance, TSDAAE, TDE).

III.6 Facture complémentaire

En plus de la facture mensuelle de l'abonné, celui-ci peut recevoir une facture complémentaire pour dépassement de puissance souscrite. En effet, les clauses de la SONABEL stipulent que chaque abonné est autorisé à effectuer au maximum trois dépassements de la puissance souscrite par an à l'exception des mois de mars, avril et mai. Cependant, dès qu'un quatrième dépassement consécutif de puissance souscrite est constaté dans la même année, la SONABEL est dans le droit d'appliquer la puissance maximale atteinte comme la nouvelle puissance souscrite de l'abonné.

III.7 Facture mensuelle

Elle est la somme des coûts des équations citées ci-dessus plus les taxes,

$$\begin{aligned} Fac_{mens} = & Coût_{cons.active\ HPL} + Coût_{cons.\ active\ HPT} + Prime_{fixe} \\ & + Pénalités_{DPuissance} + Taxes \end{aligned} \quad (7)$$

IV. Système de chauffage d'eau

Il constitue un élément de confort dans le bâtiment en général. L'eau chaude sanitaire peut être obtenue par le fioul, le gaz, l'électricité, les rejets thermiques ou l'énergie solaire. L'utilisation de chacune de ces sources thermiques a des avantages comme des inconvénients sur le plan économique et environnemental.

Notre objectif a été d'étudier le système de chauffe-eau de l'hôtel Ramada pour évaluer sa part dans la consommation énergétique de l'hôtel et son impact sur l'environnement. Il faut noter qu'il dispose de chauffe-eaux solaires et électriques qui ont fait l'objet de notre étude.

Pour cette étude, une évaluation du besoin en eau chaude de l'hôtel a d'abord été faite, ensuite, un dimensionnement des capteurs thermiques a été effectué et enfin, des solutions ont été proposées pour une meilleure rentabilité.

Pour le dimensionnement des chauffe-eaux solaires, nous avons suivi les étapes ci-dessous :

- Estimation du volume d'eau chaude V_e (le besoin) nécessaire par jour à l'aide de la formule suivante :

$$V_e = (Be_{pers} \times N_{pers}) \quad (8)$$

Avec :

V_e : volume d'eau chaude journalier ($l \cdot jr^{-1}$)

Be_{pers} : besoin en eau chaude par client (l)

N_{pers} : nombre de clients en moyenne

- Calcul du besoin net journalier en chaleur à l'aide la formule ci-dessous :

$$B_{net} = \varphi_e \times Cp_e \times V_{st} \times (T_{af} - T_{ei}) \quad (9)$$

Avec :

φ_e : masse volumique de l'eau ($kg \cdot l^{-1}$)

Cp_e : chaleur spécifique de l'eau ($4,18kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)

B_{net} : besoin net en chaleur journalier ($kWh \cdot jr^{-1}$)

V_{st} : volume de stockage ($l \cdot jr^{-1}$)

T_{af} : température de l'eau dans le ballon ($60^\circ C$)

T_{ei} : température initiale de l'eau ($25^\circ C$)

- Calcul du volume de stockage

Il faut noter que la température du volume d'eau stockée est différente de celle à l'utilisation. A l'utilisation, la température de l'eau est généralement comprise entre $40^\circ C$ et $45^\circ C$ tandis que celle de stockage peut atteindre $60^\circ C$ ou plus pour éliminer les risques de contamination par la bactérie Legionella qui prolifère dans un milieu tiède et est responsable de la maladie du légionnaire.

Le volume de stockage se calcule par l'équation ci-dessous :

$$V_{60} = V_e \times \frac{T_{ef} - T_{ei}}{T_{st} - T_{ei}} \quad (10)$$

Avec :

V_{60} : volume de stockage d'eau nécessaire à 60°C (l)

T_{ei} : température eau froide (°C)

T_{ef} : température d'utilisation finale de l'eau (°C)

T_{st} : température de stockage de l'eau chaude (°C)

V_e : volume d'eau chaude journalier (l)

- Calcul de la surface du capteur :

$$S_{cs} = FS \frac{n \times B_{net}}{\eta_{inst} \times \eta_{cs} \times I_{GMJ}} \quad (9)$$

Avec :

S_{cs} : surface des capteurs thermiques

FS : fraction solaire (%)

n : nombre de jour (jr)

B_{net} : volume d'eau chaude journalier (l·jr⁻¹)

η_{inst} : rendement de l'installation (80 %)

η_{cs} : rendement du capteur solaire (60 %)

I_{GMJ} : ensoleillement moyen journalier des 3 mois les plus froids de l'année à savoir novembre, décembre et janvier (kWh·m⁻²·jr⁻¹)

- Calcul du nombre de capteurs

Pour une surface de capteur de 2 m²

$$N_{cs} = \frac{S_{CS}}{2} \quad (10)$$

Avec :

N_{cs} : nombre de capteurs solaires

S_{CS} : surface des capteurs thermiques (m²)

Cette méthode de dimensionnement nous a permis d'avoir le nombre de chauffe-eaux solaires nécessaires pour satisfaire la demande en eau chaude de l'hôtel.

V. Système de climatisation

Le système de climatisation est l'un des principaux postes de consommation d'énergie. Cela peut s'expliquer par la recherche du confort thermique qui occasionne l'utilisation régulière des climatiseurs.

Pour une analyse énergétique approfondie du système de climatisation de l'hôtel, nous avons procédé à un calcul des charges de climatisation local par local afin de vérifier si la puissance frigorifique des climatiseurs installés correspond à celle nécessaire pour chaque local. Lorsque cette puissance frigorifique est trop élevée, elle peut être source de surconsommation énergétique ; trop faible également, elle ne parviendra pas à assurer le confort des usagers de l'hôtel.

Pour évaluer la puissance frigorifique qui doit être installée, nous avons utilisé la méthode détaillée pour évaluer les apports calorifiques de l'hôtel. Ces apports calorifiques sont principalement dus à trois sources de chaleur à savoir l'air atmosphérique, le soleil et les sources de chaleur interne.

▪ Les apports calorifiques dus à l'air atmosphérique extérieur

Ils représentent la chaleur transmise de l'extérieur vers l'intérieur du local. Ces apports calorifiques proviennent de l'air atmosphérique à travers :

-les murs ;

- les ouvertures vitrées ou non ;
- le plancher ;
- la toiture ;
- le plafond ;
- les infiltrations d'air ;
- le renouvellement d'air provoqué.

Les gains de chaleur par les murs, les ouvertures vitrées ou non, le plancher et le plafond sont obtenus par la relation :

$$Q = H \times S \times \Delta T \quad (11)$$

Avec :

Q : la chaleur échangée (W)

H : le coefficient global d'échange thermique ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{°C}^{-1}$)

S : la surface totale (m^2)

ΔT : l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur (°C)

Les gains de chaleur par infiltration d'air sont obtenus par les relations :

$$Q_t = 1,18 \times q_v \times \Delta h \quad (12)$$

Avec :

Q_t : la chaleur totale échangée par infiltration de l'air extérieur ($\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}$)

q_v : le débit volumique de l'air d'infiltration ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)

Δh : la différence d'enthalpie massique de l'air atmosphérique extérieur et intérieur ($\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{As}^{-1}$)

$$Q_s = 0,29 \times q_v \times \Delta T \quad (13)$$

Avec :

Q_s : la chaleur sensible échangée par infiltration de l'air extérieur ($\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}$)

q_v : le débit volumique de l'air d'infiltration ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)

ΔT : la différence de température extérieur et intérieur du local à climatiser (°C)

$$Q_l = 0,771 \times q_v \times \Delta x \quad (14)$$

Avec :

Q_l : la chaleur latente échangée par infiltration de l'air extérieur ($\text{kcal}\cdot\text{h}^{-1}$)

q_v : le débit volumique de l'air d'infiltration ($\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)

Δx : la variation de l'humidité absolue entre l'extérieur et l'intérieur du local ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{As}^{-1}$)

▪ Les apports calorifiques provenant du soleil

Les gains de chaleurs dus au rayonnement solaire sont à travers :

-les murs ;

-les parois opaques ;

-les toitures ;

-les vitres.

Les apports calorifiques provenant du rayonnement solaire à travers les murs, les parois opaques et les toitures sont obtenus par la relation :

$$Q = H \times S \times \Delta T_f \quad (15)$$

Où :

$$\Delta T_f = \frac{\alpha G}{h_e} \times F \quad (16)$$

Avec :

Q : la chaleur échangée (W)

H : le coefficient global d'échange thermique ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{°C}^{-1}$)

ΔT_f : écart de température fictif (°C)

α : facteur d'absorption (0,6)

G : rayonnement global tombant sur les parois ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

F : facteur inertiel (0,9)

h_e : coefficient de convection ($15\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{°C}^{-1}$)

Les apports calorifiques provenant du rayonnement solaire à travers les parois vitrées sont obtenus par la relation :

$$Q = g \times F \times S \times G \quad (17)$$

Avec :

Q : le gain de chaleur par l'air du local (W)

g : facteur de transmission moyen de la vitre (1/3)

F : facteur correctif dû à la présence de rideaux intérieurs(2/3)

S : surface de la vitre (m²)

G : rayonnement global tombant sur la vitre (W·m⁻²)

▪ **Les apports calorifiques dus aux sources de chaleur internes**

-des individus ;

-de l'éclairage ;

-des équipements électriques ;

-de toute autre source de chaleur.

$$Q=P \times n \quad (18)$$

Avec :

P : puissance de l'équipement électrique (W)

n : nombre d'équipements électriques

Par la méthode détaillée, nous avons évalué les charges thermiques des locaux puis déterminé les puissances frigorifiques qu'il faut pour les rafraîchir. Ces puissances frigorifiques sont comparées à celles des climatiseurs déjà installés dans le but de vérifier si nous sommes dans un cas de surdimensionnement ou sous dimensionnement. Les données relatives aux différentes formules énoncées ci-dessus se trouvent dans le Tableau 3 :

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Tableau 3 : Données spécifiques

Coefficient de convection he ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$)	15			
Facteur d'absorption a	0,8			
Facteur inertiel F	0,9			
Facteur de transmission moyen de la vitre g	1/3			
Facteur correctif dû à la présence des rideaux et protections intérieurs F	2/3			
Date de calcul des gains réels instantanés	Mois d'avril à 13h			
Température extérieure (T_{ext}) en $^\circ C$	40			
Température intérieure (T_{int}) en $^\circ C$	24			
Humidité relative (%)	50			
Gains dus aux occupants à $24^\circ C$ ($Kcal \cdot h^{-1}$)	Sensibles		Latents	
	61		52	
Rayonnement global tombant sur la vitre au mois d'avril à 13h ($W \cdot m^{-2}$)	Est	Ouest	Nord	Sud
	213	392	213	263

La composition des parois de l'hôtel de l'extérieur vers l'intérieur et les différents coefficients d'échange global sont donnés dans le tableau 4 :

:

Tableau 4 : Composition des parois de l'hôtel

Parois	Composition	Epaisseur (cm)	Coefficient global d'échange thermique ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
Murs	Brique creuse	15	1,9
	Avec enduit intérieur plâtre		
Plancher	Béton de gravillons	15	3,6
	Avec enduit intérieur plâtre		
Plancher intermédiaire	Béton de gravillons	15	
	Avec enduit intérieur plâtre		
Plafond	Moulures de plâtre	1,3	0,57

Par ailleurs, nous avons évalué la part des systèmes de climatisation dans la consommation énergétique de l'hôtel et proposé des solutions d'amélioration.

VI. Maîtrise des dépenses d'énergie

Nos attitudes et comportement façonnent en grande partie notre consommation énergétiques. Une partie de notre travail a été consacrée au recensement de ces mesures d'économie d'énergie.

Pour mener à bien cet audit énergétique, il a été important de prendre en compte les habitudes du personnel vis à vis de la gestion de l'énergie pour vérifier s'il n'est pas la cause principale de la hausse des factures d'électricité. Par ailleurs, nous avons effectué un bilan des mesures possibles de réduction des dépenses d'énergie de chaque poste de forte consommation d'énergie.

VII. Rapport d'audit énergétique

A la fin de notre étude, un rapport est élaboré et remis à la structure auditée. Il rend compte des travaux menés, des défaillances constatées et des propositions d'améliorations que l'hôtel Ramada pourra mettre en application.

CHAPITRE 3 : Résultats de l'audit énergétique

I. Description de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Situé en centre-ville, à proximité de l'aéroport de Ouagadougou, Ramada Pearl Hôtel est un établissement commercial à 8 niveaux offrant un service d'hébergement, généralement pour de courtes périodes. Il comprend 56 chambres, plusieurs salles de réunion, un bar, un restaurant ainsi qu'une piscine. Ses chambres sont réparties en différentes catégories :

- les chambres classiques ;
- les chambres twin ;
- les suites junior.

Chaque chambre est équipée de :

- lits ;
- salle de bain ;
- sèche-cheveux ;
- mini bureau ;
- mini bar ;
- télévision ;
- coffre-fort.

Par ailleurs, l'hôtel est équipé de

- salles de conférence ;
- restaurant ;
- bar ;
- bureaux du personnel ;
- piscine.

La réception est assurée 7 jours sur 7 et 24 H sur 24.

I.1 Catégorie et profil d'occupation de Ramada Pearl Hôtel

L'hôtel est un hébergement haut de gamme (4 étoiles). La clientèle est principalement constituée de personnel d'entreprises, de séminaire ainsi que de touristes. L'affluence maximale a lieu généralement en milieu de semaine et diminue sensiblement vers la fin du mois de décembre. En 2019, son taux d'occupation mensuel moyen était de 78 %.

I.2 Architecture et Orientation



Figure 2 : Présentation de Ramada Pearl Hôtel

Ramada Pearl Hôtel est un immeuble d'une superficie de 5 070 m². Ses grandes façades sont orientées Est-Ouest et recouvertes de fenêtres vitrées. La façade Ouest, d'une surface vitrée plus réduite que celle de la façade Est est directement exposée au soleil. Cependant, l'entrée de l'hôtel qui correspond à sa façade Est n'est pas directement exposée au soleil car elle fait face à la façade Ouest de l'hôtel Pacifique : ce qui constitue souvent un masque pour l'hôtel Ramada.

I.3 Alimentation électrique

L'immeuble est alimenté en moyenne tension MT catégorie E1 par la SONABEL et dispose de deux groupes électrogènes de secours de 250 kVA et 420 kVA. L'abonnement inclut un transformateur de 630 kVA. Les détails de l'abonnement sont consignés dans le Tableau 5 :

Tableau 5 : Références d'abonnement SONABEL de l'hôtel Ramada

Nom de l'abonné	Hôtel Ramada
Type d'abonnement	21403
N°Police	122871 F
Puissance du transformateur	630 kVA
Puissance souscrite	100 kW
Puissance des condensateurs installés	50 kVAr

Le comptage est fait en double tarif c'est-à-dire pour les heures pleines et les heures de pointe. Le coût du kWh est plus élevé aux heures de pointe qu'en heures pleines.

I.4. Appareillage électrique

I.4.1. Chambres

Les chambres de l'hôtel sont toutes identiques par niveau du point de vue des dimensions, du confort et des appareils présents. Chaque niveau est doté de 3 chauffe-eaux électriques : le 1^{er} et le 2^e alimentent chacun 2 chambres et le 3^e, les 3 autres. Les appareils électriques qui équipent les chambres sont tous de même marque et modèle par niveau. Il s'agit entre autres de télévision, climatiseur, mini-bar et sèche-cheveux. L'éclairage est assuré par des lustres, spots et lampes sanitaires.

I.4.2. Salles de réunion

Ramada Pearl Hôtel comprend 8 salles de dimensions différentes pour les conférences, dîners ou activités de séminaire. L'éclairage et la climatisation constituent l'essentiel des usages électriques de ces pièces.

I.4.3. Salle d'accueil et circulations

L'hôtel Ramada dispose d'une salle d'accueil pour les clients de l'hôtel qui adressent leur besoin au service de réception ou reçoivent leur visiteur. Certains bureaux du personnel se trouvent également dans la salle d'accueil à savoir le bureau du Directeur Général, des comptables et de la gestionnaire des ressources humaines. Cette salle d'accueil dessert les couloirs d'accès aux chambres, salles de réunions, restaurant, cuisine etc. L'éclairage, les deux ascenseurs, les climatiseurs, les mini-bars et les postes de bureaux constituent les appareillages électriques principaux de la salle d'accueil. Le couloir principal d'accès à la salle d'accueil, les escaliers débouchant sur chaque niveau et les différents paliers sont éclairés par des détecteurs de présence.

I.4.4. Cuisine, bar et restaurant

La cuisine n'est pas conçue pour un fonctionnement tout électrique. Seuls, les congélateurs, le mixeur, le micro-onde, le chauffe-eau électrique et les brasseurs sont alimentés à l'électricité.

Le restaurant est constitué de deux compartiments qui disposent d'appareils électriques tels que les climatiseurs, les spots et les lustres. Le bar quant à lui est équipé de réfrigérateur, climatiseurs, spots et lustres.

I.4.5. Bureaux

L'hôtel dispose de plusieurs bureaux et locaux techniques utilisés par le personnel. Ces locaux comprennent principalement des appareils d'éclairage et de climatisation.

I.4.6. Toilettes

L'hôtel comporte plusieurs toilettes qui sont en majorité équipées d'un chauffe-eau électrique et de détecteurs de présence pour l'éclairage.

I.4.7. Buanderie

Le nettoyage du linge de l'hôtel, du personnel et des clients au besoin est assuré par un service de buanderie à l'intérieur de l'hôtel. Il est constitué de lave-linges, sèche-linges, calandre pour nettoyer les draps, serviettes, taies, rideaux, tenues des clients et du personnel.

I.4.8. Autres appareils

Pour assurer la disponibilité permanente d'eau et limiter ses factures d'eau, l'hôtel Ramada a pensé à concevoir un forage en son sein. Cette eau de forage est destinée à alimenter les chambres, les toilettes et la vaisselle. Quant à la cuisine et au service de buanderie, l'eau destinée à la cuisson des aliments et au nettoyage du linge est fournie par l'ONEA.

L'eau de forage pompée est directement stockée dans un réservoir au sous-sol puis refoulée au besoin à chaque niveau grâce à un surpresseur équipé d'un réservoir à vessie. Ce système mis en place occasionne l'utilisation de pompes électriques pour assurer la montée de l'eau à chaque niveau à une pression suffisante.

II. Etat des lieux

Plusieurs visites ont été effectuées à l'hôtel Ramada pour recueillir des informations pour une description détaillée de l'ensemble de l'immeuble. Ce recueil de données est passé d'une part par un recensement des équipements électriques de l'hôtel et d'autre part, par une fiche d'enquête à destination du personnel de l'immeuble. Cette fiche d'enquête est fonction de notre analyse personnelle sur les postes susceptibles d'être de gros consommateurs d'énergie.

Les équipements électriques installés à l'hôtel Ramada se résument aux lampes, climatiseurs, ascenseurs, pompes, chauffe-eaux électriques, surpresseur, réfrigérateurs, postes de télévision et bien d'autres.

Les Annexe 2, Annexe 3, Annexe 4, Annexe 5 et Annexe 6 donnent une description détaillée des équipements électriques recensés à l'hôtel Ramada.

III. Pré-diagnostic énergétique

III.1. Analyse des factures d'électricité l'hôtel Ramada

Ramada Hôtel dispose d'un poste privé de transformation de 630 kVA et bénéficie d'un abonnement MT catégorie E1 pour une puissance souscrite de 100 kW. L'installation comporte en amont une batterie de compensation de 50 kVAr. Les factures d'électricité de Ramada hôtel ont été étudiées sur 3 années consécutives soit 2019 à 2021.

La Figure 3 présente l'évolution de la facturation.

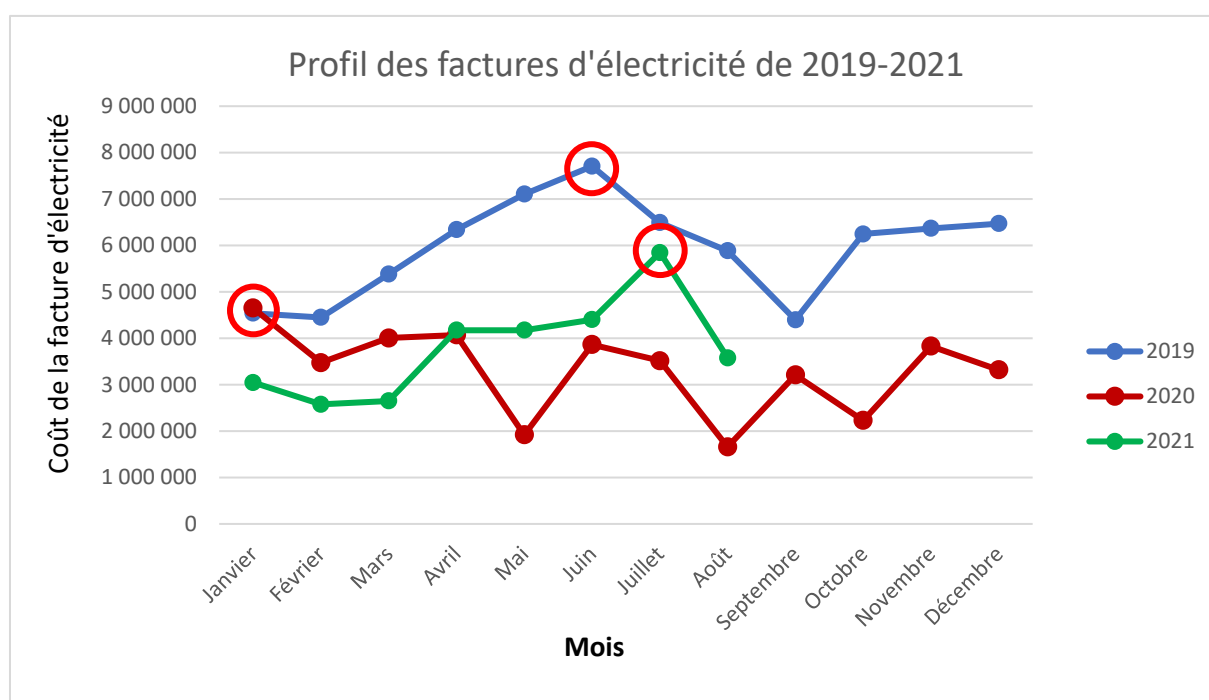


Figure 3 : Profil des factures d'électricité de l'hôtel Ramada de 2019-2021

Les 3 courbes représentant l'évolution des factures d'électricité de l'hôtel Ramada au cours de ces 3 dernières années nous montrent à première vue des variations irrégulières et différentes.

Les courbes des factures d'électricité des années 2019 et 2021 ont une allure à peu près similaire. De janvier à juin, on observe une croissance progressive des 2 courbes où la facture d'électricité la plus élevée en 2019 a été enregistrée en juin (7 705 768 FCFA) et celle de l'année 2021 en juillet (5 847 112 FCFA) pour ensuite décroître progressivement jusqu'à atteindre la facture d'électricité la moins élevée en septembre pour l'année 2019 (4 397 061 FCFA).

Une telle évolution de ces 2 courbes indique que les fortes consommations d'électricité sont observées durant la période chaude c'est-à-dire de février à avril et ensuite baissent progressivement durant la période froide jusqu'en septembre pour recroître en octobre.

Quant à la courbe des factures d'électricité de l'année 2020, on note une évolution particulière, différente des 2 autres courbes. Cela peut s'expliquer par la pandémie à covid-19 qui, entre la période de mars 2020 - avril 2021 a touché une bonne partie de la population burkinabè. Cette crise sanitaire a fortement impacté l'ensemble des échanges commerciaux et a ralenti l'économie du pays. La fermeture des frontières, l'instauration de mesures partielles ou totales de confinement a affecté les activités commerciales des entreprises et les conditions de vie des travailleurs. Le secteur de l'hôtellerie par exemple a beaucoup été touché par les mesures mises en place par le gouvernement pour faire face à la pandémie. Avec la fermeture des frontières et le confinement, le nombre de clients de l'hôtel Ramada a considérablement baissé et a affecté ses recettes. Avec un nombre de clients réduits, nous assistons à une baisse significative de la consommation énergétique et une variation irrégulière.

En 2021, la baisse de la consommation énergétique de l'hôtel par rapport à 2019 se justifie par l'impact de la COVID-19 en 2020 au Burkina Faso dans le secteur de l'hôtellerie. Le déconfinement, la réouverture des frontières permettent à l'hôtel Ramada de retrouver progressivement sa clientèle d'autrefois et par conséquent, de voir sa consommation énergétique croître progressivement.

Toutefois, les factures d'électricité de l'année 2020 ayant considérablement baissé par rapport à celles de l'année 2019, restent tout de même élevées.

La réduction des clients ne devrait t - elle pas contribuer à une baisse plus significative des factures d'électricité ?

Pour mieux analyser les factures d'électricité de l'hôtel Ramada, nous avons observé de plus près le nombre de clients enregistrés durant ces trois dernières années.

III.2. Analyse des factures d'électricité et des clients de l'hôtel Ramada

Pour une meilleure analyse des factures d'électricité de l'hôtel Ramada, nous allons observer de plus près le nombre de clients enregistrés durant les années 2019, 2020 et 2021. Ce nombre de clients enregistrés par mois représentent le nombre de clients ayant été hébergés à l'hôtel Ramada. Il faut noter également que ces clients en général sont à l'hôtel pour des activités de séminaires et ne sont présents dans leur chambre qu'entre 18 h et 7 h.

La Figure 4 nous montre le profil des factures d'électricité suivi des clients enregistrés en 2019.

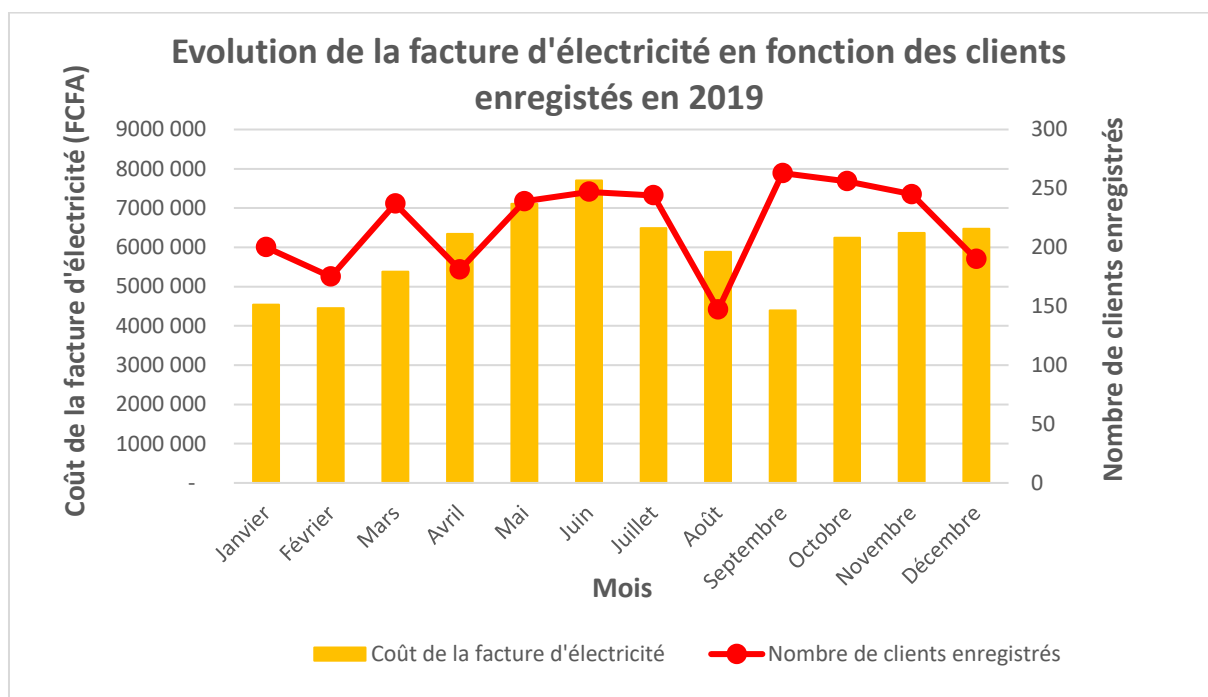


Figure 4 : Graphique des factures d'électricité de l'hôtel Ramada suivi des clients enregistrés en 2019

Le graphique ci-dessus précise le nombre de clients enregistrés suivi de la facture d'électricité par mois au cours de l'année 2019.

Nous observons que la facture d'électricité ne croît pas en fonction du nombre de clients enregistrés. Pendant qu'au mois de juin nous obtenons la facture la plus élevée (7 705 768 FCFA) avec 247 clients enregistrés, en septembre, nous avons la plus basse facture (4 397 061 FCFA) avec le plus grand nombre de clients enregistrés durant cette année soit 263 clients. Par ailleurs, pour le mois d'août où il y a eu le moins de clients (147), nous avons une facture d'électricité supérieure (5 884 897 FCFA) à celle du mois de Septembre qui enregistre le plus grand nombre de clients.

Analysons le profil représentant l'année 2020.

La Figure 5 nous montre le profil des factures d'électricité suivi des clients enregistrés en 2020.

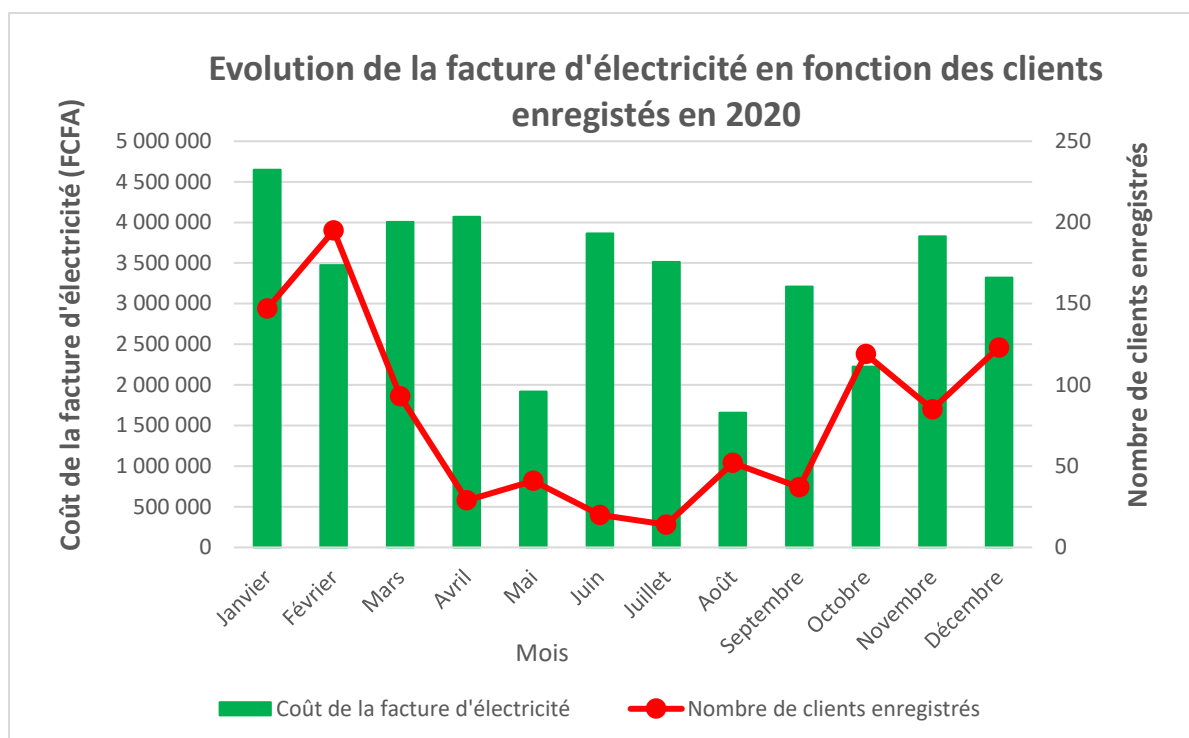


Figure 5 : Profil des factures d'électricité suivi des clients enregistrés en 2020.

Pour ce graphique également, nous constatons qu'il existe une relation entre la facture d'électricité et le nombre de clients enregistrés mais celle-ci ne suit pas une dynamique qu'on espérait. La facture d'électricité la plus élevée de l'année 2020 a été obtenue en janvier avec 4 648 018 FCFA pour 147 clients enregistrés et la plus basse en août avec 1 658 594 FCFA pour 52 clients enregistrés durant ce mois. Cependant, en février, où nous avons le plus grand nombre de clients enregistrés soit 195, nous nous retrouvons avec une facture d'électricité de 3 474 240 FCFA, inférieure à celle du mois de janvier qui est la plus élevée. De plus, en juillet, pour le peu de clients enregistrés (14), nous avons une facture d'électricité de 3 514 093 FCFA, 3 fois supérieure à celle du mois d'août qui est la plus faible.

Analysons dès à présent le dernier profil pour confirmer ou infirmer nos interprétations. La Figure 6 nous montre le profil des factures d'électricité suivi des clients enregistrés en 2021.

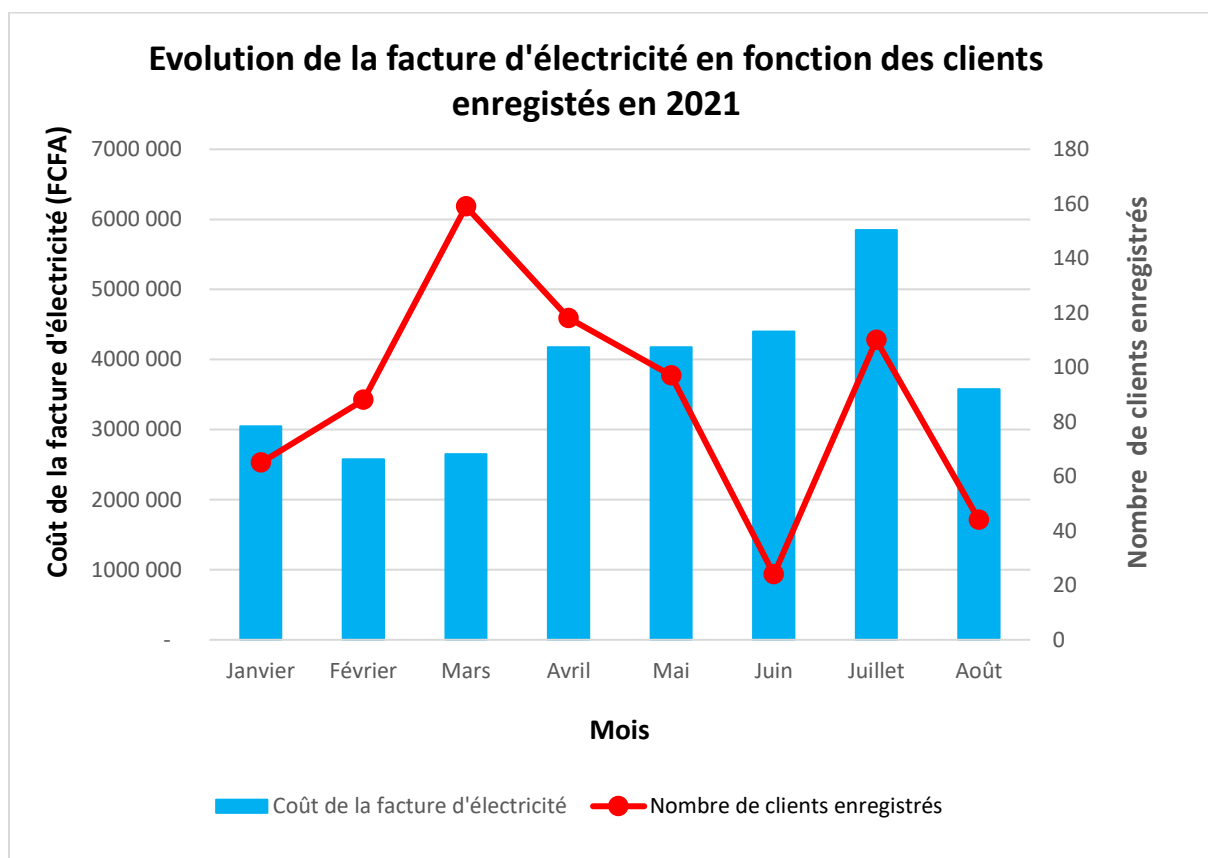


Figure 6 : Profil des factures d'électricité suivi des clients enregistrés en 2021

Pour le profil représentant l'année 2021, le constat semble identique aux précédents même si nous n'avons pas obtenu toutes les factures mensuelles. La facture d'électricité ne croît pas en fonction du nombre de clients enregistrés. La facture d'électricité la plus élevée de l'année 2021 a été obtenue en juillet soit 5 847 112 FCFA pour 110 clients enregistrés et la plus basse en février avec 2 576 725 FCFA pour 88 clients enregistrés durant ce mois. Cependant, en mars, pour une facture d'électricité de 2 649 905 FCFA, nous avons le plus grand nombre de clients enregistrés soit 159. De plus, en juin, nous avons le moins de clients enregistrés soit 24 pour une facture d'électricité de 4 400 015 FCFA, supérieure à celle du mois de mars qui a le grand nombre de clients.

Conclusion partielle : Les différents profils analysés nous indiquent que la facture d'électricité mensuelle de l'hôtel Ramada est fonction du nombre de clients enregistrés par mois mais ne suit pas la dynamique souhaitée. Avec une baisse du nombre clients de l'hôtel, on espérait que les factures d'électricité soient bien plus faibles que celles obtenues à ces périodes. Ce qui

signifie que la hausse des factures d'électricité est probablement liée au fait que l'hôtel accueille des conférences et séminaires.

En somme, on retient que les factures d'électricité élevées ne dépendent pas uniquement des clients hébergés dans l'hôtel mais de bien d'autres facteurs à découvrir. Sachant que les clients hébergés à l'hôtel ne sont là que pour un moment, leur consommation énergétique ne peut accroître autant les factures d'électricité.

Nous allons donc poursuivre notre étude en faisant une vérification des différents coûts constituant la facture d'électricité.

III.3. Vérification des factures d'électricité de l'hôtel Ramada

Dans cette partie de notre étude, nous nous sommes assurés que les factures d'électricité délivrées par la SONABEL correspondent réellement à la consommation énergétique de l'hôtel. Il a fallu vérifier à l'aide de formules, les différents coûts attribués sur la facture d'électricité.

Le bilan de vérification de la facturation est donné dans le Tableau 6 :

Tableau 6 : Vérification des factures d'électricité de l'hôtel Ramada

Année	Facture calculée (FCFA)	Facture SONABEL (FCFA)	Différence (FCFA)
2019	71 370 437	71 370 435	-2
2020	39 741 171	39 741 174	4

Dans l'ensemble, il ressort de notre vérification que les factures d'électricité de l'hôtel Ramada concordent à nos différents calculs. Nous notons quelques différences négatives ou positives qui sont négligeables.

Les Figure 7 et Figure 8 présentent la répartition des factures des différentes années.

Répartition des factures d'électricité de 2019

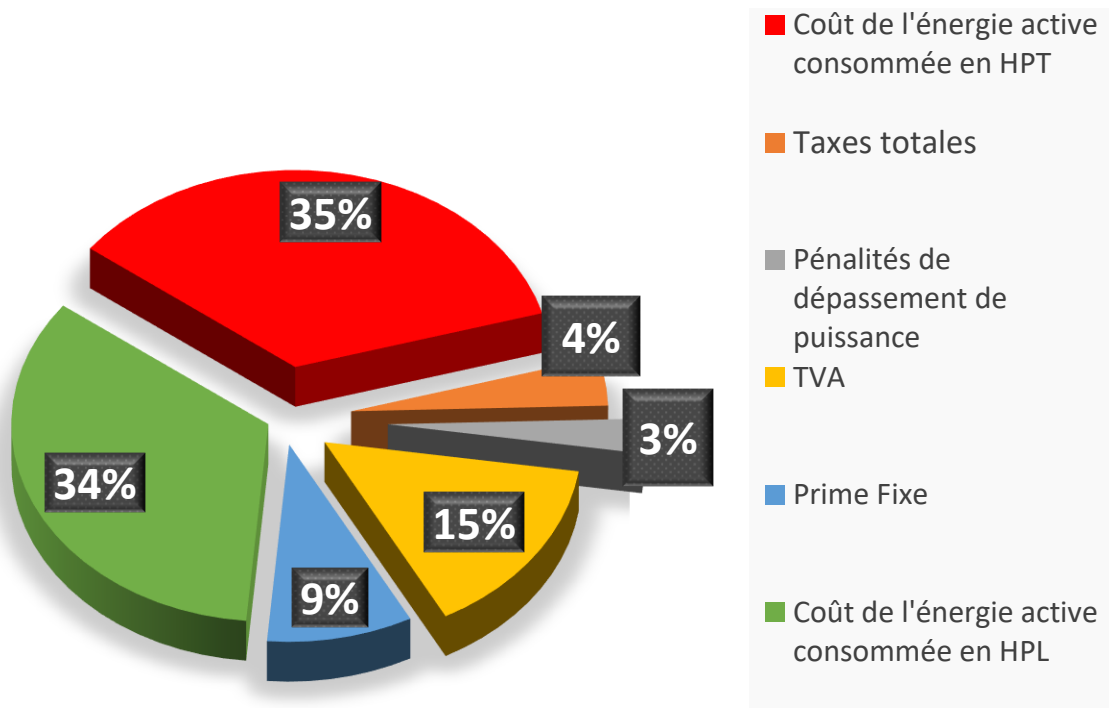


Figure 7 : Répartition des factures d'électricité de 2019

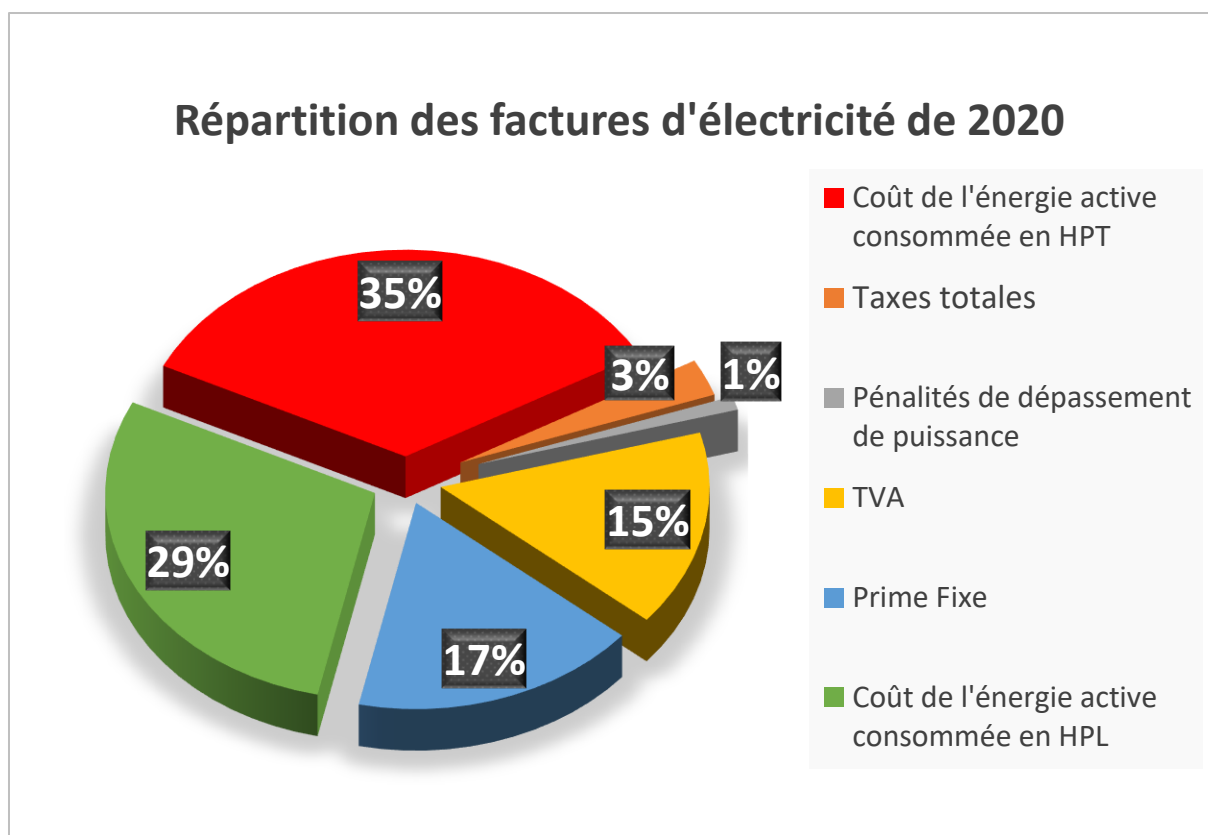


Figure 8 : Répartition des factures d'électricité de 2020

Les deux graphes en secteur ci-dessous nous donne une répartition des factures d'électricité des années 2019 et 2020.

Pour l'année 2019 et 2020, on remarque que le coût de la consommation en énergie active en HPL et HPT représente plus de la moitié de la facture totale d'électricité soit respectivement 69% et 64%. Cela s'explique par la part élevée de la consommation en énergie active en HPT sur les deux années soit 34% en 2019 et 35% en 2020. Or, le prix du kWh en HPT (139 FCFA) est 2 fois supérieur à celui en HPL (64 FCFA) : ce qui occasionne un coût élevé de la facture d'électricité. A cela s'ajoute également, la pénalité du dépassement de puissance souscrite et la TVA qui représente 18% des différents coûts.

Par conséquent, pour baisser le coût des factures d'électricité, des mesures doivent être prises pour réduire la consommation en énergie active en heure de pointe.

III.4. Analyse des pénalités sur les factures d'électricité

Pour mieux analyser les différentes pénalités sur la facture d'électricité, nous avons regroupé dans le Tableau 7, les données qui sont nécessaires :

Tableau 7 : Données sur la consommation énergétique de l'hôtel Ramada

Années	2019	2020
Consommation énergie active HPL (kWh)	406 998	196 447
Consommation énergie active HPT (kWh)	193 605	107 451
Cos phi	1	1
Puissance souscrite (kW)	100	
Nombre de dépassement de puissance souscrite	12	7
Puissance maximale enregistrée (kW)	178	129

Du Tableau 7, nous constatons que l'hôtel Ramada a un bon cos phi mais sa puissance appelée est régulièrement supérieure à celle souscrite.

III.4.1. Facteur de puissance

L'hôtel Ramada bénéficie d'une bonification sur ses factures d'électricité grâce aux batteries de condensateurs d'une puissance de 50 kVAr qui compensent la puissance réactive consommée par l'hôtel et améliore son facteur de puissance voir Annexe 7. Sachant que l'énergie réactive produite par les batteries de compensation est supérieure à celle que consomme l'hôtel, nous obtenons toujours un facteur de puissance égale à 1 qui permet à l'hôtel Ramada de bénéficier d'une réduction de 8% sur ses factures d'électricité. Le Tableau 8 nous montre ses différentes bonifications au cours des années 2019, 2020 et 2021.

Tableau 8 : Bonifications sur les factures d'électricité de l'hôtel Ramada

Mois	Année 2019	Année 2020	Année 2021
Bonification (FCFA)			
Janvier	315 736	320 916	215 566
Février	309 091	245 605	182 609
Mars	186 623	280 811	187 632
Avril	431 854	277 987	291 820
Mai	473 571	132 552	288 398
Juin	518 828	268 016	300 283
Juillet	434 338	238 790	392 906
Août	198 897	118 168	252 829
Septembre	302 614	227 266	
Octobre	407 084	158 040	
Novembre	428 851	265 124	
Décembre	436 600	235 005	
Total	4 444 088	2 768 281	2 112 044

Le coût des bonifications obtenus au cours de ces 3 années nous montre l'importance de la présence de batteries de condensateurs placées en tête de l'installation électrique de l'hôtel. En 2019, l'hôtel a bénéficié d'une réduction de 4 444 088 FCFA sur sa facture d'électricité ; cela détermine la présence de récepteurs électriques qui consomment de l'énergie réactive, compensée par les batteries de condensateurs. Encore appelés charges non linéaires, ce sont des récepteurs électriques qui, lorsqu'ils sont connectés au système de distribution, absorbent un courant qui n'a pas la même forme d'onde que la tension d'alimentation. Ce qui crée des harmoniques en courant puis en tension qui déforment la tension d'alimentation. Ces charges non linéaires sont entre autres les ascenseurs, les ordinateurs, les machines de buanderie, etc.

III.4.2. Dépassement de puissance souscrite

L'hôtel Ramada a enregistré plusieurs dépassements de puissance souscrite. En 2019, on comptabilise 12 dépassements et 7 en 2020. La Figure 9 nous donne le profil de la puissance enregistrée :

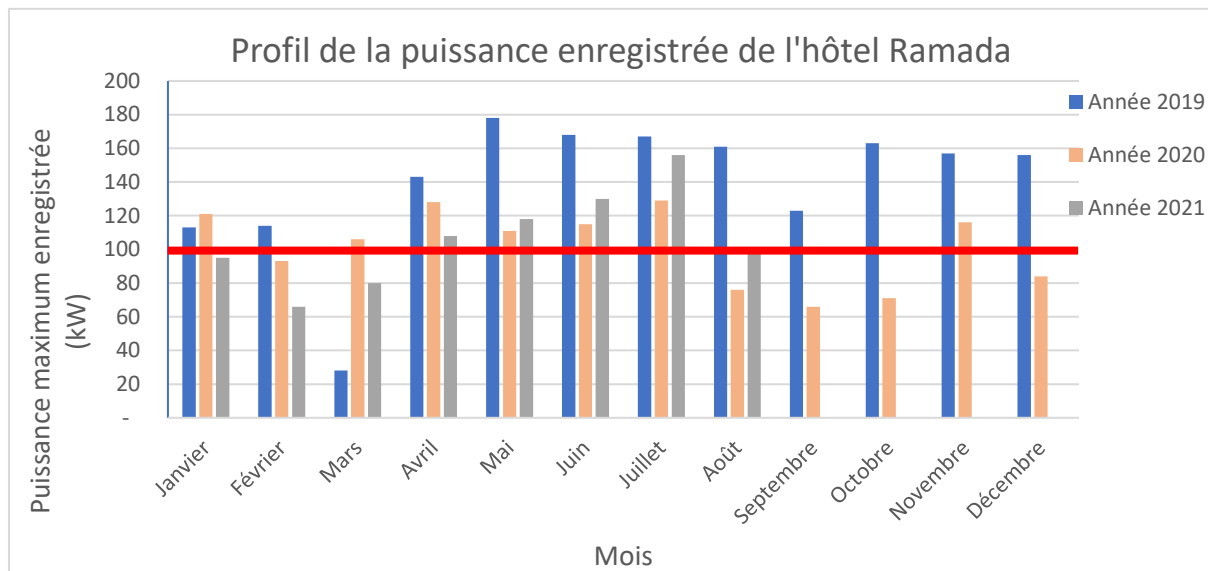


Figure 9 : Profil de la puissance enregistrée par l'hôtel

Du profil d'évolution de la puissance enregistrée au cours des années 2019-2020 et 2021, nous retenons que la puissance souscrite par l'hôtel n'est pas optimale. Il effectue presque chaque mois des dépassements de puissance et par conséquent écope des pénalités. En 2019, sa puissance maximale enregistrée s'élève à 178 kW au mois de mai, environ 2 fois la puissance souscrite. En juillet 2020 également, l'hôtel a atteint une puissance de 129 kW et en juillet 2021, 156 kW. Le Tableau 9 nous donne les coûts de pénalité dus aux dépassements de puissance souscrite.

Tableau 9: Coûts de pénalité de l'hôtel Ramada dus aux dépassements de puissance souscrite

Mois	Année 2019	Année 2020	Année 2021
	Pénalités de dépassement de puissance souscrite (FCFA)		
Janvier	54 210	87 570	0
Février	58 380	0	0
Mars	116 760	25 020	0
Avril	179 310	116 760	33 360
Mai	325 260	45 870	75 060
Juin	283 560	62 550	125 100
Juillet	279 390	120 930	233 520
Août	254 370	0	0
Septembre	95 910	0	0
Octobre	262 710	0	0
Novembre	237 690	66 720	0
Décembre	233 520	0	0
Total	2 381 070	525 420	467 040

Les coûts de pénalités dus aux dépassements de puissance souscrite sont élevés. En 2019, nous comptabilisons 2 381 070 FCFA contre 525 420 FCFA en 2020 et 467 040 FCFA en 2021.

L'hôtel Ramada a effectué 4 dépassements consécutifs de puissance souscrite en 2019 de juin à septembre. Des clauses de la SONABEL, celle-ci devrait augmenter dès le 4^{ème} dépassement consécutif constaté, la puissance souscrite de l'hôtel : ce qui n'a pas été fait. Nous constatons que sur les factures d'électricité de 2020 et 2021, la puissance souscrite par l'hôtel est toujours de 100 kW. Tous ces dépassements de puissance souscrite entraînent une hausse sur la facture d'électricité. Pour éviter de futures pénalités dues aux dépassements de puissance souscrite et réduire ses factures d'électricité, l'hôtel Ramada doit modifier son contrat d'abonnement avec la SONABEL en souscrivant à une puissance de 200 kW.

Une puissance de 200 kW, car elle couvre les besoins de l'hôtel et permet à l'hôtel Ramada d'éviter des pénalités dues aux dépassements de puissance souscrite et à la sous consommation. La Figure 10 nous donne le profil de la puissance enregistrée de l'hôtel en ayant une puissance souscrite de 200 kW.

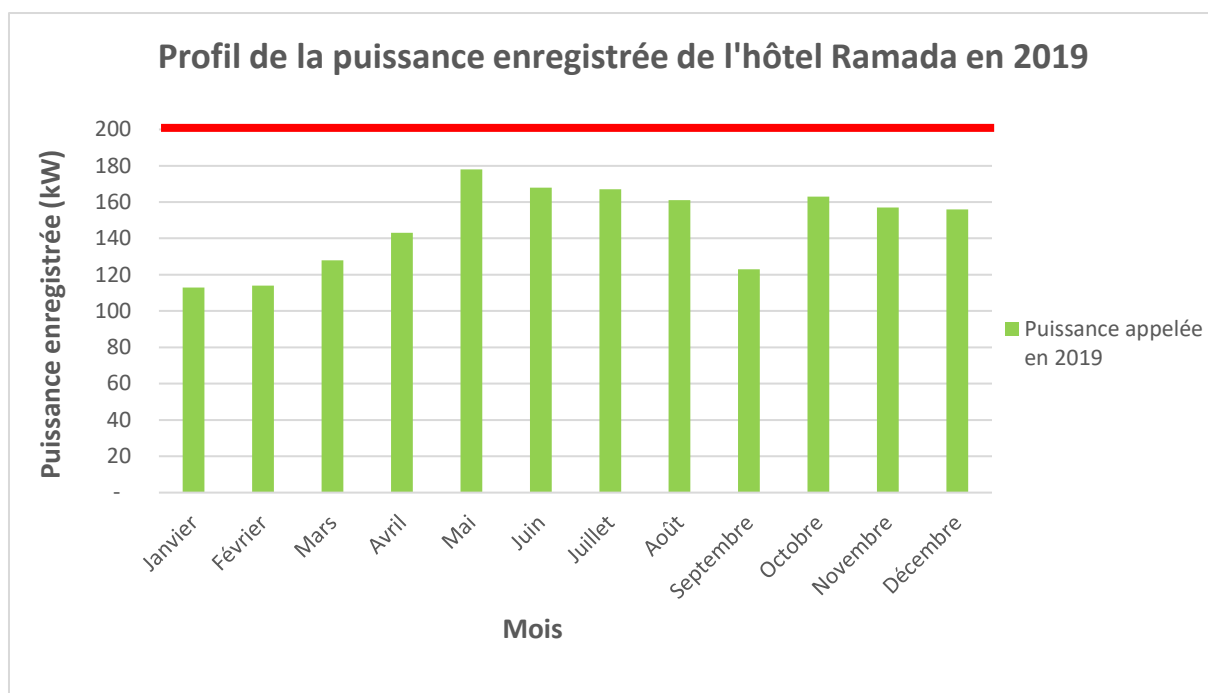


Figure 10 : Profil de la puissance enregistrée de l'hôtel Ramada en 2019 pour une puissance souscrite de 200 kW

La Figure 10 montre qu'en optant pour une puissance souscrite de 200 kW, l'hôtel Ramada n'aurait pas effectué des dépassements de puissance souscrite en 2019 et aurait fait des économies de 2 381 070 FCFA.

En somme, de la vérification des factures d'électricité de l'hôtel Ramada, il ressort qu'il n'y a pas d'erreur provenant de la SONABEL. Les factures payées à la SONABEL sont fonction de la consommation énergétique de l'hôtel et de ses différentes pénalités.

Des visites menées à l'hôtel pour la collecte des données, il ressort que le service de buanderie, le système de climatisation, de chauffe-eau électrique et le système de surpression semblent être les postes qui consomment le plus d'énergie. Nous allons donc poursuivre notre étude sur ces différents postes pour évaluer leur part dans la consommation énergétique de l'hôtel et identifier celui qui occasionne une forte consommation d'énergie. Il faut rappeler que pour ces évaluations, nous aurions pu considérer la moyenne des consommations énergétiques des 3 dernières années pour évaluer la part que représente chaque poste mais, ne disposant pas des factures d'électricité de l'année 2018 et n'ayant pas de factures d'électricité réelle des consommations énergétiques de l'hôtel en 2020, nous nous sommes référés aux données de l'année 2019 pour effectuer nos calculs.

IV. Le service de buanderie

Pour être situé sur le fonctionnement des machines de la buanderie, une fiche d'enquête a été réalisée. Elle a consisté à se renseigner sur le fonctionnement de la buanderie à propos du nombre de machines fonctionnelles, des heures de fonctionnement, des types de linges nettoyés et des difficultés rencontrées.

La fiche d'enquête se trouve à l'Annexe 8.

Le Tableau 10 résume les informations obtenues lors de cette enquête.

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Tableau 10 : Résultats de l'enquête

Désignation	Machine à laver			Sèche-linge		Calendre-Sécheuse	Fer à repasser
	Petite 1	Petite 2	Grande	Petit	Grand		
Puissance de lavage (W)	310	420	2 200	2 000	1 500	18 500	2 000
Puissance d'essorage (W)	130	190					
Capacité (kg)	7	7	25	7	30		
Types de linges en général	Taies, nappes, tenues du personnel, linges clients	Taies, nappes, tenues du personnel, linges clients	Serviettes draps	Taies, nappes, tenues du personnel, linges clients	Serviettes draps	Taies, Nappes, Draps	Linges clients, tenues du personnel
Estimation de la quantité des linges lavés par jour	35 taies 10 nappes 10 tenues personnel 5 Linges Clients	35 taies	35 Serviettes 35 draps	70 taies 10 nappes 10 tenues personnel 5 Linges Clients	35 Serviettes 35 draps	35 draps 70 taies 10 nappes	10 tenues du personnel 5 linges clients
Temps moyen de fonctionnement par jour (h)	1,83	0,75	8,66	1,58	4,5	2	1
Energie moyenne consommée par jour (kWh)	805,2	457,5	19 052	3 160	6 750	37 000	2 000
Plage d'heure de fonctionnement	7h-17h						
Nombre de buandiers	2						

Les informations obtenues du Tableau 10 nous font déjà remarquer que la grande machine à laver et le grand sèche-linge sont plus efficaces car ils permettent de lessiver et de sécher une grande quantité de vêtements pour une consommation d'énergie relativement faible à celle des petites machines de faible capacité. La mise en arrêt d'une de ces grandes machines pourrait donc impacter sur le rendement du travail et la quantité d'énergie consommée. De notre enquête, il ressort, qu'aucun planning horaire pour l'utilisation des machines de la buanderie n'a été mis en place ; les buandiers nettoient le linge sans tenir compte des heures pleines et des heures creuses pour limiter leur consommation énergétique. Leur travail peut être pénible lorsque la grande machine à laver ou le grand sèche-linge tombe en panne ; tel a été le cas durant la période d'avril à novembre 2021 où le grand sèche-linge ne fonctionnait plus. Ne disposant plus que d'un sèche-linge d'une capacité de 7 kg, les buandiers étaient obligés de laver les draps et serviettes à la machine à laver et de les sécher au soleil pour assurer la continuité du service. Ce qui ne leur rendait pas la tâche facile en plus du souci d'espace qui se posait pour sécher le linge. L'Annexe 9 présente le service de buanderie.

Les données obtenues au Tableau 10 nous ont permis d'évaluer la part d'énergie consommée en buanderie selon différentes périodes. Les résultats obtenus sont notés dans le Tableau 11:

Tableau 11 : Données du service de buanderie

Energie moyenne consommée (Wh·jr ⁻¹)	69 225
Energie moyenne consommée (kWh·mois ⁻¹)	2 077
Energie moyenne annuelle consommée en 2019 (kWh·an ⁻¹)	24 924
Energie totale consommée en 2019 (kWh·an ⁻¹)	600 603
Part dans la consommation énergétique totale de l'hôtel (%)	4,15%

Au vu des estimations de la consommation énergétique de la buanderie, nous pouvons dire qu'il ne constitue pas un poste de forte consommation. Cependant, cette consommation énergétique peut-être réduite si on encourage les buandiers à maximiser la lessive du linge sale pendant les HPL où le coût d'électricité est moins élevé (64 FCFA) contre 139 FCFA en HPT.

En conclusion, le service de buanderie à lui seul n'influe pas de façon significative sur les factures d'électricité.

Nous allons poursuivre notre étude en analysant le système de surpression d'eau de l'hôtel Ramada

V. Système de surpression d'eau

Le système de surpression d'eau de l'hôtel Ramada est assuré par un surpresseur à vessie qui a pour rôle de pomper l'eau du réservoir en sous-sol et de la faire monter à la surface grâce à une pression supérieure à la normale. Il permet de garder une pression suffisante lorsque plusieurs points d'eau sont sollicités au même moment (salles de bain, toilettes, etc.).

Un surpresseur d'eau est composé principalement d'une pompe surpresseur, d'un ballon vessie et des accessoires comme le pressostat, clapet anti-retour, vanne etc. Le ballon à vessie, encore appelé réservoir est l'élément qui stocke l'eau sous pression et permet de répondre aux premiers besoins en eau afin d'éviter que la pompe ne s'enclenche pour chaque petite demande. Le ballon à vessie réduit donc le nombre de démarrage de la pompe et par conséquent, augmente la durée de vie de celle-ci [2].

L'Annexe 10 nous présente le système de surpresseur de l'hôtel Ramada.

Il a une pompe surpresseur de 4,3 kW et un ballon à vessie d'une capacité de 300 l. Le pressostat ou contacteur manométrique permet de mettre en service la pompe surpresseur lorsque la pression d'enclenchement est atteinte soit 4,3 bar et de l'arrêter lorsque la pression de déclenchement est atteinte soit 6 bar.

Pour évaluer l'énergie dont a besoin la pompe pour fonctionner, nous avons enregistré à l'aide d'un chronomètre la durée de fonctionnement du surpresseur lorsqu'il est sollicité et le temps mis avant son redémarrage. Sachant que le surpresseur est plus sollicité les jours ouvrables à cause de l'affluence des clients (lundi au vendredi), en moyenne 5 fois par minute et moins les week-end (samedi et dimanche), nous avons opté de faire ces enregistrements sur 4 jours soit le lundi, mercredi, vendredi et dimanche entre 9 h et 12 h où le besoin en eau est plus ressenti au service de nettoyage des chambres et à la vaisselle.

Cela nous permettra d'estimer l'énergie que consomme le surpresseur pendant ces heures.

Le Tableau 12 nous montre les résultats obtenus.

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Tableau 12 : Résultats des analyses

Jour	Temps d'enregistrement (h)	Nombre de démarrages du surpresseur	Temps de fonctionnement par démarrage du surpresseur (s)	Temps de fonctionnement total du surpresseur (h)	Puissance du surpresseur (kW)	Energie consommée (kWh)	Energie totale consommée (kWh)
Lundi	8h-12h	1 440	5	2	4,3	8,6	140,5
Mercredi		1 680	6	2,8		120,4	
Vendredi		1 200	5	1,67		7,2	
Dimanche		720	5	1		4,3	

Les données obtenues dans le tableau 13 indiquent qu'entre 8h et 12h, où l'eau est sollicitée à plusieurs niveaux, le surpresseur consomme environ 140 kWh sur les 4 jours indiqués.

Pour évaluer la part d'énergie consommée par an selon la consommation énergétique de l'hôtel en 2019, nous avons estimé à 250 kWh la quantité d'énergie consommée par la pompe surpresseur pour satisfaire les besoins en eau.

Le Tableau 13 nous donne les résultats obtenus :

Tableau 13 : Récapitulatif du surpresseur d'eau

Consommation énergétique moyenne du surpresseur par semaine (kWh)	Consommation énergétique moyenne du surpresseur par an (kWh)	Consommation énergétique de l'hôtel en 2019 (kWh)	Part dans la consommation énergétique de l'hôtel en 2019 (%)
250	13 000	600 603	2,16

Le tableau ci-dessus nous indique que le système de surpression d'eau représente environ 2,16% de la consommation énergétique de l'hôtel en 2019 : ce qui est bien faible.

On peut donc conclure que la consommation énergétique du système de surpression d'eau n'est pas la cause principale des factures d'électricité élevées de l'hôtel Ramada.

Dans la suite, notre étude a porté sur le système de chauffe-eaux dans l'objectif de vérifier s'il ne constitue pas un poste de forte consommation d'énergie.

VI. Système de chauffe-eau

Pour assurer les besoins en eau chaude, l'hôtel Ramada dispose de chauffe-eaux électriques et de chauffe-eau solaires. Les chauffe-eaux solaires ont récemment été installés (août 2021) pour réduire la consommation énergétique des chauffe-eaux électriques et intégrer le solaire dans son mix énergétique. Ils sont au nombre de 8 et chacun alimente un niveau du R+1 au R+8.

Le Tableau 14 nous donne les informations relatives aux chauffe-eaux solaires par niveau. Avec une capacité de 150 litres, chaque chauffe-eau solaire, placé sur la toiture du bâtiment, a pour rôle d'alimenter les 7 chambres qui sont à chaque niveau. L'Annexe 11 présente ces chauffe-eaux solaires.

Tableau 14 : Informations relatives aux chauffe-eaux solaires

Nombre de chauffe-eau solaire par niveau	Modèle	Volume de stockage (litres)	Nombre de chambres à desservir	Volume de stockage total installé à l'hôtel (litres)	Température d'eau chaude maximale (°C)
1	Nelson Solar	150	7	1200	90

Avant l'installation des chauffe-eaux solaires, le besoin en eau chaude était satisfait par les chauffe-eaux électriques. Au nombre de 3 à chaque niveau (R+1 au R+8), ils ont pour fonction de chauffer l'eau provenant du réservoir en sous-sol pour ensuite la desservir dans les chambres. Le Tableau 15 indique la répartition des chambres par niveau à alimenter par les chauffe-eaux électriques ainsi que les informations nécessaires à leur fonctionnement. L'Annexe 12 présente ces chauffe-eaux électriques.

Tableau 15 : Informations relatives aux chauffe-eaux électriques

Nombre de chauffe-eau électrique par niveau	Modèle	Volume de stockage (litres)	Volume de stockage total installée à l'hôtel (litres)	Nombre de chambres à desservir	Puissance (W)	Température d'eau nominale (°C)
1	Fresh Sobelec	100	2 400	2	2 000	75
2				2		
3				3		

Interpellé sur la consommation énergétique des chauffe-eaux électriques et encouragé à utiliser les chauffe-eaux solaires, l'hôtel Ramada a décidé d'installer des chauffe-eaux solaires sur sa toiture pour réduire la consommation énergétique des chauffe-eaux électriques. Ils seront mis en marche lorsqu'il y aura peu de clients et mis en arrêt quand le besoin se fera ressentir. Le principe de fonctionnement qu'il a établi ne lui permettra pas de faire des grandes économies d'énergie car la mise en marche des chauffe-eaux solaires sera fonction du nombre de clients hébergés à l'hôtel. Pour cette étude, une évaluation du besoin en eau chaude de l'hôtel a d'abord été faite pour vérifier si le volume de stockage V_{75} des chauffe-eaux électriques est approprié, ensuite, un dimensionnement des capteurs thermiques a été effectué pour déterminer le nombre qu'il faut

pour satisfaire entièrement l'hôtel et enfin, des solutions ont été proposées pour une meilleure rentabilité.

- Estimation des besoins en eau chaude de l'hôtel voir Annexe 13

Soient les données ci-dessous :

56 chambres pouvant être occupées par 2 personnes soit au maximum 112 personnes

Taux d'occupation 78% (88 clients en moyenne)

Besoin en eau chaude par client : besoin moyen soit 40 l

Température eau froide (T_{ei}) : 25°C

Température d'utilisation finale de l'eau (T_{ef}) : 45°C

Température de stockage de l'eau chaude (T_{st}) : 75°C

Après dimensionnement, les résultats obtenus sont récapitulés dans le Tableau 16 :

Tableau 16 : Estimation du besoin en eau chaude de l'hôtel

Volume d'eau chaude journalier à 45°C V_e (l)	3 520
Besoin net journalier en chaleur B_{net} à 45°C (kWh)	82
Volume de stockage d'eau nécessaire à 60°C V_{60} (l)	2 012
Volume de stockage d'eau des chauffe-eaux électriques à 75°C V_{75} calculé (l)	1 408
Volume de stockage d'eau des chauffe-eaux électriques à 75°C installé V_{75} installé (l)	2400

Les résultats obtenus du Tableau 16 montre que le volume de stockage d'eau des chauffe-eaux électriques a été surdimensionné lors de l'installation. Le volume de stockage d'eau installé (2 400 l) est environ le double de ce qui est nécessaire (1 408 l). Ce surdimensionnement occasionne une augmentation des factures d'électricité de l'hôtel puisque le besoin journalier sera satisfait et il y aura toujours un excédent. Pour estimer la part que représente ce surplus dans la consommation énergétique annuelle de l'hôtel, nous avons déterminé le besoin net en chaleur nécessaire par jour pour ce surplus d'eau. Il est calculé à l'aide des équations (21) et (22) ci-dessous :

$$V_{75 \text{ excédent}} = V_{75 \text{ installé}} - V_{75 \text{ calculé}} \quad (21)$$

Avec :

$V_{75 \text{ excédent}}$: volume de stockage d'eau des chauffe-eaux électriques à 75°C en excédent ($\text{l}\cdot\text{jr}^{-1}$)

$V_{75 \text{ installé}}$: volume de stockage d'eau des chauffe-eaux électriques à 75°C installé (l)

$V_{75 \text{ calculé}}$: volume de stockage d'eau des chauffe-eaux électriques à 75°C calculé (l)

$$V_{75 \text{ excédent}} = 2\,400 - 1\,408$$

$$V_{75 \text{ excédent}} = 992 \text{ l}\cdot\text{jr}^{-1}$$

$$B_{\text{net excédent}} = \varphi_e \times C_{p_e} \times V_{75 \text{ excédent}} \times (T_{ef} - T_{ei}) \quad (22)$$

Avec :

φ_e : masse volumique de l'eau ($1\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$)

C_{p_e} : chaleur spécifique de l'eau ($4,18 \text{ kJ}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}$)

$B_{\text{net excédent}}$: besoin net journalier en chaleur pour le volume d'eau excédent ($\text{kWh}\cdot\text{jr}^{-1}$)

$V_{75 \text{ excédent}}$: volume de stockage d'eau des chauffe-eaux électriques à 75°C en excédent ($\text{l}\cdot\text{jr}^{-1}$)

T_{ef} : température de l'eau (75°C)

T_{ei} : température initiale de l'eau (25°C)

$$B_{\text{net excédent}} = 4,18 \times 992 \times (75 - 25)$$

$$B_{\text{net excédent}} = 207\,328 \text{ kJ}$$

$$B_{\text{net excédent}} = 57,59 \text{ kWh}\cdot\text{jr}^{-1}$$

Des équations (20) et (21), on note qu'il faut environ 60 kWh pour chauffer le volume d'eau excédent des chauffe-eaux électriques.

Avec les valeurs obtenues, une estimation du besoin par an a été fait pour évaluer la part du système de chauffe-eaux électriques dans la consommation énergétique annuelle de l'hôtel.

Le Tableau 17 nous renseigne sur la part que représente ce besoin net excédent dans la consommation énergétique annuelle de l'hôtel.

Tableau 17 : Estimation de la consommation énergétique des chauffe-eaux électriques

Consommation énergétique de l'hôtel en 2019 (kWh)	$B_{\text{net}} \text{ excédent}$ annuel (kWh)	Part dans la consommation énergétique annuelle de l'hôtel (%)	B_{net} annuel (kWh)	Part dans la consommation énergétique annuelle de l'hôtel (%)
600 603	21 020	3,5	29 930	5

Le tableau ci-dessus révèle que chaque année, l'hôtel s'acquitte des 3,5% de sa facture d'électricité annuelle auprès de la SONABEL pour une consommation dont il n'a pas nécessairement besoin. Pour un coût moyen de $100 \text{ FCFA} \cdot \text{kWh}^{-1}$, cette perte d'énergie annuelle est estimée à plus de 2 000 000 FCFA : ce qui est dommage.

En somme, l'énergie consommée par les chauffe-eaux électriques représentent environ 8,5% de la consommation énergétique annuelle de l'hôtel.

- Dimensionnement des capteurs thermiques voir Annexe 14

Soient les données ci-dessous :

56 chambres pouvant être occupées par 2 personnes soit au maximum 112 personnes

Taux d'occupation 78% (88 clients en moyenne)

Besoin en eau chaude par client : besoin moyen soit 40 l

Température eau froide (T_{ei}) : 25°C

Température d'utilisation finale de l'eau (T_{ef}) : 45°C

Température de stockage de l'eau à (T_{st}) : 60°C

Ensoleillement moyen journalier des 3 mois les plus froids : novembre ($5,76 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jr}^{-1}$), décembre ($5,32 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jr}^{-1}$) et janvier ($5,47 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jr}^{-1}$)

Fraction solaire (FS) : 80%

Capteur : JDL-PG2.0 de Nelson Solar avec une surface de 2 m^2 ; $\eta_{inst} = 0,6$

Après dimensionnement, les résultats obtenus sont récapitulés dans le Tableau 18 :

Tableau 18 : Résultats du dimensionnement des chauffe-eaux solaires

Volume d'eau chaude journalier V_e (l)	3 520
Volume de stockage d'eau nécessaire à 60°C V_{60} (l)	2 012
Besoin net journalier en chaleur B_{net} à 45°C (kWh)	82
Surface des capteurs solaires S_{cs} (m ²)	26
Nombre de capteurs solaires	13

En conclusion, pour satisfaire les besoins en eau chaude de l'hôtel, il faudra installer 13 capteurs thermiques. Vu que l'hôtel a pour objectif de réduire la consommation énergétique des chauffe-eaux électriques, il n'a installé que 8 capteurs thermiques soit 1 par niveau ; ils seront mis en marche lorsqu'il y aura peu de clients et mis en arrêt quand le besoin se fera ressentir. L'installation a donc été sous dimensionnée.

- Proposition de solutions

Avec l'intégration des chauffe-eaux solaires, les chauffe-eaux électriques, en fonction des clients, seront moins sollicités que d'habitude : ce qui contribue à réduire leur consommation énergétique. Cependant, de grandes économies d'énergie peuvent être faites si une solution de préchauffage est mise en place. Il va consister à combiner les deux systèmes de production d'eau chaude pour un fonctionnement optimal. En effet, les capteurs thermiques sont utilisés en premier lieu pour chauffer l'eau et l'acheminer dans les chauffe-eaux électriques qui feront l'appoint (75°C). Ainsi, ces chauffe-eaux électriques consommeront moins d'énergie puisque l'eau à l'entrée des chauffe-eaux électriques est déjà chaude (40°C à 60°C). Cependant, pour que le système fonctionne correctement et que la demande en eau chaude soit satisfaite, il faudra ajouter 5 capteurs thermiques aux 8 autres. Cette solution de préchauffage permet à l'hôtel de réduire significativement ses factures d'électricité et son impact environnemental car les capteurs thermiques sont des dispositifs écologiques qui exploitent le soleil, une source d'énergie renouvelable.

Etudions de plus près les économies qui seront réalisées avec cette solution de préchauffage.

▪ Estimation des économies réalisées

Pour un dimensionnement approprié, il faudra installer au total 13 capteurs thermiques, pour un ratio de 250 000 FCFA·m⁻² de capteur installé soit un investissement initial (I_o) de 6 500 000 FCFA pour une surface totale de 26 m². Également, pour mener à bien cette étude financière, on dira que les capteurs thermiques pourront couvrir 80% des besoins et les 20% restants seront couverts par les chauffe-eaux électriques.

Pour un coût moyen de 100 FCFA·kWh⁻¹, 250 000 FCFA·m⁻² de capteur solaire installé et 150 000 FCFA pour les frais de maintenance annuelle de chaque système, le Tableau 19 et Tableau 20 nous donnent la consommation énergétique de chaque système de production d'eau chaude, suivie des coûts engendrés et du retour sur investissement (TRI) donné à l'équation (23) :

$$TRI = \frac{I_o}{CF_{elec} - CF_{solaire}} \quad (23)$$

Avec :

TRI : temps de retour sur investissement

I_o : investissement initial pour l'installation des chauffe-eaux solaires

CF_{elec} : charges de fonctionnement avec l'électricité SONABEL

CF_{solaire} : charges de fonctionnement avec le solaire

Tableau 19 : Evaluation de la consommation énergétique des chauffe-eaux pour le système de préchauffage

Besoin net en chaleur par an (kWh)	Besoin net en chaleur par an avec le solaire 80% (kWh)	Besoin net en chaleur par an avec l'électricité SONABEL 20% (kWh)
29 930	23 944	5 986

Tableau 20 : Estimation des charges de fonctionnement des chauffe-eaux pour le système de préchauffage

Désignation	Charges de fonctionnement avec l'électricité SONABEL 100% (FCFA)	Charges de fonctionnement avec le solaire (FCFA)	Investissement initial	TRI
Annuelle	2 993 000	898 600	6 500 000	3,10 (3 ans + 1 mois)

Des résultats obtenus du Tableau 20, on retient que si l'hôtel décide de faire fonctionner les chauffe-eaux solaires durant toute l'année tout en utilisant les chauffe-eaux électriques en complément, il fera des économies de 2 094 400 FCFA par an pour un temps de retour sur investissement de 3 ans + 1 mois : ce qui est largement bénéfique.

VII. Système de climatisation

Un calcul des charges thermiques a été faite pour vérifier si la puissance frigorifique des climatiseurs installés correspond à celle nécessaire pour chaque local. Lorsque cette puissance frigorifique est trop élevée, elle peut être source de surconsommation énergétique ; trop faible également, elle ne parviendra pas à assurer le confort des usagers de l'hôtel. Le bilan thermique de l'hôtel Ramada réalisé par la méthode détaillée [3] nous a permis d'obtenir les résultats donnés dans le Tableau 21 :

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Tableau 21 : Bilan thermique de l'hôtel

Désignation	Charges thermiques (kW)	Puissances frigorifiques installées (kW)	Différence (kW)
Chambres classiques	4,87	5	0,13
	4,18		0,82
	4,37		0,63
	3,6		1,4
	3,6		1,4
	3,6		1,4
	4,27		0,73
Chambre Suite-Junior	2,36	3,5	1,14
	4,64	5	0,36
Accueil	35	43,3	8,3
Service restauration	2,16	2,64	0,48
Economat	2,97	3,5	0,53
Salle informatique	1,59	2,64	1,05
Service technique	1,17	3,5	2,33
Local Camera	1,33	2,64	1,31
Bar	11	12,27	1,27
Restaurant 1	5,63	7	1,37
Restaurant 2	32,93	28,75	-4,18
Salle Paling-Wende	11,53	10	-1,53
Salle Zongna - Nabitenga	28,48	47	18,52
Salle Adja Habibata	35,61	29	-6,61
Salle de conférence 1	21,17	25,04	3,87
Salle policiers	1,75	2,64	0,89
Salle Zamb-Pawende	11,56	10,54	-1,02
Salle Ex-bureau DG	9,97	10,54	0,57
Salle de conférence 3	10,29	12,27	1,98
Salle de conférence 2	9,94	10,54	0,6
Magazin	5,09	3,5	-1,59

Les charges thermiques de l'hôtel Ramada qui ont été évaluées nous indiquent que les puissances frigorifiques installées n'ont pas été surdimensionnées dans la majorité des locaux sauf pour la Salle Zongna -Nabitenga qui a une différence de puissance de 18 kW. Bien que cette salle reçoive un grand public (80 à 120 personnes), le surdimensionnement est élevé : ce qui contribue à augmenter les factures d'électricité. Également, il faut noter que les climatiseurs installés à l'hôtel

n'ont ni la technologie Inverter pour adapter la puissance frigorifique en fonction des charges thermiques, ni un bon coefficient de performance (COP). Avec le progrès de la technologie, nous disposons de climatiseurs performants avec un bon COP et dotés de la technologie Inverter pour réduire la consommation d'électricité et faire des économies.

Pour être situé sur la consommation d'énergie pour les systèmes de climatisation, nous avons estimé la durée moyenne de fonctionnement des climatiseurs par jour selon les saisons et un coefficient d'utilisation pour ensuite l'étendre sur une année. Les valeurs obtenues nous ont permis de calculer la part des systèmes de climatisation dans la consommation énergétique totale de l'hôtel en 2019. Il faut noter que pour cette démarche, nous nous sommes référés à l'année 2019 car les données reflètent le mieux les consommations énergétiques réelles de l'hôtel. Pour le taux d'occupation des chambres de l'hôtel en 2019, il est de 78%.

L'Annexe 15 nous donne les COP des différents climatiseurs et les détails sur la consommation énergétique en climatisation sur une année.

Le Tableau 22 récapitule les résultats obtenus suite à nos différents calculs.

Tableau 22 : Evaluation de la consommation énergétique en climatisation

Consommation énergétique de l'hôtel en 2019 (kWh)	Consommation énergétique moyenne de l'hôtel en climatisation par an (kWh)	Part dans la consommation énergétique totale moyenne de l'hôtel par an (%)
600 603	378 793	63

Du Tableau 22, il ressort que les systèmes de climatisation consomment en moyenne plus de 300 000 kWh par année et représente environ 63% de la consommation énergétique totale de l'hôtel en 2019. Ce pourcentage révèle que la grande partie de l'énergie consommée par l'hôtel est due à la climatisation. Le faible COP des climatiseurs dû à l'inexistence de la technologie Inverter rend les climatiseurs plus énergivores. Opter pour des climatiseurs Inverter qui ont un meilleur COP serait la solution idéale pour faire des économies d'énergie. De plus, les climatiseurs installés fonctionnent soit avec le réfrigérant R410A ou le R22. Or, le R22, connu pour être destructeur de la couche d'ozone, a été interdit dans les installations depuis 2015 pour prioriser l'utilisation du R410A qui, malheureusement a aussi une action sur l'effet de serre. Pour donc protéger notre environnement, de nouvelles solutions de climatisation fonctionnant au R32

ont été développées. Avec une empreinte environnementale nettement inférieure à celle du R410A, le R32 pourrait devenir le nouveau référentiel en la matière.

C'est dans cette optique que nous proposons des climatiseurs performants pour remplacer progressivement les climatiseurs existants. Ils sont dotés de la technologie Inverter et ont un COP compris entre 3 et 4.

L'Annexe 16 donne les COP des climatiseurs existants et ceux proposés pour le remplacement.

Pour évaluer les économies d'énergie qui pourraient être faites avec l'installation de ces climatiseurs, nous avons évalué la consommation énergétique annuelle des climatiseurs proposés dans l'Annexe 17.

Le Tableau 23 récapitule les résultats obtenus suite à nos différents calculs.

Tableau 23 : Evaluation de la consommation énergétique des climatiseurs performants

Consommation énergétique de l'hôtel en 2019 (kWh)	Consommation énergétique moyenne de l'hôtel en climatisation par an (kWh)	Part dans la consommation énergétique totale de l'hôtel en 2019 (%)
600 603	264 644	44

En remplaçant progressivement les climatiseurs de l'hôtel Ramada par des climatiseurs plus performants, leur consommation énergétique en moyenne est de 264 644 kWh par an et représente environ 44% de la consommation énergétique de l'hôtel en 2019. Avec ces climatiseurs, nous avons une réduction d'énergie de 19% : ce qui est rentable.

Pour l'installation progressive des climatiseurs proposés, nous avons évalué le coût d'investissement puis calculé le TRI.

L'Annexe 18 donne les détails sur le coût total d'investissement. Les données obtenues dans l'Annexe 18 nous ont permis d'estimer les économies d'énergie qui seront faites et de calculer le TRI. Les résultats sont consignés dans le Tableau 24 :

Tableau 24 : Estimation des charges de fonctionnement avec les climatiseurs performants

	Consommation énergétique moyenne de l'hôtel en climatisation par an (kWh)	Consommation énergétique moyenne de l'hôtel en climatisation par an (kWh)	Economie d'énergie réalisée an (kWh)	Coût d'investissement (FCFA)	Economie d'énergie par an (FCFA)	TRI
Climatiseurs existants	378 793					
Climatiseurs proposés		264 644	114 149	80 225 575	11 414 900	7,02 (7ans)

Les résultats obtenus du tableau ci-dessus montre qu'avec le remplacement des climatiseurs existants par des climatiseurs performants DAIKIN, l'hôtel réalisera des économies d'énergie de plus de 110 000 kWh et le temps de retour sur investissement est de 7 ans : ce qui est bénéfique. Sachant qu'il n'est pas évident de les remplacer tous au même moment, l'hôtel peut les remplacer progressivement.

Conclusion partielle : Les différentes études de cas que nous avons menées aux postes susceptibles d'être des consommateurs d'énergie ont révélé que le poste de climatisation est le plus gros consommateur d'énergie. A lui seul, il couvre environ en moyenne 63% de la consommation énergétique de l'hôtel en 2019. Quant aux postes de chauffe-eaux (8,5%), de buanderie (4,15%) et de surpression d'eau (2,16%), leur consommation énergétique est relativement faible.

Les 22,19% restant représentent la consommation énergétique des ascenseurs, des luminaires et autres équipement électriques utilisés au sein de l'hôtel.

VIII. Mesures d'économie d'énergie adoptées

Lors des visites effectuées à l'hôtel Ramada pour notre étude, nous avons constaté que des mesures d'économies d'énergie avaient déjà été adoptées dans l'objectif de réduire ses consommations énergétiques.

- Isolation thermique

Dans toutes les chambres, salles de conférence, bureaux et salle d'accueil, nous avons noté la présence de rideaux à chaque fenêtre vitrée pour limiter les apports calorifiques provenant du soleil. Également, les fenêtres des chambres sont des fenêtres doubles de type française qui permettent d'une part d'améliorer le confort thermique en limitant les déperditions thermiques par les fenêtres et d'autre part d'avoir une meilleure isolation acoustique. Les Annexes 19 et 20 nous montrent l'intérieur de quelques pièces.

Toutes ces images nous montrent que l'hôtel Ramada à travers ses actions contribue en partie au confort thermique de ses clients.

- Usage de luminaire à basse consommation

Les systèmes d'éclairage de l'hôtel Ramada sont composés de luminaires de faible puissance. Dans toutes les pièces de passage (couloirs, escaliers, halls...), des systèmes à détection de présence sont installés pour les éclairer sans l'intervention d'une personne. Ils sont économiques car la lumière n'éclaire que par nécessité et sur le temps utile : ce qui permet de faire des économies d'énergie.

En plus des systèmes de détection de présence, les luminaires installés dans les autres pièces (chambres, salles de conférence, bureaux, etc.) sont des luminaires LED qui consomment très peu d'électricité pour un excellent rendement lumineux.

L'Annexe 21 présente des luminaires à basse consommation.

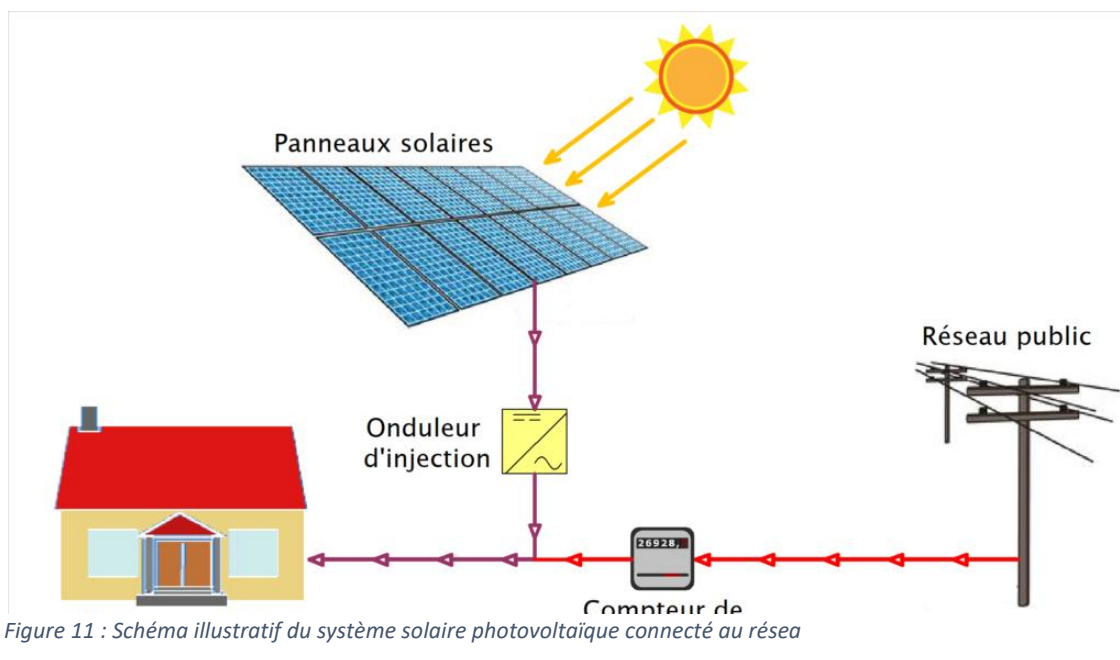
IX. Maîtrise des dépenses d'énergie

L'analyse des différents postes de consommation d'énergie ont montré que des mesures d'efficacité énergétiques peuvent être adoptées pour réduire les dépenses d'énergie. Des mesures qui nous semblent réalistes de mettre en œuvre à l'hôtel Ramada ont été proposées dans chaque étude de cas.

Pour maîtriser davantage ses factures d'électricité, nous avons proposé à l'hôtel une installation solaire photovoltaïque connecté à son réseau.

- Proposition d'installation solaire photovoltaïque connectée au réseau

Ce système solaire photovoltaïque a été dimensionné via le logiciel Solarius PV suivant la surface exploitable disponible sur la toiture de l'hôtel. L'énergie produite par le système est injectée sur le réseau électrique de l'hôtel pour alimenter ses charges. La Figure 11 illustre le principe de fonctionnement.



Source : SOLAIRE-OFFGRID.COM/Expertise en électrification solaire pour le site isolé.

Le dimensionnement du système solaire photovoltaïque se trouve en Annexe 22.

Le Tableau 25 donne un récapitulatif du dimensionnement :

Tableau 25 : Récapitulatif du dimensionnement solaire photovoltaïque

Désignation	Modèle	Nombre	Puissance (W)
Modules	Meyer Burger AG - MB Abalone SmartWire Optimal 355W	60	355
Onduleur	SMA Solar Technology AG - STP 12000TL-US-10	2 avec 2 entrées MPPT	12 000
Energie annuelle produite (kWh)	35 788		

Les fiches techniques du module et de l'onduleur se trouvent en Annexe 23 et Annexe 24.

La puissance crête pouvant être installée est de 21,3 kWc avec un total de 60 modules sur une surface de 98,46 m². Les modules seront fixés sur des supports métalliques et orientés au Sud avec une inclinaison de 15°.

Quant aux onduleurs, ils sont au nombre de 2 et disposent chacun de 2 entrées MPPT. Nous avons opté pour 2 onduleurs pour plus de flexibilité. La durée de vie du système est estimée à 25 ans.

En se référant à la consommation énergétique de l'hôtel en 2019, l'énergie solaire annuelle produite par le système solaire photovoltaïque ne prendra que 5% des charges de l'hôtel.

La configuration du champ photovoltaïque est présentée dans le Tableau 26 :

Tableau 26 : Configuration du champ photovoltaïque

Désignation	Configuration		V _{mpp} (V)	I _{mpp} (A)	V _{oc} (A)	I _{cc} (A)
Onduleur 1	Entrée A	Entrée B	532,5	16,6	660	17,8
	2strings de 15 modules	2strings de 15 modules				
Onduleur 2	Entrée A	Entrée B	532,5	16,6	660	17,8
	2strings de 15 modules	2strings de 15 modules				

Pour le dimensionnement des sections de câbles, voir Annexe 25.

En ce qui concerne les dispositifs de protection, nous avons opté pour un coffret photovoltaïque précâblé AC-DC. Sa composition du coffret est en Annexe 26.

Une mise à la terre des supports métalliques doit être réalisée. Le Tableau 27 nous donne un récapitulatif de l'installation solaire photovoltaïque :

Tableau 27 : Données nécessaires de l'installation photovoltaïque

Energie annuelle produite (kWh)	35 788
Puissance du champ solaire (kWc)	21,3
Puissance de l'onduleur (kW)	24
Nombre d'onduleurs	2
Nombre de modules	60

L'installation de ce système solaire va permettre à l'hôtel de réduire ses émissions de gaz à effet de serre qui contribuent au réchauffement climatique. Avec une puissance de 21,3 kWc installée, 16 653 kg CO₂ de gaz à effet de serre sont évités par an. L'Annexe 27 nous donne plus de détails sur les gaz à effet de serre évités.

Une évaluation du coût de l'installation solaire a été fait pour déterminer l'investissement et le TRI. Le Tableau 28 nous donne les valeurs obtenues :

Tableau 28 : Coûts détaillés de l'installation photovoltaïque

Désignation	Coût (FCFA)
Modules solaires photovoltaïques	11 028 435
Onduleurs SMA	3 991 590
Matériels de protection	500 000
Câblage et supports métalliques	2 500 000
Prestation de service	2 500 000
TVA	3 693 604
Coût d'investissement	24 213 629
TRI	7 ans

10

L'installation solaire photovoltaïque va nécessiter un investissement de plus de 24 000 000 FCFA avec un temps de retour sur investissement de 7 ans.

L'ensemble des solutions proposées à l'hôtel Ramada sont récapitulés dans le Tableau 29 :

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Tableau 29 : Récapitulatif des solutions d'efficacité énergétique

N°	Mesures d'efficacité énergétique	Economie d'énergie annuelle (kWh)	Economie financière annuelle (FCFA)	Investissement (FCFA)	TRI	Priorité
1	Sensibilisation du personnel sur la gestion rationnelle de l'énergie ; maintenance des équipements électriques (machines de buanderie, chauffe-eaux solaires et électriques, climatiseurs, surpresseur d'eau)				0.0	2
2	Modification du contrat d'électricité (puissance souscrite)		2 381 070 (cas de l'année 2019)		0.0	1
3	Choix de combiner les deux systèmes de chauffe-eau pour satisfaire les besoins en eau chaude	23 944	2 094 400	6 500 000	3 ans + 1 mois	1
4	Remplacement progressif des climatiseurs actuels par des plus performants (fonction Inverter)	114 149	11 414 900	80 225 575	7 ans	3
5	Mise en place d'un système solaire photovoltaïque	35 788	3 428 800	24 213 629	7 ans	4

CONCLUSION

L'audit énergétique réalisé au sein de l'hôtel Ramada a permis d'identifier les postes de forte consommation d'énergie et de proposer des mesures d'économie d'énergie. Il a été révélé que le système de climatisation consomme plus de 50% de la consommation énergétique totale de l'hôtel. Le reste est couvert par les systèmes de chauffe-eaux, d'ascenseur, d'éclairage, de surpression d'eau, et d'autres appareils électriques. La recherche du confort thermique des clients et de la qualité de l'air intérieur de l'hôtel occasionne des pics de consommation d'électricité qui se font ressentir sur les factures d'électricité. Ces factures d'électricité peuvent être allégées, si des mesures d'économie d'énergies sont élaborées. L'optimisation des climatiseurs, des systèmes de chauffe-eaux et sont des solutions qui vont réduire les dépenses énergétiques de l'hôtel et lui permettre de faire des économies annuelles d'environ 15 000 000 FCFA. Par ailleurs, une bonne gestion de l'énergie de la part du personnel et des clients va contribuer à faire plus d'économie. Pour maîtriser d'avantage ces dépenses énergétiques, il serait judicieux pour Ramada hôtel d'envisager un second audit de ses groupes électrogènes pour optimiser leur consommation en carburant.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Le Consortium pour les Infrastructures en Afrique, « En Afrique, les bâtiments consomment 50% de l'énergie électrique. », *sept 22, 2014.*, Dakar. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.icafrica.org/fr/news-events/infrastructure-news/article/en-afrique-les-batiments-consomment-50-de-lenergie-electrique-5957/>
- [2] POMPEAEAU.FR, « <https://www.pompeaeau.fr/pompe-surpresseur#category-description> », [En ligne]. Disponible sur : <https://www.pompeaeau.fr/pompe-surpresseur#category-description>
- [3] Y. Pr COULIBALY, *Economie d'énergie dans le bâtiment, zones tropicales & régions chaudes : Tome 2.*

ANNEXES

Annexe 1 : Grille tarifaire SONABEL	60
Annexe 2 : Recensement des équipements électriques au RDC.....	62
Annexe 3 : Recensement des équipements électriques au R+1	64
Annexe 4 : Recensement des équipements électriques au R+2	65
Annexe 5 : Recensement des équipements électriques au R+3	66
Annexe 6 : Recensement des équipements électriques du R+4 au R+8	67
Annexe 7 : Batteries de condensateurs 50 kVAr	68
Annexe 8 : Fiche d'enquête	69
Annexe 9 : Service de buanderie.....	74
Annexe 10 : Surpresseur.....	75
Annexe 11 : Vues de l'hôtel et chauffe-eaux solaires	76
Annexe 12 : Chauffe-eau-électrique et allée principale des chambres	77
Annexe 13 : Estimation du besoin en eau chaude de l'hôtel	78
Annexe 14 : Dimensionnement des capteurs thermiques.....	80
Annexe 15 : Evaluation de la consommation énergétique pour les climatiseurs actuels.....	83
Annexe 16 : : Comparaison du COP des différents climatiseurs	87
Annexe 17 : Evaluation de la consommation énergétique pour les climatiseurs recommandés	88
Annexe 18 : Coûts d'investissement des climatiseurs recommandés.....	92
Annexe 19 : Vue interne des chambres.....	93
Annexe 20 : Vue interne des salles de conférence, du bar et du restaurant.....	94
Annexe 21 : Quelques images de luminaires	95
Annexe 22 : Résultats du dimensionnement solaire photovoltaïque	96
Annexe 23 : Fiche technique du Module solaire	97
Annexe 24 : : Fiche technique de l'onduleur.....	98
Annexe 25 : Dimensionnement des sections de câble.....	99
Annexe 26 : Composition du coffret DC-AC	100
Annexe 27 : Gaz à effet de serre évités grâce à l'installation solaire photovoltaïque	101

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 1 : Grille tarifaire SONABEL

SOCIÉTÉ NATIONALE D'ÉLECTRICITÉ DU BURKINA

DEPANNAGE OUAGA / BOBO
89 00 11 30 (N° GRATUIT)

Société d'État au capital de 63.308.270.000 Francs CFA
Siège social : 55, Avenue de la Nation
01 B.P. 54 Ouagadougou 01
Tél : (226) 25 20 61 00 / 03 / 03 / 04 / Fax : (226) 25 31 03 40
Site web : www.sonabel.bf

DEPANNAGE OUAGA
25 91 37 20



GRILLE TARIFAIRE



Arrêté n°2015-00-014MME/MEF/MICA du 06 octobre 2015 et Arrêté n°06-089MCPEAMMCE/MFB du 23 août 2006 et son modificatif n°08-013MMCE/MEF/MCPEA du 16 octobre 2008

TENSION	Catégorie et tranches tarifaires	FACTURATION DES CONSOMMATIONS (en FCFA)				FRAIS D'ABONNEMENT (en FCFA)					
		Tarifs du kWh			Redevance	PRIME FIXE	Avance sur Consommation	Frais d'IS police et de pose	Tiroirs	Liasses	TOTAL Abonnement
B A S S E T E N S I O N	I) USAGE DOMESTIQUE PARTICULIERS ET ADMINISTRATION										
	Tarif type A (monophasé)	Tranche 1 0 à 75 kWh	Tranche 2 76 à 100 kWh	Tranche 3 plus de 100 kWh							
	1 à 2A	75	100	138	1 132	0	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	50	100	100	457	1 774	8 175	691	400	108	9 374
	10A	50	100	100	457	3 508	16 350	691	400	108	17 549
	15A	50	100	100	457	5 322	24 525	691	400	108	25 724
	20A	50	100	100	764	7 096	32 700	691	400	108	33 899
	25A	50	100	100	764	8 870	40 875	691	400	108	42 074
	30A	50	100	100	764	10 644	49 050	691	400	108	50 249
B T	II) USAGE DOMESTIQUE ET FORCE MOTRICE PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Tranche 1	Tranche 2	Tranche 3							
	Tarif type C (triphase)	0 à 50 kWh	51 à 200 kWh	plus de 200 kWh							
	10A	50	100	114	1 226	10 613	51 300	1 380	400	108	53 186
	15A	50	100	114	1 226	15 918	76 650	1 380	400	108	78 826
	20A	50	100	114	1 373	21 224	102 000	1 380	400	108	104 468
	25A	50	100	114	1 373	26 531	128 250	1 380	400	108	130 138
	30A	50	100	114	1 373	31 837	154 500	1 380	400	108	155 788
	III) B.T. / TARIFS HORAIRES PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Heures de pointe (10h à 14 h et 18h à 19h)	Heures pleines (8h à 10h, 14h à 18h et 19h à 8h)								
	Tarif type D1 Non industriel	105	88	8 538	34 582 FCFA par kW par an	PS X 100 X 105	1 380	4 000	108		
	Tarif type D2 Industriel	140	75	7 115	28 818 FCFA par kW par an	PS X 100 X 140	1 380	4 000	108		
IV) M.T. / TARIFS HORAIRES PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Heures de pointe (10h à 14 h et 18h à 19h)	Heures pleines (8h à 10h, 14h à 18h et 19h à 8h)									
Tarif type E1 Non industriel	139	64	8 538	70 826 FCFA par kW par an	PS X 100 X 139	1 380	4 000	108			
Tarif type E2 Industriel	118	54	7 115	64 387 FCFA par kW par an	PS X 100 X 118	1 380	4 000	108			
V) M.T. / TARIFS HORAIRES PARTICULIERS	Heures de pointe (18h à 24 h)	Heures pleines (8h à 18h)									
Tarif type G	140	70	7 115	64 387 FCFA par kW par an	PS X 100 X 118	1 380	4 000	108			
MOYENNE TENSION (MT)											
Tarif type E1 Non industriel											
Tarif type E2 Industriel											
INDUSTRIES EXTRACTIVES ET HAUTE TENSION (HT)											
Tarif type G											
5A - 15A mono											
20A et plus mono											
10A - 15A triphasé											
20A et plus triphasé											
ECLAIRAGE PUBLIC											
Tarif type F											

ENSEMBLE, AU SERVICE D'UNE GRANDE AMBITION!

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 2 : Recensement des équipements électriques au RDC

Structures		Equipements	Nombre	Puissance unitaire (W)	Observation
RDC	Direction Générale Service Commercial	Lampes LED	4	18	Bon état
		Climatiseur type cassette	1	7000	
		Mini bar	2	74	
		Ordinateurs de bureau	2	75	
		Imprimante	1	20	
	Assistance Bureau Commercial Comptabilité Gestion des Ressources Humaines	Lampes LED	6	18	
		Climatiseur type cassette	1	7000	
		Ordinateurs de bureau	3	75	
		Imprimante	1	20	
	Service restauration	Lampes LED	2	18	
		Climatiseur type mural	1	2640	
		Ordinateur de bureau	1	75	
	Economat	Lampes LED	2	18	
		Climatiseur type mural	1	3500	
		Réfrigérateur	1	74	
		Ordinateur de bureau	1	75	
		Imprimante	1	20	
	Gouvernant	Lampes LED	1	18	
		Ordinateur de bureau	1	75	
	Service buanderie	Lampes LED	3	18	
		Brasseur	1	75	
		Chauffe-eau électrique	1	80	
		Machine à laver 1	1	440	
		Machine à laver 2	1	610	
		Machine à laver 3	1	2200	
		Sèche-linge 1	1	2000	
		Sèche-linge 2	1	751	
		Calandre	1	18500	
Fer à repasser		1	2000		
Salle informatique	Lampes LED	3	18		
	Climatiseur type mural	1	2640		
	Ordinateurs de bureau	1	75		
Service technique	Lampes LED	1	18		
	Climatiseur type mural	1	3500		
	Décodeurs	28	10		
Local Camera	Lampes LED	1	18		
	Ordinateur	2	75		
	Climatiseur type mural	1	2640		

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Structures		Equipements	Nombre	Puissance unitaire (W)	Observation
RDC	Accueil	Spots 1	36	3	3 climatiseurs type cassette défectueux
		Spots 2	65	12	
		Climatiseurs type armoire	2	14650	
		Climatiseurs type cassette	10	7000	
		Ordinateur	1	75	
		Ascenseur 1	1	15kVA	
		Ascenseur 2	1	20kVA	
	Bar	Spots	2	12	Bon état
		Lustres	15	8	
		Climatiseurs type mural 1	1	5270	
		Climatiseurs type mural 2	1	7000	
		Réfrigérateur	1	140	
	Restaurant 1	Spots	10	12	
		Climatiseur type mural	1	7000	
	Restaurant 2	Spots 1	27	6	
		Spots 2	7	12	
		Lustres	4	6	
		Climatiseur type armoire 1	1	14100	
		Climatiseur type armoire 2	1	14650	
	Cuisine	Lampes LED	9	18	
		Spots	1	12	
		Brasseurs	5	75	
		Micro-onde	1	1250	
		Ice maker	1	175	
		Mixeur	1	750	
		Congélateur 1	1	115	
		Congélateur 2	1	250	
Chauffe-eau électrique		1	80		
Halls - Toilettes - Paliers	Détecteurs de présence	28	6		
	Lampes LED 2	9	18		
	Chauffe-eau électrique	1	80		
Guérite	Lampes LED	4	18		
	Brasseurs	2	55		
	Surpresseur 1	1	4,3		
	Surpresseur 2	1	6,6		
	Groupe électrogène 1	1	250kVA		
	Groupe électrogène 2	1	420kVA		

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 3 : Recensement des équipements électriques au R+1

Structures		Nombre	Equipements	Nombre	Puissance unitaire (W)	Observation
R+1	Chambres classiques	5	Télé	1	88	Bon état
			Climatiseur type mural	1	5000	
			Lustres	2	8	
			Spots 1	4	7	
			Spots 2	1	3	
			Mini bar	1	70	
			Lampe LED rotative	1	6	
			Sèche-cheveux	1	1200	
			Lampe sanitaire	1	70	
	Chambre TWIN	1	Télé	1	88	
			Climatiseur type mural	1	5000	
			Lustres	2	8	
			Spots 1	4	7	
			Spots 2	1	3	
			Mini bar	1	70	
			Lampe LED rotative	1	6	
			Sèche-cheveux	1	1200	
			Lampe sanitaire	1	70	
	Chambre suite junior	1	Télé	1	70	
			Climatiseur type mural 1	1	5000	
			Climatiseur type mural 2	1	3500	
			Lustres	2	8	
			Spots 1	8	7	
			Spots 2	2	5	
			Mini bar	1	70	
			Lampe LED rotative	1	6	
			Sèche-cheveux	1	1200	
	Salle Paling-Wende	1	Spots	16	5	
			Climatiseurs type mural	2	5000	
	Salle Zongna Nabitenga	1	Spots 1	20	12	
			Spots 2	38	5	
			Climatiseurs type cassette	1	7000	
			Climatiseurs type cassette	8	5000	
	Salle Adja Habibata	1	Spots 1	15	8	
Spots 2			56	5		
Climatiseurs type armoire			2	14500		
Climatiseurs type cassette			6	7000		
Halls - Escaliers - Toilettes		Détecteurs de présence	23	6		
		Lampes LED 1	1	9		
		Lampe LED 2	5	18		
		Chauffe-eau électrique	3	2000		
		Chauffe-eau électrique	1	80		

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 4 : Recensement des équipements électriques au R+2

Structures		Nombre	Equipements	Nombre	Puissance unitaire (W)	Observation	
R+2	Chambres classiques	5	Télé	1	88	Bon état	
			Climatiseur type mural	1	5000		
			Lustres	2	8		
			Spots 1	4	7		
			Spots 2	1	3		
			Mini bar	1	70		
			Lampe LED rotative	1	6		
			Sèche-cheveux	1	1200		
			Lampe sanitaire	1	70		
	Chambre TWIN	1	Télé	1	88		
			Climatiseur type mural	1	5000		
			Lustres	2	8		
			Spots 1	4	7		
			Spots 2	1	3		
			Mini bar	1	70		
			Lampe LED rotative	1	6		
			Sèche-cheveux	1	1200		
			Lampe sanitaire	1	70		
	Chambre suite junior	1	Télé	1	70		
			Climatiseur type mural 1	1	5000		
			Climatiseur type mural 2	1	3500		
			Lustres	2	8		
			Spots 1	8	7		
			Spots 2	2	5		
			Mini bar	1	70		
			Lampe LED rotative	1	6		
			Sèche-cheveux	1	1200		
	Salle de conférence 1	1	Spots	22	12		1 climatiseur type mural défectueux
			Climatiseurs type mural	3	5270		
			Climatiseurs type armoire	1	14500		
	Salle de conférence Zamb-Pawende	1	Spots 1	22	5		Bon état
			Spots 2	3	12		
			Climatiseurs type mural	2	5270		
	Salle de conférence Ex bureau DG	1	Lampes LED 1	2	18		
			Lampes LED 2	2	9		
			Climatiseurs type mural	2	5270		
Salle policier	1	Lampe LED	2	18			
		Spots	2	6			
		Climatiseur type mural	1	2640			
Halls - Escaliers - Toilettes		Détecteurs de présence	36	6			
		Lampes LED	1	9			
		Spots	46	5			
		Chauffe-eau électrique	3	2000			
		Chauffe-eau électrique	1	80			

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 5 : Recensement des équipements électriques au R+3

Structures		Nombre	Equipements	Nombre	Puissance unitaire (W)	Observation
R+3	Chambres classiques	5	Télé	1	88	Bon état
			Climatiseur type mural	1	5000	
			Lustres	2	8	
			Spots 1	4	7	
			Spots 2	1	3	
			Mini bar	1	70	
			Lampe LED rotative	1	6	
			Sèche-cheveux	1	1200	
			Lampe sanitaire	1	70	
	Chambre TWIN	1	Télé	1	88	
			Climatiseur type mural	1	5000	
			Lustres	2	8	
			Spots 1	4	7	
			Spots 2	1	3	
			Mini bar	1	70	
			Lampe LED rotative	1	6	
			Sèche-cheveux	1	1200	
			Lampe sanitaire	1	70	
	Chambre suite junior	1	Télé	1	70	
			Climatiseur type mural 1	1	5000	
			Climatiseur type mural 2	1	3500	
			Lustres	2	8	
			Spots 1	8	7	
			Spots 2	2	5	
			Mini bar	1	70	
			Lampe LED rotative	1	6	
			Sèche-cheveux	1	1200	
	Salle de conférence 2	1	Lampes LED	6	18	
			Spots	1	7	
			Climatiseur type mural	1	5270	
			Climatiseurs type mural	2	3500	
	Salle de conférence 3	1	Lampes LED	5	18	
			Spots	3	9	
			Climatiseurs type mural	2	5270	
			Chauffe-eau électriques	1	80	
	Magasin	1	Lampes LED	5	18	
Brasseurs			3	75		
Climatiseur type mural			1	3500		
Halls - Escaliers - Toilettes		Détecteurs de présence	25	35		
		Lampes LED	1	9		
		Chauffe-eau électrique	3	2000		
		Chauffe-eau électrique	1	80		

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 6 : Recensement des équipements électriques du R+4 au R+8

Structures		Nombre	Equipements	Nombre	Puissance unitaire (W)	Observation
R+4 à R+8	Chambres classiques	5	Télé	1	88	Bon état
			Climatiseur type mural	1	5000	
			Lustres	2	8	
			Spots 1	4	7	
			Spots 2	1	3	
			Mini bar	1	70	
			Lampe LED rotative	1	6	
			Sèche-cheveux	1	1200	
			Lampe sanitaire	1	70	
	Chambre TWIN	1	Télé	1	88	
			Climatiseur type mural	1	5000	
			Lustres	2	8	
			Spots 1	4	7	
			Spots 2	1	3	
			Mini bar	1	70	
			Lampe LED rotative	1	6	
			Sèche-cheveux	1	1200	
			Lampe sanitaire	1	70	
	Chambre suite junior	1	Télé	1	70	
			Climatiseur type mural 1	1	5000	
			Climatiseur type mural 2	1	3500	
			Lustres	2	8	
			Spots 1	8	7	
			Spots 2	2	5	
			Mini bar	1	70	
			Lampe LED rotative	1	6	
			Sèche-cheveux	1	1200	
			Lampe sanitaire	1	70	
	Halls - Escaliers - Toilettes		Détecteurs de présence	20	6	
			Lampes LED	1	9	
			Chauffe-eau électrique	3	2000	
			Chauffe-eau électrique	1	80	

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 7 : Batteries de condensateurs 50 kVAR



Fiche d'enquête

Usage des équipements électriques de la buanderie.

1. Quelles activités faites-vous par jour à la buanderie ?

2. Quelles sont vos heures de travail ?

3. Combien de machines sont mises en marche pour la lessive, le séchage et le repassage ?

4. A quelle heure de la journée faites-vous la lessive, le séchage et le repassage ?

Une seule réponse possible.

Avant 10h

Entre 10h-14h

Entre 14h-18h

Autre :

5. En général, quels types de linges lessivez-vous par jour ?

6. A quelle température chauffez-vous l'eau pour la lessive ?

Une seule réponse possible.

50°C

60°C

70°C

7. Quelles quantités de serviettes lessivez-vous en moyenne par jour ?

Une seule réponse possible.

- Entre 15 et 35kg
 Entre 35 et 50kg
 >50kg
 Autre :
-

8. Quelles quantités de draps lessivez-vous en moyenne par jour ?

Une seule réponse possible.

- Entre 15 et 35kg
 Entre 35 et 50kg
 >50kg

9. Quelles quantités de nappes et taies lessivez-vous en moyenne par jour ?

Une seule réponse possible.

- Entre 3 et 7kg
 Entre 7 et 10kg
 > 10kg

10. Quelles est la durée moyenne de la lessive des serviettes ?

Une seule réponse possible.

- 1h à 2h
 2h à 3h
 3h à 4h

11. Quelles est la durée moyenne de la lessive des draps ?

Une seule réponse possible.

- 1h à 2h
 2h à 3h
 3h à 4h

12. Quelles est la durée moyenne de la lessive des nappes et taies ?

Une seule réponse possible.

1h

1h à 2h

2h à 3h

13. Quelles est la durée moyenne de la lessive des linges pour clients et tenues du personnel ?

Une seule réponse possible.

45mn à 1h

2h

14. Quelles est la durée moyenne du séchage des draps ?

Une seule réponse possible.

1h à 2h

2h à 3h

3h à 4h

15. Quelles est la durée moyenne du séchage des serviettes ?

Une seule réponse possible.

1h à 2h

2h à 3h

3h à 4h

16. Quelles est la durée moyenne du séchage des nappes et taies ?

Une seule réponse possible.

30mn à 1h

1h à 2h

2h à 3h

17. Quelles est la durée moyenne du séchage des linges pour clients et tenues du personnel

Une seule réponse possible.

30mn à 45mn

1h

18. Quelles est la durée moyenne du repassage des draps à la calandre ?

Une seule réponse possible.

1h

1h à 2h

2h à 3h

19. Quelles est la durée moyenne du repassage des nappes et taies à la calandre ?

Une seule réponse possible.

1h

1h à 2h

2h à 3h

20. Existe-t-il un programme d'heures à suivre pour la mise en marche des machines de la buanderie ?

21. Que pensez-vous de la consommation énergétique de ces machines vis à vis de vos besoins ?

22. Les machines de buanderie que vous utilisez sont -elles en quantité ou leur capacité est-elle suffisante en fonction du linge sale ?

23. Etes-vous souvent confronté à des difficultés de travail ?

24. Si un programme d'heure de mise en marche des machines de la buanderie est mis en place, pensez-vous pouvoir le respecter ?

25. Quelles est la durée moyenne du repassage des linges pour clients et tenues du personnel au fer à repasser ?

Une seule réponse possible.

1h

1h à 2h

2h à 3h

26. Une maintenance est-elle prévue pour les machines de la buanderie ?

Une seule réponse possible.

Oui

Non

27. Quelle est la périodicité de cette maintenance ?

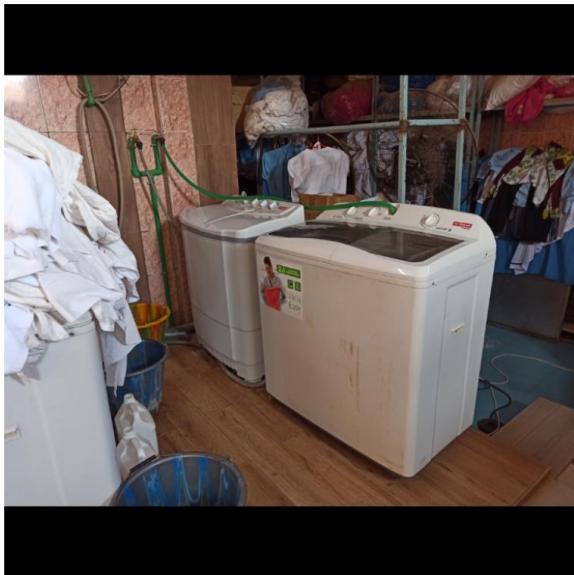
Journalière

Mensuelle

Trimestriel

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 9 : Service de buanderie

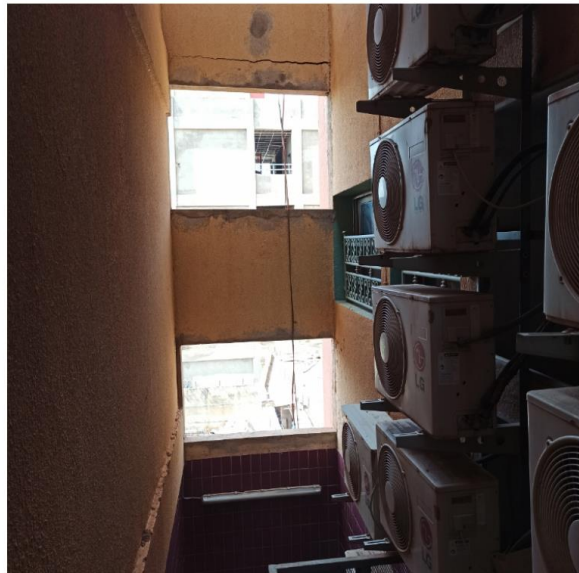
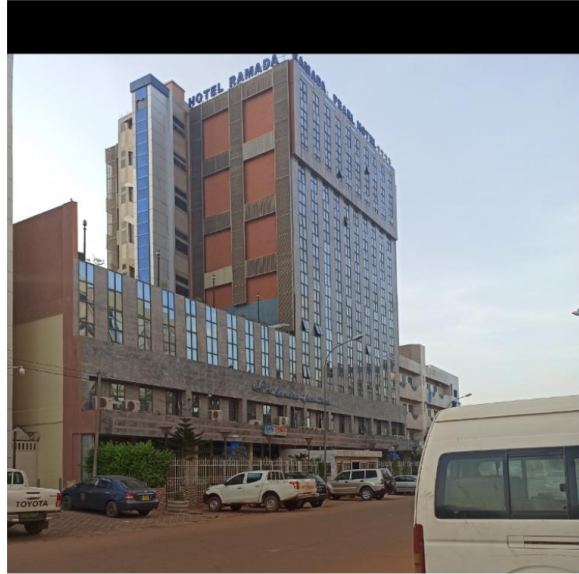


Annexe 10 : Surpresseur



Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 11 : Vues de l'hôtel et chauffe-eaux solaires



Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 12 : Chauffe-eau-électrique et allée principale des chambres



Annexe 13 : Estimation du besoin en eau chaude de l'hôtel

Estimation du besoin en eau chaude de l'hôtel

Soient les données ci-dessous

56 chambres pouvant être occupées par 2 personnes soit au maximum 112 personnes.

Taux d'occupation 78% (88 clients en moyenne)

Besoin en eau chaude par personne : besoin moyen soit 40 l

Température eau froide (T_{ei}) : 25°C

Température d'utilisation finale de l'eau (T_{ef}) : 45°C

Température de stockage de l'eau chaude (T_{st}) : 75°C

1. Le volume d'eau chaude V_e à 45°C nécessaire par jour à l'aide de la formule suivante :

$$V_e = (Be_{pers} \times N_{pers})$$

Avec :

V_e : Volume d'eau chaude journalier à 45°C (l)

Be_{pers} : Besoin en eau chaude par personne (l)

N_{pers} : Nombre de personne en moyenne

$$V_e = 40 \times 88$$

$$V_e = 3\,520 \text{ l}$$

2. Calcul du besoin net journalier en chaleur à l'aide la formule ci-dessous :

$$B_{net} = \varphi_e \times Cp_e \times V_e \times (T_{ef} - T_{ei})$$

Avec :

φ_e : masse volumique de l'eau (1kg·l⁻¹)

Cp_e : chaleur spécifique de l'eau (4,18 kJ·kg·K⁻¹)

B_{net} : Besoin net journalier en chaleur (kWh)

V_e : Volume d'eau chaude journalier à 45°C (l)

T_{ef} : Température d'utilisation finale de l'eau (45°C)

T_{ei} : Température initiale de l'eau (25°C)

$$B_{net} = 3\,520 \times 4,18 \times (45 - 25)$$

$$B_{net} = 294\,272 \text{ kJ} \cdot \text{jr}^{-1}$$

$$B_{net} = 81,74 \text{ kWh} \approx 82 \text{ kWh}$$

3. Calcul du volume de stockage d'eau nécessaire à 60°C

$$B_{net} = \varphi_e \times Cp_e \times V_{45} \times (T_{ef} - T_{ei}) = \varphi_e \times Cp_e \times V_{60} \times (T_{st} - T_{ei})$$

$$V_{60} = V_e \times \frac{T_{ef} - T_{ei}}{T_{st} - T_{ei}}$$

Avec :

V_{60} : volume de stockage d'eau nécessaire à 60°C (l)

T_{ei} : température eau froide (25°C)

T_{ef} : température d'utilisation finale de l'eau (45°C)

T_{st} : température de stockage de l'eau chaude (60°C)

V_e : volume d'eau chaude journalier à 45°C (l)

$$V_{60} = 3\,520 \times \frac{45 - 25}{60 - 25}$$

$$V_{60} = 2\,012 \text{ l}$$

4. Le volume de stockage d'eau V_{75} pour les chauffe-eaux électriques à 75°C

$$V_{75} = V_e \times \frac{T_{ef} - T_{ei}}{T_{st} - T_{ei}}$$

$$V_{75} = 3\,520 \times \frac{45 - 25}{75 - 25}$$

$$V_{75} = 1\,408 \text{ l}$$

Annexe 14 : Dimensionnement des capteurs thermiques

Dimensionnement des capteurs thermiques

Soient les données ci-dessous

56 chambres pouvant être occupées par 2 personnes soit au maximum 112 personnes.

Taux d'occupation 78% (88 clients en moyenne)

Besoin en eau chaude par client : besoin moyen soit 40 l

Température eau froide (T_{ei}) : 25°C

Température d'utilisation finale de l'eau (T_{ef}) : 45°C

Température de stockage de l'eau chaude (T_{st}) : 60°C

Ensoleillement moyen journalier des 3 mois les plus froids : novembre (5,76 kWh·m⁻²·jr⁻¹), décembre (5,32 kWh·m⁻²·jr⁻¹ et janvier (5,47 kWh·m⁻²·jr⁻¹)

Fraction solaire (FS) : 80%

Capteur : JDL-PG2.0 de Nelson Solar avec une surface de 2 m² ; $\eta_{inst} = 0,6$

1. Estimation du volume d'eau chaude V_e à 45°C nécessaire par jour à l'aide de la formule suivante :

$$V_e = (Be_{pers} \times N_{pers})$$

Avec :

V_e : Volume d'eau chaude journalier à 45°C (l)

Be_{pers} : Besoin en eau chaude par personne (l)

N_{pers} : Nombre de personne en moyenne

$$V_e = 40 \times 88$$

$$V_e = 3\,520\text{ l}$$

2. Calcul du besoin net journalier en chaleur à l'aide la formule ci-dessous :

$$B_{net} = \varphi_e \times Cp_e \times V_e \times (T_{ef} - T_{ei})$$

Avec :

φ_e : masse volumique de l'eau (1kg·l⁻¹)

Cp_e : chaleur spécifique de l'eau (4,18 kJ·kg·K⁻¹)

B_{net} : Besoin net journalier en chaleur (kWh)

V_e : Volume d'eau chaude journalier à 45°C (l)

T_{ef} : Température d'utilisation finale de l'eau (45°C)

T_{ei} : Température initiale de l'eau (25°C)

$$B_{net} = 3\,520 \times 4,18 \times (45 - 25)$$

$$B_{net} = 294\,272 \text{ kJ}\cdot\text{jr}^{-1}$$

$$B_{net} = 81,74 \text{ kWh} \approx 82 \text{ kWh}$$

3. Calcul du volume de stockage d'eau nécessaire à 60°C

$$V_{60} = V_e \times \frac{T_{ef} - T_{ei}}{T_{st} - T_{ei}}$$

Avec :

V_{60} : volume de stockage d'eau nécessaire à 60°C (l)

T_{ei} : température eau froide (25°C)

T_{ef} : température d'utilisation finale de l'eau (45°C)

T_{st} : température de stockage de l'eau chaude (60°C)

V_e : Volume d'eau chaude journalier à 45°C (l)

$$V_{60} = 3\,520 \times \frac{45 - 25}{60 - 25}$$

$$V_{60} = 2\,012 \text{ l}$$

4. Calcul de la surface des capteurs thermiques :

$$S_{cs} = FS \frac{n * B_{net}}{\eta_{inst} * \eta_{cs} * I_{GMJ}}$$

Avec :

S_{cs} : surface des capteurs thermiques (m²)

FS : fraction solaire (80%)

n : nombre de jour (1)

B_{net} : Besoin net journalier en chaleur (kWh)

η_{inst} : rendement de l'installation (80%)

η_{cs} : rendement du capteur solaire (60%)

I_{GMJ} : ensoleillement moyen journalier des 3 mois les plus froids de l'année à savoir novembre, décembre et janvier (5,52 kWh·m⁻²·jr⁻¹)

$$S_{cs} = 0,8 * \frac{82}{0,8 * 0,6 * 5,52} = 24,76 \text{ m}^2$$

$$S_{cs} \approx 25 \text{ m}^2$$

5. Calcul du nombre de capteurs thermiques

Pour une surface de capteur de 2m^2 ,

$$N_{CS} = \frac{S_{CS}}{2}$$

Avec :

N_{CS} : nombre de capteurs thermiques

S_{CS} : surface des capteurs thermiques

$$N_{CS} = \frac{25}{2} = 12,5 \simeq 13$$

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 15 : Evaluation de la consommation énergétique pour les climatiseurs actuels.

Désignation	Puissance frigorifique (kW)	Puissance électrique (kW)	Nombre	Puissance frigorifique totale (kW)	COP	FF	Temps de fonctionnement moyen (h) entre Février-Juin	Coefficient d'utilisation	Energie moyenne consommée entre Février-Juin(kWh)	Temps de fonctionnement moyen (h) entre Février-Juin	Coefficient d'utilisation	Energie moyenne consommée entre Juillet-Janvier (kWh)
Chambres classique	5	1,95	56	280	2,56	R22 ou R410A	8	0,78	102 893	4	0,78	72 911
Chambre Suite-Junior	5	1,95	8	68	2,56		8	0,78	14 699	4	0,78	10 416
	3,5	1,21	8		2,89		2	0,78	2 280	1	0,78	1 616
Accueil	7	2,67	2	43,3	2,62		8	0,8	5 161	4	0,8	3 657
	14,65	5,84	2		2,51		20	0,8	28 219	10	0,8	19 996
Service restauration	2,64	0,93	1	2,64	2,84		8	0,8	899	4	0,8	637
Economat	3,5	1,21	1	3,5	2,89		8	0,8	1 169	4	0,8	829
Salle informatique	2,64	0,93	1	2,64	2,84		8	0,8	899	4	0,8	637
Service technique	3,5	1,21	1	3,5	2,89		20	0,8	2 923	10	0,8	2 072

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Désignation	Puissance frigorifique (kW)	Puissance électrique (kW)	Nombre	Puissance frigorifique totale (kW)	COP	FF	Temps de fonctionnement moyen (h) entre Février-Juin	Coefficient d'utilisation	Energie moyenne consommée entre Février-Juin(kWh)	Temps de fonctionnement moyen (h) entre Février-Juin	Coefficient d'utilisation	Energie moyenne consommée entre Juillet-Janvier (kWh)
Local Camera	2,64	0,93	1	2,64	2,84	R22 ou R410A	8	0,8	899	4	0,8	637
Bar	5,27	2,1	1	12,27	2,51		8	0,8	2 029	4	0,8	1 438
	7	2,7	1		2,59		8	0,8	2 609	4	0,8	1 849
Restaurant 1	7	2,7	1	7	2,59		8	0,8	2 609	4	0,8	1 849
Restaurant 2	14,65	5,84	1	28,75	2,51		8	0,8	5 644	4	0,8	3 999
	14,1	5	1		2,82		8	0,8	4 832	4	0,8	3 424
Salle Paling-Wende	5	1,95	2	10	2,56		6	0,8	2 827	3	0,8	2 003

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Désignation	Puissance frigorifique (kW)	Puissance électrique (kW)	Nombre	Puissance frigorifique totale (kW)	COP	FF	Temps de fonctionnement moyen (h) entre février-juin	Coefficient d'utilisation	Energie moyenne consommée entre février-juin(kWh)	Temps de fonctionnement moyen (h) entre juillet-janvier	Coefficient d'utilisation	Energie moyenne consommée entre juillet-janvier (kWh)
Salle Zongna - Nabitenga	5	1,95	8	40	2,56	R22 ou R410A	6	0,8	11 307	3	0,8	8 012
	7	2,67	1	7	2,62		6	0,8	1 935	3	0,8	1 371
Salle Adja Habibata	14,5	5,47	2	29	2,65		6	0,8	7 929	3	0,8	5 619
Salle de conférence 1	14,5	5,47	1	30,31	2,65		6	0,8	3 965	3	0,8	2 809
	5,27	2,1	2		2,51		6	0,8	3 044	3	0,8	2 157
Salle policiers	2,64	0,93	1	2,64	2,84		2	0,8	225	1	0,8	159

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Désignation	Puissance frigorifique (kW)	Puissance électrique (kW)	Nombre	Puissance frigorifique totale (kW)	COP	FF	Temps de fonctionnement moyen (h) entre février-juin	Coefficient d'utilisation	Energie moyenne consommée entre février-juin(kWh)	Temps de fonctionnement moyen (h) entre juillet-janvier	Coefficient d'utilisation	Energie moyenne consommée entre juillet-janvier (kWh)
Salle Zamb-Pawende	5,27	2,1	2	10,54	2,51	R22 ou R410A	6	0,8	3 044	3	0,8	2 157
Salle Ex-bureau DG	5,27	2,1	2	10,54	2,51		6	0,8	3 044	3	0,8	2 157
Salle de conférence 3	3,5	1,21	2	12,27	2,89		6	0,8	1 754	3	0,8	1 243
	5,27	2,1	1		2,51		6	0,8	1 522	3	0,8	1 079
Salle de conférence 2	5,27	2,1	2	10,54	2,51		6	0,8	3 044	3	0,8	2 157
Magazin	3,5	1,21	1	3,5	2,89		2	0,8	292	1	0,8	207
Total			113					208		221 697	104	
Energie totale consommée par an (kWh)	378 793											

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 16 : : Comparaison du COP des différents climatiseurs

Désignation	COP des climatiseurs installés	Marque des climatiseurs recommandés	COP des climatiseurs recommandés
Chambres classique	2,56	DAIKIN FTXM50N	3,68
Chambre Suite-Junior	2,56	DAIKIN FTXM50N	3,68
	2,89	DAIKIN FTXM35N	4,38
Accueil	2,62	DAIKIN FCAHG71H	3,03
	2,51	DAIKIN FVA140A	3,03
Service restauration	2,84	DAIKIN FTXM25N	4,46
Economat	2,89	DAIKIN FTXM35N	4,38
Salle informatique	2,84	DAIKIN FTXM25N	4,46
Service technique	2,89	DAIKIN FTXM35N	4,38
Local Camera	2,84	DAIKIN FTXM25N	4,46
Bar	2,51	DAIKIN FTXM50N	3,68
	2,59	DAIKIN FTXM71N	3,35
Restaurant 1	2,59	DAIKIN FTXM71N	3,35
Restaurant 2	2,51	DAIKIN FVA140A	3,03
	2,82	DAIKIN FVA140A	3,03
Salle Paling-Wende	2,56	DAIKIN FTXM50N	3,68
Salle Zongna -Nabitenga	2,62	DAIKIN FTXM71N	3,35
	2,93	DAIKIN FTXM35N	4,38
Salle Adja Habibata	2,65	DAIKIN FVA140A	3,03
	2,62	DAIKIN FTXM35N	4,38
Salle de conférence 1	2,65	DAIKIN FVA140A	3,03
	2,51	DAIKIN FCAHG71H	3,03
Salle policiers	2,84	DAIKIN FTXM25N	4,46
Salle Zamb-Pawende	2,51	DAIKIN FTXM50N	3,68
Salle Ex-bureau DG	2,51	DAIKIN FTXM50N	3,68
Salle de conférence 3	2,89	DAIKIN FTXM35N	4,38
	2,51	DAIKIN FTXM50N	3,68
Salle de conférence 2	2,51	DAIKIN FTXM50N	3,68
Magasin	2,89	DAIKIN FTXM35N	4,38

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 17 : Evaluation de la consommation énergétique pour les climatiseurs recommandés

Désignation	Marque du climatiseur recommandée	Puissance frigorifique (kW)	Puissance électrique (kW)	Nombre	COP	FF	Temps de fonctionnement moyen journalier entre Février - Novembre (h/jr)	Coefficient d'utilisation	Energie journalière moyenne consommée entre Février - Novembre (kWh)	Temps de fonctionnement moyen journalier entre Décembre-Janvier (h/jr)	Coefficient d'utilisation	Energie journalière moyenne consommée entre Décembre-Janvier (kWh)
Chambres classique	DAIKIN FTXM50N	5	1,36	56	3,68	R32	8	0,78	71 761	4	0,78	50 851
Chambre Suite-Junior	DAIKIN FTXM50N	5	1,36	8	3,68		8	0,78	10 252	4	0,78	7 264
	DAIKIN FTXM35N	3,5	0,8	8	4,38		2	0,78	1 508	1	0,78	1 068
Accueil	DAIKIN FCAHG71H	5	1,65	2	3,03		8	0,8	3 189	4	0,8	2 260
	DAIKIN FVA140A	13,4	4,42	2	3,03		20	0,8	21 357	10	0,8	15 134
Service restauration	DAIKIN FTXM25N	2,5	0,56	1	4,46		8	0,8	541	4	0,8	383
Economat	DAIKIN FTXM35N	3,5	0,8	1	4,38		8	0,8	773	4	0,8	548
Salle informatique	DAIKIN FTXM25N	2,5	0,56	1	4,46		8	0,8	541	4	0,8	383

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Désignation	Marque du climatiseur recommandée	Puissance frigorifique (kW)	Puissance électrique (kW)	Nombre	COP	FF	Temps de fonctionnement moyen journalier entre Février - Novembre (h/jr)	Coefficient d'utilisation	Energie journalière moyenne consommée entre Février - Novembre (kWh)	Temps de fonctionnement moyen journalier entre Décembre-Janvier (h/jr)	Coefficient d'utilisation	Energie journalière moyenne consommée entre Décembre-Janvier (kWh)
Service technique	DAIKIN FTXM35N	3,5	0,8	1	4,38	R32	20	0,8	1 933	10	0,8	1 370
Local Camera	DAIKIN FTXM25N	2,5	0,56	1	4,46		8	0,8	541	4	0,8	383
Bar	DAIKIN FTXM50N	5	1,36	1	3,68		8	0,8	1 314	4	0,8	931
	DAIKIN FTXM71N	7,1	2,12	1	3,35				2 049			1 452
Restaurant 1	DAIKIN FTXM71N	7,1	2,12	1	3,35		8	0,8	2 049	4	0,8	1 452
Restaurant 2	DAIKIN FVA140A	13,4	4,42	1	3,03		8	0,8	4 271	4	0,8	3 027
	DAIKIN FVA140A	13,4	4,42	1	3,03				4 271			3 027
Salle Paling-Wende	DAIKIN FTXM50N	5	1,36	2	3,68		6	0,8	1 971	3	0,8	1 397
Salle Zongna -Nabitenga	DAIKIN FTXM71N	7,1	2,12	1	3,35		6	0,8	1 537	3	0,8	1 089
	DAIKIN FTXM35N	3,5	0,8	8	4,38				4 639			3 287

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Désignation	Marque du climatiseur recommandée	Puissance frigorifique (kW)	Puissance électrique (kW)	Nombre	COP	FF	Temps de fonctionnement moyen journalier entre février - novembre (h/jr)	Coefficient d'utilisation	Energie journalière moyenne consommée entre février - novembre (kWh)	Temps de fonctionnement moyen journalier entre décembre-janvier (h/jr)	Coefficient d'utilisation	Energie journalière moyenne consommée entre décembre-janvier (kWh)
Salle Adja Habibata	DAIKIN FVA140A	13,4	4,42	2	3,03	R32	6	0,8	6 407	3	0,8	4 540
Salle de conférence 1	DAIKIN FVA140A	13,4	4,42	1	3,03		6	0,8	3 204	3	0,8	2 270
	DAIKIN FCAHG71H	5	1,65	2	3,03				0,8			2 392
Salle policiers	DAIKIN FTXM25N	2,5	0,56	1	4,46		2	0,8	135	1	0,8	96
Salle Zamb-Pawende	DAIKIN FTXM50N	5	1,36	2	3,68		6	0,8	1 971	3	0,8	1 397
Salle Ex-bureau DG	DAIKIN FTXM50N	5	1,36	2	3,68		6	0,8	1 971	3	0,8	1 397

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Désignation	Marque du climatiseur recommandée	Puissance frigorifique (kW)	Puissance électrique (kW)	Nombre	COP	FF	Temps de fonctionnement moyen journalier entre Février - Novembre (h/jr)	Coefficient d'utilisation	Energie journalière moyenne consommée entre Février - Novembre (kWh)	Temps de fonctionnement moyen journalier entre Décembre-Janvier (h/jr)	Coefficient d'utilisation	Energie journalière moyenne consommée entre Décembre-Janvier (kWh)
Salle de conférence 3	DAIKIN FTXM35N	3,5	0,8	2	4,38	R32	6	0,8	1 160	3	0,8	822
	DAIKIN FTXM50N	5	1,36	1	3,68			0,8	986		0,8	698
Salle de conférence 2	DAIKIN FTXM50N	5	1,36	2	3,68		6	0,8	1 971	3	0,8	1 397
Magasin	DAIKIN FTXM35N	3,5	0,8	1	4,38		2	0,8	193	1	0,8	137
TOTAL				113			174		154 889	87		109 756
Energie totale consommée par an (kWh)	264 644											

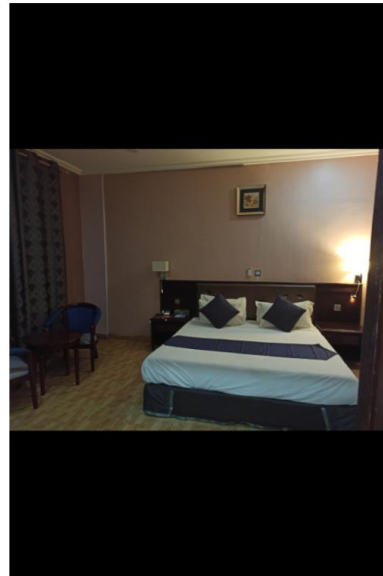
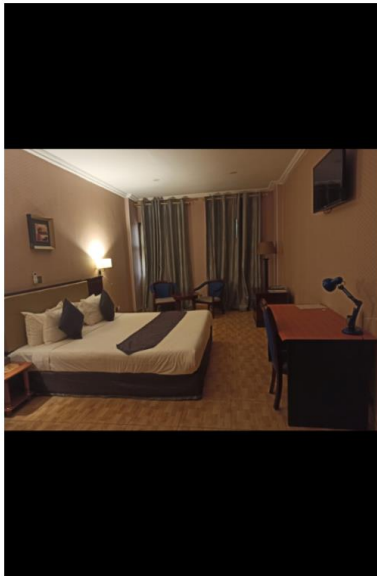
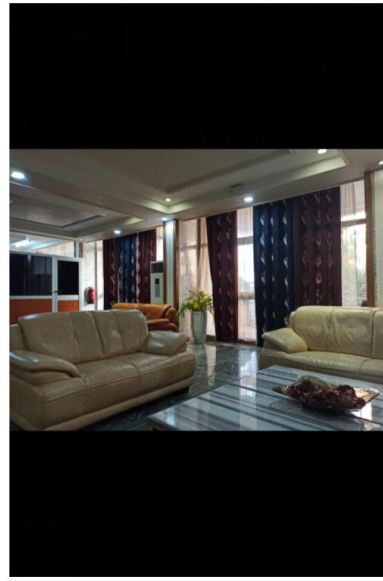
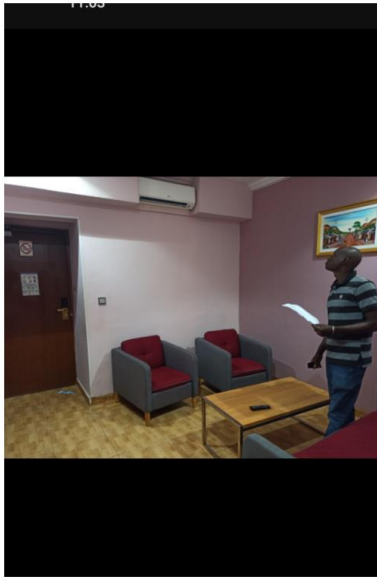
Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 18 : Coûts d'investissement des climatiseurs recommandés

Désignation	Nombre	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
DAIKIN FTXM50N	74	690 000	51 060 000
DAIKIN FTXM35N	13	397 000	5 161 000
DAIKIN FCAG35B	8	525 000	4 200 000
DAIKIN FTXM25N	4	375 000	1 500 000
DAIKIN FTXM71N	3	750 000	2 250 000
DAIKIN FCAHG71H	4	951 415	3 805 660
DAIKIN FVA140A	7	1 749 845	12 248 915
Total	113		80 225 575

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 19 : Vue interne des chambres



Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 20 : Vue interne des salles de conférence, du bar et du restaurant



Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 21 : Quelques images de luminaires



MODEL NO: 10410
TEKNİK ÖZELLİKLER

Besleme Supply	220V / AC
Çalışma Frekansı Operating Frequency	50 - 60 Hz
Max. Yükleme Downloads	Max. 2 x 25W
Çalışma Aralığı (Lux) Operating Range (Lux)	3 Lux - Gün Işığ
Ağırlama Mesafesi Detection Range	9m (Max.)
Ağırlama Alanı Detection Area	120° - 360°
Çalışma Süresi Working Hours	5 - 480 Saniye
Çalışma Aralığı (Isıl) Operating Range (Heat)	-20°C / +40°C
Montaj Yüksekliği Mounting Height	3m - 5m
Güç Sarfıyatı Power Consumption	0,45W (Isıl) 0,1 Wt
Ağırlama Aralığı (Hız) Detection Range (Speed)	0,6 - 1,5 M/S



System technical specifications

General Info	
Modules positioning	Not parallel to surfaces
Mounting structure	Fixed
Module inclination (Tilt)	15°
Module orientation (Azimuth)	0°
Annual solar radiation on module plane	2 241.53 kWh/m²
Number of available surfaces	1
Total available surface	109.28 m²
Total used surface	109.28 m²
Total power	21.300 kW
Total annual energy	35 788.38 kWh

Module	
Brand – Model	Meyer Burger AG - MB Abalone SmartWire Optimal 355W
Total number of modules	60
Modules total surface	98.46 m²

Inverter configuration		
MPPT	Number of modules	Strings per module
1	15	1 x 15
2	15	1 x 15

Inverter	
Brand – Model	SMA Solar Technology AG - STP 12000TL-US-10
Total number	2
Inverter sizing (between 70 % and 120 %)	112.68 % (VERIFIED)
Phase type	Three-phase

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 23 : Fiche technique du Module solaire

Module			
General Data			
Code	<input type="text" value="M.11943"/>	Material type	<input type="text" value="Monocrystalline silicon"/>
Make	<input type="text" value="Meyer Burger AG"/>	Cost [€]	<input type="text" value="0.00"/>
Model	<input type="text" value="MB Abalone SmartWire Optimal 355W"/>		
Electrical characteristics in STC		Other electrical characteristics	
Peak power [W]	<input type="text" value="355.0"/>	Efficiency [%]	<input type="text" value="21.63"/>
Im [A]	<input type="text" value="8.30"/>	Vm [V]	<input type="text" value="35.50"/>
Isc [A]	<input type="text" value="8.90"/>	Voc [V]	<input type="text" value="44.00"/>
Voc Coeff.	<input type="text" value="[-0.2800]"/>	NOCT [°C]	<input type="text" value="0.0"/>
Isc Coeff.	<input type="text" value="[2.670]"/>	Vmax [V]	<input type="text" value="1000.00"/>
Mechanical characteristics		Notes	
Length [mm]	<input type="text" value="1656"/>	Thickness [mm]	<input type="text" value="7"/>
Width [mm]	<input type="text" value="991"/>	Weight [kg]	<input type="text" value="30.20"/>
Area [m²]	<input type="text" value="1.641"/>	Number of Cells	<input type="text" value="60"/>
Notes		<input type="text"/>	

Inverter

General Data

Code

Make

Model

Phase type

Cost [€]

MPPT inputs

Electrical output parameters

N	VMpvt min	VMpvt max	Vmax	Imax	
1	300.0	800.0	1 000.0	33.0	+
2	300.0	800.0	1 000.0	33.0	-

Max. Power [W]

Rated Power [W] Current THD [%]

Nominal voltage [V] Frequency [Hz]

Maximum efficiency [%] European Eff. [%]

Mechanical characteristics

Accumulation data

WxDxH Dimensions [mm]

Weight kg]

Accumulation

Battery type

Useful capacity [kWh] Duration

Other data

Notes

Notes

Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 25 : Dimensionnement des sections de câble

Name	Description	Thickness [mm²]	Length [m]	Current [A]
Grid - Main switch panel	FG7R 0.6/1 kV	6.0	4.00	30.74
Main switch panel - Photovoltaic panel	FG7R 0.6/1 kV	6.0	1.00	30.74
Photovoltaic panel - I 1	FG7R 0.6/1 kV	6.0	4.00	15.37
I 1 - MPPT 1		6.0	1.00	8.30
I 1 - Field Switch panel 1	H1Z2Z2-K	2.5	6.00	8.30
Field Switch panel 1 - S 1	H1Z2Z2-K	2.5	8.00	8.30
I 1 - MPPT 2		6.0	1.00	8.30
I 1 - Field Switch panel 2	H1Z2Z2-K	2.5	6.00	8.30
Field Switch panel 2 - S 2	H1Z2Z2-K	2.5	8.00	8.30
Photovoltaic panel - I 2	H1Z2Z2-K	6.0	4.00	15.37
I 2 - MPPT 1		6.0	1.00	8.30
I 2 - Field Switch panel 3	H1Z2Z2-K	2.5	6.00	8.30
Field Switch panel 3 - S 3	H1Z2Z2-K	2.5	8.00	8.30
I 2 - MPPT 2		6.0	1.00	8.30
I 2 - Field Switch panel 4	H1Z2Z2-K	2.5	6.00	8.30
Field Switch panel 4 - S 4	H1Z2Z2-K	2.5	8.00	8.30

Annexe 26 : Composition du coffret DC-AC

Parafoudre AC type 2 - 20kA-1,2kV

Disjoncteur différentiel AC tétrapolaires 20A type AC

Disjoncteur AC 20A pour la protection du parafoudre

Interrupteur-sectionneur DC 500V/32A, 600V/20A, 800V/15A

Parafoudre DC type 2 - 20kA - 3,6kV

Les parties AC et DC sont séparées par une cloison.

IP65



Audit énergétique : Cas de l'immeuble Ramada Pearl Hôtel

Annexe 27 : Gaz à effet de serre évités grâce à l'installation solaire photovoltaïque

Emissions avoided

Data from project

General data

Total annual energy [kWh]	35 788.38	Efficiency loss [%]	0.90
System's lifespan [years]	25		

Greenhouse gas emissions avoided

Data source: 2016 UK Greenhouse gases (GHG) Conversion Factors

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total GHG
Emission factors [kg CO ₂ e/kWh]	0.46254	0.00044	0.00236	0.46534
Emissions avoided in one year [kg CO ₂ e]	16 553.56	15.75	84.46	16 653.76
Emissions avoided in 25 years [kg]	372 081.20	353.95	1 898.46	374 333.61

TOE saved

Data source	World Energy Council 2007
Conversion factor TOE to electric MWh [TOE/MWh]	0.220
TOE saved in one year	7.87
TOE saved in 25 years	176.97

