



ÉVALUATION DU POTENTIEL D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ET FINANCIÈRE DE LA CITÉ ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER EN GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE

SPÉCIALITÉ : ÉNERGIES RENOUVELABLES

Présenté et soutenu publiquement le 22/09/2020 par :

Mahamadou MAIGA (2017 0431)

**Directeur de mémoire : Pr. Y. Moussa SORO, Chef du département Génie Électrique
Énergétique et Industriel à 2IE et Maitre de conférences CAMES**

**Maitre de stage : Ing. Mahamoud TRAORE, Chef de la Division Maitrise de l'Energie
et Coordinateur du Programme d'Efficacité Énergétique**

Structure d'accueil du stage : Direction Nationale de l'Energie (D. N. E.)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Ing. Jean Francis SEMPORE

Membres et correcteurs : Ing. Madieumbe GAYE

Pr. Y. Moussa SORO

Promotion [2019/2020]

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

✚ À mon bon Dieu, **Allah** azzawadjal, le seigneur de l'univers, celui qui m'a permis d'arriver aux termes de ma formation.

✚ Mon Dieu, facilite-moi le reste de mes épreuves comme vous l'avez toujours fait.

✚ À ma tendre Mère **Hawa Oumar MAIGA**, celle qui m'a donné la vie, m'a toujours soutenu dans les moments difficiles et n'a jamais cessé de me témoigner son amour maternel malgré tous mes caprices.

✚ Maman chérie, Amazone des temps modernes, femme battante, qu'Allah soit satisfait de nos œuvres, t'accorde santé et longévité afin que tu jouisses des fruits de ton labeur. Je t'aime maman !

✚ À mon Père Feu **Alassane Backa MAIGA**, celui qui m'a donné la vie et a été la meilleure des personnes envers moi.

✚ Merci papa, merci pour tous, je sais que tu aurais aimé assister ce jour mais c'est Allah qui a choisi le meilleur pour toi, qu'il soit satisfait de nos œuvres. Je t'aime Papa !

✚ À mes Parents, plus particulièrement **Moussa Kambessou MAIGA**, pour leur présence et leur soutien inconditionnel, je vous témoigne ma profonde gratitude. Puisse Allah vous comble au-delà de vos attentes et soit satisfait de nos œuvres !

✚ À mes frères et sœurs, plus particulièrement **Fadimata Alassane MAIGA**, pour toute l'affection dont ils m'ont toujours apportée, et tous les conseils reçus. Merci pour vos soutiens que vous m'avez toujours témoignés. Qu'Allah fasse que l'amour fraternel rayonne entre nous et soit satisfait de nos œuvres !

REMERCIEMENTS

Le présent mémoire est le fruit d'un stage effectué à la **DNE**. Sa réalisation a été possible grâce aux multiples soutiens et conseils reçus de la part de certaines personnes que j'aimerais remercier sincèrement et témoigner ma profonde gratitude bien qu'insuffisant.

Je tiens à remercier **Mme Aminata FOFANA**, Directrice Nationale de l'Energie, pour m'avoir ouvert les portes de la **DNE**. Je suis particulièrement reconnaissante envers **Mr. Mahamoud TRAORE**, respectivement Chef de la Division Maitrise de l'Energie, pour les efforts consentis dans la réalisation de mes missions. Merci à l'ensemble de l'équipe de la **DNE** pour leur accueil chaleureux, leur gentillesse, leur patience, leur bonne humeur générale et m'avoir acceptée et intégrée dans cette grande famille.

Mes vifs remerciements au **Pr. Y. Moussa SORO**, Maître de conférences CAMES, qui a accepté de diriger les travaux de ce mémoire. Qu'il trouve ici ma reconnaissance pour ses conseils avisés sur les travaux d'économie d'énergie portant sur la cité administrative.

Merci à **Mr. Jean Francis SEMPORE**, Expert Énergéticien et Directeur des relations internationales à **2iE**, d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance. Ses commentaires et critiques ont été d'un grand apport scientifique et technique pour la finalisation du présent mémoire.

Mr. Madieumbe GAYE, Enseignant et Chef de services technique et sécurité à **2iE**, a accepté de participer à l'évaluation de mon mémoire. Je lui exprime ici ma sincère gratitude pour ses remarques, suggestions et conseils qui ont permis de valider définitivement ce présent mémoire.

Mr. Daouda SAMAKE, Ingénieur en charge de l'électricité de la cité administrative, m'a fourni toutes les informations nécessaires, concernant mon étude d'estimation des possibilités d'économie d'énergie de la cité administrative. Merci pour le suivi et l'intérêt porté sur le travail que j'ai réalisé.

Je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de mes travaux de fin d'études, plus particulièrement **Mr. ISSOUF SORY**, mon frère et compagnon de tous les jours à **Ouagadougou**. Recevez sur ces quelques lignes mes sincères remerciements.

Je témoigne ma gratitude à l'ensemble du personnel de la **DNE** et du **2iE** par l'aide de qui je suis arrivé aux termes de ma formation.

AVANT-PROPOS

Ce mémoire est le fruit du stage de fin de cycle que j'ai réalisé dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master d'Ingénierie en Génie Électrique et Énergétique dont les enseignements ont été délivrés à l'institut 2iE.

L'institut 2iE est un centre d'enseignement supérieur et de recherche membre de la conférence des grandes écoles (CGE) et basé au Burkina Faso. Spécialisés dans les domaines de l'eau, de l'énergie, de l'environnement, du génie civil et des mines, ses diplômes d'ingénieur ont reçu l'accréditation de la Commission française des Titres d'Ingénieur (CTI) ce qui leur octroie une reconnaissance européenne à travers le label EUR-ACE.

2iE adopte le système LMD en proposant des diplômes de niveau licence (Bac+3), Master (Bac+5) et doctorat (Bac+8). Le présent mémoire témoigne de la fin d'une formation de Master d'ingénierie. En effet, à 2iE les étudiants en fin de cycle Master sont soumis à un dernier stage académique d'une durée de 5 mois dans lequel ils travailleront sur un thème afin d'élaborer un mémoire parallèlement avec d'autres tâches d'ingénierie sur le terrain. Ce stage académique a pour but essentiel d'assurer l'application pratique de l'enseignement délivré.

Pour ce qui nous concerne, il s'agit d'estimer les potentiels d'économie d'énergie et financière de la Cité administrative de Bamako à travers le Programme d'Efficacité Énergétique (PEE) du Mali. Le stage a été effectué à la Direction Nationale de l'Energie, plus précisément à la Division Maitrise de l'Energie entre février 2020 et juillet 2020.

Toutefois, les difficultés rencontrées concernaient le recensement des récepteurs et la collecte des données de conception et des plaques signalétiques. La cité administrative est étendue sur une surface assez grande de plus 10 ha, mais le personnel ne nous a pas facilité les tâches de recensement des récepteurs et les récepteurs auxquels nous avons eu accès ne possédaient pas toujours une plaque signalétique, dû à leur vieillesse. Néanmoins nous avons solutionnés de notre mieux en se servant de l'uniformité des récepteurs et des locaux.

Objectivement, cette expérience m'a permis d'apprendre tant en termes de connaissances théoriques et pratiques sur l'économie d'énergie que sur le plan personnel. J'ai pu assister à de nombreuses réunions et démonstrations sur le terrain qui m'ont permis de pratiquer de nombreuses méthodes théoriques et techniques concernant l'économie d'énergie et l'efficacité énergétique. Vous trouverez donc dans ce mémoire le résultat d'un stage que je qualifierais de formateur et d'enrichissant à titre personnel.

RESUME

Dans l'optique de réduire la consommation électrique des installations gouvernementales du Mali, la Direction Nationale de l'énergie (DNE) a mis en place un programme national d'efficacité énergétique (PEE). Ce programme nous a amené, dans le cadre de notre stage, à travailler sur la 2ème installation gouvernementale la plus énergivore du pays : celle de la cité administrative de Bamako. Ce qui a fait l'objet de la formulation de mon thème de stage comme suit : « **Évaluation du potentiel d'économie d'énergie et financière de la Cité administrative de Bamako** ».

Les missions ont porté sur la collecte et l'analyse des données de consommation, l'estimation du potentiel d'économie d'énergie suite à des mesures d'optimisation, une étude de la rentabilité du projet à long terme, ainsi que la production du rapport final.

Les puissances nominales et les temps de fonctionnement des équipements électriques ont permis d'estimer la consommation électrique. La faible différence entre celle-ci et les factures d'électricité a montré la fiabilité des données collectées sur le site. Il a ainsi été révélé des éléments de gaspillage d'énergie. Ces éléments concernent tant l'utilisation d'équipements énergivores que les habitudes de consommation du personnel.

De ce fait certaines mesures ont été préconisées suite auxquelles des potentialités avec et sans investissement sont apparues. Celles-ci ont trait à la sensibilisation des usagers et au remplacement d'équipements énergivores par des équipements plus efficaces. Le potentiel d'économie d'énergie ainsi obtenu est de **1 676,55 MWh/an** soit **18,6 %** de la consommation énergétique, pour une émission évitée de **1140 Tonnes de CO₂** du point de vue environnementale. Le coût d'investissement total du projet s'élève à **1 022 954 500 F CFA** pour une économie financière de **155 919 150 F CFA/an** sur la facture d'électricité. En outre, **8,78 %** du potentiel d'économie peut être atteint sans investissement, **57,5 %** à une période de retour sur investissement inférieure à **4 ans** et **33,72 %** inférieure à **14 ans**.

Mots clés :

- 1 - Audit énergétique**
- 2 - Économie d'énergie**
- 3 - Efficacité énergétique**
- 4 - Énergivore**
- 5 - Facture d'électricité**

ABSTRACT

With a view to reducing the electricity consumption of government facilities in Mali, the National Energy Directorate (DNE) has set up a national energy efficiency program (PEE). This program led us, as part of our internship, to work on the second most energy-consuming government installation in the country: that of the administrative city of Bamako. This was the subject of the formulation of my internship theme as follows: « **Assessment of the energy and financial saving potential of the administrative city of Bamako** ».

The missions focused on the collection and analysis of consumption data, the estimation of the energy saving potential following optimization measures, a study of the long-term profitability of the project, as well as the production of the final report.

The nominal powers and the operating times of the electrical equipment made it possible to estimate the electrical consumption. The small difference between this and the electricity bills showed the reliability of the data collected on the site. Elements of wasted energy were thus revealed. These elements concern both the use of energy-intensive equipment and the consumption habits of the staff.

As a result, certain measures have been recommended following which potentialities with and without investment have appeared. These relate to raising user awareness and replacing energy-consuming equipment with more efficient equipment. The energy saving potential thus obtained is **1 676.55 MWh/Year** or **18.6 %** of energy consumption, for an avoided emission of **1 140 tonnes of CO₂** from an environmental point of view. The total investment cost of the project is **1 022 954 500 F CFA** for a financial savings of **155 919 150 F CFA/Year** on the electricity bill. In addition, **8.78 %** of the savings potential can be achieved without investment, **57.5 %** at a payback period of less than **4 years** and **33.72 %** of less than **14 years**.

Keywords :

1 - Energetic audience

2 - Energy saving

3 - Energetic efficiency

4 - Energy eating

5 - Electricity bill

SIGLES ET ABBREVIATIONS

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
ADEME	: Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
BC	: Basse Consommation
BP	: Basse pression
CA	: Cité administrative
CO₂	: Dioxyde de Carbone
COP	: Coefficient Of Performancy
Cpm	: Copie par minute
CTH	: Climat Tropical Humide
DME	: Division Maitrise de l'Energie
DNE	: Direction Nationale de l'Energie
EDM	: Energie du Mali
F CFA	: Francs des Colonies Françaises d'Afrique
IEPF	: Institut de l'Energie et de l'Environnement Pour la Francophonie
IRC	: Indice de Rendu des Couleurs
GE	: Groupe Électrogène
GEG	: Groupe d'Eau Glacée
HP	: Haute Pression
HTA	: Haute Tension catégorie A
IRENA	: International Renewable Energy Agency
PEE	: Programme d'Efficacité Énergétique
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
TRI	: Temps de Retour sur l'Investissement
TV	: Téléviseur
VA	: Volt Ampère
VAr	: Volt Ampère réactive
VIP	: Very Important Person
W	: Watt
Wh	: Watt-heure

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS.....	ii
AVANT-PROPOS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
SIGLES ET ABREVIATIONS	vi
TABLE DES MATIERES	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
INTRODUCTION	1
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET DU SITE :	2
I. 1. Présentation de la structure d'accueil	2
I. 2. Présentation de la cité administrative	6
II. PRESENTATION DU PROJET	8
II.1. Contexte	8
II.2. Justification	9
II.3. Objectif du projet	9
III. ETAT DES LIEUX	9
III. 1. Méthodologie de collecte des données.....	9
III. 2. Sources d'alimentation en énergie électrique	10
III. 3. Schéma électrique	12
III. 4. Factures d'électricité	13
III. 5. Inventaire des récepteurs.....	14
III. 6. Horaire de consommation énergétique journalière	17
IV. METHODOLOGIE DE TRAVAIL	17
IV. 1. Visite préliminaire sur le site	18

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

IV. 2.	Audit préliminaire	18
IV. 3.	Audit approfondi	19
V.	AUDIT PRELIMINAIRE	21
V.1	Constats et plan d'actions immédiates.....	21
V.2	Consommation énergétique	23
V.3	Recensements des postes énergivores	26
VI.	AUDIT APPROFONDI	27
VI.1.	Éclairage	27
VI.2.	Bureautique	33
VI.3.	Équipements de télécommunication	36
VI.4.	Climatisation	39
VI.5.	Les machines électriques	46
VI.6.	Récapitulation des résultats.....	51
VII.	EVALUATION FINANCIERE	52
VII.1.	Éclairage	52
VII.2.	Bureautique	54
VII.3.	Enveloppe du bâtiment	55
VII.4.	Climatisation	55
VII.5.	Récapitulation financière	56
VIII.	IMPACT ENVIRONNEMENTAL	57
IX.	RECOMMANDATIONS.....	58
IX.1.	La formation.....	58
IX.2.	La sensibilisation	59
IX.3.	L'entretien et la maintenance	59
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	60
	BIBLIOGRAPHIE.....	61
	ANNEXE	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques techniques des transformateurs existants	11
Tableau 2: Caractéristiques techniques des groupes électrogènes existants	11
Tableau 3: Caractéristiques techniques de la batterie de condensation existante	12
Tableau 4: Caractéristiques techniques des systèmes d'éclairage existants	14
Tableau 5: Caractéristiques techniques des équipements existants de la bureautique	14
Tableau 6: Caractéristiques techniques des équipements existants de télécommunication	15
Tableau 7: Caractéristiques techniques des systèmes de climatisation existants	15
Tableau 8: Caractéristiques techniques des machines électriques existantes	16
Tableau 9: Anomalies sur la consommation et plans d'action immédiates	21
Tableau 10 : Estimation théorique de la consommation des différents systèmes existants	24
Tableau 11: Caractéristiques techniques des différents types de lampes	28
Tableau 12: Consommation énergétique du système d'éclairage	28
Tableau 13: Densités moyennes de puissance électrique d'éclairage installée dans les bâtiments	29
Tableau 14: Efficacités lumineuses calculées des sources existantes	30
Tableau 15: Caractéristiques des luminaires existant et ceux de substitution proposée	31
Tableau 16: Consommation énergétique du système d'éclairage après application des mesures	31
Tableau 17: Densité moyennes de puissance électrique après optimisation	32
Tableau 18: Consommation énergétique de la bureautique	35
Tableau 19: Caractéristiques des imprimantes et photocopieuses existantes et ceux proposées	35
Tableau 20: Consommation de la bureautique après application des mesures d'optimisation	36
Tableau 21 : Consommation énergétique des équipements de télécommunication	37
Tableau 22: Consommation des équipements de télécommunication après application des mesures	38
Tableau 23 : Consommation énergétique des systèmes de climatisation	40
Tableau 24 : Indicateurs de la consommation des systèmes de climatisation des bâtiments	41
Tableau 25: Coefficients de performance calculés des machines frigorifiques	42
Tableau 26 : Caractéristiques du split AIRWELL existant et celui de DAIKIN proposé	43
Tableau 27 : Caractéristiques du split SHARP existant et celui de DAIKIN proposé	43
Tableau 28: Consommation annuelle des systèmes de climatisation après application des mesures	44
Tableau 29: Indicateurs de consommation après optimisation	44
Tableau 30 : Consommation énergétique annuelle des machines électriques	47
Tableau 31: Consommation des machines électriques après application des mesures	50
Tableau 32: Synthèse de l'audit approfondi	51

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Tableau 33 : Gains financiers dus aux changements des lampes	52
Tableau 34 : Coût d'investissement des mesures d'économie du système d'éclairage	53
Tableau 35 : Coût d'investissement des mesures d'économie de la bureautique	54
Tableau 36 : Coût d'investissement des mesures d'économie de l'enveloppe	55
Tableau 37 : Coût d'investissement des mesures d'économie du système de climatisation	56
Tableau 38: Récapitulation de l'évaluation financière	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la Direction Nationale de l'Energie	6
Figure 2: Aperçu de la cité administrative depuis le flanc du fleuve Niger	7
Figure 3 : Vue satellitaire de la Cité administrative de Bamako	8
Figure 4 : Schéma électrique simplifié de la CA	12
Figure 5: Profil de la consommation énergétique de l'année 2019	13
Figure 6 : Répartition de la consommation énergétique annuelle entre des postes de consommation	25
Figure 7: Diagrammes de l'énergie estimée et consommée en 2019	26
Figure 8 : Éclairage d'un local par la lumière naturelle (source maison-confort.fr)	27
Figure 9: Densité de puissance d'éclairage installée avant et après optimisation	32
Figure 10 : Ordinateur connecté aux périphériques les plus courants (portail-informatique.fr)	33
Figure 11 : Schéma de fonctionnement d'une photocopieuse (source Wikipédia)	34
Figure 12: Réseau Wi-Fi de connexion sans fil	37
Figure 13 : Schéma illustratif du fonctionnement d'une machine frigorifique (Source ABC CLIM)	39
Figure 14: Indicateur de consommation des systèmes de climatisation avant et après optimisation	45
Figure 15 : Chaîne de consommation d'une machine électrique	47
Figure 16 : Schéma illustratif de fonctionnement des appareils de chauffage (source Group Digital)	47
Figure 17: Ordres de grandeur des émissions de CO2 par kWh (source doc.iea.org)	57

INTRODUCTION

Les crises successives de l'énergie depuis 1973 ont fait naître une notion peu connue jusque-là dans le comportement du consommateur d'énergie. C'est la notion d'économie d'énergie. Il y a quelques décennies, personne ne se souciait de l'utilisation efficace de l'énergie dans les activités industrielles, domestiques ou de transport. La notion d'économie d'énergie est née de la conscience collective qu'ont aujourd'hui les hommes que l'utilisation actuelle de l'énergie n'est pas viable à long terme.

Les réserves fossiles qui semblaient jusqu'à présent inépuisables sont vouées à un tarissement irréversible. C'est la raison pour laquelle le monde entier se tourne vers les énergies renouvelables (solaire, éolien, géothermie, biomasse...). Pour accompagner l'émergence des énergies renouvelables il faut également apprendre à économiser l'énergie pour réduire sa consommation. Beaucoup de procédés énergétiques actuels consomment plus de 30 % de la quantité d'énergie nécessaire à leur mise en œuvre (COULIBALY, 2010). C'est ce que les économies d'énergie cherchent à éviter.

De plus l'énergie pose aujourd'hui de graves problèmes environnementaux. C'est essentiellement l'effet de serre lié à l'utilisation des énergies fossiles. Il n'est plus un secret pour personne que l'effet de serre dû à l'activité humaine à la surface du globe provoque le rechauffement climatique et certaines des catastrophes naturelles que nous connaissons. La consommation effrénée des énergies fossiles dans le monde accélère ce processus. Faute de pouvoir arrêter cette consommation il faut la freiner. C'est aussi l'un des objectifs des économies d'énergie.

Mais les problèmes environnementaux ne se limitent pas à l'effet de serre. Ils sont aussi la pollution atmosphérique par les oxydes de carbone et d'azote, les pluies acides dues aux acides nitriques et sulfuriques résultant de la combustion des énergies fossiles...

Autant de raisons qui font que l'énergie doit être utilisée avec précaution. La règle aujourd'hui est d'apprendre à :

- ✚ Économiser l'énergie dans le monde à travers toutes les activités humaines ;
- ✚ Utiliser mieux l'énergie, c'est-à-dire augmenter son efficacité d'utilisation ;
- ✚ Diversifier les sources d'énergie utilisées afin de ne pas dépendre d'une seule source.

L'énergie est un besoin vital économique d'un pays. Il est évident que lorsqu'un pays est dépourvu au niveau des ressources d'énergies primaires, les autorités gouvernementales doivent instaurer une politique énergétique visant à réduire la dépendance et les risques liés à l'approvisionnement. Un élément pertinent de cette politique consiste à réaliser des économies d'énergie au niveau national. Les avantages en sont conséquents : une diminution de la dépendance stratégique et politique vis-à-vis des pays fournisseurs, un allègement de la facture énergétique du pays, un gain de productivité de l'économie, une amélioration de la protection de l'environnement. Les incitations gouvernementales à économiser l'énergie correspondent alors à un enjeu politique et macro-économique. En se situant dans ce contexte, la DNE du Mali a mis en place une politique d'efficacité énergétique dans les installations gouvernementales du pays. Le présent mémoire porte sur un axe de cette politique. En effet, Nous allons évaluer les potentiels d'économie d'énergie et financière de la cité administrative de BAMAKO.

Après la présentation du projet et de la méthodologie de travail, une analyse des données collectées sera effectuée afin de ressortir les potentiels d'économie d'énergie. Il est question ensuite de chiffrer les économies réalisables et d'établir le calcul financier.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET DU SITE

I. 1. Présentation de la structure d'accueil

I. 1. 1. Présentation

La structure d'accueil pour le stage de fin de cycle, est la Direction Nationale de l'Energie. La Direction Nationale de l'Énergie, appartenant au Ministère de l'Eau et de l'Energie, est la direction d'administration centrale de gestion et d'exploitation des ressources énergétiques du Mali. Elle a pour mission l'élaboration des éléments de la politique nationale en matière d'énergie, la coordination et le contrôle technique des services régionaux, subrégionaux et des services rattachés qui concourent à la mise en œuvre de ladite politique. À ce titre, elle est chargée de :

- ✚ Évaluer le potentiel des ressources énergétiques et veiller à leur mise en valeur ;
- ✚ Étudier, contrôler et superviser les travaux de réalisation des ouvrages énergétiques et veiller au respect des prescriptions techniques et des normes de sécurité ;
- ✚ Participer aux actions de coopération dans le domaine énergétique.

Elle est sous la direction d'un Directeur nommé par décret pris en conseil des ministres, sur proposition du Ministre chargé de l'Eau et de l'Energie. Le Directeur National est assisté d'un Directeur National Adjoint qui le remplace de plein droit en cas de vacance, d'absence ou d'empêchement.

I. 1. 2. Composition de la DNE

La DNE comprend quatre divisions : La Division Étude, la Division Infrastructure Énergétique, la Division Maitrise de l'Energie et la Division Régulation, Documentation et Communication.

La division d'accueil pour ce stage a été la Division Maitrise de l'Energie, plus précisément la Section Économie d'Energie et Efficacité Énergétique. En effet, seul les 3 premiers mois ont été effectués dans cette division. Ensuite pour une bonne assimilation de tous les domaines en charge et compétence de la DNE, les 2 autres derniers mois ont été répartis entre les trois divisions restantes.

Chaque division est dirigée par un chef qui est chargé de la coordination et de la mise en œuvre de toutes les actions entreprises.

I. 1. 2. 1. La Division Étude

Elle a le rôle d'intervenir en amont de l'élaboration de tous les documents nationaux relatives aux domaines de l'énergie et d'apprécier les évolutions et transformations enregistrées tant quantitativement et qualificativement que spatialement. Pour mener à bien ses missions, elle est chargée :

- ✚ D'inventorier les sites de barrages sur les grands et moyens cours d'eau ;
- ✚ De produire les données pour toutes études en vue d'évaluer le potentiel en ressources énergétiques ainsi que l'offre et la demande d'énergie ;
- ✚ De contribuer à la planification dans le secteur énergétique ;
- ✚ D'élaborer les bilans énergétiques nationaux ;
- ✚ De préparer les requêtes pour le financement des projets et programmes ;
- ✚ D'analyser les études économiques, financières et tarifaires.

La Division Études comprend deux (02) sections :

- ✚ Section Études ;
- ✚ Section Suivi des Projets et programmes.

I. 1. 2. 2. La Division Infrastructure Énergétique

La division infrastructure énergétique intervient en tête d'autorisation et de suivi de toute création de service énergétique moderne au Mali. Elle participe aussi à la mise en place des stratégies d'optimisation des couts de produits pétroliers ainsi que la réglementation d'aménagements d'infrastructures énergétiques. Ses missions sont les suivantes :

- ✚ Élaborer les stratégies de contrôle et de suivi de tous les opérateurs du secteur de l'énergie ;
- ✚ Contribuer à l'élaboration de la réglementation en matière d'aménagements hydroélectriques et centrales thermiques et d'autres sources de production, de transport, de distribution et d'utilisation de l'énergie et de veiller à sa mise en application ;
- ✚ Coordonner, contrôler et suivre les constructions et exploitations d'ouvrages et infrastructures énergétiques ;
- ✚ Contribuer à l'élaboration du bilan énergétique national ;
- ✚ Instruire les dossiers relatifs à l'octroi des autorisations, licences et concessions portant sur la réalisation d'infrastructures énergétiques ;
- ✚ Participer à l'élaboration des stratégies d'importation et de consommation des produits pétroliers.

La Division Infrastructures Énergétiques (DIE) comprend quatre (04) sections :

- ✚ Section Aménagements Hydroélectriques et Énergies Renouvelables ;
- ✚ Section Centrales Thermiques ;
- ✚ Section Transport et Distribution d'Électricité ;
- ✚ Section Hydrocarbures.

I. 1. 2. 3. La Division Maitrise de l'Energie

Elle a un rôle de réflexion, de proposition pour améliorer l'efficacité des techniques d'utilisation de l'énergie à tous les niveaux (domestique, industriel, etc...), et œuvre à l'application pacifique de l'énergie nucléaire.

Elle est chargée de :

- ✚ Veiller à améliorer l'efficacité des systèmes d'approvisionnement, de production et de consommation ;
- ✚ Collecter l'information sur les ressources et les technologies d'énergie domestique sur les comportements rationnels de consommation ;

- ✚ Coordonner les activités relatives à l'application des techniques utilisant l'énergie nucléaire au niveau des différents usages (hydraulique, l'élevage, l'agriculture, la médecine, l'industrie) ;
- ✚ Veiller au respect des mesures et normes en matière de protection radiologique et sûreté nucléaire ;
- ✚ Participer à l'élaboration du bilan énergétique national et contribuer à l'établissement des plans de développement sous-sectoriel ;
- ✚ Promouvoir l'utilisation des combustibles de substitution au bois et au charbon de bois (gaz butane, les déchets, les résidus agricoles et végétaux) ;
- ✚ Encadrer et soutenir les initiatives en matière d'économie d'énergie ;
- ✚ Contrôler tout projet énergétique, sa conformité avec les lois et règlements nationaux en matière de protection environnementale.

Les objectifs sont les suivants :

- ✚ Disposer d'une banque de données fiables ;
- ✚ Modifier les mauvaises habitudes de consommation ;
- ✚ Rendre accessible toutes les énergies de substitution (les tiges de mil et cotonniers, les fourneaux et foyers améliorés, plantes pourghère, et le gaz butane etc....)

La Division Maîtrise de l'Energie comprend trois sections :

- ✚ Section Économie d'Energie et Efficacité Énergétique ;
- ✚ Section Energie Domestique ;
- ✚ Section Application des Techniques Nucléaires.

I. 1. 2. 4. La Division Régulation, Documentation et Communication

Elle a un rôle de numérisation et de partage des informations concernant les données relatives aux domaines de l'énergie. Elle s'assure aussi de l'application des lois et règlements en matière de protection environnementale. À cet effet, elle est chargée de :

- ✚ Contribuer à l'élaboration des différents éléments de politiques en matière d'énergie ;
- ✚ Contribuer à l'élaboration et au suivi des indicateurs du secteur de l'énergie ainsi qu'à la formulation des mesures correctives ;
- ✚ Élaborer les textes législatifs, réglementaires et normatifs ;
- ✚ Veiller au respect de la conformité des projets énergétiques avec les lois et règlements en matière de protection environnementale ;

- ✚ Constituer et mettre à jour les bases de données en matière d'énergie ;
- ✚ Concevoir et mettre en œuvre une stratégie de communication ;
- ✚ Collecter, centraliser, traiter, diffuser l'information et archiver la documentation en matière d'énergie ;
- ✚ Contribuer à l'informatisation de la structure.

La Division Documentation, Règlementation et Communication comprend trois sections :

- ✚ Section Norme et Règlementation ;
- ✚ Section Communication et Informatique ;
- ✚ Section Documentation et Archive.

I. 1. 3. Organigramme de la DNE

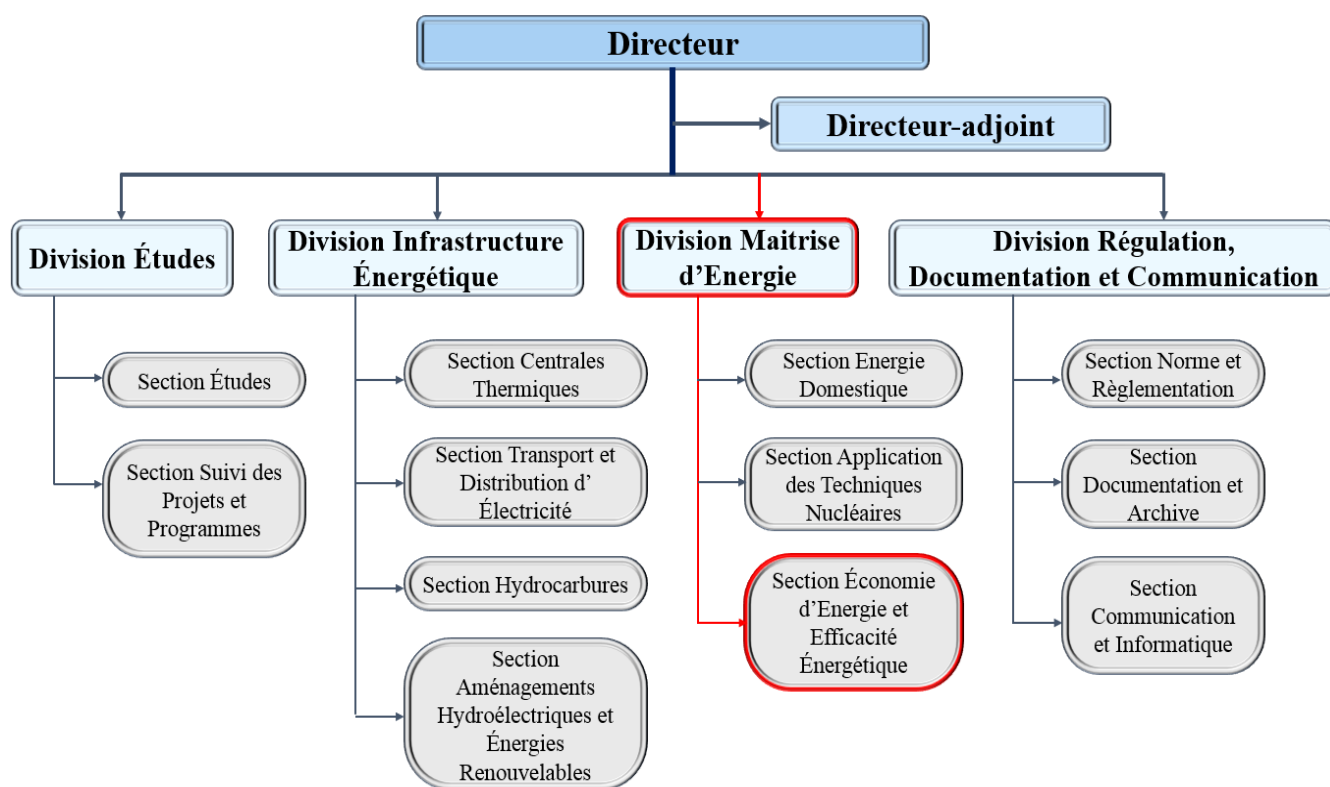


Figure 1: Organigramme de la Direction Nationale de l'Energie

I. 2. Présentation de la cité administrative

Inaugurée en 2010, la cité administrative est le plus grand siège administratif de Bamako. Avec de véritables bijoux architecturaux et des espaces verts, c'est un ensemble de 14 immeubles. Elle regroupe une bonne partie des ministères du pays (soit 75 %) y compris la primature. Elle contient 12 bâtiments R+3 de même plan architectural, un bâtiment R+1 et un autre bâtiment R+4 qui est la primature d'architecture différente des autres bâtiments.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

L'ensemble de ces bâtiments est logé au bord du fleuve Niger, coté rive gauche, sur une surface de plus de 10 ha à Bamako au quartier du fleuve. La figure ci-dessous représente un aperçu global depuis le flanc du fleuve Niger.

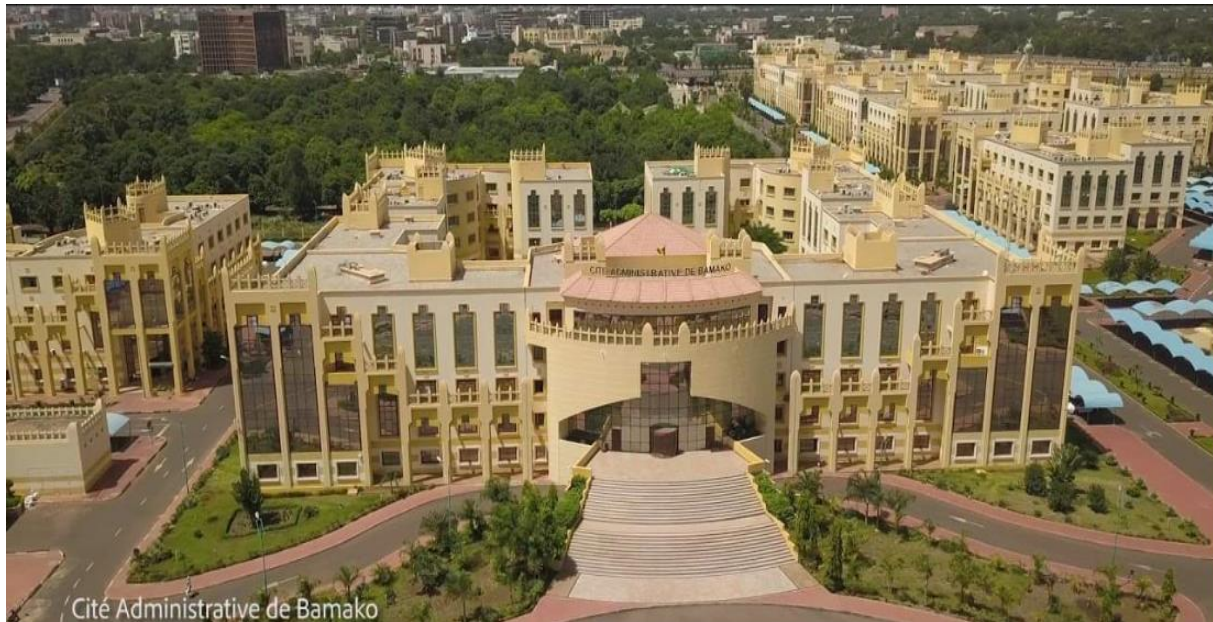


Figure 2: Aperçu de la cité administrative depuis le flanc du fleuve Niger

Pour assurer la sécurité du personnel, la cité administrative dispose de 4 guérites au niveau des portes d'entrées et de sorties, qui abritent des militaires. Ces guérites sont des bâtiments rez-de-chaussée de même architecture comportant chacun 3 bureaux, 1 hall d'accueil, 2 prisons et 2 toilettes.

Les 12 bâtiments de même plan architectural abritent 27 ministères du pays ; Au plus 3 ministères occupent un bâtiment. Chacun de ces bâtiments est bâtis sur une surface de plus de 500 m² et contient 80 bureaux, 2 salles de réunion, 2 cantines, 3 Halls d'accueil, 2 locaux serveurs et 47 toilettes. Le bâtiment R+1 qui représente le service de gestion de la cité administrative, occupe 350 m² et comprend 44 bureaux, 1 salle de réunion, 1 cantine, 1 local serveur, 1 Hall d'accueil, et 21 toilettes. Pour ce qui est de la primature, elle occupe le plus d'espace et le plus de local. Elle dépasse l'équivalent de 2 bâtiments R+4 en termes de surface soit 1 200 m². Elle contient 173 bureaux, 1 salon VIP, 1 cantine pour le personnel, 1 salle de réunion pour le gouvernement, 1 salle de conférence, 1 local serveur, 3 Halls d'accueil et 53 toilettes.

Le logiciel **Google earth** nous permet de voir sur la figure suivante, l'ensemble du site en vue de dessus d'image satellitaire.



Figure 3 : Vue satellitaire de la Cité administrative de Bamako

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1. Contexte

Selon la DNE, la demande en électricité du Mali croît de plus de 10% par an. Pour subvenir aux besoins énergétiques, le pays dépend entièrement des importations d'hydrocarbures. Celles-ci entraînent des risques environnementaux et des hémorragies financières causées par la flambée des prix. De plus, dans les installations gouvernementales du Mali, D'énormes gaspillages d'énergie dus au mauvais comportement des usagers, sont fréquemment remarqués.

C'est dans ce cadre que la Direction Nationale de l'Energie du Mali a mis en place un programme d'efficacité énergétique dans les installations gouvernementales du pays afin d'améliorer et de faire la promotion de l'efficacité énergétique dans un premier temps et de réduire la consommation énergétique dans un second temps.

Ici, l'efficacité énergétique repose sur l'idée d'utiliser de nouvelles technologies plus efficaces en matière de consommation d'énergie. Ce concept présente de nombreux avantages économiques et environnementaux à moyen et long-terme, notamment pour la cité administrative. Leur consommation en électricité se voit accru de jour en jour. C'est dans cette optique qu'il nous ait demandé, à travers le Programme d'Efficacité Énergétique dans les

installations gouvernementales d'estimer le potentiel d'économie d'énergie de la cité administrative et une étude de la rentabilité du projet à long terme. Cette cité possède l'installation gouvernementale la plus énergivore du pays après la cité administrative de KOULOUBA. Elle est souscrite à une puissance de 2,2 MW auprès du distributeur d'énergie électrique EDM SA.

II.2. Justification

La réalisation du projet présente des avantages économiques et environnementaux à moyen et long-terme. De plus les bâtiments de la cité étant énergivore, les gains de productivité dus aux économies réalisables pourront être utilisés pour alimenter d'autre zone limitrophe de Bamako. Ce projet permettra :

- ✚ La promotion de l'efficacité énergétique dans le pays ;
- ✚ La réduction de la consommation d'électricité de la cité administrative ;
- ✚ Le constat des avantages et inconvénients de la réalisation d'un axe du PEE.

II.3. Objectif du projet

L'objectif de ce projet pour le Ministère de l'Eau et de l'Energie est en grande partie la réduction de la consommation énergétique des administrations du pays mais en parallèle beaucoup d'avantages s'y ajoutent. Le plus considéré est l'utilisation efficace de l'énergie qui aura pour conséquence l'optimisation de l'intensité énergétique du pays. Progressivement, ce dernier paramètre permettra aux pays de se classer parmi ceux qui utilisent mieux l'énergie et qui ont une importance particulière de l'énergie dans leurs économies.

III. ETAT DES LIEUX

Dans cette partie vous découvrirez, des sources d'alimentation aux récepteurs, l'ensemble des équipements électriques de la cité administrative, leurs caractéristiques, leurs horaires de fonctionnement ainsi que l'état de leurs consommations.

III. 1. Méthodologie de collecte des données

La collecte de données a été effectuée lors de nos **visites préliminaires sur le site** et nous a pris 2 semaines environ. Elle consistait à relever les caractéristiques des récepteurs, à collecter les factures d'électricité et à observer les habitudes de consommation d'énergie du personnel.

Le site étant assez grand, les techniciens qui connaissaient l'emplacement des récepteurs, nous ont facilité les tâches de recensement. Nous allions au rythme de 2 bâtiments par jour. Toutefois, le premier jour a été uniquement consacré aux sources d'alimentation en énergie électrique. Nous n'avons pas eu de soucis à ce niveau parce que toutes les plaques signalétiques étaient disponibles en bon état. Il nous a juste suffi de relever les informations techniques.

Quant aux récepteurs, nous n'avons pas pu accéder aux informations techniques de certaines plaques signalétiques mais ceux-ci étaient mineurs. Il s'agit du cas des lampes à décharge sodium haute pression, des serveurs, des antennes Wi-Fi, des extracteurs, des ventilo-convecteurs, des ascenseurs, de certains chauffe-eaux et de certains splits. Cette situation était due aux manques d'information sur les plaques ou à l'indisponibilité des plaques ou encore à la vieillesse des plaques. Les références et marques relevés nous ont servi de guide pour solutionner de notre mieux à travers une recherche de fiches techniques correspondant auprès des constructeurs. L'uniformité des récepteurs et des locaux nous a facilité les tâches de collecte durant tout le long du travail.

Par ailleurs, certains fonctionnaires ne nous autorisaient pas d'accéder à leurs bureaux. Il s'agit principalement de certains ministres, directeurs nationaux et chefs de division. Ces manques de collaboration allaient à l'encontre de notre travail mais l'ingénieur en charge de l'électricité des bâtiments qui avait une idée du nombre et type de récepteurs existants dans ces locaux nous a situé. Nous nous sommes ensuite servis de l'uniformité de ces locaux types pour confirmer les informations de l'ingénieur et renseigner les caractéristiques techniques des récepteurs concernés.

III. 2. Sources d'alimentation en énergie électrique

La cité administrative est alimentée en énergie électrique par deux sources :

-  Le réseau HTA de l'Energie du Mali comme source normale ;
-  Les groupes électrogènes comme sources secours.

Cependant, il y a une batterie de condensateurs sur place, qui produit de l'énergie réactive servant à la magnétisation des bobines de certains récepteurs qui sont des machines électriques tournante et statique.

III. 1. 1. Sources normales

La source normale de la cité administrative est le réseau public de l'**Energie du Mali**, à partir de 14 postes de transformation dont 2 identiques de 1 000 kVA et 12 identiques de 630 kVA. Les câbles quittent les lignes HTA et arrivent en enterrés jusqu'aux transformateurs. Ensuite depuis les postes de transformation, d'autres assurent la relève jusqu'aux cellules de distribution. Il s'agit de 3 phases de 3×240 mm² pour les 1000 kVA et 3 phases de 3×140 mm² pour les 630 kVA. Les caractéristiques techniques de ces deux types de transformateur sont résumées dans le tableau suivant. Pour plus de détails, voir **Annexe 1**.

Tableau 1: Caractéristiques techniques des transformateurs existants

Constructeur	Référence	Puissance apparente (kVA)	Tension au primaire (V)	Tension au secondaire (V)	Courant nominal (A)	Quantité de transfo
PAUWELS	550286/30	1000	15000	410	1408	2
TRANSFIX	165C07168	630	15000	410	887	12

III. 1. 2. Sources secours

Le secours de la cité administrative en énergie électrique, est assuré par 8 Groupes Électrogènes dont 5 identiques de 800 kVA et 3 identiques de 650 kVA. Les informations techniques de ces 2 catégories de groupe sont résumées dans le tableau ci-dessous. Pour plus de détails, voir **Annexe 2**.

Tableau 2: Caractéristiques techniques des groupes électrogènes existants

Constructeur	Référence	Puissance apparente (kVA)	Puissance active (kW)	Facteur de puissance	Tension à vide (V)	Quantité de GE
CATERPILLAR	KG4C04819	650	520	0,8	400/230	3
CATERPILLAR	JRTY00553	800	640	0,8	400/230	5

III. 1. 3. Batterie de condensateurs

Le mode de compensation existant est global. Une batterie de condensateurs automatique de 62 kVAr installée au secondaire d'un poste de transformation de 1000 kVA. Celui alimentant

3 groupes d'eau glacée avec ses circulateurs et surpresseurs reliés. Les données techniques de ladite batterie sont disponibles dans le tableau suivant.

Tableau 3: Caractéristiques techniques de la batterie de condensation existante

Plaque signalétique de la batterie de condensateurs	
Constructeur	Enerdis
GENERAL	
Référence	CAPH200
Puissance 400Vac	62 kVAr
Intensité nominale 400 Vac	89 A
Type	Automatique

III. 3. Schéma électrique

La figure 4 présente un schéma simplifié global de fonctionnement des installations de la cité administrative. Nous n'avons pas eu d'informations concernant les différents circuits réalisés à l'intérieur des bâtiments pour des raisons de sécurité et de confidentialité.

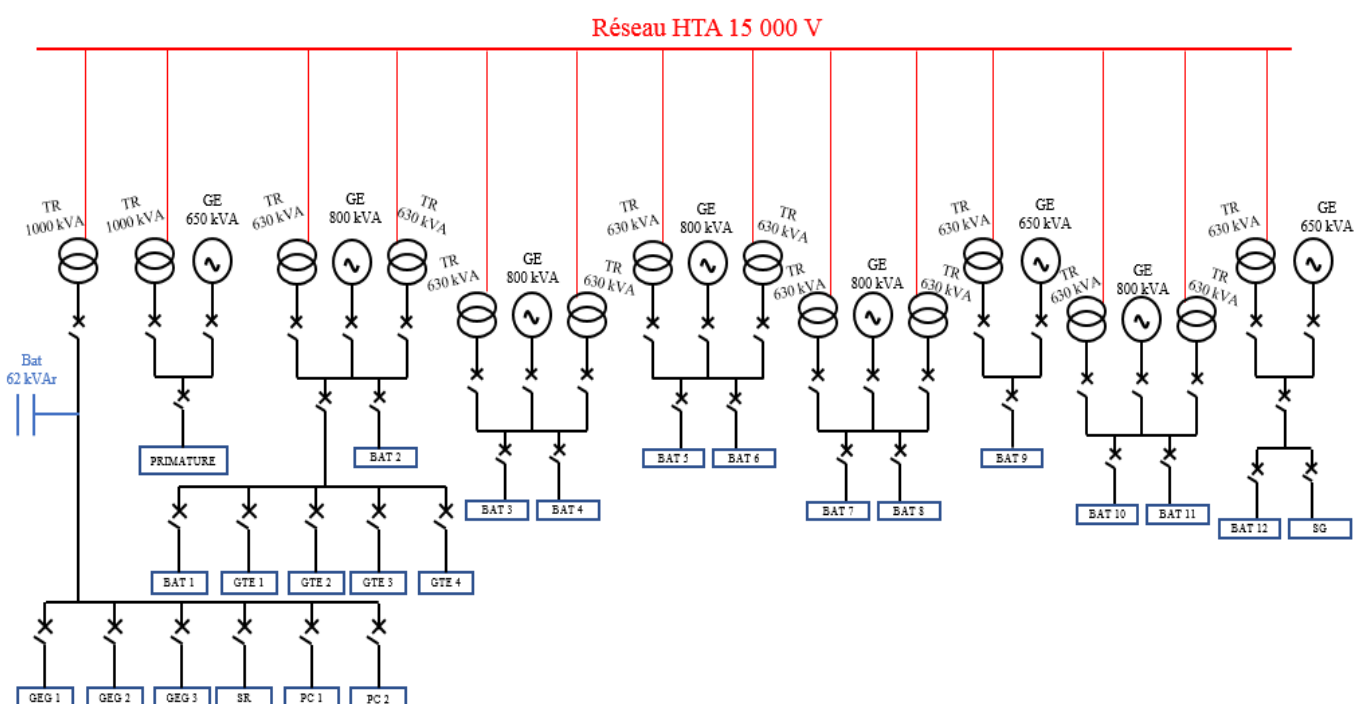


Figure 4 : Schéma électrique simplifié de la CA

LEGENDE

TR : Transformateur
GE : Groupe Électrogène
Bat : Batterie de condensateur
GTE : Guerite

SG : Service de Gestion
GEG : Groupe d'Eau Glacée
SR : Surpresseur
PC : Pompe Circulateur

III. 4. Factures d'électricité

La cité administrative bénéficie de 14 abonnements HTA dont un de puissance souscrite **800 kW** (Poste de transformation 1000 kVA), un autre de puissance souscrite **200 kW** (Poste de transformation 1000 kVA) et douze de puissance souscrite **100 kW** (Postes de transformation 630 kVA). Ce qui ramène leur puissance de souscription totale à **2,2 MW**. Ces abonnements appartiennent à la catégorie tarifaire **E5**. Nous avons pu collecter les factures d'électricité de l'année 2019. Ce qui nous a permis de représenter le profil de la consommation énergétique comme suit sur la **figure 5**.

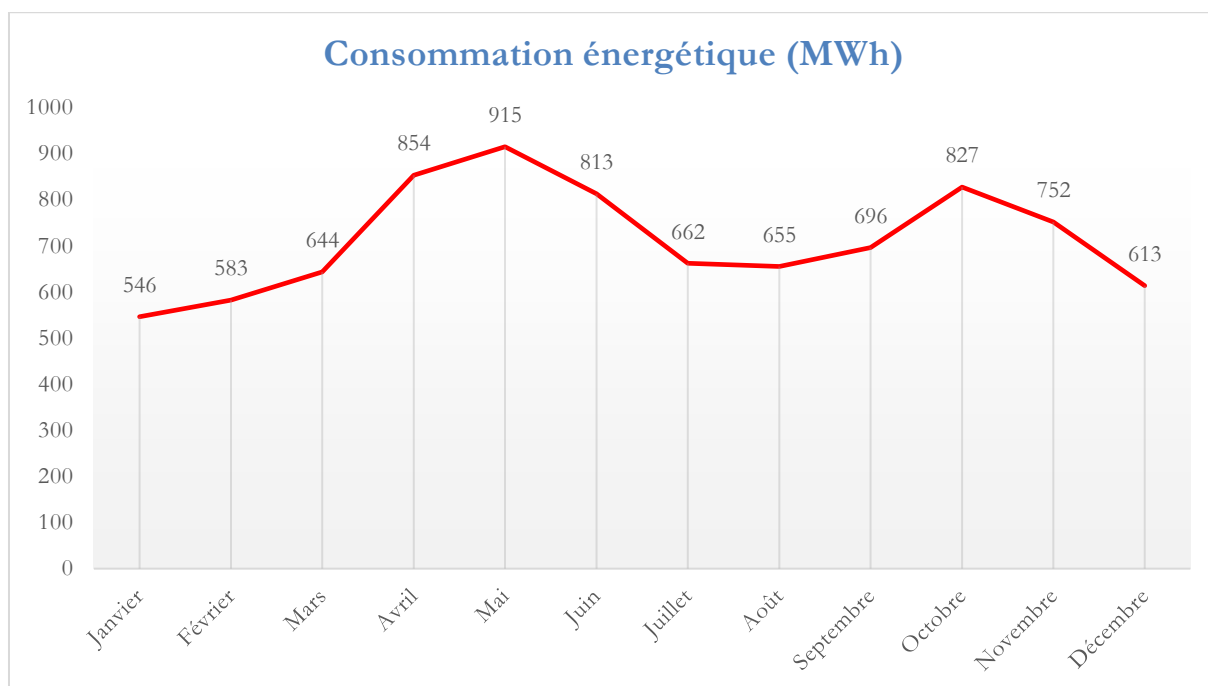


Figure 5: Profil de la consommation énergétique de l'année 2019

Le profil montre que la cité administrative enregistre sa consommation maximale au mois de mai. Une chute est ensuite remarquée jusqu'au mois d'août avant une croissance vers un nouveau pique de consommation en octobre. Après le mois d'octobre, décroît de nouveau le profil, puis connaît une nouvelle remontée allant du mois de janvier au pique de mai.

Cette description se rapproche de celle de l'évolution annuelle de la température du district de Bamako. En effet, la période de forte chaleur s'étend d'avril à mai tandis que les faibles températures sont relevées de décembre à février.

Ainsi, l'évolution de la température du milieu influe significativement sur la consommation énergétique de la cité administrative. Il est donc jugé fort probable que la climatisation soit le principal poste de consommation de la cité administrative.

III. 5. Inventaire des récepteurs

Le recensement des équipements consommateurs d'énergie est une étape importante et indispensable pour notre étude. De ce fait, nous nous sommes rendus sur les lieux de la zone d'étude afin de recenser et identifier tous les postes récepteurs d'énergie électrique et les processus de gaspillage d'énergie. Les données collectées ont été résumées dans les tableaux qui suivent en fonction des postes de consommation. Pour plus de détails, veuillez voir respectivement les Annexe 3, Annexe 4, Annexe 5, Annexe 6 et **Annexe 7**.

III. 5. 1. Éclairage

Ici nous avons les lampadaires, les luminaires, les lampes Néon et LED et les vidéos projecteurs.

Tableau 4: Caractéristiques techniques des systèmes d'éclairage existants

Type d'éclairage	Modèle	Puissance nominale (W)	Flux lumineux (lm)	Durée de vie (h)	Quantité
Luminaire	PHILLIPS	58	7692	25000	1529
Lampe	NEON	40	4200	12000	2964
	LBC	20	2000	11500	3154
Projecteur	EPSON	304	3000	35000	54
Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	178

III. 5. 2. Bureautique

Ce volet concerne les postes de travail, on y trouve des ordinateurs, des imprimantes, des scanners, des TV et des photocopieuses.

Tableau 5: Caractéristiques techniques des équipements existants de la bureautique

Modèle	Quantité	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)
Ordinateur			
HP V 197	1278	230	293940
HP PRO G2	99	180	17820
HP ProDesk	18	240	4320
HP 290 G1	7	180	1260
Imprimante			
HP VNF3102068	523	552	288696
Scanner			
HP ScanJet Pro 3500	319	45	14355

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

ScanSnap N 1800	57	50	2850
HP ScanJet Pro 2000	13	36	468
TV			
SAMSUNG PS43F4900AR	272	194	52768
LG SMART TV 42 LF5800	31	126	3906
LG SMART TV 50 LF5800	15	136	2040
LG SMART TV 55 LF5800	7	155	1085
Photocopieuse			
CANON F1920000	203	1196	242788

III. 5. 3. Équipements de télécommunications

Les équipements concernés ici sont ceux susceptibles de transmettre ou de recevoir des ondes et qui consomment de l'énergie électrique. Ce sont les serveurs et les antennes Wi-Fi.

Tableau 6: Caractéristiques techniques des équipements existants de télécommunication

Marque	Quantité	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)
Serveur			
CISCO	26	500	13000
Antenne Wi-Fi			
CISCO	26	150	3900

III. 5. 4. Climatisation

Le confort thermique de la cité administrative est assuré par 3 types de climatiseur : les splits, les armoires et les groupes d'eau glacée.

Tableau 7: Caractéristiques techniques des systèmes de climatisation existants

Type de machine	Marque	Réfrigérant	Puissance frigorifique (W)	Puissance électrique (W)	Quantité
Split	LG	R 134a	3500	1100	413
	SHARP	R 22	3520	1240	378
	HISENSE		5200	1612	346
	EOLIA	R 410a	7000	1800	194
	AIRWELL		12400	4840	57
Armoire	SAMSUNG		16070	4416	128
GEG	CARRIER		721600	176000	3

III. 5. 5. Machine électrique

Cette partie concerne les machines électriques tournantes. Nous avons : les ascenseurs, les extracteurs, les pompes circulateurs, les chauffe-eaux, les fours micro-ondes, les réfrigérateurs, congélateur, les ventilo-convecteurs, les cuiseurs électriques et les machines à café.

Tableau 8: Caractéristiques techniques des machines électriques existantes

Référence	Quantité	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)
Ascenseur			
TOSHIBA P11-CO120-D2	40	9500	380000
TOSHIBA P11-CO105-D	1	8300	8300
Extracteur			
CAPTIVOR MF2	170	260	44200
CAPTIVOR MF1	106	120	12720
CAPTIVOR MF2A	15	400	6000
CAPTIVOR MF1A	4	180	720
Chauffe-eau			
Type Cafetière	770	1150	885500
Four micro-onde			
WHIRLPOOL - MWP303SB	84	1050	88200
Réfrigérateur			
EAST POINT EP140	654	83	54282
LG GC 151 SA	64	70	4480
BEKO RDSA PRO	46	73	3358
Cuiseur électrique			
CUISEUR	80	3000	240000
RECHAUD	4	1500	6000
Fontaine à café			
FRANSTAL RRE960	208	3100	644800
Congélateur			
LG BD1-150	54	150	8100
Circulateur			
falmson DIL210-16-5122	2	22000	44000
Ventilo-convecteur			
CARRIER - VC-WL01-10C	143	53	7579
CARRIER - VC-AL12-2C	95	72	6840
CARRIER - VC-TL01-17A	62	104	6448
Surpresseur			
LEO XKJ-1100IA	1	1100	1100
Pompe électrique			
GARENI DOMUS 1373	8	300	2400

III. 6. Horaire de consommation énergétique journalière

Les horaires de travail de la cité administrative sont fixés du lundi au vendredi de 7 h à 12 h et de 14 h à 18 h, n'empêche que certains fonctionnaires sont fréquemment présents depuis 5 h du matin. De plus, en dehors de ces horaires de travail, quelques présences habituelles des personnels sont remarquées jusqu' à 23 h et les samedis de 8 h à 17 h. En théorie nous dirons que la cité est occupée du lundi au vendredi de 5 h à 23 h et les samedis de 8 h à 17 h.

Les horaires de consommation, qui sont développées comme suit, ont été regroupées auprès de l'ingénieur en charge de l'électricité des bâtiments de la cité administrative. Une observation faite sur une période de 7 ans, a montré qu'elles sont fiables pour un très bon nombre de jours.

Les premiers récepteurs en marche et cela entre 5h et 8h de façon aléatoire, sont les ascenseurs, les lampes, les chauffe-eaux et les fontaines à café. Après ceux-ci arrivent les consommations constantes habituelles qui sont les postes de travail et l'éclairage des bureaux. Près de 69 % de ces systèmes sont constamment en marche de 7h à 18h. Cependant, les systèmes de climatisation et quelques machines électriques (les cuiseurs chauffants, les réfrigérateurs, les fours micro-ondes...) sont mis en marche vers 10 h et cela de façon progressive jusqu'à 13h.

Quant aux équipements de télécommunication, une bonne partie est constamment en marche 24 h /24 durant l'année pour assurer la continuité de connexion des différents systèmes sensés recevoir ou capter les signaux émis. Il s'agit des serveurs. Les antennes émettent aussi des signaux pendant une bonne partie de la journée soit de 7 h à 23 h souvent 24 h / 24.

Le pique de la consommation énergétique est atteint entre 12h et 14 h. Cela s'explique par une utilisation excessive des ascenseurs et de la mise en marche d'une très bonne partie des systèmes de climatisation notamment ceux des cantines qui viennent s'ajouter à certains splits qui étaient déjà en marche depuis le matin. Ensuite la consommation baisse progressivement jusqu'à 18 h, l'heure où elle se stabilise avec la mise en marche automatique des lampadaires, durant toute la nuit (18h à 6h). Et le cycle journalier de consommation recommence.

IV. METHODOLOGIE DE TRAVAIL

La méthodologie de travail choisie pour évaluer les potentiels d'économie d'énergie de la cité administrative, est l'audit énergétique. L'audit énergétique consiste à diagnostiquer la consommation en énergie des récepteurs d'un bâtiment dans un premier temps et dans un

second temps à analyser les anomalies de fonctionnement des installations énergétiques. Ces deux actions nous amèneront à évaluer les performances énergétiques et à proposer des actions d'amélioration qui réduiront la consommation énergétique. En d'autres termes le but d'un audit énergétique est à terme, de proposer la bonne source de production et les équipements de consommation d'énergie les plus adaptés aux activités souhaitées en termes d'efficacité, de gain financier, de confort, de respect de l'environnement et de la politique énergétique.

De ce qui précède, il est évident que l'objectif visé par l'audit énergétique est la réduction de la quantité d'énergie à mettre en œuvre, des pertes et gaspillages des équipements et/ou des processus de consommation. Les phases de l'audit peuvent être résumées en trois étapes : la phase de visite préliminaire sur le site, la phase d'audit préliminaire et la phase d'audit approfondi.

IV. 1. Visite préliminaire sur le site

C'est la phase primaire des procédures présentiels sur le site. Elle se fait avec des techniciens ou toutes personnes ayant des connaissances notables dans le domaine de l'énergie du bâtiment. La phase consiste à visiter la zone d'étude afin d'effectuer une inspection visuelle des équipements énergétiques. C'est à cette étape que l'on doit juger de la nécessité d'un audit préliminaire. Le but n'est pas de décider qu'à coup sûr des économies d'énergie sont réalisables. Seul, l'audit préliminaire permet de donner cette affirmation.

IV. 2. Audit préliminaire

C'est la phase finale des procédures présentiels sur le site. C'est après celle-ci que les idées potentielles d'économiser de l'énergie interviennent. En effet, la phase consiste à analyser l'état des installations, collecter des données sur des équipements recensés lors de la visite préliminaire et ensuite effectuer quelques études théoriques susceptibles d'analyser l'efficacité des équipements. Si les nécessités s'offrent, on procède à l'audit approfondi. Dans le cas contraire, on déclarera la non utilité de l'audit énergétique. Les tâches suivantes sont accomplies successivement lors de ladite phase :

- ✚ Collecte du maximum de renseignements sur les équipements/appareils ;
- ✚ Analyse des insuffisances et des anomalies sur les installations ;
- ✚ Proposition de solutions d'amélioration des conditions d'insuffisance et d'anomalie ;
- ✚ Une estimation théorique de la consommation énergétique ;
- ✚ Recensement des postes énergivores et analyse de l'efficacité des équipements ;
- ✚ Choix des équipements et matériels qui feront l'objet de l'audit approfondi.

IV. 3. Audit approfondi

Elle concerne uniquement les équipements et matériels ciblés lors de l'audit préliminaire c'est-à-dire ceux nécessitant une étude plus poussée concernant l'optimisation de leurs consommations énergétiques. Ces 6 étapes suivantes sont appliquées successivement à chacun des systèmes (équipements et matériels) ciblés :

- ✚ La description des systèmes nécessitant une optimisation ;
- ✚ Le calcul des consommations énergétiques avant les mesures d'économie d'énergie ;
- ✚ Le diagnostic et la proposition de mesure d'optimisation de la consommation ;
- ✚ Le calcul des consommations énergétiques après les mesures d'économie d'énergie ;
- ✚ Le calcul des gains en énergie ou de l'énergie économisée ;
- ✚ Une étude de la rentabilité des économies réalisables.

IV.3.1. Description du système

Ici, il est question d'une brève description du principe de fonctionnement et de la chaîne de consommation énergétique du système afin d'identifier des opportunités d'utilisation efficace de l'énergie, susceptible d'augmenter le rendement du système ou de réduire la facture d'électricité du système.

IV.3.2. Consommation énergétique actuelle

La consommation énergétique annuelle « E » est la somme des énergies consommées annuellement par chaque système. « P_i » est la puissance d'un système qui fonctionne en « t_i » heures par an et « n » le nombre de système.

$$E = \sum_{i=1}^n P_i t_i \quad (1)$$

Il faudrait noter que le calcul du temps de fonctionnement tient compte du niveau de sollicitation et du coefficient de simultanéité des équipements. Il est obtenu à travers la formule suivante :

$$t_i = N_h \times N_j \times C_s \times K_s \quad (2)$$

Avec :

N_h : Le nombre d'heures de fonctionnement du récepteur par jour;

N_j : Le nombre de jours de fonctionnement du récepteur par an;

C_s : Le niveau de sollicitation qui représente le taux d'utilisation d'un récepteur en fonction du temps. Il peut aussi être appelé coefficient d'utilisation ;

K_s : Le coefficient de simultanéité qui détermine les conditions d'utilisation s'appliquant à un ensemble de récepteurs.

IV.3.3. Diagnostics et mesure d'optimisation de la consommation

Dans un premier temps, les performances des systèmes sont analysées afin de conclure sur leurs conformités. Il s'agit du COP pour les machines frigorifiques, l'efficacité des lampes pour les systèmes d'éclairage et le rendement pour les machines électriques.

Ensuite pour un second temps, il serait question de proposer des mesures d'optimisation à mettre en œuvre afin d'améliorer l'efficacité chez les uns c'est-à-dire ramener leur consommation énergétique au stricte nécessaire et de réduire financièrement les consommations chez les autres et cela en décalant leur période d'utilisation vers les heures creuses de consommation.

IV.3.4. Consommation énergétique après l'application des mesures d'optimisation

Après l'application des mesures d'optimisation, la consommation énergétique annuelle « E' » des systèmes est de nouveau calculée. « P'_i » est la puissance du système optimisé fonctionnant à « t'_i » heures par an et « n » le nombre de système.

$$E' = \sum_{i=1}^n P'_i t'_i \quad (3)$$

IV.3.5. Calcul des gains en énergie

Les gains en énergie (ΔE) correspondent à la différence entre la consommation énergétique avant les mesures d'optimisation du fonctionnement des installations et la consommation énergétique après les mesures d'optimisation du fonctionnement des installations. D'où l'équation :

$$\Delta E = E - E' \quad (4)$$

IV.3.6. Étude de la rentabilité

À ce stade les économies réalisables des systèmes sont déjà évaluées. Il convient maintenant de les chiffrer sous forme financière. C'est le gain financier. Il nous permettra de calculer le temps nécessaire pour la rentabilité des investissements dus aux mesures d'optimisation de la consommation énergétique. C'est le temps de retour sur l'investissement « TRI ». On prendra en compte les coûts de maintenances et de fonctionnements des systèmes rénovés.

$$\text{Gains financiers} = \Delta E \times \text{Prix du kWh} \quad (5)$$

$$TRI = \frac{\text{Cout d'investissement} + \text{Cout de maintenance}}{\text{Gains financiers}} \quad (6)$$

V. AUDIT PRELIMINAIRE

V.1 Constats et plan d'actions immédiates

Lors de notre visite, nous avons constaté certains processus de gaspillages et de pertes d'énergie qui ne nécessitent pas de calculs et d'études. Ils sont décrits dans le tableau ci-dessous avec des solutions pertinentes les concernant.

Tableau 9: Anomalies sur la consommation et plans d'action immédiates

POSTE	CONSTATS	PLANS D' ACTIONS IMMÉDIATES
Éclairage	Certaines lampes ne sont pas fonctionnelles et entraînent une baisse des flux lumineux dans les locaux concernés	Remplacer ces lampes par des lampes à haute efficacité.
	Les lampes des halls et de certains bureaux sont allumées en présence de la lumière naturelle	Sensibiliser les utilisateurs à éteindre ces lampes lorsque la lumière naturelle est satisfaisante.
	Certaines lampes restent allumées même quand les zones concernées sont inoccupées	
Bureautique	La plupart des machines sont en mode veille en dehors des heures de service.	Sensibiliser les utilisateurs à arrêter les machines à la descente. Ceci réduira la consommation.
	Les imprimantes et les photocopieuses sont beaucoup plus utilisées individuellement	Mettre ces équipements en réseau afin qu'ils soient utilisés collectivement.
	Les TV restent souvent allumées sans spectateurs	Sensibiliser le personnel à arrêter les TV lorsqu'il n'y a pas de spectateurs et privilégier les TV à minuterie lors de nouveaux achats
	Il y'a trop de renouvellement d'air dans certains locaux, dû à l'ouverture des portes et fenêtres	Placer des rappels automatiques sur les portes des locaux climatisés et sensibiliser le personnel sur la fermeture des fenêtres.
	Certains climatiseurs restent allumés même quand les bureaux sont inoccupés	Réguler les heures de mise en marche et d'arrêt des climatiseurs, avec un système d'horloge ou de minuterie.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Climatisation	<i>Les bâtiments sont bien exposés aux rayonnements solaires. Ce qui augmente les charges thermiques</i>	<i>Peindre les bâtiments avec une couleur réfléchissante et planter des arbres de longues tailles autour d'eux.</i>
	<i>Certains appareils frigorifiques contiennent trop de poussières. Ce qui baisse leur rendement.</i>	<i>Faire une bonne planification de l'entretien et de la maintenance des systèmes de climatisation.</i>
	<i>L'orientation de certains halls provoque des effets de serre. Ce qui présente une source d'échauffement pour les bâtiments.</i>	<i>Teinter les vitres des Halls et des bureaux et ensuite placer des rideaux pour la protection contre les rayons solaires.</i>
	<i>Les conditions climatiques de certaines unités extérieures des splits et des GEG ne sont pas favorables. Ce qui baisse leur rendement.</i>	<i>Installer ces unités et GEG à l'ombre (arbre, hangar, auvent) pour éviter l'impact de la température.</i>
	<i>Les conduites reliant les GEG au réservoir froid, sont mal isolées. Ce qui augmente les pertes thermiques.</i>	<i>Mettre ces conduites en état d'isolation optimale afin de limiter les pertes thermiques</i>
Machine électrique	<i>Certains extracteurs ne sont plus fonctionnels. Et puis les extracteurs existants sont tous manuels</i>	<i>Réparer les extracteurs défectueux et réguler les heures de mise en marche et d'arrêt des extracteurs</i>
	<i>Certaines cellules de distribution et la batterie de condensateurs sont soumises à une température presque ambiante.</i>	<i>Installer ces équipements dans un local climatisé ou à extracteur. Cela augmentera leur durée de vie</i>
	<i>Certains condensateurs de la batterie de condensateurs sont défectueux</i>	<i>Remplacer les condensateurs défectueux pour récupérer la totalité de puissance de la batterie</i>
	<i>Les ascenseurs fonctionnent fréquemment à vide. Cela entraîne une consommation excessive pour très peu d'utilité</i>	<i>Encourager les usagers à prendre les escaliers surtout pour les distances courtes</i>
	<i>Les employés privilégient les chauffe-eaux (appareils très énergivores) plus que les fontaines à café collectives.</i>	<i>Interdire l'utilisation des chauffe-eaux dans la cité administrative. Que chacun utilise les fontaines à café collectives.</i>
	<i>Certains réfrigérateurs et congélateurs restent allumés même en dehors des heures de service</i>	<i>Vérifier régulièrement l'état de fonctionnement des thermostats de ces appareils frigorifiques</i>

V.2 Consommation énergétique

Pour commencer deux formes d'énergie sont utilisées dans la cité administrative : la primaire et la finale. Comme source d'énergie finale nous avons le gasoil et l'électricité ; du côté primaire nous n'avons que le butane. Pour l'évaluation de la consommation énergétique, nous nous focaliserons uniquement sur les sources d'énergie finale (le gasoil et l'électricité).

La cité administrative dispose de 8 cuves externes, reliés aux réservoirs de ses 8 groupes électrogènes. Ces cuves sont trimestriellement remplies de 5 000 litres de gasoil donc chacune reçoit annuellement 20 000 litres de gasoil. En théorie nous dirons que la cité administrative utilise annuellement 160 000 litres de carburant pour ses 8 groupes électrogènes.

Les calculs qui suivent dans le **tableau 10** évaluent les consommations annuelles en électricité des différents systèmes électriques de la cité administrative. Les différents temps de fonctionnements annuels des récepteurs ont été estimés théoriquement à l'aide de l'équation (2). Il est à noter que les jours fériés, y compris le dimanche, n'ont pas été considérés dans l'estimation. Le nombre de jour férié dans l'année est de 14 et celui de dimanche 52.

Aussi, il faudrait notifier qu'il existe de faibles incertitudes au niveau du calcul des temps de fonctionnement des récepteurs. En effet, les niveaux de sollicitation et facteurs de simultanéité concernant ces calculs ont été obtenus uniquement auprès de l'ingénieur en charge de l'électricité des bâtiments. Ce qui n'est pas très exhaustif parce qu'une personne ne pourrait pas conclure vraisemblablement sur les comportements d'utilisation et de simultanéité de plus 1500 employés. Néanmoins, nous nous sommes contentés de ces données. Elles sont relatives à quelques informations hypothétiques qui sont disponibles en **Annexe 8** avec les calculs.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Tableau 10 : Estimation théorique de la consommation des différents systèmes existants

Récepteur électrique	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (heures/an)	Consommation énergétique (MWh/an)
Éclairage			
Luminaire	88,682	1943,5	172,35
Tube Néon 120 cm	118,56	2733,88	324,13
Tube BC 60 cm	63,08	2733,88	172,45
Vidprojecteur	16,416	717,6	11,78
Lampadaire	28,124	4380	123,18
Energie annuelle consommée par l'Éclairage			803,90
Bureautique			
Ordinateur	317,34	2355,07	747,36
Imprimante	288,696	89,19	25,75
Scanner	17,673	230,80	4,08
TV	59,799	628	37,55
Photocopieuse	242,788	377,03	91,54
Energie annuelle consommée par la Bureautique			906,28
Équipements de télécommunication			
Serveur	13	8760	113,88
Antenne Wifi	3,9	4849,75	18,91
Energie annuelle consommée par les Eqs de Télécommunication			132,79
Climatisation			
Split	2105,852	2272,28	4785,07
Armoire	565,248	717,6	405,62
GEG	528	2272,28	1199,76
Energie annuelle consommée par la Climatisation			6390,46
Machine électrique			
Ascenseur	388,3	364,63	141,59
Extracteur	63,64	986	62,75
Chauffe-eau	885,5	66	58,44
Four micro-onde	88,2	425,8	37,56
Réfrigérateur	62,12	3285	204,06
Cuiseur électrique	246	425,8	104,75
Fontaine à café	644,8	7,47	4,82
Congélateur	8,1	3285	26,61
Circulateur	44	2272,28	99,98
Ventilo-convecteur	20,9	2272,28	47,42
Surpresseur	1,1	2272,28	2,50
Pompe électrique	2,4	10	0,02
Energie annuelle consommée les Machines Électriques			790,49

V.2.1 Répartition de la consommation par poste

La consommation annuelle en électricité de la cité administrative est estimée à **9 024 MWh**. La figure ci-dessous repartit cette énorme quantité d'énergie par part consommée entre les différents systèmes électriques.

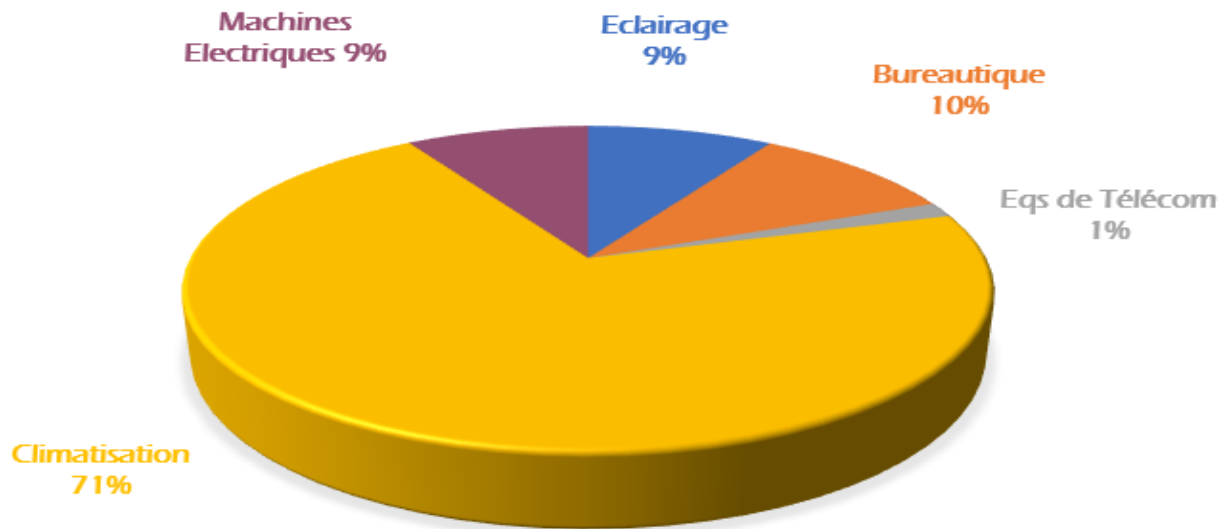


Figure 6 : Répartition de la consommation énergétique annuelle entre des postes de consommation

La climatisation est le plus grand poste de consommation d'énergie car elle représente à elle seule 71 % de la consommation totale. Le poste qui suit est la bureautique ensuite ceux de l'éclairage et des machines électriques qui sont au même niveau de consommation. Et pourtant, après la climatisation, les machines électriques possèdent la plus grande part de puissance installée donc leurs faibles consommations par rapport à la bureautique et l'éclairage s'expliquent par leurs faibles temps de fonctionnement au cours de l'année. Concernant les équipements de télécommunication, ils viennent en dernière position avec 1 % de la consommation.

V.2.2 Fiabilité des données collectées

La consommation estimée et celle obtenue à base des factures d'électricité de l'année 2019 sont représentées en diagrammes sur la **figure 7**. Une différence de l'ordre de **5,13 %** a été remarquée entre l'énergie consommée et celle estimée. Les délestages et les problèmes de maintenance des équipements en pannes peuvent justifier cet écart. En effet, Les délestages au Mali peuvent durer plusieurs heures et les équipements gâtés de la cité administrative (tels que les lampes, les splits, les extracteurs...) peuvent rester inchangés ou défectueux durant plusieurs jours, voire plusieurs semaines ou mois.

Ces aspects n'ont pas été pris en compte dans notre estimation par manque de données fiables. Ceux-ci auraient pu permettre de réduire l'écart à un taux plus faible. Par conséquent, on peut dire que nos données collectées sur le site sont fiables.

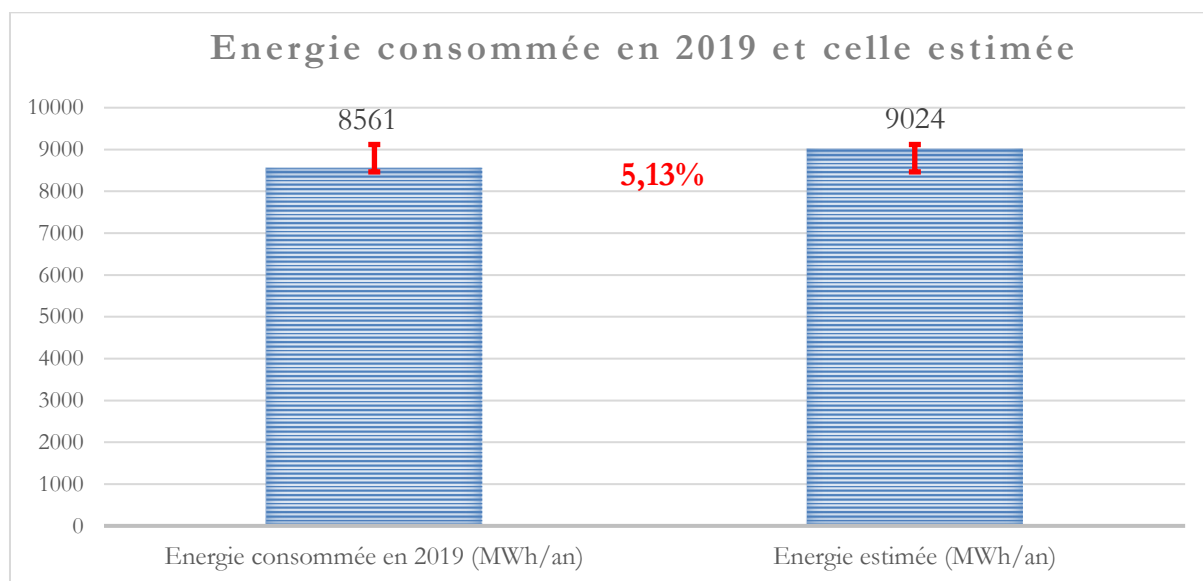


Figure 7: Diagrammes de l'énergie estimée et consommée en 2019

V.3 Recensements des postes énergivores

À la lumière des recensements et des analyses, il ressort clairement que les équipements de télécommunication ne consomment pas beaucoup d'énergie et ont une bonne efficacité. Néanmoins, une attention particulière sera accordée à leur temps de fonctionnement nocturne. Par contre la climatisation constitue le poste le plus énergivore donc il fera l'objet d'un audit approfondi dans la suite.

Quant aux autres postes (les machines électriques, l'éclairage et la bureautique), leurs consommations énergétiques ne sont pas non plus négligeables ; d'énormes potentiels d'économie existent surtout au niveau de l'éclairage. En effet, certains types de lampes existants sont trop énergivores. De nos jours, dans le monde de l'éclairage, des technologies modernes et beaucoup plus économes que ceux de la cité administrative, existent. On fera appel à ces dernières. Par ailleurs, l'utilisation collective de certains récepteurs (Ascenseurs, Fontaines à café, Imprimantes, photocopieuses...) feront naître une économie significative sans compter le remplacement des imprimantes lasers par des imprimantes à jets d'encre (Une imprimante laser consomme en moyenne 0,6 Wh/page tandis qu'une imprimante à jet d'encre n'en consomme que 0,05 Wh/page (COULIBALY, 2010)).

En somme, nous retenons l'ensemble des postes de consommation pour un audit approfondi mais tous les récepteurs ne seront pas concernés.

VI. AUDIT APPROFONDI

VI.1. Éclairage

VI.1.1. Généralité

L'éclairage d'un local consiste à apporter une lumière saine pour la réalisation des activités quotidiennes auxquelles le local a été conçu. Il existe deux types d'éclairages. L'éclairage naturel à partir du rayonnement solaire direct et/ou diffus qui procure la meilleure qualité visuelle et l'éclairage artificiel à partir des sources lumineuses artificielles.



Figure 8 : Éclairage d'un local par la lumière naturelle (source maison-confort.fr)

Les sources lumineuses artificielles ne sont nécessaires que lorsque l'éclairage naturel est insuffisant. Dans ce cas on a recours à une lampe dont l'éclairage est le plus proche possible de la lumière naturelle. Il faudrait savoir que l'éclairage naturel ne présente aucune dépense énergétique directe. Un bon éclairage doit respecter quelques règles pour être acceptable.

- ✚ Il doit être en quantité suffisante, c'est-à-dire procurer une bonne puissance lumineuse ;
- ✚ Il doit être de qualité suffisante, c'est-à-dire tendre vers la qualité du jour ;
- ✚ Il doit consommer peu d'énergie, c'est-à-dire provenir de lampes de basse consommation énergétique bien gérée.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Les caractéristiques des différents types de lampe existante sont données par les grands constructeurs sur leurs sites. Le tableau suivant donne ces caractéristiques à titre indicatif.

Tableau 11: Caractéristiques techniques des différents types de lampes

Type de lampe	Puissance (W)	Flux lumineux (lm)	Efficacité lumineuse (lm/W)	IRC	Température de couleur (°K)	Durée de vie moyenne
Incandescente normale	25 à 500	220 à 8400	9 à 17	100	2700	1000
Incandescente halogène	40 à 2000	500 à 50000	13 à 25	100	3000	2000
Tube fluorescent	14 à 80	1100 à 6150	64 à 104	60 à 90	2700 à 6500	14000 à 18000
Fluo compacte	5 à 55	200 à 4800	39 à 87	80	2700 à 4000	8000 à 13000
Halogénures métalliques	35 à 2000	3400 à 189000	68 à 96	65 à 85	3000 à 4600	10000 à 18000
Sodium haute pression	35 à 1000	1300 à 130000	37 à 130	25 à 85	2000 à 2500	25000
Mercure haute pression	50 à 1000	1770 à 58500	35 à 38	33 à 49	3900 à 4300	8000 à 12000
Induction	55 à 85	3500 à 6000	65 à 70	80 à 85	2700 à 4000	60000
Sodium basse pression	35 à 180	4550 à 32500	130 à 180	-	1800	18000
LED	1 à 100	100 à 10000	50 à 100	60 à 90	2700 à 10000	15000 à 50000

VI.1.2. Consommation énergétique actuelle

Tableau 12: Consommation énergétique du système d'éclairage

Récepteur électrique	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (heures/an)	Consommation énergétique (MWh/an)
Luminaire	88,682	1943,5	172,35
Tube néon 120 cm	118,56	2733,88	324,13
Tube BC 60 cm	63,08	2733,88	172,45
Vidprojecteur	16,416	717,6	11,78
Lampadaire	28,124	4380	123,18
Energie annuelle consommée par l'Éclairage			803,90

VI.1.3. Diagnostics

Dans un premier temps nous vérifierons un indicateur susceptible de conclure sur la conformité des puissances de sources lumineuses installées dans les bâtiments. C'est la densité moyenne ρ de puissance électrique admissible pour l'éclairage intérieur des bâtiments (W/m^2).

En effet, le confort visuel nécessite un niveau d'éclairement minimal relativement aux activités/fonctions des locaux, tout en respectant ces niveaux, la densité moyenne ne doit pas excéder certaines valeurs de référence (Cf. **Annexe 9**) selon IEPF (COULIBALY et al., 2002a). Le tableau ci-dessous contient les données de notre cas d'étude.

Tableau 13: Densités moyennes de puissance électrique d'éclairage installée dans les bâtiments

ID bâtiment	Puissance installée (W)	Surface éclairée (m^2)	Densité calculée (W/m^2)	Densité de référence (W/m^2)	Conformité
Bâtiment 1	18206	1680	10,8	17	Bon
Bâtiment 2	18606		11,1		Bon
Bâtiment 3	18426		11,0		Bon
Bâtiment 4	18206		10,8		Bon
Bâtiment 5	18246		10,9		Bon
Bâtiment 6	18686		11,1		Bon
Bâtiment 7	18646		11,1		Bon
Bâtiment 8	18406		11,0		Bon
Bâtiment 9	18246		10,9		Bon
Bâtiment 10	18326		10,9		Bon
Bâtiment 11	18526		11,0		Bon
Bâtiment 12	18126		10,8		Bon
Serv de gest	7880	690	11,4	16	Bon
Primature	39710	4500	8,8		Bon
Guerite 1	520	55	9,5		Bon
Guerite 2	520		9,5		Bon
Guerite 3	520		9,5		Bon
Guerite 4	520		9,5		Bon

On ne constate aucun excès des densités de référence de la part des bâtiments. Ce qui montre une conformité de puissance d'éclairage installée. Est-ce qu'il y'a un manque de niveau d'éclairement requis dans les bâtiments ? Une question à laquelle on ne pourrait pas répondre, dû au manque d'appareil de mesure de l'éclairement (luxmètre). Par contre on pourrait analyser l'efficacité lumineuse des lampes existantes afin de conclure sur leur conformité.

L'efficacité lumineuse est le quotient du flux lumineux par la puissance électrique. Le tableau ci-dessous contient les efficacités lumineuses calculées des lampes de la cité administrative.

Tableau 14: Efficacités lumineuses calculées des sources existantes

Type d'éclairage	Puissance nominale (W)	Flux lumineux (lm)	Durée de vie (h)	Efficacité lumineuse (lm/W)
Luminaire à LED	58	7692	25000	132,62
Lampe Néon	40	2500	12000	62,50
Lampe BC	20	1000	11500	50,00
Vidéoprojecteur	304	3000	35000	9,87
Lampadaire Na HP	158	18000	24000	113,92

En comparant ces efficacités à ceux données par les constructeurs (**Tableau 11**), on constate que les lampes Néon et BC sont de mauvaises efficacités lumineuses et cela nécessite une intervention immédiate. Les seules lampes efficaces d'après les calculs, sont les luminaires LED et les lampadaires Na HP. Cependant, les lampadaires Na HP possèdent une durée de vie inférieure à la moyenne indiquée par les constructeurs (**Tableau 11**).

VI.1.4. Mesure d'optimisation

Une longue analyse des diagnostics s'est traduite par quelques mesures d'optimisation pertinentes :

- ✚ Pour des raisons d'efficacité non suffisante des lampes Néon et BC, nous recommandons à leur place les lampes LED, développées par le constructeur PHILLIPS en tube ayant les mêmes dimensions et flux lumineux que celles installées. Ces tubes sont dotés de meilleures efficacités et ont une durée de vie plus longue.
- ✚ Concernant l'éclairage externe, une action qui pourrait nous être beaucoup plus bénéfique est de rendre autonome nos sources d'éclairage externe. Nous proposons les systèmes autonomes fonctionnant avec l'énergie solaire. Ils sont appelés lampadaires solaires. Les lampes intégrées dans ces lampadaires sont des LED, donc leurs puissances sont limitées et peuvent être prises en charge par une batterie Gel et un module PV de dimensions très réduites.
- ✚ Nous recommandons le remplacement des Vidéoprojecteurs existant par des vidéoprojecteurs à LED pour des raisons d'efficacité. En effet, les lampes LED sont les plus efficaces or plus de la moitié de la puissance électrique consommée par un vidéoprojecteur est transformé en puissance lumineuse.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Le tableau suivant présente une comparaison des caractéristiques entre les sources lumineuses existantes et ceux proposées mais pour plus d'informations les fiches techniques sont disponibles en **Annexe 10**.

Tableau 15:Caractéristiques des luminaires existant et ceux de substitution proposée

	Référence	Puissance électrique (W)	Flux lumineux (lm)	Durée de vie (h)	IRC
Lampe existante	Tube néon 120 cm	40	2500	12000	80
Lampe proposée	LEDtube T8 120 cm	14	2500	60000	83
Lampe existante	Tube BC 60 cm	20	1000	11500	82
Lampe proposée	LEDtube T8 60 cm	8	1050	60000	83
Existant	VidProjecteur epon	304	3000	35000	-
Proposé	VidProjecteur à LED	200	3000	50000	88
Lampe existante	Lampadaire Na HP	158	18000	24000	65
Lampe proposée	Lampad autonome	128	18000	>50000	>75

VI.1.5. Consommation énergétique après application des mesures d'optimisation

Après application des mesures d'optimisation, les changements sur la consommation énergétique annuelle et les densités moyennes de puissance électrique installée dans les bâtiments sont observables dans les tableaux suivants.

Tableau 16:Consommation énergétique du système d'éclairage après application des mesures

	Avant optimisation			Après optimisation		
Récepteur	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)
Luminaire	88,682	1943,5	172,35	88,682	1943,5	172,35
Tube 120 cm	118,56	2733,88	324,13	41,496	2733,88	113,44
Tube 60 cm	63,08	2733,88	172,45	25,232	2733,88	68,98
Vidprojecteur	16,416	717,6	11,78	10,8	717,6	7,75
Lampadaire	28,124	4380	123,18	22,784	4380	99,79
Consommation totale (MWh/an)			803,90			462,32

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Tableau 17: Densité moyennes de puissance électrique après optimisation

			Avant optimisation		Après optimisation	
ID Batiment	Surface éclairée (m²)	Densité de référence (W/m²)	Puissance installée (W)	Densité calculée (W/m²)	Puissance installée (W)	Densité calculée (W/m2)
Bâtiment 1	1680	17	18206	10,8	10616	6,32
Bâtiment 2			18606	11,1	10764	6,41
Bâtiment 3			18426	11	10698	6,37
Bâtiment 4			18206	10,8	10616	6,32
Bâtiment 5			18246	10,9	10632	6,33
Bâtiment 6			18686	11,1	10792	6,42
Bâtiment 7			18646	11,1	10760	6,40
Bâtiment 8			18406	11	10702	6,37
Bâtiment 9			18246	10,9	10640	6,33
Bâtiment 10			18326	10,9	10658	6,34
Bâtiment 11			18526	11	10736	6,39
Bâtiment 12			18126	10,8	10588	6,30
Serv de gest	690	16	7880	11,4	4740	6,87
Primature	4500		39710	8,8	21740	4,83
Guerite 1	55		520	9,5	182	3,31
Guerite 2			520	9,5	182	3,31
Guerite 3			520	9,5	182	3,31
Guerite 4			520	9,5	182	3,31

Interprétation graphique :

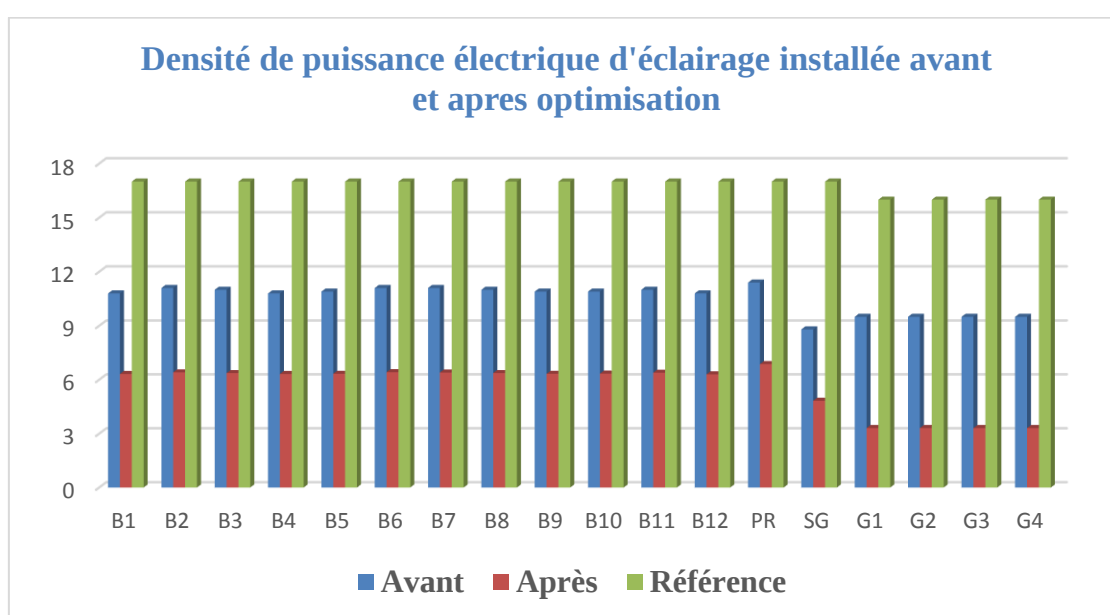


Figure 9: Densité de puissance d'éclairage installée avant et après optimisation

Les diagrammes ci-avant nous montrent que les mesures préconisées pour l'optimisation de l'éclairage, auront un impact positif sur les densités de puissance électrique d'éclairage installée. Dans tous les bâtiments, nous nous sommes éloignés de plus des références à ne pas excéder. Si les niveaux d'éclairement requis dans les locaux des bâtiments sont atteints, nous pouvons affirmer que nous avons obtenus de meilleurs résultats de conformité de puissance électrique admissible dans les bâtiments selon l'IEPF et que cette situation s'explique par la suffisance de l'éclairage naturelle dans les locaux des différents bâtiments. Toutefois, il faudrait reconnaître que le manque de luxmètre ne nous permet pas d'en dire plus.

VI.1.6. Gains en énergie

Les gains en énergie correspondent à la différence des deux consommations énergétiques annuelles plus la consommation énergétique des lampadaires solaires puisqu'ils sont autonomes en énergie électrique.

$$\Delta E = (E - E') + \Delta E' = (803,9 - 462,32) + 99,79 = \mathbf{441,37 \text{ MWh/an}}$$

Ce gain en énergie représente 55 % de la consommation énergétique annuelle due à l'éclairage.

VI.2. Bureautique

VII.2.1. Généralité

La consommation d'un ordinateur dépend non seulement de sa propre structure et des périphériques à gérer (CD-ROM, carte son, carte graphique, carte réseau etc.) mais aussi des équipements/appareils qui lui sont connectés, tout comme c'est le cas pour la consommation d'une télévision. Ainsi des enceintes, un scanner, un modem ou encore une imprimante viennent augmenter la consommation d'un ordinateur sans compter leurs propres consommations.



Figure 10 : Ordinateur connecté aux périphériques les plus courants (portail-informatique.fr)

Quant aux photocopieurs, leur consommation dépend fortement de leur vitesse exprimée en nombre de photocopies par minute, tout comme l'imprimante laser. Ces 2 appareils fonctionnent suivant le même principe, donc ils ont les mêmes chaînes de consommation. Un faisceau de vive lumière fluorescente éclaire le document à photocopier. La lumière est reflétée sur un tambour de copieur (rouleau en métal recouvert d'un élément semi-conducteur). Les zones blanches (sans impression) du document d'origine sont inondées de lumière qui va permettre à des charges électriques de quitter le photoconducteur (tambour de copieur) à ces endroits. Seules les parties où la lumière n'a pas été suffisamment intense (zones imprimées du feuillet d'origine), restent chargées électriquement. En conséquence le toner (encre sous forme solide) va être attiré sur ces zones et le document est reproduit.

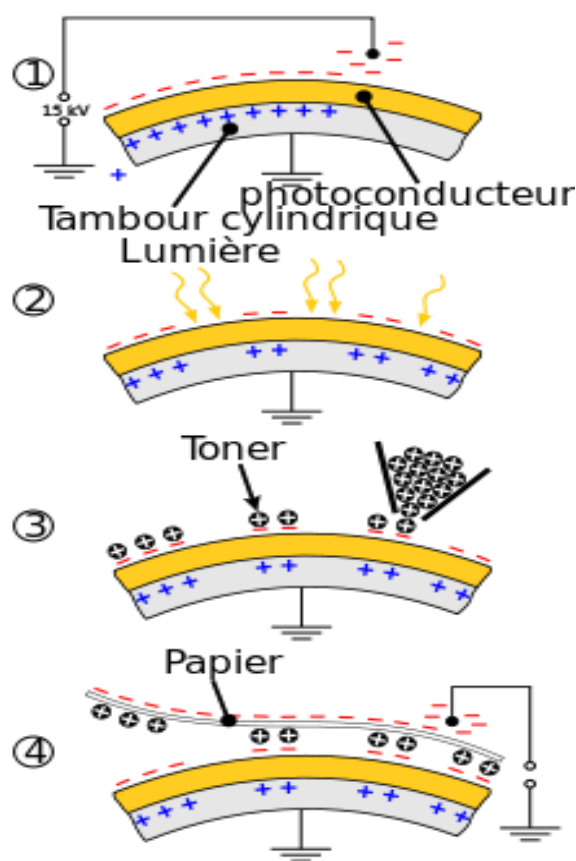


Figure 11 : Schéma de fonctionnement d'une photocopieuse (source Wikipédia)

Il faudrait aussi savoir qu'en mode stand-by, une consommation d'énergie est principalement nécessaire pour maintenir les éléments chauffants (tambour et un cylindre photosensible) à une température minimum leur permettant d'être opérationnels instantanément. Les photocopieurs ayant, comme les imprimantes, une utilisation forte intermittente, c'est sur cette consommation résiduelle qu'il faudra agir en priorité.

VII.2.2. Consommation énergétique actuelle

Tableau 18: Consommation énergétique de la bureautique

Récepteur électrique	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (h/an)	Consommation énergétique (MWh/an)
Ordinateur	317,34	2355,07	747,36
Imprimante	288,696	89,19	25,75
Scanner	17,673	230,80	4,08
TV	59,799	628	37,55
Photocopieuse	242,788	377,03	91,54
Energie annuelle consommée par la Bureautique			906,28

VII.2.3. Diagnostics

Les imprimantes existantes sont de types laser. Une imprimante laser consomme en moyenne 0.6 Wh /page. Cette consommation est trop énorme. En effet, des appareils modernes existent et consomment moins que les imprimantes laser. Ce sont des imprimantes à jets d'encre. Ils n'en consomment que 0.05 Wh/page en moyenne.

D'autre part, la vitesse des photocopieurs aussi est élevée (remarque faite sur le site). Celle-ci doit être adaptée aux besoins des utilisateurs. En effet, la consommation d'un photocopieur est fonction croissante de sa vitesse exprimée en cpm. Il serait donc économique en termes de consommation d'énergie, d'adapter la vitesse de fonctionnement des photocopieurs aux besoins des utilisateurs.

VII.2.4. Mesure d'optimisation

Nous proposons de remplacer les imprimantes lasers par des imprimantes à jets d'encre pour des raisons d'amélioration d'efficacité et les photocopieurs par d'autres ayant des vitesses plus faibles, donc de puissances plus faibles. Les caractéristiques de nos choix sont dans le tableau suivant mais pour plus d'informations les fiches techniques sont disponibles en **Annexe 11** et **Annexe 12**.

Tableau 19: Caractéristiques des imprimantes et photocopieuses existantes et ceux proposées

	Imprimante		Photocopieuse	
	Existant	Proposé	Existant	Proposé
Référence	HP VNF laser	HP officejet	CANON F1920000	HP PageWide
Puissance nominale (W)	552	27,7	1196	78,7
Vitesse (cpm)	25 - 36	8 - 15	70 - 100	60 - 80

VII.2.5. Consommation énergétique après application des mesures d'optimisation

Tableau 20: Consommation de la bureautique après application des mesures d'optimisation

	Avant optimisation			Après optimisation		
Récepteur	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)
Ordinateur	317,34	2355,07	747,36	317,34	2355,07	747,36
Imprimante	288,70	89,19	25,75	14,49	89,19	1,30
Scanner	17,67	230,80	4,08	17,67	230,80	4,08
TV	59,80	628	37,55	59,80	628	37,55
Photocopieuse	242,79	377,03	91,54	15,98	377,03	6,02
Consommation totale (MWh/an)			906,28			796,31

VII.2.6. Gains en énergie :

Les gains en énergie correspondent à la différence des deux consommations énergétiques annuelles.

$$\Delta E = E - E' = 906,28 - 796,31 = 110 \text{ MWh/an}$$

Ce gain en énergie représente **12,13 %** de la consommation énergétique annuelle due à la bureautique.

VI.3. Équipements de télécommunication

VII.3.1. Généralité

Une antenne Wi-Fi est un accessoire informatique des plus importants. Il a pour objectif de créer un réseau sans fils. Elle fait partie d'un ensemble émetteur ou d'une installation de réception ; en d'autres termes elle est conçue en vue de rayonner ou de capter des ondes électromagnétiques. L'émission n'est possible que lorsqu'un fil appelé câble coaxial ou RJ45 reçoit une puissance électrique et la transforme en puissance électromagnétique et cela de manière instantanée qu'un récepteur capte ou non les puissances électromagnétiques émises. Ce qui veut dire que même en stand-by une antenne Wi-Fi consomme de l'énergie électrique.

Les antennes Wi-Fi ayant une utilisation de forte intermittente dans les lieux de travail, c'est sur cette consommation résiduelle qu'il faudra agir en priorité.

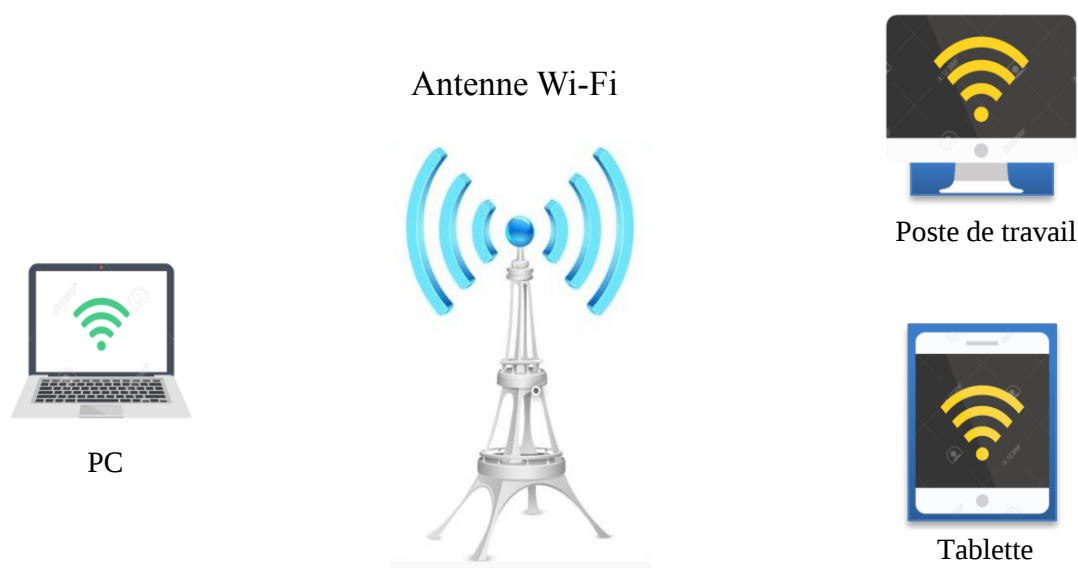


Figure 12: Illustration d'un réseau Wi-Fi de connexion sans fil

Les réseaux sans fils reçoivent ou émettent des signaux avec un protocole IP (adresse IP). Un protocole est un ensemble de règles destinées à une tâche de télécommunication particulière. Dès que l'antenne Wi-Fi est connectée à un récepteur/émetteur, elle lui est possible de faire transiter via un signal nommé onde électromagnétique toutes sortes de données informatiques.

VII.3.2. Consommation énergétique actuelle

Tableau 21 : Consommation énergétique des équipements de télécommunication

Récepteur électrique	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (heures/an)	Consommation énergétique (MWh/an)
Serveur	13	8760	113,88
Antenne Wifi	3,9	4849,75	18,91
Energie annuelle consommée par les Eqs Télécommunication			132,79

VII.3.3. Diagnostics :

Les diagnostics à ce niveau portent sur le temps de fonctionnement nocturne des antennes Wi-Fi. En effet, certaines antennes Wi-Fi restent allumées en dehors des horaires de présence.

Le pourcentage a été estimé à 35. Ce qui est du gaspillage puisque personne ne reste connectée et le système continue de transformer la puissance électrique en puissance électromagnétique. Ce gaspillage nécessite une intervention.

VII.3.4. Mesure d'optimisation

On propose de réguler automatiquement les heures de mises en marche et d'arrêt de ces récepteurs ou de sensibiliser les utilisateurs sur la bonne gestion de ces équipements. Après cela les antennes ne fonctionneront qu'entre 7 h à 18 h du lundi au vendredi (249 jours/an) et de 8 h à 17 h chaque samedi (50 jours). D'énorme économie d'énergie en résulte.

Par application numérique, le nouveau temps de fonctionnement annuel des antennes Wifi serait de :

$$t_f = (11 \times 249) + (9 \times 50) = 3189 \text{ h}$$

VII.3.5. Consommation énergétique après application des mesures d'optimisation

Après application de la mesure d'optimisation, le changement est observable dans le tableau ci-dessous.

Tableau 22: Consommation des équipements de télécommunication après application des mesures

	Avant optimisation			Après optimisation		
Récepteur	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)
Serveur	13	8760	113,88	13	8760	113,88
Antenne Wifi	3,9	4849,75	18,91	4	3189	12,44
Consommation totale (MWh/an)			132,79			126,32

VII.3.6. Gains en énergie :

Les gains en énergie correspondent à la différence des deux consommations énergétiques annuelles.

$$\Delta E = E - E' = 132,79 - 126,32 = 6,47 \text{ MWh/an}$$

Ce gain en énergie représente **4,9 %** de la consommation énergétique annuelle due aux équipements de télécommunication.

VI.4. Climatisation

VII.4.1. Généralité

La climatisation consiste à extraire la chaleur d'un local et la rejeter à l'extérieur. Cela nécessite une machine frigorifique qui est constituée principalement d'un évaporateur, d'un compresseur, d'un condenseur et d'un détendeur. Ces appareils forment un circuit frigorifique dans lequel un **compresseur** aspire un fluide frigorigène gazeux issu d'un **évaporateur**, le comprime puis le refoule vers un **condenseur** qui à son tour, évacuera sa chaleur en le liquéfiant vers un **détendeur**. La détente permettra de réduire la pression du fluide dans le but de permettre sa vaporisation (non complète) à basse température dans l'**évaporateur**, là où il s'évapore entièrement en absorbant la chaleur du local à refroidir. Et le cycle recommence. La figure suivante illustre le fonctionnement.

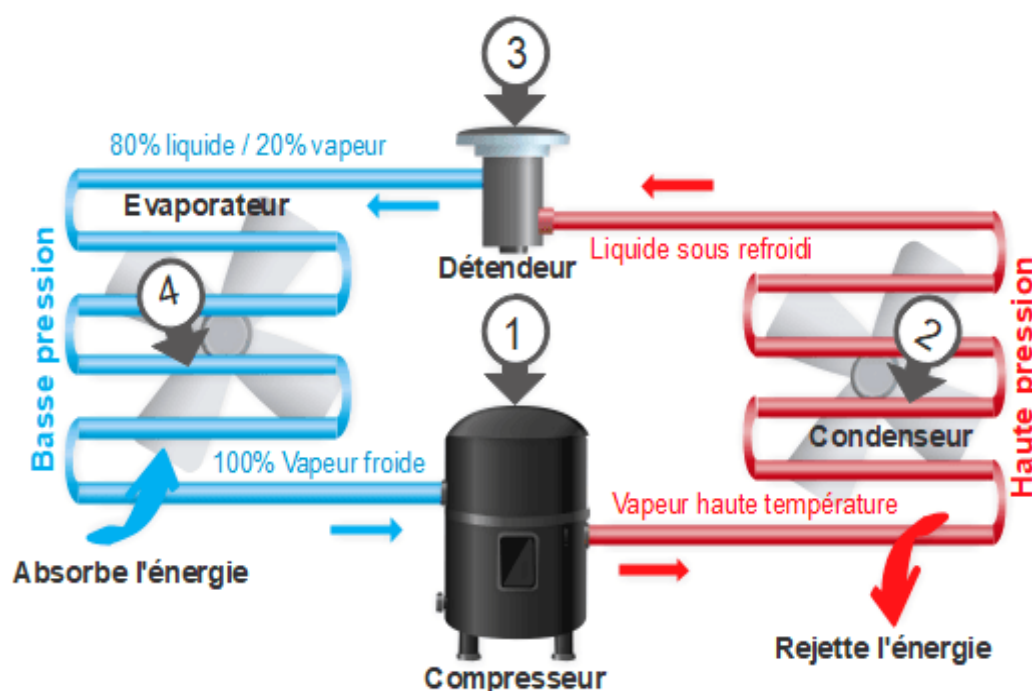


Figure 13 : Schéma illustratif du fonctionnement d'une machine frigorifique (Source ABC CLIM)

La consommation électrique d'une machine frigorifique est avant tout due au compresseur qui absorbe le maximum d'énergie électrique pour comprimé le fluide frigorigène. Il y a cependant la consommation des appareils annexes tels que :

- ✚ Les ventilateurs (à l'évaporateur, au condenseur, à la tour de refroidissement) ;
- ✚ Les pompes (à eau glacée et de refroidissement du condenseur) ;
- ✚ Les accessoires électriques de commande.

Chacun de ces appareils produit de la chaleur et consomme par ailleurs de l'énergie électrique.

VII.4.2. Consommation énergétique actuelle

Tableau 23 : Consommation énergétique des systèmes de climatisation

Récepteur électrique	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (h/an)	Consommation énergétique (MWh/an)
Split	2105,852	2272,28	4785,07
Armoire	565,248	717,6	405,62
GEG	528	2272,28	1199,76
Energie annuelle consommée par la Climatisation			6390,46

VII.4.3. Diagnostics

Avant toute diagnostique, il est nécessaire d'avoir un indicateur objectif susceptible de conclure sur la conformité de la consommation des systèmes de climatisation. Ici, cet indicateur représente le quotient de la consommation électrique annuelle à la surface climatisée. Il s'exprime en kWh/m² et est obtenu par l'équation suivante.

$$R = \frac{\text{Consommation électrique annuelle en kWh}}{\text{Surface climatisée en m}^2} \quad (7)$$

Le tableau suivant nous permet de comparer les ratios obtenus pour nos bâtiments à des valeurs standards du code ivoirien de qualité énergétique du bâtiment. Ce code est une référence dans la sous-région d'Afrique noire francophone selon l'IEPF (COULIBALY et al., 2002b). Voir **Annexe 13** pour les valeurs indicatives du code.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Tableau 24 : Indicateurs de la consommation des systèmes de climatisation des bâtiments

ID Bâtiment	Paramètre de base		Résultat	Indice IEPF		Conclusion
	Consommation annuelle (kWh)	Surface climatisée (m ²)	Ratio calculé (kWh/m ²)	Ratio de Référence (W/m ²)	Situation médiocre	État de la conformité
Bâtiment 1	388813,9	1880	206,8	160	>275	Bon
Bâtiment 2	417447,8		222,0			Mauvais
Bâtiment 3	397383,6		211,4			Bon
Bâtiment 4	463729,2		246,7			Mauvais
Bâtiment 5	369368,7		196,5			Bon
Bâtiment 6	485040,4		258,0			Bon
Bâtiment 7	385654,1		205,1			Bon
Bâtiment 8	334990,4		178,2			Bon
Bâtiment 9	370478,0		197,1			Bon
Bâtiment 10	403561,5		214,7			Bon
Bâtiment 11	416002,2		221,3			Mauvais
Bâtiment 12	416002,2		221,3			Mauvais
Serv de gest	131894,9	660	199,8	150	>250	Bon
Primature	1343912,7	4950	271,5	160	>275	Mauvais
Guérite 1	7498,5	43	174,4	150	>250	Bon
Guérite 2	7498,5		174,4			Bon
Guérite 3	7498,5		174,4			Bon
Guérite 4	7498,5		174,4			Bon

Le code nous montre un signe de consommation excessive parce que tous les ratios sont de loin supérieurs aux références bien que les situations ne soient pas médiocres. D'où vient ce problème ? Est-ce un problème d'efficacité des machines frigorifiques (COP) ou de surdimensionnement des locaux dû à un défaut d'isolation thermique des bâtiments ? Nous saurons dans la suite. Il faudrait souligner ici que les bâtiments de la cité ne possèdent pas d'isolant thermique.

Commençons d'abord avec l'efficacité, elle est évaluée par le coefficient de performance (COP). Le coefficient de performance d'une machine frigorifique est obtenu en divisant la puissance frigorifique par la puissance électrique consommée. Le tableau suivant contient les COP calculés des machines frigorifiques existantes, comparés aux recommandations minimales du **PNUD/FEM RAF/93/G32** (COULIBALY et al., 2002b). Pour plus d'informations voir **Annexe 14**.

Tableau 25: Coefficients de performance calculés des machines frigorifiques

Type de machine	Marque	Réfrigérant	Puissance frigorifique (W)	Puissance électrique (W)	COP
Split	LG	R 134a	3500	1100	3,2
	SHARP	R 22	3520	1240	2,8
	HISENSE		5200	1612	3,2
	EOLIA	R 410a	7000	1800	3,9
	AIRWELL		12400	4840	2,6
Armoire	SAMSUNG		16070	4416	3,6
GEG	CARRIER		721600	176000	4,1

Nous constatons que seul les systèmes splits de type AIRWELL sont de mauvaise efficacité or leur puissance installée est minime par rapport aux puissances totales de la climatisation (Elles représentent **3,9 %**). Ce qui nous montre que même si ces splits avaient de bon COP, les ratios calculés n'aurait pas atteint ceux de références (**Tableau 24**). En occurrence, il faudrait reconnaître que l'absence d'isolant thermique fait partie des causes de surdimensionnement des charges de climatisation des bâtiments. Étant donné que les situations ne sont pas médiocres, on peut dire que le défaut d'isolement thermique est passable dans l'ensemble. Néanmoins, cela nécessite une intervention.

D'autre part, il ressort que les splits de marque LG ont une consommation électrique inférieure à celle des splits de marque SHARP pour des puissances frigorifiques sensiblement égaux et ont tous un bon coefficient de performance.

VII.4.4. Mesure d'optimisation

Une longue analyse des diagnostics s'est traduite par quelques mesures d'optimisation pertinentes qui sont développés comme suit :

- ✚ Nous proposons d'isoler les murs externes des bâtiments c'est-à-dire augmenter la résistance thermique de l'enveloppe des bâtiments. Ce qui réduirait significativement les charges de climatisation. En effet, localisée dans un climat tropical sahélien, la cité est beaucoup plus exposée aux rayonnements solaires donc les isolants intégrés permettront de réduire considérablement les transferts thermiques.
- ✚ Pour raison de non-conformité de COP, nous proposons de remplacer les splits de marque AIRWELL par des technologies modernes à COP optimal et à débit de réfrigérant variable.

Notre choix s'est porté sur le split *INVERTEUR* du constructeur *DAIKIN*. Pour des puissances frigorifiques produite presque semblable, ce dernier possède le *COP* le plus élevé, donc la plus faible puissance électrique. Une comparaison des caractéristiques essentielles de ces deux marques de split est disponible dans le tableau suivant mais pour plus d'information la fiche technique est en **Annexe 15**.

Tableau 26 : Caractéristiques du split *AIRWELL* existant et celui de *DAIKIN* proposé

	Existant	Proposé
Marque	AIRWELL	DAIKIN
Puissance électrique (W)	4840	3000
Puissance frigorifique (W)	12400	12000
COP	2,6	4
Réfrigérant	R-410 a	R-32

✚ Dans l'optique d'améliorer l'efficacité de la climatisation du site, nous proposons de remplacer les splits de marque *SHARP* par des splits de marque *INVERTEUR* du constructeur *DAIKIN* bien que ces derniers possèdent de *COP* conforme. Une comparaison des caractéristiques essentielles de ces deux marques de split est disponible dans le tableau suivant mais pour plus d'information, la fiche technique est en **Annexe 15**.

Tableau 27 : Caractéristiques du split *SHARP* existant et celui de *DAIKIN* proposé

	Existant	Proposé
Marque	SHARP	DAIKIN
Puissance électrique (W)	3520	3500
Puissance frigorifique (W)	1240	909
COP	2,8	3,8
Réfrigérant	R-22	R-410 a

VII.4.5. Consommation énergétique après application des mesures d'optimisation

La quantité de chaleur à évacuer, due à l'enveloppe du bâtiment 1 au début, est de **115 785,7 W**. Celle après l'isolation avec de la **laine de chanvre** est de **54 149,8 kW**. L'isolation aura permis de réduire de **53, 24 %** les charges de climatisation, dues aux parois externes du bâtiment 1 pour une surface isolée de **1 834,2 m²** (Voir bilan thermique en **Annexe 16**). Une extrapolation du gain spécifique de puissance frigorifique sur les autres bâtiments, a permis d'estimer un gain total de puissance frigorifique de **866 746 W** pour une surface isolée de **25 796 m²** (Cf. **Annexe 16**). Le COP moyen des machines frigorifiques

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

existantes du site étant de **3,34**, la puissance électrique correspondante est de **259,51 kW**. Ce gain résulte de la non nécessité de certaines machines frigorifiques après isolation thermique des parois externes avec de la laine de chanvre.

Pour un temps de fonctionnement annuel moyen de **1754 h** des machines frigorifiques existantes, la consommation énergétique annuelle du gain de puissance électrique s'élève à **455,2 MWh**. Une répartition de ce gain total d'énergie en fonction des bâtiments est disponible en **Annexe 16**.

Après application des autres mesures restantes, le changement sur la consommation est observable dans le tableau suivant.

Tableau 28: Consommation annuelle des systèmes de climatisation après application des mesures

	Avant optimisation			Après optimisation		
Récepteur	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)
Split	2105,85	2272,28	4785,07	1875,85	2272,28	4262,46
Armoire	565,25	717,60	405,62	565,25	717,60	405,62
GEG	528	2272,28	1 199,76	528	2272,28	1 199,76
Consommation totale (MWh/an)			6390,46			5867,84

Dans le tableau suivant sont disponibles les indicateurs de consommation des systèmes de climatisation des bâtiments avant et après application des mesures d'optimisation.

Tableau 29: Indicateurs de consommation après optimisation

		Indice IEPF		Avant optimisation		Après optimisation	
ID Bâtiment	Surface climatisée (m ²)	Ratio de Reference (W/m ²)	Situation médiocre	Conso annuelle (kWh)	Ratio calculé (kWh/m ²)	Conso annuelle (kWh)	Ratio calculé (kWh/m ²)
Bâtiment 1	1880	160	>275	388 813,9	206,8	308 379,3	164
Bâtiment 2				417 447,8	222	335 509	178,5
Bâtiment 3				397 383,6	211,4	313 188,4	166,6
Bâtiment 4				463 729,2	246,7	375 021,2	199,5
Bâtiment 5				369 368,7	196,5	282 165,0	150,1

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Bâtiment 6	1880	160	>275	485 040,4	258	391 819,7	208,4
Bâtiment 7				385 654,1	205,1	315 926,5	168
Bâtiment 8				334 990,4	178,2	266 103,6	141,5
Bâtiment 9				370 478	197,1	307 187,8	163,4
Bâtiment 10				403 561,5	214,7	337 926,2	179,7
Bâtiment 11				416 002,2	221,3	348 531	185,4
Bâtiment 12				416 002,2	221,3	348 531	185,4
Serv de gest	660	150	>250	131 894,9	199,8	114 686,4	173,8
Primature	4950	160	>275	1 343 912,7	271,5	1 291 312,7	260,9
Guerite 1	43	150	>250	7 498,5	174,4	7 498,5	174,4
Guerite 2				7 498,5	174,4	7 498,5	174,4
Guerite 3				7 498,5	174,4	7 498,5	174,4
Guerite 4				7 498,5	174,4	7 498,5	174,4

Interprétation graphique :

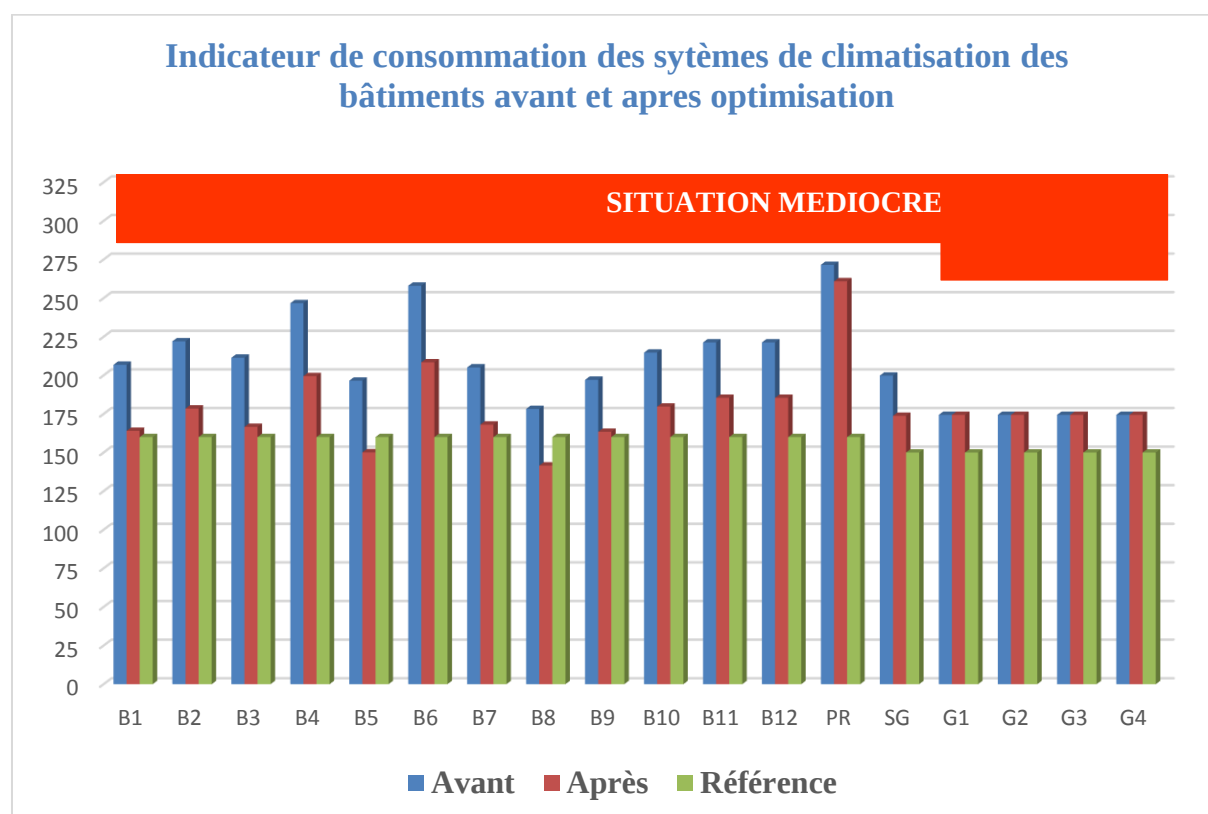


Figure 14: Indicateur de consommation des systèmes de climatisation avant et après optimisation

Les diagrammes ci-avant nous montrent que les mesures préconisées pour la climatisation, auront un impact positif sur la consommation d'une bonne partie des systèmes de climatisation, notamment ceux des 12 bâtiments abritant les ministères et le bâtiment de la primature. Dans le cas des bâtiments 1, 2, 5, 7, 8 et 9, les mesures nous amèneront à atteindre approximativement l'indicateur de référence jusqu'à le dépasser dans 2 cas (bâtiments 5 et 8). Ce qui est un excellent résultat de conformité selon IEPF, sur la consommation des systèmes de climatisation correspondants. Par ailleurs, les ratios obtenus dans l'ensemble sont tous conformes puisque nous ne nous retrouvons pas dans des **situations médiocres** dans chacun des cas. Toutefois il faudrait reconnaître que le cas de la primature tend toujours vers une situation médiocre. Cela peut s'expliquer par les pertes des GEG dues à leurs parfaites expositions aux conditions climatiques et les pertes de stockage et d'acheminement du froid vers la primature auxquelles on a tenu compte lors du dimensionnement (la primature et les GEG sont distant de **120 m** au plus).

VII.4.6. Gains en énergie

Les gains en énergie correspondent à la différence des deux consommations énergétiques annuelles obtenues plus le gain, dû à l'isolation thermique.

$$\Delta E = (E - E') + \Delta E' = (6390,46 - 5867,84) + 455,2 = \mathbf{978\ MWh}$$

Ce gain en énergie représente **15,31 %** de la consommation énergétique annuelle dû à la climatisation.

VI.5. Les machines électriques

VII.5.1. Généralité

Il existe deux types de machine électrique qui sont la tournante et la statique. Les machines tournantes servent à actionner les pompes, les ventilateurs, les compresseurs... Tandis que les machines statiques servent à modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative.

Du point de vue énergétique on peut décomposer les machines électriques tournantes en éléments qui transforment l'énergie comme suit. L'inducteur transforme l'énergie électrique en magnétique et la renvoie à l'induit qui à son tour la transformera en énergie mécanique. Et on a le couple utile. La figure suivante illustre le concept

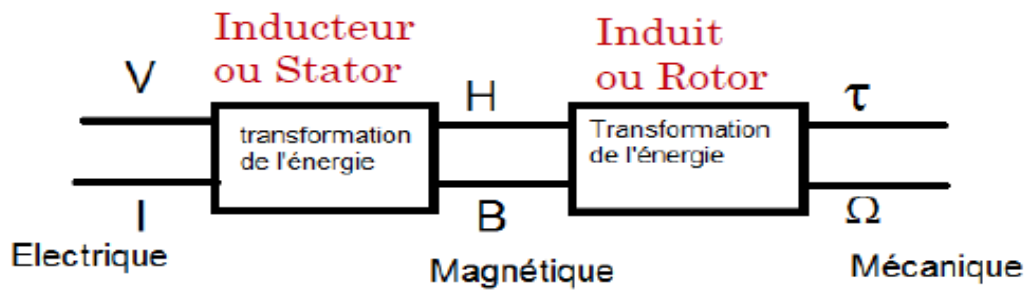


Figure 15 : Chaîne de consommation d'une machine électrique

Les appareils de chauffage ont été catégorisés comme des machines électriques dans le souci de limiter les postes de consommation. En réalité, ce n'est pas le cas mais leur chaîne de consommation est incluse dans celle des machines électriques. En effet, Leur principe de fonctionnement se limite à l'induction magnétique. Une bobine de cuivre (Inducteur) dans laquelle passe le courant électrique, crée un champ magnétique. À travers la sensibilité du contenant au champs magnétique, est produit un effet thermique qui se traduit par un échauffement excessif du contenant et la chaleur est produite instantanément jusqu'à satisfaction. La figure suivante illustre le principe.

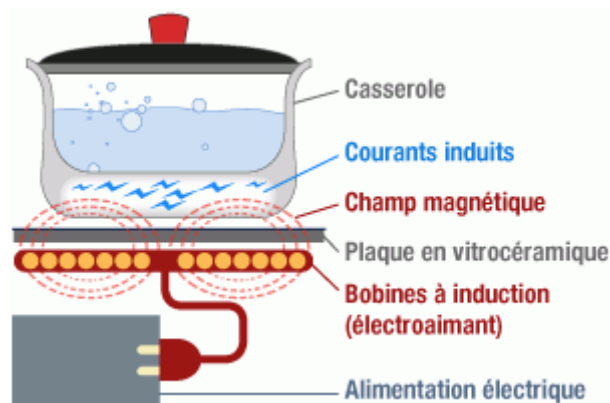


Figure 16 : Schéma illustratif de fonctionnement des appareils de chauffage (source Group Digital)

VII.5.2. Consommation énergétique actuelle

Tableau 30 : Consommation énergétique annuelle des machines électriques

Récepteur électrique	Puissance totale (kW)	Temps de fonctionnement (heures/an)	Consommation énergétique (MWh/an)
Ascenseur	388,3	364,63	141,59
Extracteur	63,64	986	62,75
Chauffe-eau	885,5	66	58,44

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Four micro-onde	88,2	425,8	37,56
Réfrigérateur	62,12	3285	204,06
Cuiseur électrique	246	425,8	104,75
Fontaine à café	644,8	7,47	4,82
Congélateur	8,1	3285	26,61
Circulateur	44	2272,28	99,98
Ventilo-convecteur	20,9	2272,28	47,42
Surpresseur	1,1	2272,28	2,50
Pompe électrique	2,4	10	0,02
Energie annuelle consommée les Machines Électriques			790,49

VII.5.3. Diagnostics

Les diagnostics à ce niveau, concernent uniquement les chauffe-eaux, les cuiseurs électriques, les fontaines à café et les pompes électriques.

1. Les chauffe-eaux électriques sont de nature énergivore pour peu d'utilité, à cause de leur faible capacité de production tandis que les fontaines à café sont énergivores pour plus d'utilité. En effet, ces dernières peuvent satisfaire chacune une demande équivalente de 11 chauffe-eaux pour une même consommation.
2. Les cuiseurs électriques ont l'avantage d'être beaucoup plus faciles à utiliser. Cependant, ceux existant à la cité administrative sont de type classique. Ce qui est démodé et consomme plus d'énergie que tous les autres modes de cuisson électrique. Selon l'**Energie+** une plaque performante au gaz butane consommera **0,52 Wh** pour un repas que les plaques électriques peuvent cuire en moyenne avec **0,45 Wh**. Ainsi d'un point de vue financière, nous pouvons dire que la cuisson au gaz butane est moins chère que celle avec l'électricité même si elle consomme légèrement plus d'énergie (due aux déperditions thermiques). En effet, le prix du kWh de gaz est 2 fois inférieur que le prix du kWh d'électricité (**ADEME**). Il faudrait reconnaître que les deux énergies possèdent des qualités certaines mais la facture énergétique aussi est un aspect à prendre en compte.
3. Certaines machines fonctionnent à des heures pleines ou de pointe malgré qu'il n'y ait pas d'utilité. Il s'agit des pompes électriques qui se chargent du remplissage des réservoirs des groupes électrogènes par du carburant. Ce fonctionnement pourrait être décalé vers les heures creuses de consommation.

4. Les ascenseurs fonctionnent presque à vide c'est-à-dire souvent la consommation requise pour le déplacement de 8 personnes, n'est utilisée que par 1 ou 2 personnes. Ce qui n'est pas du tout efficace.

VII.5.4. Mesure d'optimisation

Une analyse des diagnostics s'est traduite par quelques mesures d'optimisation pertinentes qui sont développés comme suit :

1. Nous proposons de bannir l'utilisation des chauffe-eaux électriques. Elles sont énergivores pour une utilité minime (individuel). Autrement, on pourrait appeler le personnel à utiliser les fontaines à café collectives. Ce qui ferait remarquer une considérable baisse de la consommation du aux machines électriques.
2. La bonne cuisson des aliments dépend en grande partie de l'énergie utilisée. Le gaz butane est reconnu comme la meilleure énergie pour la cuisson car il permet une cuisson homogène et une montée rapide en température qui est facile à contrôler pour parfaire sa cuisine. Par conséquent, nous proposons de procéder uniquement à l'utilisation du gaz butane pour la cuisine et de bannir l'utilisation des cuiseurs électriques.
3. Nous proposons de décaler le fonctionnement des pompes électriques vers les heures creuses de consommation. Ce qui n'influe en aucun cas sur le remplissage des réservoirs de GE.
4. Nous recommandons de sensibiliser les occupants à utiliser les escaliers, surtout quand les distances sont courtes. Par exemple les accès aux 1-ère et 2-ème étage. Ce qui va permettre de réduire le temps de fonctionnement des ascenseurs

VII.5.5. Consommation énergétique après application des mesures d'optimisation

Les mesures d'optimisation ci-haut ne nécessitent pas d'investissement financier, juste un changement du comportement des utilisateurs. Après application de ces mesures, on pourra s'attendre aux résultats suivants :

1. Le bannissement des chauffe-eaux entrainera une utilisation excessive des fontaines à café. Par conséquent, leur temps de fonctionnement annuel augmentera. Le nouveau temps de fonctionnement t_f' sera fonction d'un temps de fonctionnement journalier de 15 mn (0,25 h), du nombre de jour de fonctionnement (249 jours), d'un facteur de simultanéité de 80 % et d'une fréquence de sollicitation de 85 %.

$$t_f' = 0,25 \times 249 \times 0,8 \times 0,85 = 42,33 \text{ h}$$

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

2. Le nouveau mode de cuisson fonctionne avec du gaz butane. Et comme déjà notifier ci-haut, notre étude est restreinte à l'énergie électrique. Ce qui fait que la consommation de l'ancien mode de cuisson (Cuisseurs électriques) représentera pour nous, un gain d'énergie.
3. La mesure concernant le décalage des heures de fonctionnement des pompes n'entraînera pas d'économie d'énergie mais un gain financier. Ce qui fait qu'on ne pourra pas remarquer son avantage à ce niveau mais au niveau du bilan financier.

Tableau 31: Consommation des machines électriques après application des mesures

	Avant optimisation			Après optimisation		
Récepteur	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)	Puissance totale (kW)	Temps de fonct (h/an)	Consommation (MWh/an)
Ascenseur	388,30	364,63	141,59	388,30	364,63	141,59
Extracteur	63,64	986	62,75	63,64	986	62,75
Chauffe-eau	885,50	66	58,44	885,50	0	0
Four micro-onde	88,20	425,80	37,56	88,20	425,80	37,56
Réfrigérateur	62,12	3285	204,06	62,12	3285	204,06
Cuiseur électrique	246,00	425,80	104,75	246	0	0
Fontaine à café	644,80	7,47	4,82	644,80	42	27,29
Congélateur	8,10	3285	26,61	8,10	3285	26,61
Circulateur	44	2272,28	99,98	44,00	2272	99,98
Ventilo-convect	20,87	2272,28	47,42	20,87	2272	47,42
Surpresseur	1,10	2272,28	2,50	1,10	2272	2,50
Pompe électrique	2,40	10	0,02	2,40	10	0,02
Consommation totale (MWh/an)			790,49			649,78

VII.5.6. Gains en énergie :

Les gains en énergie correspondent à la différence des deux consommations énergétiques annuelles.

$$\Delta E = E - E' = 790,49 - 649,78 = \mathbf{140,71 \text{ MWh}}$$

Ce gain en énergie représente **17,8 %** de la consommation énergétique annuelle due aux machines électriques.

VI.6. Récapitulation des résultats

Arrivé aux termes de notre audit approfondi, les résultats nous montrent qu'il est possible d'économiser **1 676,55 MWh** de la consommation énergétique annuelle de la cité administrative, soit **18,6 %**. Ce potentiel est le cumul des différents gains obtenus par poste de consommation suite à l'application des mesures d'optimisation.

Tableau 32: Synthèse de l'audit approfondi

Poste de consommation	Mesure d'optimisation	Consommation avant optimisation (MWh)	Consommation après optimisation (MWh)	Économie annuelle	
				(MWh)	%
Éclairage	Remplacement des tubes 60 et 120 cm	803,9	362,53	441,37	55
	Remplacement des vidéos projecteurs				
	Utilisation des lampadaires solaires				
Bureautique	Remplacement des imprimantes	906,28	796,31	110	12,13
	Remplacement des photocopieuses				
Équipements de télécommunication	Régulation de l'heure de fonctionnement des antennes Wifi	132,79	126,32	6,47	4,9
Climatisation	Isolation thermique des murs externes	6390,46	5412,64	978	15,31
	Remplacement des splits de marques SHARP et AIRWELL				
Machines électrique	Interdiction des chauffe-eaux et cuiseurs électriques	790,49	649,78	140,71	17,8
	Utilisation collective des fontaines				
	Utilisation de certains moteurs vers les heures creuses				
Économies d'énergie totaux				1676,55	18,6

VII. EVALUATION FINANCIERE

Certains gains d'énergie ne nécessitent pas d'investissement financier juste une sensibilisation du personnel ou une décision à prendre. Il s'agit des gains d'énergie résultants des machines électriques et des équipements de télécommunications. Ils sont respectivement de **35,96 MWh** pour les machines électriques et **6,47 MWh** pour les équipements de télécommunication.

Pour tous les calculs suivants, le cout du kWh est estimé à **93 F CFA** et le coût du transport des matériels à **3 %** de leur prix d'achat.

VII.1. Éclairage

La mesure proposée est le remplacement de certaines sources lumineuses par des technologies modernes à LED et les lampadaires existant par des lampadaires solaires. L'énergie économisée est de **441 370 kWh/an**. Le gain financier correspondant est de **41 047 410 F CFA/an**.

D'autre part, un autre apport de gain financier existe. Il provient des durées de vie des sources lumineuses proposées. En effet, elles sont entre 1,4 à 5 fois supérieures que ceux des sources lumineuses existantes. Il en découle que les lampes existantes nécessiteraient entre 1 à 5 remplacements avant d'atteindre la durée de vie de celles proposées. Les nouvelles lampes proposées vont réduire le nombre de remplacement ; ce qui va se traduire un gain financier. L'économie financière, due à cette action s'élève à **217 705 670 FCFA**, voir le tableau ci-dessous.

Tableau 33 : Gains financiers dus aux changements des lampes

Statut	Référence	Durée de vie (h)	Nombre de remplacement	Quantité	Prix unitaire (F CFA)	Prix total (F CFA)
Existant	Tube néon 120 cm	12000	5	2964	9 498	140 752 950
Proposé	LEDtube T8 120 cm	60000				
Existant	Tube BC 60 cm	11500	5	3154	4 585	72 305 450
Proposé	LEDtube T8 60 cm	60000				
Existant	Projecteur	35000	1	54	46 505	2 511 270
Proposé	Projecteur à LED	50000				
Existant	Lampe Na HP	24000	2	178	6 000	2 136 000
Proposé	Lampe LED	>50000				
GAINS FINANCIERS DUS AUX CHANGEMENTS DES LAMPES EXISTANTES (F CFA)						217 705 670

VII.1.1. Coût d'investissement

La mesure d'optimisation nécessite l'achat d'une quantité énorme de sources lumineuses qui sont listés dans le tableau ci-dessous avec leur frais de transport et d'installation.

Tableau 34 : Coût d'investissement des mesures d'économie du système d'éclairage

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (F CFA)	Prix total (F CFA)
1	LEDtube T8 120 cm	U	2964	36 549	108 331 236
2	LEDtube T8 60 cm	U	3154	16 506	52 059 924
3	Projecteur à LED	U	54	453 260	24 476 040
4	Lampadaire solaire	U	178	122 000	21 716 000
5	Cout d'installation	U	6350	1 500	9 525 000
6	Transport	Ens	-	-	6 197 496
TOTAL (F CFA)					222 305 696

VII.1.2. Coût de maintenance

La maintenance parle ici du nettoyage des sources lumineuses durant leur durée de vie. À la suite d'une consultation auprès d'un service de maintenance compétent à Bamako, nous avons été renseignés que le coût de maintenance par source est de 5 000 F CFA/an. Le nombre de sources lumineuses concernées étant de 6350, le coût total de la maintenance est alors de **31 750 000 F CFA par an.**

VII.1.3. Temps de retour sur l'investissement :

Le temps de retour sur l'investissement TRI se détermine par l'équation (6), rappelée ci-dessous :

$$TRI = \frac{\text{Coût d'investissement} + \text{Coût de maintenance}}{\text{Economies financières}}$$

$$TRI = \frac{222\,305\,696 + 31\,750\,000}{41\,047\,410 + 217\,705\,670} = 1 \text{ an}$$

Le temps nécessaire pour tirer profit des investissements réalisés au cours du temps pour l'éclairage, est de : **1 an.**

VII.2. Bureautique

La mesure proposée est le remplacement des imprimantes lasers par des imprimantes à jets d'encre et les photocopieuses par celles adaptées aux besoins en termes de rapidité. L'énergie économisée est de **110 000 kWh/an**. Le gain financier correspondant est de **10 230 000 F CFA/an**.

VII.2.1. Coût d'investissement

La mesure d'optimisation nécessite l'achat des équipements suivants.

Tableau 35 : Coût d'investissement des mesures d'économie de la bureautique

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (F CFA)	Prix total (F CFA)
1	Imprimante HP officejet	U	523	135 585	70 910 955
2	Photocopieur HP PageWide	U	203	291 475	59 169 425
3	Cout d'installation	U	726	1 500	1 089 000
4	Transport	Ens	-	-	3 935 081
TOTAL (F CFA)					135 104 461

VII.2.2. Coût de maintenance

La maintenance englobe les petites pannes et le nettoyage des nouveaux équipements informatiques. À la suite d'une consultation auprès d'un service de maintenance compétent à Bamako, nous avons été renseignés que le coût de maintenance par équipement est de 5 000 F CFA par an. Le nombre total d'équipements concernés étant de 726, le coût total de la maintenance est de **3 630 000 F CFA par an**.

VII.2.3. Temps de retour sur l'investissement

Le temps de retour sur l'investissement TRI se détermine par l'équation (6).

$$TRI = \frac{135\,104\,461 + 3\,630\,000}{10\,230\,000} = 13,56 \text{ ans}$$

Le temps nécessaire pour tirer profit des investissements réalisés au cours du temps pour la bureautique est de : **13 ans 7 mois**.

VII.3. Enveloppe du bâtiment

La mesure proposée est l'isolation thermique des parois externes des différents bâtiments avec de la laine de chanvre. L'énergie économisée est de **455 200 kWh/an**. Le gain financier correspondant est de **42 333 600 F CFA/an**.

VII.3.1. Coût d'investissement

La mesure d'optimisation nécessite l'achat d'une surface importante de laine de chanvre qui après installation nécessitera une couverture entière des bâtiments avec du mortier. Pour l'installation et la recouverture, nous avons considéré un ratio de **6 200 F CFA/m²**, obtenu à la suite d'une consultation auprès d'une entreprise spécialisée dans les domaines de l'isolation au Mali, dénommé DJIGUI NANA. Le devis est résumé dans le tableau suivant.

Tableau 36 : Coût d'investissement des mesures d'économie de l'enveloppe

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (F CFA)	Prix total (F CFA)
1	Laine de chanvre	m ²	25 796	9 825	253 445 700
2	Cout d'installation et recouverture	m ²	25 796	6 200	159 935 200
3	Accessoire de montage	Ens	-	-	42 600 000
4	Transport	Ens	-	-	7 603 371
TOTAL (F CFA)					463 584 300

VII.3.2. Temps de retour sur l'investissement

Le temps de retour sur l'investissement TRI se détermine par l'équation (6).

$$TRI = \frac{463\,584\,300}{42\,333\,600} = 11 \text{ ans}$$

Le temps nécessaire pour tirer profit des investissements réalisés pour l'isolation thermique avec de la laine de chanvre est de : **11 ans**.

VII.4. Climatisation

La mesure proposée est le remplacement deux marques de split (SHARP et AIRWELL) par des correspondants du constructeur DAIKIN. L'énergie économisée est de **522 620 kWh/an**. Le gain financier correspondant est de **48 603 660 F CFA**.

VII.4.1. Coût d'investissement

La mesure d'optimisation nécessite l'achat de certains splits qui sont listés dans le tableau suivant avec leur frais de transport et d'installation.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Tableau 37 : Coût d'investissement des mesures d'économie du système de climatisation

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (F CFA)	Prix total (F CFA)
1	Inverter DAIKIN 125 F+LV1	U	57	925 650	52 762 050
2	Inverter DAIKIN 35 F+L3	U	378	251 780	95 172 840
3	Cout d'installation	U	435	22 000	9 570 000
4	Transport	Ens	-	-	4 725 147
TOTAL (F CFA)					162 230 037

VII.4.2. Coût de maintenance

La maintenance englobe les petites pannes et le nettoyage des splits. À la suite d'une consultation auprès d'un service de maintenance compétent à Bamako, nous avons été renseignés que le coût de maintenance par split est de 10 000 FCFA par an. Le nombre total de splits concernés étant de 435. Le coût total de la maintenance s'élève à **4 350 000 F CFA/an**.

VII.4.3. Temps de retour sur l'investissement

Le temps de retour sur l'investissement TRI se détermine par l'équation (6), rappelée ci-dessous :

$$TRI = \frac{\text{Cout d'investissement} + \text{Cout de maintenance}}{\text{Economies financières}}$$

$$TRI = \frac{162\,230\,037 + 4\,350\,000}{48\,603\,660} = \mathbf{3,43\,ans}$$

Le temps nécessaire pour tirer profit des investissements réalisés au cours du temps pour la climatisation est de : **3 ans 6 mois**.

VII.5. Récapitulation financière

Le potentiel d'économie d'énergie ainsi obtenu est de **1 676,55 MWh**. Le cout d'investissement total du projet s'élève à **1 022 954 500 F CFA** pour une économie financière annuelle de **155 919 150 F CFA**. En outre, **8,78 %** du potentiel d'économie peut être atteint sans investissement, **57,5 %** à une période de retour sur investissement inférieure à 4 ans et **33,72 %** supérieure à 14 ans. Le tableau suivant donne plus de details

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Tableau 38: Récapitulation de l'évaluation financière

Poste de consommation	Économie en énergie (MWh/an)	Économie annuelle (F CFA)	Coût d'investissement (F CFA)	TRI
Éclairage	441,37	258 753 080	254 055 696	1 an
Bureautique	110	10 230 000	138 734 461	13 ans 7 mois
Équipements de télécommunication	6,47	601 710	-	-
Enveloppe du bâtiment	455,2	42 333 600	463 584 300	11 ans
Climatisation	522,62	48 603 660	166 580 037	3 ans 6 mois
Machines électriques	140,71	13 086 030	-	-
Total	1676,55	155 919 150	1 022 954 500	-

VIII. IMPACT ENVIRONNEMENTAL

L'énergie est essentielle à la vie et au développement économique. Au niveau mondial, sa consommation a été multipliée par un facteur 70 depuis environ deux siècles. Cela a permis d'accroître le niveau de vie des habitants de la terre. Néanmoins, ces progrès fulgurants se sont faits avec un impact de plus en plus important sur l'environnement. En effet, la production de l'énergie émet des gaz à effet de serre soit directement ou indirectement. Environ 85 % des émissions de gaz à effet de serre anthropiques proviennent du secteur de l'énergie. Parmi ces gaz, le CO₂ a la plus importante contribution avec 95 % des émissions. La production d'électricité est responsable de près de 40 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre (NGÔ et al., 2017). La figure ci-dessous présente l'ordre de grandeur des émissions directes et indirectes de CO₂ par kWh d'électricité produit selon les différentes sources d'énergie.

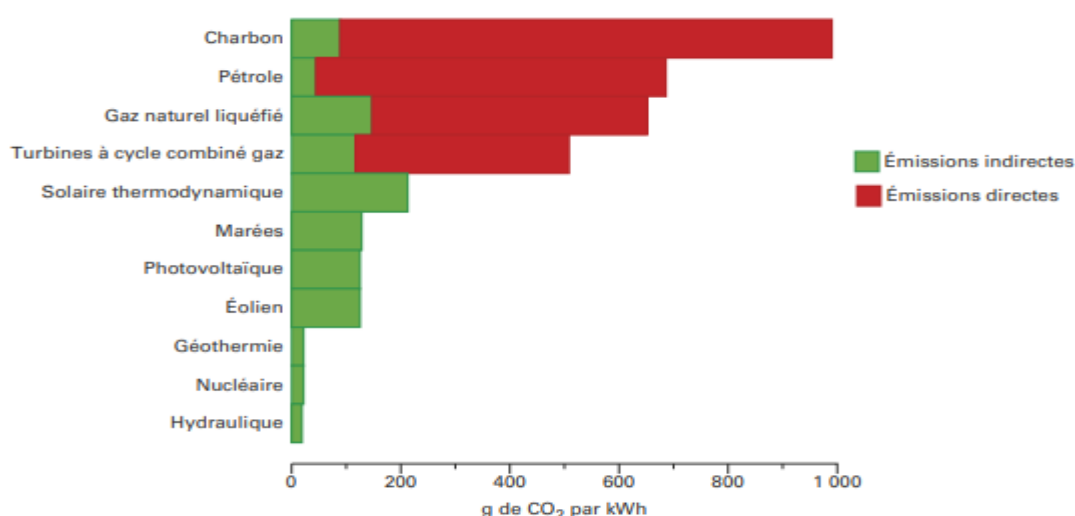


Figure 17: Ordres de grandeur des émissions de CO₂ par kWh (source doc.iea.org)

L'objectif d'un audit énergétique est de réduire la consommation énergétique à travers une utilisation efficace de l'énergie. Les économies résultantes contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre donc principalement à la réduction des émissions de CO₂.

Au Mali, la société EDM SA assure la production d'électricité avec la thermique, l'hydraulique et le photovoltaïque. Selon l'IRENA la consommation d'un kWh de l'EDM SA nécessite une émission moyenne de **0,68 kg de CO₂** dans l'atmosphère. Ainsi pour une quantité d'énergie économisée de **1676,55 MWh/an** suite à une utilisation efficace, la cité administrative évite une émission de **1140 tonnes de CO₂** par an dans l'atmosphère. Ce qui est un impact positif pour le projet.

IX. RECOMMANDATIONS

Les recommandations portent sur trois points : la formation, la sensibilisation, l'entretien et la maintenance. Si elles sont appliquées, on remarquera de considérables économies d'énergie et financière plus celles dues aux résultats de l'audit énergétique.

IX.1. La formation

Une administration comme la cité administrative regroupe en son sein des installations de spécialités diverses : électricité, climatisation, électronique, informatique, télécommunication, électromécanique, plomberie, énergétique etc... Il est quasi-impossible à une seule personne d'une spécialité donnée, d'assurer avec une compétence totale les tâches de maintenance et d'exploitation de chaque corps d'état. La cité administrative possède déjà un ingénieur génie électrique et des techniciens en électricité et électromécanique. L'importance des installations électriques et de climatisation requiert les compétences plus accrues des techniciens en matière de gestion et d'exploitation.

Nous pensons que pour une bonne maîtrise de la gestion et de l'exploitation des installations, le service de gestion de la CA devrait assurer aux techniciens une formation axée sur le fonctionnement, la maintenance et l'exploitation de certains équipements tels que les groupes d'eau glacée, les groupes électrogènes, les machines électriques tournantes et statiques : on n'en sait jamais trop.

IX.2. La sensibilisation

Un programme d'économie d'énergie dans le bâtiment est éphémère et voué à un échec certain si les exploitants et les utilisateurs ne sont pas sensibilisés.

Nous pensons que les techniciens que nous avons rencontrés et avec lesquels nous avons travaillé sont sensibilisés et qu'il faudrait plutôt porter le message au niveau des ministres, des directeurs, des chefs de division, des chefs de section et du reste des occupants pour les sensibiliser. Les exemples de lettre d'engagement sont donnés en **Annexe 20**.

Aussi, on pourrait ne faire fonctionner les systèmes de climatisation et les antennes Wi-Fi que les samedis matin, pour obliger les employés à ne pas venir gaspiller l'énergie au travail, car certains y viennent pour leurs propres affaires. Ceci est valable pour ces récepteurs durant les jours officiels de travail sauf que le temps de fonctionnement devra se situer entre 7 h et 18 h.

IX.3. L'entretien et la maintenance

C'est une notion qui est parfois reléguée au second plan quand on est en période de récession économique. De l'ensemble des installations visitées, un constat s'impose : une bonne partie des équipements est dans leur temps d'adulte et le restant dans leur temps de jeunesse. Ces deux temps ne nous permettent pas de les renouveler aussi facilement si on veut beaucoup tirer profit. De ce fait la maintenance devrait être d'une priorité absolue (surtout la maintenance préventive).

Il n'est jamais de trop de souligner l'importance de la maintenance préventive qui coûte quelques francs, contre des milliers et les troubles occasionnés quand l'équipement tombe en panne. La cité administrative pourrait, en attendant un outil de planification et de gestion de son entretien, réclamer un rapport trimestriel de l'entretien effectué sur chaque équipement.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'audit énergétique des bâtiments de la cité administrative a révélé des éléments de gaspillage d'énergie dans l'utilisation des différents systèmes existants. Ces éléments concernent tant l'utilisation d'équipements énergivores que les habitudes de consommation du personnel.

Les diagnostics énergétiques ont conduit à l'élaboration de mesures d'efficacité énergétique et d'économie d'énergie. Il s'agit notamment du remplacement d'équipements énergivores, de l'installation de mécanismes de gestion de la consommation et de la sensibilisation des usagers. Nous avons pu ainsi faire des propositions qui engendrent de forts gains annuels d'énergie. Elle est de **441 370 kWh** pour l'éclairage, **110 000 kWh** pour la bureautique, **6 470 kWh** concernant les équipements de télécommunication, **455 200 kWh** pour l'enveloppe du bâtiment, **522 620 kWh** pour la climatisation et **140 710 kWh** chez les machines électriques. Ainsi, nous avons obtenu un potentiel total d'économie d'énergie de **1 672,32 MWh/an** soit un potentiel d'économie financière de **155 919 150 F CFA/an**. Le temps de retour sur investissement est respectivement de **1 an** pour l'éclairage, **13,56 ans** pour la bureautique, **11 ans** pour l'enveloppe du bâtiment et **3,43 ans** pour la climatisation.

Toutefois, la réalisation du projet serait bénéfique, tant au niveau économique qu'au niveau environnemental. Les mesures préconisées engendreront en global une réduction de **18,6 %** de la consommation électrique annuelle soit **1676,55 MWh**. De plus, l'émission de **1140 tonnes de CO₂** sera évitée du point de vue environnementale.

Après réalisation du projet, il serait utile de suivre les factures d'électricité. Cela conduirait bien à l'ajustement des modalités du contrat d'abonnement actuel parce que les puissances installées des récepteurs diminueront considérablement.

Aussi il serait plus économique de substituer ou d'associer les énergies renouvelables tel que le solaire à la production électrique. Vu la localisation du site, l'irradiation solaire est très favorable à l'utilisation de cette source d'énergie et ceci permettra une grande économie d'énergie et même une réduction d'émissions de plus de gaz à effet de serre.

Notons par ailleurs que quel que soit le respect des mesures d'optimisation si elles ne sont pas accompagnées par un programme pertinent de sensibilisation, de suivi, de maintenance, d'entretien et d'amélioration pour garantir leur efficacité et leur durabilité comme recommandés, elles voueront sans doute à l'échec.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRE, B., 1967. L'isolation thermique des locaux d'habitation, des maisons légères et des constructions solaires, Moniteur des travaux publics. ed, Réglementation – Notions et calculs pratiques.
- COULIBALY, Y., 2013. THERMIQUE DU BATIMENT.
- COULIBALY, Y., 2010. AUDIT ENERGETIQUE.
- COULIBALY, Y., CLAESSENS, J., DJIAKO, T., GNAMKE, M., KANMOGNE, A., NDIAYE, A., SAKO KOITA, M., 2002a. EFFICACITE ENERGETIQUE DE LA CLIMATISATION EN REGION TROPICALE, 1st ed, TOME. Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie, Canada.
- COULIBALY, Y., CLAESSENS, J., DJIAKO, T., GNAMKE, M., KANMOGNE, A., NDIAYE, A., SAKO KOITA, M., 2002b. EFFICACITE ENERGETIQUE DE LA CLIMATISATION EN REGION TROPICALE, 2nd ed, TOME. Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie, Canada.
- NGÔ, C., ROJEY, A., ZAOUI, C., 2017. Énergie : économie et environnement 107.

Site internet :

Efficacité énergétique. [En ligne]. Consulté le 04 /05/2020. « URL :

<http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11455> »

Évaluer la consommation des équipements électriques. [En ligne]. Consulté le 04 /05/2020.

« URL :<https://energieplus-lesite.be/evaluer/bureautique2/Evaluer-la-consommation-des-equipements/evaluer-la-consommation-des-equipements-electriques/> »

Évaluer la consommation des imprimantes. Consulté le 03 /06/2020. « URL :

<https://energieplus-lesite.be/evaluer/bureautique2/Evaluer-la-consommation-des-equipements/evaluer-la-consommation-des-imprimantes/> »

Évaluer la consommation des photocopieurs. [En ligne]. Consulté le 03 /06/2020. « URL :

<https://energieplus-lesite.be/evaluer/bureautique2/Evaluer-la-consommation-des-equipements/evaluer-la-consommation-des-photocopieurs/> »

Tableau comparatif des isolants [En ligne]. Consulté le 29/05/2020. « URL:

<http://socialcompare.com/fr/comparison/tableau-comparatif-pour-l-isolation-thermique-d-un-logement-ou-sa-renovation> »

ANNEXE

Annexe 1: Caractéristiques techniques des deux types de transformateur de la CA	1
Annexe 2 : Caractéristiques techniques des deux classes de groupe électrogène de la CA	2
Annexe 3 : Inventaire des caractéristiques des systèmes d'éclairage existants	3
Annexe 4 : Inventaire des caractéristiques des équipements de la bureautique	5
Annexe 5 : Inventaire des caractéristiques des équipements de télécommunication	8
Annexe 6 : Inventaire des caractéristiques des systèmes de climatisation	9
Annexe 7 : Inventaire des caractéristiques des machines électriques	11
Annexe 8 : Calculs du temps de fonctionnement des récepteurs	16
Annexe 9 : Densité moyenne d'éclairage intérieur des bâtiments	20
Annexe 10 : Caractéristiques techniques des sources lumineuses de remplacements	21
Annexe 11 : Fiche technique de l'imprimante à jet d'encre proposée de marque HP	24
Annexe 12 : Fiche technique de la photocopieuse de marque HP proposée	25
Annexe 13 : Valeurs indicatives de consommation de bâtiments climatisés en CTH	26
Annexe 14 : COP recommandés pour différentes machines frigorifiques	26
Annexe 15 : Fiche technique des splits Inverters proposés de chez DAIKIN	27
Annexe 16 : Étude technico-économique de l'enveloppe : Cas du bâtiment 1	28
Annexe 17 : Caractéristiques des matériaux (COULIBALY et al., 2002a)	37
Annexe 18 : Coefficient de convection des parois externes	37
Annexe 19 : Méthode détaillée de calculs des charges thermiques du bâtiment 1	38
Annexe 20: Proposition d'affiches de sensibilisation	39

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 1: Caractéristiques techniques des deux types de transformateur de la CA

Plaque signalétique de transformateur	
Constructeur	PAUWELS TRAFO
GENERALE	
Phases	3
Référence	550286/30
Puissance assignée	1000 kVA
Fréquence	50 Hz
Couplage	Dyn 11
Tension de court-circuit	5 %
Métal des enroulements	ALUMINIUM
Refroidissement	ONAN
Masse totale	2649 kg
PRIMAIRE	
Tensions Pos 1	15375 V
Tensions Pos 2	15000 V
Tensions Pos 3	14625 V
Courants	38,49 A
SECONDAIRE	
Tensions Pos 1	-
Tensions Pos 2	410 V
Tensions Pos 3	-
Courants	1408 A

Plaque signalétique de transformateur	
Constructeur	TRANSFIX
GENERALE	
Phases	3
Référence	165C07168
Puissance assignée	630 kVA
Fréquence	50 Hz
Couplage	Dyn 11
Tension de court-circuit	4 %
Métal des enroulements	ALUMINIUM
Refroidissement	ONAN
Masse totale	1580 kg
PRIMAIRE	
Tensions Pos 1	15375 V
Tensions Pos 2	15000 V
Tensions Pos 3	14625 V
Courants	24,25 A
SECONDAIRE	
Tensions Pos 1	-
Tensions Pos 2	410 V
Tensions Pos 3	-
Courants	887 A

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 2 : Caractéristiques techniques des deux classes de groupe électrogène de la CA

Caractéristiques du groupe électrogène	
Constructeur	CATERPILLAR
GENERAL	
Modèle	650
Numéro de série	CAT00000KG4C04819
Puissance apparente	650 kVA
Puissance active	520 kW
Facteur de puissance	0.80
Tension	400/230
Phase	3
Fréquence	50 Hz
Courant nominal	938 A
Vitesse	1500 tours/min
Altitude	152,4 m
Température ambiante	25 °C
Tension d'excitation	40 V
Courant d'excitation	2 A
Réservoir	1000 litres

Caractéristiques du groupe électrogène	
Constructeur	CATERPILLAR
GENERAL	
Modèle	800F
Numéro de série	CAT00000JR TY00553
Puissance apparente	800 kVA
Puissance active	640 kW
Facteur de puissance	0.80
Tension	400/230
Phase	3
Fréquence	50 Hz
Courant nominal	1155 A
Vitesse	1500 tours/min
Altitude	152,4 m
Température ambiante	25 °C
Tension d'excitation	45 V
Courant d'excitation	9,4 A
Réservoir	1000 litres

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 3 : Inventaire des caractéristiques des systèmes d'éclairage existants

Bâtiment	Type d'éclairage	Modèle	Puissance nominale (W)	Flux lumineux (lm)	Durée de vie (h)	Quantité
Bâtiment 1	Luminaire	PHILLIPS	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	195
		LBC	20	1000	11500	210
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 2	Luminaire	PHILLIPS	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	201
		LBC	20	1000	11500	218
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 3	Luminaire	PHILLIPS	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	198
		LBC	20	1000	11500	215
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 4	Luminaire	LED	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	195
		LBC	20	1000	11500	210
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 5	Luminaire	LED	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	195
		LBC	20	1000	11500	212
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 6	Luminaire	LED	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	203
		LBC	20	1000	11500	218
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 7	Luminaire	LED	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	211
		LBC	20	1000	11500	200
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 8	Luminaire	LED	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	192
		LBC	20	1000	11500	226
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Bâtiment 9	Luminaire	LED	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	191
		LBC	20	1000	11500	220
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 10	Luminaire	LED	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	198
		LBC	20	1000	11500	210
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 11	Luminaire	LED	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	199
		LBC	20	1000	11500	218
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Bâtiment 12	Luminaire	LED	58	7692	25000	107
	Lampe	Néon	40	2500	12000	193
		LBC	20	1000	11500	210
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	4
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	11
Service de gestion	Luminaire	LED	58	7692	25000	50
	Lampe	Néon	40	2500	12000	76
		LBC	20	1000	11500	97
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	1
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	6
Primature	Luminaire	LED	58	7692	25000	195
	Lampe	Néon	40	2500	12000	465
		LBC	20	1000	11500	490
	Projecteur	EPSON	304	3000	35000	5
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	12
Guérite 1	Lampe	Néon	40	2500	12000	13
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	2
Guérite 2	Lampe	Néon	40	2500	12000	13
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	2
Guérite 3	Lampe	Néon	40	2500	12000	13
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	2
Guérite 4	Lampe	Néon	40	2500	12000	13
	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	2
Cour	Lampadaire	SODUIM	158	18000	24000	20

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 4 : Inventaire des caractéristiques des équipements de la bureautique

Bâtiment	Modèle	Quantité	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)
Ordinateur				
Bâtiment 1	HP V 197	95	230	21850
	HP PRO G2	6	180	1080
Bâtiment 2	HP V 197	95	230	21850
	HP PRO G2	6	180	1080
Bâtiment 3	HP V 197	86	230	19780
	HP PRO G2	11	180	1980
Bâtiment 4	HP V 197	95	230	21850
	HP PRO G2	3	180	540
Bâtiment 5	HP V 197	95	230	21850
Bâtiment 6	HP V 197	95	230	21850
Bâtiment 7	HP V 197	95	230	21850
Bâtiment 8	HP V 197	95	230	21850
	HP PRO G2	12	180	2160
Bâtiment 9	HP V197	95	230	21850
Bâtiment 10	HP V197	95	230	21850
	HP PRO G2	12	180	2160
Bâtiment 11	HP V 197	86	230	19780
	HP PRO G2	17	230	3910
Bâtiment 12	HP V197	95	230	21850
SG	HP V197	52	230	11960
Primature	HP V197	92	230	21160
	HP PRO G2	32	180	5760
	HP ProDesk G1	18	240	4320
	HP 290 G1	7	180	1260
Guérite 1	HP V197	3	230	690
Guérite 2	HP V197	3	230	690
Guérite 3	HP V197	3	230	690
Guérite 4	HP V197	3	230	690
Imprimante				
Bâtiment 1	HP VNF3102068	38	552	20976
Bâtiment 2	HP VNF3102068	36	552	19872
Bâtiment 3	HP VNF3102068	38	552	20976
Bâtiment 4	HP VNF3102068	36	552	19872
Bâtiment 5	HP VNF3102068	38	552	20976
Bâtiment 6	HP VNF3102068	38	552	20976
Bâtiment 7	HP VNF3102068	38	552	20976
Bâtiment 8	HP VNF3102068	35	552	19320
Bâtiment 9	HP VNF3102068	37	552	20424

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Bâtiment 10	HP VNF3102068	38	552	20976
Bâtiment 11	HP VNF3102068	37	552	20424
Bâtiment 12	HP VNF3102068	38	552	20976
SG	HP VNF3102068	16	552	8832
Primature	HP VNF3102068	56	552	30912
Guérite 1	HP VNF3102068	1	552	552
Guérite 2	HP VNF3102068	1	552	552
Guérite 3	HP VNF3102068	1	552	552
Guérite 4	HP VNF3102068	1	552	552
Scanner				
Bâtiment 1	HP ScanJet Pro 3500 f1	28	45	1260
Bâtiment 2	HP ScanJet Pro 3500 f1	28	45	1260
Bâtiment 3	HP ScanJet Pro 3500 f1	28	45	1260
Bâtiment 4	HP ScanJet Pro 3500 f1	21	45	945
	ScanSnap N 1800	6	50	300
Bâtiment 5	HP ScanJet Pro 3500 f1	18	45	810
	ScanSnap N 1800	11	50	550
Bâtiment 7	HP ScanJet Pro 3500 f1	28	45	1260
Bâtiment 8	HP ScanJet Pro 3500 f1	22	45	990
	ScanSnap N 1800	10	50	500
Bâtiment 9	HP ScanJet Pro 3500 f1	19	45	855
	ScanSnap N 1800	8	50	400
Bâtiment 10	HP ScanJet Pro 3500 f1	28	45	1260
Bâtiment 11	HP ScanJet Pro 3500 f1	28	45	1260
Bâtiment 12	HP ScanJet Pro 3500 f1	26	45	1170
	ScanSnap N 1800	7	50	350
	HP Scanjet Pro 2000	1	36	36
SG	HP ScanJet Pro 3500 f1	7	45	315
Primature	HP ScanJet Pro 3500 f1	38	45	1710
	HP Scanjet Pro 2000	12	36	432
	ScanSnap N 1800	15	50	750
TV				
Bâtiment 1	SAMSUNG PS43F4900AR	18	194	3492
	LG SMART TV 42 LF5800	4	126	504
Bâtiment 2	SAMSUNG PS43F4900AR	18	194	3492
Bâtiment 3	SAMSUNG PS43F4900AR	18	194	3492
Bâtiment 4	SAMSUNG PS43F4900AR	18	194	3492
	LG SMART TV 42 LF5800	3	126	378
Bâtiment 5	SAMSUNG PS43F4900AR	18	194	3492
Bâtiment 6	SAMSUNG PS43F4900AR	18	194	3492
Bâtiment 7	SAMSUNG PS43F4900AR	18	194	3492
	LG SMART TV 42 LF5800	5	126	630
Bâtiment 8	SAMSUNG PS43F4900AR	18	194	3492
Bâtiment 9	SAMSUNG PS43F4900AR	16	194	3104
	LG SMART TV 42 LF5800	7	126	882

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Bâtiment 10	SAMSUNG PS43F4900AR	18	194	3492
Bâtiment 11	SAMSUNG PS43F4900AR	22	194	4268
Bâtiment 12	SAMSUNG PS43F4900AR	15	194	2910
	LG SMART TV 42 LF5800	12	126	1512
SG	SAMSUNG PS43F4900AR	9	194	1746
Primature	SAMSUNG PS43F4900AR	32	194	6208
	LG SMART TV 50 LF5800	15	136	2040
	LG SMART TV 55 LF5800	7	155	1085
Guérite 1	SAMSUNG PS43F4900AR	4	194	776
Guérite 2	SAMSUNG PS43F4900AR	4	194	776
Guérite 3	SAMSUNG PS43F4900AR	4	194	776
Guérite 4	SAMSUNG PS43F4900AR	4	194	776
Photocopieuse				
Bâtiment 1	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 2	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 3	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 4	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 5	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 6	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 7	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 8	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 9	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 10	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 11	CANON F1920000	14	1196	16744
Bâtiment 12	CANON F1920000	14	1196	16744
SG	CANON F1920000	9	1196	10764
Primature	CANON F1920000	22	1196	26312
Guérite 1	CANON F1920000	1	1196	1196
Guérite 2	CANON F1920000	1	1196	1196
Guérite 3	CANON F1920000	1	1196	1196
Guérite 4	CANON F1920000	1	1196	1196

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 5 : Inventaire des caractéristiques des équipements de télécommunication

Bâtiment	Marque	Quantité	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)
Serveur				
Bâtiment 1	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 2	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 3	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 4	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 5	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 6	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 7	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 8	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 9	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 10	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 11	Cisco	2	500	1000
Bâtiment 12	Cisco	2	500	1000
SG	Cisco	1	500	500
Primature	Cisco	1	750	750
Antenne Wi-Fi				
Bâtiment 1	Cisco	2	150	300
Bâtiment 2	Cisco	2	150	300
Bâtiment 3	Cisco	2	150	300
Bâtiment 4	Cisco	2	150	300
Bâtiment 5	Cisco	2	150	300
Bâtiment 6	Cisco	2	150	300
Bâtiment 7	Cisco	2	150	300
Bâtiment 8	Cisco	2	150	300
Bâtiment 9	Cisco	2	150	300
Bâtiment 10	Cisco	2	150	300
Bâtiment 11	Cisco	2	150	300
Bâtiment 12	Cisco	2	150	300
SG	Cisco	1	150	150
Primature	Cisco	1	150	150

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 6 : Inventaire des caractéristiques des systèmes de climatisation

Bâtiment	Type de machine	Marque	Réfrigérant	Puissance frigorifique (W)	Puissance électrique (W)	Quantité
Bâtiment 1	Split	LG	R134a	3500	1100	29
		SHARP	R22	3520	1240	25
		HISENSE		5200	1612	29
		AIRWELL	R410a	12400	4840	7
		EOLIA		7000	1800	13
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	3
Bâtiment 2	Split	LG	R134a	3500	1100	35
		SHARP	R22	3520	1240	27
		HISENSE		5200	1612	22
		EOLIA	R410a	7000	1800	22
		AIRWELL		12400	4840	7
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	2
Bâtiment 3	Split	LG	R134a	3500	1100	22
		SHARP	R22	3520	1240	30
		HISENSE		5200	1612	39
		AIRWELL	R410a	12400	4840	7
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	12
Bâtiment 4	Split	SHARP	R22	3520	1240	36
		HISENSE		5200	1612	49
		EOLIA	R410a	16070	1800	22
		AIRWELL		12400	4840	7
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	5
Bâtiment 5	Split	LG	R134a	3500	1100	39
		SHARP	R22	3520	1240	34
		HISENSE		5200	1612	21
		AIRWELL	R410a	12400	4840	7
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	7
Bâtiment 6	Split	SHARP	R22	3520	1240	42
		HISENSE		5200	1612	43
		EOLIA	R410a	16070	1800	30
		AIRWELL		12400	4840	7
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	3
Bâtiment 7	Split	LG	R134a	3500	1100	40
		SHARP	R22	3520	1240	33
		EOLIA	R410a	16070	1800	22
		AIRWELL		12400	4840	3
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	22
Bâtiment 8	Split	LG	R134a	3500	1100	48
		SHARP	R22	3520	1240	43

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

	Armoire	HISENSE	R410a	5200	1612	9
		AIRWELL		12400	4840	1
		EOLIA		7000	1800	6
		SAMSUNG		16070	4416	8
Bâtiment 9	Split	LG	R134a	3500	1100	34
		SHARP	R22	3520	1240	30
		HISENSE		5200	1612	32
		AIRWELL	R410a	12400	4840	2
		EOLIA		7000	1800	12
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	4
Bâtiment 10	Split	LG	R134a	3500	1100	44
		SHARP	R22	3520	1240	22
		HISENSE		5200	1612	18
		AIRWELL	R410a	12400	4840	4
		EOLIA		7000	1800	22
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	10
Bâtiment 11	Split	LG	R134a	3500	1100	36
		SHARP	R22	3520	1240	22
		HISENSE		5200	1612	44
		EOLIA	R410a	7000	1800	17
		AIRWELL		12400	4840	2
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	15
Bâtiment 12	Split	LG	R134a	3500	1100	40
		SHARP	R22	3520	1240	30
		HISENSE		5200	1612	32
		EOLIA	R410a	7000	1800	16
		AIRWELL		12400	4840	3
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	5
Service de gestion	Split	LG	R134a	3500	1100	34
		SHARP	R22	3520	1240	4
		HISENSE		5200	1612	8
	Armoire	SAMSUNG	R410a	16070	4416	2
Primature	Split	EOLIA	R410a	7000	1800	12
	Armoire	SAMSUNG		16070	4416	30
	GEG	CARRIER	R410a	721600	176000	3
Guérite 1	Split	LG	R134a	3500	1100	3
Guérite 2	Split	LG	R134a	3500	1100	3
Guérite 3	Split	LG	R134a	3500	1100	3
Guérite 4	Split	LG	R134a	3500	1100	3

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 7 : Inventaire des caractéristiques des machines électriques

Bâtiment	Référence	Quantité	Puissance unitaire (W)	Puissance totale (W)
Ascenseur				
Bâtiment 1	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 2	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 3	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 4	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 5	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 6	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 7	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 8	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 9	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 10	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 11	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
Bâtiment 12	TOSHIBA P11-CO120-D2	3	9500	28500
SG	TOSHIBA P11-CO105-D	1	8300	8300
Primature	TOSHIBA P11-CO120-D2	4	9500	38000
Extracteur				
Bâtiment 1	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 2	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 3	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 4	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 5	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 6	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 7	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 8	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 9	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 10	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 11	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960
Bâtiment 12	CAPTIVOR MF2	12	260	3120
	CAPTIVOR MF1	8	120	960

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

SG	CAPTIVOR MF2	8	260	2080
	CAPTIVOR MF1	5	120	600
Primature	CAPTIVOR MF2A	15	400	6000
	CAPTIVOR MF2	18	260	4680
	CAPTIVOR MF1	5	120	600
Guérite 1	CAPTIVOR MF1A	1	180	180
Guérite 2	CAPTIVOR MF1A	1	180	180
Guérite 3	CAPTIVOR MF1A	1	180	180
Guérite 4	CAPTIVOR MF1A	1	180	180
Chauffe-eau				
Bâtiment 1	Type Cafetière	56	1150	64400
Bâtiment 2	Type Cafetière	60	1150	69000
Bâtiment 3	Type Cafetière	42	1150	48300
Bâtiment 4	Type Cafetière	57	1150	65550
Bâtiment 5	Type Cafetière	68	1150	78200
Bâtiment 6	Type Cafetière	42	1150	48300
Bâtiment 7	Type Cafetière	70	1150	80500
Bâtiment 8	Type Cafetière	43	1150	49450
Bâtiment 9	Type Cafetière	46	1150	52900
Bâtiment 10	Type Cafetière	42	1150	48300
Bâtiment 11	Type Cafetière	49	1150	56350
Bâtiment 12	Type Cafetière	50	1150	57500
SG	Type Cafetière	49	1150	56350
Primature	Type Cafetière	87	1150	100050
Guérite 1	Type Cafetière	2	1150	2300
Guérite 2	Type Cafetière	2	1150	2300
Guérite 3	Type Cafetière	2	1150	2300
Guérite 4	Type Cafetière	3	1150	3450
Four micro-onde				
Bâtiment 1	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 2	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 3	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 4	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 5	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 6	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 7	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 8	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 9	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 10	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 11	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
Bâtiment 12	WHIRLPOOL - MWP303SB	6	1050	6300
SG	WHIRLPOOL - MWP303SB	3	1050	3150
Primature	WHIRLPOOL - MWP303SB	5	1050	5250
Guérite 1	WHIRLPOOL - MWP303SB	1	1050	1050
Guérite 2	WHIRLPOOL - MWP303SB	1	1050	1050

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Guérite 3	WHIRLPOOL - MWP303SB	1	1050	1050
Guérite 4	WHIRLPOOL - MWP303SB	1	1050	1050
Réfrigérateur				
Bâtiment 1	EAST POINT EP140	46	83	3818
	LG GC 151 SA	8	70	560
Bâtiment 2	EAST POINT EP140	46	83	3818
	LG GC 151 SA	11	70	770
Bâtiment 3	EAST POINT EP140	46	83	3818
	LG GC 151 SA	2	70	140
Bâtiment 4	EAST POINT EP140	46	83	3818
Bâtiment 5	EAST POINT EP140	46	83	3818
	LG GC 151 SA	6	70	420
Bâtiment 6	EAST POINT EP140	46	83	3818
	LG GC 151 SA	11	70	770
Bâtiment 7	EAST POINT EP140	46	83	3818
	BEKO RDSA PRO	9	73	657
Bâtiment 8	EAST POINT EP140	46	83	3818
	BEKO RDSA PRO	3	73	219
Bâtiment 9	EAST POINT EP140	46	83	3818
Bâtiment 10	EAST POINT EP140	42	83	3486
	BEKO RDSA PRO	7	73	511
Bâtiment 11	EAST POINT EP140	45	83	3735
	BEKO RDSA PRO	15	73	1095
Bâtiment 12	EAST POINT EP140	45	83	3735
SG	EAST POINT EP140	28	83	2324
Primature	EAST POINT EP140	72	83	5976
	LG GC 151 SA	26	70	1820
	BEKO RDSA PRO	12	73	876
Guérite 1	EAST POINT EP140	2	83	166
Guérite 2	EAST POINT EP140	2	83	166
Guérite 3	EAST POINT EP140	2	83	166
Guérite 4	EAST POINT EP140	2	83	166
Cuiseur électrique				
Bâtiment 1	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 2	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 3	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 4	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 5	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 6	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 7	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 8	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 9	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 10	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 11	CUISEUR	6	3000	18000
Bâtiment 12	CUISEUR	6	3000	18000

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

SG	CUISEUR	3	3000	9000
Primature	CUISEUR	5	3000	15000
Guérite 1	RECHAUD	1	1500	1500
Guérite 2	RECHAUD	1	1500	1500
Guérite 3	RECHAUD	1	1500	1500
Guérite 4	RECHAUD	1	1500	1500
Fontaine à café				
Bâtiment 1	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 2	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 3	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 4	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 5	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 6	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 7	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 8	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 9	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 10	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 11	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
Bâtiment 12	FRANSTAL RRE960	15	3100	46500
SG	FRANSTAL RRE960	8	3100	24800
Primature	FRANSTAL RRE960	20	3100	62000
Congélateur				
Bâtiment 1	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 2	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 3	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 4	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 5	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 6	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 7	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 8	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 9	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 10	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 11	LG BD1-150	4	150	600
Bâtiment 12	LG BD1-150	4	150	600
SG	LG BD1-150	2	150	300
Primature	LG BD1-150	4	150	600
Circulateur				
Primature	<i>falmson</i> DIL210-16-5122	2	22000	44000
Ventilo-convecteur				
Primature	CARRIER - VC-WL01-10C	143	53	7579
	CARRIER - VC-AL12-2C	95	72	6840
	CARRIER - VC-TL01-17A	62	104	6448
Surpresseur				
Primature	LEO XKJ-1100IA	1	1100	1100
Pompe électrique				

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Bâtiment 1	GARENI DOMUS 1373	1	300	300
Bâtiment 2	-	-	-	-
Bâtiment 3	GARENI DOMUS 1373	1	300	300
Bâtiment 4	-	-	-	-
Bâtiment 5	GARENI DOMUS 1373	1	300	300
Bâtiment 6	-	-	-	-
Bâtiment 7	GARENI DOMUS 1373	1	300	300
Bâtiment 8	-			0
Bâtiment 9	GARENI DOMUS 1373	1	300	300
Bâtiment 10	GARENI DOMUS 1373	1	300	300
Bâtiment 11	-	-	-	-
Bâtiment 12	GARENI DOMUS 1373	1	300	300
Primature	GARENI DOMUS 1373	1	300	300

Annexe 8 : Calculs du temps de fonctionnement des récepteurs

✚ Les récepteurs cités ci-après sont concernés par les informations ci-dessous : les splits, les GEG, les ordinateurs, les imprimantes, les scanners, les photocopieuses et les lampes néon et BC. Les niveaux de sollicitation et les facteurs de simultanéité sont relatifs à 3 types de périodes.

1. La première concerne l'intervalle horaire de travail officiel [7h – 18h] des jours officiels de travail (249 jours). Durant cette tranche, le taux de présence des employés est le plus élevé et vaut en moyenne 80 %, donc la simultanéité aussi. Les récepteurs sont sollicités à une fréquence de 90 % en moyenne ;
2. La deuxième concerne les intervalles horaires [5h – 7h] et [18h – 23h] des jours officiels de travail (249 jours). Durant ces tranches, le taux de présence des employés est le plus faible et vaut moyennement 35 %, donc la simultanéité aussi. Les récepteurs sont sollicités à une fréquence de 95 % en moyenne ;
3. La troisième concerne les samedis (50 jours) plus précisément l'intervalle horaire [8h – 17h]. Durant cette période, le taux de présence des employés est presque moyen et vaut en moyenne 45 %, alors la simultanéité aussi. Les récepteurs sont moyennement sollicités à une fréquence de 90 %.

Les résultats des différents calculs effectués concernant les informations ci-dessus sont résumés dans le tableau suivant.

Récepteur électrique	Nb heure de fonctionnement (h) ^{*1}	Nb heure de fonctionnement (h) ^{*2}	Nb heure de fonctionnement (h) ^{*3}	Temps de fonctionnement (h/an)
Lampe Néon	11	7	9	2733,88
Lampe BC	11	7	9	2733,88
Ordinateur	9	7	8	2355,07
Imprimante	0,4	0,15	0,25	89,19
Scanner	1	0,5	0,5	230,80
Photocopieuse	1,5	1	1,25	377,03
Split	9	6	8	2272,28
GEG	9	6	8	2272,28

✚ Les luminaires se trouvent dans les lieux de rassemblements (les salles de réunion, les salles de conférence, le salon VIP, les cantines, les halls et les couloirs) donc leurs fréquences

d'utilisation sont un peu limitées. Leurs facteurs de simultanéité ont été moyennement estimés à 65 % et leurs fréquences de sollicitation à 100 % avec une durée de fonctionnement journalier de 10 h pendant les jours de présence (299 jours). Le temps de fonctionnement annuel t_f correspondant est de :

$$t_f = 10 \times 299 \times 0,65 = 1943,5 h$$

- ✚ Les lampadaires fonctionnent toute la nuit, donc leurs facteurs de simultanéité et fréquences de sollicitation sont tous de 100 %. Le temps de fonctionnement annuel d'un lampadaire est de :

$$t_f = 12 \times 365 = 4380 h$$

- ✚ Les téléviseurs ont une durée moyenne de fonctionnement journalier de 3,5 h avec un facteur de simultanéité de 80 % et un niveau sollicitation de 75 % pendant les jours de présence. Le temps de fonctionnement annuel t_f correspondant est de :

$$t_f = 3,5 \times 299 \times 0,8 \times 0,75 = 628 h$$

- ✚ Tous les serveurs fonctionnent 24h sur 24 durant toute l'année donc leurs temps de fonctionnement annuel t_f individuel sont de :

$$t_f = 24 \times 365 = 8760 h$$

- ✚ Les antennes Wi-Fi fonctionnent officiellement de 7 h à 18 h durant les jours officiels de travail (249 jours). Cette instruction n'est pas respectée alors on suppose que 35 % de ces récepteurs fonctionnent en dehors des heures officielles de travail. De plus, ils fonctionnent encore les samedis (50 jours) de 8 h à 17 h. Le temps de fonctionnement annuel t_f correspondant est donc de :

$$t_f = (11 \times 249) + (13 \times 365 \times 0,35) + (9 \times 50) = 4849,75 h$$

- ✚ Les climatiseurs armoires et les projecteurs sont installés en très grande partie dans les lieux de rassemblements excepté les halls et les couloirs donc on peut dire qu'ils ne sont utilisés que lors des conférences, réunions ou formations. Un fonctionnement journalier d'une durée de 6 h a été retenu avec un facteur de simultanéité de 40 % pendant les jours de présence donc le temps de fonctionnement correspondant est de :

$$t_f = 6 \times 299 \times 0,4 = 717,6 h$$

- Quant aux 41 ascenseurs nous sommes partis de l'hypothèse suivante : 2 employés utilisent simultanément un ascenseur et font 4 montées et descentes par jour en moyenne. La cité compte plus de 1500 employés. Le nombre de jour de présence étant de 299 jours et la durée moyenne d'une montée et descente 1 mn, le temps de fonctionnement annuel t_f d'un ascenseur est de :

$$t_f = \frac{1500 \times 4 \times 299}{2 \times 60 \times 41} = 364,63 \text{ h}$$

- Les extracteurs fonctionnent 8 heures par jour avec un facteur de simultanéité de 55 % et une sollicitation de 90 % pendant les jours officiels de travail (249 jours) donc leurs temps de fonctionnement annuel t_f sont de :

$$t_f = 8 \times 249 \times 0,9 \times 0,55 = 986 \text{ h}$$

- Les chauffe-eaux ont une durée moyenne de fonctionnement journalier de 15 mn (0,25 h) pendant les jours officiels de travail (249 jours) et les samedis (50 jours) 10 mn avec un facteur de simultanéité de 45 %. Le temps de fonctionnement annuel t_f correspondant est de :

$$t_f = (0,25 \times 249) + \left(\frac{10}{60} \times 50 \times 0,45\right) = 66 \text{ h}$$

- Les four micro-ondes et cuiseurs électriques fonctionnent 2 heures par jour avec un facteur de simultanéité de 90 % et une sollicitation de 95 % durant les jours officiels de travail (249 jours) alors leurs temps de fonctionnement annuel t_f sont de

$$t_f = 2 \times 249 \times 0,90 \times 0,95 = 425,8 \text{ h}$$

- Les réfrigérateurs et les congélateurs fonctionnent moyennement 9 h par jour et 12 mois sur 12 alors leurs temps de fonctionnement annuel t_f sont de :

$$t_f = 9 \times 365 = 3285 \text{ h}$$

- Les fontaines à café fonctionnent journalièrement 15 mn (0,25 h) avec un taux de simultanéité de 15% et un niveau de sollicitation de 80 % pendant les jours officiels de travail (249 jours). Le temps de fonctionnement annuel t_f d'une fontaine à café est donc de :

$$t_f = 0,25 \times 249 \times 0,8 \times 0,15 = 7,47 \text{ h}$$

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

- ✚ Les circulateurs, les ventilo-convecteurs et le surpresseur ont le même temps de fonctionnement que les groupes d'eau glacée parce qu'ils fonctionnent simultanément. Ce temps de fonctionnement est de 2272,28 heures.
- ✚ Les pompes électriques peuvent remplir chacune un réservoir de GE en 30 mn (0,5 h). Chaque réservoir doit être rempli 20 fois par an. Le temps de fonctionnement annuel t_f de chaque pompe est de :

$$t_f = 20 \times 0,5 = 10 \text{ h}$$

Annexe 9 : Densité moyenne d'éclairage intérieur des bâtiments
(COULIBALY et al., 2002b)

Bâtiments et usages type	Densité moyenne d'éclairage [W/m ²]
Immeubles de bureau	17
Banques	22
Etablissements scolaires	
Maternelles, primaire	16
Lycées/ enseign.tech./université	18
Maternités	19
Lieux de culte	16
Réceptifs hôteliers	
Chambres ⁽¹⁾	13
Parties communes	12
Salle de banquet et exposition	22
Restaurants	
Type cafétéria	14
Type restaurant de luxe	16
Bar et réception	16
Magasins	
Boutiques et étalages ⁽²⁾	22
Galeries marchandes	13
Salon de coiffure / soins de beauté	22
Appartements	21
Entrepôts et magasins	3
Parkings / garages	2
Locaux non occupés	2

(1) Un supplément d'éclairage peut être admis pour les postes de travail

(2) S'applique à toute l'installation d'éclairage, y compris les spots décoratifs et les projecteurs

Annexe 10 : Caractéristiques techniques des sources lumineuses de remplacements

✚ Fiche technique des tubes LED proposées de chez PHILIPS

MASTER LEDtube T8 EM Ultra Output



Le Tube LED à très haut niveau de flux pour les applications les plus exigeantes en version EM ou alimentation directe.

- Jusqu'à 68% d'économies d'énergie
- Tube en polycarbonate avec douilles rotatives permettant d'orienter le flux sortant vers la surface utile
- Durée de vie de 60 000 h (50 000 h pour le 600 mm)

Désignation	Puissance lampe	Puissance éclairée	Flux lumineux	Classe énergétique	Température de couleur	Code	Prix HT*
Sur ballast électromagnétique (EM) ou en alimentation directe en 230V							
EM 600 mm UO T8	8 W	18 W	1 000 lm	A++	3 000 K	697474 00	25,20 €
EM 600 mm UO T8	8 W	18 W	1 050 lm	A++	4 000 K	697498 00	25,20 €
EM 600 mm UO T8	8 W	18 W	1 050 lm	A++	6 500 K	697511 00	25,20 €
EM 1200 mm UO T8	14 W	36 W	2 300 lm	A++	3 000 K	647216 00	55,80 €
EM 1200 mm UO T8	14 W	36 W	2 500 lm	A++	4 000 K	647230 00	55,80 €
EM 1200 mm UO T8	14 W	36 W	2 500 lm	A++	6 500 K	647254 00	55,80 €
EM 1500 mm UO T8	20,5 W	58 W	3 500 lm	A++	3 000 K	647278 00	63,00 €
EM 1500 mm UO T8	20,5 W	58 W	3 700 lm	A++	4 000 K	647292 00	63,00 €
EM 1500 mm UO T8	20,5 W	58 W	3 700 lm	A++	6 500 K	647315 00	63,00 €

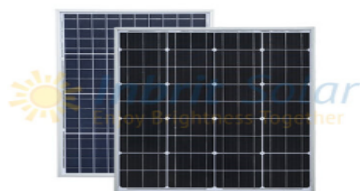
Catégorie remise G - * au prix s'ajoute l'Eco Contribution Lampe (ECL) : 0,16 € HT

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Fiche technique du lampadaire solaire proposé de chez **Inbrit Solar**

Lampe de LED

Sphère de puissance de la lampe	40W~120W
Tension d'entrée	DC12/24V
Puce de LED	BRIDGELUX/CREE/EPSTAR
Efficacité de LED	> 140lm/W
Température de couleur de LED	3600K~6500K
Indice de rendu des couleurs	>75 (Pour CT 5000 ~ 6000K, d'autres TC affecteront la valeur CRI)
Température de fonctionnement	-35℃~50℃
Matériel de lampe de LED	6063 aluminium
Diamètre du manchon	60 mm
Durée de vie de LED	plus de 50,000 heures
Niveau de IP	IP65



Panneau solaire

Type de panneau solaire	Panneau solaire monocristallin/Panneau solaire polycristallin
Sphère de puissance	50W~290W
Tolérance de puissance	±3%
Cellule solaire	Polycristallin ou monocristallin 156*156mm
Efficacité de cellule	17.3%~19.1%
Efficacité du panneau solaire	15.5%~16.8%
Température du fonctionnement	-40℃~85℃
Type du connecteur	MC4 (optionnel)
Température nominale du fonctionnement de la cellule	45±5℃
Durée de vie	Plus de 25 ans

Batterie colloïdale

Type	Batterie colloïdale
Tension du fonctionnement	12V
Capacité nominale	24AH~250AH
Température du fonctionnement	-20℃~50℃
Durée de vie	5~7 years

Régulateur

tension du fonctionnement	12V/24V
Type	PWM ou MPPT
Courant nominale	10A/15A/20A
Efficacité	> 95%



Mahamadou MAIGA

Promotion [2019-2020]

Soutenu le 22/09/2020

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Fiche technique du vidéo projecteur à LED proposée de chez Vivitek

					
Model		DH559ST	DW282-ST	DX281-ST	DH268
Technology	Display Type	Single 0.65" DLP® Technology by Texas Instruments	Single 0.65" DLP® Technology by Texas Instruments	Single 0.65" DLP® Technology by Texas Instruments	Single 0.65" DLP® Technology by Texas Instruments
	Brightness	3,000 ANSI Lumens	3,200 ANSI Lumens	3,200 ANSI Lumens	3,500 ANSI Lumens
Image	Native Resolution	1080p (1920x1080)	WXGA (1280 x 800)	XGA (1024 x 768)	1080p (1920x1080)
	Max. Supported Resolution	WUXGA (1920 x1200) @60Hz	WUXGA (1600 x 1200) @60Hz	WUXGA (1920 x 1200) @60Hz	WUXGA (1920 x1200) @60Hz
	Native Aspect Ratio	16:9	16:10	4:3	16:9
	Contrast Ratio	15,000:1	15,000:1	15,000:1	15,000:1
	Keystone Correction	Vertical: +/-40°	Vertical: +/-40°	Vertical: +/-40°	Vertical: +/-40°
Optical	Throw Ratio	0.69 - 0.76:1	0.48 : 1	0.63 : 1	1.37 - 1.64 : 1
	Image Size (Diagonal)	41" - 326"	70" - 120"	56" - 120"	40" - 240"
	Projection Distance	0.7 - 5 m	72 - 124 cm	54 - 154 cm	1.1 - 8.3 m
	Zoom Ratio	1.1x	1x	1x	1.2x
	Offset	115%	103.6%	106.0%	106.4%
	Projection Lens	F = 2.78, f = 10.16 - 11.16 mm	F = 2.7, f = 7.2 mm	F = 2.7, f = 7.2 mm	F = 2.42 - 2.62, 19.0 - 22.65 mm
Connectivity	I/O Connection Ports	HDMI v1.4, VGA-In, Audio-In (Mini-Jack), VGA-Out, Audio-Out (Mini-Jack), USB A (Power Only), RS-232, USB miniB (Service)	HDMI v1.4 (x2), VGA-In (x2), Composite Video (RCA Yellow), S-Video, Audio-In (Mini-Jack), VGA-Out, Audio-Out (Mini-Jack), RS-232, USB miniB (Service)	HDMI v1.4 (x2), VGA-In (x2), Composite Video (RCA Yellow), S-Video, Audio-In (Mini-Jack), VGA-Out, Audio-Out (Mini-Jack), RS-232, USB miniB (Service)	HDMI v1.4 (x2), VGA-In (x2), Composite Video (RCA Yellow), S-Video, Audio-In (Mini-Jack), VGA-Out, Audio-Out (Mini-Jack), RS-232, USB miniB (Service)
General	Dimensions (W x D x H)	274.6 x 212 x 100 mm	332 x 243.6 x 107 mm	332 x 243.6 x 107 mm	332 x 243 x 107 mm
	Weight	2.3 kg	2.6 kg	2.6 kg	2.6 kg
	Speakers	2W	2W	2W	2W
	Noise Level	34dB / 31dB (Normal / Eco. Mode)	31dB / 28dB (Normal / Eco. Mode)	31dB / 28dB (Normal / Eco. Mode)	31dB / 28dB (Normal / Eco. Mode)
	Lamp Life and Type	5,000 / 6,000 / 10,000 Hours (Normal / Eco. / Dynamic Eco. Mode), 190W / 160W	5,000 / 7,000 / 10,000 Hours (Normal / Eco. / Dynamic Eco. Mode), 203W	5,000 / 7,000 / 10,000 Hours (Normal / Eco. / Dynamic Eco. Mode), 203W	5,000 / 7,000 / 10,000 Hours (Normal / Eco. / Dynamic Eco. Mode), 203W
	Power	Supply: AC 100-240V, 50/60Hz. Consumption: 200W (Eco. Mode), 240W (Normal Mode), <0.5W (Standby)	Supply: AC 100-240V, 50/60Hz Consumption: 203W (Eco. Mode), 240W (Normal Mode), <0.5W (Standby)	Supply: AC 100-240V, 50/60Hz Consumption: 203W (Eco. Mode), 240W (Normal Mode), <0.5W (Standby)	Supply: AC 100-240V, 50/60Hz Consumption: 203W (Eco. Mode), 240W (Normal Mode), <0.5W (Standby)
	Warranty	Entry / Education	Entry	Entry	Entry / Education
	UPC	813097022011	813097023360	813097023353	813097023346

Annexe 11 : Fiche technique de l'imprimante à jet d'encre proposée de marque HP

Spécifications techniques

Technologie d'impression	Impression jet d'encre thermique HP
Fonctions	Impression, copie, numérisation, télécopie, Web
Vitesse d'impression	Jusqu'à 15 ppm Noir ISO (A4); Jusqu'à 8 ppm Couleur ISO (A4) Après la 1ère page ou après le 1er jeu de pages test ISO. Pour plus de détails, voir hp.com/go/printerclaims
Connectivité standard	1 port USB 2.0; 1 Ethernet; 1 port sans fil 802.11b/g/n; 1 port USB; 2 RJ-11 fax
Fonctionnalités sans fil	Oui, WiFi 802.11 b/g/n intégré; Impression directe sans fil
Fonctionnalité d'impression mobile	Apple AirPrint, HP e Print; Impression directe sans fil
gestion du support	Capacité d'entrée papier: Jusqu'à 250 feuilles; Jusqu'à 80 cartes Cartes; jusqu'à 60 feuilles papier photo Capacité de sortie: Jusqu'à 75 feuilles Impression recto verso: Automatique
Délai d'impression de la première page	Vitesse : 15 s noir (A4, prêt); Vitesse : 19 s couleur (A4, prêt)
Taux d'utilisation mensuel	Jusqu'à 12 000 pages (A4); Volume de pages mensuel recommandé: 200 à 800
Langages d'impression	GUI HP PCL3, HP PCL 3 amélioré
Fonction d'impression	Impression sans bordure: Oui (jusqu'au format A3+); Impression directe prise en charge: Impression directe sans fil; Impression USB
Zone d'impression	Marges d'impression: Haut: 3,3 MM (recto-verso 16 mm); Bas: 3,3 MM (recto-verso 16 mm); Gauche: 3,3 mm; Droite: 3,3 mm
Résolution d'impression	Jusqu'à 600 x 1200 ppp Noir; Jusqu'à 4800 x 1200 ppp optimisés (lors de l'impression d'un PC avec les papiers photo HP sélectionnés et 1200 ppp en entrée) Couleur
Mémoire	256 Mo
Capacité du chargeur automatique de documents	En standard, 35 feuilles
Alimentation	configuration requise: Tension d'entrée : 100 à 240 V CA (+/- 10 %), 50/60 Hz (+/- 3 Hz) consommation: 27,7 watts (impression); 20,87 watts (copie); 4,57 watts (prêt); 1,89 watts (veille); 0,31 watt (inactivité); 0,31 watts (Auto-off)
certifications	CISPR 22 : 2005 +A1:2005/EN 55022: 2006+A1 : 2007, EN 55024 : 1998+A1 : 2001+A2:2003, EN 61000-3-2: 2006, EN 61000-3-3 : 2008, FCC CFR 47, Partie 15 / ICES-003, Numéro 4
Pays d'origine	Fabriqué en Chine
Garantie	Garantie HP standard d'un an limitée au matériel. Garantie HP de trois ans limitée au matériel après enregistrement dans les 60 jours à compter de la date d'achat (reportez-vous à la page www.hp.com/eu/3yearwarranty). Les garanties et options de prise en charge varient selon le produit, le pays et les obligations juridiques locales.
assistance et service technique	UG070E Care Pack HP 3 ans avec échange le jour suivant pour les imprimantes Officejet UG194E Care Pack HP 3 ans avec échange standard pour les imprimantes Officejet. (UG070E : uniquement Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Suède, Suisse. UG194E : tous les pays EMEA).

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 12 : Fiche technique de la photocopieuse de marque HP proposée

Spécifications techniques

Modèle	Imprimante multifonction HP PageWide Managed P77760z
référence	W1B38B
Fonctions	Impression, copie, scan, fax
Panneau de commande	Écran graphique couleur (CGD) cap. tactile de 20,3 cm (8 pouces)
Impression	
Technologie d'impression	Technologie HP Pagewide avec encres pigmentées
Vitesse d'impression ¹	Noir (A4, ISO): Jusqu'à 60 ppm; Couleur (A4, ISO): Jusqu'à 60 ppm; Noir (Utilisation bureautique): Jusqu'à 80 ppm; Couleur (Utilisation bureautique): Jusqu'à 80 ppm
sortie de la première page ²	noir (A4, prêt): Vitesse : 7 s; couleur (A4, prêt): Vitesse : 7 s
Résolution d'impression	Noir (optimal): Jusqu'à 1200 x 1200 ppp optimisée de 600 x 600 ppp à l'entrée (sur papier ordinaire non spécifié, HP Premium Presentation mat et papier pour brochures mates HP); Couleur (optimal): Jusqu'à 2400 x 1200 ppp optimisé de 600 x 600 ppp à l'entrée (sur les Papiers photo HP Advanced)
Taux d'utilisation mensuel ³	Jusqu'à 250 000 pages (A4); Volume de pages mensuel recommandé: 2 500 à 50 000
Fonctions logicielles intelligentes de l'imprimante	Applications mobiles HP; Google Cloud Print v2; HP EasyColour; Aperçu avant impression; Impression recto-verso automatique; Impression de plusieurs pages par feuille (2, 4, 6, 9, 16); Assemblage; Impression de livrets, pages de garde; Sélection du bac; Mise à l'échelle; Orientation portrait/paysage; Niveaux de gris haute qualité et encre noire uniquement; Modes d'impression General Office/Professionnel/Présentation/Maximum de ppp; Port USB avant; Copie/numérisation/télécopie; Raccourcis du panneau de commande; Impression HP UPD PIN; Contrôle d'accès à la couleur HP; En option : Solutions d'extensibilité HP et tierces.
Langages de l'imprimante standard	HP PCLXL (PCL6), PCL5, impression PDF native, émulation HP Postscript de niveau 3, Office native, PDL, JPEG, PCLM
Zone d'impression	Marges d'impression: Haut: 4,2 mm, Bas: 4,2 mm, Gauche: 4,2 mm, Droite: 4,2 mm; Zone d'impression maximale: 296,5 x 448,7 mm
Impression sans bordure	Non
Nombre de cartouches d'impression	4 (noire, cyan, magenta, jaune)
Dimensions de l'imprimante (L x P x H)	Minimum: 598 x 576 x 728 mm; maximum: 1524 x 956 x 1033 mm
Dimensions du colis (L x P x H)	790 x 760 x 885 mm
Poids de l'imprimante ⁴	83,80 kg
Poids du colis	90,41 kg
Environnement d'exploitation	Température: 15 à 30 °C; Humidité: 20 à 80 % HR
Stockage	Humidité: 5 à 90 % HR
Acoustique	Puissance acoustique émise: 6,8 B(A);
Alimentation	configuration requise: Tension d'entrée : 100 à 240 V CA (+/- 10 %), 50/60 Hz (+/- 3 Hz); consommation: 78,7 watts (impression), 25,33 watts (prêt), 3,15 watts (veille), 0,20 watt (arrêt); Consommation d'électricité typique: 1,797 kWh/semaine; type d'alimentation: Module d'alimentation universelle (intégré)
Technologie d'économie d'énergie	Programmation de la mise sous et hors tension
certifications	CISPR 32 : 2015/EN 55032: 2015 Classe B; ETSI EN 301 489-1 V1.9.2: 2011-09; ETSI EN 301 489-17 V2.2.1: 2012-09; EN 61000-3-2 (2014)/CEI 61000-3-2 Ed. 4.0 (2014-05); EN 61000-3-3 (2013-08)/CEI 61000-3-3 (2013-05); VCCI V-3 (2015.04); CISPR 24 : 2010/EN 55024: 2010; ETSI EN 301 489-1 V1.9.2: 2011-09; ETSI EN 301 489-17 V2.2.1: 2012-09; CEI 61000-4-2: 2008; CEI 61000-4-3: 2006 +A1: 2007 +A2: 2010; CEI 61000-4-4: 2004; CEI 61000-4-5: 2005; CEI 61000-4-6: 2008; CEI 61000-4-8: 2009; CEI 61000-4-11: 2004; directive CEM 2014/30/UE avec marquage CE (Europe) Certification ENERGY STAR®; EPEAT® Silver; Blue Angel; CECP

Annexe 13 : Valeurs indicatives de consommation de bâtiments climatisés en CTH
(COULIBALY et al., 2002b)

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

Annexe 14 : COP recommandés pour différentes machines frigorifiques
(COULIBALY et al., 2002b)

Type d'équipement	COP minimum recommandé [kW _r /kW _e]
Climatiseurs de fenêtre	2,8
Split systèmes :	
- Jusqu'à 4 kW _r	2,8
- Supérieur à 4 kW _r	3,0
Conditionneurs d'air monobloc :	
A refroidissement par air	
- Jusqu'à 10 kW _r	2,5
- Supérieur à 10 kW _r	2,9
A refroidissement par eau	3,5
Groupes de production d'eau glacée à pistons :	
A refroidissement par air	
- Jusqu'à 100 kW _r	3,0
- Supérieur à 100 kW _r	3,0
A refroidissement par eau	
- Jusqu'à 10 kW _r	3,7
- Supérieur à 10 kW _r	4,0
Groupes de production d'eau glacée à vis :	
A refroidissement par air	4,5
A refroidissement par eau	
- Jusqu'à 800 kW _r	4,6
- Supérieur à 800 kW _r	5,0
Groupes de production d'eau glacée centrifuges :	
A refroidissement par air	3,8
- Jusqu'à 800 kW _r	3,8
- Supérieur à 800 kW _r	
A refroidissement par eau	4,5
- Jusqu'à 800 kW _r	4,7
- Supérieur à 800 kW _r	

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 15 : Fiche technique des splits Inverters proposés de chez DAIKIN

Split de remplacement de la marque AIRWELL

Données relatives à l'efficacité		FCAHG + RZAG	*71F + 71LV1	*100F + 100LV1	*125F + 125LV1	*140F + 140LV1
Puissance frigorifique Nom.		kW	6,8	9,5	12,0	13,4
Puissance calorifique Nom.		kW	7,5	10,8	13,5	15,5
Puissance absorbée	Rafraîchissement	Nom. kW	1,66	2,15	3,00	4,00
	Chauffage	Nom. kW	1,56	2,16	3,07	3,76
Efficacité	Rafraîchissement	Étiquette-énergie	A++			-
saisonnière (selon la norme EN14825)	Pdesign (Charge de calcul)	kW	-			-
	SEER		7,35			6,94
	Consommation énergétique annuelle	kWh	-			-
	Chauffage	Étiquette-énergie	A+	A++		-
	(climat tempéré)	Pdesign (Charge de calcul)	kW	7,60	11,30	12,66
		SEER		4,09	4,42	4,00
		Consommation énergétique annuelle	kWh	2,343	3,298	3,829
Efficacité nominale	EER		4,09	4,42	4,00	3,35
	COP		4,80	4,99	4,40	4,12
	Consommation énergétique annuelle	kWh	831	1,075	1,500	2,000
	Étiquette-énergie Rafraîchissement/Chauffage		A/A			

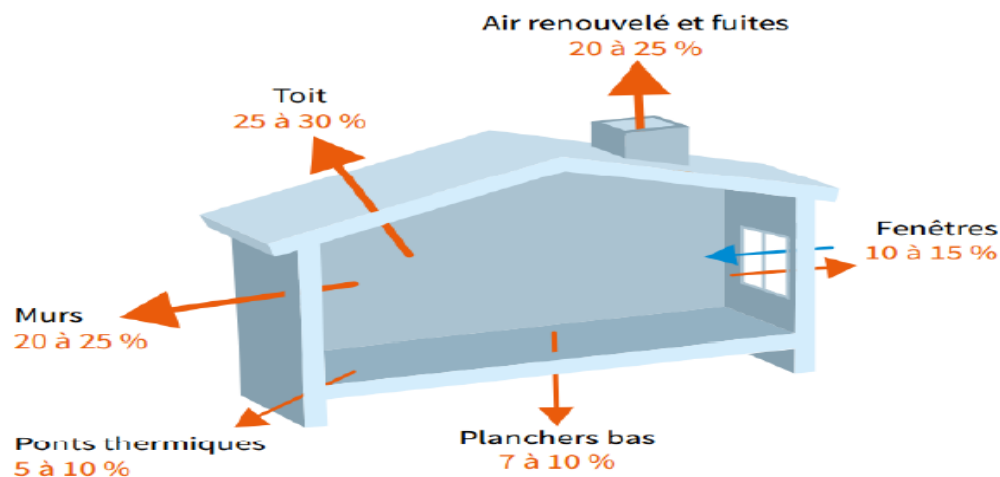
Split de remplacement de la marque SHARP

Données relatives à l'efficacité		FCQG + RXS	35F + 35L3	50F + 50L	60F + 60L
Puissance frigorifique	Mini./Nom./Maxi.	kW	1,3/3,4/4,0	1,7/5,0/5,3	1,7/5,7/5,7
Puissance calorifique	Mini./Nom./Maxi.	kW	1,3/4,20/5,2	1,7/6,00/6,0	1,7/7,0/7,0
Puissance absorbée	Rafraîchissement	Mini./Nom./Maxi. kW	0,400/0,909/1,100	-/1,410/-	-/1,640/-
	Chauffage	Mini./Nom./Maxi. kW	0,230/1,200/1,840	-/1,620/-	-/1,990/-
Efficacité	Rafraîchissement	Étiquette-énergie	A++		
saisonnière (selon la norme EN14825)	Pdesign (Charge de calcul)	kW	3,50	5,00	5,70
	SEER		6,35	6,48	6,22
	Consommation énergétique annuelle	kWh	193	270	321
	Chauffage	Étiquette-énergie	A++		
	(climat tempéré)	Pdesign (Charge de calcul)	kW	3,32	4,36
		SCOP	4,90	4,29	4,00
		Consommation énergétique annuelle	kWh	949	1,426
Efficacité nominale	EER		3,74	3,55	3,48
	COP		3,50	3,7	3,52
	Consommation énergétique annuelle	kWh	455	705	820
	Étiquette-énergie Rafraîchissement/Chauffage		A/B	A/A	A/B

Annexe 16 : Étude technico-économique de l'enveloppe : Cas du bâtiment 1

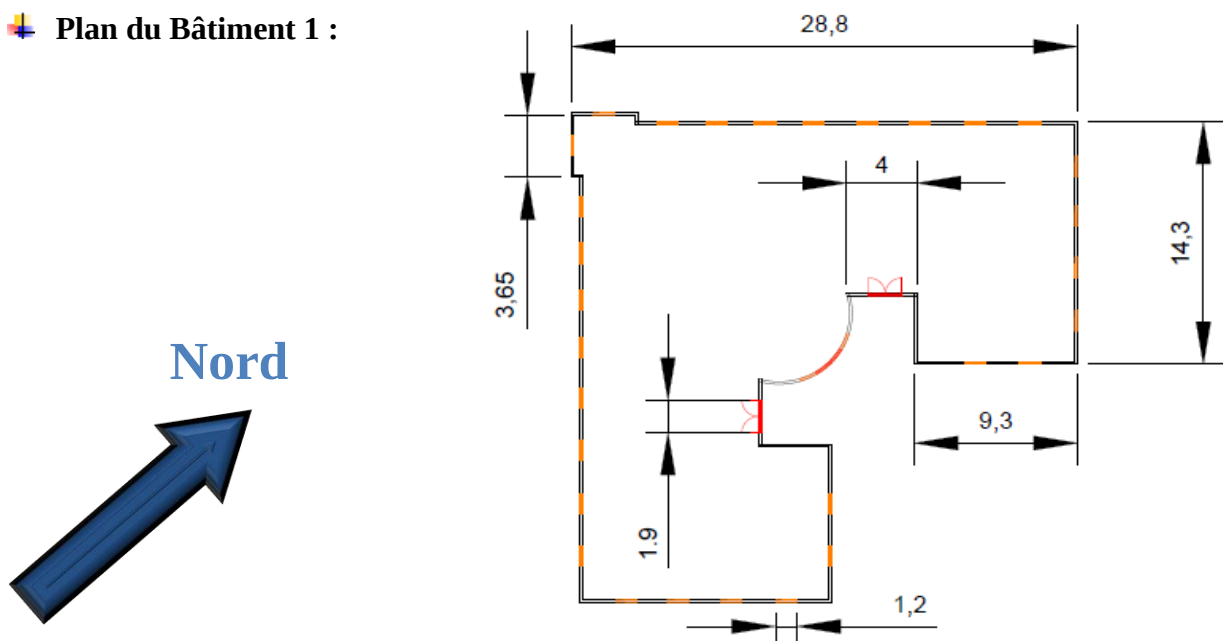
✚ Généralité :

L'enveloppe des bâtiments permet d'assurer le confort thermique et la sécurité des occupants (ANDRE, 1967). Dans les locaux climatisés, l'enveloppe doit permettre une bonne isolation thermique afin de minimiser les apports de chaleur externe et ainsi réduire la consommation d'énergie. La figure ci-dessous donne des estimations sur les déperditions au niveau des différentes parois d'un local non isolé.



Dans la présente étude, nous sommes confrontés à des bâtiments sans isolation thermique dans un climat tropical sahélien. Par manque de plans des bâtiments pour des raisons de confidentialité, l'étude sera restreinte aux murs externes d'un seul bâtiment : le bâtiment 1. Une extrapolation sur l'ensemble des autres bâtiments sera faite.

✚ Plan du Bâtiment 1 :



 Bilan thermique avant isolation :

 Données climatiques :

Le confort thermique dépend essentiellement de deux paramètres : La température sèche et l'humidité relative de l'air. Nous tiendrons compte de l'extrémité de ces derniers. D'après le logiciel **RetScreen**, le mois où ils sont les plus défavorable, est celui d'avril avec les valeurs concernant l'Extérieur dans le tableau ci-dessous. Les restes sont ceux fixés pour l'intérieur, susceptibles d'apporter du confort pour les occupants.

	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)
Extérieur	41	23
Intérieur	25	50

 Caractéristiques des murs externes et hypothèses de calcul :

- Les murs externes sont en brique creuse d'épaisseur **15 cm** et de conductivité thermique **$0,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$** (cf. Annexe 17). Leur coefficient de convection interne est de **$H_i = 9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$** et celui de l'externe est **$H_e = 16,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$** (cf. Annexe 18). Ils sont recouverts d'enduit mortier de conductivité thermique **$1,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$** (cf. Annexe 17) et d'épaisseur **3 cm** de chaque côté ;
- Pour le calcul des apports solaires, les murs sont de maçonnerie de couleur claire donc le coefficient d'absorption serait pris égale à **0,6**. Le facteur d'inertie des murs est de **0,8** car les structures sont considérées lourdes ;
- Les vitres sont de type simple avec menuiserie métallique et de **0,4 cm** d'épaisseur. Leur coefficient d'échange global est de **$5,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$** ;
- Les vitres étant de teinte claire, leur facteur solaire est de **0,3** et leur coefficient de correction **2/3**, dû à l'existence des rideaux intérieurs.
- Les portes sont en bois d'épaisseur **4 cm** de coefficient de convection **$3,36 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$** ;
- La toiture est en béton coulé de **20 cm** d'épaisseur de couleur intérieure blanche et d'une conductivité thermique de **$0,294 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$** . Elle est recouverte de l'intérieur par un enduit mortier de conductivité thermique **$1,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$** et d'épaisseur **3 cm**.

 Feuille de calculs :

Les équations ayant abouties aux résultats des calculs de la feuille Excel sont en annexe 20 avec leur paramètre désigné.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Données	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	T ext (°C)	T int (°C)
	28,8 m	28,8 m	13 m	41	25
	Hr ext (%)	Hr int (%)		Heure	Mois
	23	50		13 h	Avril
Conduction	Murs	Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT (°C)	Gains (W)
	S (ou SO)	307,2	1,67	16	8217,13
	O (ou NO)	307,2	1,67	16	8217,13
	N (ou NE)	313,9	1,67	16	8396,34
	E (ou SE)	313,9	1,67	16	8396,34
	Toiture	592	1,14	16	10798,08
	Total des gains de conduction par les murs				44025,02
	Vitrages	Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT (°C)	Gains (W)
	S (ou SO)	67,2	5,8	16	6236,16
	O (ou NO)	67,2	5,8	16	6236,16
	N (ou NE)	54	5,8	16	5011,2
	E (ou SE)	54	5,8	16	5011,2
	Total des gains de conduction par les vitres				22494,72
	Apport solaire	Porte	Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT (°C)
S (ou SO)		-	-	-	-
O (ou NO)		4,48	3,36	16	240,84
N (ou NE)		4,48	3,36	16	240,84
E (ou SE)		7	3,36	16	376,32
Total des gains de conduction par les portes				858,01	
Murs		Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT fictif (°C)	Gains (W)
S (ou SO)		307,2	1,67	10,78	5535,49
O (ou NO)		307,2	1,67	8,74	4487,44
N (ou NE)		313,9	1,67	6,12	3212,73
E (ou SE)		313,9	1,67	6,12	3212,73
Toiture		592	1,14	26,47	17865,33
Total des apports solaires par les murs				34313,72	
Vitrages		Surface (m²)	g·F	G (W/m²)	Gains (W)
S (ou SO)		67,2	0,2	375	5040
O (ou NO)		67,2	0,2	304	4085,76
N (ou NE)		54	0,2	213	2300,4
E (ou SE)		54	0,2	213	2300,4
Total des apports solaires par les vitres				13726,56	
Porte		Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT fictif (°C)	Gains (W)
S (ou SO)		-	-	-	-
O (ou NO)		4,48	3,36	8,74	131,53
N (ou NE)		4,48	3,36	6,12	92,16
E (ou SE)		7	3,36	6,12	143,99
Total des apports solaires par les portes				367,68	
TOTAL DES GAINS (W)					115785,7

Isolation thermique

Choix du type d'isolation :

Il existe trois types d'isolation des parois : l'isolation par l'intérieur, l'isolation par l'extérieur et l'isolation répartie. Le tableau suivant nous donne les avantages et inconvénients de chaque type d'isolation.

Type d'isolation	Matériau	Avantages	Inconvénients
Isolation par l'intérieur	Fibre minérale, fibre organique, polystyrène	Coût réduit	Surcout en rénovation ; réduit l'espace intérieur ; prive de l'inertie du bâtiment ; favorise les ponts thermiques
Isolation par l'extérieur	Fibre minérale, fibre organique, polystyrène	Mise en œuvre rapide, permet de bénéficier de l'inertie thermique des parois, élimine les ponts thermiques	Cout élevé, manque de formation des professionnels, notamment pour les isolants organiques
Isolation répartie	Brique monomur, béton cellulaire, béton de pierre ponce	Évite l'ajout d'un isolant pour les éléments les plus épais, Bonne inertie thermique, Élimine les ponts thermiques	Cout élevé, manque de formation des professionnels, uniquement en neuf ou extension de surface

L'analyse des avantages et inconvénients nous fait opter pour l'isolation par l'extérieur. C'est la plus favorable à notre cas. De plus les déperditions les plus importantes sont constatées au niveau de la toiture et des murs.

Choix du type d'isolant :

Un bon isolant procure au bâtiment la performance thermique recherchée sans perdre ses qualités techniques dans le temps. Le tableau suivant nous donne les différents types d'isolant existants.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

PRODUITS D'ISOLATION	CONDITIONNEMENT	USAGES LES PLUS FREQUENTS
ISOLATION REPARTIE (PLUTÔT UTILISEE EN NEUF)		
Béton cellulaire	Blocs à coller, panneaux	Murs porteurs, Planchers (Sur vide sanitaire, intermédiaire, combles habitables)
Monomur de briques en terre cuite	Briques à maçonner ou à joints minces	Murs porteurs
ISOLATION INTERIEURE OU EXTERIEURE		
ISOLANTS ISSUS DE L'INDUSTRIE PETROCHIMIQUE		
Polystyrène expansé	Panneaux	Planchers (terre-pleins, dallages, chapes flottantes); Murs (complexes de doublage, isolation par l'extérieur, bardage); Combles habitables (panneaux de toiture) et toitures-terrasses
	Entrevous	Planchers à entrevous et poutrelles béton ou treillis
Polystyrène extrudé	Panneaux	Planchers et sols (terre-pleins); murs; combles habitables (panneaux de toiture, sarking) et toitures-terrasses
Polyuréthane	Panneaux, Projection	Toitures, toitures-terrasses, doublage des murs, planchers et sols, sous chapes, murs
FIBRES ET ISOLANTS MINERAUX		
Laines minérales, laine de roche et laine de verre	Rouleaux et panneaux, Projections	Toitures, toitures-terrasses, combles perdus ou aménagés, cloisons, contre-cloisons, complexes de doublage et bardages, Panneaux-sandwiches, planchers et dalles flottantes
Perlite expansée	Panneaux	Toitures-terrasses, murs
Verre cellulaire	Panneaux, Blocs	Toitures-terrasses, murs
ISOLANTS BIOSOURCES OU RECYCLES		
Laine et fibre de bois	Panneaux	Planchers, combles, toitures, murs
Laine de chanvre	Vrac, rouleaux, panneaux	Murs, toitures, sols
Béton de chanvre	Coulé sur chantier	Murs non porteurs (ossature bois)
Ouate de cellulose	Vrac, panneaux	Combles, toitures, planchers murs et cloisons
Laine de mouton	Rouleaux, vrac	Combles, toitures, planchers, murs et cloisons
Plumes de canard	Rouleaux	Entre éléments d'ossature horizontaux ou inclinés
	Panneaux	Entre éléments d'ossature verticaux
Liège expansé	Panneaux	Murs, combles, toitures, cloisons, planchers
Fibres de textile recyclé	Rouleaux, panneaux	Murs, combles, toitures, cloisons, planchers

Notre choix s'est porté sur la laine de chanvre à raison d'un compromis entre le prix, la qualité et la résistance thermique. Elle fait partie des isolants biosources. Les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

	Laine de chanvre
Origine	Végétale
Utilisation	Plancher, toiture, mur
Avantages	Imputrescible (ne pourrit pas et donc elle a une excellente durabilité), antifongique (résistance naturelle aux champignons), antibactérien, et répulsif aux rongeurs et autres insectes nuisibles, absence de nocivité chimique dans le temps. Sa culture se pratique sans pesticide, herbicide ni engrais chimique (plante écologique).
Conditionnement	Rouleaux, Panneaux, Vrac
Prix du matériau	10-15 €/m ²
Conductivité thermique	0,039-0,045 W/m · K

Bilan thermique après isolation :

Après isolation, les coefficients globaux d'échange des murs et de la toiture changent. Les calculs ci-dessous tiennent compte de ces changements pour nous offrir une valeur finale réduite que celle d'avant. Les caractéristiques de la composition du mur sont données dans le tableau suivant. Les coefficients de convection interne et celle de l'externe sont respectivement de $H_i = 9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ et $H_e = 16,7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

Composition	Épaisseur (m)	Conductivité (W·m ⁻¹ ·°C ⁻¹)
Brique creuse	0,15	0,4
Laine de chanvre	0,1	0,039
Enduit mortier	0,06	1,15
Béton coulé	0,2	0,294

$$H_{\text{parois}} = \frac{1}{\frac{1}{H_e} + \frac{1}{H_i} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}}$$

$$H_{\text{murs}} = \frac{1}{\frac{1}{16,7} + \frac{1}{9} + \frac{0,15}{0,4} + \frac{0,1}{0,039} + \frac{0,06}{1,15}} = 0,32 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$H_{\text{Toiture}} = \frac{1}{\frac{1}{16,7} + \frac{1}{9} + \frac{0,2}{0,294} + \frac{0,03}{1,15}} = 0,29 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

📄 Feuille de calculs :

Les équations ayant abouties aux résultats des calculs de la feuille Excel sont en annexe 20 avec leur paramètre désigné.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA
CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Données	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	T ext (°C)	T int (°C)
	28,8 m	28,8 m	13 m	41	25
	Hr ext (%)	Hr int (%)		Heure	Mois
	23	50		13 h	Avril
Conduction	Murs	Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT (°C)	Gains (W)
	S (ou SO)	307,2	0,32	16	1554,33
	O (ou NO)	307,2	0,32	16	1554,33
	N (ou NE)	313,9	0,32	16	1588,23
	E (ou SE)	313,9	0,32	16	1588,23
	Toiture	592	0,29	16	2752,45
	Total des gains de conduction par les murs				9037,56
	Vitrages	Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT (°C)	Gains (W)
	S (ou SO)	67,2	5,8	16	6236,16
	O (ou NO)	67,2	5,8	16	6236,16
	N (ou NE)	54	5,8	16	5011,2
	E (ou SE)	54	5,8	16	5011,2
	Total des gains de conduction par les vitres				22494,72
	Apport solaire	Porte	Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT (°C)
S (ou SO)		-	-	-	-
O (ou NO)		4,48	3,36	16	240,84
N (ou NE)		4,48	3,36	16	240,84
E (ou SE)		7	3,36	16	376,32
Total des gains de conduction par les portes				858,01	
Murs		Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT fictif (°C)	Gains (W)
S (ou SO)		307,2	0,32	10,78	1047,08
O (ou NO)		307,2	0,32	8,74	848,83
N (ou NE)		313,9	0,32	6,12	607,71
E (ou SE)		313,9	0,32	6,12	607,71
Toiture		592	0,29	26,47	4553,91
Total des apports solaires par les murs				7665,24	
Vitrages		Surface (m²)	g*F	G (W/m²)	Gains (W)
S (ou SO)		67,2	0,2	375	5040
O (ou NO)		67,2	0,2	304	4085,76
N (ou NE)		54	0,2	213	2300,4
E (ou SE)		54	0,2	213	2300,4
Total des apports solaires par les vitres				13726,56	
Porte		Surface (m²)	H (W·m ⁻² ·°C ⁻¹)	ΔT fictif (°C)	Gains (W)
S (ou SO)		-	-	-	-
O (ou NO)		4,48	3,36	8,74	131,53
N (ou NE)		4,48	3,36	6,12	92,16
E (ou SE)	7	3,36	6,12	143,99	
Total des apports solaires par les portes				367,68	
TOTAL DES GAINS (W)					54149,8

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

La quantité de chaleur à évacuer avant la mise en place des isolants est de **115 785,7 W** et celle après l'isolation avec la laine de chanvre est de **54 149,8 W**. L'isolation aura permis de réduire **61 636 W** de la quantité de chaleur à évacuer du bâtiment 1 pour une surface externe isolée de **1 834,2 m²**. Le gain spécifique est de **33.6 W/m²**.

Extrapolation avec les autres bâtiments :

Comme déjà notifié dans l'état des lieux ci-haut, 11 autres bâtiments sont d'architecture identique à celle du bâtiment 1, donc ils ont les mêmes surfaces à isoler. Quant à la primature sa longueur est de 60 m, sa largeur 20 m et sa hauteur 16 m. Pour finir les dimensions du bâtiment restant (Celui du service de gestion) sont les suivantes : Longueur = 25 m ; Largeur = 14 m et la Hauteur = 7,5 m. Après calcul de la surface totale des deux derniers bâtiments, une déduction de 14 % sera faite dans l'optique de tenir compte de la surface prise par les portes et vitrages. La surface totale nette à isoler de tous les bâtiments de la cité administrative, est de :

$$S_{nette} = (S_{batiment\ 1} \times 12) + (1 - 0,14) \times [S_{primature} + S_{service\ gestion}] =$$

$$S_{nette} = (1834,2 \times 12) + (1 - 0,14) \times [(60 \times 16 \times 2 + 20 \times 16 \times 2 + 60 \times 20 - 14,3 \times 14,3 - 4 \times 4 \times 2 - 14,3 \times 4) + (25 \times 7,5 \times 2 + 14 \times 7,5 \times 2 + 25 \times 14)] =$$

$$S_{nette} = (22\ 010) + (1 - 0,14) \times (3\ 466,31 + 935) = \mathbf{25\ 796\ m^2}$$

La surface totale nette à isoler de tous les bâtiments de la cité administrative, est ainsi de **25 796 m²**. De ce fait, le gain de puissance thermique à évacuer après isolation de tous les bâtiments est estimé à :

$$G = 25\ 796 \times 33,6 = \mathbf{866\ 746\ W}$$

L'isolation thermique avec la laine de chanvre de tous les bâtiments nous permettrait d'économiser une puissance frigorifique de **866 746 W**. Le COP moyen des machines frigorifiques existantes du site étant de **3,34**, la puissance électrique correspondante est de **259,51 kW**. Ce gain résulte de la non nécessité de certaines machines frigorifiques après isolation thermique des parois externes avec de la laine de chanvre.

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Pour un temps de fonctionnement annuel moyen de **1754 h** des machines frigorifiques existantes, la consommation énergétique annuelle du gain de puissance électrique s'élève à **455,2 MWh**. Une répartition de ce gain total en fonction des bâtiments est disponible dans le tableau suivant.

ID Bâtiment	Surface isolée (m ²)	Puissance thermique évitée (W)	Puissance électrique correspondant (W)	Consommation correspondante (MWh)
Bâtiment 1	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 2	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 3	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 4	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 5	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 6	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 7	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 8	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 9	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 10	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 11	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Bâtiment 12	1834,2	61629,1	18451,8	32,4
Primature	2981,0	100162,5	29988,8	52,6
Serv de gest	804,1	27017,8	8089,1	14,2
Gain en énergie dû à l'isolation				455,2

Hypothèses de base :

Gains de puissance thermique spécifique (Cas du bâtiment 1) : **33,6 W/m²**

COP moyen des machines frigorifique : **3,34**

Temps de fonctionnement moyen des machines frigorifiques : **1754 h**

EVALUATION DU POTENTIEL D'ECONOMIE D'ENERGIE ET FINANCIERE DE LA CITE ADMINISTRATIVE DE BAMAKO

Annexe 17 : Caractéristiques des matériaux (COULIBALY et al., 2002a)

Matériaux	Conductivités thermiques [W/m.k]	Masses volumiques [kg/m³]	Chaleur massique [kJ/kg.k]
Cendre sèche	0,29	900	0,75
Charbon de bois	0,041 - 0,065	185 - 215	
Coton	0,06	80	1,42
Cuir	0,174	1000	
Ecorce d'arbre	0,066	342	
Laine de bois (panneau)	0,09	400	
Laine de mouton	0,038 - 0,049	135 - 136	1,26
Laine de roche	0,052 - 0,074	120 - 220	0,8 - 0,84
Paille comprimée	0,12	140	
Papier	0,14		
Plume	0,037	80	
Roseau	0,05	75	
Sciure de bois	0,06 - 0,07	213	2,51
Soie naturelle	0,052	100	
Amiante de ciment	0,4	1800	0,96
Béton de pouzzolane naturel	0,25 - 0,6	1200 - 1700	
Géobéton	0,7 - 0,8	1800 - 2310	
Béton armé	1,5 - 2,04	2300 - 2400	1,09
Bitume	0,16	2050	
Contre plaqué	0,14	600	2,72
Enduit à la chaux ou au plâtre lissé	0,87	1600	0,94
Enduit au ciment	0,87	2200	1,05
Copeaux de bois	0,081	140	2,51
Béton	0,9 - 1,7	2200 - 2400	0,850 - 0,950
Pierre calcaire	1,05 - 2,2	1650 - 2580	0,920
Terre cuite	1,15	1800 - 2000	0,900
Mur brique pleine	0,85	1850	
Mur brique creuse	0,4	1200	0,880
Parpaing plein	1,1	2100	
Parpaing creux	0,67	1250	0,880
Enduit mortier	1,15	1800 - 2100	0,880
Enduit plâtre	0,45	1450	0,880
Bois naturel	0,12 - 0,044	300 - 750	0,900
Polystyrène expansé	0,036 - 0,044	9 - 35	1,200 - 1,880
Laine de verre	0,04	100 - 300	1,210
Carrelage	1,15	1800	0,700
Gravillons	1,5	1200	0,980
Pierre lourde	3,5	2800	0,920
Feuille de bitume	0,23	1000	0,800
Terre pressée	1,15	1800	0,900
Tôle	70	7800	0,800

Annexe 18 : Coefficient de convection des parois externes (COULIBALY et al., 2002a)

	Parois en contact avec l'extérieur			Parois en contact avec un autre local, un comble ou un vide sanitaire			Parois vitrées
	murs	plafonds	planchers	murs	plafonds	planchers	
he	16,7	20	20	9	20	5,9	16,7
hi	9	11,1	5,9	9	20	5,9	9

**Annexe 19 : Méthode détaillée de calculs des charges thermiques du bâtiment 1
(COULIBALY, 2013)**

Les charges externes sont les apports de chaleur par transmission à travers les parois externes (les murs, le plancher et la toiture) et les vitrages, les apports de chaleur par rayonnement solaire à travers les parois opaques (murs et toitures) et enfin les apports de chaleur par rayonnement solaire à travers les vitrages.

✚ Apport de chaleur par conduction à travers les parois extérieures, les vitrages et les portes :

	Formules	Désignation des paramètres
Apports de chaleur (W)	$Q = H \times S \times \Delta T$	H : coefficient d'échange global de la paroi ou du vitrage ou encore de la porte en $W/m^2 \cdot ^\circ C$; S : Surface de la paroi ou du vitrage ou de la porte en m^2 ; ΔT : Différence de température entre les deux faces de la paroi ou du vitrage ou encore la porte en $^\circ C$; $\Delta T = T_{ext} - T_{int}$
Coefficient d'échange global ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	$H = \frac{1}{\frac{1}{H_e} + \frac{1}{H_i} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}}$	H_e : Coefficient global de convection extérieur en $W/m^2 \cdot ^\circ C$; H_i : Coefficient global de convection intérieur en $W/m^2 \cdot ^\circ C$; λ_i : Conductivité thermique du matériau $W/m \cdot ^\circ C$; e_i : Épaisseur du matériau considéré en m.

✚ Apport de chaleur par rayonnement solaire à travers les parois et les portes :

	Formules	Désignation des paramètres
Apports de chaleur (W)	$Q = H \times S \times \Delta T_f$	H : coefficient d'échange global de la paroi ou de la porte en $W/m^2 \cdot ^\circ C$; S : Surface de la paroi ou de la porte en m^2 ; ΔT_f : Écart de température fictif dû à l'ensoleillement en $^\circ C$.
Écart de température fictif ($^\circ C$)	$\Delta T_f = \frac{a \times G}{H_e} \times F$	a : Coefficient d'absorption ; G : Rayonnement global en W/m^2 ; F : Facteur correctif dû à la présence des rideaux ; H_e : Coefficient global de convection extérieur en $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

✚ Apport de chaleur par rayonnement solaire à travers les vitrages :

	Formules	Désignation des paramètres
Apports de chaleur (W)	$Q = g \times F \times S \times G$	g : Facteur solaire de la vitre ; F : Facteur correctif dû à la présence des rideaux ; S : Surface de la vitre en m^2 ; G : Rayonnement global en W/m^2 ;

Annexe 20: Proposition d'affiches de sensibilisation

**Un chargeur continue de consommer de l'énergie
même si aucun appareil n'y est connecté**



**JE PENSE À DÉBRANCHER MON
PORTABLE LORSQU'IL EST CHARGÉ**

**Monter un escalier permet de dépenser 7 fois
plus de calories qu'un voyage**



**JE PRENDS L'ESCALIER
PLUTÔT QUE L'ASCENSEUR**



**Un ordinateur en veille peut coûter jusqu'à 30 € / an
s'il reste en veille pendant 12 h / jour**



**JE PENSE À ÉTEINDRE MON
ORDINATEUR LORSQUE JE NE L'UTILISE PAS**

**30 minutes d'éclairage inutile par jour équivalent
à 120 h d'éclairage au bout d'un an**



**JE PENSE À ÉTEINDRE LA LUMIÈRE
DANS LES PIÈCES INOCCUPÉES**

