



Diagnostic de Performance Energétique des bâtiments :

CAMP E1 et CONSTRUCTION OFFICE

du site Essakane au **BURKINA-FASO**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE ENERGETIQUE

Présenté et soutenu publiquement le **21 juin 2013** par

Toussaint DJE

Travaux dirigés par :

Justin BASSOLE, Enseignant, Centre Commun de Recherche-Energie et Habitat Durable **2iE**,
CCR-EHD

Pascal DROZ, Ingénieur Electrique Senior au Département Optimisation,
IAMGOLD Essakane SA

Charles G. Guillaume, Ingénieur Electrique Junior au Département Optimisation,
IAMGOLD Essakane SA

Jury d'évaluation du stage :

Président : Mr. **Henri KOTTIN**

Membres et correcteurs : Mr. **Justin BASSOLE**

Mr. **Madi KABORE**

Promotion [2012/2013]



CITATIONS

*Je disais, Je sais, Je sais, Je sais, Je sais.
C'était le début, c'était le printemps,
Mais quand j'ai eu mes 18 ans,
J'ai dit, Je sais, ça y est, cette fois Je sais.
Et aujourd'hui, les jours où je me retourne,
Je regarde la Terre où j'ai quand même fait les 100 pas,
Et je ne sais toujours pas comment elle tourne !
Vers 25 ans, je savais tout : l'amour, les roses, la vie, les sous,
Tiens oui l'amour, j'en avais fait tout le tour !
Et heureusement, comme les copains, je n'avais pas mangé tout mon pain :
Au milieu de ma vie, j'ai encore appris.
Ce que j'ai appris, ça tient en trois quatre mots :
Le jour où quelqu'un vous aime, il fait très beau,
Je ne peux pas mieux dire, il fait très beau !
C'est encore ce qui m'étonne dans la vie,
Moi qui suis à l'automne de ma vie,
On oublie tant de soirs de tristesse,
Mais jamais un matin de tendresse !
Toute ma jeunesse, j'ai voulu dire Je sais,
Seulement, plus je cherchais, et puis moins je savais.
Il y a 60 coups qui ont sonné à l'horloge
Je suis encore à ma fenêtre, je regarde et je m'interroge,
Maintenant, je sais qu'on ne sait jamais !
La vie, l'amour, l'argent, les amis et les roses,
On ne sait jamais le bruit ni la couleur des choses,
C'est tout ce que Je sais mais ça Je le sais !*

Jean Gabin

DEDICACE

A mes parents,

Qu'ils trouvent ici l'hommage de ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être, ne sera jamais à la hauteur de leur éloquence et leur dévouement. Aucune dédicace ne saura vous exprimer la profondeur de mes sentiments.

A mes frères et sœurs,

*En témoignage de mon amour fraternel et de mon attachement éternel et pour leur sollicitude active, réconfortante et indispensable.
En particulier à Béatrice, pour le repos de son âme.*

A tous ceux qui me sont chers,

Toute ma gratitude.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce projet de fin d'études, Il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma gratitude à toute l'équipe du département Optimisation de IAMGOLD Essakane SA, plus particulièrement au chef du service ingénierie **Mr Martin ARSENAULT** et au Directeur du projet **Mr Sylvain Collard** de m'avoir accepté dans leur département.

Mes vifs remerciements à mes tuteurs de stage en entreprise messieurs **Pascal DROZ**, **Grégoire Charles-Guillaume** et **Stefane Guevremont**, pour leur grand soutien. Vos différentes actions m'ont été bénéfiques et précieuses.

Aux managers MBA et à toute l'équipe MBA, merci pour l'esprit de convivialité, de solidarité, de fraternité, d'encouragement et que sais-je, créer autour de ce concept qui m'a permis de facilement m'intégrer dans un milieu totalement différent du nôtre.

Je remercie également **Mr Justin BASSOLE** mon tuteur de stage du 2iE pour son apport appréciable. Vos précieux conseils et votre magnanimité ô combien fraternelle ont été décisif au cours de ce stage.

Au responsable pédagogique, **Mr SIDIBE Sayon**, et à toute l'équipe du centre commun de recherche énergie et habitat durable, toute ma gratitude et bon courage à tous car les défis à relever sont énormes.

Je me fais un devoir de remercier également toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont aidée au cours de ces années d'études. Une mention spéciale pour **Mr Gabriel KOUAME**, **Mr Jean Marie DJE KOUADIO**, **Madame Céline KOUAME**, **Mme Brigitte KRA** pour leurs apports financiers.

Je tiens à remercier aussi mes frères et sœurs pour leur soutien infailible.

Il m'est agréable de témoigner de mon estime et de ma reconnaissance à toutes les personnes avec qui j'ai eu l'occasion de travailler au cours de mon stage. Il s'agit notamment de Messieurs **Marc Desgané** et **Armel Florent Djeunang**.

Enfin, c'est avec beaucoup de plaisir qu'il m'est donné aujourd'hui d'exprimer ma reconnaissance envers mes amis stagiaires Africains et Canadiens et à tous ceux que je n'ai pu citer, trouver ici, l'expression de ma profonde gratitude.

AVANT-PROPOS

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (**2iE**), anciennement Groupe des écoles EIER-ETSHER (Ecole Inter-états d'Ingénieurs de l'Equipement Rural et Ecole des Techniciens Supérieurs en Hydraulique et Equipement Rural), est situé à Ouagadougou au Burkina-Faso.

C'est une école qui ambitionne être une institution d'excellence dans la formation des étudiants en Afrique. Pour y arriver elle s'est inscrite dans la démarche qualité avec la certification **ISO 9001** version **2008** pour la conception et la réalisation des offres de formation. Le **2iE** est membre de la Conférence française des Grandes Ecoles (**CGE**) et du Consortium pour la collaboration de l'enseignement supérieur en Amérique du Nord (**CONAHEC**). Les diplômes d'ingénieurs de **2iE** sont accrédités en Europe (label **EUR-ACE**) et par la Commission française des Titres d'Ingénieur (**CTI**).

Elle est dotée pour son fonctionnement d'un directeur général. Les étudiants sont issus de plus de **27** nationalités.

Le **2iE** forme des ingénieurs-entrepreneurs spécialisés dans les domaines :

- Eau et assainissement
- Environnement
- Energie et électricité
- Génie civil et Mines
- Sciences Managériales

Les dernières reformes ont abouti à la création de deux centres communs de recherche qui sont :

- Le Centre Commun de Recherche Eau et Climat (**CCREC**) a pour objectif la sécurisation de l'accès à l'eau potable pour tous.
- Le Centre Commun de Recherche Energie et Habitat Durable (**CCR-EHD**) étudie l'accès durable à l'énergie pour tous en Afrique. Il vise par ses travaux scientifiques à contribuer au développement sur le continent des capacités d'innovation industrielle dans les domaines des énergies renouvelables.

La filière Génie énergétique a pour mission de former des ingénieurs en leur donnant une solide formation scientifique et technique, dans les domaines des énergies renouvelables, le froid, les procédés énergétiques et industriels.

RESUME

Que ce soit sur le plan environnemental ou sur le plan économique, les économies d'énergie sont une priorité pour l'homme moderne, car il en sera à terme, le premier bénéficiaire. L'étude réalisée sur le site de la mine d'or Essakane est une contribution à sa politique de développement durable.

L'audit énergétique a révélé le caractère énergivore des bâtiments **Camp E1** et **Construction office**. La consommation électrique pourrait être diminuée notamment par l'utilisation de solutions techniques telles que les lampes à basse consommation énergétique, les détecteurs de présence et surtout une sensibilisation du personnel à la sobriété énergétique. Ainsi pour un coût global d'investissement de **32 413,92 \$** soit 16 206 960 FCFA, on a une réduction de la consommation de **41,10 %** au Construction office et **24,03 %** au Camp E1. La mise en œuvre du projet rapportera à l'entreprise **95 806,87 \$** par an soit une économie de **3 991 953 FCFA** par mois pour un temps de retour sur investissement de **4** mois.

Mots clés : économie d'énergie, développement durable, audit énergétique, consommation, lampes à basse consommation énergétique, détecteur de présence, sobriété énergétique

ABSTRACT

Whether on the environmental plan or on the economic plan, energy saving is nowadays a priority for all human beings since they will be eventually, the first beneficiaries. The field study on the site of Essakane gold mine is a contribution to enhance a sustainable development policy.

The energy audit revealed how energy-hungry the buildings **Camp E1** and **Construction Office** are. The electric consumption could particularly be reduced through including the use of technical solutions such as low energy lamps, presence detectors and sensitizing staff especially on efficient energy use. Thus, a global cost of investment of **32,413.92 \$** or 16,206,960 FCFA, one has as a reduction of consumption of **41.10%** in the Construction office and **24.03%** in the Camp E1. Through the implementation of the project, the company is going to save **95,806.87 \$** per year, in other words a saving of **3,991,953 FCFA** per month for an overall return on investment of **4** months.

Keywords: energy saving, sustainable development, energy audit, consumption, low energy lamps, presence detector, efficient energy use

LISTE DES ABREVIATIONS

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AIE : Agence Internationale de l'Energie

B : Bureau

CEDEAO : Communauté économique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

CEREEC : Centre régional pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique

CIE : Commission internationale de l'éclairage

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

ECS: Eau chaude sanitaire

EF : Energie finale

EP : Energie primaire

GES : Gaz à effet de serre

GIEC : Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat

HFO: Heavy fuel oil

IBE : Institut Belge de l'Eclairage.

ICE : Indice de consommation énergétique

IEPF : L'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie

IRC : Indice de rendu de couleur

LFO: Light fuel oil

MBA: Mind Body Achievement

PRISME : Programme International de Soutien à la Maîtrise de l'Energie

ROI: Return of investment

SEEA-WA: Supporting Energy Efficiency for Access in West Africa

UNITES

kWhEP/m²/an : Kilowattheure énergie primaire par mètre carré par an

W/m² : Wattheure par mètre carré

BTU: British thermal unit

Mds de tep: Milliards de tonne équivalente de pétrole

MtCO₂ : Million de tonne équivalent de CO₂

ρC_v : Masse volumique / chaleur massique du matériau

TABLE DES MATIERES

CITATIONS	i
DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
AVANT-PROPOS	iv
RESUME.....	v
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
TABLE DES MATIERES	1
LISTE DES TABLEAUX	4
LISTE DES FIGURES.....	5
INTRODUCTION.....	6
PARTIE I.....	7
PRESENTATION DU PROJET.....	7
I-1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL.....	8
I-1-1 Situation géographique Essakane	8
I-1-2 Département Optimisation ou de la construction.....	9
I-2 CONTEXTE ENERGETIQUE.....	11
I-2-1 Au niveau mondial.....	11
I-2-2 Au niveau de l'Afrique de l'ouest.....	11
I-2-3 Au Burkina Faso	12
I-2-4 Au niveau de la mine d'or Essakane SA.....	13
I-3 OBJECTIFS DE L'ETUDE	14
PARTIE II.....	15
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	15
II-1 EFFICACITE ENERGETIQUE	16
II-2 DEVELOPPEMENT DURABLE	16
II-3 CONFORT.....	18
II-4 CRITERES DE PERFORMANCES TECHNIQUES DES BATIMENTS.....	21
II-4-1 Climatisation.....	21
II-4-2 Eclairage	22
II-4-3 Eau chaude sanitaire (ECS)	24
II-4-4 Bureautique	24
II-4-5 Enveloppe du bâtiment	24

II-5	RATIOS DE CONSOMMATION ENERGETIQUE	25
II-5-1	Ratio de gains thermiques	25
II-5-2	Indice de consommation énergétique des bâtiments climatisés.....	26
PARTIE III	27
METHODOLOGIE DE L'ETUDE	27
III-1	ETAT DES LIEUX.....	28
III-2	METROLOGIE MISE EN ŒUVRE.....	28
III-2-1	Description de la méthodologie	28
III-2.1.1	Eclairage	28
III-2.1.2	Climatisation.....	29
III-2.1.3	Appareils bureautiques/électriques.....	29
III-2-2	Enquête de terrain	29
III-3	EXPLOITATION ET TRAITEMENT DES DONNEES	30
III-4	PROPOSITION DE MESURES D'EFFICACITE ENERGETIQUE.....	30
PARTIE IV	31
ETUDE DE CAS.....	31
IV-1	LE BATIMENT 'CAMP E1'	32
IV-1.1	Etat des lieux du Camp E1	32
IV-1.2	Bilan thermique du Camp E1	33
IV-1.3	Estimation de la consommation de l'électricité du camp E1	35
IV-1.4	Etiquette 'Energie' et 'Climat' du Camp E1.....	37
IV-2	LE BATIMENT 'CONSTRUCTION OFFICE'.....	39
IV-2.1	Etat des lieux du bâtiment 'construction office'	39
IV-2.1.1	Description de l'enveloppe du bâtiment.....	40
IV-2.1.2	Description de l'éclairage.....	40
IV-2.1.3	Description du système de Climatisation	42
IV-2.1.4	Description des équipements électriques, la Bureautique	42
IV-2.2	Bilan thermique du bâtiment 'Construction office'	42
IV-2.3	Estimation de la consommation en électricité du bâtiment 'Construction office' .	45
IV-2.4	Etiquette 'Energie' et 'Climat' du bâtiment 'construction office'	46
PARTIE V	48
PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS ENERGETIQUE DES BATIMENTS.....	48
V-1	PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS 'CAMP E1'	49
V-2	PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS 'CONSTRUCTION OFFICE'	50

V-3	ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET	53
V-4	ETAT ENERGETIQUE DES BATIMENTS APRES PROJET.....	55
V-5	RECOMMANDATIONS & PERSPECTIVES	57
	CONCLUSION.....	58
	BIBLIOGRAPHIE	59
	ANNEXES.....	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Emissions de CO ₂ des secteurs économiques de la CEDEAO ^[6]	12
Tableau 2 : Emissions de CO ₂ des secteurs économiques au Burkina-Faso	13
Tableau 3 : Mesure du confort (Predicted Mean Vote).....	20
Tableau 4 : Ordre de grandeur du flux de chaleur dans le bâtiment	25
Tableau 5 : Ratios d'indice de consommation énergétique dans le bâtiment	26
Tableau 6 : Coefficient de conversion de l'énergie finale en énergie primaire ^[16]	26
Tableau 7 : Eclairage moyen et densité d'éclairage Camp E1	33
Tableau 8 : Conditions climatiques de calculs des charges thermiques.....	34
Tableau 9 : Charges thermiques des chambres du Camp E1.....	34
Tableau 10 : Apports thermiques par poste du Camp E1	35
Tableau 11 : Résumé des estimations de consommation par poste du Camp E1	36
Tableau 12 : Eclairage moyen et densité d'éclairage 'construction office'	41
Tableau 13 : Charges thermiques des différents bureaux du 'construction office'	43
Tableau 14 : Apports thermiques par poste du "construction office".....	44
Tableau 15 : Résumé des estimations de consommation "construction office"	45
Tableau 16 : Proposition d'améliorations Camp E1.....	50
Tableau 17 : Proposition d'améliorations 'Construction office'	51
Tableau 18 : Coût du projet Camp E1	53
Tableau 19 : Coût du projet 'Construction office'	54
Tableau 20 : Coût global du projet	54
Tableau 21 : Détails des gains réalisés Camp E1	55
Tableau 22 : Détails des gains réalisés "Construction office"	56
Tableau 23 : Résumé des recommandations	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique de la mine d'or Essakane	8
Figure 2 : Organigramme du département Optimisation de IAMGOLD Essakane SA	10
Figure 3 : Consommation d'électricité par secteur au BURKINA-FASO	12
Figure 4 : Emission de GES par type d'équipement mine d'or Essakane	13
Figure 5 : Les trois piliers du développement durable	17
Figure 6 : Zone de confort élargie.....	19
Figure 7 : courbe du PPD en fonction de PMV	21
Figure 8 : Différentes zones de travail.....	23
Figure 9 : Luxmètre YF- 1065.....	29
Figure 10: Vue générale Camp E1	32
Figure 11 : Répartition de la consommation d'électricité du Camp E1	37
Figure 12 : Etiquette "Energie" Camp E1	38
Figure 13 : Etiquette "Climat" Camp E1.....	38
Figure 14 : Vue générale 'Construction Office'	39
Figure 15 : Répartition de la consommation d'électricité "Construction office"	46
Figure 16 : Etiquette "Energie" Construction office	46
Figure 17 : Etiquette "Climat" Construction office.....	47

INTRODUCTION

Le XXIème siècle est caractérisé en partie par la prise de conscience générale de l'importance du développement durable dans nos sociétés. Cette préoccupation est devenue prépondérante et incontournable dans le secteur de la construction. Le secteur du bâtiment constitue une source importante d'économie d'énergie dans les pays du tiers monde étant donné la part que représentent les bâtiments dans la demande d'énergie dans ces pays. Elle est estimée à 30% ^[1] de la consommation totale d'électricité en Afrique de l'Ouest.

Les grands objectifs environnementaux portés par le protocole de **Kyoto** au niveau mondial avec des déclinaisons régionales, voire nationales telle que '**Grenelle de l'environnement**' en France obligent les professionnels du secteur à s'adapter en faisant évoluer leurs habitudes et leurs méthodes de construction et de réhabilitation. La finalité étant de concevoir des bâtiments de plus en plus performants sur les thématiques énergétiques et environnementales comme réponses aux grands défis environnementaux. La réduction des consommations d'énergie est urgente dans une société caractérisée par une croissance démographique accélérée (à l'horizon **2050** la terre sera peuplée de plus de **9** milliards d'habitants ^[2]) et qui ne cesse d'accroître sa consommation en énergie quand on sait que l'augmentation des ressources énergétiques est de plus en plus moins sûre. C'est dans ce contexte que cette étude s'avère pertinente pour essayer d'apporter une réponse, à la mesure des enjeux énergétiques et environnementaux. Ainsi elle comporte trois grandes parties :

- La première partie concerne une généralité sur l'économie d'énergie
- La deuxième partie réservée à l'étude de cas des bâtiments **Camp E1** et **Construction office** du site minier Essakane
- La troisième pour les propositions et recommandations

PARTIE I

PRESENTATION DU PROJET

I-1 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL

Essakane SA est une filiale de la compagnie IAMGOLD fondé en 1991 dont le siège social est à Toronto au Canada. IAMGOLD est un important producteur aurifère de rang intermédiaire, avec une production annuelle de près d'un million d'onces provenant de cinq mines situées sur trois continents.

I-1-1 Situation géographique Essakane

La mine Essakane est située au Nord-Est du Burkina Faso **Figure 1**, en Afrique occidentale. Elle se trouve entre la frontière des provinces de l'**Oudalan** et du **Seno**, dans la région du Sahel, à environ **330 km** au Nord-Est de la capitale, Ouagadougou. Elle est située **42 km** à l'est de la grande ville la plus proche, Dori et de la capitale provinciale de l'Oudalan, Gorom-Gorom. Le Burkina Faso a comme pays limitrophes le Mali, le Niger, le Bénin, le Togo, le Ghana et la Côte d'Ivoire.

La mine d'or Essakane SA est détenue à **90 %** par IAMGOLD et **10 %** par l'Etat Burkinabè Elle est en production depuis juillet **2010** et détient six permis couvrant une superficie de **1 383 km²**. La production de la mine d'or Essakane d'octobre à décembre **2012** est de **86 470^[3] onces** contre une production planifiée de **84 851 onces** et prévoit augmenter sa capacité en roche dure grâce au '**projet d'expansion phase 2**'. Prolongeant ainsi la durée de vie de la mine jusqu'en **2025**.



Figure 1 : Situation géographique de la mine d'or Essakane

I-1-2 Département Optimisation ou de la construction

Essakane SA est composée de plusieurs départements dont l'optimisation qui nous a accueilli pour ce stage. Ce département est caractérisé par le nombre important d'employés sous sa tutelle. Il a pour rôle la conception et la construction de tous les ouvrages destinés à la production de l'or. Pour mener à bien sa mission, le département en dehors de l'équipe interne composée d'Ingénieurs, surintendants, contremaîtres..., s'est attaché les services de bureaux d'études nationaux et internationaux ainsi que des sous-traitants. L'organigramme du département optimisation se présente comme suit. **Figure 2.**

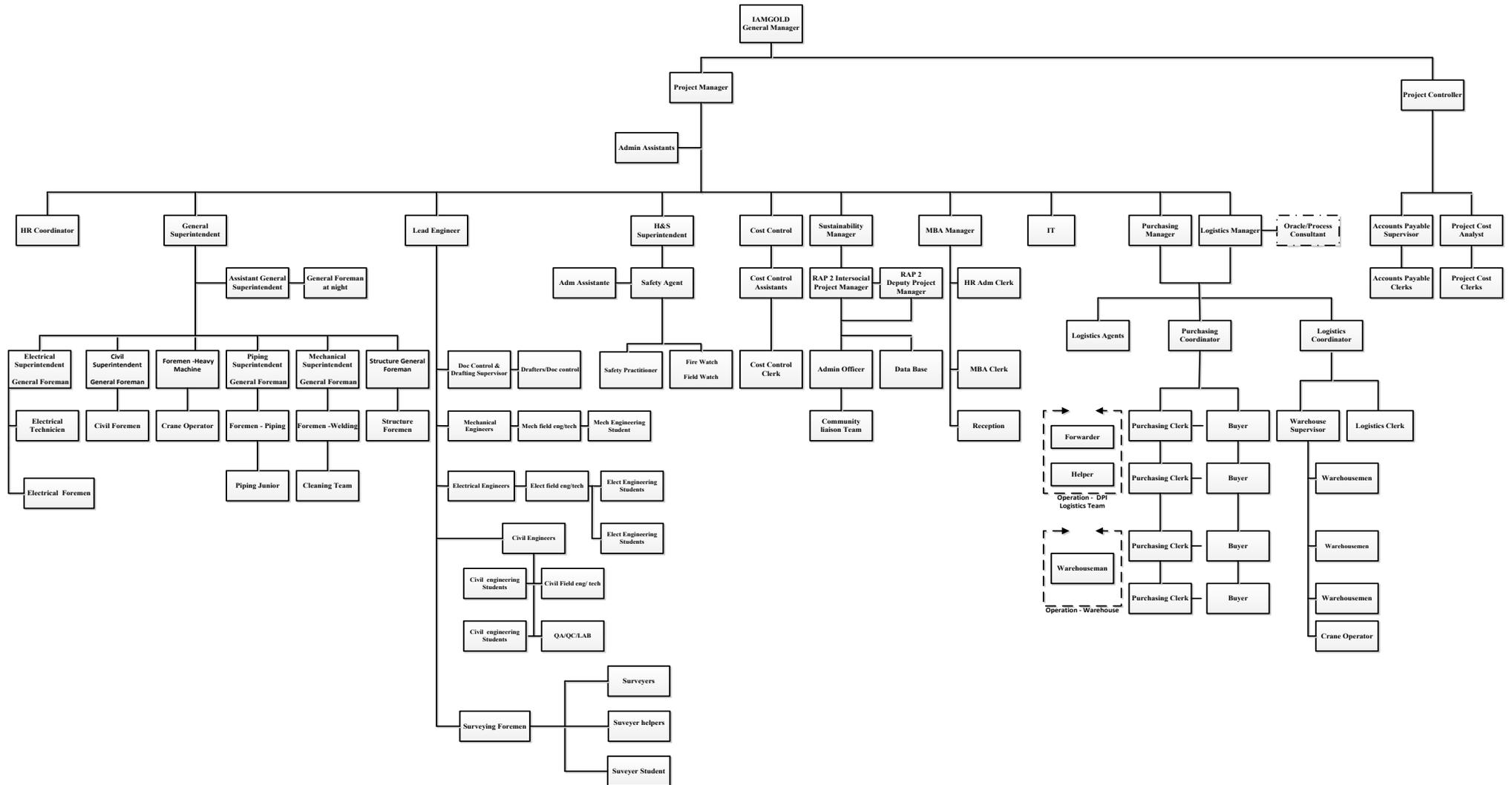


Figure 2 : Organigramme du département Optimisation de IAMGOLD Essakane SA

I-2 CONTEXTE ENERGETIQUE

I-2-1 Au niveau mondial

Les émissions de gaz à effet de serre sont considérées comme la cause principale du réchauffement climatique. Le réchauffement climatique dont les effets sensibles sont désormais observables à l'échelle du globe. En effet, on note déjà une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et des océans, une fonte massive de la neige et de la glace et une élévation du niveau de la mer. Selon les dernières prévisions du **GIEC** la Terre pourrait ainsi subir un réchauffement global de l'ordre de **1,8°C à 4°C** d'ici **2100** si aucune action de réduction des gaz à effet de serre (GES) n'était entreprise.

A cela s'ajoute une augmentation constante de la demande d'énergie primaire (**12 Mds de tep en 2010**) dont la consommation mondiale est passée de **7,9 Mds de tep en 2005** à **8,3^[4] Mds de tep en 2010**. Quant aux émissions de CO₂, elles sont de **30^[4] Mds tCO₂** toujours en **2010**. Cette croissance, qui touche tous les secteurs, reflète un besoin accru de performance, de puissance et de confort dans les différents usages de l'énergie.

Enfin la raréfaction voire l'épuisement des énergies fossiles, avec d'ores et déjà, des scénarios médians prévoyant que la production de pétrole devrait décliner à partir de **2030** et celle du gaz à partir de **2050**. La croissance des besoins ainsi que les normes et la législation sur les questions énergétiques se traduisent par une flambée du prix du pétrole et du gaz, à terme un renchérissement du prix de l'électricité. De ce fait, le coût de l'énergie représente une part croissante et de plus en plus significative dans les coûts d'exploitation des bâtiments (jusqu'à **30%^[5]**).

I-2-2 Au niveau de l'Afrique de l'ouest

Malgré la faible part que représentent les émissions de CO₂ de l'Afrique de l'ouest dans le bilan mondial, les institutions comme la **CEDEAO** ont d'ores et déjà élaboré des politiques énergétiques par la mise en place de mesures d'efficacité énergétique telle que le projet **SEEA-WA** (Supporting Energy Efficiency for Access in West Africa). Ces politiques sont matérialisées par la création en **2008** du **CEREEC**, centre régional pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique de la **CEDEAO**. Le **Tableau 1** donne selon une étude de l'**ADEME** la répartition des émissions de CO₂ par secteur d'activité dans l'espace **CEDEAO**. Les secteurs d'activité concernés sont l'industrie, les transports, le secteur résidentiel (logements), le secteur tertiaire (bureaux, commerces, établissements de santé et d'enseignement, hôtels, etc.) et l'agriculture.

Tableau 1 : Emissions de CO₂ des secteurs économiques de la CEDEAO ^[6]

Année 2007	Industrie	Transports	Résidentiel	Tertiaire	Agriculture
MtCO ₂	14,71	34,5	15,85	4,82	0,95
Pourcentage	21%	49%	22%	7%	1%

Il en ressort qu'en zone CEDEAO, le transport est le premier émetteur de CO₂, situation tributaire à la grande consommation des produits pétroliers, suivi du résidentiel et de l'industrie.

I-2-3 Au Burkina Faso

Le Burkina-Faso est connu pour sa grande consommation de l'énergie issue de la biomasse (sources ligneuses ou bois énergie) qui représente **82,99%** ^[7] de l'énergie consommée en 2008. Les sources d'énergie renouvelable qui produisent de très faibles puissances à partir des équipements photovoltaïques représentent moins de **1%** du total d'énergie consommée toujours en 2008. L'électricité, elle est majoritairement d'origine thermique. Moins de 10% ^[7] de la population du pays y est raccordée et consomme **33%** de l'offre.

La **Figure 3** indique la consommation d'électricité par secteur d'activité au Burkina-Faso ^[6] en 2008 et le **Tableau 2** les émissions de CO₂ en 2007 des produits énergétiques des différents secteurs.

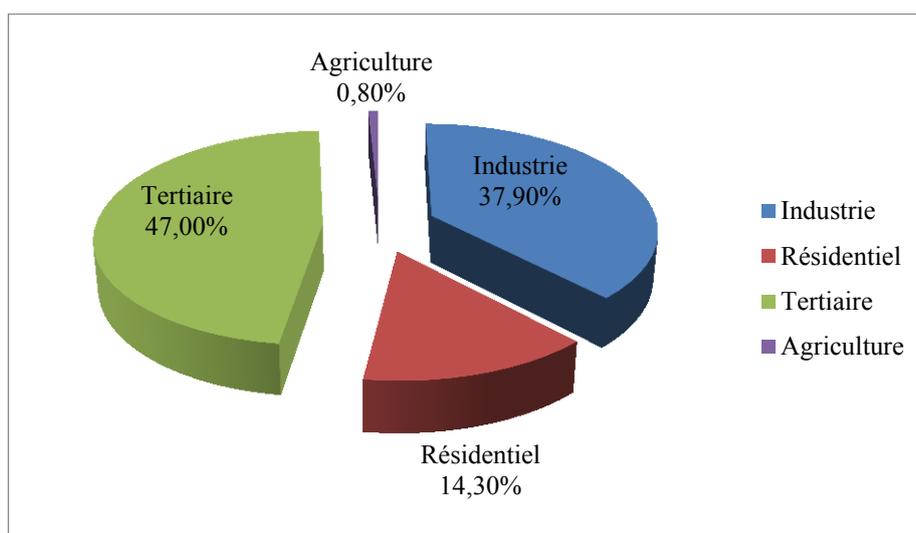


Figure 3 : Consommation d'électricité par secteur au BURKINA-FASO

Tableau 2 : Emissions de CO₂ des secteurs économiques au Burkina-Faso

Année 2007	Industrie	Transports	Résidentiel	Tertiaire	Agriculture
MtCO ₂	0,33	0,916	0,18	0,16	0,003
Pourcentage	20,77%	57,65%	11,33%	10,07%	0,19%

I-2-4 Au niveau de la mine d'or Essakane SA

La compagnie IAMGOLD dans la mise en place de sa politique de développement durable a créé dans sa filiale Essakane SA un comité de l'énergie pour améliorer la performance de l'entreprise en gestion de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. L'une des principales missions du comité est d'analyser la consommation d'énergie et de repérer les possibilités de réduction des coûts énergétiques.

Cette étude ne concerne que deux bâtiments, l'un de type résidentiel (logement) et l'autre de type tertiaire (Bureau), parmi l'ensemble des bâtiments concernés par le projet « *Objectif Efficacité Energétique* » d'Essakane SA qui devrait à terme sauver 2.6 GWh/an et donc économiser un peu plus de 900 000 \$ par an. L'approvisionnement en énergie électrique du site est assuré par la centrale électrique de 26 MW. La Figure 4 donne un aperçu des émissions de GES du mois de Mars 2013 des différents types d'équipements utilisés pour l'exploitation de la mine.

Les plus grands émetteurs sont la centrale énergétique et les engins lourds avec environ 90% des émissions de GES.

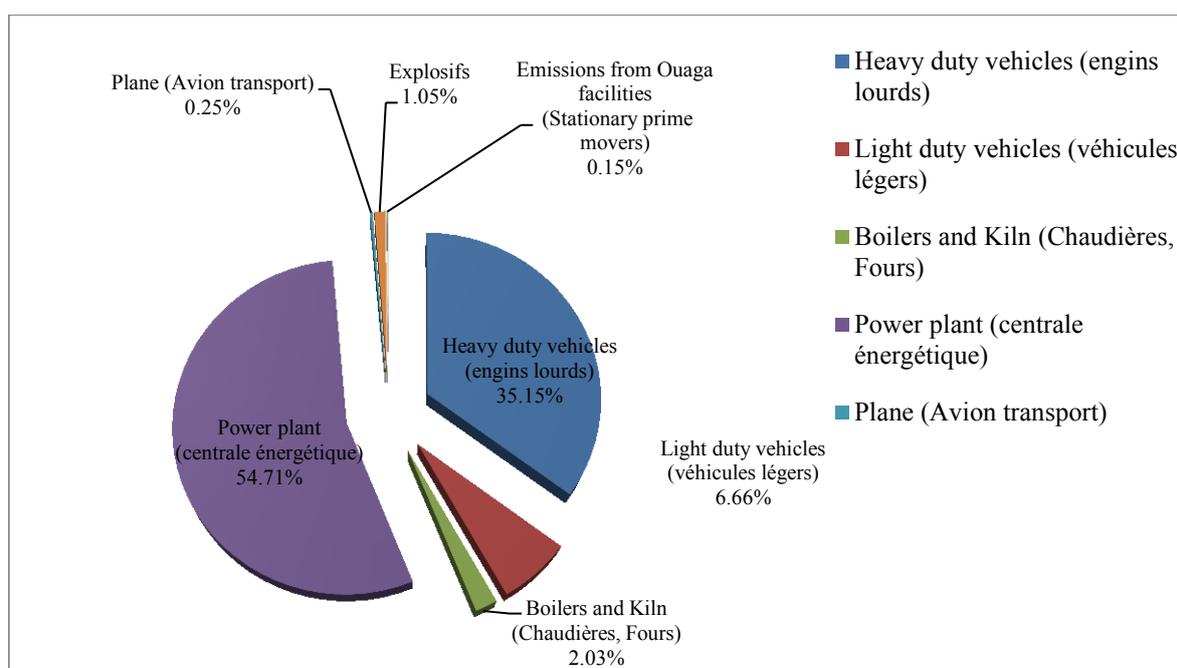


Figure 4 : Emission de GES par type d'équipement mine d'or Essakane

I-3 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le diagnostic énergétique d'un bâtiment consiste à faire une étude énergétique approfondie du bâtiment pour déterminer les actions à mettre en œuvre pour faire des économies. Les objectifs à court terme de cette étude sont :

- D'établir le bilan global des consommations d'électricité des bâtiments '**Camp E1 et Construction Office**'
- D'informer les usagers sur les gisements potentiels d'économie d'énergie et financière, les inciter à optimiser les comportements ;
- De déterminer les actions et investissements à réaliser en vue de l'optimisation des consommations d'électricité par la correction des dysfonctionnements ou erreurs de conception, par une amélioration de la gestion des équipements et/ou par une amélioration des performances de ceux-ci ;
- D'améliorer le confort des occupants.

L'objectif à moyen terme est de réduire l'impact de la consommation d'électricité sur les charges de l'entreprise IAMGOLD Essakane SA et d'en améliorer l'image d'entreprise responsable en tant qu'acteur de réduction des émissions de GES.

Le long terme serait d'identifier les opportunités de recours aux énergies renouvelables en lieu et place des énergies fossiles.

PARTIE II

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

II-1 EFFICACITE ENERGETIQUE

L'efficacité énergétique peut se définir comme le rapport entre le service délivré au sens large (performance, produit, énergie, confort, service) et l'énergie qui y a été consacrée. Dans son acception la plus large, cette définition de l'efficacité énergétique englobe à la fois l'amélioration du « rendement énergétique » des installations et des équipements et la «sobriété énergétique^[8]», entendue comme la réduction des consommations d'énergie liée à la modification du comportement du consommateur.

L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste donc, par rapport à une situation de référence soit à :

- ❖ Augmenter le niveau de service rendu, à consommation d'énergie constante ;
- ❖ Economiser l'énergie à service rendu égal ;
- ❖ Réaliser les deux simultanément.

Ainsi, les solutions d'efficacité énergétique visent à :

- ✓ Améliorer la performance délivrée avec une moindre consommation d'énergie ;
- ✓ Limiter ou ralentir l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables (en particulier les énergies fossiles) ;
- ✓ Réduire l'impact environnemental des activités liées à l'utilisation des énergies, notamment en termes des émissions de GES d'origine anthropique.

II-2 DEVELOPPEMENT DURABLE

On ne peut faire une étude d'économie d'énergie sans parler du concept de développement durable. Le « **développement durable** » (ou développement soutenable) est défini, selon la définition proposée en **1987** par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement dans le Rapport Brundtland, par « un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». Deux concepts sont inhérents à cette notion^[9]. Il s'agit du '**besoins**' et de la '**limitation**'. Le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis à qui il convient d'accorder la plus grande priorité. L'idée des « limitations » en ce sens que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale influence sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir.

L'objectif du développement durable est de définir des schémas viables^[10] et conciliant les trois aspects économique, social et environnemental des activités humaines. Ces trois piliers de la **Figure 5** sont à prendre en compte, par les collectivités comme par les entreprises et les individus :

- ❖ **Économique** : performance financière, mais aussi capacité à contribuer au développement économique de la zone d'implantation de l'entreprise;
- ❖ **Social** : conséquences sociales de l'activité de l'entreprise au niveau de tous les échelons : employés (conditions de travail, niveau de rémunération...), fournisseurs, clients, communautés locales et société en général ;
- ❖ **Environnemental** : compatibilité entre l'activité sociale de l'entreprise et le maintien de la biodiversité et des écosystèmes. Il comprend une analyse des impacts du développement social des entreprises et de leurs produits en termes de flux, de consommation de ressources, difficilement ou lentement renouvelables, ainsi qu'en termes de production de déchets et d'émissions polluantes. Ce dernier pilier étant nécessaire aux deux autres.

Le développement durable s'est alors imposé comme une réponse à un état des lieux préoccupant de la situation mondiale : fragilité des écosystèmes et des ressources naturelles, déséquilibre entre pauvreté extrême et richesse, évolution du climat. Le réchauffement climatique, en raison de sa rapidité, de son ampleur et de sa complexité, tient une place particulière et représente un défi politique, stratégique et sécuritaire majeur pour les années à venir.

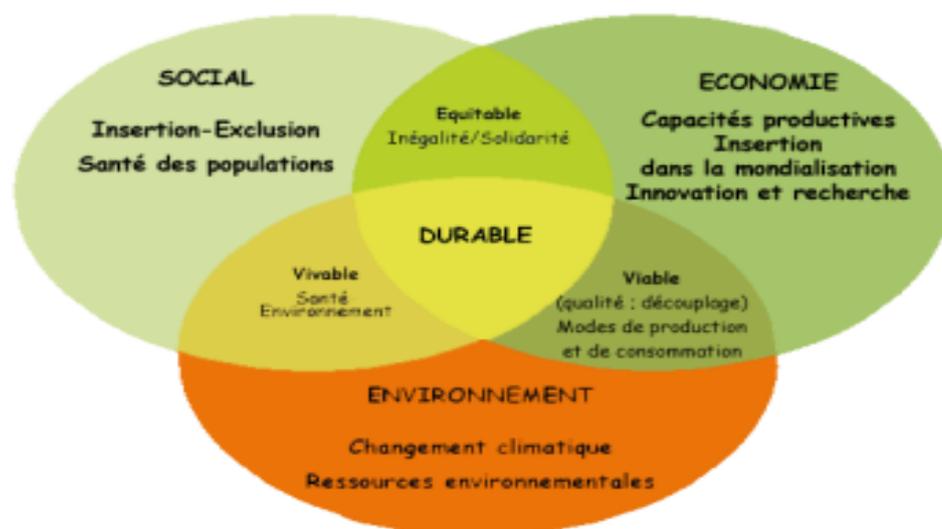


Figure 5 : Les trois piliers du développement durable

II-3 CONFORT

Le confort est un ensemble de commodités matérielles qui procurent le bien-être. Sur son lieu de travail, il contribue à une meilleure performance et à un état physiologique positif. A cause du confort notre mode de vie a évolué dans le sens d'une plus grande dépendance à l'énergie. La climatisation, le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le réfrigérateur etc...sont des éléments dont on ne peut se passer dans notre quête de vie de plus en plus agréable.

Les conséquences négatives de ce confort sur l'environnement commencent à se faire sentir. Comme solution soit on change notre mode de vie, soit on remplace les équipements et appareils consommateurs d'énergie par des équipements et appareils de nouvelle génération dont la technologie implique une faible consommation d'énergie.

Parmi les différents types de confort nous nous attarderons dans ce document sur le confort thermique car celui-ci est lié directement à la climatisation qui est le plus grand poste d'économie d'énergie dans les pays tropicaux. Elle représente **50 à 60%** ^[11] de l'énergie consommée dans les bâtiments.

Le confort thermique c'est la situation dans laquelle une personne physique ne ressent de sensation, ni chaud ni froid dans une ambiance donnée. On peut parler d'un '**silence climatique**' ^[12] comme quand on parle d'un '**silence physiologique**' lorsqu'on ne ressent pas le fonctionnement de nos organes. Le confort thermique dépend de paramètres subjectifs tels que l'âge, le sexe, l'état de santé, la provenance géographique, l'état de vêtue. Il dépend aussi de paramètres objectifs tel que la température de l'air, l'humidité de l'air, La vitesse du vent, la température radiante des corps environnants.

Selon une étude faite dans les pays tropicaux, on n'a pu définir à partir de ces paramètres objectifs les limites du confort thermiques des individus. Ainsi chaque fois qu'une personne peut être placée dans une ambiance telle que le point correspondant sur le diagramme se trouve dans l'espace (C) sur la **Figure 6** alors cette personne se sentira dans le confort thermique.

On a cependant réussi à étendre la zone de confort à une plage plus grande en utilisant la vitesse du vent, les effets architecturaux disponibles et le climat du lieu. On arrive au schéma qui délimite les nouvelles zones de confort thermique (**Figure 6**).

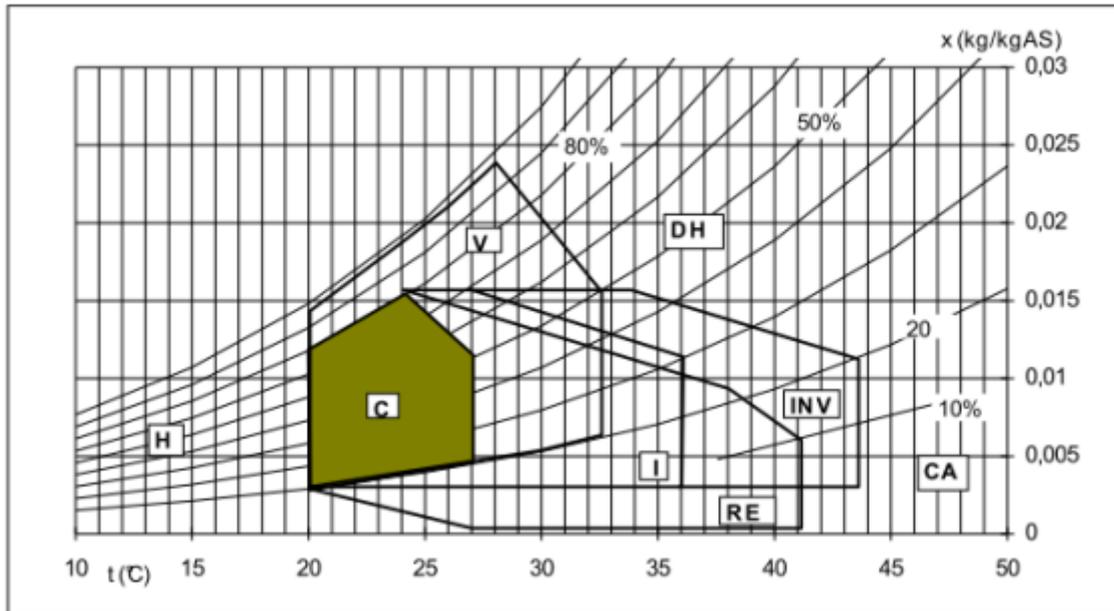


Figure 6 : Zone de confort élargie

La zone de confort absolue reste la zone C. A partir de cette plage on étend le confort à :

Zone **H** : C'est la zone de chauffage. La zone H correspond à une ambiance trop froide.

Zone **V** : C'est la zone de ventilation. Une simple ventilation suffit pour atteindre le confort.

Zone **I** : C'est la zone où l'inertie du bâtiment suffit pour atteindre le confort.

Zone **INV** : C'est la zone d'inertie + ventilation nécessaires pour atteindre le confort

Zone **RE** : C'est la zone de climatisation par évaporation.

IL existe des normes pour évaluer le confort thermique. Il s'agit notamment de la **Norme EN ISO 7730**. Elle fait partie d'une série de normes internationales prescrivant des méthodes de mesure et d'évaluation des ambiances thermiques modérées et extrêmes auxquelles l'homme est exposé. (**Annexe 15**)

D'après cette norme il y a situation de confort si deux conditions sont satisfaites :

- ✓ Le bilan thermique de l'individu est équilibré sans que ne soit trop sollicités ses mécanismes autorégulateurs
- ✓ Il n'existe pas d'inconforts locaux dus : à la sensation de courant d'air, à l'asymétrie du rayonnement, au gradient vertical de température et à la température du sol

Elle propose de quantifier la sensation de confort en utilisant l'échelle normalisée (voir **Tableau 3**). Elle est basée sur la détermination des indices **PMV** (vote moyen prévisible) et **PPD** (pourcentage prévisible d'insatisfaits) directement basée sur les travaux de **FANGER** qui propose d'évaluer le confort des occupants à partir de ces deux indices.

PMV (Predicted Mean Vote) ou **vote moyen prévisible** est l'appréciation moyenne d'une population dans un environnement donné, sur l'échelle de -3 à + 3. Le confort optimal correspond à un PMV nul (**Tableau 3**).

PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) est une autre méthode qui consiste à compter le pourcentage de personnes insatisfaites des conditions de confort. Ce pourcentage est directement lié au vote moyen d'une population donnée. On a ainsi deux paramètres permettant de mesurer le confort thermique (**Figure 7**)

Tableau 3 : Mesure du confort (Predicted Mean Vote)

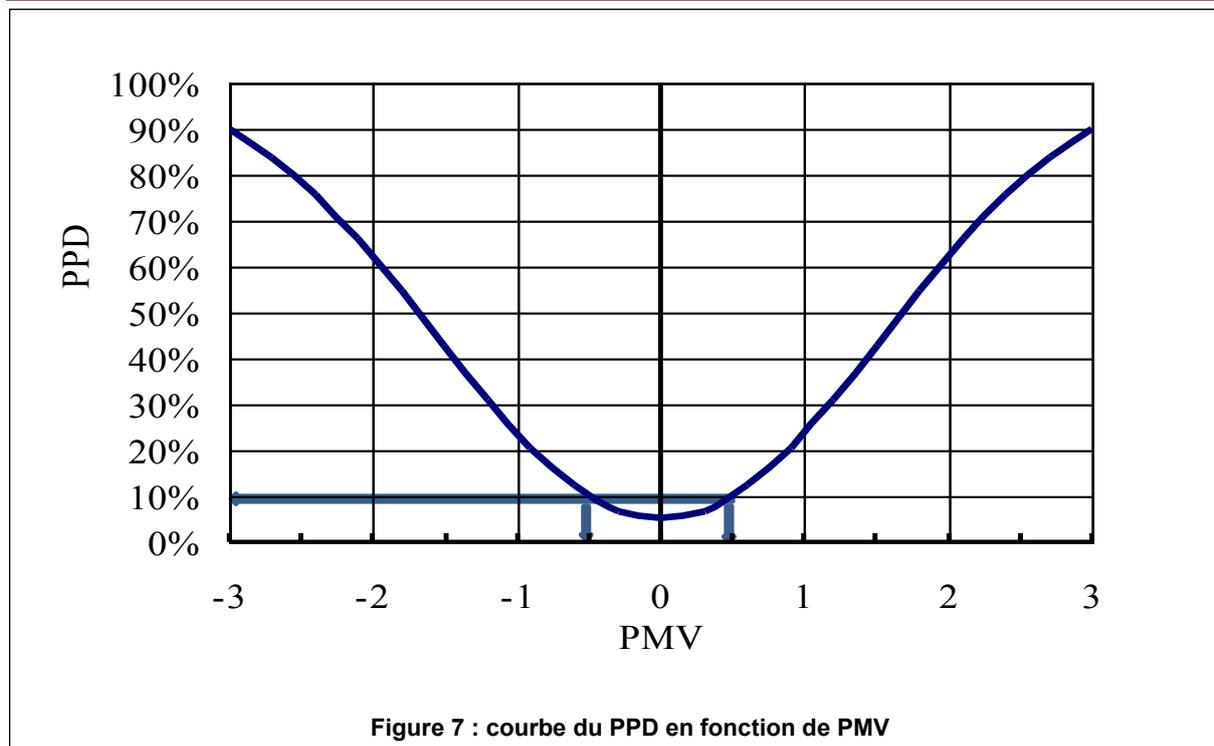
Indice PMV	Signification	Etat
-3	Très froid	Insatisfait parce que trop froid
-2	Froid	
-1	Frais	Satisfait
0	Confortable	
+1	Tiède	
+2	Chaud	Insatisfait parce que trop chaud
+3	Très chaud	

Ces indices prennent en compte cinq paramètres :

- ✓ La température opérative (Top) : température intérieure en période d'occupation qui tient compte de la température de l'air, du rayonnement thermique et de la vitesse de l'air ;
- ✓ Le taux d'humidité relative intérieur en période d'occupation (Hr) ;
- ✓ La vitesse relative de l'air (Va) ;
- ✓ L'isolement thermique vestimentaire (caractérisé suivant la tenue dans la norme ISO 9920) ;
- ✓ L'activité métabolique de l'individu (définie par son activité et donc par l'usage du bâtiment)

La **Figure 7** montre la relation qui existe entre ces deux indices. L'analyse de cette figure montre que pour se situer dans la zone de confort thermique définie par la norme, il faut :

$$-0,5 < \text{PMV} < +0,5, \text{ soit } \text{PPD} < 10\%$$



II-4 CRITERES DE PERFORMANCES TECHNIQUES DES BATIMENTS

II-4-1 Climatisation

La climatisation regroupe l'ensemble des procédés visant à conditionner l'air ambiant d'un espace en contrôlant et en maintenant la température, l'humidité, le mouvement de l'air, le degré sonore et la différence de pression ^[13]. Elle veille donc sur la santé, le confort des occupants de la pièce et au bon fonctionnement des appareils qui s'y trouvent. La classification des systèmes de climatisation comprend :

- Les climatiseurs individuels «split-system»

Ce sont des appareils monoblocs ou bi-blocs à détente directe c'est-à-dire que le froid est produit dans l'unité de climatisation placée dans le local à climatiser. Ce sont des systèmes dans lesquels l'évaporateur est à l'intérieur du bâtiment et le condenseur à l'extérieur. Les deux unités sont connectées l'une à l'autre via un tuyau dans lequel le fluide frigorigène circule. Ils sont employés généralement dans les secteurs tertiaires et résidentiels. On distingue aussi Les systèmes de climatisation centrale qui utilisent un circuit de gaines réparti dans l'ensemble du bâtiment et dans lequel l'air chaud de l'intérieur et l'air refroidi par le système circulent. On a ainsi :

- La climatisation centralisée ou semi-centralisée « tout air »

Dans ce cas de figure, une CTA est associée à 4 réseaux d'air : un pour l'amenée d'air neuf, un second pour la reprise de l'air du local, un troisième pour le soufflage de l'air de mélange et un dernier réseau pour l'extraction de l'air.

- La climatisation centralisée ou semi-centralisée « tout eau »

Dans ce modèle, des groupes refroidisseurs de liquide produisent de l'eau glacée qui est acheminée vers les locaux à climatiser par l'intermédiaire d'un réseau hydraulique; la diffusion de l'air frais étant assurée par les ventilo-convecteurs, les unités terminales, les planchers rafraichissants et les poutres froides.

- La climatisation décentralisée sur boucle d'eau

Un évaporateur eau/air puise les frigorifiques nécessaires à la climatisation du local sur une boucle d'eau glacée commune.

Dans les régions les plus chaudes telles que le sahel en Afrique, la consommation en énergie des ménages, des usines, des hôtels, des hôpitaux, des bâtiments institutionnels, des écoles, etc... est plus importante en raison de l'usage prolongé de la climatisation. En conséquence, les climatiseurs ont fait exploser les factures énergétiques. Pour minimiser ces factures les maîtres d'œuvres doivent respecter certaines recommandations telles que le coefficient de performance (**COP**) frigorifique exigé des différents équipements de conditionnement d'air.

- Le système **VRV** : variable réfrigération volume

Le système VRV ou DRV est à détente directe qui à partir d'une seule unité extérieure (groupe compresseur) alimente, par des tubes frigorifiques de petite dimension plusieurs unités intérieures. Ce système est idéal pour les hôtels, bureaux sur plusieurs étages, salles de conférences, villa de grandes surfaces,...Le principe de fonctionnement est basé sur la technologie Inverter ou digital scroll. Grâce à cette technologie l'unité extérieure adapte le volume du réfrigérant et donc sa puissance est utilisé seulement en fonction de ces besoins d'où une économie d'énergie.

II-4-2 Eclairage

La qualité d'un éclairage peut s'exprimer par le "bien-être" de l'individu. La notion de "bien-être" est traduite par le niveau d'éclairement à prescrire et par le contrôle de l'éblouissement de l'installation d'éclairage qui apporte visibilité, confort, santé, ergonomie et sécurité dans les activités. Il faut y ajouter les critères d'indice de rendu des couleurs (**IRC**) et parfois, de température de couleur (**Tc**), pour restituer le confort et la qualité des ambiances lumineuses. Par contre un mauvais éclairage entraîne le gaspillage d'énergie et des effets néfastes sur la santé tels que :

- ✓ La fatigue visuelle ;
- ✓ Le trouble de l'attention et de la concentration ;
- ✓ L'adoption de postures de travail défavorables pouvant conduire à des contraintes musculo squelettiques délétères.

Les valeurs d'éclairage propres à chaque type de lieux ou nature d'activité sont exprimées sous la forme de valeurs minimales à maintenir. L'**Annexe 3** donne selon la commission internationale de l'éclairage (CIE) l'ordre de grandeur de l'éclairage du plan de travail effectif, selon les zones de travail, activités ou tâches à effectuer. Le code de bonne pratique en éclairage intérieur, édité par l'IBE comme document de référence en complément à la norme **NBN EN 12464-1** de l'éclairage des lieux de travail, précise la notion de plan de travail effectif **Figure 8**.

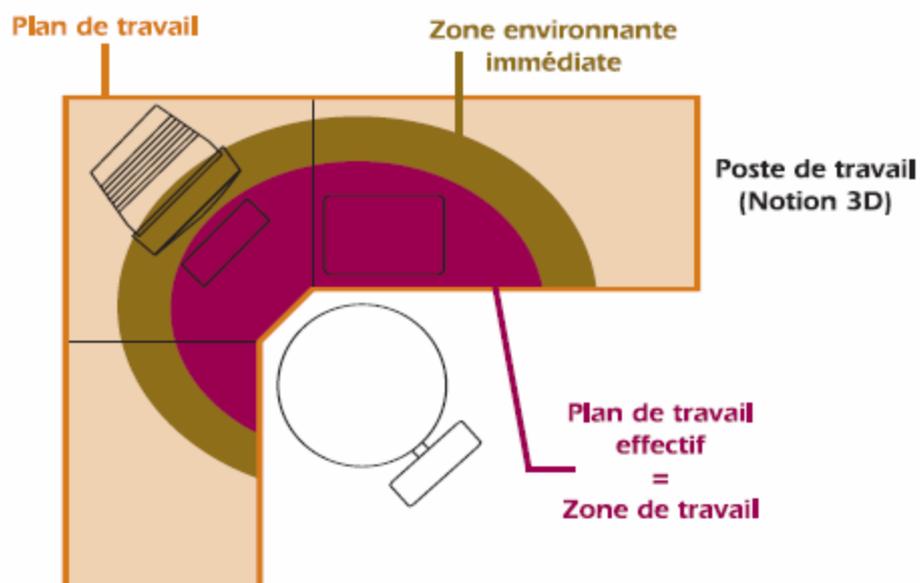


Figure 8 : Différentes zones de travail

Pour évaluer les économies d'énergie dans un bâtiment ces données d'éclairages sont parfois insuffisantes. On fait recours à la densité d'éclairage exprimée en W/m^2 .

L'éclairage comprend l'utilisation tant de sources de lumière artificielle que de l'éclairage naturel des intérieurs par la lumière du jour. La lumière du jour est vitale pour l'être humain. Sans stimulation quotidienne par la lumière du jour, la vision humaine peut se dégrader. Ainsi, la lumière du jour à travers les fenêtres, les portes, etc... doit être utilisée comme principale source d'éclairage durant la journée dans les endroits où les individus vivent ou

travaillent. L'utilisation de la lumière du jour dans la journée diminue également la demande d'énergie ainsi que son coût.

II-4-3 Eau chaude sanitaire (ECS)

L'eau chaude sanitaire fait partie des éléments qui procurent le confort à l'homme dans le bâtiment. Les systèmes de production et de distribution d'eau chaude sanitaire doivent tendre à concilier les objectifs suivants :

- Satisfaire les aspirations de l'utilisateur (température d'eau confortable, disponibilité illimitée et quasi immédiate) ;
- Maîtriser les consommations d'énergie ;
- Limiter le coût de réalisation de l'ouvrage et le coût de production et distribution du m³ d'ECS ;
- Limiter les risques d'entartrage et de corrosion ;
- Prévenir les risques sanitaires (risque de brûlure, risque de prolifération de bactéries indésirables),

En Afrique elle est peu utilisée. On rencontre les installations de chauffage d'eau sanitaire surtout dans les hôtels et les grandes villas. L'électricité est utilisée pour la plupart comme source d'énergie à la production d'ECS.

II-4-4 Bureautique

Il y a quelques années les équipements bureautiques étaient presque négligés dans le bilan de la consommation énergétique des bâtiments résidentiels. Aujourd'hui, ils sont responsables d'une part de plus en plus importante de la consommation énergétique dans le bâtiment et sont devenus un véritable enjeu tant dans le tertiaire que dans le résidentiel. Les appareils concernés sont entre autres les ordinateurs, les imprimantes, les fax, les photocopieurs etc....

II-4-5 Enveloppe du bâtiment

L'enveloppe d'un bâtiment est l'élément de construction qui sépare le volume chauffé ou climatisé ou aucun des deux de l'environnement extérieur. Elle regroupe les façades (fenêtres et murs), les verrières, les toitures, les dalles et les murs du sous-sol. C'est au travers des éléments de l'enveloppe qu'on détermine les gains ou déperditions thermiques selon qu'on soit en climatisation ou au chauffage. Les échanges entre l'environnement intérieur et l'environnement extérieur se font au niveau de l'enveloppe par les quatre modes de transfert de chaleur possibles, à savoir par conduction, par convection, par rayonnement et par évaporation-transpiration.

Pour réduire les apports de chaleur dus au soleil et à l'air ambiant, l'enveloppe du bâtiment doit être conçue en conséquence :

- Donner le moins de surface possible à la captation du rayonnement solaire et au transfert par convection de la chaleur de l'atmosphère ;
- Minimiser la diffusion de l'énergie captée vers l'intérieur de l'édifice.

Pour y arriver l'homme mise à la conception sur l'inertie thermique du bâtiment qui est directement liée à la masse des matériaux de construction. Elle représente la capacité des corps à s'opposer au passage de la chaleur en la stockant sous forme de chaleur sensible. On a aussi recours à l'isolation du bâtiment qui contribue au même titre que l'inertie à retarder l'avancée de l'onde thermique dans les murs. La différence est que l'effet de l'inertie correspond à un stockage de la chaleur dans les matériaux, celui de l'isolation correspond à une limitation du transit de la chaleur dans le mur. La diffusion de la chaleur qui est la résultante des deux effets conjugués est influencée par le rapport de la conductivité thermique k et de l'inertie thermique des matériaux ^[15] ρC_v .

II-5 RATIOS DE CONSOMMATION ENERGETIQUE

II-5-1 Ratio de gains thermiques

Pour réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments, l'Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF) dans le cadre des activités de son Programme International de Soutien à la Maîtrise de l'Energie (PRISME) a rédigé un guide dénommé « **Efficacité énergétique de la climatisation des bâtiments en région tropicale** » dans lequel sont fixés certains ratios de flux de chaleur **Tableau 4**. Le respect de ces ratios permet de réduire les apports de chaleur et par ricochet la réduction des charges frigorifiques.

Tableau 4 : Ordre de grandeur du flux de chaleur dans le bâtiment

Type de structure	Flux thermique habituel (W/m ²)	Flux à atteindre (W/m ²)
Fenêtres vitres simples	180	50
Murs	100	35
Toitures	130	40

II-5-2 Indice de consommation énergétique des bâtiments climatisés

On estime l'efficacité globale d'un bâtiment par son indice de consommation d'énergie annuelle par unité de surface habitable **ICE**.

$$\text{ICE} = \frac{\text{Consommation électrique annuelle}}{\text{Surface climatisée}}$$

Le **Tableau 5** extrait du code de qualité thermique du bâtiment en Côte d'Ivoire dresse un tableau des ratios de consommation énergétique de différents types de bâtiments.

Tableau 5 : Ratios d'indice de consommation énergétique dans le bâtiment

Type d'activité	Médiocre (kW/m ² /an)	Référence (kW/m ² /an)
Grand immeuble de bureaux	> 275	160
Petit immeuble de bureaux	> 250	150
Grand hôtel	> 300	180
Hôpital	> 400	250
Centre commercial	> 300	200
Appartement (dans grand immeuble)	> 200	130

Pour la représentation de l'étiquette énergie du bâtiment l'énergie finale (**EF**, qui est l'énergie qu'on consomme au compteur et qu'on l'on paye) est convertie en énergie primaire (**EP**, la première forme d'énergie directement disponible dans la nature avant toute transformation) selon la source d'énergie **Tableau 6**. Le but de tout rapporter en énergie primaire est de pouvoir mieux comparer les consommations d'énergies des différents types d'énergie. Cela est particulièrement important, notamment pour la réglementation thermique qui doit être égale pour tous les types d'énergie.

Tableau 6 : Coefficient de conversion de l'énergie finale en énergie primaire ^[16]

Source d'énergie	Facteur de conversion EF → EP
Electricité	2,58
Gaz, fioul	1
Bois	0,6

PARTIE III

METHODOLOGIE DE L'ETUDE

III-1 ETAT DES LIEUX

Le diagnostic énergétique, appelé communément audit énergétique, est caractérisé par trois principales étapes :

- L'état des lieux par la visite du site et le relevé de données par des entretiens, enquêtes etc... ;
- L'exploitation et traitement des données recueillies ;
- La proposition des mesures d'amélioration énergétique.

L'état des lieux est une étape incontournable. En effet, toute l'étude qui va être menée repose sur ce constat. C'est à l'issue de ce premier contact qu'on juge de l'opportunité de faire une étude approfondie, quand on estime que d'éventuels gains d'énergies sont possibles, sinon abandonner l'étude. C'est pourquoi l'état des lieux énergétique est au bilan ce qu'est la fondation pour une maison.

Il s'agit d'abord de déterminer quels types d'énergie sont utilisés (électricité, gaz, fioul, chaleur,...) et pour quels usages (chauffage, éclairage, climatisation,...). Faire des relevés, examiner et décrire de façon minutieuse les caractéristiques physiques du bâtiment, c'est-à-dire le type d'isolation au niveau des murs, du toit, des vitres, du sol et du plafond.

III-2 METROLOGIE MISE EN ŒUVRE

III-2-1 Description de la méthodologie

III-2.1.1 Eclairage

Pour l'étude sur l'éclairage nous avons relevé dans chaque zone inventoriée, quel que soit son type la surface au sol, la quantité et les caractéristiques principales des luminaires utilisés. Le type de commande de chaque type de luminaire (inter/télérupteur; commande locale ou centralisée, sur horloge ou non...). Ensuite, nous avons à l'aide d'un luxmètre **Figure 9** effectué diverses mesures d'éclairement ponctuel, pour déterminer le niveau d'éclairement moyen des locaux selon la méthodologie définie par la norme **NBN L 14-002**, et en établir une moyenne arithmétique. L'éclairement moyen théorique a été aussi évalué par la formule.

$$E_{mth} = \frac{n * FM * K_u * \phi}{s}$$

- E_{mth} = niveau d'éclairement moyen théorique sur la surface considérée
- n = nombre de luminaires éclairant la surface considérée
- FM = facteur de maintenance

- K_u = coefficient d'utilisation des luminaires
- Φ = flux initial de la lampe (renseigné dans le catalogue des fournisseurs)
- S = surface considérée pour le calcul



Figure 9 : Luxmètre YF- 1065

III-2.1.2 Climatisation

Nous avons recensé tous les climatiseurs avec leurs caractéristiques respectives. Ensuite le calcul des charges thermiques des bâtiments avec le logiciel 'PROGRAMME DE CALCUL D'UN BILAN THERMIQUE DE CLIMATISATION EN CLIMAT TROPICAL' de Mr. Alexis KEMAJOU pour vérifier la conformité ou non des installations. Pour l'estimation de la consommation un coefficient de régulation de **0,8** a été utilisé pour prendre en compte le temps de non fonctionnement d'un climatiseur dû à sa propre régulation de température, et un coefficient d'utilisation, prenant en compte le fonctionnement simultané des équipements et l'habitude des occupants. L'**Annexe 8** donne les détails de ce calcul.

III-2.1.3 Appareils bureautiques/électriques

Les équipements bureautiques et électroménagers ont fait aussi l'objet de recensements en vue des estimations de consommations énergétiques.

III-2-2 Enquête de terrain

Pour une meilleure estimation des consommations d'électricité et dans le but d'avoir des résultats proches de la réalité, nous avons mené deux enquêtes électroniques en dehors des entretiens. Une dans le 'Camp E1' et l'autre dans le bureau 'Construction office'. Ceux-ci pour avoir des résultats théoriques statistiquement crédibles. Il était question d'avoir une opinion de l'ensemble des usagers sur la question de l'efficacité énergétique, les habitudes d'utilisation de l'énergie et surtout la solution qu'ils pensent être appropriés vue la situation. L'intérêt d'une telle enquête réside dans le fait que toutes recommandations, toutes actions

d'investissement doit avoir l'assentiment des occupants, question de confort oblige. L'**Annexe 1 et 2** donnent les principaux résultats de ces enquêtes.

III-3 EXPLOITATION ET TRAITEMENT DES DONNEES

Cette partie repose sur l'exploitation et le traitement des données recueillies lors de l'état des lieux. Avant de faire le bilan des consommations, il est nécessaire de préciser le contexte dans lequel les relevés de consommation sont effectués :

- ✓ Caractéristiques d'occupation (heure d'occupation des lieux) et les degrés d'occupation (pourcentage occupé de la superficie).
- ✓ Données climatiques
- ✓ Critère de conditionnement de l'air intérieur (température, humidité, niveau d'éclairage...).

Le calcul et les interprétations de ces dernières pour mettre en évidence les améliorations à envisager. L'indication pour chaque intervention de son coût, des économies à en attendre et du temps de retour brut des investissements.

Il est important de convertir toutes les unités de consommation pour uniformiser et comparer les données (en général en **kWh/m²/an**). L'autre aspect de cette étape consiste à, par exemple, comparer les données obtenues avec celles des années précédentes ou celles des autres édifices de même nature afin de déterminer les améliorations à entreprendre. Il est aussi important de mentionner tous dysfonctionnement ou erreur de conception dans les systèmes électroniques, mécaniques ou sur le mode d'exploitation de l'édifice.

III-4 PROPOSITION DE MESURES D'EFFICACITE ENERGETIQUE

Cette étape doit contribuer, sinon répondre aux dysfonctionnements ou problèmes décelés dans le but de diminuer les consommations d'énergies. Par exemple réparer ou changer certaines installations défectueuses qui provoque une perte d'énergie, utiliser des matériaux isolants, installer des ampoules de basse consommation, favoriser l'achat de matériel électrique labélisé (ordinateurs, imprimantes, photocopieuses), installer des multiprises pour arrêter totalement certains équipements en cas de non utilisation.

L'audit ne préconise pas seulement des solutions pour réduire les consommations mais doit également examiner des substitutions d'énergie possibles (biomasse, solaire, réseaux,...) notamment en recourant aux énergies renouvelables. Ces préconisations doivent être chiffrées, c'est-à-dire que le coût de ces actions et les économies engendrées doivent être estimées afin de déterminer si cela est rentable et sur quelle durée.

PARTIE IV

ETUDE DE CAS

IV-1 LE BATIMENT 'CAMP E1'

IV-1.1 Etat des lieux du Camp E1

Le **Camp E1** est un bâtiment de **32** chambres situé à environ 3 Km du site des opérations de la mine dans un espace réservé aux logements des employés de l'entreprise. Il est construit en brique de terre comprimée avec une hauteur sous plafond de **2.6** m pour une surface totale de **448** m². L'axe longitudinal du bâtiment est orienté Est / Ouest. Les ouvertures sont en métalliques vitrées et le toit en tôle avec plafond en PVC. Le bâtiment est très exposé au soleil tout au long de l'année en raison du manque d'ombrages proches comme le montre la **Figure 10** ci-dessous. Grâce à la disposition de la toiture, les deux faces Nord /Sud sont ombragées à des moments de la journée.



Figure 10: Vue générale Camp E1

Le bâtiment dispose d'un système d'eau chaude sanitaire électrique centralisé et composé de quatre ballons électriques de **250** L chacun, pour puissance de **3000** W chacun, **Figure 10**. Ce sont des chambres individuelles avec douche interne, équipées de réfrigérateurs, de téléviseurs, de lampes fluorescentes, de veilleuses et d'appiques murales. Le **Tableau 7**

donne l'éclairage moyen mesuré et théorique ainsi que la densité d'éclairage d'une chambre et la salle technique.

Tableau 7 : Eclairage moyen et densité d'éclairage Camp E1

Local	Nombre minimum de points de mesure	Eclairage moyen mesuré (lux)	Eclairage moyen théorique (lux)	Densité d'éclairage (W/m ²)	Puissance spécifique (W/m ² /100lux)
Chambre (Plafonnier allumé)	4	46,25	88,31	3,92	8,49
Chambre (toutes les lampes)	4	86,25		6,87	7,96
Salle Technique	9	80,10	152,30	6,77	8,45

L'éclairage théorique est obtenu en appliquant la formule du III-2.1.1 avec :

- FM= 0,8 (éclairage direct)
- K_u= 0,45 (lampe tubulaire claire, IP 65)
- Ø= 2500 lm (donnée constructeur)

La puissance spécifique qui est égale au rapport de la densité d'éclairage par l'éclairage a pour valeur de référence **2.5** W/m²/100 lux. Elle peut être tolérée jusqu'à **5** W/m²/100 lux, au-delà la rénovation des installations mérite d'être envisagée.

- Les valeurs d'éclairage trouvées sont en deçà de ce que préconise la **CIE** que ce soit les valeurs mesurées par le luxmètre ou calculées.
- L'analyse du **Tableau 7** montre que les puissances spécifiques obtenues dépassent le seuil requis. Il serait souhaitable d'envisager des actions pour le confort des usagers.

Le conditionnement d'air du camp E1 est assuré par un ensemble de 34 climatiseurs de type split-system, de différents constructeurs et dont les puissances frigorifiques sont de 12 000 BTU/h chacun. Les unités extérieures sont situées en applique murale à une hauteur de 2 m. Toutes ces unités sont correctement ventilées. La commande de chaque ventilo-convecteur s'opère à l'aide d'une télécommande.

IV-1.2 Bilan thermique du Camp E1

Nous avons fait le bilan thermique du bâtiment, grâce à la feuille de calcul EXCEL «PROGRAMME DE CALCUL D'UN BILAN THERMIQUE DE CLIMATISATION EN CLIMAT TROPICAL » de Mr Alexis KEMAJOU, ces résultats sont rassemblés dans les **Tableaux 8** et **9**.

Tableau 8 : Conditions climatiques de calculs des charges thermiques

DORI (région du Sahel)	Longitude = 14°02'46 Latitude = - 0°53'33 Altitude = 280,20 m
Humidité relative	50%
Température extérieure	41°C
Température intérieure	25°C
Heure	13 h

Tableau 9 : Charges thermiques des chambres du Camp E1

Local	Surface (m ²)	Puissance frigorifique Calculée (BTU/h)	Puissance frigorifique installée (BTU/h)
Chambre Type 1 (NO)	10.98	10 233.19	12 000.00
Chambre Type 2 (SO)	10.98	10 241.53	12 000.00
Chambre Type 3 (NE)	10.98	10 060.45	12 000.00
Chambre Type 4 (SE)	10.98	10 573.58	12 000.00
Chambre Inter. Nord	10.98	8 501.07	12 000.00
Chambre Inter. Sud	10.98	9 014.20	12 000.00
Salle Technique	17.728	15 796.94	24 000.00

1 BTU/h = 0,298 W, 1 CV = 8000 BTU/h

Le **Tableau 9** montre que les puissances frigorifiques installées sont supérieures à celles calculées. Cet écart de puissance frigorifique est très significatif pour les chambres intermédiaires et la salle technique, respectivement un peu plus de 3 000 BTU/h et 8 000 BTU/h. Ces valeurs pourraient s'expliquer par le fait que le concepteur vu les chambres identiques a préféré conserver les puissances. Les puissances frigorifiques installées sont relativement acceptables vue que le bâtiment se trouve dans une zone sahélienne. Les installations au niveau de la salle technique méritent d'être adaptées de la puissance frigorifique requises par le bilan thermique. L'**Annexe 4** montre les dispositions des types de chambre du Camp E1 (chambre de type 1, 2, 3, 4, chambre intermédiaire côté Nord et chambre intermédiaire côté sud).

Les apports de chaleur dans le bâtiment peuvent être séparés en apports internes et externes. Les premiers comprennent les apports par les personnes (sous forme de chaleur sensible et latente) et les consommations électriques des appareils présents dans le bâtiment dont une

partie de l'énergie est transmise à l'ambiance du lieu. Les apports externes proviennent de la différence d'enthalpie (température et humidité) entre l'air extérieur et l'air intérieur, se traduisent par un flux d'énergie par les parois et par renouvellement d'air. Enfin, l'ensoleillement conduit à un apport de chaleur direct par les vitrages et indirect par les parois opaques.

Le **Tableau 10** et l'**Annexe 7** donne un aperçu de la contribution de chacun de ces postes dans le bilan thermique du bâtiment.

Tableau 10 : Apports thermiques par poste du Camp E1

Postes	Apports thermiques (W)	Surface totale du plancher (m ²)	Flux thermique (W/m ²)
Portes & Fenêtres	4 161	448	9,28
Murs	10 940		24,42
Toiture	26 270		58,64
Renouvellement d'air	8 279		18,48
Occupants	1 928		4,3
Eclairage	1 540		3,43
Machines & Appareils	2 0740		46,29

La valeur du flux thermique par les murs est inférieure à **50 W/m²**, ratio donné dans le **Tableau 4** du paragraphe II.5.1. Le mur en brique de terre cuite (BTC) peut être conseillé. Par contre la toiture apporte beaucoup plus de chaleur 58,64 W/m², au-delà du seuil recommandé. Il en est de même pour les appareils électroménagers.

L'analyse de la figure 'Camp E1' de l'**Annexe 7** montre que les apports thermiques externes sont plus importants. Ils représentent **56 %**, avec une contribution de **35,57 %** pour la toiture. Quant aux apports internes les plus gros contributeurs sont les machines et appareils électriques (réfrigérateurs, TV, ordinateurs...) avec **28,08 %**.

IV-1.3 Estimation de la consommation de l'électricité du camp E1

L'électricité étant fournie par la centrale électrique de l'entreprise, il n'y a donc pas de compteur d'énergie pour avoir la consommation réelle et la confrontée à celle donnée par les calculs théoriques. La grosse difficulté dans l'estimation de la consommation réside dans la détermination du paramètre « *temps de fonctionnement* » des équipements électriques. Le comportement et la gestion des équipements énergétiques par les occupants ne sont pas aussi à négliger. Pour être plus proche de la réalité, les temps de fonctionnement des équipements

qui ont servis aux calculs sont issus des résultats de l'enquête (**Annexe 1**). Ainsi, le temps de fonctionnement des climatiseurs est calculé dans l'**Annexe 8** sur la base que **60%** des locataires estiment utilisés **24/24h** leur climatiseur. La règle de calcul est donc 24h multiplié par les coefficients de régulation et de marche du climatiseur. Pour tous les calculs nous avons eu les données ci-dessous fournies par le département amélioration continue de l'entreprise.

- Le prix du kWh est de **0,306 \$ USD**, soit 153 FCFA
- Le facteur d'émission de CO₂ est de **0,623 kgCO₂éq/kWh**

Le coefficient de conversion en énergie primaire est de **2,58**. Le tableau ci-dessous donne les estimations annuelles de consommation en énergie finale (électricité dans notre cas), en énergie primaire, le coût et les émissions de gaz à effet de serre pour le Camp E1. Les détails de calculs sont à voir dans l'**Annexe 9**.

Tableau 11 : Résumé des estimations de consommation par poste du Camp E1

Détails des consommations	Energie finale (kWh/an)	Energie primaire (kWhEP/an)	Coût de la consommation (\$/an)	Emission GES (kg CO ₂ éq/an)
Eclairage	2 750.64	7 096.65	841.70	1 713.65
Climatisation	267 925.18	691 246.97	81 985.11	166 917.39
Autres Equipmts Electriques	71 540.00	184 573.20	21 891.24	44 569.42
ECS	52 560.00	135 604.80	16 083.36	32 744.88
Total annuel	394 775.82	1 018 521.63	120 801.40	245 945.34

Les usagers du Camp E1 consomment **394 775.82 kWh/an**, équivalent à **120 801.40 \$** de dépense par an pour l'entreprise. Un rejet dans l'environnement de **246 tCO₂éq**.

La climatisation est plus énergivore car elle représente **67,87 %** de la consommation d'électricité du bâtiment tandis que l'éclairage ne représente que **0,7 %**. **Figure 11**.

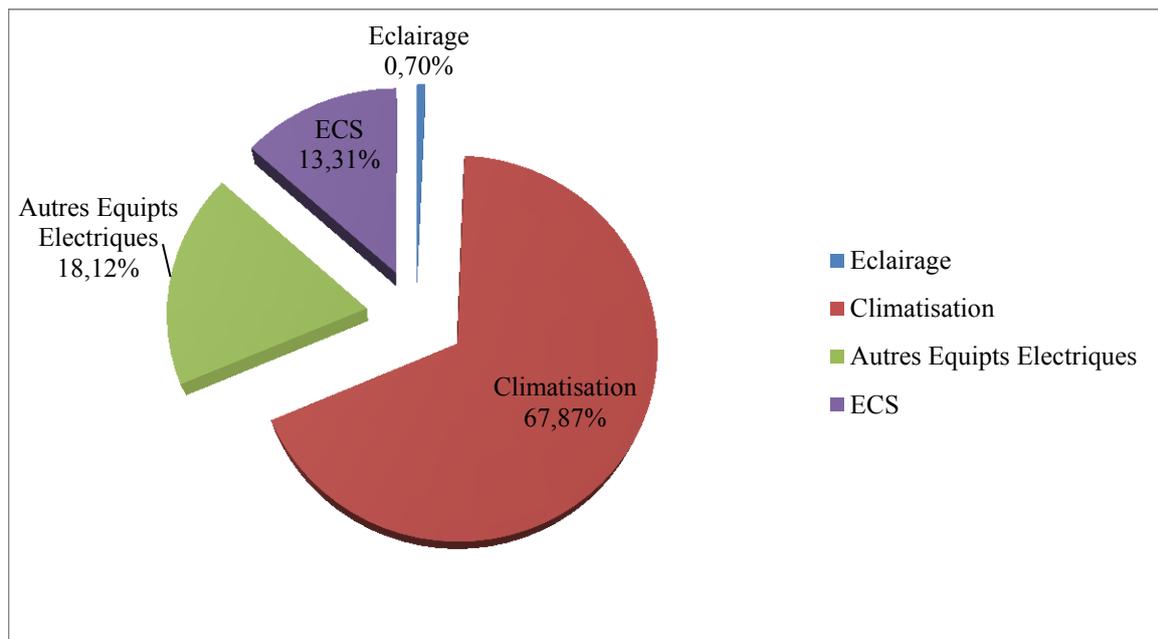


Figure 11 : Répartition de la consommation d'électricité du Camp E1

IV-1.4 Etiquette 'Energie' et 'Climat' du Camp E1

Après les estimations de consommations énergétiques nous avons classé le Camp E1 dans les deux classes de performances énergétiques qui existent à savoir :

- La classe **énergie**, qui caractérise les consommations exprimées en énergie primaire
- La classe **climat**, qui caractérise les émissions de CO₂ évaluées à partir des consommations.

Pour concrétiser le résultat obtenu en évaluant la consommation en énergie primaire exprimée en **kWhEP/m²/an**, le diagnostic de la performance énergétique Français caractérise la consommation grâce au système des classes avec une définition selon que le bâtiment est à usage principal d'habitation, ou que ce bâtiment est à usage principal autre que d'habitation.

Pour les bâtiments à usage d'habitation il y a sept classes allant de **A** (bâtiment « *économe* ») à **G** (bâtiment dit « *énergivore* »)

On distingue neuf classes, de **A** (bâtiment « *économe* ») à **I** (bâtiment dit « *énergivore* ») dans le cas des bâtiments à usage principal autre que d'habitation.

On a également pour le climat sept et neuf classes selon l'usage que l'on fait du bâtiment. Le Camp E1 étant un bâtiment d'habitation sera représenté sur l'échelle de sept classes. Ainsi :

- ❖ Avec une surface totale de **448 m²**, le Camp E1 consomme annuellement **2 273,48 kWhEP/m²/an**, il est donc de classe **G** « *énergivore* »
- ❖ Le Camp E1 émet **548,98 kgCO₂éq/m²/an**, il est donc de classe **G** « forte émission de GES » sur l'étiquette climat.

Les **Figures 12** et **13**, montre la place du Camp E1 sur les étiquettes énergie et climat selon la norme Française.

Logement économe		Logement Camp E1
≤ 50	A	
51 à 90	B	
91 à 150	C	
151 à 230	D	
231 à 330	E	
331 à 450	F	
> 450	G	
		2 273.48 kWhEP/m²/an
Logement énergivore		

Figure 12 : Etiquette "Energie" Camp E1

Faible émission de GES		Logement Camp E1
≤ 5	A	
6 à 10	B	
11 à 20	C	
21 à 35	D	
36 à 55	E	
56 à 80	F	
> 80	G	
		548.98 kgCO₂éq/m²/an
Forte émission de GES		

Figure 13 : Etiquette "Climat" Camp E1

En se référant à l'étiquette énergie du Camp E1 selon la norme Française, nous déduisons que la situation énergétique du bâtiment est très critique pour deux raisons. La première c'est que pour avoir une valeur de consommation égale à **450 kWhEP/m²/an** qui correspond à l'avant dernière classe (**F**), il faut une réduction de la consommation en énergie primaire de **80 %**. Ce qui est énorme et quasi impossible. La deuxième, si on pense que la norme Française n'est pas adaptée aux réalités Africaines ou sahéliennes et qu'on se réfère aux ratios proposés par le code ivoirien de la qualité énergétique, la situation énergétique du Camp E1 n'est non plus reluisante. Car son indice de consommation énergétique (**ICE**) est de **881,196 kWh/m²/an**,

trois fois supérieur à la plus grande valeur, (250 kWh/m²/an ratio de consommation d'un hôpital) du **Tableau 5** donnant les ratios.

Les émissions de GES étant proportionnelles à la consommation, il faut une réduction des émissions de **85 %** pour atteindre la classe (**F**), qui n'est d'ailleurs pas une bonne classe de l'étiquette climat.

En somme des actions d'efficacité énergétique sont à envisagées dans ce bâtiment pour améliorer sa performance énergétique.

IV-2 LE BATIMENT 'CONSTRUCTION OFFICE'

IV-2.1 Etat des lieux du bâtiment 'construction office'

Ce bâtiment a été construit en 2012 dans le cadre de la phase 2 du projet d'expansion de la mine d'or d'Essakane SA et sert de bureau pour le département optimisation « **Construction** ». Il est de forme rectangulaire de **712 m²**, composé principalement de deux salles de réunion, un magasin pour les équipements bureautiques, deux petites salles abritant les équipements électriques et informatiques (coffrets, server,..), des toilettes (hommes & femme), une salle de plan, un espace consultant et les différents bureaux.



Figure 14 : Vue générale 'Construction Office'

Le bâtiment du département de la construction est alimenté par une seule forme d'énergie :
L'électricité

L'électricité est produite par la centrale électrique (groupe Diesel, **26 MW** bientôt **57 MW**) de l'entreprise et est transportée par des lignes haute tension de **6,6 kV**. L'alimentation du bâtiment est faite à partir de deux départs au niveau du tableau général basse tension situé à côté d'un transformateur de **630 kVA**.

- Un départ avec un disjoncteur de **250 A** destiné à l'éclairage et aux services généraux du bâtiment ;
- Un autre départ avec un disjoncteur de **125 A** pour la climatisation des locaux

L'électricité étant produite par l'entreprise, il n'y a donc pas de compteur électrique.

IV-2.1.1 Description de l'enveloppe du bâtiment

Les murs (extérieur et intérieur) sont composés de panneaux préfabriqués non isolés en béton armé de 6 cm d'épaisseur. Une simple finition d'enduit plâtre est appliquée sur la face intérieure peinte en jaune. Le plancher bas est en dalle de béton sur terre-plein surmonté d'une couche de céramique et plinthes. La hauteur sous plafond est **2,3 m**. Le plafond est en tôle ondulée et isolé par les bouteilles (en plastique) vides d'eau minérale. La toiture est de type deux pan orientée Est-Ouest et est composée d'une charpente en ferme composée de cornière (métal) surmontée de tôles bac. La porte d'entrée principale est constituée d'une armature métallique soutenant un simple vitrage. Celles de l'intérieur et la porte d'entrée secondaire sont soit à moitié vitrées ou non vitrées. Quant aux fenêtres elles sont équipées de simples vitrages et de dimensions identiques.

IV-2.1.2 Description de l'éclairage

Le Bureau de la construction est entièrement éclairé par les tubes fluorescents de 40 W. On dénombre 134 lampes au total. Ces lampes sont commandées par des interrupteurs manuels. Un interrupteur commande le circuit d'éclairage de plusieurs bureaux (**Annexe 6**), il résulte que dans certains bureaux la lumière reste allumée alors qu'ils ne sont pas occupés. Il n'y a pas de bloc autonome d'éclairage de sécurité (BAES) dans tout le bâtiment. L'éclairage extérieur est assuré par des lampes murales et des projecteurs.

Tout au long de la journée, il dispose d'un bon potentiel d'éclairage naturel favorisé par l'absence d'ombrage proche et optimisé par la présence de nombreuses fenêtres simple vitrage. On constate aussi que la quasi-totalité des employés de bureau ne se sert pas de cette lumière naturelle car les rideaux des fenêtres ne sont quasiment pas déplacés.

Comme pour le Camp E1 nous avons effectué des mesures d'éclairages en utilisant la même méthode qui consiste à faire des lectures avec le luxmètre au niveau du plan de travail.

Selon l'indice du local un nombre minimum de mesure sont recommandées pour une meilleure approximation de l'éclairage. Le tableau suivant donne les valeurs théoriques trouvées et mesurées. Pour le calcul théorique les facteurs de maintenance et d'utilisation restent identiques que le calcul fait pour le Camp E1.

Tableau 12 : Eclairage moyen et densité d'éclairage 'construction office'

Local	Nombre minimum de points de mesure	Eclairage moyen mesuré (lux)	Eclairage moyen théorique (lux)	Densité d'éclairage (W/m ²)	Puissance spécifique (W/m ² /100lux)
Salle Baobab	25	85,52	103,51	4,60	5,38
Salle LAGM TAABA	16	84,72	107,18	4,76	5,62
Bureau Directeur de Projet	9		193,29	8,59	
Bureau des Stagiaires	16	223,27	245,10	10,89	4,88
B14 à B19	9	235,42	157,66	7,01	2,98
B20 à B25	9	107,92	149,94	6,66	6,18
B26 à B28	9	293,5	157,66	7,01	2,39
B32 à B34	9	111,33	157,66	7,01	6,29
Accueil	9	432,11	200,46	8,91	2,06
B4&B5	9	314,75	157,66	7,01	2,23
B8 à B12	9	171,10	157,66	7,01	4,10
Bureau 1	9	251,25	193,29	8,59	3,42
Espace Consultant	9	65,8	129,12	5,74	8,72
Salle à Plan	9	133	222,59	9,89	7,44

Les activités dans le bureau sont considérées comme des « tâches avec exigences visuelles moyennes ». L'éclairage doit répondre donc aux normes qui confèrent à cette situation. Par conséquent on doit avoir au minimum **300 lux** et en moyenne **500 lux** comme éclairage (**Annexe 3**). Ce qui implique que tous les bureaux qui ont une valeur de puissance spécifique inférieure à **5 W/m²/100 lux** sont bien éclairés. Alors cette notion de puissance spécifique n'est rien d'autre que le produit du rapport de la densité d'éclairage par l'éclairage mesuré par 100.

$$P_s = \frac{D_E * 100}{E_m}$$

P_s : Puissance spécifique en **W/m²/100 lux**

D_E : Densité d'éclairage en W/m^2

E_m : Eclairage mesuré par le luxmètre en lux

Les compartiments du « construction office » où la puissance spécifique est inférieure à 5 (les valeurs en vert dans le **Tableau 12** ci-dessus) sont supposés procurer un confort visuel acceptable pour les employés. Par contre les compartiments où les valeurs sont en rouge ($P_s \geq 5$) méritent des actions.

L'interprétation qu'on peut faire de ces résultats réside dans le fait que tous les compartiments jugés moins éclairés sont essentiellement ceux qui ne bénéficient pas de l'apport de l'éclairage naturel (**Annexe 5**). Ils montrent du coup l'importance de la lumière naturelle dans le bâtiment car les bureaux dont l'éclairage est jugé conforme bénéficient tous de la lumière naturelle issu des fenêtres vitrées.

IV-2.1.3 Description du système de Climatisation

Le système de climatisation est assuré par des split-system de constructeurs différents. Nous en avons dénombré 48 de puissance frigorifique 12000 BTU/h, 24000 BTU/h. Tous les compartiments du bâtiment sont climatisés. Les sanitaires sont équipés de climatiseurs et d'extracteurs d'air.

IV-2.1.4 Description des équipements électriques, la Bureautique

Les équipements électriques sont constitués de :

- ✓ 4 imprimantes dont deux labellisées **Energy star**;
- ✓ 72 ordinateurs de bureau en réseau avec écran LCD et labellisés **Energy star**. Ils disposent tous d'une mise en veille automatique ;
- ✓ Des ordinateurs portables (le nombre varie);
- ✓ 2 sèche-mains automatiques ;
- ✓ 1 réfrigérateur qui fonctionne 24/24h ;
- ✓ 1 bouilloire.

Le bâtiment dispose également dans les sanitaires (homme et femme), d'eau chaude sanitaire (un ballon électrique de 50 L).

IV-2.2 Bilan thermique du bâtiment 'Construction office'

Ce paragraphe consiste à évaluer les apports thermiques du bâtiment selon son origine (solaire, humains, matériels...) et la répartition de ces charges dans les différents compartiments. Elles permettront à terme de vérifier la pertinence des choix des équipements existants.

Avec la même de feuille Excel de calcul de charges thermiques et les mêmes conditions climatiques on obtient ce qui suit.

Tableau 13 : Charges thermiques des différents bureaux du 'construction office'

Local	S (m ²)	Puissance frigorifique Calculée (BTU/h)	Puissance frigorifique installée (BTU/h)
Salle BAOBAB	104,34	72 173,71	96 000,00
Salle LAGM TAABA	67,18	40 065,89	36 000,00
Bureau Directeur de Projet	27,94	22 903,28	36 000,00
Bureau des Stagiaires	44,06	46 445,02	48 000,00
Zone Manager MBA (B26 à B36)	88,13	75 391,24	72 000,00
Zone Ingénierie (B14 à B25)	89,89	73 076,19	72 000,00
Zone Accueil (B2 à B5 et B8 à B12)	88,13	71 658,86	72 000,00
Zone B6&B13	5,71	18 899,58	24 000,00
	14,98		
SST B7	8,54	8 451,77	12 000,00
Bureau 1	13,97	13 001,93	12 000,00
Bureau 38	11,42	11 777,76	24 000,00
Bureau 40	5,71	7 368,86	12 000,00
Espace Consultant	20,91	18 371,56	12 000,00
Salle Electrique 1	5,71	8 592,18	12 000,00
Salle Electrique 2	3,80	5 585,76	12 000,00
Toilette Men	12,77	10 712,09	12 000,00
Salle à Plan	12,13	8 040,17	12 000,00
Magasin MBA	8,31	5 142,79	12 000,00

L'analyse du **Tableau 13** ci-dessus montre des dysfonctionnements au niveau des puissances frigorifiques installées et calculées. Les chiffres en rouge et bleu des puissances frigorifiques installées présentent des écarts importants par rapport aux valeurs calculées. Certaines valeurs sont justifiées par le fait des modifications survenues dans le bâtiment. Il s'agit notamment :

- ✓ Du **bureau 38** dont l'espace était prévu initialement pour deux bureaux mais qui finalement est un bureau ;
- ✓ De la **salle à plan** qui était une partie de la salle LAGM Taaba ;
- ✓ Du magasin MBA qui était prévu pour un bureau qui est finalement un magasin ;

Certaines valeurs pourraient trouver leurs justifications dans le fait que tous les bureaux ne sont pas des espaces clos, n'ont pas de portes (voir la configuration **Annexe 5**). Alors les puissances frigorifiques trouvées l'ont été sur la base deux hypothèses fondamentales :

- Le zonage du bâtiment qui consiste à regrouper les lieux où la configuration du bâtiment en facilite. On a ainsi zone manager MBA, ingénierie, Accueil, bureau des stagiaires etc...
- La considération des voies d'accès des zones comme portes. Par exemple les deux voies d'accès Nord et Sud du bureau des stagiaires sont considérées comme des portes dans l'évaluation des charges thermiques à vaincre.

Le tableau ci-dessous en donne la répartition de ces charges par poste.

Tableau 14 : Apports thermiques par poste du "construction office"

Postes	Apports thermiques (W)	Surface totale du plancher (m ²)	Flux thermiques (W/m ²)
Portes & Fenêtres	10 285	712	14,44
Murs	7 693		10,80
Toiture	44 808,5		62,93
Renouvellement d'air	9 472		13,30
Occupants	13 633		19,14
Eclairage	5 148		7,23
Machines & Appareils	31 878,8		44,77

La toiture apporte beaucoup plus de chaleur **62,93 W/m²**, au-delà du seuil recommandé qui est de **40 W/m²** (**Tableau 4** du paragraphe **II.5.1**). Il en est de même pour les machines et appareils électriques avec **44,77 W/m²**.

L'analyse de la de figure 'Construction office' de l'**Annexe 7** montre que contrairement au Camp E1, les apports thermiques externes et internes sont pratiquement équilibrés avec respectivement **51%** et **49%**. Les contributions de la toiture et des appareils électriques demeurent élevées avec **36,45%** et **25,93%**.

IV-2.3 Estimation de la consommation en électricité du bâtiment

'Construction office'

L'électricité est fournie par la centrale électrique de l'entreprise. Les temps de fonctionnement des équipements qui ont servis aux calculs sont issus des résultats de l'enquête faite au bâtiment 'construction office' (voir **Annexe 2**). Ainsi, le temps de fonctionnement des climatiseurs est calculé dans l'**Annexe 8**. Ci-dessous les résultats obtenus **Tableau 14**.

Tableau 15 : Résumé des estimations de consommation "construction office"

Détails des consommations	Energie finale (kWh/an)	Energie primaire (kWhEP/an)	Coût de la consommation (\$/an)	Emission GES (kg CO ₂ éq/an)
Eclairage	47 584,32	122 767,55	14 560,80	29 645,03
Climatisation	409 084,99	1 055 439,28	125 180,01	254 859,95
Bureautique	49 288,51	127 164,34	15 113,76	28 076,19
Equipements Electroménagers	18 271,90	47 141,50	5 591,20	11 383,39
ECS	6 570,00	16 950,60	2 010,42	4 093,11
Total annuel	530 799,72	1 369 463,27	162 456,19	328 057,67

La consommation électrique du bâtiment est de **530 799,72 kWh/an**, équivalent à **162 456,19 \$** de dépense par an pour l'entreprise. Une émission de **328 057,67 kgCO₂éq** dans l'environnement est constatée.

Etant dans une zone sahélienne la climatisation est tout naturellement plus énergivore car elle représente **77,07 %** de la consommation d'électricité du bâtiment. La bureautique et l'éclairage ont pratiquement la même consommation. **Figure 15**.

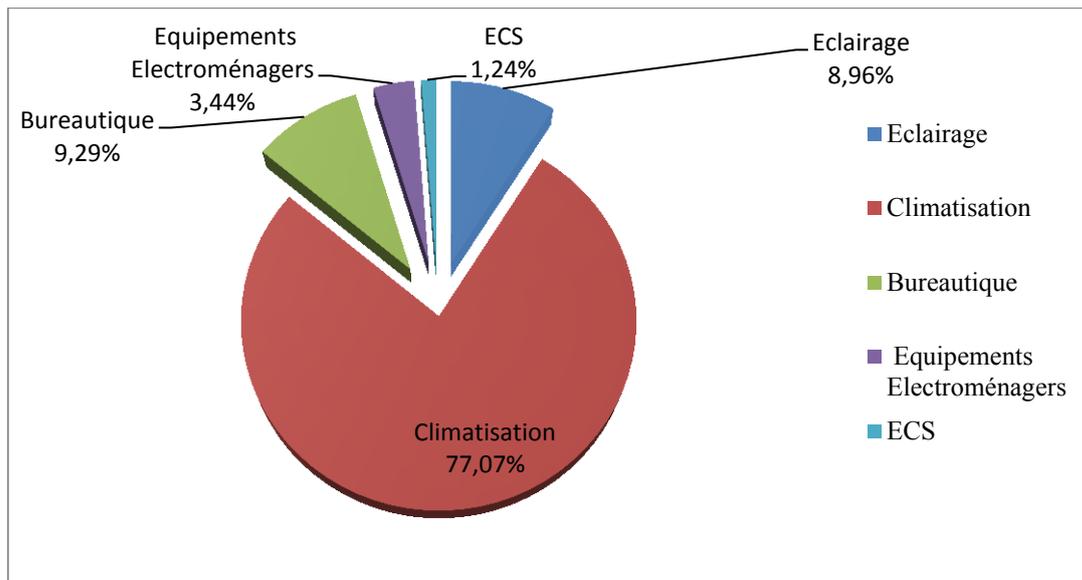


Figure 15 : Répartition de la consommation d'électricité "Construction office"

IV-2.4 Etiquette 'Energie' et 'Climat' du bâtiment 'construction office'

Comme dans le cas du Camp E1 nous avons représenté également les classes énergie et climat du bâtiment 'construction office'. Le bâtiment étant à usage autre qu'habitation sera représenté sur l'échelle de neuf classes selon la norme française.

- ❖ Avec une surface totale de **712 m²**, le bâtiment consomme annuellement **1 923,4 kWhEP/m²/an**, il est donc de classe **I** « énergivore »
- ❖ Le 'construction office' émet **460,75 kgCO₂éq/m²/an**, il est donc de classe **I** « forte émission de GES » sur l'étiquette climat.

Les **Figures 16 et 17**, montre la place du bâtiment sur les étiquettes énergie et climat.

Bureau économe		Construction office
≤ 50	A	
51 à 90	B	
91 à 150	C	
151 à 230	D	
231 à 330	E	
331 à 450	F	
451 à 590	G	
591 à 750	H	
> 750	I	
Bureau énergivore		

Figure 16 : Etiquette "Energie" Construction office

Faible émission de GES		Construction office
≤ 5 A		
6 à 10 B		
11 à 20 C		
21 à 35 D		
36 à 55 E		
56 à 80 F		
81 à 110 G		
111 à 145 H		
> 145 I	460,75 kgCO₂éq/m²/an	
Forte émission de GES		

Figure 17 : Etiquette "Climat" Construction office

En se référant à l'étiquette énergie du bâtiment, nous constatons que la situation énergétique du bâtiment est moins critique que celui du Camp E1. Pour avoir une valeur de consommation égale à **750 kWhEP/m²/an** qui correspond à l'avant dernière classe (**H**), il faut une réduction de la consommation en énergie primaire de **61 %**. Son indice de consommation énergétique est de **745,5 kWh/m²/an**. Cette valeur est largement supérieure aux ratios proposés selon le code ivoirien de la qualité énergétique et confère le caractère de bâtiment énergivore.

Quant aux émissions de GES, il faut une réduction des émissions de **68,53%** pour atteindre la classe (**I**), qui n'est d'ailleurs pas une bonne classe de l'étiquette climat.

En conclusion des actions d'efficacité énergétique s'imposent pour améliorer la performance énergétique du bâtiment.

PARTIE V

**PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS
ENERGETIQUE DES BATIMENTS**

V-1 PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS 'CAMP E1'

Avant toute proposition au niveau du Camp E1 nous relevons ici quelques résultats issus de l'enquête dans ledit bâtiment.

- ✓ **80%** des interrogés sont satisfaits du confort visuel ;
- ✓ **80%** des personnes interrogées estiment bénéficier d'un très bon confort thermique dans leurs chambres ;
- ✓ Les avis sont partagés concernant la température adéquate à leur chambre, ils varient entre 18°C à 26°C ;
- ✓ **20%** des usagers utilisent régulièrement le climatiseur en période de fraîcheur tandis que **80%** l'utilisent assez peu dans cette même période ;
- ✓ **100%** des usagers utilisent 24/24h le réfrigérateur.

Sur l'ensemble du Camp E1 les apports externes notamment la toiture constituent le premier apport de chaleur à l'intérieur du bâtiment. La réduction de ces apports présente le double avantage de diminuer la consommation électrique directe et les dépenses de climatisation. Mais nous privilégions ici des solutions dites 'actives' relatives aux produits performants et aux systèmes intelligents de régulation, d'automatismes. Les solutions relatives au bâti, dites 'passives', s'inscrivent dans des stratégies à plus long terme, impliquant des investissements qui concernent les gros œuvres. Nous n'envisageons donc pas des solutions d'isolation du bâtiment pour réduire les charges thermiques et par ricochet le remplacement des climatiseurs existants. Par contre nous proposons des solutions de réduction de la puissance installée au niveau de l'éclairage et de réduction du temps de fonctionnement des équipements. Trois thèmes d'améliorations sont concernés :

- La climatisation qui représente **67,87%** de la consommation électrique
- L'éclairage
- L'usage des équipements

Le tableau ci-dessous (**Tableau 16**) associe les principales solutions d'amélioration envisageables à un axe particulier, La colonne « Résultats » décrit les effets indirectement induits par l'application de la solution correspondante.

Tableau 16 : Proposition d'améliorations Camp E1

Actions d'améliorations	Résultats
Climatisation	
Installation de détecteur de présence	Réduction du temps de fonctionnement des climatiseurs
Nettoyage régulier des filtres des unités intérieures et des condenseurs	Augmente la performance des climatiseurs
Eclairage	
Remplacement des lampes fluorescentes 40W par les lampes LED de 20W	Réduction de la puissance installée des lampes
Usage des équipements	
Sensibilisation des occupants à la « <i>sobriété énergétique</i> »	Gestion efficace des équipements

Le diagnostic ayant montré des anomalies au niveau de l'éclairage nous proposons des lampes LED (**Annexe 13**) pour le remplacement des tubes fluorescentes existantes. Au niveau de la climatisation nous conservons les équipements existants malgré quelques écarts de puissances frigorifiques constatées. Nous proposons des détecteurs de présence dans chaque chambre pour réduire le temps de fonctionnement des climatiseurs et par conséquent la consommation. Les détecteurs de présence commanderont seulement les climatiseurs en assurant l'arrêt en cas d'inoccupation de la pièce.

V-2 PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS 'CONSTRUCTION OFFICE'

L'optimisation des économies d'énergie suppose de faire les bons choix à plusieurs niveaux. En effet, les économies sont fonction de l'architecture, des matériaux, de l'environnement végétal du logement, de la localisation géographique, mais aussi et surtout d'une bonne gestion technique du bâtiment. Comme au Camp E1 nous proposons ici des mesures relatives à la gestion technique du bâtiment. Mais avant, nous avons tenu avoir l'opinion des personnes qui exercent dans le bureau. C'est d'ailleurs l'objectif de l'enquête réalisée (**Annexe 2**) dont nous relevons ici comme dans le cas du Camp E1 les principaux résultats.

- **90%** des usagers reconnaissent des situations de gaspillage d'énergie au sein du bureau et **44%** l'incriminent à la climatisation ;
- **50%** estiment que la solution à cette situation réside dans le changement de comportement et **25%** dans l'automatisation de la gestion des équipements ;

- **36%** des enquêtés estiment, la réduction des émissions de GES, comme raison principale qui pourraient les inciter à un investissement pour faire des économies d'énergie à Essakane et **36%** pensent plutôt à la réduction de l'impact de la consommation d'énergie sur les charges de l'entreprise ;
- L'ensemble des usagers semble satisfait du confort thermique et visuel du bureau ;
- **66%** des personnes ne voient pas trop l'importance de l'eau chaude sanitaire dans le bureau.

Les mesures retenues ont été choisies sur la base de leur potentiel d'économie par rapport aux investissements requis. Elles ont, tout naturellement, comme objectifs spécifiques la réduction des charges énergétiques.

Tableau 17 : Proposition d'améliorations 'Construction office'

Actions d'améliorations	Résultats
Climatisation	
Installation de détecteur de présence	Réduction du temps de fonctionnement des climatiseurs
Suppression des climatiseurs de trop	Réduction de la puissance absorbée des climatiseurs
Nettoyage régulier des filtres des unités intérieures et des condenseurs	Augmente la performance des climatiseurs
Eclairage	
Remplacement des lampes fluorescentes 40W par les lampes LED de 20W	Réduction de la puissance installée des lampes
Réadapter les circuits de commande (zones et bureaux)	Bonne gestion des lampes
Installation de détecteur de présence	Réduction du temps de fonctionnement des lampes
ECS	
Suppression de l'eau chaude sanitaire	Réduction des charges
Bureautique	
Extinction des équipements hors période d'occupation des locaux	Réduction du temps de fonctionnement des équipements
Usage des équipements	
Sensibilisation des occupants à la « <i>sobriété énergétique</i> »	Gestion efficace des équipements

NB : Les détecteurs vont commander à la fois l'éclairage et la climatisation.

➤ **Climatisation**

Afin d'optimiser au maximum les phases de fonctionnement des climatiseurs, des détecteurs de présence (**Annexe 14**) peuvent être installés dans les différents bureaux. Ces dispositifs autorisent la mise en marche des climatiseurs ou sa relance à un régime de fonctionnement normal, après avoir détecté automatiquement une présence dans un local. La détection s'opère à partir d'une cellule infrarouge. Une temporisation réglable est associée au détecteur de présence. La détection de présence peut également s'effectuer à l'aide d'une cellule photoélectrique pour commander automatiquement l'éclairage. Ainsi, ce système assure une utilisation rationnelle des climatiseurs.

➤ **Eclairage**

Il est conseillé d'utiliser des lampes de conception récente. En effet, à flux lumineux égal, elles ont une puissance nominale fortement diminuée. En outre, l'optique de ces nouvelles lampes utilise au mieux le flux lumineux émis. L'économie réalisée sur la facture de consommation électrique est ainsi doublée d'une économie sur la durée de vie et la maintenance grâce à la simplification de ce matériel performant. Le confort visuel s'en trouve également amélioré. La réduction de la puissance installée est une base de l'économie d'énergie électrique.

Les détecteurs de présence installés, commandent l'éclairage des lampes situées à proximité. Elles restent allumées tant que le mouvement est détecté. En l'absence de mouvement, les lampes s'éteignent après un temps réglable, qui va de quelques secondes à quelques minutes.

➤ **Bureautique**

Les ordinateurs recensés sont visiblement équipés du système **Energy Star** qui permet de diminuer la consommation lors des périodes de non utilisation. La solution de réduction des consommations de veille serait de sensibiliser les usagers afin qu'ils arrêtent les ordinateurs dès qu'il ne s'en sert plus. Une autre solution se développe aujourd'hui pour les ordinateurs en réseau : c'est l'arrêt par le gestionnaire du réseau de l'ensemble des machines en soirée.

➤ **Sensibilisation du personnel :**

Faire une campagne de sensibilisation à l'aide d'étiquettes autocollantes et d'affiches (énergie rare, énergie chère). Le changement des mauvaises habitudes permettent de réaliser d'énormes économies d'énergies. Avec les bonnes habitudes il n'est plus nécessaire d'investir dans des systèmes de gestion électronique.

A toutes ces mesures on associe l'entretien régulier des équipements.

V-3 ESTIMATION FINANCIERE DU PROJET

Cette partie est la plus importante du projet car elle permet aux dirigeants ou managers d'avoir les deux chiffres clés. Il s'agit incontestablement du « *coût d'investissement* » et du « *return of investment* » ou temps de retour sur investissement en Français.

❖ Coût du projet au Camp E1

Le tableau ci-dessous donne un aperçu du budget alloué à la réalisation des mesures d'économie d'énergie préconisées pour le Camp E1.

Tableau 18 : Coût du projet Camp E1

Désignation	Lampes MASTER LEDtude GA110 1200mm	Détecteurs Busch-Guard Presence Tech DualLINE KNX
Prix unitaire (\$)	61	175
Quantité	35	33
Coût HT (\$)	2 135	5 775
Coût Transport (\$)	427	1 155
TVA (\$) (18%)	384,3	1 039,5
Coût Installation (\$)	10	20
Coût total (\$)	2 956,30	7 989,50
Coût Global (\$)	10 945,80	
ROI (ans)	0,38	

Le temps de retour est donc de **4** mois et demi. Le temps d'installation des lampes est estimé à une **demi-journée** de travail en raison de 8h de travail par jour, tandis que le temps d'installation des détecteurs de présence, est estimé à **2 jours** en raison de 8h de travail effectif.

❖ Coût du projet au Construction office

Comme pour le Camp E1 le tableau ci-dessous donne les moyens financiers à mettre en œuvre pour la réalisation du projet d'économie d'énergie du 'Construction office'

Tableau 19 : Coût du projet 'Construction office'

Désignation	Lampes MASTER LEDtude GA110 1200mm	Détecteurs Busch-Guard Presence Tech DualLINE KNX
Prix unitaire (\$)	61	175
Quantité	134	42
Coût HT (\$)	8 174	7 350
Coût Transport (\$)	1 634,8	1 470
TVA (\$) (18%)	1 471,32	1 323
Coût Installation (\$)	15	30
Coût total (\$)	11 295,1	10 173
Coût Global (\$)	21 468,12	
ROI (ans)	0,32	

Le ROI pour ce projet est de **4 mois**. Le temps d'installation des lampes est estimé à **1 jour et demi** de travail en raison de 8h de travail par jour, tandis que les détecteurs de présence le temps est estimé à **3 jours** en raison de 8h de travail effectif.

❖ Coût global du projet

Le projet d'économie d'énergie mobilisera **32 413,92 \$** soit 16 206 960 FCFA pour un temps de retour sur investissement de 4 mois. La mise en œuvre du projet rapportera à l'entreprise **95 806,87 \$** par an soit une économie de 3 991 953 FCFA par mois.

Tableau 20 : Coût global du projet

	Coût d'investissement (\$)	Gains annuels (\$)	ROI (ans)
Camp E1	10 945,80	29 029,21	0,38
Construction office	21 468,12	66 777,66	0,32
Bilan global	32 413,92	95 806,87	0,34

V-4 ETAT ENERGETIQUE DES BATIMENTS APRES PROJET

➤ Camp E1

Si le projet est mis œuvre, on devrait vraisemblablement avoir un bon éclairage des chambres vu les caractéristiques de la lampe LED meilleures (**Annexe 13**) à celles des lampes fluorescentes standard. Les plus importantes sont :

- Efficacité lumineuse = 85,05 lm/W
- Indice de rendu de couleur IRC = 83
- Température de couleur $T_c = 6500$ K
- Durée de vie = 40 000 heures

Le nouveau tableau des estimations de consommation est en **Annexe 11**. Les mesures étant portée sur l'éclairage et la climatisation, seules les valeurs de ces postes de consommations ont changé. On observe, par rapport à l'ancienne consommation une réduction de :

- ❖ **18,58%** pour la consommation en éclairage
- ❖ **35,22 %** pour la consommation en climatisation

On réalisera à terme au Camp E1 une réduction de la facture énergétique de **24,03 %** ce qui équivaut à un gain financier de **29 029,21 \$** soit 14 514 605 FCFA, pour **59,1** tonnes de CO₂ évité. (**Tableau 21**)

Tableau 21 : Détails des gains réalisés Camp E1

Détails des Gains réalisés	Gain Energétique (kWh/an)	Gain Financier (\$/an)	CO ₂ évité (kg CO ₂ éq/an)
Camp E1	94 866,71	29 029,21	59 101,96
%	24,03	24,03	24,03

Malgré ces mesures l'état énergétique du bâtiment reste toujours médiocre en passant de **2 273,48 kWhEP/m²/an** à **1 727,16 kWhEP/m²/an**. Il n'y a que **24,03 %** de réduction quand on sait qu'il faut **80%** de réduction en consommation primaire pour atteindre l'avant dernière classe **F**. Le même constat est fait au niveau des émissions de gaz à effet de serre. Elles passent de **548,98 kgCO₂éq/m²/an** à **417,06 kgCO₂/m²/an**, largement supérieure à **80 kgCO₂éq/m²/an** la valeur de la classe **F** sur l'étiquette climat.

Ces différentes valeurs sont comparées à celle de la classe **F**, que ce soit sur l'étiquette énergie ou climat, parce que pour atteindre les classes qualifiées de performantes il faut

d'abord relever le défi en atteignant la classe **F**. Elle a pour valeurs maxima **450 kWhEP/m²/an** et **80 kWhEP/m²/an** respectivement sur l'étiquette énergie et climat.

L'**Annexe 12** montre la nouvelle répartition de la consommation par poste. On remarque que la climatisation a baissé de **10%** et tout naturellement les autres postes sont en hausses.

➤ **Construction office**

Pour ce bâtiment les mesures ont porté sur trois postes de consommation à savoir l'éclairage, la climatisation et la bureautique. Le nouveau tableau des estimations donne en **Annexe 11** les détails de la consommation après projet. On observe, par rapport à l'ancienne consommation une réduction de :

- ❖ **61,67%** pour la consommation en éclairage
- ❖ **44,08%** pour la consommation en climatisation
- ❖ **3,83%** pour la consommation en bureautique

La mise en œuvre des mesures d'économie d'énergie retenues permettra de diminuer la consommation d'électricité de 218 124,80 kWh par an, soit une baisse de **41,10 % (Tableau 22)**. Il aura donc un gain financier de **66 777,66 \$** soit 33 388 830 FCA et **136 tonnes** de dioxyde de carbone évité. Le nouveau ratio de consommation énergétique du bâtiment devient **1 131,6 kWhEP/m²/an**. Il est alors considéré comme critique par rapport à l'avant dernière classe **H** sur l'étiquette énergie qui est de **750 kWhEP/m²/an**. Il en est de même pour le climat. Le bâtiment émettra **269,47 kgCO₂éq/m²/an** très loin de **145 kgCO₂éq/m²/an** de la classe **H** de l'étiquette climat.

Tableau 22 : Détails des gains réalisés "Construction office"

Détails des Gains réalisés	Gain Energétique (kWh/an)	Gain Financier (\$/an)	CO ₂ évité (kg CO ₂ éq/an)
Construction office	218 124,80	66 777,66	135 955,83
%	41,10	41,10	41,44

Dans la répartition de la consommation par poste, on constate qu'après la mise en œuvre des mesures la climatisation reste toujours le poste énergivore mais avec une réduction de **3,91%**. Quant à l'éclairage on a diminution de **3,13%**. L'**Annexe 12** en donne l'illustration.

V-5 RECOMMANDATIONS & PERSPECTIVES

L'électricité est fournie par la centrale électrique de l'entreprise, il n'y a donc pas de compteur pour mesurer les gains réalisés après la mise en œuvre du projet. Pour bien comptabiliser les économies, il faut remonter à la source c'est-à-dire à la centrale de production d'énergie. Les économies seraient donc une baisse de quantité de carburants par conséquent la réduction du coût de **HFO** et **LFO** utilisés pour la production. Le challenge est d'adapter la nouvelle demande à la production. C'est pourquoi la première recommandation est d'optimiser la centrale électrique et la conformer à la nouvelle donne pour ne pas qu'il ait de production inutile.

Il serait aussi intéressant de penser à un mix énergétique en intégrant les énergies renouvelables pour économiser les énergies fossiles et réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre. Un système photovoltaïque connecté au réseau pour prendre en charges une partie des charges des deux bâtiments est à envisager. Nous recommandons donc des études de faisabilité quant à la réalisation de celui-ci. Un système de solaire thermique au Camp E1 est aussi conseillé. Il s'agit de l'installation d'un chauffe-eau solaire avec appoint électrique. Pour la production d'eau chaude sanitaire, il s'agit de récupérer l'énergie solaire incidente sur des capteurs ayant la capacité de transformer cette énergie solaire en chaleur, cette chaleur sera alors transférée au réseau d'eau chaude sanitaire.

Pour la bureautique l'utilisation du **Power safer** est conseillée. En effet, il éteint une imprimante après quelques minutes de non utilisation, l'envoi d'une impression l'actionne à nouveau. Le **Tableau 22** donne un bref résumé des recommandations.

Tableau 23 : Résumé des recommandations

Recommandations	Bâtiments ou secteur concernés
Optimisation de la centrale électrique	La centrale électrique
Installation de système photovoltaïque connecté au réseau	Camp E1 et Construction office
Installation de chauffe-eau solaire	Camp E1
Installation de Power safer pour la gestion des imprimantes et autres équipements	Construction office
Un responsable gestion de l'énergie	Construction office

A la longue un audit énergétique complet du site par le diagnostic de tous les bâtiments (logements, bureaux, ateliers, laboratoires) y compris l'usine de traitement des minerais devrait être envisagé car des gains potentiels d'énergie existent.

CONCLUSION

La compagnie IAMGOLD Corporation à travers sa filiale Essakane s'est engagée dans une politique de développement durable avec la volonté de réduire les emprunts écologiques et les coûts d'opération de ses activités d'exploitation minière. Notre mission dont l'objet est de faire un état des lieux de la consommation énergétique des bâtiments Camp E1 et Construction office et d'en faire des propositions de réduction des consommations d'énergies trouve ici son sens. Car l'énergie représentant une part importante de ces coûts.

L'étude révèle une consommation d'électricité de **925 575,54 kWh/an** des bâtiments étudiés, pour une dépense annuelle pour l'entreprise de **283 257,59 \$** soit 141 628 795 FCFA.

L'enquête de terrain réalisée et très riche d'enseignements, a permis d'avoir le regard des usagers sur l'efficacité énergétique, sur la gestion des équipements mis à leur disposition et sur l'intérêt qu'ils portent à leur consommation d'électricité. Le constat est que de gains énormes d'énergies existent. Ainsi, à l'issue des mesures proposées, consistant à l'installation des détecteurs de présence, au remplacement des lampes fluorescentes par des lampes LED et surtout à la sobriété énergétique, Essakane SA devrait investir **32 413,92 \$**. Tout en récupérant ses investissements après **4** mois de mise en œuvre des mesures retenues. Cet exemple témoigne du potentiel d'économies d'énergie des bâtiments en agissant notamment sur le système de climatisation, qui représentent une part importante de la consommation électrique des bâtiments.

On dispose donc aujourd'hui d'une excellente photographie de la situation qui va permettre aux décideurs de bâtir des stratégies réalistes d'économie d'énergie sur l'ensemble du site. Surtout avec un temps de retour sur investissement relativement court, n'atteignant pas un an. Néanmoins la problématique demeure l'optimisation de la centrale électrique pour mesurer les acquis du projet.

Enfin ce stage a été pour moi une expérience très enrichissante, une opportunité de m'immiscer dans la vie d'une compagnie multinationale qui possède ses codes et ses propres règles de fonctionnement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Fiche technique PRISME n°2, *Le diagnostic énergétique d'un bâtiment*
- [2] Christian G., *Oil & gas and energy global issues.*, Book 2-Energy., **2012**, 30.
- [3] Bulletin d'information et de communication IAMGOLD Essakane SA., **2012**,012.
- [4] IEA World Energy Outlook., **2011**.
- [5] US Department of Energy
- [6] ADEME, *Les consommations d'énergie des pays de la CEDEAO et de la CEMAC.*
- [7] Joseph W., *Systèmes énergétiques : Vulnérabilité –Adaptation –Résilience.*, **2009**, 28.
- [8] EuroGROUP consulting., *L'efficacité énergétique dans le bâtiment : une filière industrielle d'excellence pour la France.*, **2010**, 4.
- [9] Aurélie B., *Mémoire de fin d'étude.*, **2011**,12.
- [10] Eline B., Lucie D., *Développement Durable : Audit énergétique du bâtiment Grands Moulins.*, **2008**, 5.
- [11] Y. COULIBALY., *Cours Economie d'énergie dans le bâtiment et l'industrie*, **2010**,11.
- [12] Y. Jeannot, T. Djiako., *Economie d'énergie et confort thermique dans l'habitat en zone tropicale*, **1993**.
- [13] Wang S. K., Z.Lavan., *Air refrigeration and conditioning.*, CRC Press LLC, **1999**.
- [14] J. CLAENS, Y. COULIBALY, T. DJIAKO, M. GNAMKE, A. KANMOGNE, A. KEMAJOU, M.J. KONE, A. N'DIAYE, M.K. SAKO and D. STAMATOUKOS, *Efficacité énergétique de la climatisation en région tropicale*, Tome 1 : *Conception des nouveaux bâtiments*.
- [15] Y. COULIBALY., *Cours thermique du bâtiment*, **2011**.
- [16] R. CADIERGUES., MémoCad nR14.a, *Performance et étiquettes énergétiques*.

Sites internet :

- www.energieplus-lesite.be
- www.iepf.org
- www.ademe.fr
- www.lighting.philips.fr
- www.syndicat-eclairage.com
- www.xpair.com
- www.ibgebim.be

ANNEXES

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE 1: RESULTATS DE L'ENQUETE AU CAMP E1	III
ANNEXE 2 : RESULTATS DE L'ENQUETE AU 'CONSTRUCTION OFFICE'	VII
ANNEXE 3 : ECLAIREMENT POUR DIFFERENTES ZONES DE TRAVAIL, ACTIVITES OU TÂCHES	XVI
ANNEXE 4 : MINE VILLAGE ELECTRICAL SERVICES AND LIGHTING PLAN VIEW CAMP E1	XVII
ANNEXE 5 : PLAN D'AMENAGEMENT GENERAL 'CONSTRUCTION OFFICE'	XVIII
ANNEXE 6 : PLAN D'ECLAIRAGE GENERAL 'CONSTRUCTION OFFICE'	XIX
ANNEXE 7 : APPORTS THERMIQUES PAR POSTES 'CAMP E1' ET CONSTRUCTION OFFICE	XX
ANNEXE 8 : METHODE DE CALCUL DE LA CONSOMMATION DES CLIMATISEURS.....	XXI
ANNEXE 9 : DETAILS DES CALCULS DE CONSOMMATION D'ELECTRICITE CAMP E1	XXII
ANNEXE 10 : DETAILS DES CALCULS DE CONSOMMATION D'ELECTRICITE.....	XXIV
ANNEXE 11 : CONSOMMATION APRES PROJET CAMP E1 ET CONSTRUCTION OFFICE.....	XXVII
ANNEXE 12 : REPARTITION APRES PROJET DE LA CONSOMMATION	XXVIII
ANNEXE 13 : MASTER LEDTUBE GA110 1200 MM 19W 850 L	XXIX
ANNEXE 14 : BUSCH-GUARD PRESENCE TECH DUALLINE KNX	XXX
ANNEXE 15 : LISTE DES NORMES ISO QUI TRAITENT DE L'AMBIANCE THERMIQUE	XXXI

ANNEXE 1: RESULTATS DE L'ENQUETE AU CAMP E1

I-Confort visuel (Eclairage)-Camp E1

1-Comment jugez-vous le confort visuel de votre chambre?

	%
Très bon	80%
Bon	20%
Moyen	0%
Mauvais	0%
Autres	0%
Total	100%

2-Les lampes de votre chambre sont-elles éteintes pendant votre sommeil ?

	%
Toujours	100%
Souvent	0%
Rarement	0%
Jamais	0%
Autres	0%
Total	100%

3-Il vous arrive de ne pas éteindre les lampes avant d'aller au service ?

	%
Toujours	0%
Souvent	0%
Rarement	17%
Jamais	83%
Total	100%

II- Confort thermique (Climatisation)- Camp E1

1-Comment jugez-vous le confort thermique de votre chambre ?

	%
Très bon	80%
Bon	20%
Moyen	0%
Mauvais	0%
Autres	0%
Total	100%

2-Quelle température vous semble adéquate ?

	%
Moins de 16 °C	0%
18 °C	17%
20 °C	17%
22 °C	17%
24 °C	17%
26 °C	17%
Plus de 26 °C	17%
Total	100%

3-Utilisez-vous le climatiseur en période de fraîcheur de Novembre à Janvier (harmattan) ?

	%
Oui	20%
Un peu	40%
Assez peu	40%
Pas du tout	0%
Total	0%

4-Comment fonctionne le climatiseur de votre chambre en période de chaleur, 24h/24 ?

	%
Oui	40%
Non	60%
Total	100%

5-Quand est-ce que vous le mettez hors tension ?

	%
Avant d'aller au service tous les matins	20%
Au cours de la nuit	20%
Autres	60%
Total	100%

III-Autres éléments-Camp E1

1-Combien d'heures par jour, étant dans votre chambre, utilisez-vous votre ordinateur personnel (branché)?

	%
Moins de 30 mn	20%
1h	60%
2h	20%
3h	0%
Autres	0%
Total	100%

2-Combien de temps passez-vous devant votre téléviseur par jour ?

	%
Moins de 30 mn	25%
1h	0%
2h	50%
3h	0%
Autres	25%
Total	100%

3-Quel type d'eau utilisez-vous pour la douche ?

	%
Chaude	25%
Tiède	25%
Froide	50%
Autres	0%
Total	100%

4-Combien de temps passez-vous sous la douche ?

	%
Moins de 5 min	0%
5 min	100%
10 min	0%
Autres	0%
Total	100%

5-Quel est le temps de fonctionnement de votre réfrigérateur de chambre par jour ?

	%
8h	0%
12h	0%
24h/24	100%
Autres	0%
Total	100%

6-Souhaitez-vous être informé des résultats de cette étude ?

	%
Oui	100%
Non	0%
Total	100%

ANNEXE 2 : RESULTATS DE L'ENQUETE AU 'CONSTRUCTION OFFICE'

I-Généralités-Bureau Optimisation

1-Constataz-vous des situations de "gaspillage excessif" d'énergie au sein du bureau d'Essakane 'Optimisation'?

	%
Oui	90%
Non	10%
Jamais fait attention	0%
Total	100%

1.1-Si oui, quel est à votre avis, les éléments les plus énergivores ?

	%
Eclairage	26%
Climatisation	44%
Bureautique	30%
ECS	0%
Total	100%

2-Connaissez-vous l'impact de la consommation d'électricité sur les charges de IAMGOLD Essakane SA?

	%
Oui	46%
Non	54%
Total	100%

3- Cela vous interpelle-t-il?

	%
Oui, beaucoup	50%
Un peu	47%
Assez peu	0%
Pas du tout	3%
Total	100%

4-Quelle attitude avez-vous vis à vis de vos consommations d'énergie (Climatisation, éclairage,...) ?

	%
Très vigilant	17%
Faisant assez attention	77%
Plutôt indifférent	6%
Indifférent	0%
Total	100%

5-Etes-vous informé des conséquences de nos consommations incontrôlées des ressources énergétiques sur l'environnement et la vie des générations futures ?

	%
Oui	77%
Non	23%
Total	100%

6- Avez-vous la même manière de consommer l'énergie au service 'bureau optimisation' comme chez vous à la maison ?

	%
Oui	67%
Non	27%
Autres	6%
Total	100%

7- Dans quelle mesure seriez-vous prêt à modifier vos pratiques en matière de consommation d'énergie?

	%
Par souci écologique	43%
Par souci économique	37%
Pas besoin, c'est une habitude	12%
S'il y avait plus d'information, de sensibilisation	6%
S'il y avait une contrepartie à ce changement	2%
Total	100%

8- Qu'est-ce que l'expression "Economies d'énergie" évoque le plus pour vous?

	%
Modérer son confort	5%
Sauvegarder l'environnement	47%
Réaliser des économies financières	24%
Faire attention à ses consommations	17%
Respecter les recommandations environnementales	7%
Total	100%

9-Quelles sont, pour vous, les principales raisons qui pourraient vous inciter à réaliser un investissement pour faire des économies d'énergie à Essakane plus particulièrement à l'Optimisation?

	%
Participer à la réduction des émissions de GES (gaz à effet de serre)	36%
Réduire l'impact de la consommation d'électricité sur les charges d'Essakane SA	36%
Améliorer l'image d'entreprise responsable d'Essakane SA	18%
Améliorer les conditions de vie et de travail	10%
Total	100%

10-Quelles sont, pour vous, les principales barrières aux investissements d'économie d'énergie à Essakane SA (Optimisation)?

	%
Manque d'information sur les gains potentiels d'énergie	32%
Manque de pression réglementaire	17%
Manque d'interlocuteur (information-conseil)	9%
Difficulté de choix des équipements disponibles	13%
Manque d'intérêt	17%
Manque de temps	11%
Essakane SA n'est pas concernée parce qu'elle ne consomme pas beaucoup d'énergie	0%
Autres	1%
Total	100%

11-Accepteriez-vous une sensibilisation du personnel ?

	%
Oui	90%
Non	0%
Je ne sais pas	10%
Total	100%

12-Souhaiteriez-vous que le département 'optimisation' ait une marque/label 'Qualité' en économie d'énergie?

	%
Oui	87%
Non	13%
Total	100%

13-Si oui, seriez-vous prêt à engager un programme d'utilisation rationnelle de l'énergie?

	%
Oui	100%
Non	0%
Total	100%

14-Si oui, sur quelle base ?

	%
Changement de comportements	50%
Rénovation de certains matériels	23%
Automatisation de la gestion des équipements	25%
Autres	2%
Total	100%

15-Dans le cas de rénovation des équipements qui consomment trop d'énergie quels sont vos principaux critères de choix à l'achat ?

Homme	%
Le prix	24%
La qualité du produit	38%
L'économie d'énergie (Exemple produit labellisé Energy Star)	36%
La marque	2%
Autres	0%
Total	100%

II-Confort visuel (Eclairage)-Bureau Optimisation

1-Comment jugez-vous le confort visuel de votre bureau ?

	%
Très bon	38%
Bon	59%
Moyen	3%
Mauvais	0%
Autres	0%
Total	100%

1.1-Si très bon, la totalité des lampes est-elle nécessaire au confort ?

	%
Oui	45%
Non	50%
Aucune idée	5%
Total	100%

2-Comment jugez-vous l'apport de l'éclairage naturel de votre bureau au cours la journée ?

	%
Très bon	28%
Bon	34%
Moyen	28%
Mauvais	10%
Aucune idée	0%
Total	100%

3-Comment jugez-vous le contrôle manuel de l'éclairage ?

	%
A supprimer	0%
Mal conçu	14%
Mal placé	24%
Bon	52%
Autre	10%
Total	100%

4-Combien de fois avez-vous agi directement sur l'interrupteur d'éclairage ?

	%
Toujours	6%
Souvent	7%
Rarement	47%
Jamais	40%
Autres	0%
Total	100%

5-Les lampes du bureau de la construction 'optimisation' sont-elles éteintes les soirs :

	%
Toujours	0%
Souvent	15%
Rarement	41%
Jamais	37%
Autres	7%
Total	100%

6-Eteignez-vous toujours les lampes lorsque vous quittez votre bureau les soirs ?

	%
Toujours	0%
Souvent	11%
Rarement	25%
Jamais	57%
Autres	7%
Total	100%

III-Bureautique-Bureau Optimisation

1-Combien d'heures par jour utilisez-vous votre ordinateur ?

	%
Moins de 2h	0%
2h	3%
5h	7%
8h	17%
10h	59%
Autres	14%
Total	100%

2-Eteignez-vous votre ordinateur à l'heure du déjeuner ?

	%
Toujours	10%
Souvent	24%
Rarement	21%
Jamais	45%
Total	100%

3-Eteignez-vous votre ordinateur les soirs à la descente ?

	%
Toujours	27%
Souvent	28%
Rarement	28%
Jamais	17%
Total	100%

4-Les imprimantes sont-elles éteintes pour la nuit ?

	%
Toujours	4%
Souvent	14%
Rarement	7%
Jamais / en veille	75%
Total	100%

IV- Confort thermique (Climatisation)-Bureau Optimisation

1-Comment jugez-vous le confort thermique de votre bureau de manière globale sur toute l'année?

	%
Très bon	24%
Bon	57%
Moyen	11%
Mauvais	4%
Autres	4%
Total	100%

2-Quelle température vous semble adéquate pour travailler dans de bonnes conditions ?

	%
Moins de 16 °C	0%
18 °C	6%
20 °C	9%
22 °C	22%
24 °C	41%
26 °C	19%
Autres	3%
Total	100%

3-De manière générale, la température des locaux vous paraît-elle:

	%
Insuffisante	0%
Convenable	93%
Trop élevée	7%
Autres	0%
Total	100%

4-Eteignez-vous le climatiseur de votre bureau pendant l'heure de déjeuner ?

	%
Toujours	24%
Souvent	24%
Rarement	10%
Jamais	42%
Total	100%

5-Eteignez-vous le climatiseur de votre bureau les soirs à la descente ?

	%
Toujours	34%
Souvent	21%
Rarement	24%
Jamais	21%
Total	100%

6-Utilisez-vous le climatiseur en période de fraîcheur (harmattan) ?

	%
Oui	6%
Un peu	29%
Assez peu	29%
Pas du tout	36%
Total	100%

7- La présence d'eau chaude sanitaire (ECS) dans le bureau est-elle vraiment utile ?

	%
Oui	34%
Pas trop	42%
Non	24%
Total	100%

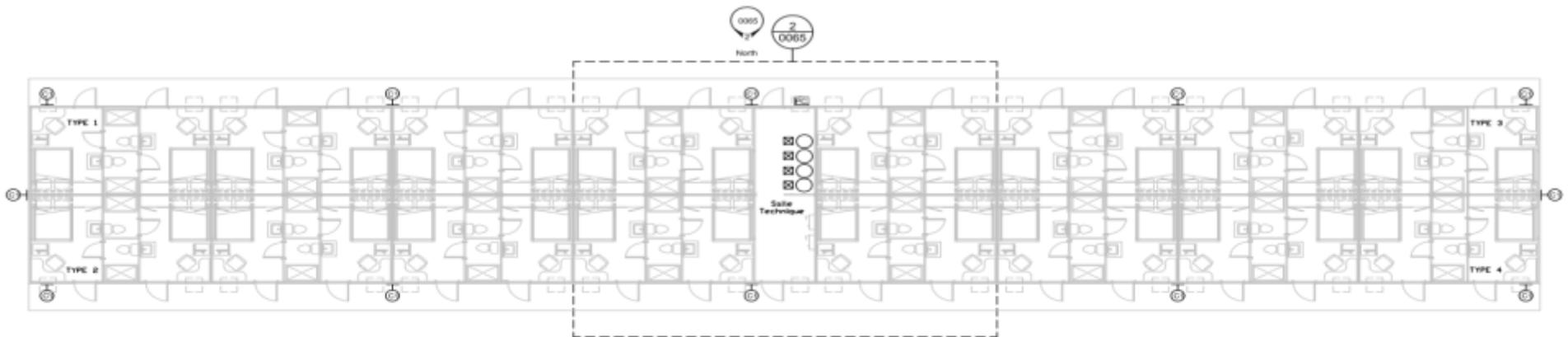
8-Souhaitez-vous être informé des résultats de cette étude ?

	%
Oui	100%
Non	0%
Total	100%

ANNEXE 3 : ECLAIREMENT POUR DIFFERENTES ZONES DE TRAVAIL, ACTIVITES OU TÂCHES

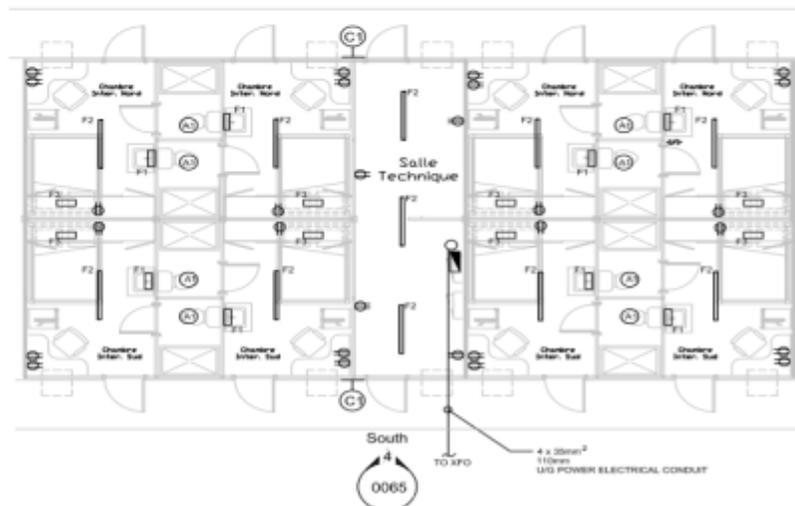
Neuf catégories d'éclairage pour différentes zones de travail, activités ou tâches à effectuer	Valeurs Minimales (lux)	Valeurs Moyennes (lux)	Valeurs Maximales (lux)
Circulation extérieure, zones de travail	20	30	50
Circulation, orientation, visites	50	100	150
Pièces de travail à usage temporaire	100	150	200
Tâches avec exigences visuelles simples	200	300	500
Tâches avec exigences visuelles moyennes	300	500	750
Tâches avec exigences visuelles élevées	500	750	1 000
Tâches avec exigences visuelles difficiles	750	1 000	1 500
Tâches avec exigences visuelles spéciales	1 000	1 500	2 000
Performances dans des tâches très méticuleuses		> 2 000	

ANNEXE 4 : MINE VILLAGE ELECTRICAL SERVICES AND LIGHTING PLAN VIEW CAMP E1



1 PLAN VIEW - ELECTRICAL
1 : 75

NOTES:
- EVERY 4 ROOMS ARE CONNECTED TO ONE LIGHTING CIRCUIT.
- EVERY 2 ROOMS ARE CONNECTED TO ONE SOCKET CIRCUIT.
- EVERY 2 ROOMS ARE CONNECTED TO ONE AC CIRCUIT (SEE 103-E-0065)



2 ENLARGED ROOMS PLAN VIEW
1 : 50

LEGEND:

- ELECTRICAL PANEL - SERVICES, LIGHTING & AIR CONDITIONING
- SINGLE PLUG 240V 300mm HT FROM FLOOR
- SINGLE PLUG - GROUND FAULT INSTALLED 1300mm HT FROM FLOOR
- CEILING MOUNTED BOWL FIXTURE
- WALL MOUNTED READING LAMP INSTALLED AT 1600mm HT FROM FLOOR, SWITCH INCLUDED.
- WALL MOUNTED FLUORESCENT, SWITCH INCLUDED. 300mm LIGHTING FIXTURE 1500mm HEIGHT FROM FLOOR
- SIMPLE TUBE 1200mm CEILING MOUNTED FLUORESCENT LIGHTING FIXTURE, WITH POLYCARBON LENS.
- UNDER CABINET FLUORESCENT, SWITCH INCLUDED. 300mm LIGHTING FIXTURE 1200mm HEIGHT FROM FLOOR
- PHOTOCCELL
- JUNCTION BOX
- BALCON Eau chaude Sanitaire (ECS)

REV	DESCRIPTION	BY	DATE
01	TEL. SUE. CONSTRUIT	DT	01-04-08
02	TEL. SUE. CONSTRUIT	COG	02-12-07
03	FOR. CONSTRUIT	VB	11-12-07
04	EDM APPROVAL	VB	11-12-24

OPTIMISATION

IAMGOLD
ENGINEERING & CONSTRUCTION

DESIGN:	P DRIZ	11-11-28
DRAWN:	Y BERGER	11-11-28
CHECKED:	A BENEJADI	11-11-28
APPROVED:	P DRIZ	11-11-28
SCALE:	N.T.S.	DATE

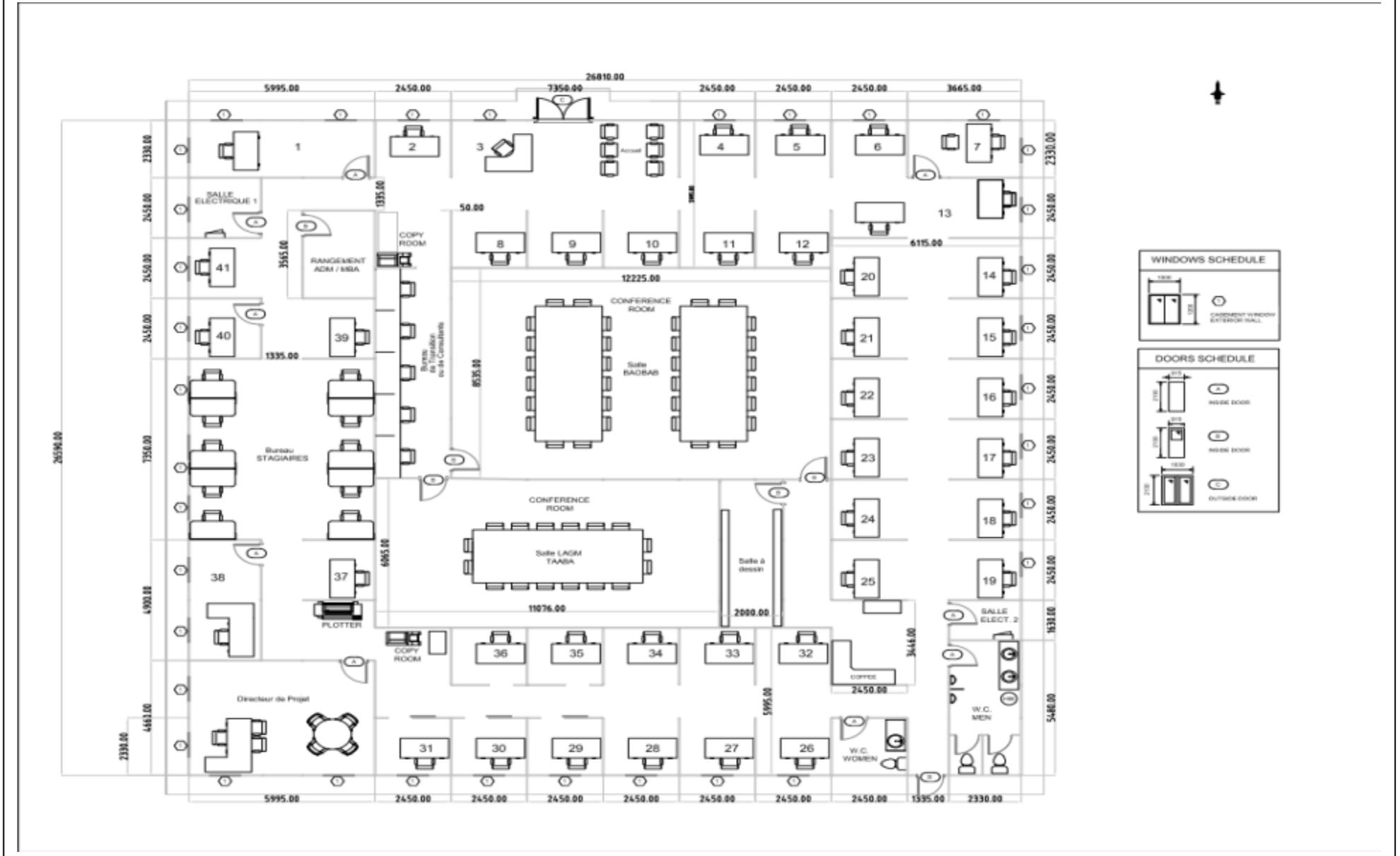
PROJECT:
ESSAKANE S.A.

SUB-PROJECT:
ESSAKANE EXPANSION
BFES-D

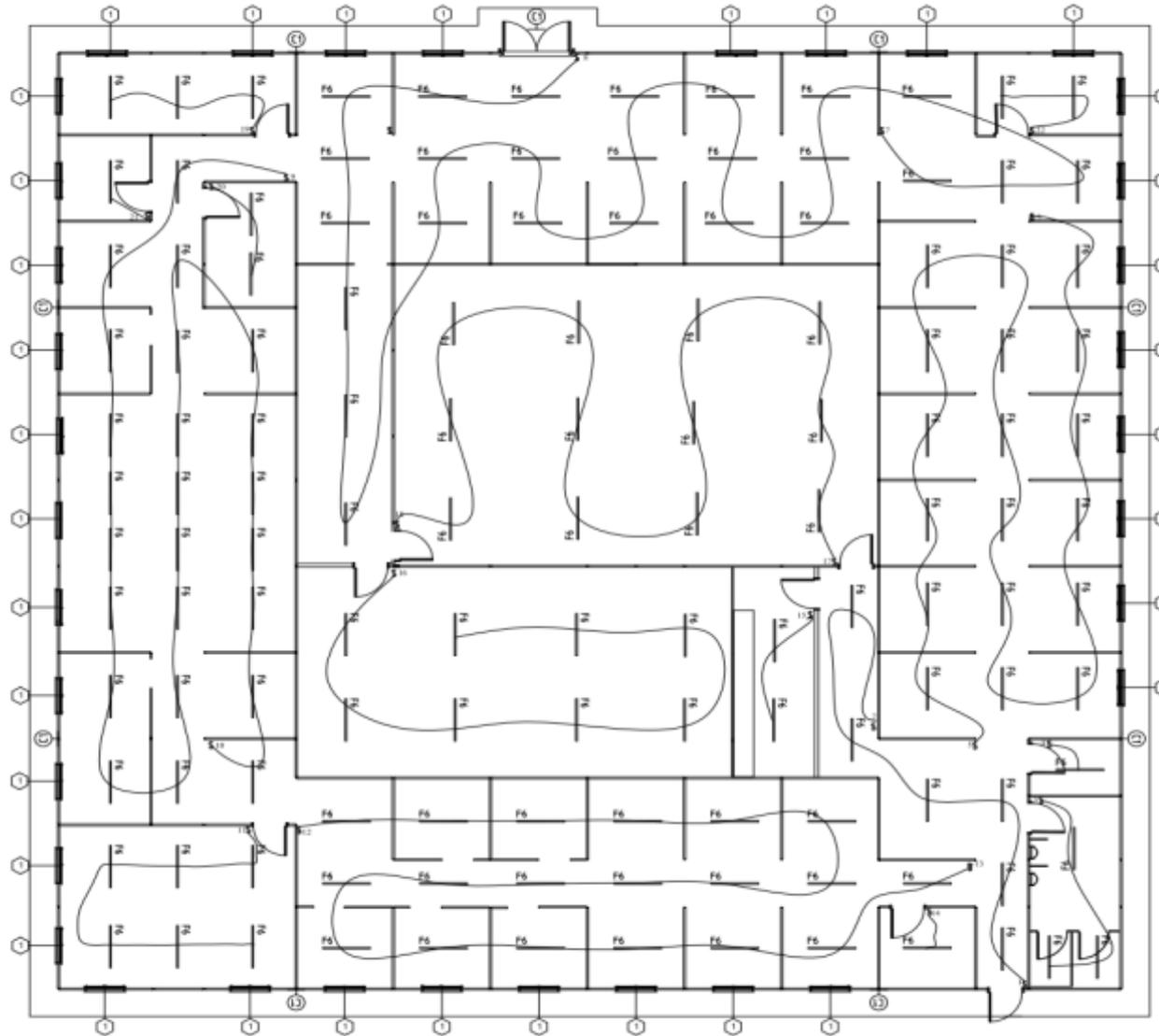
TITLE:
MINE VILLAGE
ELECTRICAL
SERVICES & LIGHTING
PLAN VIEW CAMP E

SIZE	AREA	DISC	SEQ. NO.	REV.
A1	103	E	0065	02

ANNEXE 5 : PLAN D'AMENAGEMENT GENERAL 'CONSTRUCTION OFFICE'



ANNEXE 6 : PLAN D'ECLAIRAGE GENERAL 'CONSTRUCTION OFFICE'



LEGEND:

- S SWITCH
- (F6) WALL MOUNTED EXTERIOR FIXTURE
- F6 RESELETTE FLUORESCENTE 1 TUBE
INSTALLÉE EN SURFACE 1200mm LONG
FLUO LIGHTING FIXTURE - 1 TUBE
SURFACE MOUNTED 1200mm LONG
- (S1) FENÊTRE SIMPLE VITRAGE
AVEC RIGOLEAU INTERIEUR

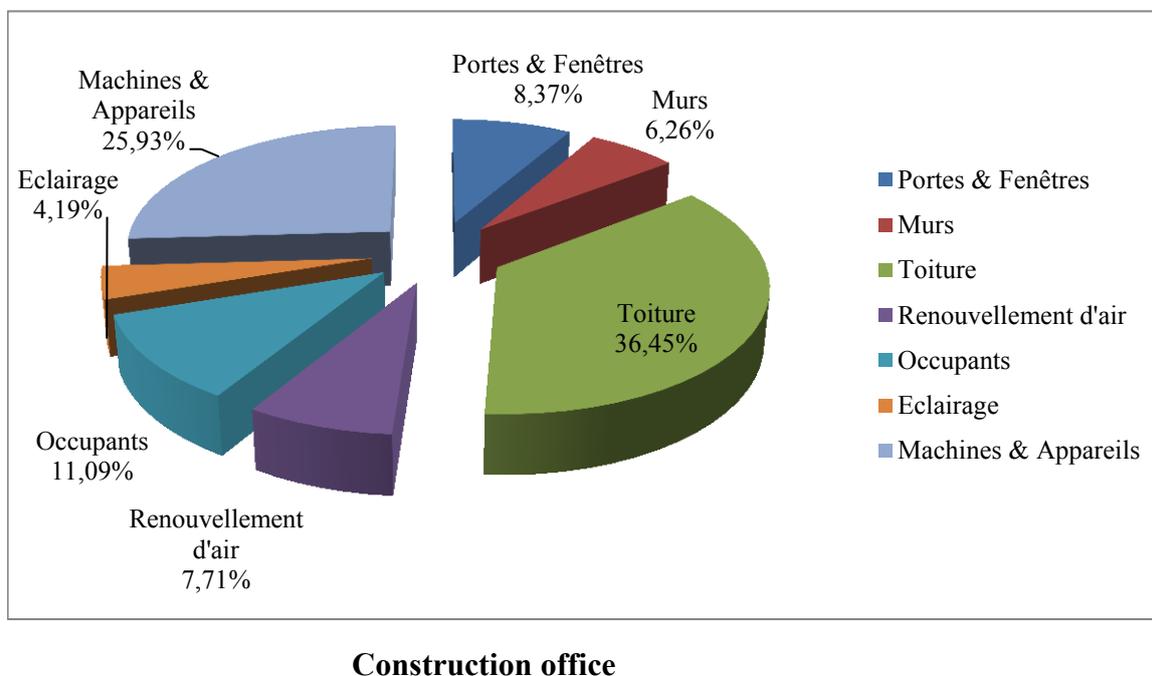
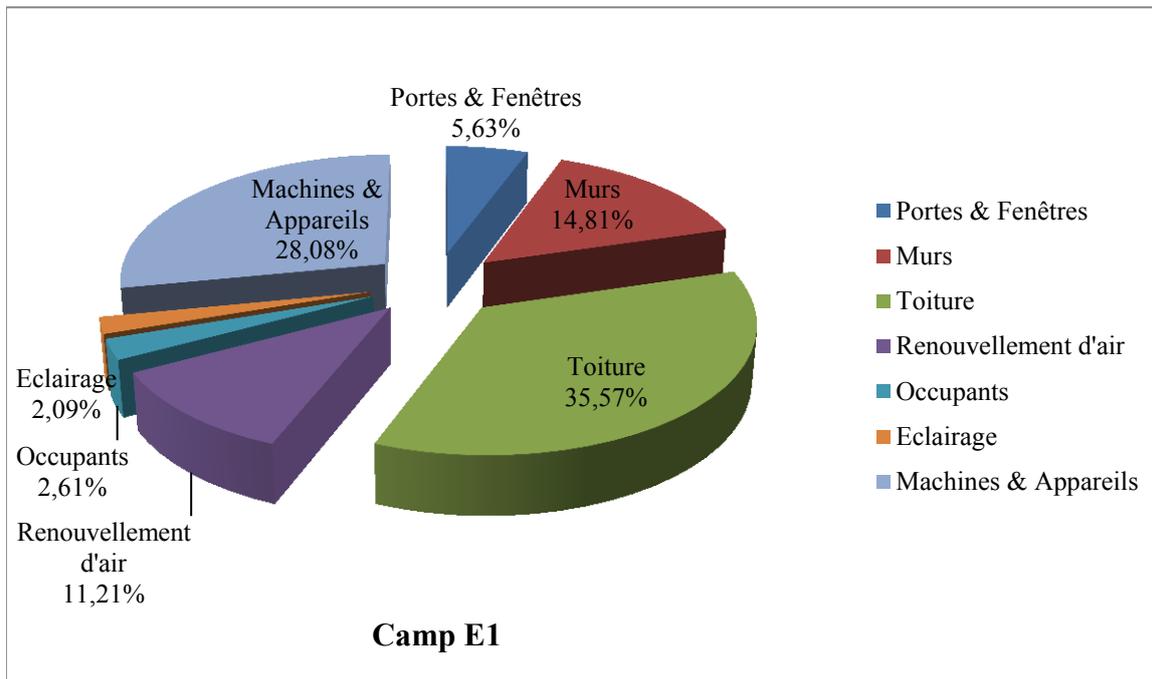
REV	DESCRIPTION	DATE
1	TEL QUE CONSTRUIT	01/11/05-27
A	PRIMARY	12/06/10

IAMGOLD ENGINEERING & CONSTRUCTION		
CONQU	T. GASTON	12-06-10
DESIGN	V. DOSSOU	12-06-10
VERIFIE	T. GASTON	12-06-10
APPROUVE	T. GASTON	12-06-10
ECHELLE	As indicated	DATE

PROJECT ESSSAKE S.A.	
EQUIPMENT PLANT EXPANSION 2011 BFES-D	
TITLE CONSTRUCTION OFFICES GENERAL ARRANGEMENT PLAN ELECTRIQUE	

DESSIN NO. 905-E-0005-01			
FORMAT	SECTEUR	DISC	NO. REG.
A1			

ANNEXE 7 : APPORTS THERMIQUES PAR POSTES 'CAMP E1' ET CONSTRUCTION OFFICE



ANNEXE 8 : METHODE DE CALCUL DE LA CONSOMMATION DES CLIMATISEURS

Estimation des coefficients								
Désignation			Coefficient de régulation	Coefficient de marche	Temps de marche (h/jr)	Temps total de marche (h/jr)	Gain journalier (h/jr)	
Camp E1	Avant-projet	Jour	0.8	0.8	7.68	16.32	5.76	
		Nuit		0.9	8.64			
	Après projet	Jour		0.2	1.92	10.56		
		Nuit		0.9	8.64			
Construction office	Avant-projet	Jour		0.9	8.64	15.36		6.72
		Nuit		0.7	6.72			
	Après projet	Jour		0.7	6.72	8.64		
		Nuit		0.2	1.92			

ANNEXE 9 : DETAILS DES CALCULS DE CONSOMMATION D'ELECTRICITE CAMP E1

A) Eclairage

CHARGES	Puissance unitaire (W)	Nombre	Durée d'utilisation (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO2 _{éq} /an)
Eclairage					
Luminaire fluorescent plafond	40	35	2	1 022,00	636,71
Luminaire fluorescent Mural	15	32	2	350,40	218,30
Luminaire de douche	16	32	1	186,88	116,43
Veilleuse	15	32	2	350,40	218,30
Luminaire extérieur	16	12	12	840,96	523,92
Total				2 750,64	1 713,65

B) Climatisation

Charges	Puissance unitaire (W)	Nombre de Climatiseur	Durée d'utilisation (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO2 _{éq} /an)
Climatisation					
Chambre type (1 à 4)	1320	32	16,32*	251 615,23	156 756,29
Salle Electrique	1320	2	16,32	15 725,95	9 797,27
Extracteur d'air	50	32	1	584,00	363,83
Total				267 925,18	166 917,39

* Durée de fonctionnement estimée des climatiseurs avant le projet (Annexe 8)

C) Autres équipements électriques

Charges	Puissance unitaire (W)	Nombre	Durée d'utilisation (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO ₂ éq/an)
Autres Equipements Electriques					
Réfrigérateur	400	32	14,4	67 276,80	41 913,45
TV	200	32	1,5	3 504,00	2 182,99
Micro-ordinateur	65	32	1	759,20	472,98
Total				71 540,00	44 569,42

D) Eau chaude sanitaire

Charges	Puissance unitaire (W)	Nombre	Durée d'utilisation (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO ₂ éq/an)
ECS					
Ballon électrique de 250 L	3000	4	12	52 560,00	32 744,88

ANNEXE 10 : DETAILS DES CALCULS DE CONSOMMATION D'ELECTRICITE CONSTRUCTION OFFICE

A) Eclairage

CHARGES	Puissance unitaire (W)	Nombre	Durée d'utilisation (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO ₂ éq/an)
Eclairage					
Luminaires fluorescents	40	134	24	46 953,60	29 252,09
Luminaires Muraux	16	9	12	630,72	392,94
Total				47 584,32	29 645,03

B) Climatisation

Charges	Puissance unitaire (W)	Nombre de Climatiseur	Durée d'utilisation (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO ₂ éq/an)
Climatisation					
Salle BAOBAB	2600	4	15,36*	58 306,56	36 324,99
Salle LAGM TAABA	1500	3	15,36	25 228,80	15 717,54
Bureau Directeur du Projet	1320	1	15,36	7 400,45	4 610,48
	2500	1	15,36	14 016,00	8 731,97
Bureau des Stagiaires	1320	4	15,36	29 601,79	18 441,92
Espace Consultant	1500	1	15,36	8 409,60	5 239,18
Salle Electrique (1&2)	1320	2	15,36	14 800,90	9 220,96
Toilette Men	1500	1	15,36	8 409,60	5 239,18
Salle à Plan	1500	1	15,36	8 409,60	5 239,18
Magasin MBA	1320	1	15,36	7 400,45	4 610,48
Les bureaux de (1 à 41)	1320	26	15,36	192 411,65	119 872,46
Extracteur d'air	1320	3	24	34 689,60	21 611,62
Total				409 084,99	254 859,95

* Durée de fonctionnement estimée des climatiseurs avant le projet (Annexe 8)

A) Eau chaude sanitaire

Charges	Puissance unitaire (W)	Nombre	Durée d'utilisation (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO ₂ eq/an)
ECS					
Ballon électrique de 50 L	1500	1	12	6 570,00	4 093,11

B) Bureautique

 fonctionnement normal

CHARGES	Puissance unitaire (W)	Nombre	Durée d'utilisation (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO ₂ eq/an)
Bureautique					
Imprimante HP Designjet T1300	120	1	1	43,8	27,29
Imprimante Canon iR3225N	1350	1	2	985,5	613,97
Imprimante Canon C2020L	1500	1	2	1095	682,19
Imprimante Canon 4025i	1500	1	2	1095	682,19
Micro-ordinateur	65	9	10	2135,25	1 330,26
Ordinateur de Bureau	160	72	10	42048	26 195,90
Total				47 402,55	26 837,16

 fonctionnement en veille

CHARGES	Puissance unitaire en veille (W)	Durée en veille (h/jr)	Durée en attente (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO ₂ eq/an)
Bureautique					
Imprimante HP Designjet T1300	26	22,5	0,5	218,27	135,98
Imprimante Canon iR3225N	1,5	21,5	0,5	12,05	7,50
Imprimante Canon C2020L	1,5	21,5	0,5	12,05	7,50
Imprimante Canon 4025i	1	21,5	0,5	8,03	5,00
Micro-ordinateur	1,8	14		82,78	51,57
Ordinateur de Bureau	4,5	14		1 655,64	1 031,46
Total				1 885,96	1 239,03

C) Equipements électroménagers

Charges	Puissance unitaire (W)	Nombre	Durée d'utilisation (h/jr)	Consommation annuelle (kWh/an)	Emission GES (kg CO ₂ eq/an)
Equipements Electroménagers					
Réfrigérateur	400	1	14,4	2 102,40	1 309,80
Distributeur automatique boisson	1000	1	24	8 760,00	5 457,48
Sèche main automatique	1350	2	1	985,50	613,97
Fontaine	550	1	24	4 818,00	3 001,61
Bouilloire	2200	1	2	1 606,00	1 000,54
Total				18 271,90	11 383,39

**ANNEXE 11 : CONSOMMATION APRES PROJET CAMP E1 ET CONSTRUCTION
OFFICE**

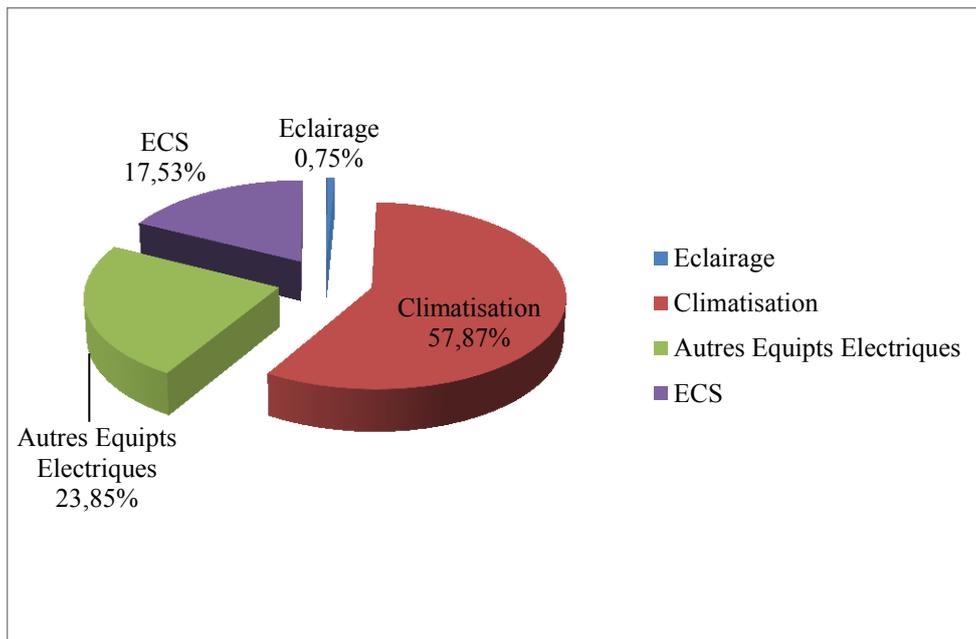
Détails des consommations	Energie finale (kWh/an)	Energie primaire (kWhEP/an)	Coût de la consommation (\$/an)	Emission GES (kg CO2éq/an)
Eclairage	2 239,64	5 778,27	685,33	1 395,30
Climatisation	173 569,47	447 809,24	53 112,26	108 133,78
Autres Equipements Electriques	71 540,00	184 573,20	21 891,24	44 569,42
ECS	52 560,00	135 604,80	16 083,36	32 744,88
Total annuel	299 909,11	773 765,51	91 772,19	186 843,38

Camp E1

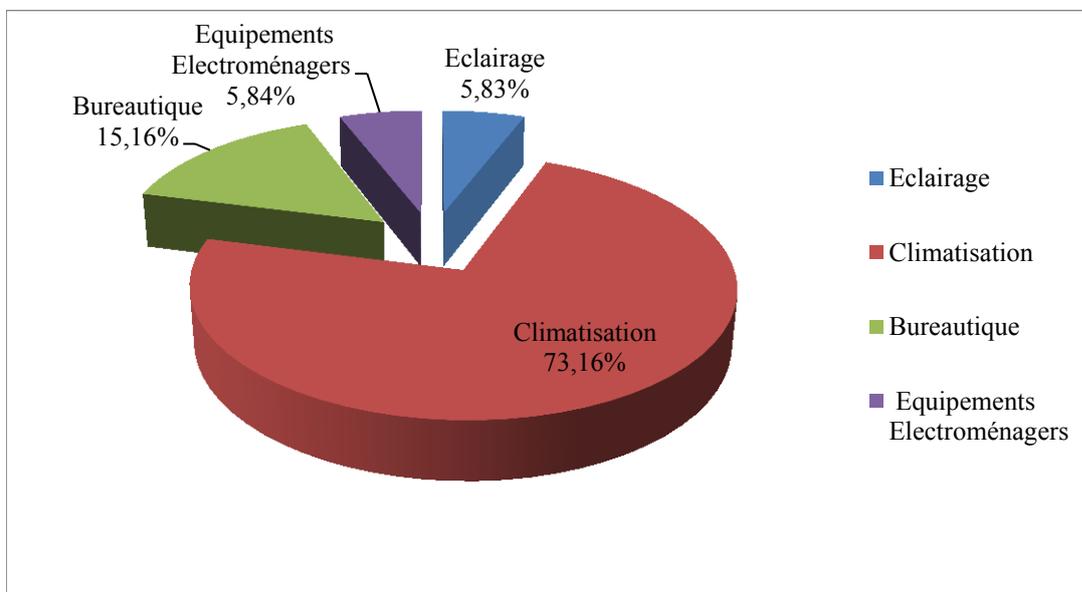
Détails des consommations	Energie finale (kWh/an)	Energie primaire (kWhEP/an)	Coût de la consommation (\$/an)	Emission GES (kg CO2éq/an)
Eclairage	18 238,32	47 054,87	5 580,93	11 362,47
Climatisation	228 762,14	590 206,33	70 001,22	142 518,82
Bureautique	47 402,55	122 298,58	14 505,18	26 837,16
Equipements Electroménagers	18 271,90	47 141,50	5 591,20	11 383,39
Total annuel	312 674,91	806 701,28	95 678,52	192 101,84

Construction office

ANNEXE 12 : REPARTITION APRES PROJET DE LA CONSOMMATION



Camp E1



Construction office

ANNEXE 13 : MASTER LEDTUBE GA110 1200 MM 19W 850 L



MASTER LEDtube GA

MASTER LEDtube GA110 1200mm 19W 865 I

La lampe Philips MASTER LEDtube intègre une source LED dans un corps à l'aspect dépoli qui reprend les dimensions des lampes fluorescentes linéaires classiques. La nouvelle lampe offre des couleurs de lumière naturelles et une consommation énergétique du système de 22 W lorsqu'elle remplace les lampes TL-D 36 W avec un ballast électromagnétique. Le résultat ? Des économies d'énergie qui peuvent atteindre 50 %. La durée de vie élevée du produit et son maintien lumineux exceptionnel réduisent la fréquence de remplacement des lampes et les coûts de maintenance.

Données du produit

• Caractéristiques Générales

Culot	G13
Durée vie 70% flux lumineux	40000 hr

• Caractéristiques techn. de lumière

Code couleur	865
Température d couleur corrélée	6500 K
Flux lumineux	1650 Lm
Indice de rendu des couleurs	83

• Caractéristiques électriques

Puissance en Watts	19 W
Tension	100-240 V
Facteur de puissance	0.9 (min) -

• Caractéristiques de température

T-case maximum	62 (max) C
Température de fonctionnement	-30 (min), 45 (max) C
T de stockage	-40 (min), 65 (max) C

• Dimensions en mm.

Longueur A1	1198.0 mm
Distance de fix. entre 2 trous	1205.0 mm

Longueur A3	1212.0 mm
Diamètre D1	25.68 mm
Dimensions tot. circulaires	28 mm

• Approval & Application Chars

Marquage VDE	Yes
CE marking	Yes
Certification UL	No
RoHS compliance	Yes
KEMA Keur certificate	Yes

• Données produit

Code commercial	238461 00
Code produit EOC	871829123846100
Nom produit	MASTER LEDtube GA110 1200mm 19W 865 I
Désignation	MST LEDtube GA110 1200mm 19W 865 I
Pièces par pack	1
Config. Emballage	10
Packs par carton	10
Code barre produit	8718291238461
Code barre carton regroup.	8718291238478
Code usine	929000296001
Poids net unitaire	0.360 kg



PHILIPS
sense and simplicity

ANNEXE 14 : BUSCH-GUARD PRESENCE TECH DUALLINE KNX



Busch-Guard Présence tech DualLINE KNX ^{1) 2)}

Avec coupleur de bus intégré KNX.
 Pour varier et régler la luminosité jusqu'à une valeur prédéfinie.
 Fonction HVAC, commutation jusqu'à 2 canaux de chauffage, de climatisation ou de ventilation.
 Régulation constante de la lumière sur 2 canaux.
 Variation et régulation de la lumière sur max. 2 canaux en fonction de la luminosité dans la pièce.
 Commutation de la lumière sur 2 canaux.
 Commutation de la lumière sur max 2 canaux en fonction de la luminosité dans la pièce.
 10 canaux IR librement programmable (bleu et/ou blanc)
 Inclus 10 fonctions logiques (scène, séquence, fonction logique, etc...)
 Pondération possible à partir de 2 valeurs de luminosité externe et de la sonde interne.
 Zone de détection (avec hauteur de montage 2,5 m) : circulaire, 8 m de diamètre.
 Densité de surveillance : 72 secteurs avec 640 segments de commutation.
 Valeur seuil de luminosité: 1 Lux - 1000 Lux
 Hauteur de montage: 2 m - 8 m
 Degré de protection appareil: IP 20
 Plage de température appareil: -5 °C jusqu'à 45 °C
 Dimensions (H x l x P): 110 mm x 51 mm

NOUVEAU

6131/11-24-500 6132-0-0299 1/10



Gamme Busch-Guard Présence tech KNX
 Gamme Busch-Guard Présence tech DualLINE KNX

- Détection de mouvements sur 2 canaux pour la commutation de l'éclairage constant (mesure constamment la luminosité, même en cas de captage de mouvements)
- Coupleur de bus intégré
- Commutateur d'éclairage constant 2 canaux pour commutation sur un canal et régulation sur l'autre canal**
- Fonction HVAC**
- Comparaison de luminosités externes**
- Canaux IR librement programmables**
- Fonction logique**

1) Si nécessaire, vous pouvez télécharger les fonctions programmables depuis le descriptif des applications de notre centre d'assistance technique sur internet .
 2) HVAC = chauffage, climatisation, ventilation

ANNEXE 15 : LISTE DES NORMES ISO QUI TRAITENT DE L'AMBIANCE THERMIQUE

	<i>Norme</i>	<i>Titre</i>
Ambiance modérée	NF EN ISO 7730	Ergonomie des ambiances thermiques -- Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local (2005)
	NF EN ISO 10551	Ergonomie des ambiances thermiques – Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelles de jugements subjectifs (Juin 2001)
	ISO 13732-2	Ergonomie des ambiances thermiques - Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces -- Partie 2: Contact humain avec des surfaces à température modérée (2001)
Ambiance chaude	ISO 7243 (NF EN 27243)	Ambiances chaudes – Estimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT (température humide et de globe noir), (Février 1994)
	ISO 7933 (NF EN 12515)	Ambiances thermiques chaudes – Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise (Septembre 1997)
	ISO 13732-1	Ergonomie des ambiances thermiques - Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces -- Partie 1: Surfaces chaudes
Ambiance froide	ISO 11079	Évaluation des ambiances froides -- Détermination de l'isolement requis des vêtements (1993)
	ISO 13732-3	Ergonomie des ambiances thermiques - Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces -- Partie 3: Surfaces froides (2005)
Normes de support	NF EN ISO 11399	Ergonomie des ambiances thermiques – Principes et application des Normes internationales pertinentes (Mars 2001)
	NF EN ISO 7726	Ergonomie des ambiances thermiques – Appareils de mesure des grandeurs physiques (Janvier 2002)
	NF EN ISO 9886	Evaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques (Juin 2001)
	ISO 8996 (NF EN 28996)	Ergonomie – Détermination de la production de la chaleur métabolique (Février 1994)
	NF ISO 9920	Ergonomie des ambiances thermiques – Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire (Juin 1995)
	NF EN ISO 12894	Ergonomie des ambiances thermiques – Surveillance médicale des personnes exposées à la chaleur ou au froid extrêmes (Septembre 2001)
	NF EN ISO 13731	Ergonomie des ambiances thermiques – Vocabulaire et symboles (Mars 2002)