



**ÉTUDE DE FAISABILITÉ DÉTAILLÉE DU PROJET
D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE AU SEIN DE
L'ENTREPRISE NOUVELLE SOTOTOLES-SA AU TOGO**

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU

**DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2iE AVEC LE GRADE DE MASTER, SPÉCIALITÉ
GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE**

Présenté et soutenu publiquement le 29 juin 2017

par :

M. Hervis NYOUWA

Travaux dirigés par :

Dr. Daniel YAMEGUEU N. :

Chef du Laboratoire Énergie Solaire et
Économie d'Énergie à 2iE

M. Honoré Patrice TOE :

Expert agrée près les Cours et Tribunaux du
Burkina Faso, Directeur Général du cabinet
I.C.B.

Jury d'évaluation du stage :

Président : Prof. Yézouma COULIBALY

Membres et correcteurs : Dr. Marie SAWADOGO
Dr. Daniel YAMEGUEU N.
M. Honoré Patrice TOE

Promotion [2015/2016]

ÉPIGRAPHE

*« L'on est libre de travailler, mais le travail est
un devoir pour le développement »*

Barthelemi BOGANDA

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire de fin d'études :

À ma chère Maman Émilienne NGUEMEN, pour le soutien inestimable qu'elle nous offre ;

À mes frères : M. Roméo D. KANYOU et M. Rigobert TCHOUTOU N., pour leurs encouragements et l'aide qu'ils m'ont apportés tout au long de cette formation ;

À ma sœur Mlle Élise F. MOUKO, pour ses encouragements.

REMERCIEMENTS

Il est indéniable, notre prospérité et notre évolution jusqu'ici dépend en partie de plusieurs personnes dont je tiens ici à témoigner ma gratitude.

Je pense à la Direction Générale de 2iE et à tout le corps enseignant, pour la formation de qualité qu'ils m'ont inculquée ;

Je tiens à remercier tout particulièrement Monsieur Honoré Patrice TOE, directeur du cabinet I.C.B - SARL, de m'avoir accepté en qualité de stagiaire dans son cabinet ;

Je tiens également à remercier M. Sanari FORO, Directeur Technique d'I.C.B, pour sa grande disponibilité et ses conseils avisés ;

J'adresse mes vifs remerciements à mon directeur de mémoire Dr. Daniel YAMEGUEU pour ses précieux conseils et son orientation tout au long de ce stage ;

Je remercie vivement les membres du jury, pour leur disponibilité à juger, à apprécier, et à examiner ce travail ;

Je remercie chaleureusement M. Alimou A. TCHA-COROUDOU et M. Dafoura P. MILLOGO, pour leurs conseils et l'aide qu'ils m'ont apportée durant ces mois en entreprises.

Le stage en entreprise n'est pas seulement pour la rédaction du mémoire de fin d'études, c'est aussi pour nous l'occasion de faire la rencontre des personnes formidables. J'adresse mes sincères remerciements à tout le personnel de la société ICB pour l'aide régulière qu'il m'a apportée tout au long de ce stage ;

Nous ne saurons oublier de remercier la promotion Master Génie Électrique et Énergétique 2015-2016 pour leur soutien permanent, en particulier M. Clovis BOUNOU, Mlle. Esther G. MVOMO N., M. Leonel NANA D., M. Wilfried OSSOGO K., M. Zéphyrin M. NGOUJOU K. ;

Les remerciements les plus importants vont à ma famille à qui je dois beaucoup et à Mlle Michelle DEUGA pour leur amour et leur soutien permanent ;

Que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce mémoire trouvent à travers celui-ci l'expression de ma parfaite reconnaissance.

RÉSUMÉ

Ce travail réalisé au sein de l'entreprise Nouvelle SOTOTOLES-SA au Togo avait pour objectif global de faire une étude de faisabilité détaillée du projet d'efficacité énergétique et d'énergie renouvelable de ladite entreprise. Cette étude entre dans le cadre de la mise en œuvre du programme SUNREF Afrique de l'Ouest développé par l'AFD, avec le soutien financier de l'UE et du FFEM.

L'étude a permis grâce à un diagnostic des installations et des récepteurs électriques de déceler les irrégularités et de proposer les mesures de réaménagement.

Ensuite, elle a permis d'identifier un potentiel d'économie :

- d'énergie primaire de 1 991,08 MWh par année. Les solutions proposées sont le remplacement des fours énergivores par des fours bicom bustibles plus performants, et la substitution du fioul lourd par le GPL ;
- d'énergie électrique de 141,31 MWh par année. La solution proposée est le remplacement des lampes conventionnelles par des lampes plus économiques (LEDs).

Enfin, l'étude a permis :

- par le biais d'une analyse des factures d'électricité et le bilan de puissance de l'installation réaménagée de recommander une réduction de la puissance souscrite de SOTOTOLE 2 de 500 kVA à 300 kVA. Cette action devra permettre de réaliser une économie annuelle de 7 080 000 FCFA ;
- de dégager les indicateurs clés qui satisfont aux exigences SUNREF. Pour un investissement de 339 359 534 FCFA, le projet générera 53,39 % d'économie d'énergie, 60,21 % d'économie financière, une VAN (10 %) de 563 028 534 FCFA sur 20 années, un Temps de Retour sur Investissement de 4 années, un TRI de 29,4 %, un indice de profitabilité (10 %) de 1,66 et permettre d'éviter l'émission de 587,14 tonnes de CO₂ par année.

Mots Clés :

- 1 – Audit énergétique ;
- 2 – Améliorations ;
- 3 – Efficacité énergétique ;
- 4 – Energies durables ;
- 5 – Nouvelle SOTOTOLES-SA.

ABSTRACT

This work completed within the Nouvelle SOTOTOLES-SA company in Togo had the overall objective to make a feasibility study of the project of energy efficiency and renewable energy in this company. This study takes part in the implementation of the SUNREF West Africa program developed by the AFD, with financial support of the EU and FFEM.

The study allowed us, thanks to a diagnosis of the installations and electric receptors, to detect the irregularities and propose remedial measures.

Then, it made possible to identify the economic potential:

- Of primary energy of 1,991.08 MWh per year. The solutions proposed is the replacement of energy-intensive furnace with more efficient dual-fuel furnace and the substitution of heavy fuel by the LPG;
- Of electrical energy of 141.31 MWh per year. The proposed solution is the replacement of conventional lamps with more economical LEDs.

Finally, this study allowed us to:

- By means of an analysis of the electricity bills and the power balance of the refurbished plant, to recommend a reduction in the subscribed power of SOTOTOLE 2 from 500 to 300 kVA. This action help to save CFAF 7,080,000 per year;
- Give off the key indicators which satisfy SUNREF requirements. For an investment of CFAF 339,359,534, the project will generate 53.39% energy savings, 60.21% financial savings, NPV (10%) of CFAF 563,028,534 over 20 years, Return on Investment of 4 years, an IRR of 29.4%, an index of profitability (10%) of 1.66 and avoid the emission of 587.14 tons of CO₂ per year.

Key words:

-
- 1 – Energy audit;
 - 2 – Improvement;
 - 3 – Energy efficiency;
 - 4 – Sustainable energy;
 - 5 – Nouvelle SOTOTOLES-SA.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2iE : Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie.

AFD : Agence Française de Développement.

CEDEAO : Communauté Économique des Etats de l'Afrique de l'Ouest.

CEET : Compagnie d'Énergie Électrique du Togo.

CO₂ : Dioxyde de Carbone.

EE : Efficacité Énergétique.

EEEOA : système d'Échanges d'Énergie Électrique Ouest Africain.

EnR : Énergie Renouvelable.

FCFA : Franc des Colonies Françaises d'Afrique.

FFEM : Fond Français pour l'Environnement Mondial.

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié.

ICB : Cabinet d'Ingénierie et de Contrôle du Burkina.

ISO : International Standard Organization.

LED : Light Emitting Diode.

N.S-SA : Nouvelle SOTOTOLES Société Anonyme.

PCI : Pouvoir Calorifique Inferieur.

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur.

PV : Photovoltaïque.

SARL : Société À Responsabilité Limitée.

SUNREF : Sustainable Use of Natural Resources and Energy Finance.

TRI : Taux de Rentabilité Interne.

TTC : Toutes Taxes Comprises.

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée.

UE : Union Européenne.

UEMOA : Union Économique et Monétaire Ouest-Africaine.

VAN : Valeur Actuelle Nette.

Système International d'unités

Nomenclature	Désignation	Unité
E	Éclairement	Lux
F	Flux lumineux	lu (Lumen)
I	Intensité	A (Ampère)
P	Puissance active	W (Watt)
Q	Puissance réactive	Var (Voltampère réactif)
Q	Énergie	MWh (Méga Wattheure) ; cal (calories) ; J (Joule)
S	Puissance apparente	VA (Voltampère)
T	Temps	s (Seconde)
T	Température	°K (Kelvin) ; °C (Celsius)
U	Tension	V (Volt)

SOMMAIRE

ÉPIGRAPHE.....	i
DÉDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
RÉSUMÉ.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABRÉVIATIONS	vi
SOMMAIRE	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
LISTE DES FIGURES	xiii
Introduction	1
I. Objectifs du projet et structure d'accueil	3
I.1. Contexte et problématique.....	3
I.2. Objectifs de l'étude.....	3
I.3. Résultats attendus	4
I.4. Méthodologie de l'étude	4
I.5. Hypothèses.....	5
I.6. Outils de travail	6
I.7. Normes applicables.....	6
I.8. La structure d'accueil	7
II. SITUATION ÉNERGÉTIQUE DE SOTOTOLE 2.....	9
II.1. Présentation des activités de la Nouvelle SOTOTOLES-SA	9
II.1.1. Généralité	9
II.1.2. Process de fabrication.....	10
II.2. Analyse des consommations énergétiques	12
II.2.1. La consommation d'électricité	12
II.2.2. La consommation de carburant	14
II.3. Sources d'approvisionnement en énergies et Équipements.....	15
II.3.1. Les sources d'approvisionnement en énergies	15
II.3.2. Les principaux équipements.....	16
II.4. Synthèse de l'énergie totale consommée.....	17
III. Évaluation technologique des fours et de l'éclairage.....	19

III.1. Évaluation technologique des fours 1 et 2 de SOTOTOLES 2	19
III.1.1. Définition [6].....	19
III.1.2. Description des fours à fioul lourd 1 et 2 de SOTOTOLES 2	19
III.1.3. Les paramètres électriques	20
III.1.4. Consommation annuelle du groupe électrogène [7].....	21
III.1.5. Consommation annuelle des fours 1 et 2	22
III.1.6. Consommation spécifique de carburant (anciens fours)	22
III.1.7. Conclusion et Proposition d'amélioration.....	22
III.1.8. Caractéristiques des nouveaux fours	23
III.2. Évaluation technologique de l'éclairagisme à SOTOTOLES 2	24
III.2.1. Description de l'installation	24
III.2.2. Conclusion et Proposition d'amélioration.....	25
III.2.3. L'éclairagisme	25
III.2.4. Caractéristiques des nouveaux équipements électriques.....	26
IV. Évaluation économique des fours et de l'éclairage.....	27
IV.1. Évaluation économique des fours.....	27
IV.1.1. Coût d'acquisition des fours bicom bustibles et de la station de GPL	27
IV.1.2. Exploitation des nouveaux fours	28
IV.1.3. Évaluation de la rentabilité financière.....	30
IV.1.4. Comparaison des Variantes	31
IV.1.5. Conclusion partielle.....	32
IV.2. Évaluation économique d'éclairagisme à SOTOTOLES 2	33
IV.2.1. Cout d'acquisition des lampes économiques aux LEDs	33
IV.2.2. Coût de revient et énergétique du remplacement des lampes intérieures et extérieures	33
IV.2.3. Évaluation de la rentabilité.....	35
IV.2.4. Comparaison des scénarios	36
IV.2.5. Conclusion partielle.....	37
V. Aspect environnemental	39
V.1. Rappel sur la combustion du fioul lourd et du GPL	39
V.2. Exploitation des nouveaux fours	40
V.2.1. Exploitation des fours au fioul lourd (Variante 1)	40
V.2.2. Exploitation des fours au GPL (Variante 2).....	40

V.2.3. Comparaison et conclusion partielle	40
V.3. Éclairagisme	41
V.3.1. Éclairage intérieur des usines F et G	41
V.3.2. Éclairage extérieur des usines F et G	41
VI. Synthèse des résultats	42
VI.1. Les économies d'énergies liées à chaque mesure.....	42
VI.2. Rentabilités financières liées à chaque mesure.....	43
VI.3. Les émissions de CO ₂ évitées par chaque mesure	44
VI.4. Synthèse des résultats	44
VI.5. Facturation après les améliorations	45
VI.5.1. Évolution des consommations.....	45
VI.5.2. Après optimisation	46
VI.5.3. Résultat.....	46
VII. Conclusion et recommandation	47
VII.1. CONCLUSION	47
VII.2. RECOMMANDATION	48
Références bibliographiques	50
ANNEXES	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : L'énergie électrique mensuelle consommée par SOTOTOLES 2	12
Tableau 2 : Consommation de fioul lourd en 2014 et ratio de ventilation.....	14
Tableau 3 : Consommation de fioul lourd en 2015	15
Tableau 4 : Répartition de la puissance foisonnée	17
Tableau 5 : Caractéristiques du fioul lourd et du GPL.....	17
Tableau 6 : Synthèse de l'énergie consommée	17
Tableau 7 : Répartition du volume disponible par unité de production	22
Tableau 8 : État des lieux	24
Tableau 9 : Tableau des d'équivalences entre luminaires.....	26
Tableau 10 : Coût de revient et énergétique de la variante 1	28
Tableau 11 : Coût de revient et énergétique de la variante 2	29
Tableau 12 : Rentabilité financière de la variante 1	30
Tableau 13 : Rentabilité financière de la variante 2.....	31
Tableau 14 : Coût de revient et énergétique du remplacement des lampes intérieures.....	33
Tableau 15 : Coût de revient et énergétique du Scénario 1.....	34
Tableau 16 : Coût de revient et énergétique du Scénario 2.....	35
Tableau 17 : Rentabilité financière du remplacement des lampes intérieures	35
Tableau 18 : Rentabilité financière du Scénario 1	36
Tableau 19 : Rentabilité financière du Scénario 2	36
Tableau 20 : Émission des différents combustibles en kg de CO ₂ /l de combustibles.....	39
Tableau 21 : Récapitulatif des économies d'énergies	42
Tableau 22 : Récapitulatif des économies financières	43
Tableau 23 : Récapitulatif des économies de CO ₂	44
Tableau 24 : Indicateurs énergétiques et économiques des deux mesures.....	44
Tableau 25 : Économie annuelle réalisée par la SOTOTOLE 2	46
Tableau 26 : Données pour études de facturation du site de SOTOTOLE 2	III
Tableau 27 : Les constantes de la facture.....	IV
Tableau 28 : Tarification moyenne tension de la CEET	IV
Tableau 29 : Consommation de fioul lourd de SOTOTOLE 1 en 2014.....	V
Tableau 30 : Consommation de fioul lourd de SOTOTOLE 2 en 2014.....	V
Tableau 31 : Consommation de fioul lourd de SOTOTOLE 3 en 2014.....	V

Tableau 32 : Consommation moyenne mensuelle d'énergie électrique de SOTOTOLE 2	VI
Tableau 33 : Coût d'acquisition des lampes internes	XV
Tableau 34 : Coût d'acquisition des lampes externes (Scénario 1).....	XV
Tableau 35 : Coût d'acquisition des lampes externes (Scénario 2).....	XV
Tableau 36 : Conditions d'éligibilité au programme SUNREF	XX

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue de face de l'usine F de SOTOTOLE 2	11
Figure 2 : Vue de face de l'usine G de SOTOTOLE 2	11
Figure 3 : Répartition moyenne de la facture SOTOTOLE 2 / mois	13
Figure 4 : Profil de puissance apparente maximale appelée	14
Figure 5 : Schéma synoptique de l'installation	16
Figure 6 : Répartition des consommations d'énergies dans SOTOTOLE 2	18
Figure 7 : Répartition des coûts d'énergies utilisées dans SOTOTOLE 2	18
Figure 8 : Vue du four à fioul lourd N°1	20
Figure 9 : Vue du four à fioul lourd N°2	20
Figure 10 : Une vue des lampes	24
Figure 11 : Flux cumulés en fonction du temps	31
Figure 12 : VAN et Indice de profitabilité en fonction du taux d'actualisation.....	32
Figure 13 : Flux cumulés en fonction des années	36
Figure 14 : Tracer de la VAN en fonction du taux d'actualisation	37
Figure 15 : Répartition moyenne de la facture SOTOTOLE 2 / mois	46
Figure 16 : Quelques produits fabriqués par la Nouvelle SOTOTOLE [14]	I
Figure 17 : Schéma de calcul du coût de revient.....	XVI
Figure 18 : Schéma de calcul du Cash-flow ou Flux de trésorerie	XVI
Figure 19 : Caractéristiques du DLIOIL0270F1T3A.....	XXII
Figure 20 : Caractéristiques du DLIOILH0135F1T3A.....	XXII
Figure 21 : tête-de-lampadaire	XXIII
Figure 22 : Mât tubulaire pour tête-de-lampadaire	XXIII
Figure 23 : Villa LED BDP765 T25 1	XXIV

INTRODUCTION

Le développement économique et social des pays de l'UEMOA est entravé par une crise croissante de l'énergie, caractérisée par un accès limité aux services énergétiques modernes, abordable et fiable. Dans un tel contexte, la promotion de l'efficacité énergétique (EE) et des énergies renouvelables (EnR) est essentielle pour appuyer la croissance du secteur privé des pays de la zone. C'est la raison pour laquelle l'Agence Française de Développement (AFD) en partenariat avec l'Union Européenne (UE) et le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM), ont mis en place depuis octobre 2014, une facilité de promotion de l'énergie durable pour les entreprises et les particuliers en Afrique de l'Ouest dénommé Projet SUNREF Afrique de l'Ouest.

Il s'agit d'une ligne de crédit concessionnelle d'une durée de 3 années, mise à la disposition des banques partenaires par l'AFD pour un montant maximum de 30 millions d'euros en vue de financer des investissements d'efficacité énergétique et d'énergie renouvelable dans les secteurs industriel, commercial et résidentiel. Les banques partenaires (essentiellement des banques commerciales nationales, panafricaines ou internationales) financent des projets destinés à réduire la consommation d'énergie ou à produire de l'énergie à partir de sources renouvelables pour l'autoconsommation ou la revente à des tiers.

Ces initiatives vont permettre aux entreprises d'acquérir des équipements de meilleure qualité, de faire des économies, d'accroître leur compétitivité grâce à une meilleure gestion de l'énergie et de réduire leurs impacts sur l'environnement.

L'étude que nous avons réalisée dans ce mémoire est organisée en sept (7) parties.

Dans la première partie, après avoir présenté le contexte, la problématique de l'étude, les objectifs de l'étude et les résultats attendus, un accent est mis sur la structure d'accueil. Notre travail portant sur la détermination des indicateurs clés qui facilitent la prise des décisions technique et financière, une attention particulière a été réservée aux normes, matériels et méthodes.

La deuxième partie présente notamment les analyses des factures d'électricité et les différentes suggestions permettant de réaliser les économies financières. Ensuite, le bilan de puissance de l'installation est réalisé, ce qui nous permettra de déceler les appareils énergivores. Ensuite, chaque source d'énergie entrant dans le système sera quantifiée étant donné que l'entreprise utilise l'énergie électrique et l'énergie primaire pour le fonctionnement des

équipements sur sa ligne de production. Enfin une petite étude sur les équipements à diagnostiquer qui nous permet de trouver les facteurs d'émission.

La troisième partie présente l'état actuel des fours et de l'éclairage du site, les indications sur quelques paramètres de fonctionnement (Tension, températures, fréquence et Puissances). Cette étude débouche sur le calcul des consommations annuelles de fioul lourd du groupe électrogène et des fours. Ces informations par la suite nous permettons de proposer un four bicom bustible fioul/gaz plus performant et des lampes économiques aux LEDs.

Dans la quatrième partie, les différentes variantes de fonctionnement ainsi que les indicateurs clés de prise de décision (VAN, TRI, Indice de profitabilité, Temps de Retour sur Investissement) sont évalués.

Connaissant d'une part les facteurs d'émission par kilowattheure d'électricité consommée, de fioul lourd et de gaz, d'autre part les volumes de fioul lourd, de gaz et la quantité totale d'énergie consommée, nous avons calculé les réductions des émissions de dioxyde de carbone (CO₂). Ces calculs sont effectués dans la cinquième partie.

Enfin, les résultats de ces derniers calculs qui font l'objet de la partie 6 nous permettront de conclure et de faire les recommandations dans la partie 7.

I. OBJECTIFS DU PROJET ET STRUCTURE D'ACCUEIL

I.1. Contexte et problématique

La facture d'énergie des entreprises représente une part importante de leur coût de production. Lorsque celle-ci n'est pas maîtrisée, cela peut constituer un handicap pour leur développement. L'utilisation rationnelle de l'énergie permet d'une part de diminuer la facture énergétique des entreprises et d'autre part, de disposer pour ce qui est de l'électricité de plus d'énergie sur le réseau pour les autres utilisateurs, dont les ménages.

Parmi les activités prévues par le programme SUNREF Afrique de l'Ouest, les études de faisabilité détaillées pour la promotion de l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables occupent une place importante, notamment à travers le déploiement du fonds d'aide à la préparation des projets (FAPP). Les études de faisabilité détaillées seront réalisées auprès des entreprises sélectionnées par les banques partenaires à la suite de la soumission d'une demande de financement.

Pour les projets d'amélioration de l'efficacité énergétique, il s'agit essentiellement de conduire des audits énergétiques permettant d'appréhender la consommation énergétique de l'entreprise ou d'un bâtiment, de déceler les irrégularités induisant les « gaspillages » d'énergie et de proposer des pistes d'amélioration. L'étude doit permettre, à partir d'un diagnostic énergétique détaillé, de dresser une proposition chiffrée et argumentée de mesures d'économie d'énergie, toutes formes d'énergie confondues, pour permettre au bénéficiaire de décider, en connaissance de cause, des investissements appropriés.

La présente étude vise donc à actualiser l'audit énergétique réalisé sur financement de l'UEMOA en 2013 et préciser la faisabilité technique et financière des mesures d'efficacité énergétique proposées suite au prédiagnostic énergétique réalisé par l'Assistance technique en avril 2015 au profit de l'entreprise SOTOTOLES.

I.2. Objectifs de l'étude

En collaboration avec l'Assistant Technique de SUNREF, la société d'Ingénierie et de Contrôle du Burkina devra accompagner l'entreprise SOTOTOLES du Togo dans la réalisation de l'étude de faisabilité technique et financière détaillée des 2 mesures d'économies d'énergie identifiées, en vue de compléter la demande de financement à Orabank Togo, la banque

partenaire. Les 2 mesures ayant retenu l'attention de la Banque partenaire confirmée par la délivrance de la lettre d'intérêt sont :

- ✓ Remplacement des fours n° 1 et 2 de l'usine F par des fours plus efficaces ;
- ✓ Éclairage efficace des allées de SOTOTOLES 2 par des lampadaires solaires.

L'étude a pour finalité de faciliter la décision d'investissement de l'entreprise SOTOTOLES et se propose de déterminer de manière précise, les indicateurs clés susceptibles de faciliter l'examen de l'éligibilité technique et financière du projet.

I.3. Résultats attendus

En lien avec l'objectif spécifique ci-dessus, les résultats attendus de l'étude sont les suivants :

- ✓ Toutes les options techniques et les mesures proposées ont été décrites avec précision ainsi que les risques associés ;
- ✓ Les investissements requis ont été estimés pour chaque mesure ;
- ✓ Les économies annuelles nettes d'énergie ont été évaluées pour chaque mesure ;
- ✓ La rentabilité économique et financière a été analysée ;
- ✓ La quantité de CO₂ que les mesures retenues permettront d'éviter a été estimée.

I.4. Méthodologie de l'étude

Les étapes suivies pour la réalisation du travail sont les suivantes :

Étape 1 : L'environnement d'études et recherche documentaire

- ✓ Organiser une rencontre avec les responsables de l'entreprise Nouvelle SOTOTOLES, afin qu'ils présentent le cadre d'études et établissent un planning ;
- ✓ Recherche des factures d'électricité ; consultation du livre journal pour quantifier les ressources utilisées.

Étape 2 : Visite de terrain et collecte des données

Une visite guidée a été faite pour nous permettre de :

- ✓ Faire l'inventaire des équipements électriques et la réalisation des campagnes de mesures ;
- ✓ Poser des questions au gestionnaire d'équipements pour recueillir toutes autres données jugées utiles à l'étude.

Étape 3 : Analyse des données et propositions de solutions

L'analyse, le traitement des données, les calculs, leurs interprétations ont permis :

- ✓ D'inventorier et classifier les équipements pour quantifier les ressources utilisées dans le processus ;
- ✓ De proposer pour chaque mesure, des options techniques ;
- ✓ De quantifier les économies d'énergies résultant du réaménagement du système ;
- ✓ D'évaluer l'impact en termes de réduction de gaz polluants pour différentes actions entreprises.

Étape 4 : Élaboration des rapports

Le traitement des données, les interprétations graphiques, les calculs et les analyses ont également permis de présenter les éléments suivants jugés importants pour étude :

- ✓ Le montant des investissements requis selon les mesures retenues ;
- ✓ Le coût global du projet et les coûts éligibles selon les critères du projet SUNREF ;
- ✓ L'évaluation du taux de rentabilité interne selon différents scénarios de taux d'intérêt ;
- ✓ L'évaluation des risques techniques et financiers liés aux actions.

I.5. Hypothèses

Hypothèse 1 : S'applique à la partie IV

- L'étude ne concernera que les économies que l'on peut réaliser sur l'énergie fournie par la CEET et sur la consommation de fioul lourd par les fours 1 et 2 de l'usine F.
- Le nombre d'années (N=10) pour les mesures à court terme et (N=20) pour les mesures à long terme ;
- Le taux d'actualisation considéré est $t_a=10\%$;
- Un (1) euro est considéré égal à 655,957 FCFA.

Hypothèses 2 : S'applique à la partie V.1

- Nous avons considéré que le fioul lourd et le GPL utilisé sont des hydrocarbures de formule brute respective $C_{22}H_{46}$ et $C_{3,5}H_9$ [1] ;
- Combustion complète sans imbrulé ;
- On considère l'air de combustion constitué approximativement en fractions molaires, de 21 % d'oxygène et de 79 % d'azote [2] ;

I.6. Outils de travail

Pour mener à bien cette étude, nous avons eu besoin d'un certain nombre d'outils tel que les appareils de mesures et les logiciels à savoir :

- ✓ **Multimètre** électronique (**DM-2690TU**) pour la mesure des tensions, des intensités et la continuité des circuits ;
- ✓ **Un thermomètre infrarouge AR882 à visée laser** pour la mesure des températures ;
- ✓ **DIALux evo** pour la simulation des niveaux d'éclairage dans les usines ;
- ✓ **XRelais** pour la réalisation du schéma synoptique de l'installation électrique ;
- ✓ **Microsoft Office** pour les notes de calcul et la rédaction du rapport.

I.7. Normes applicables

L'étude est réalisée conformément aux normes internationales européennes en la matière et à la réglementation. Ces références sont :

- ✓ La norme C15-100 traitant de l'exécution et de l'entretien des installations électriques Basse-Tension ;
- ✓ La norme C15-401 relative aux installations des groupes moteurs thermiques générateurs ;
- ✓ NF EN ISO 12185 relative à la mesure de débit volumique et débit massique ;
- ✓ NF EN 12464-1 portant sur l'éclairage intérieur et extérieur des bâtiments tertiaire et d'habitation ;
- ✓ NF EN 15 193 novembre 2007 : Performance énergétique des bâtiments - Exigences énergétiques pour l'éclairage ;
- ✓ La norme ISO 50001 : systèmes de management de l'énergie - exigences et recommandation de mise en œuvre ;
- ✓ La norme C72-000 concernant les règles générales et particulières d'éclairage et leurs accessoires ;
- ✓ La norme C15-520 concernant les canalisations et leurs modes de pose et connexion ;
- ✓ Les documents constructeurs des appareils à installer ;
- ✓ Les prescriptions du distributeur d'énergie électrique « CEET »

I.8. La structure d'accueil

La Société d'Ingénierie et de Contrôle du Burkina (I.C.B) est une Société à Responsabilité Limitée (SARL) de droit burkinabé au capital de 2 000 000 FCFA, créée en 1996 et dont le siège social est à Ouagadougou, en plein centre-ville.

I.C.B-Sarl est un cabinet d'ingénierie avec cinq principaux domaines d'intervention.
À savoir :

- ✓ Les études de projet ;
- ✓ Audits électriques et énergétiques ;
- ✓ Les contrôles techniques ;
- ✓ Le conseil en maintenance ;
- ✓ L'expertise et la formation.

La société I.C.B est aujourd'hui connue sur le plan national et sous-régional pour son expertise très éprouvée. I.C.B intervient dans les secteurs suivants :

- ✓ L'énergie et l'industrie ;
- ✓ Le bâtiment et les travaux publics ;
- ✓ L'hydraulique et les biens de consommation.

En matière d'Ingénierie, I.C.B possède toutes les compétences nécessaires pour fournir des prestations qui s'étendent à toutes les phases du cycle des projets. L'expertise d'I.C.B en maintenance porte surtout sur le conseil. En effet, la défaillance de maintenance de nos industries sous régionales, est très grave et entraîne de nombreuses conséquences en termes de productivité, de coût de production, d'énergie, etc. D'où la justification du conseil en maintenance.

La société possède une longue expérience en matière de contrôle technique permettant de conduire l'ensemble des opérations de vérification d'un équipement technique, d'une installation (ensemble d'équipements) ou d'un chantier afin de s'assurer de leur conformité aux normes réglementaires. Tous nos contrôles se font sur la base des normes internationales dites ISO (International Standard Organization), à moins que des normes nationales ne comportent des dispositions meilleures par rapport à celles-ci. La société réalise trois types d'Expertise : l'expertise judiciaire, l'expertise d'assurances et l'analyse des risques en

amont ou en aval d'un sinistre et l'évaluation de patrimoine. I.C.B dispose d'un personnel permanent comprenant plusieurs cadres (Ingénieurs et techniciens multidisciplinaires) qui interviennent dans tous ses domaines principaux d'intervention. Ce personnel permanent est appuyé par un réseau d'experts indépendants spécialisés dans divers domaines comme le froid et la climatisation, l'environnement, la gestion et les finances, la sociologie, etc. Enfin, **I.C.B** est équipé de moyens modernes informatiques, logistiques et de communication (Internet haut débit) ainsi que des équipements techniques lui permettant de réaliser aisément toutes ses missions.

II. SITUATION ÉNERGÉTIQUE DE SOTOTOLE 2

II.1. Présentation des activités de la Nouvelle SOTOTOLES-SA

II.1.1. Généralité

La société Nouvelle SOTOTOLES-SA est une société de droit togolais créée en 1992 après la restructuration de l'ancienne SOTOTOLES maintenant dissoute. C'est une société industrielle entièrement privée, spécialisée dans le domaine du traitement et de la transformation de l'acier utilisé dans secteur du BTP (Bâtiments et Travaux Publics).

La Nouvelle SOTOTOLES est un complexe industriel comprenant huit usines (A, B, C, D, E, F, G et H), implantées sur environ 10 hectares, dans la zone industrielle et portuaire de Lomé. Les usines sont regroupées sur 3 sites comme ci-dessous :

- ✓ SOTOTOLES 1 : usines A, B, C, D et E
- ✓ SOTOTOLES 2 : usines F et G
- ✓ SOTOTOLES 3 : usine H

Les 08 usines sont spécialisées comme ci-dessous :

- Usine A : ondulation
- Usine B : fer à béton
- Usine C : tubes et persiennes
- Usine D : clouterie
- Usine E : tôles noires
- Usine F : Galvanisation fil et tréfilage
- Usine G : Fil phosphaté et quick Link pour balles de coton
- Usine H : Galvanisation tôles

La liste des produits fabriqués pour l'ensemble de ces huit usines est donnée de façon détaillée dans la plaquette de présentation qui se retrouve en Annexe 1 du rapport. Les produits phares sont :

- ✓ La tôle galvanisée ;
- ✓ Le fer à béton,
- ✓ Les tôles BAC GALVA Acier, Aluminium et pré laqué ;
- ✓ La tôle galvanisée ondulée ;
- ✓ La tôle noire ;
- ✓ Les profilés soudés (tubes ronds, carrés ou rectangulaires, etc.) ;

- ✓ Les profilés ouverts (cornières, fers plats, fer T, U, etc.).

La Nouvelle SOTOTOLES est en constante modernisation et extension. Sa dernière usine (la ligne de galvanisation de tôle) date seulement de 18 mois. Elle est totalement automatisée.

La Nouvelle SOTOTOLES compte environ 700 employés permanents et 500 employés occasionnels (organigramme complet joint en Annexe 2). Elle transforme plus de 14 000 tonnes d'acier par année.

II.1.2. Process de fabrication

Dans ce complexe, chaque produit correspond en fait à un processus de fabrication. On y dénombre environ 40 produits différents qui correspondent chacun à un processus. Certains sont complexes et comportent plus de 15 étapes de transformation (galvanisation de tôle), tandis que d'autres sont simples se limitant seulement à une seule machine.

Dans le cas de la tôle galvanisée par exemple, on distingue les principales étapes suivantes :

- Déroulage
- Coupe
- Soudure
- Tirage
- Lavage chimique
- Rinçage
- Accumulation
- Tirage
- Bain acide
- Séchage
- Bain de zinc
- Soufflage
- Refroidissement
- Séchage
- Contrôle qualité
- Soufflage
- Cachetage
- Tirage
- Accumulation
- Tirage
- Enroulage
- Emballage

La grande force de la Nouvelle SOTOTOLES réside en ce que souvent les processus sont intégrés : le produit fini d'un processus devient dans plusieurs cas la matière première d'un autre processus.

La force du complexe réside également en ce que :

- ✓ Les sources d'approvisionnement en matières premières (fer) sont bien maîtrisées et diversifiées. L'usine s'approvisionne en tôles auprès de 4 sources différentes ;

- ✓ La Nouvelle SOTOTOLES est dans un secteur d'activités où le marché est porteur à court, moyen et long termes, car l'Afrique est en pleine construction ce qui implique une grande consommation de fer ;
- ✓ Le circuit de distribution est bien maîtrisé ;
- ✓ La production et la gestion sont contrôlées à plusieurs niveaux aussi bien en interne qu'en externe (le constructeur de la nouvelle chaîne de galvanisation a la possibilité de surveiller à distance le processus de fabrication et de réagir à tout moment pour maintenir la qualité recherchée).



Figure 1 : Vue de face de l'usine F de SOTOTOLE 2



Figure 2 : Vue de face de l'usine G de SOTOTOLE 2

Ce savoir-faire a permis à la Nouvelle SOTOTOLES d'obtenir les agréments de l'UEMOA et de la CEDEAO dans le domaine industriel. Cela confirme ainsi l'originalité et la qualité de ses produits et lui permet de bénéficier de régimes préférentiels d'exportation.

SOTOTOLES a aussi reçu la certification ISO 9001 : 2008 de TUV Rheinland.

II.2. Analyse des consommations énergétiques

La SOTOTOLES 2 consomme actuellement deux types d'énergie :

- ✓ L'énergie électrique ;
- ✓ L'énergie thermique libérée par la combustion du fioul lourd.

II.2.1. La consommation d'électricité

La CEET fournit l'énergie électrique à la SOTOTOLES 2 à travers un abonnement (Référence N° 02 16 03 04 00 01) moyenne tension (MT), correspondant à un poste de transformateur de 1000 kVA.

Les données mensuelles d'une année (décembre 2014 à novembre 2015) de consommation d'énergie électrique ainsi que les coûts correspondant au site de SOTOTOLES 2 relevées des factures de la CEET sont enregistrées en Annexe 3. Nous avons utilisé ces données pour vérifier que les factures envoyées par la CEET ne sont pas entachées d'erreurs et par la suite repérer les points sur lesquels on pourrait apporter des modifications pour arriver à une réduction des coûts.

- Nous avons recalculé les coûts mensuels des factures, les consommations d'énergie électrique et ensuite proposé des pistes d'amélioration.

L'exploitation des données contenues dans les Tableaux 26, 27 et 28 en Annexe 3 et 4 nous permet de trouver la consommation électrique moyenne par mois et une répartition moyenne de la facture par mois.

Tableau 1 : L'énergie électrique mensuelle consommée par SOTOTOLES 2

	Énergie [kWh/mois]	Prix [FCFA] TTC par mois
SOTOTOLES 2	58 296	7 486 385
Consommation spécifique	0,233 [kWh/kg d'acier]	29,95 [FCFA/kg d'acier]

Ces statistiques ont été reconstituées grâce à l'analyse des factures d'électricité payées par la SOTOTOLES 2 à la CEET.

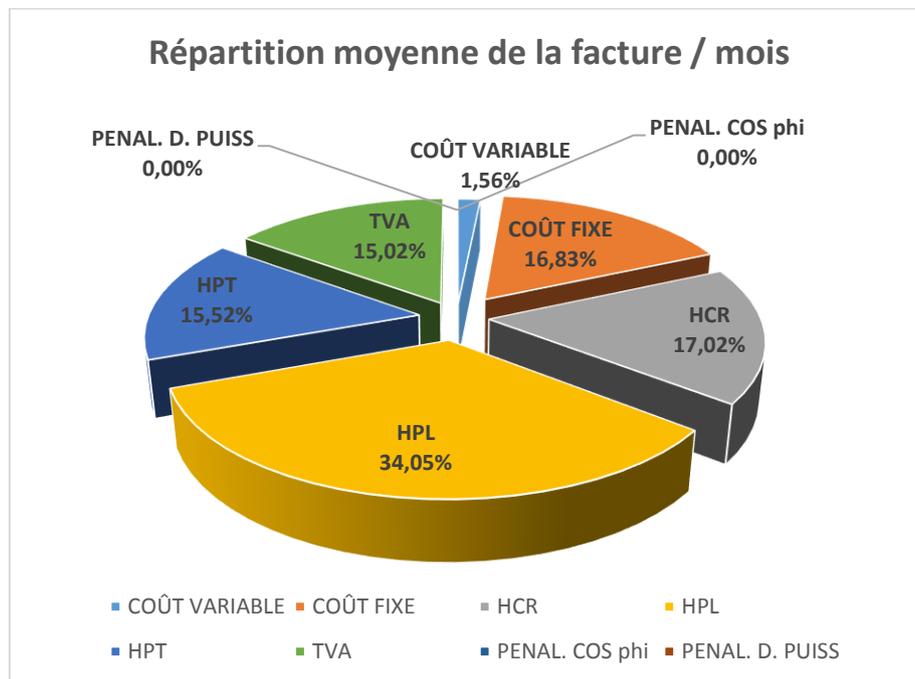


Figure 3 : Répartition moyenne de la facture SOTOTOLE 2 / mois

Nous observons à partir du camembert ci-dessus que 66,60 % de la facture mensuelle de SOTOTOLE 2 correspond à la consommation réelle d'électricité, 16,83 % correspondent au coût fixe, 15,02 % à la TVA et le reste au coût variable.

Le $\cos(\varphi)$ est très bon (compris entre 0,95 et 1) compte tenu de la bonne compensation qui existe. Raison pour laquelle la SOTOTOLE 2 ne paie pas de pénalité de $\cos \varphi$.

En ce qui concerne les pénalités de dépassement de la puissance, la SOTOTOLE 2 n'en paie pas au cours de l'année.

Il existe au moins un poste à améliorer afin de réduire le montant mensuel. Nous pouvons agir sur la puissance souscrite de SOTOTOLE 2 pour réduire le coût fixe et par conséquent réduire la facture moyenne mensuelle d'électricité.

- La figure 4 présente les profils de la puissance apparente souscrite et la puissance apparente maximale enregistrée chaque mois.

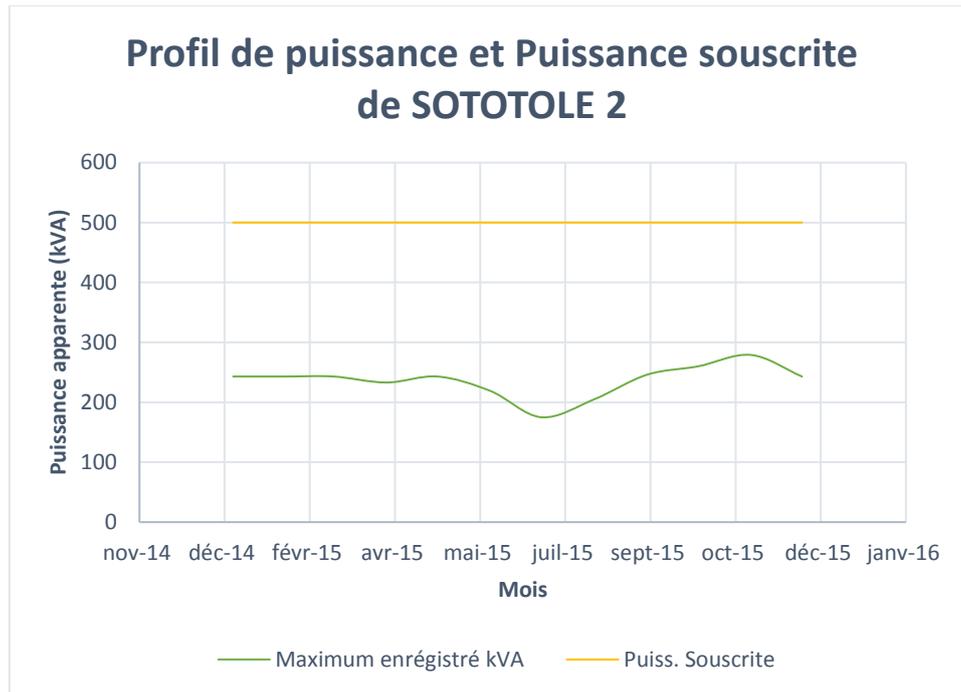


Figure 4 : Profil de puissance apparente maximale appelée

Sur toute l'année, on peut constater qu'il n'y a aucun dépassement de la puissance apparente souscrite. La puissance apparente souscrite est très élevée par rapport à celle qui est réellement consommée actuellement.

II.2.2. La consommation de carburant

La SOTOTOLES 2 utilise du fioul lourd pour le fonctionnement des deux fours entrant dans le processus de galvanisation, et aussi pour le fonctionnement du groupe électrogène secours de 100 kVA.

Le volume consommé annuel de fioul lourd et le prix d'achat, pour l'ensemble des usines de la Nouvelle SOTOTOLES a été reconstitué et présentée dans les tableaux 29, 30, 31 et 32 en Annexe 5.

L'examen du grand livre comptable de l'année 2014 nous a permis de trouver les ratios de ventilation par site.

Tableau 2 : Consommation de fioul lourd en 2014 et ratio de ventilation

	Quantité (l)	PU [FCFA]	Montant [FCFA]	Ratio
TOTAL (2014) SOTOTOLE 1	955 696,61	491	468 636 706,00	33,25 %
TOTAL (2014) SOTOTOLE 2	589 150,90	491	288 896 849,58	20,50 %
TOTAL (2014) SOTOTOLE 3	1 329 233,69	491	651 804 863,61	46,25 %
TOTAL GÉNÉRAL (2014)	2 874 081,20	491	1 409 338 419,20	100 %

33,25 % de fioul lourd a été utilisé sur le site de SOTOTOLE 1, 20,50 % sur le site de SOTOTOLE 2, et le reste sur le site de SOTOTOLE 3.

Tableau 3 : Consommation de fioul lourd en 2015

	Quantité (l)	PU [FCFA]	Montant [FCFA]	Ratio
TOTAL (2015) SOTOTOLE 1	585 481	454	268 369 626	33,25 %
TOTAL (2015) SOTOTOLE 2	360 927	455	165 439 750	20,50 %
TOTAL (2015) SOTOTOLE 3	814 319	455	373 262 754	46,25 %
TOTAL GÉNÉRAL (2015)	1 760 727		807 072 129	100 %

La production d'énergie électrique par les groupes de secours et par les batteries de condensateurs existantes est purement interne et n'intervient pas sur le système de comptage de la CEET.

Le groupe de secours intervient quand le réseau CEET est défaillant pour éviter surtout la coagulation du zinc dans les fours et maintenir un minimum d'activités administratives.

II.3. Sources d'approvisionnement en énergies et Équipements

II.3.1. Les sources d'approvisionnement en énergies

La CEET reste le fournisseur principale d'énergie électrique consommée par la Nouvelle SOTOTOLES. Elle assure cette continuité électrique grâce à une centrale thermique et de deux barrages hydroélectriques.

Il existe au niveau de la sous-région le projet WAPP (West African Power Pool), dont l'objectif majeur est d'interconnecter les réseaux électriques nationaux afin de pouvoir partager les avantages que présentent les systèmes de production de type hydraulique et/ou à gaz. Cependant, il n'existe pas encore une bonne visibilité sur les délais de mise en œuvre de ce projet. C'est pourquoi les différentes projections ont été faites sans en tenir compte et en se disant que s'il voyait le jour, il ne pourrait qu'améliorer les acquis existants.

La principale source d'énergie thermique est le fioul lourd qui est fourni par les distributeurs comme TOTAL, OANDO, etc.

En 2016, les coûts moyens d'achat hors taxes ont été de :

- 107,14 FCFA pour le kWh d'électricité ;
- 455 FCFA pour le litre de fioul lourd ;
- Le kilogramme de GPL coûte 415 FCFA. En multipliant par sa densité, on obtient 228 FCFA pour le litre de GPL.

Il n'existe aucun problème d'indisponibilité locale, en ce qui concerne le GPL et le fioul lourd. Cependant, concernant l'énergie électrique, on note deux types de problèmes :

- L'indisponibilité de la source CEET pendant au moins 10 % du temps de travail de la Nouvelle SOTOTOLES qui est de 24 h sur 24 ;
- Des défauts de surtension durant au moins 5 % du temps de travail. Ces surtensions s'expliquent par la proximité des sites de SOTOTOLES avec les centrales de production de la CEET.

II.3.2. Les principaux équipements

Un inventaire exhaustif des équipements consommateurs d'électricité a été réalisé (Annexe 6).

Lors de cet inventaire, les puissances des différents équipements ont été relevées et les renseignements nécessaires sur leur temps de marche ont été collectés, afin qu'ils permettent de faire le bilan de puissance électrique et énergétique de SOTOTOLES 2.

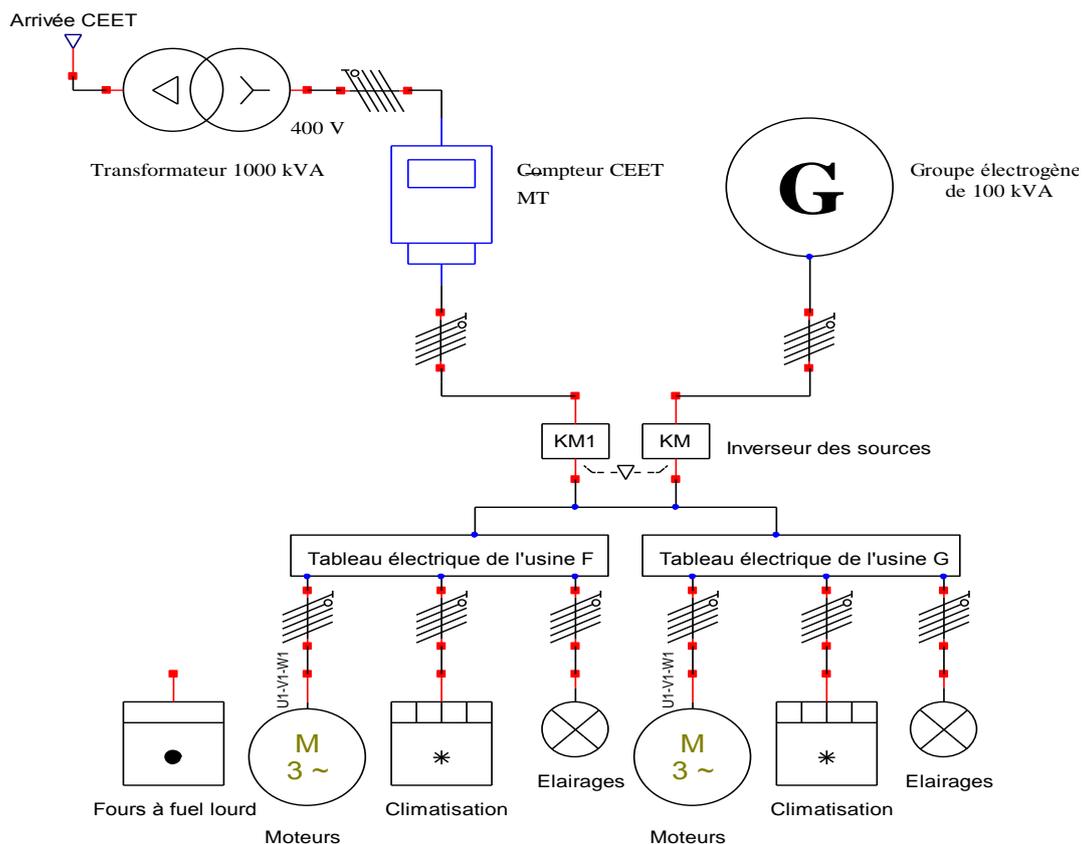


Figure 5 : Schéma synoptique de l'installation

L'Annexe 6 nous a permis de vérifier la puissance apparente du transformateur installé. **Le bilan de puissance (Annexe 6) a révélé que la puissance foisonnée est de 1001,321 kW et répartie comme ci-dessous :**

Tableau 4 : Répartition de la puissance foisonnée

Application	Puissance foisonnée (kW)	%
MOTEURS ÉLECTRIQUES	957,720	96,25
ÉCLAIRAGE	25,141	2,53
Climatisation	11,000	1,11
Informatique	1,175	0,12
TOTAL	1 001,32	100

Il ressort du tableau 4 que 96,25 % de la puissance foisonnée est susceptible d'être absorbée par les moteurs électriques, 2,53 % par l'éclairage, 1.11 % par la climatisation, et le reste par les appareils informatiques.

II.4. Synthèse de l'énergie totale consommée

À l'aide de l'équation 1, des données du tableau 5 et du fichier de conversion d'unité d'énergie [3], nous avons calculé en MWh l'énergie thermique libérée par le combustible. Ensuite, reporter en MWh l'énergie électrique consommée par le site de SOTOTOLE 2.

$$E_{fuel} = \varphi_{fuel} * v_{fuel} * PCI_{fuel} \quad \text{Équation 1}$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} \varphi_{fuel} : \text{masse volumique du fuel lourd } [kg \cdot l^{-1}] \\ v_{fuel} : \text{volumique du fuel lourd } [l] \\ PCI_{fuel} : \text{PCI du fuel lourd } [MJ \cdot kg^{-1}] \end{cases}$$

Tableau 5 : Caractéristiques du fioul lourd et du GPL

Carburant	Nombre de moles de carbone	Formule chimique	Masse volumique [kg/l] [1]	PCI [MJ/kg]	Taux de conversion [4] ; [5]	PCI [kcal/l]
Fioul lourd	22	C ₂₂ H ₄₆	0,95	41,4	1,06	9397,849
GPL	3,5	C _{3,5} H ₉	0,55	46	1,09	6045,4

Tableau 6 : Synthèse de l'énergie consommée

Energies	Prix			Consommation		
	FCFA/mois	FCFA/année	%	MWh /mois	MWh/année	%
Fioul lourd	13 786 646	165 439 750	65 %	328,68	3 944,12	85 %
Électricité	7 486 385	89 836 626	35 %	58,30	699,55	15 %
Total	21 273 031	255 276 376	100 %	386,97	4 643,67	100 %

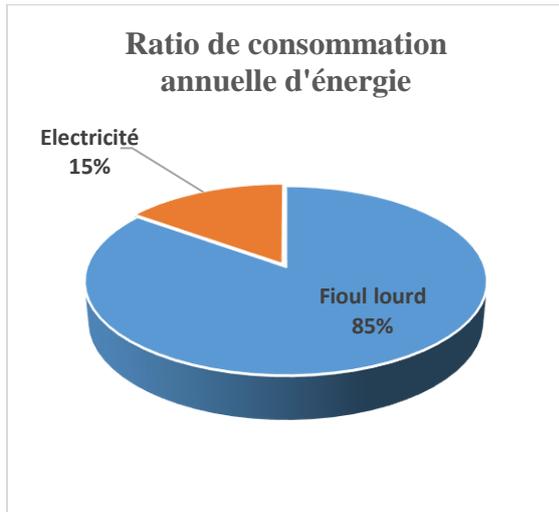


Figure 6 : Répartition des consommations d'énergies dans SOTOTOLE 2

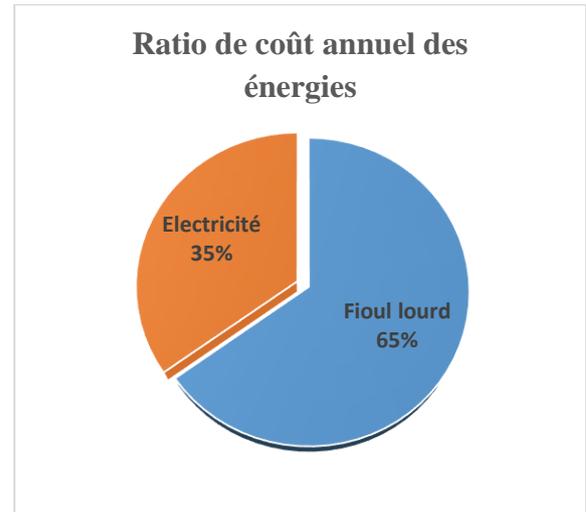


Figure 7 : Répartition des coûts d'énergies utilisées dans SOTOTOLE 2

Nous constatons que 85 % d'énergie consommée par SOTOTOLE 2 est thermique et représente 65 % des coûts énergétiques du site. Nous devons par conséquent porter une attention particulière sur la consommation d'énergie thermique.

III. ÉVALUATION TECHNOLOGIQUE DES FOURS ET DE L'ÉCLAIRAGE

III.1. Évaluation technologique des fours 1 et 2 de SOTOTOLES 2

Il s'agit ici d'étudier techniquement la faisabilité d'un renouvellement des deux fours à fioul lourd dans l'usine F de SOTOTOLE 2 par des fours bicom bustibles plus performants.

III.1.1. Définition [6]

Un four est un outil utilisé pour élever la température d'un produit. Il peut être soit :

- ✓ Un équipement destiné uniquement au chauffage (exemple : réchauffage de l'acier avant déformation plastique, réchauffage de pétrole brut avant distillation) ;
- ✓ Un véritable réacteur dans lequel on élabore les produits (exemple : four de fusion de verre, four de vapocraquage de la pétrochimie).

Il s'intègre généralement dans une ligne de production complexe dont il est un des éléments. On trouve des fours dans un très grand nombre d'activités industrielles, ce qui rend une approche globale assez délicate.

III.1.2. Description des fours à fioul lourd 1 et 2 de SOTOTOLES 2

Les 2 fours de l'usine F sont identiques et fonctionnent de la même façon. Ils sont utilisés dans le processus de production de barres d'acier et fonctionnent au fioul lourd.

Chacun de ces fours est muni d'un enfourneur à vis sans fin, chargé de pousser les barres les unes contre les autres jusqu'à leur sortie. L'enfourneur est alimenté par des transporteurs à rouleaux motorisés où les barres sont mises dans le sens de leur longueur.

Le four proprement dit est un four à trois zones de chauffage comprenant :

- La zone de préchauffage ;
- La zone de chauffage ;
- La zone d'uniformisation.

La température de tels fours augmente évidemment de la zone d'enfournement à la zone de défournement. Le chauffage y a lieu à contre-courant (les fumées circulant en sens inverse des charges).



Figure 8 : Vue du four à fioul lourd N°1



Figure 9 : Vue du four à fioul lourd N°2

L'alimentation en fioul lourd des brûleurs est assurée par deux pompes (une en service et une autre en réserve) aspirant le liquide d'un réservoir parallélépipédique où le fioul lourd est chauffé à une température de 40 à 50 °C pour faciliter le pompage.

La vétusté (plus de 35 années) des deux fours, l'absence d'une plaque signalétique lisible, l'absence du document constructeur et leur consommation élevée de fioul lourd entraînent les maintenances préventives permanentes, la rareté des pièces de rechange, les surcoûts de production liés à la consommation de fioul lourd et un dégagement excessif de CO_2 dans la nature.

III.1.3. Les paramètres électriques

- Le multimètre numérique que nous avons branché pendant le week-end affichait une tension monophasée variant entre 220 V et 249 V.

- Un inventaire exhaustif des équipements qui fonctionnent lorsque le groupe est en marche a été réalisé (Annexe 7).

Lors de cet inventaire, les puissances des différents équipements ont été relevées et complétées par les coefficients de simultanéité, les coefficients d'utilisation conformément à la norme **NF C15 100**, afin qu'ils permettent de faire le bilan de puissance électrique.

L'Annexe 7 nous a permis de vérifier la puissance apparente du groupe électrogène installé. Ce même bilan de puissance a révélé que la puissance foisonnée est $P(t) = 61,986$ [kW]. Elle a été obtenue à l'aide de l'équation 2 :

$$P(t) = \frac{P_u}{\eta} * k_u * k_s \text{ [kW]} \quad \text{Équation 2}$$

Nous avons en plus recherché la puissance nominale du groupe électrogène. Elle vaut $P_{Nom} = 80$ [kW] et a été obtenue à l'aide de l'équation 3.

$$P_{Nom} = S * \cos(\varphi) \text{ [kW]} \quad \text{Équation 3}$$

Avec :

$\left\{ \begin{array}{l} P_u : \text{Puissance utile, [kW]} ; k_u : \text{facteur d'utilisation} ; k_s : \text{facteur de simultanéité} ; \eta : \text{rendement} \\ S : \text{Puissance apparente, [kVA]} ; \cos(\varphi) : \text{facteur de puissance} \end{array} \right.$

III.1.4. Consommation annuelle du groupe électrogène [7]

Nous avons calculé à l'aide de l'équation 4 la quantité de combustible consommée par le groupe électrogène de 100 kVA tout en sachant qu'il fonctionne en moyenne 2,5 heures par jour, 6 jours par semaine, 4 semaines par mois et 12 mois l'année.

$$CH(t) = a * P(t) + b * P_{Nom} \quad \text{Équation 4}$$

où : $\left\{ \begin{array}{l} CH(t) : \text{consommation annuelle du groupe électrogène, [l / année]} \\ P(t) : \text{puissance générée à un instant donnée, [kW]} \\ P_{Nom} : \text{puissance nominale du groupe électrogène, [kW]} \end{array} \right.$

$$\text{et : } \left\{ \begin{array}{l} a = 0,25 \text{ [l / kWh]} \\ b = 0,074 \text{ [l / kWh]} \end{array} \right.$$

$$CH(t) = [(0,25 * 61,986) + (0,074 * 80)] * 2,5 * 6 * 4 * 12$$

$$CH(t) = 15\,419,862 \text{ [l / année]}$$

III.1.5. Consommation annuelle des fours 1 et 2

Il ressort de la section II.2.2 que la quantité totale de fioul lourd consommée par SOTOTOLE 2 est $C_{(Totale)} = 360\,927,19$ [l / année]. Nous avons déduit de ce qui précède la consommation annuelle de fioul lourd des fours :

$$C_{(fours)} = C_{(Totale)} - CH(t) \quad \text{Équation 5}$$

$$\begin{aligned} C_{(fours)} &= 360\,927,19 - 15\,419,862 \\ &= 345\,507,33 \text{ [l / année]} \end{aligned}$$

Récapitulatif :

Tableau 7 : Répartition du volume disponible par unité de production

N°	Unité de production	Consommation (l)	Ratio
1	Fours	345 507,33	95,73 %
2	Groupe électrogène	15 419,86	4,27 %
3	Total	360 927,19	100,00 %

Nous constatons que 95,73 % du volume disponible sur le site 2 est consommé par les deux fours et 4,27 % par le groupe électrogène.

III.1.6. Consommation spécifique de carburant (anciens fours)

Cette grandeur représente le nombre de litres de carburant nécessaire aux fours pour produire 1 tonne de barres d'acier. Elle varie comme l'inverse du rendement. Plus le rendement est élevé plus, moins il faut de carburant pour produire 1 tonne de barres d'acier.

$$CSP = \frac{Qté_{fuel}}{Qté_{produite}} \quad \text{Équation 6}$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} Qté_{fuel} : \text{consommation annuelle de fuel lourd, [l]} \\ Qté_{produite} : \text{production annuelle de barres d'acier, [tonne]} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} CSP &= \frac{345\,507,33}{3000} \\ &= 115,17 \text{ [l} \cdot \text{tonne}^{-1}] \end{aligned}$$

III.1.7. Conclusion et Proposition d'amélioration

L'examen et l'inventaire détaillé des équipements dans les usines F et G ont donné les renseignements suivants :

- ✓ La Fréquence varie entre 49 à 51 Hz ce qui est tolérable ;
- ✓ Le complexe compte environ 65 moteurs dont 70 % sont de type énergivore classique (IE1) et environ 30 % de type (IE2) ;

- ✓ Certains moteurs sont très sollicités pendant que d'autres sont peu utilisés ;
- ✓ Environ 1 % des moteurs sont à courant continu ;
- ✓ Environ 25 % des moteurs ont des réducteurs ;
- ✓ L'insuffisance d'isolation des parois des anciens fours entraîne une température de surface externe dépassant 60 °C, ce qui contribue à l'élévation de la température ambiante dans les usines (lieu de production) ;
- ✓ Les fours existants fonctionnent aujourd'hui à mi-capacité, produisant annuellement 3 000 tonnes de barres d'acier.

L'étude de prédiagnostic avait préconisé le remplacement des deux fours de l'usine F avec un passage en bicarburant. D'après ce qui précède, cette proposition préconisée doit être analysée au regard du grand intérêt qu'elles présentent.

III.1.8. Caractéristiques des nouveaux fours

Les fours de galvanisation que fabrique l'entreprise ACE FURNACES PVT LIMITED possèdent les caractéristiques suivantes :

- ✓ Automatique par le biais d'un régulateur PID ;
- ✓ Consommation spécifique moyenne de fioul lourd est 52,5 litres/tonne ;
- ✓ Consommation spécifique moyenne du GPL est 25 Nm³/tonne ;
- ✓ Consommation d'électricité par tonne des souffleurs/ventilateurs : 16,5 kWh ;
- ✓ Température de sortie 900 °C ;
- ✓ Zone de préchauffage : 1,5 m ; Zone 1 : 4 m.

Voir autres caractéristiques en Annexe 10.

Le remplacement des deux anciens fours par deux nouveaux fours bicom bustibles (fioul lourd/GPL) a pour avantages :

- ✓ La bonne maîtrise de vitesse, rapidité et de précision de la consigne à l'intérieur des fours ;
- ✓ La réduction de la consommation de fioul lourd ;
- ✓ De rendre la maintenance plus fiable et moins onéreuse ;
- ✓ De polluer moins l'environnement.
- ✓ De disposer de 2 sources d'énergie thermique, dont une de secours.

III.2. Évaluation technologique de l'éclairagisme à SOTOTOLES 2

Il s'agit ici d'éclairer efficacement les allées intérieure et extérieure des usines F et G de SOTOTOLES 2 en intégrant de nouvelles technologies qui permettront d'obtenir d'importantes économies d'énergies.

III.2.1. Description de l'installation

Les lampes sont utilisées pour l'éclairage des allées internes et externes des usines F et G.

- L'usine F est équipée de :

- ✓ 115 tubes fluorescents de 36 W
- ✓ 17 lampes à décharge de 400 W
- ✓ 1 lampe à décharge de 500 W

- L'usine G est équipée de :

- ✓ 4 tubes fluorescents de 36 W
- ✓ 7 lampes à décharge de 250 W
- ✓ 12 lampes à décharge de 400 W.



Lampe à décharge

Figure 10 : Une vue des lampes

Tube fluorescent

- L'extérieur des deux usines n'est actuellement pas éclairé.

Tableau 8 : État des lieux

Emplacement	L (m)	l (m)	Périmètre (m)	Surface (m ²)	Portée entre les lampadaires solaires (m)	Nombre de Lampadaires
Usine F	85	25	220	2125	19	12
Usine G	71	36	214	2556	19	12
Cour de l'usine F et G	210	86	592	18060	19	32
Somme						56

III.2.2. Conclusion et Proposition d'amélioration

L'examen et l'inventaire détaillé des équipements dans les usines F et G ont donné les renseignements suivants :

- ✓ Les niveaux d'éclairage mesurés conviennent aux applications dans les usines et les bureaux ;
- ✓ L'éclairage extérieur du site est insuffisant ou inexistant ;
- ✓ Une surface de près de 9000 m² disponibles.

III.2.3. L'éclairagisme

L'étude d'éclairagisme a été réalisée suivant les niveaux d'éclairage recommandés par la norme **NF EN 12464-1**. Par la suite, les vérifications des niveaux d'éclairage recommandés dans les locaux et à l'extérieur des usines ont été réalisées au moyen du logiciel DIALux evo.

III.2.3.1. Éclairage des allées intérieures des usines F et G

D'après la norme **NF EN 12464** – juin 2003. L'éclairage des lieux de travail exige un éclairage moyen 300 lux dans l'industrie de type d'activité Galvanisation et de 200 lux pour les usines de montage [8].

L'éclairage de la chaîne de production doit être réparti de manière uniforme avec une couleur optimale. Un éclairage efficace est décisif pour garantir la sécurité et la qualité du travail le long de la ligne de production.

Les tubes fluorescents de longueur 1,2 m, seront remplacés par des tubes économiques aux LEDs, et les lampes à décharge par des lampes économiques aux LEDs.

III.2.3.2. Éclairage extérieur des usines F et G

L'éclairage des allées extérieures des usines F et G répond à la norme qui exige un éclairage moyen de 50 lux dans la cour de l'entreprise [9]. Cela permet de faciliter le passage des personnes et facilite la circulation des biens.

La hauteur des murs qui entoure le site est de 3 m. Pour tenir compte de la hauteur maximale de chargement des camions (4,5 m), les lampadaires PV à LED sont fixés sur des mâts de hauteur utile 5 m. La lampe placée à 8 m d' hauteur donne un éclairage au sol de 31 lux. L'éclairage E diminue proportionnellement au carré de la distance.

$$E \times d^2 = \text{constante} \qquad \text{Équation 7}$$

Alors la lampe placée à 5 m du sol donnera un éclairage de 79,36 lux.

III.2.4. Caractéristiques des nouveaux équipements électriques

Tableau 9 : Tableau des d'équivalences entre luminaires

Luminaires conventionnels			Luminaires Power LED		
Photo du produit	Désignation	Flux lumineux / Puissance consommée (lm) / (W)	Photo du produit	Désignation	Flux lumineux / Puissance consommée (lm) / (W)
	Lampe Philips 36 W	3350 / 45		Lampe Philips G13 Master led	2500 / 21
	Lampe à décharge 250 W	18 000 / 312,5		Difelio industrial Hight light 135 W	18 900 / 150
	Lampe à décharge 400 W	30 300 / 500		Difelio industrial light 270 W	38 000 / 300
	Lampe à décharge 500 W	38 500 / 625		Difelio industrial light 270 W	38 000 / 300
				Tête de Lampadaire solaire Hydride 40 W led	4 400 / 40
				Philips BDP765 T25	3 850 / 42

Voir plus les caractéristiques des équipements en Annexe 14.

III.2.4.1. Les avantages

Il aura comme avantages :

- ✓ La réduction considérable de la consommation d'énergie et une économie financière ;
- ✓ La réduction des émissions de CO_2 ;
- ✓ Moins de maintenance curative, due au fait que les lampes aux LEDs ont une durée de vie plus longue que les lampes à décharge ;

IV. ÉVALUATION ECONOMIQUE DES FOURS ET DE L'ECLAIRAGE

L'étude suivante est fondamentale, car elle nous permet de juger rapidement de l'acceptabilité entre deux options techniques.

Rappelons quelques méthodes sur la rentabilité financière qui permettent de comparer les variantes ou les scénarios d'une mesure.

- Le TRI (Taux de Rentabilité Interne)

Le TRI est le taux d'actualisation tel que la Valeur Actuelle Nette de la série des flux annuels ou cashflow est égale à zéro. Il est obtenu à l'aide de l'équation 8 :

$$VAN = 0 = -I + \sum_{i=1}^N \frac{CF_i}{(1+TRI)^i} \quad \text{Équation 8}$$

- La VAN (Valeur Actuelle Nette)

La VAN (%) d'une série de flux futurs est la somme des valeurs actuelles de la série des flux annuels escomptés d'un projet. Elle est obtenue à l'aide de l'équation 9 :

$$VAN = -I + \sum_{i=1}^N \frac{CF_i}{(1+t_a)^i} \quad \text{Équation 9}$$

- L'indice de profitabilité

L'indice de profitabilité est égal au rapport entre la valeur présente des flux de trésorerie futurs et le montant investi dans un projet. Il est obtenu à l'aide de l'équation 10 :

$$\text{Indice de profitabilité} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{CF_i}{(1+t_a)^i}}{I} \quad \text{Équation 10}$$

$$\text{Avec : } \begin{cases} I : \text{Investissement} \\ CF : \text{Cash-Flow ou Flux de trésorerie} \\ t_a(\%) : \text{taux d'actualisation} \\ N(\text{année}) : \text{Nombre de périodes} \end{cases}$$

IV.1. Évaluation économique des fours

IV.1.1. Coût d'acquisition des fours bicom bustibles et de la station de GPL

- Coût des fours bicom bustibles

Le prix d'achat des fours bicom bustibles (fioul lourd/GPL) est de 148 000 € soit 97 081 636 FCFA ; il provient du devis du fournisseur ACE FURNACES PVT LIMITED (Annexe 8).

- Coût d'acquisition de la station de GPL

Le prix d'acquisition et d'installation de la station de GPL est de 37 192 500 FCFA ; il provient du devis du fournisseur SODIGAZ (Annexe 9). Cette station de GPL aura une capacité de 24 bouteilles de 250 kg, avec un débit de 109,30 kg/h [Spécifié par ACE FURNACES PVT LIMITED]. Cette capacité offre aux fours une autonomie de 2,25 jours.

IV.1.2. Exploitation des nouveaux fours

Il existe deux variantes pour cet aspect :

- ✓ L'exploitation des nouveaux fours au fioul lourd (Variante 1) ;
- ✓ L'exploitation des nouveaux fours au GPL (Variante 2).

IV.1.2.1. Exploitation des fours au fioul lourd (Variante 1)

Tableau 10 : Coût de revient et énergétique de la variante 1

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
1	Évolution du coût du fioul lourd	2,0 %	455,00
2	Prix départ usine des deux fours (148000 €)	FCFA	97 081 636
3	Mise en fob	FCFA	1 000 000
4	Fret et assurance (2 conteneurs de 40 pieds)	FCFA	7 000 000
5	Droits de douane (38 %)	FCFA	39 931 022
6	Transit	FCFA	700 000
7	Coût d'acquisition TTC	FCFA	145 712 658
8	Divers et imprévus (10 % du coût d'acquisition)	FCFA	14 571 266
9	Installation et formation (10 % prix départ)	FCFA	9 708 164
10	Suivi et contrôle (5 % du coût d'acquisition)	FCFA	7 285 633
11	Pièces de Rechange (15 %)	FCFA	26 591 658
12	Coût de revient	FCFA	203 869 378
13	Consommation mensuelle de SOTOTOLES 2, fioul lourd	l/mois	30 077
14	Consommation mensuelle du groupe de 100 kVA	l/mois	1 285
15	Consommation mensuelle des fours de SOTOTOLES 2	l/mois	28 792
16	Consommation annuelle des anciens fours	l/année	345 507
17	Consommation annuelle de nouveaux fours de SOTOTOLES 2 en butane (50 % d'économie par rapport aux anciens)	l/année	172 754
18	Écart de consommation	l/année	172 754
19	Économie de consommation réalisée	FCFA	78 602 918
20	Charges d'exploitation diverses	10 %	7 860 292

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
21	<i>Amortissements</i>	20 années	10 193 469
22	<i>IS</i>	29,0 %	17 559 256
23	<i>Cash-flow</i>		63 376 840
24	<i>Cash-flow cumulé</i>		- 140 492 538

Le coût d'investissement nécessaire pour la réalisation de cette variante 1 (Exploitation des nouveaux fours au fioul lourd) est de 203 869 378 FCFA.

Sa réalisation permettra de faire une économie de 172 754 litres de fioul lourd par année, représentant une économie de 78 602 918 FCFA et de dégager d'une part, un flux brut de 63 376 840 FCFA après déduction des charges d'exploitation prévisionnelles estimées à 10 %.

IV.1.2.2. Exploitation des fours au GPL (Variante 2)

Tableau 11 : Coût de revient et énergétique de la variante 2

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
1	Évolution du coût du fioul lourd	2 %	455,00
2	Évolution du coût du gaz butane	1 %	228,00
3	Prix départ usine des deux fours (148000 €)	FCFA	97 081 636
4	Mise en fob	FCFA	1 000 000
5	Fret et assurance (2 conteneurs de 40 pieds)	FCFA	7 000 000
6	Droits de douane (38 %)	FCFA	39 931 022
7	Transit	FCFA	700 000
8	Coût d'acquisition	FCFA	145 712 658
9	Divers et imprévus (10 %)	FCFA	14 571 266
10	Installation et formation (10 % prix départ)	FCFA	9 708 164
11	Suivi et contrôle (5 % du coût d'acquisition)	FCFA	7 285 633
12	Coût de revient	FCFA	177 277 720
13	Acquisition et installation station butane (SODIGAZ)	FCFA	37 192 500
14	Contrôle et suivie station GPL (5 % coût acquisition)	FCFA	1 859 625
15	Formation sur station GPL (5 % coût d'acquisition)	FCFA	1 859 625
16	Pièces de rechange 15 %	FCFA	32 728 420
17	Coût de revient total TTC	FCFA	250 917 890
18	Consommation mensuelle de SOTOTOLES 2, fioul lourd	l/mois	30 077
19	Consommation mensuelle du groupe de 100 kVA	l/mois	1 285
20	Consommation mensuelle des fours de SOTOTOLES 2	l/mois	28 792
21	Consommation annuelle des anciens fours	l/année	345 507

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
22	Consommation annuelle de nouveaux fours de SOTOTOLES 2 en GPL (50 % d'économie par rapport aux anciens, mais avec un facteur de 1,64)	l/année	283 316
23	Coût annuel de consommation en fioul lourd	FCFA	157 205 836
24	Coût annuel de consommation en gaz butane	FCFA	64 596 051
25	Économie de consommation (455) réalisée	FCFA	92 609 785
26	<i>Charges d'exploitation diverses</i>	10 %	9 260 979
27	<i>Amortissements</i>	20 années	12 545 895
28	<i>IS</i>	29,0 %	20 532 845
29	Cash-flow		75 361 857
30	Cash-flows Cumulés		-175 556 034

Dans cette variante 2 (Exploitation des fours au GPL), un investissement additionnel de 47 048 513 FCFA sera réalisé pour tenir compte des installations de la société SODIGAZ. Ce dernier portera le coût d'investissement nécessaire à la réalisation à 250 917 890 FCFA.

Sa réalisation permettra de dégager la première année une économie de 92 609 785 FCFA sur le coût d'énergie et un flux brut de 75 361 857 FCFA.

IV.1.3. Évaluation de la rentabilité financière

Variante 1 :

Tableau 12 : Rentabilité financière de la variante 1

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
23	Cash-flow		63 376 840
24	Cash-flows cumulés		- 140 492 538
25	Taux d'actualisation	10 %	
26	TRI	%	32,5 %
27	VAN	FCFA	397 245 824
28	Retour d'investissement	années	4
29	Indice de Profitabilité		1,95

La Variante 1 dégage une rentabilité appréciable : un TRI de 33 %, une VAN (10 %) de 397 245 824 FCFA sur une durée de 20 années et un temps de retour sur investissement de 4 ans à un taux d'actualisation de 10 %. L'indice de profitabilité montre que SOTOTOLE 2 tire au moins 1,95 fois profit du projet, autrement dit la VAN représente 1,9 fois le coût de revient de l'investissement.

Variante 2 :

Tableau 13 : Rentabilité financière de la variante 2

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
29	<i>Cash-flow</i>		75 361 857
30	<i>Cash flows cumulés</i>		-175 556 034
31	<i>Taux d'actualisation</i>	10 %	
32	TRI	%	32,6 %
33	VAN	FCFA	507 357 994
34	Retour d'investissement	années	4
35	Indice de Profitabilité		2,02

Les indicateurs de rentabilité résultants sont : un TRI de 32,6 %, une VAN (10 %) de 507 357 994 FCFA sur une durée de 20 années et un temps de de retour sur investissement de de 4 années à taux d'actualisation 10 %. L'indice de profitabilité montre que SOTOTOLE 2 tire au moins 2,02 fois profit du projet.

IV.1.4. Comparaison des Variantes

Les méthodes suivantes permettent de comparer les variantes d'une mesure.

✓ **Temps de Retour sur Investissement**

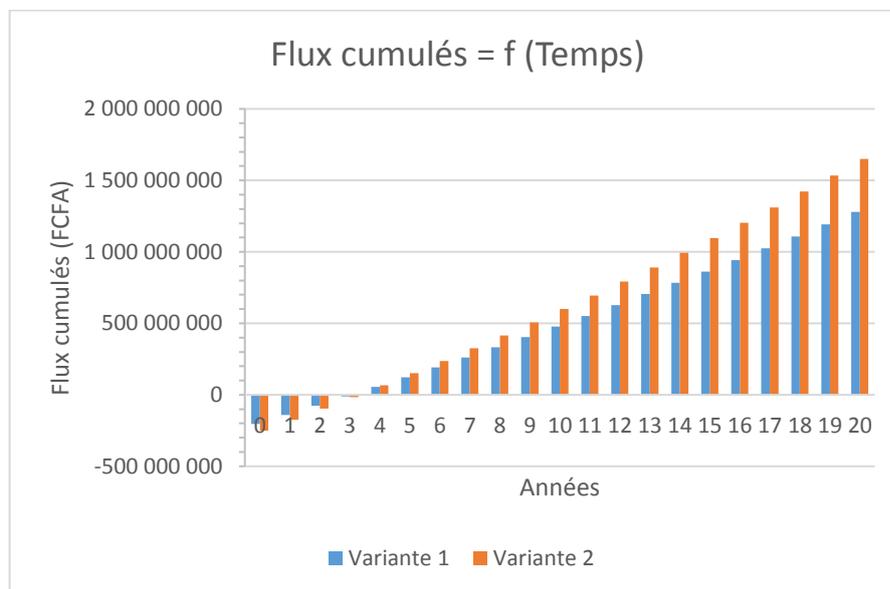


Figure 11 : Flux cumulés en fonction du temps

Le Temps de Retour sur Investissement est de 4 années pour les deux variantes si l'on considère que les emprunts sont faits le premier janvier de l'année.

✓ **Le Taux de Rentabilité Interne ; La VAN et l'Indice de Profitabilité**

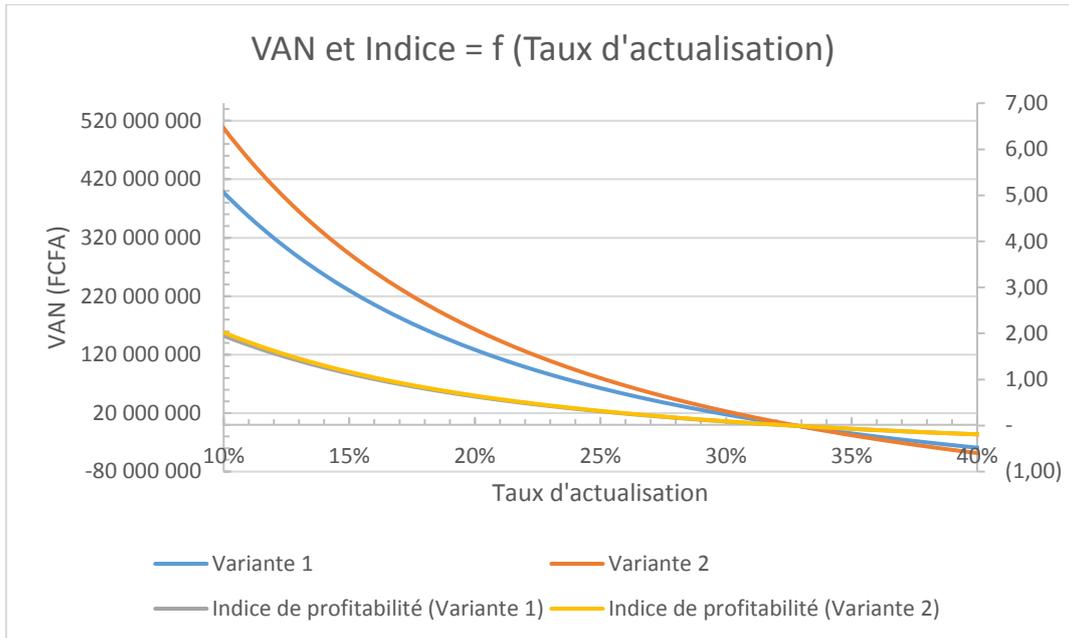


Figure 12 : VAN et Indice de profitabilité en fonction du taux d'actualisation

La VAN (10 %) de la Variante 1 est de 397 245 824 FCFA alors que celle de la Variante 2 est de 507 357 994 FCFA. La Variante 2 consomme plus de capitaux que la Variante 1, mais elle génère 1,28 fois plus de richesse économique.

Le TRI de la Variante 1 est de 32,5 %, soit 22,5 % de plus que les taux de référence 10 %. Le TRI de la Variante 2 est de 32,6 %, soit 22,6 % de plus que les taux de référence 10 %. Les deux variantes sont évaluées positivement et en plus les écarts sont considérables. Cet écart de 22,6 % montre qu'une réserve monétaire existera pour lui permettre de suivre les innovations dans sa branche.

Pour chaque 1 FCFA investi dans la Variante 1, la valeur actuelle nette dégagée est de 1,95 FCFA. Alors que pour chaque 1 FCFA investi dans la Variante 2, la valeur actuelle nette dégagée est de 2,02 FCFA. Indice de profitabilité au taux de référence (10 %) montre une fois de plus que la Variante 2 est plus intéressante.

IV.1.5. Conclusion partielle

Pour cette mesure, le choix est porté sur la Variante 2 (Exploitation des fours bicom bustibles au GPL). Il s'agit d'un remplacement des anciens fours par des fours bicom bustibles puis de les exploiter au GPL.

IV.2. Évaluation économique d'éclairagisme à SOTOTOLES 2

IV.2.1. Cout d'acquisition des lampes économiques aux LEDs

Les calculs détaillés sont enregistrés dans les tableaux (33,34 et 35) en Annexe 11.

IV.2.2. Coût de revient et énergétique du remplacement des lampes intérieures et extérieures

L'éclairage interne des usines F et G seront assure par des lampes économiques aux LEDs.

Il existe deux scénarios pour l'éclairage extérieur des usines F et G.

IV.2.2.1. L'éclairage intérieur des usines F et G

Tableau 14 : Coût de revient et énergétique du remplacement des lampes intérieures

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
1	Évolution du coût du kWh CEET	2 %	107,14
2	Évolution du coût du kWh LED	2 %	107,14
3	Coût d'achat des lampes	FCFA	12 934 750
4	Main-d'œuvre lampes et connections (25 %)	FCFA	3 233 688
5	Coût des lampes de réserve (1 % sur chaque type)	FCFA	970 948
6	Droits de douane (38 %)	FCFA	5 284 165
7	Transport (1 % sur prix d'achat)	FCFA	139 057
8	Coût de revient des lampes	FCFA	22 562 608
9	Consommation mensuelle d'énergie électrique des anciens (360 h de fonctionnement/mois)	MWh	10,182
10	Consommation mensuelle d'énergie électrique des nouveaux éclairages à LED (360 h de fonctionnement/mois)	MWh	5,664
11	Consommation annuelle des anciens éclairages	MWh	122,184
12	Consommation annuelle des nouveaux éclairages	MWh	67,966
13	Coût annuel des anciens éclairages	FCFA/an	13 090 227
14	Coût annuel des nouveaux éclairages	FCFA/an	7 281 533
15	Économie de consommation réalisée	FCFA/an	5 808 694
16	<i>Charges d'exploitation diverses</i>	10 %	580 869
17	<i>Amortissements</i>	10	2 256 261
18	<i>IS</i>	29,0 %	861 754
19	Cash-flow		6 622 332

Le coût d'investissement nécessaire pour le remplacement des lampes intérieures des usines F et G de SOTOTOLE 2 est de 22 562 608 FCFA. Sa réalisation permettra de faire une

économie annuelle d'énergie de 54,218 MWh, représentant une économie de 5 808 694 FCFA et de dégager un flux brut de 6 622 332 FCFA après déduction des charges d'exploitation prévisionnelles estimées à 10 %.

IV.2.2.2. L'éclairage extérieur des usines F et G

La tête de lampadaire solaire Hybride 40 W LED nous offre un éclairage maximum au sol de (79,36 lux > 50 lux requis par la norme).

Nous avons simulé deux (2) types de lampes LED :

Scénario 1 : Lampes LED de 40 W connectées au réseau et qui sont équivalentes à des lampes incandescentes de 400 W.

Tableau 15 : Coût de revient et énergétique du Scénario 1

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
1	Évolution du coût du kWh LED	2 %	107,14
2	Lampe PV / ZS-A701D-40W		47 254 093
3	Mât de 5 mètres		17 081 120
4	Main-d'œuvre lampes et connections		1 400 000
5	Lampes de réserve		843 823
6	Câble Cuivre 5 x 4 mm ² Ar Cu		2 076 000
7	Fourreaux PVC φ 110		1 038 000
8	Câble Cuivre 3 x 1.5 mm ² Ar Cu	FCFA	950 000
9	Boîtes plexo, borniers, presse étoupe	FCFA	944 053
10	Main-d'œuvre câbles		1 730 000
11	Coût de revient	FCFA	73 317 089
12	Consommation annuelle LED 40 W (360 h de fonctionnement/mois)	MWh	9,677
13	<i>Consommation annuelle standard</i>	MWh	96,768
14	Économie annuelle	MWh	87,091
15	Économie de consommation réalisée	FCFA	9 330 557
16	<i>Charges d'exploitation diverses</i>	10 %	933 056
17	<i>Amortissements</i>	20	3 665 854
18	<i>IS</i>	29,0 %	1 372 178
19	Cash-flow		10 691 178

Scénario 2 : Lampes LED de 40 W autonomes avec capteurs solaires et Batteries, que nous avons comparé avec des lampes incandescentes de 400 W.

Tableau 16 : Coût de revient et énergétique du Scénario 2

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
1	Évolution du coût du kWh LED	2 %	107,14
2	Lampes PV autonomes ZS-A701D-40W	FCFA	47 254 093
3	Mât de 5 mètres	FCFA	17 081 120
4	Main-d'œuvre lampes et connections	FCFA	700 000
5	Lampes de réserve	FCFA	843 823
6	Coût de revient	FCFA	65 879 036
7	<i>Consommation annuelle standard</i>	MWh	96,768
8	Économie annuelle	MWh	96,768
9	Économie de consommation réalisée	FCFA	10 367 285
10	<i>Charges d'exploitation diverses</i>	10 %	1 036 729
11	<i>Amortissements</i>	20 année	3 293 952
12	<i>IS</i>	27,5 %	1 660 066
13	Cash-flow		10 964 442

IV.2.3. Évaluation de la rentabilité

IV.2.3.1. L'éclairage intérieur des usines F et G

Tableau 17 : Rentabilité financière du remplacement des lampes intérieures

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
19	Cash-flow		6 622 332
20	Cashflow Cumulés		-15 940 276
21	Taux d'actualisation	10 %	
22	TRI	%	27,6 %
23	VAN	FCFA	19 913 160
24	Retour d'investissement	années	4
25	Indice de Profitabilité		0,88

Cet investissement aura une rentabilité appréciable : un TRI de 27,6 %, une VAN (10 %) de 19 913 160 FCFA sur une durée de 10 années et un temps de retour sur investissement de 4 années à un taux d'actualisation de 10 %. L'indice de profitabilité montre que SOTOTOLE 2 tire au moins 0,88 fois profit du projet, autrement dit la VAN représente 0,88 fois le coût de revient de l'investissement.

IV.2.3.2. L'éclairage extérieur des usines F et G

Scénario 1 :

Tableau 18 : Rentabilité financière du Scénario 1

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
19	<i>Cash-flow</i>		10 691 178
20	<i>Cash-flow Cumulés</i>		-62 625 911
21	<i>Taux d'actualisation</i>	10 %	
22	TRI	%	14,5 %
23	VAN	FCFA	25 009 517
24	Retour d'investissement	années	7,0
25	Indice de Profitabilité		0,3

Scénario 2 :

Tableau 19 : Rentabilité financière du Scénario 2

N°	Désignation	Unité	2016
			Valeur
13	<i>Cash-flow</i>		10 964 442
14	<i>Cash-flow Cumulés</i>		-54 914 594
15	<i>Taux d'actualisation</i>	10 %	
16	TRI	%	17 %
17	VAN	FCFA	35 757 381
18	Retour d'investissement	années	6
19	Indice de Profitabilité		0,54

IV.2.4. Comparaison des scénarios

Les méthodes suivantes permettent de comparer les scénarios d'une mesure.

✓ Temps de retour sur investissement

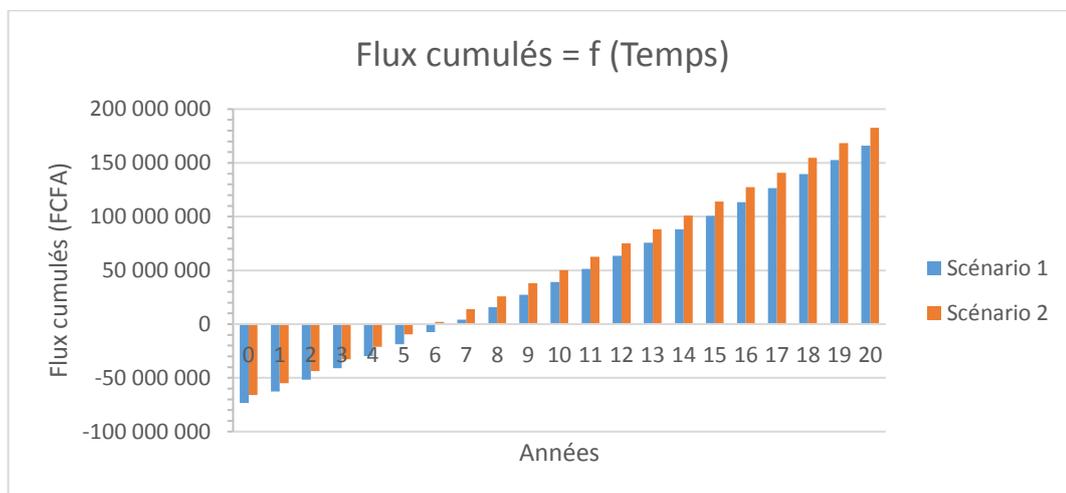


Figure 13 : Flux cumulés en fonction des années

Le Temps de Retour sur Investissement est de 7 années pour le scénario 1 et de 6 années pour le scénario 2, si on considère que les travaux prennent fin en décembre de l'année 0.

✓ **Le Taux de rentabilité Interne ; La VAN et L'indice de profitabilité**

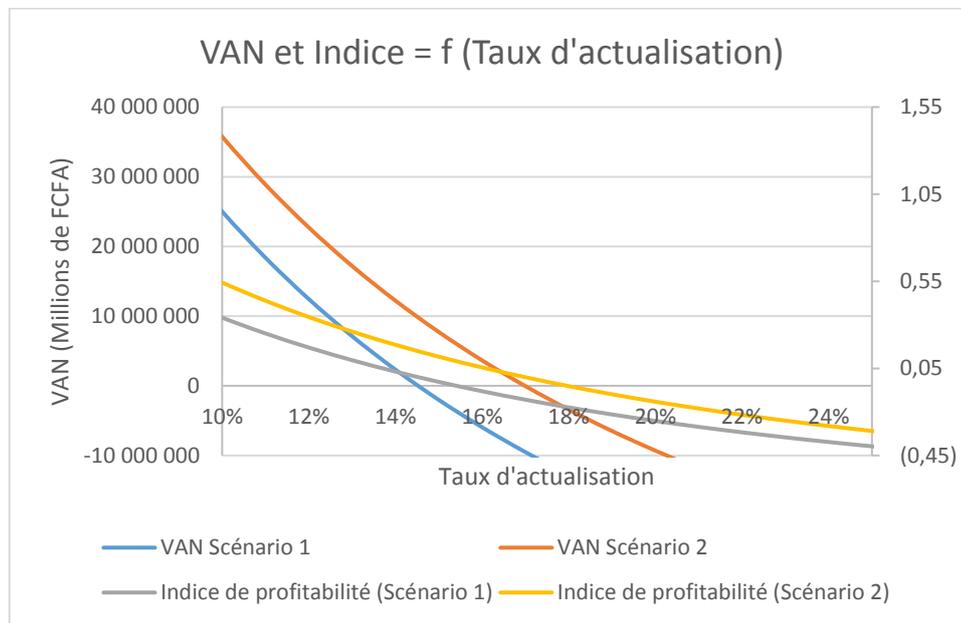


Figure 14 : Tracer de la VAN en fonction du taux d'actualisation

La VAN (10 %) du scénario 1 est de 205 009 517 FCFA alors que celle du scénario 2 est de 35 757 381 FCFA. Le scénario 2 consomme moins de capitaux que le scénario 1, mais elle génère 1,11 fois plus de richesse économique.

Le TRI du scénario 1 est de 14,5 %, soit 4,5 % de plus que les taux de référence 10 %. Le TRI du scénario 2 est de 17,0 %, soit 7,0 % de plus que les taux de référence 10 %. Les deux scénarios sont évalués positivement et en plus les écarts sont acceptables. Cet écart de 7,0 % montre qu'une réserve monétaire existera pour permettre à l'entreprise de suivre les innovations dans sa branche.

Pour chaque 1 FCFA investi dans le scénario 1, la valeur actuelle nette dégagée est de 0,34 °FCFA. Alors que pour chaque 1 FCFA investi au scénario 2, la valeur actuelle nette dégagée est de 0,54 FCFA. Indice de profitabilité au taux de référence (10 %) montre une fois de plus que le scénario 2 est plus intéressante.

IV.2.5. Conclusion partielle

Pour cette mesure, le choix est porte sur :

- ✓ Le remplacement des lampes conventionnelles intérieures des usines F et G par des lampes économiques aux LEDs.

- ✓ L'éclairage des allées extérieures des usines F et G par des lampadaires solaires autonomes de référence ZS-A701D-40W (Scénario 2).

V. ASPECT ENVIRONNEMENTAL

Dans ce chapitre, nous avons calculé les économies des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) connaissant les facteurs des émissions (tableau 20) et les ressources utilisées.

Tableau 20 : Émission des différents combustibles en kg de CO₂/l de combustibles

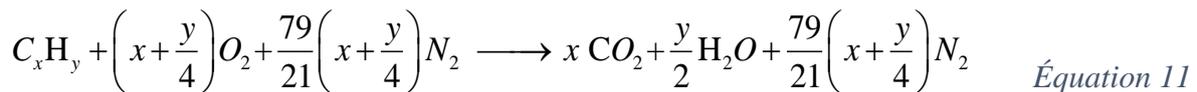
Carburant	Nombre de mol de carbone	Formule chimique	Masse volumique [kg/l]	Masse molaire [g/mol]	La masse de CO ₂ rejetée [g/mol]	La masse de H ₂ O rejetée [g/mol]	Le rapport consommation de fioul lourd sur rejets de CO ₂	Facteur [kg de CO ₂ /l]
GPL (50 % Butane et 50 % Propane)	3,5	C _{3,5} H ₉	0,550	51	154,04	81,072	3,02	1,66
Fioul lourd	22	C ₂₂ H ₄₆	0,950	310	968,24	414,368	3,12	2,97

Aussi, la consommation de 1 kWh d'énergie électrique entraîne l'émission de 0,206 kg de CO₂ [10].

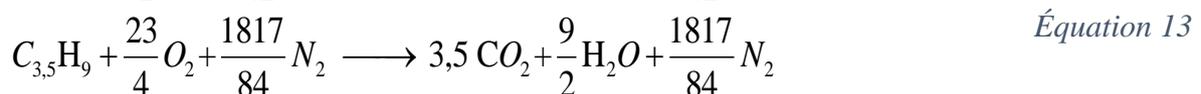
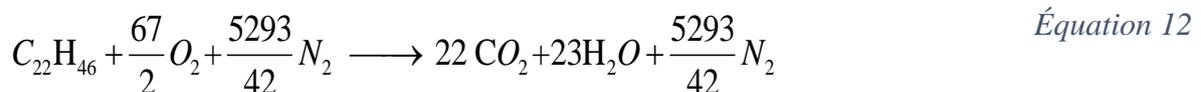
V.1. Rappel sur la combustion du fioul lourd et du GPL

Le problème est de calculer le facteur d'émission de type CO₂ pour déterminer la quantité de CO₂ émis lors de la combustion du fioul lourd.

Les réactions de combustion, comme toutes réactions chimiques, se font sans variation de masse de chacun des éléments. La réaction générale de combustion des hydrocarbures composés uniquement du carbone et d'hydrogène de formule brute C_x H_y est donc :



Les réactions de combustion du fioul lourd et du Gaz de Pétrole Liquéfié avec l'air atmosphérique sont respectivement :



Regardons les rejets massiques de l'équation complète de la combustion du fioul lourd :

$$[C_{22}H_{46}] = 22 (12,012) + 46 (1,008) = 310,632 \text{ [g} \cdot \text{mol}^{-1}]$$

$$[CO_2] = 12,012 + 2(16,000) = 44,012 \text{ [g} \cdot \text{mol}^{-1}]$$

$$[H_2O] = 2(1,008) + 16,000 = 18,016 \text{ [g} \cdot \text{mol}^{-1}]$$

La masse de CO_2 rejetée par masse d'octane consommée est de : $22 * 44,012 = 968,264$ [g]

La masse de H_2O rejetée par masse d'octane consommée est de : $46 * 18,016 = 828,736$ [g]

Le rapport rejet de CO_2 sur consommation de fioul lourd est de : $\frac{968,264}{310,632} = 3,117$

Comme l'unité de volume est plus usuelle lorsque l'on parle de carburant, il est préférable de passer ce rapport en gramme de CO_2 par litre d'essence consommée.

Sachant que la masse volumique $\rho_{(fuel\ lourd)} = 0,950$ [$Kg \cdot l^{-1}$] et que **1 gramme de fioul lourd**

brulé rejette 3,117 grammes de CO_2 , il vient : $0,950 * 3,117 = 2,961$ [$\frac{Kg\ de\ CO_2}{litre\ de\ fuel\ lourd}$].

V.2. Exploitation des nouveaux fours

Il existe deux variantes pour cet aspect :

- ✓ L'exploitation des nouveaux fours au fioul lourd ;
- ✓ L'exploitation des nouveaux fours au GPL.

V.2.1. Exploitation des fours au fioul lourd (Variante 1)

- **1 026** tonnes de CO_2 sont émises par année par les anciens fours ;
- **513** tonnes de CO_2 sont émises par année par les nouveaux fours au fioul lourd ;

La mise en œuvre de cette variante 1 permet d'éviter l'émission de **513** tonnes de CO_2 /année.

V.2.2. Exploitation des fours au GPL (Variante 2)

- **1 026** tonnes de CO_2 sont émises par année par les anciens fours ;
- **470** tonnes de CO_2 sont émises par année par les nouveaux fours au fioul lourd ;

La mise en œuvre de cette variante 2 permet d'éviter l'émission de **556** tonnes de CO_2 /année.

V.2.3. Comparaison et conclusion partielle

La deuxième variante permet d'éviter **556** tonnes de CO_2 par année contre **513** tonnes de CO_2 pour la première variante. Le passage au GPL permet d'éviter ainsi **43** t/année de CO_2 comparé au fioul lourd.

V.3. Éclairagisme

V.3.1. Éclairage intérieur des usines F et G

- 54,218 MWh d'énergie économisée ;

La mise en œuvre de cette mesure permet d'éviter l'émission de **11** tonnes de CO₂/année.

V.3.2. Éclairage extérieur des usines F et G

Il existe deux scénarios pour l'éclairage extérieur des usines F et G.

Scénario 1 :

- 9,677 MWh d'énergie économisée ;

La mise en œuvre de ce scénario 1 permet d'éviter l'émission de 2 tonnes de CO₂/année.

Scénario 2 :

- 96,768 MWh d'énergie économisée.

La mise en œuvre de ce Scénario 2 permettra d'éviter l'émission de **20,05** tonnes de CO₂/année.

VI. SYNTHÈSE DES RESULTATS

VI.1. Les économies d'énergies liées à chaque mesure

Le tableau 21 récapitule les économies d'énergie annuelles dégagées par chacune des mesures. (Voir les notes de calcul en Annexe 12)

Tableau 21 : Récapitulatif des économies d'énergies

Mesures	Description de la mesure	Estimation des économies d'énergie		
		MWh/an	l/an	%
N° 1	UTILISATION DES FOURS AU GPL SOTOTOLES 2	1 991,08	172 754	52,75 %
N° 2	LE REMPLACEMENT DES LAMPES DE 250 W, DE 400 W, 500 W ET DES REGLETTES NEONS DE L'INTÉRIEUR DES USINES (F ET G) PAR DES LUMINAIRES ÉCONOMIQUES AUX LEDs	54,22	-	44,37 %
	ECLAIRAGE EXTERIEURES PAR DES LAMPADAIRES SOLAIRES (Il ne dispose pas d'éclairage actuellement)	87,09	-	90,00 %
TOTAL		2 132,39	-	53,39 %

La mesure à fort potentiel d'économie d'énergie est celle concernant le remplacement des fours. En effet :

- Le remplacement des fours de SOTOLES 2 permet d'économiser 1 991,08 MWh/année soit une diminution de 50 % par rapport à la consommation de fioul lourd des anciens fours.
- L'économie d'énergie dégagée par le remplacement des lampes des allées extérieures est de 87,09 MWh/année. Ce qui est très intéressant dans cette mesure c'est le ratio d'économie d'énergie par rapport aux anciennes lampes, qui est très élevé 90 %.
- L'ensemble des 2 mesures permet d'économiser 2 132,39 MWh/année, correspond à une réduction énergétique de 53,39 % par rapport à la situation de référence des anciens fours et d'anciennes lampes à décharges installées dans les allées.

VI.2. Rentabilités financières liées à chaque mesure

Le tableau 22 permet d'apprécier la rentabilité financière de chacune des 2 mesures.

Tableau 22 : Récapitulatif des économies financières

Mesures	Description de la mesure	Montant de l'investissement (EUR et XOF)		TRI (%)	VAN		Retour sur investissement (année)
		Euro	XOF		Euros	FCFA	
N° 1	UTILISATION DES FOURS AU GPL SOTOTOLES 2	382 522	250 917 890	32,63 %	773 462	507 357 994	4
N° 2	LE REMPLACEMENT DES LAMPES DE 250 W, DE 400 W, 500 W ET DES REGLETTES NEONS DE L'INTÉRIEUR DES USINES (F ET G) PAR DES LUMINAIRES ÉCONOMIQUES AUX LEDs	34 396	22 562 608	27,62 %	30 357	19 913 160	4
	ECLAIRAGE EXTERIEURES PAR DES LAMPADAIRES SOLAIRES (Il ne dispose pas d'éclairage actuellement)	100 432	65 879 036	17 %	54 512	35 757 381	6
TOTAL		517 350	339 359 534	29 %	858 331	563 028 534	4

D'un point de vue économique, l'investissement le plus rentable est le passage au GPL du four de SOTOTOLE 3. Cela s'explique par le fait que dans ce sous-projet, l'investissement principal est déjà réalisé.

Le remplacement des anciens fours de SOTOTOLE 2 est non seulement rentable, mais il est aussi une nécessité technique à cause de la grande vétusté de ces anciens fours, et des conséquences qui en découlent.

Le coût total des investissements nécessaires est de 329.359.534 FCFA. Le TRI moyen qui s'en dégage est de 29 %, avec une VAN de 563.028.534 FCFA, un retour d'investissement de 4 années.

VI.3. Les émissions de CO₂ évitées par chaque mesure

La synthèse des émissions de CO₂ évitées est la suivante :

Tableau 23 : Récapitulatif des économies de CO₂

Mesures	Description de la mesure	Économie de CO ₂ (tonnes/année)
N° 1	UTILISATION DES FOURS AU GPL SOTOTOLES 2	555,85
N° 2	LE REMPLACEMENT DES LAMPES DE 250 W, DE 400 W, 500 W ET DES REGLETTES NEONS DE L'INTÉRIEUR DES USINES (F ET G) PAR DES LUMINAIRES ÉCONOMIQUES AUX LEDs	11,24
	ECLAIRAGE EXTERIEURES PAR DES LAMPADAIRES SOLAIRES (Il ne dispose pas d'éclairage actuellement)	20,05
TOTAL		587,14

Sur l'ensemble des 2 mesures, c'est le remplacement des anciens fours de SOTOTOLES 2 qui permet d'éviter le plus d'émission de CO₂ (555,85 t/année), suivi du passage de l'exploitation en GPL du four de SOTOLE 3 (280 t/année).

L'ensemble des 2 mesures si elles sont implémentées contribuerait à une réduction de CO₂ de 587,85 tonnes par année.

VI.4. Synthèse des résultats

Le tableau 24 de synthèse récapitule l'ensemble des principaux indicateurs énergétiques et économiques de l'ensemble de ces deux mesures :

Tableau 24 : Indicateurs énergétiques et économiques des deux mesures

Présentation des résultats de l'étude		
	Montant en Euros	Montant en FCFA
Investissement total prévu	517 350	339 359 534
Part du prêt sur la ligne de crédit de 30 M Euros	1,72 %	
Nombre de mesures techniques	2	2
Économie d'énergie VS référence	2 132,39 MWh/année	2 132,39 MWh/année
Économie	165 843	108 785 765
%Économie financière	60,21 %	60,21 %
%Économie d'énergie	53,39 %	53,39 %
Valeur Actuelle Nette (VAN)	858 331	563 028 534
Taux de rentabilité interne (TRI)	29,4 %	29,4 %
Temps de Retour sur Investissement (années)	4	4
Prime à l'investissement (max 10 %)	51 735	33 935 953
Coût net du projet	465 615	305 423 581

L'économie d'énergie moyenne de 53,39 % représente la somme des économies d'énergie générées par chaque mesure divisée par le total de l'énergie initiale des deux mesures.

Ces mesures remplissent les critères d'éligibilité au programme SUNREF, car :

- ✓ Ils concernent tous le domaine de l'efficacité énergétique ;
- ✓ L'économie financière réalisée est de 60,21 % ;
- ✓ L'économie d'énergie réalisée est de 53,39 % ;
- ✓ Le Temps de Retour sur Investissement est de 4 années ;
- ✓ Le TRI est de 29,4 % ;
- ✓ La VAN est de **563 028 534** FCFA pour un investissement de **339 359 534** FCFA ;
- ✓ La réduction de la quantité de CO₂ rejeté est estimée à 587,14 tonnes par année.

VI.5. Facturation après les améliorations

L'objectif de cette section est de réduire le coût de la facture d'électricité de SOTOTOLE 2 en agissant sur la puissance apparente souscrite.

VI.5.1. Évolution des consommations

En tenant compte des puissances des nouvelles lampes et de la puissance des nouveaux équipements dans la ligne de production, nous nous rendons compte qu'il n'y a pas eu de changements majeurs. Voir le bilan de puissance après réaménagement en Annexe 13.

Il ressort de ce bilan que la nouvelle puissance foisonnée est 996,88 kW.

Alors nous proposons d'ajuster la puissance souscrite de 500 kVA à 300 kVA. Soit 7 % de plus par rapport à la puissance apparente maximale appelée 279 kVA (mois de novembre 2015)

VI.5.2. Après optimisation

Rappel : Ajuster la puissance souscrite de 500 à 300 kVA.

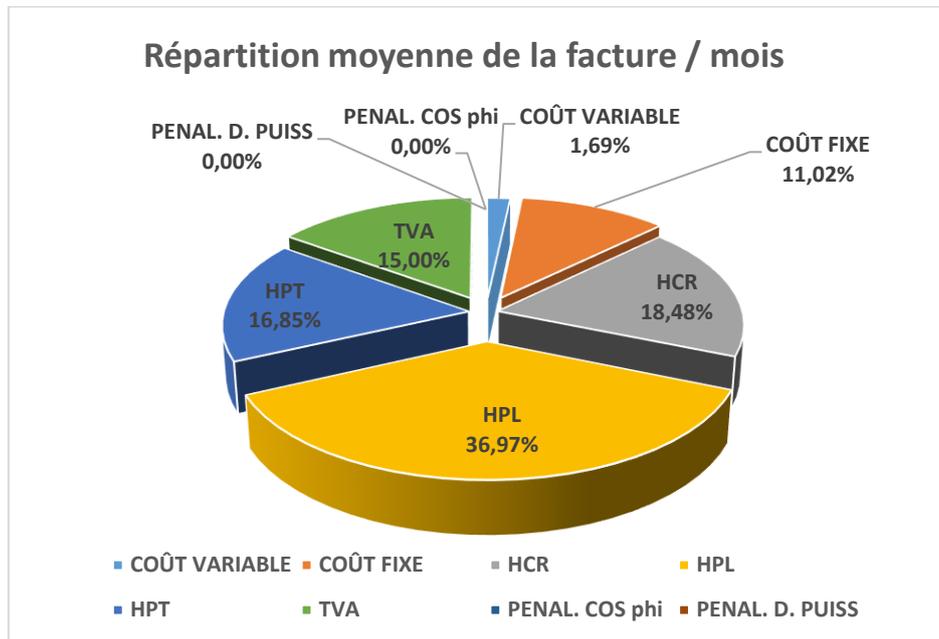


Figure 15 : Répartition moyenne de la facture SOTOTOLE 2 / mois

Nous observons à partir du camembert ci-dessus que 72,29 % de la facture mensuelle de SOTOTOLE 2 correspond à la consommation réelle d'électricité, 11,02 % correspondent au coût fixe, 15,00 % à la TVA et le reste au coût variable.

VI.5.3. Résultat

Tableau 25 : Économie annuelle réalisée par la SOTOTOLE 2

ECONOMIE REALISEE PAR ANNEE		FCFA
COÛT VARIABLE	0,00 %	0
COÛT FIXE	39,68 %	6000000
HCR	0,00 %	0
HPL	0,00 %	0
HPT	0,00 %	0
PENAL. Cos phi	0,00 %	0
PENAL. D. PUISS	0,00 %	0
TVA	8,01 %	1080000
TOTAL	7,88 %	7080000

Le montant annuel avant optimisation est **89 836 626 FCFA** et celui après optimisation **82 756 626 FCFA** ; soit une économie de 7,88 %.

VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATION

VII.1. CONCLUSION

La présente étude de faisabilité détaillée du projet d'efficacité énergétique au sein de l'entreprise Nouvelle SOTOTOLES-SA au TOGO a effectivement permis d'appréhender et de compléter l'étude préalable déjà menée par SUNREF à SOTOTOLES. Elle a également permis de confirmer son éligibilité au vaste programme d'énergie entrepris par l'AFD et ses partenaires techniques et financiers en Afrique de l'Ouest.

Cette étude a été bénéfique, nous avons appris à mieux maîtriser le système de facturation et la méthodologie d'optimisation des factures. Nous encourageons les efforts déjà faits sur la correction du facteur de puissance de SOTOTOLE 2. Mais la facture mensuelle d'électricité est toujours élevée et est due au coût de la redevance puissance. Nous proposons de réduire à 300 kVA la puissance souscrite. Ce qui lui permettra d'avoir une bonne performance énergétique et d'économiser environ 7 080 000 FCFA pour un investissement nul.

Les constats et analyses faits sur l'étude a permis de confirmer ou d'identifier des gisements d'économie d'énergie et de les évaluer. La Nouvelle-SOTOTOLES transforme par an plus de 14 000 tonnes d'acier en combinant des ressources humaines de 700 employés permanents, les ressources épuisables, l'effort des machines et le capital.

- ✓ Le site de SOTOTOLES 2 consomme par année 58,296 MWh d'énergie électrique et 360 927,19 litres de fioul lourd ;
- ✓ La consommation spécifique de l'énergie électrique est de 0,233 kWh/ kg de fer ;
- ✓ Le coût spécifique de l'énergie électrique est de 29,95 FCFA/ kg de fer. Elle est moins élevée que la consommation au coût spécifique de l'énergie primaire qui est de 55,15 FCFA/ kg de fer.

L'énergie électrique représente 35 % des coûts énergétiques et l'énergie primaire 65 % en l'état actuelle. L'énergie primaire consommée est dans un ratio de 15 % électrique et 85 % primaire.

Les deux mesures déjà identifiées dans l'étude de prédiagnostic, se sont avérés après analyse, être des propositions viables aussi bien d'un point de vue énergétique qu'économique. Il s'agit des mesures suivantes :

- ✓ Le remplacement des deux anciens fours à fioul lourd de l'usine de SOTOTOLE 2, par deux nouveaux fours bicom bustibles exploités au GPL ;

- ✓ Le remplacement des lampes conventionnelles éclairant les allées des usines F et G par des lampes plus économiques.

VII.2. RECOMMANDATION

La recommandation à la SOTOTOLE 2 à la fin de cette étude de faisabilité détaillée est la suivante :

Le bilan de puissance (section II.3.2) réalisé pendant l'audit a révélé que la puissance électrique foisonnée des moteurs représente 96,25 % de la puissance totale foisonnée.

L'énergie électrique que les moteurs consomment représente 92,99 % de l'énergie électrique totale consommée. (La moyenne au niveau mondial est de 70 % pour la consommation énergétique des moteurs électriques dans l'industrie) [11] ; [12]. SOTOTOLES 2 ne déroge donc pas à cette règle.

Toute politique d'économie d'énergie doit donc viser en priorité les moteurs électriques qui sont de loin les plus gros consommateurs d'énergie de l'industrie. Le site a déjà fourni des efforts classiques en la matière comme :

- La maîtrise du facteur de puissance par la pose de batteries de condensateurs ;
- L'utilisation de démarreur progressif pour diminuer les courants d'appels des moteurs au démarrage.

Malgré cela, la part des moteurs électriques demeure importante 92,99 %. Il apparaît alors nécessaire de faire recours maintenant aux dernières technologies de construction des moteurs qui ont permis d'améliorer de façon nette leur efficacité énergétique.

- **Classification** [13]

En fonction de leur rendement, la Commission Européenne classe les moteurs entre (0,75 à 375 kW) en différentes catégories :

- ✓ IE1 : Rendement standard ;
- ✓ IE2 : Haut rendement, obligatoire pour tous les nouveaux moteurs depuis 2011 ;
- ✓ IE3 : Rendement Premium, obligatoire pour tous les nouveaux moteurs à partir de 2015 et 2017 ;
- ✓ IE4 : Rendement Super Premium (moteur haut de gamme).

- **Cas de SOTOTOLES 2**

Vu la section III.1.7, la modernisation du parc de moteurs électriques est un important gisement d'énergie qu'il faut explorer rapidement pour plusieurs raisons importantes :

- ✓ SOTOTOLES 2 pourra en tirer une économie sur sa consommation d'énergie électrique ;
- ✓ L'économie d'énergie électrique se traduira par une diminution de CO₂ rejeté dans l'atmosphère ;
- ✓ Le retour d'investissement de l'opération est rapide.

Cependant, cette opération ne peut être entreprise qu'après une étude approfondie qui permettra :

- De déterminer le niveau de modernisation optimum à atteindre ;
- D'identifier les moteurs à remplacer en justifiant leur choix avec des chiffres à l'appui ;
- De définir les caractéristiques techniques des nouveaux moteurs à acquérir (vitesse de rotation, puissance, mode de fixation, type de courant, mode de démarrage, hauteur d'axe, diamètre et longueur d'axe, mode d'entraînement, l'indice de protection, température ambiante ; etc.)

En regard de l'important enjeu de la question, nous recommandons vivement à la SOTOTOLES 2, de commencer dès que possible, l'étude de modernisation de son parc de moteurs électriques afin de pouvoir profiter des nombreux avantages qu'une telle opération présente.

Références bibliographiques

- [1] J.-C. GUIBET, «"Les carburants et la combustion",» 10 6 2000. [En ligne]. Available: <http://www.techniques-ingenieur.fr>. [Accès le 24 10 2016].
- [2] A. O. e. A. G. Sodr , «Modélisation de l'atténuation au sol de la concentration d'une centrale thermique diesel,» *Afrique SCIENCE*, pp. 3-4.
- [3] «Documents/Conversion_energie.pdf,» [En ligne]. Available: <http://thermaclim.free.fr>. [Accès le 6 11 2016].
- [4] «"Bilans des émissions de gaz à effet de serre, p.56",» [En ligne]. [Accès le 10 6 2016].
- [5] ADEME, «La base de donnée carbone, p.27,» 18 11 2014. [En ligne]. Available: <http://www.bilans-ges.ademe.fr/static/documents/%5BBase%20Carbone%5D%20Documentation%20g%C3%A9n%C3%A9rale%20v11.0.pdf>. [Accès le 10 10 2016].
- [6] I. JACUBOWIEZ, «Fours industriels,» ©*Technique de l'ingénieur, traité Génie énergétique*, pp. 2-3, Janvier 1998.
- [7] D. YAMEGUEU, *COGENERATION*, Fondation 2iE - Burkina Faso, 2015.
- [8] A. e. A. Syndicat de l'éclairage, «ECLAIRAGE INDUSTRIEL,» *pour une approche en c t global d'une installation d'éclairage industriel*, p. 11.
- [9] P. Y. Coulibaly, *ECONOMIES D'ENERGIE DANS LE BATIMENT ET DANS L'INDUSTRIE*, Fondation 2iE - Burkina Faso, Dec 2010, pp. 91-97.
- [10] I. E. Agency, «CO2 from fuel combustion,» *HIGHLIGHTS*, p. 112, 18 Novembre 2011.
- [11] E. I. Automation, *Maîtriser l'énergie dans les applications motorisées*.
- [12] E. C. ENVIRONNEMENT, «GISEMENT D'ECONOMIE D'ENERGIE DANS L'INDUSTRIE,» 2013.
- [13] C. d. Bourgogne, *Efficacité  nerg tique : Moteurs   Haut Rendement*.
- [14] [En ligne]. Available: www.sototoles.com.
- [15] «Tarifs de vente de l'énergie électrique au Togo,» [En ligne]. Available: http://www.arse.tg/wp-content/uploads/2014/08/TARIFS_du-26-11-10.pdf.

ANNEXES

Annexe 1 : PRODUITS	I
Annexe 2 : ORGANIGRAMME.....	II
Annexe 3 : RELEVES CEET	III
Annexe 4 : TARIFS DE LA CEET [15]	IV
Annexe 5 : CONSOMMATION DE FIOUL LOURD en 2014 et 2015.....	V
Annexe 6 : INVENTAIRE ET BILAN DE PUISSANCE (Fonctionnement Normal)	VIII
Annexe 7 : BILAN DE PUISSANCE (Groupe électrogène).....	IX
Annexe 8 : DEVIS D'ACQUISITION DES FOURS BICOMBUSTIBLES.....	X
Annexe 9 : DEVIS D'ACQUISITION D'UNE STATION DE GPL	XI
Annexe 10 : Caractéristiques des nouveaux fours	XIII
Annexe 11 : Coût d'acquisition des nouvelles lampes aux LEDs.....	XV
Annexe 12 : Note de calcul des économies d'énergies	XVII
Annexe 13 : BILAN DE PUISSANCE (après réaménagement).....	XXI
Annexe 14 : Les catalogues des lampes	XXII
Annexe 15 : Rapport de simulation DIALux evo	XXV

Annexe 1 : PRODUITS



Fer à T



Fer phosphaté galvanisé



Fer phosphaté



Fers à béton-lisses



H-70



Lames-persiennes



Tuiles métalliques



Tôle ondulée galvanisée



Crochets



Fers galvanisés



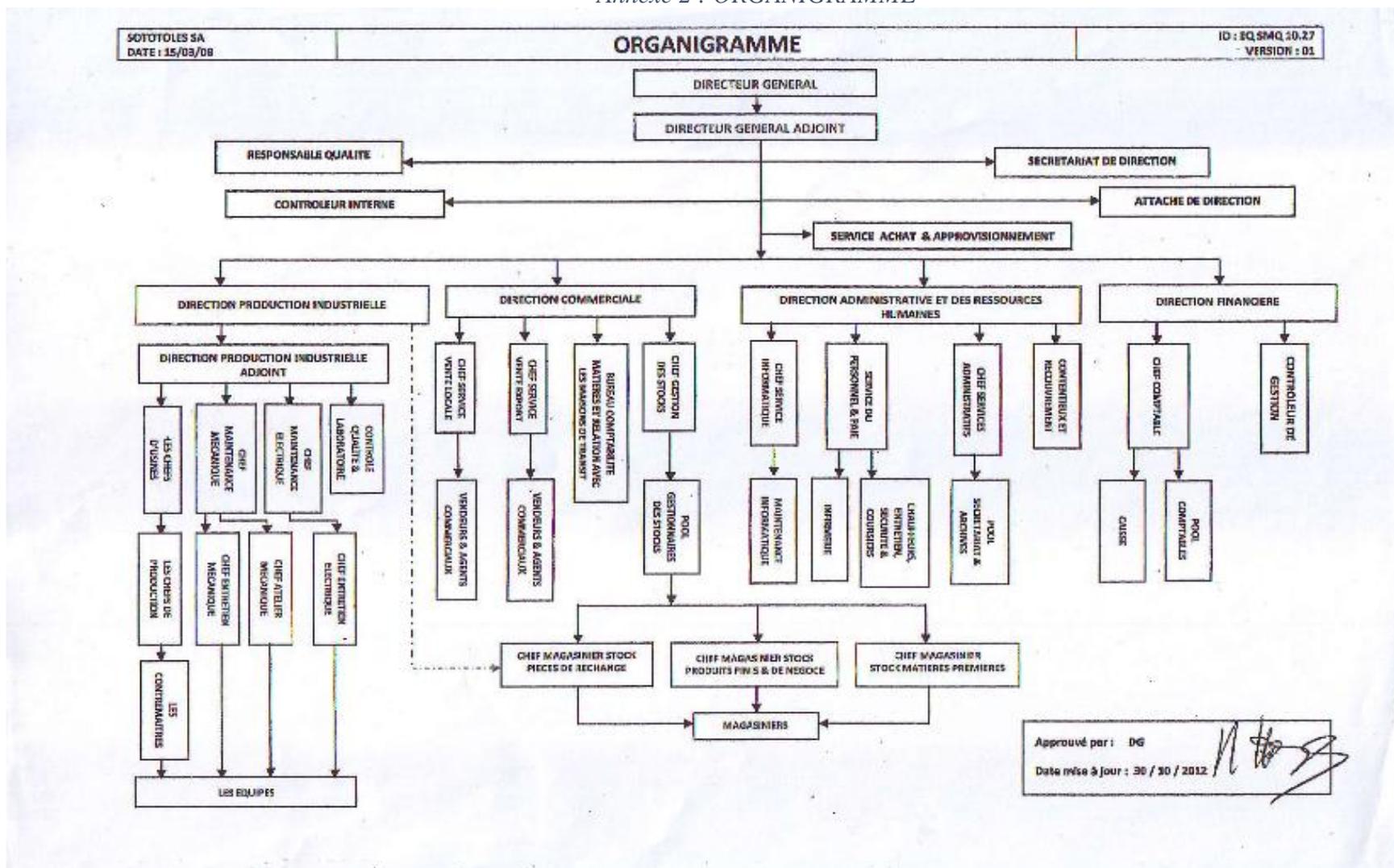
Fers-recuits



Petit-bois

Figure 16 : Quelques produits fabriqués par la Nouvelle SOTOTOLE [14]

Annexe 2 : ORGANIGRAMME



Annexe 3 : RELEVES CEET

Tableau 26 : Données pour études de facturation du site de SOTOTOLE 2

N°	ACTIVE						RÉACTIVE				PERTE			S ENREG.
	Heures creuses		Heures pleines		Heures de pointe		Heures creuses		Heures pleines + pointes		Perte transfo			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Mois	Nouvel Index	Ancien Index	Nouvel Index	Ancien Index	Nouvel Index	Ancien Index	Nouvel Index	Ancien Index	Nouvel Index	Ancien Index	Pertes creuses	Pertes pleines	Pertes pointes	Maximum enregistré kVA
Janv-15	984 094	975 432	2 098 309	2 083 628	854 926	848 098	161 873	161 810	550 997	550 907	506	866	368	243
Févr-15	999 492	984 094	2 125 811	2 098 309	866 588	854 926	161 959	161 873	551 197	550 997	573	995	416	243
Mars-15	1 017 739	999 492	2 158 145	2 125 811	880 161	866 588	162 243	161 959	551 929	551 197	602	1 043	435	243
Avr-15	1 033 979	1 017 739	2 187 623	2 158 145	891 796	880 161	162 431	162 243	552 458	551 929	582	1 014	416	233
Mai-15	1 047 038	1 033 979	2 209 555	2 187 623	901 337	891 796	162 432	162 431	552 470	552 458	550	939	395	243
Juin-15	17 593	0	34 119	0	12 472	0	110	0	547	0	595	1 061	424	219
Juil-15	33 333	17 593	62 803	34 119	24 257	12 472	133	110	650	547	577	1 006	417	175
Août-15	48 504	33 333	89 914	62 803	35 712	24 257	212	133	889	650	571	991	414	205
Sept-15	68 329	48 504	127 766	89 914	49 793	35 712	497	212	1 729	889	618	1 098	440	246
Oct-15	89 656	68 329	162 298	127 766	64 385	49 793	860	497	2 536	1 729	633	1 065	445	260
Nov-15	111 866	89 656	203 050	162 298	80 944	64 385	1 296	860	4 280	2 536	642	1 127	465	279
Déc-15	975 432	967 289	2 083 628	2 068 936	848 098	842 027	161 810	161 599	550 907	550 569	501	866	360	243

Sources : Relever des factures de la CEET

Annexe 4 : TARIFS DE LA CEET [15]

Tableau 27 : Les constantes de la facture

CONSTANTES DE LA FACTURE		
ABONNEMENT	MT	
PUISSANCE DU TRANSFORMATEUR	1000	kVA
PUISSANCE SOUSCRITE	500	kVA
PUISSANCE DES CONDENSATEURS	-	kVAr

Tableau 28 : Tarification moyenne tension de la CEET

LA TARIFICATION		
TARIF PRIME FIXE	2500	FCFA/kVA
CONTRIBUTION ECL. PUBLIQUE	2	FCFA/kWh
TARIF HEURES CREUSES	77	FCFA/kWh
TARIF HEURES PLEINES	86	FCFA/kWh
TARIF HEURES DE POINTE	96	FCFA/kWh
ENTRETIEN COMPTEUR	4500	FCFA/mois
ENTRETIEN BRANCHEMENT	5500	FCFA/mois

Annexe 5 : CONSOMMATION DE FIOUL LOURD en 2014 et 2015

Tableau 29 : Consommation de fioul lourd de SOTOTOLE 1 en 2014

N°	DATE	Fournisseur	QUANTITÉ (l)	PU [FCFA]	MONTANT [FCFA]
1	Janvier à Mai 2014		440 738,43	490,40	216 138 124,00
2	Juin à Novembre 2014		344 958,18	490,40	169 167 492,00
3	Complément Août 2014				
4		TOTAL 8	18 000,00	486,71	8 760 780,00
5		TOTAL 9	18 000,00	486,71	8 760 780,00
6		TOTAL 10	14 000,00	486,71	6 813 940,00
7	Déc-14				
8		TOTAL 1	7 000,00	486,71	3 406 970,00
9		TOTAL 2	13 000,00	486,71	6 327 230,00
10		TOTAL 3	13 000,00	494,20	6 424 600,00
11		TOTAL 4	17 000,00	494,20	8 401 400,00
12		OANDO 1	40 000,00	494,00	19 760 000,00
13		TOTAL 5	13 000,00	486,71	6 327 230,00
14		TOTAL 6	4 000,00	486,71	1 946 840,00
15		TOTAL 7	13 000,00	486,71	6 327 230,00
TOTAL (2014) SOTOTOLE 1			955 696,61	488,99	468 562 616,00

Tableau 30 : Consommation de fioul lourd de SOTOTOLE 2 en 2014

N°	DATE	Fournisseur	QUANTITÉ (l)	PU [FCFA]	MONTANT [FCFA]
1	Janvier à juillet 2014		343 671	490,4	168 536 435
2	Août à Déc 2014		245 480	490,4	120 383 168
TOTAL (2014) SOTOTOLE 2			589 150,90	490,40	288 919 603,20

Tableau 31 : Consommation de fioul lourd de SOTOTOLE 3 en 2014

N°	DATE	Fournisseur	QUANTITÉ (l)	PU [FCFA]	MONTANT [FCFA]
1	Janvier à juillet 2014		775 386	490,4	380 249 450
2	Août à décembre 2014		553 847	490,4	271 606 750
TOTAL (2014) SOTOTOLE 3			1 329 233,69	490,40	651 856 200

Sources : reconstitution de la consommation du fioul lourd de SOTOTOLES de l'année 2014, à partir du grand livre comptable.

Tableau 32 : Consommation moyenne mensuelle d'énergie électrique de SOTOTOLE 2

N°	DATE	PRESTATAIRE	U	QUANTITÉ	PU	MONTANT [FCFA]
1	Janv-15	OANDO 1	1	28 000	480	13 440 000
2		TOTAL 1	1	50 000	448,09	22 404 500
3	Févr-15	TOTAL 2	1	16 000	448,09	7 169 440
4		TOTAL 3	1	4 000	448,09	1 792 360
5		OANDO 2	1	50 000	447,07	22 353 500
6		OANDO 3	1	30 000	447,07	13 412 100
7		TOTAL 4	1	18 000	448,09	8 065 620
8	Mars-15	OANDO 4	1	50 000	447,07	22 353 500
9		OANDO 5	1	30 000	447,07	13 412 100
10		OANDO 6	1	30 000	447,07	13 412 100
11		TOTAL 5	1	20 000	448,09	8 961 800
12		OANDO 7	1	50 000	447,07	22 353 500
13	Avr-15	OANDO 8	1	50 000	469,06	23 453 000
14		TOTAL 6	1	20 000	470,53	9 410 600
15		TOTAL 7	1	20 000	470,53	9 410 600
16		OANDO 9	1	70 000	469,06	32 834 200
17	Mai-15	OANDO 10	1	80 000	469,06	37 524 800
18		OANDO 11	1	50 000	469,06	23 453 000
19		OANDO 12	1	50 000	498,73	24 936 500
20	Juin-15	OANDO 13	1	70 000	490,3	34 321 000
21		SHELL 1	1	15 000	507	7 605 000
22	Juil-15	OANDO 14	1	40 000	478	19 120 000
23		TOTAL 8	1	30 000	478,09	14 342 700
24		SHELL 2	1	35 000	476	16 660 000
25		SHELL 3	1	15 000	476	7 140 000
26	Août-15	OANDO 15	1	33 000	473,5	15 625 500
27		OANDO 16	1	22 000	473,5	10 417 000
28		OANDO 17	1	15 000	473,5	7 102 500
29		TOTAL 9	1	13 000	437	5 681 000
30		TOTAL 10	1	37 000	437	16 169 000
31		OANDO 18	1	50 000	435,5	21 775 000
32	Sept-15	TOTAL 11	1	13 000	437	5 681 000
33		TOTAL 12	1	13 000	437	5 681 000
34		OANDO 19	1	50 000	436,5	21 825 000
35		TOTAL 13	1	14 000	437	6 118 000
36		OANDO 20	1	28 000	436,5	12 222 000
37		TOTAL 14	1	50 000	478,09	23 904 500
38		TOTAL 15	1	20 000	437	8 740 000
39	Oct-15	OANDO 21	1	30 000	436,5	13 095 000
40		OANDO 22	1	30 000	436,5	13 095 000
41		OANDO 23	1	14 000	436,5	6 111 000
42		OANDO 24	1	14 000	436,5	6 111 000
43		TOTAL 16	1	13 000	437	5 681 000
44		TOTAL 17	1	7 000	437	3 059 000
45		OANDO 25	1	14 000	436,5	6 111 000

N°	DATE	PRESTATAIRE	U	QUANTITÉ	PU	MONTANT [FCFA]
46		OANDO 26	1	50 000	478	23 900 000
47		SHELL 5	1	35 000	507	17 745 000
48	Nov-15	OANDO 27	1	40 000	436,5	17 460 000
49		OANDO 28	1	14 000	436,5	6 111 000
50		OANDO 29	1	14 000	436,5	6 111 000
51		TOTAL 18	1	20 000	424,89	8 497 800
52		OANDO 30	1	40 000	423,5	16 940 000
53	Déc-15		1	146 727	455	66 760 909
54	TOTAL 2015		RATIO	1 760 727	455	807 072 129
55	SOTOTOLES 1		30 %	585 481	454	268 369 626
56	SOTOTOLES 2		20 %	360 927	455	165 439 750
57	SOTOTOLES 3		50 %	814 319	455	373 262 754

Sources : reconstitution de la consommation du fioul lourd de SOTOTOLES de l'année 2015, à partir des factures d'achat.

Annexe 6 : INVENTAIRE ET BILAN DE PUISSANCE (Fonctionnement Normal)

N°	SITE USINE ET LIGNE	P. MOTEUR kW	Puissance Eclairage Autres (kW)	NOMBRE	Puissance Utile (kW)	Rendement rendement du convertisseur	facteur de puissance	ku	ks1	Pf1 (kW)	Qf1 (kVar)	ks2	Pf2 (kW)	Qf2 (kVar)	ks3	Pf3 (kW)	Qf3 (kVar)	DETAIL
S2	SOTOTOLES 2																	
F	USINE F (Galvanisation de fil)																	
F1	Ligne galvanisation																	
	Devidoir	7		2	14,000	0,8	0,8	0,8	0,5	7,000	5,250							
	Four de chauffage	1		1	1,000	0,7	0,7	0,8	1	1,143	1,166							
	Bac de traitement chimique	3		1	3,000	0,7	0,7	0,8	1	3,429	3,498	0,7	24,500	23,671				
	Four de zinkage	1		1	1,000	0,7	0,7	0,8	1	1,143	1,166							
	Bobinoir	2,5		14	35,000	0,7	0,7	0,8	0,5	20,000	20,404							
	Bobinoir	2		2	4,000	0,7	0,7	0,8	0,5	2,286	2,332							
F2	Ligne tréfilage 1																	
	Dérouleur commun																	
	Tireur	2,5		1	2,500	0,7	0,7	0,8	1	2,857	2,915							
	Trefileuse 1	15		7	105,000	0,8	0,8	0,8	1,5	157,500	118,125	0,8	195,537	101,962				
	Enrouleur 1	2,75		4	11,000	0,7	0,7	0,8	0,5	6,286	6,413							
	Enrouleur 1	70		1	70,000	0,9	1	1	1	77,778	0,000							Continu
F3	Ligne tréfilage 2																	
	Trefileuse 2	37		7	259,000	0,8	0,8	0,8	1,5	388,500	291,375	0,9	420,736	265,386	0,7	533,224	311,246	
	Enrouleur 2	1,5		2	3,000	0,7	0,7	0,8	1	3,429	3,498							
	Enrouleur 2	68		1	68,000	0,9	1	1	1	75,556	0,000							Continu
F4	Ligne tréfilage 3																	
	Trefileuse 3	0,75		1	0,750	0,6	0,5	0,8	1	1,000	1,732							
	Trefileuse 3	110		1	110,000	0,9	0,9	0,8	1	97,778	47,356	0,8	99,822	40,656				Rototique
	Enrouleur 3	0,75		1	0,750	0,6	0,5	0,8	1	1,000	1,732							
	Enrouleur 3	22,5		1	22,500	0,9	1	1	1	25,000	0,000							Continu
F5	Atelier / Perseuse	1		1	1,000	0,7	0,7	0,8	1	1,143	1,166	0,9	3,600	3,673				
F5	Atelier / Soudeuse	2,5		1	2,500	0,7	0,7	0,8	1	2,857	2,915							
F6	Eclairage		0,036	115	5,175	0,8	0,85	1	1	6,469	4,009	0,9	17,554	9,290				
F6	Eclairage		0,4	17	8,500	0,7	0,9	1	1	12,143	5,881							
F6	Eclairage		0,5	1	0,625	0,7	0,9	1	1	0,893	0,432							
G	Usine G Phosphatation																	
G1	Ligne de phosphatation																	
	Palan phosphate	8,75		2	17,500	0,8	0,8	0,8	1	17,500	13,125	0,8	30,000	31,142				
	Compresseur phosphate	5		1	5,000	0,8	0,8	0,8	1	5,000	3,750							
	Chaudière bain chaud	0,75		1	0,750	0,6	0,5	0,8	11	11,000	19,053							Ventilo bruleur gasoil cuve 8200 l intérieur
	Compresseur 2 HP	4		1	4,000	0,8	0,8	0,8	1	4,000	3							
G2	Ligne quick kink																	
	Redresseur	6,67		3	20,000	0,8	0,8	0,8	1,5	30,000	22,500	1	30,000	22,500				
G3	magasin stockage																	
	Palan	5		4	20,000	0,8	0,8	0,8	0,5	10,000	7,500	0,9	13,083	10,916	0,7	67,191	48,847	
	Ensachage bobine	1,25		2	2,500	0,7	0,7	0,8	1	2,857	2,915							
	Compresseur	1,47		1	1,470	0,7	0,7	0,8	1	1,680	1,714							
G4	Eclairage		0,036	4	0,180	0,8	0,85	1	1	0,225	0,139	0,9	10,729	5,224				
G4	Eclairage		0,25	7	2,188	0,7	0,9	1	1	3,125	1,514							
G4	Eclairage		0,4	12	6,000	0,7	0,9	1	1	8,571	4,151							
G5	Climatisation		11	1	11,000	1	1	1	1	11,000	0,000	1	11,000	0,000				
G6	Informatique		1,175	1	1,175	1	1	1	1	1,175	0,000	1	1,175	0,000				3 ordinateurs de 225 W et 500 W
T2	TOTAL SOTOTOLES 2	383,637	13,797	223,000	820,063					1001,321	600,725		857,736	514,419		600,415	360,094	
	P. MOTEUR (kW)	957,720	95,65%	216	206 867,45	92,99%	0,6											
	PUISSANCE ECLAIRAGE (kW)	31,426	3,14%	448	14078,8	6,33%	1											
	Climatisation (kW)	11,000	1,10%	120	1320	0,59%	1											
	Informatique (kW)	1,175	0,12%	176	206,8	0,09%	1											
	TOTAL	1 001,32	100,00%	960	222 473,05	100,00%												
	P. foisonnée (kW)	600,415																
	Q. foisonnée (kVar)	360,094																
	S. foisonnée (kVA)	700,119																
	Coeff d'extension	1,200																
	S. Transfo (kVA)	840,142																
	S. Normalisée. Transfo (kVA)	1000,000																
	cos phi global	0,858																

Annexe 7 : BILAN DE PUISSANCE (Groupe électrogène)

N°	SITE USINE ET LIGNE	P. MOTEUR kW	Puissance Eclairage Autres (kW)	NOMBRE	Puissance Utile (kW)	Rendement rendement du convertisseur	facteur de puissance	ku	ks1	Pf1 (kW)	Qf1 (kVar)	ks2	Pf2 (kW)	Qf2 (kVar)	ks3	Pf3 (kW)	Qf3 (kVar)	DETAIL	
S2	SOTOTOLES 2																		
F	USINE F (Galvanisation de fil)																		
F1	Ligne galvanisation																		
	Devidoir	7		2	14,000	0,8	0,8	0,8	0,5	7,000	5,250								
	Four de chauffage	1		1	1,000	0,7	0,7	0,8	1	1,143	1,166								
	Bac de traitement chimique	3		1	3,000	0,7	0,7	0,8	1	3,429	3,498								
	Four de zinkage	1		1	1,000	0,7	0,7	0,8	1	1,143	1,166	0,8	10,171	8,864					
	Bobinoir	2,5		14	35,000	0,7	0,7	0,8	0	0,000	0,000								
	Bobinoir	2		2	4,000	0,7	0,7	0,8	0	0,000	0,000								
F2	Ligne tréfilage 1																		
	Dérouleur commun																		
	Tireur	2,5		1	2,500	0,7	0,7	0,8	0	0,000	0,000								
	Trefileuse 1	15		7	105,000	0,8	0,8	0,8	0	0,000	0,000	0,8	0,000	0,000					
	Enrouleur 1	2,75		4	11,000	0,7	0,7	0,8	0	0,000	0,000								
	Enrouleur 1	70		1	70,000	0,9	1	1	0	0,000	0,000							Continu	
F3	Ligne tréfilage 2																		
	Tréfileuse 2	37		7	259,000	0,8	0,8	0,8	0	0,000	0,000								
	Enrouleur 2	1,5		2	3,000	0,7	0,7	0,8	0	0,000	0,000	0,9	0,000	0,000					
	Enrouleur 2	68		1	68,000	0,9	1	1	0	0,000	0,000							Continu	
F4	Ligne tréfilage 3																		
	Tréfileuse 3	0,75		1	0,750	0,6	0,5	0,8	0	0,000	0,000								
	Tréfileuse 3	110		1	110,000	0,9	0,9	0,8	0	0,000	0,000	0,8	0,000	0,000				Rototique	
	Enrouleur 3	0,75		1	0,750	0,6	0,5	0,8	0	0,000	0,000								
	Enrouleur 3	22,5		1	22,500	0,9	1	1	0	0,000	0,000							Continu	
F5	Atelier / Perseuse																		
	Atelier / Soudeuse	2,5		1	2,500	0,7	0,7	0,8	0	0,000	0,000	0,9	0,000	0,000					
F6	Eclairage																		
	Eclairage		0,036	115	5,175	0,8	0,85	1	1	6,469	4,009								
	Eclairage		0,4	17	8,500	0,7	0,9	1	1	12,143	5,881	0,9	17,554	9,290					
	Eclairage		0,5	1	0,625	0,7	0,9	1	1	0,893	0,432								
G	Usine G Phosphatation																		
G1	Ligne de phosphatation																		
	Palan phosphate	8,75		2	17,500	0,8	0,8	0,8	1	17,500	13,125								
	Compresseur phosphate	5		1	5,000	0,8	0,8	0,8	1	5,000	3,750	0,8	30,000	31,142					
	Chaudière bain chaud	0,75		1	0,750	0,6	0,5	0,8	11	11,000	19,053							Ventilo bruleur gazoil cuve 8200 l intérieur	
	Compresseur 2 HP	4		1	4,000	0,8	0,8	0,8	1	4,000	3								
G2	Ligne quick kink																		
	Redresseur	6,67		3	20,000	0,8	0,8	0,8	0	0,000	0,000	1	0,000	0,000					
G3	magasin stockage																		
	Palan	5		4	20,000	0,8	0,8	0,8	0	0,000	0,000								
	Ensachage bobine	1,25		2	2,500	0,7	0,7	0,8	0	0,000	0,000	0,9	0,000	0,000					
	Compresseur	1,47		1	1,470	0,7	0,7	0,8	0	0,000	0,000								
G4	Eclairage																		
	Eclairage		0,036	4	0,180	0,8	0,85	1	1	0,225	0,139								
	Eclairage		0,25	7	2,188	0,7	0,9	1	1	3,125	1,514	0,9	10,729	5,224					
	Eclairage		0,4	12	6,000	0,7	0,9	1	1	8,571	4,151								
G5	Climatisation																		
	Climatisation		11	1	11,000	1	1	1	1	11,000	0,000	1	11,000	0,000					
G6	Informatique																		
	Informatique		1,175	1	1,175	1	1	1	1	1,175	0,000	1	1,175	0,000				3 ordinateurs de 225 W et 500 W	
T2	TOTAL SOTOTOLES 2		383,637	13,797	223,000	820,063					93,815	66,134		80,630	54,520		61,986	41,795	
	P. MOTEUR (kW)	785,22	95,75%	50,214	53,52%														
	PUISSANCE ECLAIRAGE (kW)	22,6675	2,76%	31,426	33,50%														
	Climatisation (kW)	11	1,34%	11,000	11,73%														
	Informatique (kW)	1,175	0,14%	1,175	1,25%														
	P. foisonnée (kW)	61,986		Heure	2,5														
	Q. foisonnée (kVar)	41,795		Jours	6														
	S. foisonnée (kVA)	74,760		Semaines	4														
	Coeff d'extension	1,100		Mois	12														
	S. groupe (kVA)	82,236																	
	S. Normalisée. groupe (kVA)	100,000																	
	cos phi global	0,8291																	
	P. Nominale (kW)	80,000																	
	Coeff a et b (l/kWh)	0,25	0,074																
	Consommation horaire	15,496	5,92																
	Consommation annuelle	21,416 (l/h)		15419,862 (l/an)															

Annexe 8 : DEVIS D'ACQUISITION DES FOURS BICOMBUSTIBLES

PROFORMA INVOICE					
ACE FURNACES PVT LIMITED W-111, TTC INDUSTRIAL AREA, RAJALE NAWI KUMBAI, 400701				Range	I
				Division	BELAPUR-V
				Commissionerate	BELAPUR
Inv. Cert. No.	AAMC4556261				
Name of Exchable Goods	PARTS OF FURNACES				
Chapter No / ITC Subheading No	841920				
Place of Duty	NIL				
				Insurance	NA
				KOUR REF NO	ACCPH.401571 DATED 14-05-2015
Shipment Details Shipment No : APPLC. AT TIME OF DESP. Payment Terms : 50% AGAINST LC & 10% AFTER COMMISSIONER		Proforma Invoice No : 01/15/2015 Date : 25-06-15		Challan No : N/A Date : N/A	
Name and address of Consignee : S/S NOUVELLE SOTOTOLES SA ZONE INDUSTRIELLE, RAJNERIE B P 9106 LOME TOGO					
SR NO	Description and Specification of Goods	No of Packages	Total Qty	Assessable Value EURO	Total Assessable Value EURO
PARTS OF FURNACES FOR WIRE ANNEALING & GALVANIZING UNIT					
1ST SHIPMENT FOR DESPATCH					
1)	Heavy Duty Seal system for Wire annealing Furnace	1 SET	1 SET	1,200.00	1,200.00
2)	Heating coil assembly - Annealing Furnace	1 SET	1 SET	13,000.00	13,000.00
3)	High Alumina Muller bricks suitable with separator for annealing Furnace	1 SET	1 SET	3,000.00	3,000.00
4)	Complete Refractory Insulation bricks, ceramic fiber modules, blankets, US fire bricks, fireclay bricks, 8.8. anchors and studs, HYDR Blocks for wire annealing and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	24,000.00	24,000.00
5)	Fabricated MS Exhaust ducts with SS 316 Grade Manual Flue Damper for Wire annealing	1 SET	1 SET	3,000.00	3,000.00
2ND SHIPMENT FOR DESPATCH					
1)	Fabricated Zinc pot (kettle)	1 SET	1 SET	15,000.00	15,000.00
2)	Zinc pot furnace cooling assembly	1 SET	1 SET	7,000.00	7,000.00
3)	Supports bricks for Zinc Pot	1 SET	1 SET	5,000.00	5,000.00
4)	Fabricated Flue exhaust ducts with Manual Flue Damper for Zinc pot furnace	1 SET	1 SET	3,500.00	3,500.00
3RD SHIPMENT FOR DESPATCH					
1)	Complete combustion system with burners and accessories for Wire annealing Furnace and Galvanizing furnace	1 SET	1 SET	25,000.00	25,000.00
2)	Combustion air blowers, Atomizing Air blowers for wire annealing furnace and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	5,000.00	5,000.00
3)	Oil Filtering and straining unit for wire annealing furnace and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	1,000.00	1,000.00
4)	Main Gas Valve assembly for Galvanizing furnace and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	3,500.00	3,500.00
5)	Complete M.S. Ducting for combustion air header / Fuel Air line with fittings for Wire annealing and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	4,000.00	4,000.00
6)	M.G.C. Panels, KIP panel and burner control panel for wire annealing furnace and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	7,000.00	7,000.00
7)	Cable and Cabling Accessories for wire annealing furnace and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	5,000.00	5,000.00
8)	PI type Temperature Indicator & Controller for wire annealing furnace and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	1,000.00	1,000.00
9)	3 Nos K type thermocouples for wire annealing furnace and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	1,000.00	1,000.00
10)	Complete set of Pressure switches and pressure gauges for Fuel and Air wire annealing furnace and zinc pot furnace	1 SET	1 SET	1,000.00	1,000.00
BANK DETAILS:					
ACCOUNT HOLDER NAME :- ACE FURNACES PVT LIMITED BANK NAME :- BANK OF BARODA BRANCH ADDRESS :- RAJALE NAWI KUMBAI -400701, INDIA SWIFT CODE :- BOB0B03H ACCOUNT NO :- 2753020000153					
				GRAND TOTAL	EUR 148,500.00
PROF. INVOICE VALUE (IN WORDS) : EURO ONE LAC FORTY EIGHT THOUSAND ONLY		EURO ONE LAC FORTY EIGHT THOUSAND ONLY			
ARIS: 2015-152 IN-TABLE :- VAT IN :- 27031945886 V s.n. 11/03/2014 CET IN :- 27031945886 C s.n. 11/03/2014 PAN NO :- AAMC4556A ITC NO (HARBOUR) 2015/2015 C s.n. 01/04/2014				I/we hereby certify that PARTICULARS GIVEN ABOVE ARE TRUE AND CORRECT AND AMOUNT INDICATED REPRESENTS THE PRICE ACTUALLY CHARGED AND THAT THERE ARE NO ADDITIONAL CONSIDERATION FLOWING OR EXPECTED FROM THE BUYER ACE FURNACES PVT LIMITED	
I/we hereby certify that my / our registration certificate under the Maharashtra Value Added Tax 2002 is in force on the date on which the sale of the goods specified in this tax invoice is made by me/us and that the transaction of sale covered by this tax invoice has been collected by me/us and it shall be accounted for in the turnover of sale with filing of return of the due tax, if any, payable of the sale has been paid or shall be paid					



Annexe 9 : DEVIS D'ACQUISITION D'UNE STATION DE GPL

SODIGAZ SA

Société de Distribution de Gaz

OFFRE FINALE POUR LA FOURNITURE D'UNE INSTALLATION GPL POUR
LES FOURS DE LA SOCIETE SOTOTOLES *IV*

FACTURE PRO-FORMA N°SDG/2016/001/PMPR

Société de Distribution de Gaz SA au Capital de 300 000 000 FCFA

RCCM 2009 M 1320 – N° Fiscal 072939 D

Zone Industrielle de Lomé, Route d'Aného

08 BP 8535, Lomé – Togo

Téléphone : +228 227 20 00/239 32 23

Fax : +228 227 20 02

E-mail : info@sodigaz.tg

CCIT: N°921 / 2008 / CCIT

Offre finale pour la fourniture d'une installation GPL pour les fours de la société SOTOTOLES

N°	DESIGNATION	UNIT	QTE	PU	MONTANT
1	Fourniture et installation de l'évaporateur électrique GPL de 200 kg/h y compris le tableau de contrôle, une électrovanne, le groupe de réduction les robinets d'arrêt, ...	U	1,00	8 800 000	8 800 000
2	Fourniture et installation des bouteilles de 250 kg (500 litres) y compris les supports	U	24,00	850 000	20 400 000
3	Fourniture, façonnage, construction des tuyauteries de 1"1/2 pour alimentation du brûleur y compris peinture et ré-épreuve de la ligne	ML	75,00	70 000	5 250 000
4	fourniture de tuyau flexible NF bout serti en écrou M 30	U	24,00	75 000	1 800 000
5	Fourniture et installation de divers accessoires, notamment les détendeurs, les vannes, les filtres, supports, etc....	Ens.	1,00	2 900 000	2 900 000
6	Fourniture et installation d'un Brûleur y compris le tableau de commande et autres accessoires	U	1	A LA CHARGE DU CLIENT	
TOTAL					39 150 000
Remise exceptionnelle 5,0%					1 957 500
TOTAL HT					37 192 500

Arrêter la présente offre à la somme totale de Trente-sept millions cent quatre-vingt-douze mille cinq cent (37 192 500) FCFA HT.

Conditions de règlement : Avance de 50% à la commande
25% à la livraison de fournitures
15% à la réception des installations
10% 30 jours après livraison

Validité de l'offre : 30 Jours à compter de la signature de l'offre

Délais minimum de livraison : 60 Jours à compter du règlement de l'avance.

Fait à Lomé, le 03 Février 2017

PO

Jonas A. DAOU
PDG de SODIGAZ



Annexe 10 : Caractéristiques des nouveaux fours¹



ACEFPL/Q15/71

M/S. NOUVELLE SOTOTOLES S A
Zone Industrielle, B P 9106
LOME -TOGO

KIND ATTN.: -MR. ZIAD ELIAS

SUB. : OFFER FOR CONTINUOUS WIRE ANNEALING FURNACE AND GALVANIZING POT

This is with reference to visit of under signed to your plant and subsequent discussion he had with you regarding your requirement of continuous wire annealing furnace along with galvanizing zinc pot furnace for your existing annealing and pickling line . We thank you very much for your valuable enquiry given to us.

We introduced ourselves as **ACE FURNACES PVT. LTD.** located in Navi Mumbai, a professionally managed engineering company with key persons associated with the furnace industry having an experience of more than 20 years each in design and building of various types of heat treatment furnaces. With our considerable designing capabilities and actual experience in this filed we have been able to develop several innovative design of furnaces which are economical and energy efficient.

We are please to furnish hereunder our offer for complete Design, manufacture and supply of 1000 Kg /hr capacity continuous annealing and galvanizing furnace for wires.

- Part - I : Technical specifications /General Description /Our scope supply & Exclusion for proposed **ANNEALING FURNACE AND GALVANIZING POT.**
- Part II : Price schedule with commercial terms and conditions.

We hope our offer will be in line with your requirement .In case you require any further clarifications, we will be pleased to furnish the same upon hearing from you. Thanking you and assuring you of our best attention and co-operation at all times, we remain,

Yours faithfully,
For **ACE FURNACES PVT LTD.,**

[AMJAD SHEIKH- DIRECTOR & CEO]

¹Source : ACE FURNACES PVT LIMITED

- 15 Temperature control : Automatic through PID controllers through molten zinc
- 16 Flue exhaust : From side wall through SS 310 Grade damper connected to common chimney
17. **CONNECTED HEATING LOAD FOR ANNEALING FURNACE AND GALVANIZING POT**
- Total Connected Heating load for Annealing Furnace /Galvanizing furnace : 10,32,000 kcal/hrs
- HSD Flow required during initial Heating : 120 ltr/hours @ 3 to 4 Bar Pressure given through pumping unit
- LP Gas : 50 nm³/hour maximum flow
1.6 bar [maximum] before gas valve train [Only gas and it should be free from liquid or condensation].
- Assumed calorific value : • 9600 kcal/litr for HSD
• 24000 kCal/nm³ for LP Gas
- Electricity Load for annealing furnace parts : 20 Kwatts /3 Ph /4 Wire systems.
- 17 **Consumption data: [Annealing Furnace + Galvanizing Furnace]**
- Specific fuel consumption at continuous and full output at 900°C temperature of Annealing Furnace + 485 °C zinc temperature : • Approx 50 to 55 Liters / ton for HSD
• Approx 24 to 26 Nm³/ton for LP Gas
- Electricity consumption per tons : 15 to 18 kWh/ton of electricity for blowers /fans
13. Skin temperature of Furnace casing : +40°C above ambient temperature [Skin temperature near the burner region will be higher].
15. **Furnace line dimensions [Approx.]**
- Preheating zone : 1500 mm.
- Zone 1 : 4000 mm.

Source : ACE FURNACES PVT LIMITE

Annexe 11 : Coût d'acquisition des nouvelles lampes aux LEDs

Tableau 33 : Coût d'acquisition des lampes internes

Description	Quantité	Prix Unitaire (FCFA)	Prix Totale (FCFA)
PHILIPS G13 MASTER LedTube HF	119	17776	2115396
INDUSTRIAL HIGHLIGHT (DLIOILH0135F1T3A)	7	272878	1910147
INDUSTRIAL LIGHT (DLIOIL0270F1T3A)	29	294525	8541216
INDUSTRIAL LIGHT (DLIOIL0270F1T3A)	1	367992	367992
Coût d'achat des lampes			12934750
Main-d'œuvre lampes et connexions (25 %)	156		3233688
Coût des lampes de réserve (1 % sur chaque type)	5		970948
Droits de douane (38 %)			5284165
Transport (1 % sur prix d'achat)			139057
Coût de revient des lampes			22562608

Tableau 34 : Coût d'acquisition des lampes externes (Scénario 1)

N°	Description	Unité	Quantité	Prix Unitaire (FCFA)	Prix Totale (FCFA)
1	Lampes PV / ZS-A701D-40W	Unité	56	843 823	47 254 093
2	Mât de 5 mètres	Unité	56	305 020	17 081 120
3	Main-d'œuvre lampes et connexions	Unité	56	25 000	1 400 000
4	Lampes de réserve	Unité	1	843 823	843 823
5	Câble Cuivre 5 x 4 mm ² Ar Cu	Mètre	692	3 000	2 076 000
6	Fourreaux PVC φ 110	Mètre	692	1 500	1 038 000
7	Câble Cuivre 3 x 1.5 mm ² Ar Cu	Mètre	380	2 500	950 000
8	Boîtes plexo, borniers, presse étoupe	Unité	56	16 858	944 053
9	Main-d'œuvre câbles	Mètre	692	2 500	1 730 000
	Coût de revient				73 317 089

Tableau 35 : Coût d'acquisition des lampes externes (Scénario 2)

N°	Description	Unité	Quantité	Prix Unitaire (FCFA)	Prix Totale (FCFA)
1	Lampes PV autonomes ZS-A701D-40W	Unité	56	843 823	47 254 093
2	Mât de 5 mètres	Unité	56	305 020	17 081 120
3	Main-d'œuvre lampes et connexions	Unité	56	12 500	700 000
4	Lampes de réserve	Unité	1	843 823	843 823
	Coût de revient				65 879 036

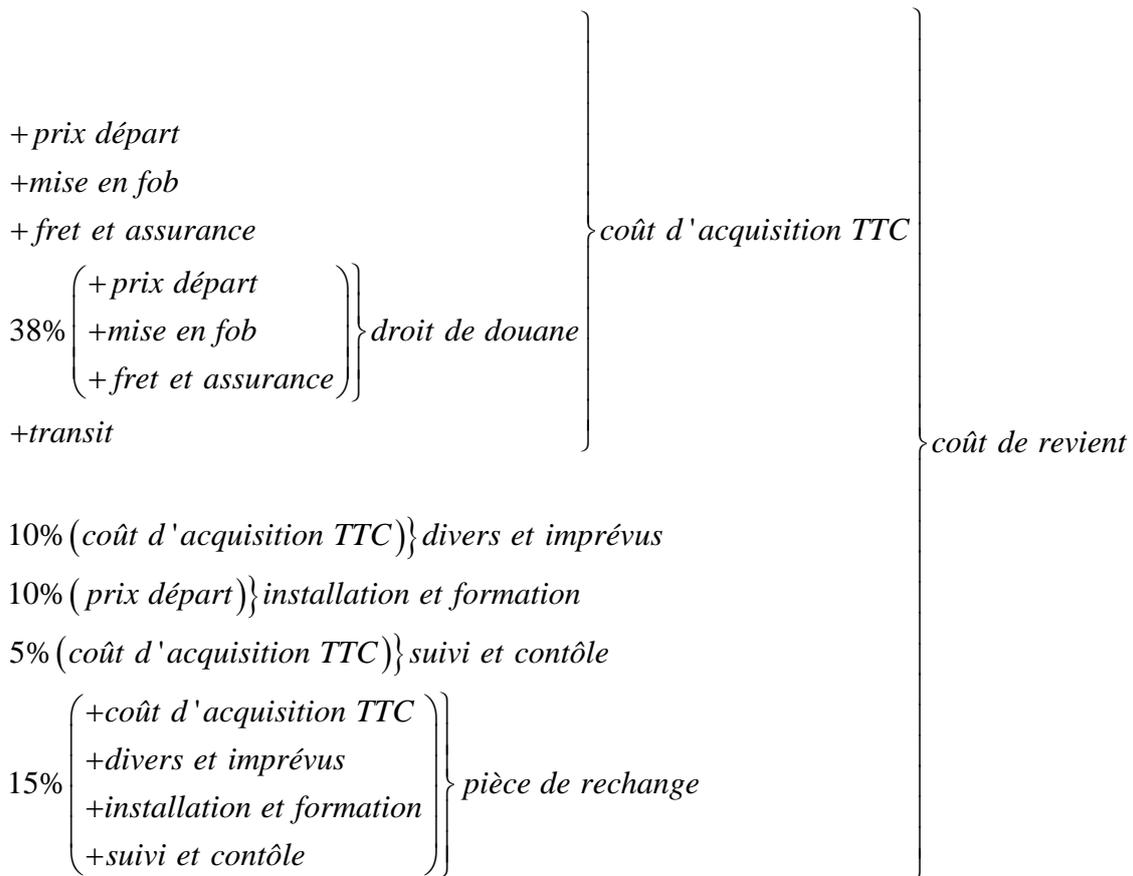


Figure 17 : Schéma de calcul du coût de revient

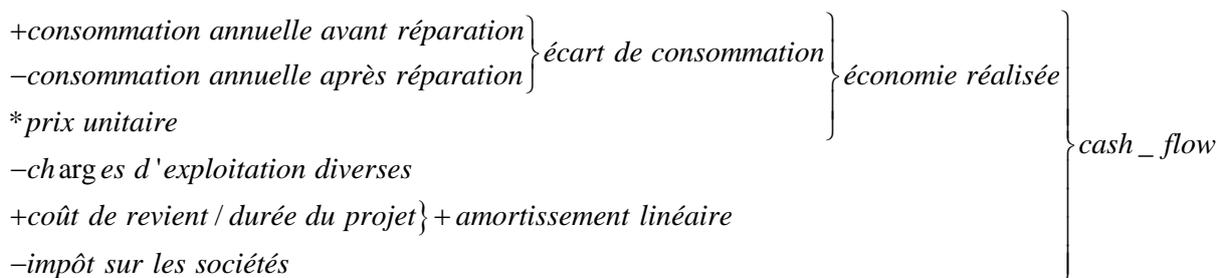


Figure 18 : Schéma de calcul du Cash-flow ou Flux de trésorerie

Annexe 12 : Note de calcul des économies d'énergies

JUSTIFICATION DES ECONOMIES ENERGIES ANNUELLES

1. Remplacement des deux fours de SOTOTOLE 2

Définition des variables :

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{fuel} : \text{masse volumique du fuel lourd } [kg \cdot l^{-1}] \\ \varphi_{gpl} : \text{masse volumique du GPL } [kg \cdot l^{-1}] \\ v_1 : \text{volumique du fuel lourd des anciens fours } [l] \\ v_2 : \text{volumique du fuel lourd des nouveaux fours } [l] \\ v_3 : \text{volumique du GPL } [l] \\ v_{fuel} : \text{volumique du fuel lourd } [l] \\ PCI_{fuel} : \text{PCI du fuel lourd } [MJ \cdot kg^{-1}] ; PCI_{gpl} : \text{PCI du GPL } [MJ \cdot kg^{-1}] \end{array} \right.$$

- **Energie annuelle libérée par la combustion du fuel lourd des anciens fours (E_1)**

$$E_1 = \varphi_{fuel} * v_1 * PCI_{fuel} \text{ avec : } v_1 = C_{(fours)} = 345\,507,33 [l]$$

$$\underline{\text{AN}} : E_1 = 0,95 * 345\,507,33 * 41,4 = 13\,588\,803,40 [MJ]$$

$$E_1 = \frac{13\,588\,803,40}{3\,600} = 3\,774,67 [MWh]$$

- **Energie annuelle libérée par la combustion du fuel lourd des nouveaux fours (E_2)**

$$E_2 = \varphi_{fuel} * v_2 * PCI_{fuel} \text{ avec : } v_2 = 0,5 * v_1$$

$$\underline{\text{AN}} : E_2 = 0,95 * 172\,753,67 * 41,4 = 6\,794\,401,70 [MJ]$$

$$\text{Soit : } E_2 = 0,95 * 172\,753,67 * 41,4 = 6\,794\,401,70 [MJ]$$

- **Energie annuelle libérée par la combustion du GPL des nouveaux fours (E_3)**

$$E_3 = \varphi_{gpl} * v_3 * PCI_{gpl} \text{ avec : } v_3 = 0,5 * 1,64 * v_1 = 1,64 * v_2$$

$$\underline{\text{AN}} : E_3 = 0,55 * 283\,316,01 * 46 = 7\,167\,895,12 [MJ]$$

- **Economie d'énergie due au remplacement des fours et a l'exploitation au gasoil (E')**

$$E' = E_1 - E_2$$

$$\underline{\text{AN:}} E' = 13\,588\,803,40 - 6\,794\,401,70 = 6\,794\,401,70 \text{ [MJ]}$$

$$\text{Soit : } E' = \frac{6\,794\,401,70}{3600} = 1\,887,33 \text{ [MWh]}$$

- **Economie d'énergie due au remplacement des fours et à l'exploitation au GPL (E'')**

$$E'' = E_3 - E_2$$

$$\underline{\text{AN:}} E'' = 7\,167\,895,12 - 6\,794\,401,70 = 373\,493,43 \text{ [MJ]}$$

$$E'' = \frac{373\,493,43}{3\,600} = 103,75 \text{ [MWh]}$$

Economie d'énergie pour cette mesure

$$E_{(\text{fuel lourd-gpl})} = E' + E''$$

$$\underline{\text{AN:}} E_{(\text{fuel lourd-gpl})} = 6\,794\,401,70 + 373\,493,43 = 7\,167\,895,12 \text{ [MJ]}$$

$$E_{(\text{fuel lourd-gpl})} = \frac{7\,167\,895,12}{3\,600} = 1\,991,08 \text{ [MWh]}$$

Economie d'énergie pour cette mesure en (%)

$$E_{(\text{fuel lourd-gpl})} (\%) = 100 * \left(\frac{E' + E''}{E_1} \right)$$

$$\underline{\text{AN:}} E_{(\text{fuel lourd-gpl})} (\%) = 100 * \left(\frac{7\,167\,895,12}{13\,588\,803,40} \right) = 52,75 \%$$

2. Eclairage intérieur des usines F et G de SOTOTOLE 2

Les puissances consommées par les lampes conventionnelles de l'usine F et G sont respectivement : $P_{1fF} = 17,554 \text{ [kW]}$ et $P_{1fG} = 10,729 \text{ [kW]}$; (Voir Annexe 6)

Les puissances consommées par les nouvelles lampes économiques aux LEDs de l'usine F et G sont respectivement : $P_{2fF} = 9,660 \text{ [kW]}$ et $P_{2fG} = 6,076 \text{ [kW]}$; (Voir Annexe 13)

- **Energie annuelle consommée par les lampes conventionnelles des usine F et G (E_4)**

$$E_4 = (P_{1fF} + P_{1fG}) * 360 * 12$$

$$\underline{\text{AN:}} E_4 = (17,554 + 10,729) * 360 * 12 = 122\,184 \text{ [kWh]}$$

$$\text{Soit : } E_4 = 122,184 \text{ [MWh]}$$

- **Energie annuelle consommée par les lampes conventionnelles des usine F et G (E_5)**

$$E_5 = (P_{2fF} + P_{2fG}) * 360 * 12$$

$$\underline{\text{AN}} : E_5 = (9,660 + 6,076) * 360 * 12 = 67\,966 \text{ [kWh]}$$

Economie d'énergie pour cette mesure

$$E_{(\text{lampes-internes})} = E_4 - E_5$$

$$\underline{\text{AN}} : E_{(\text{lampes-internes})} = 122\,184 - 67\,966 = 54\,218 \text{ [kWh]}$$

$$E_{(\text{lampes-internes})} = \frac{54\,218}{1\,000} = 54,218 \text{ [MWh]}$$

Economie d'énergie pour cette mesure en (%)

$$E_{(\text{lampes-internes})} (\%) = 100 * \left(\frac{E_4 - E_5}{E_4} \right)$$

$$\underline{\text{AN}} : E_{(\text{lampes-internes})} (\%) = 100 * \left(\frac{54,218}{122,184} \right) = 44,37 \%$$

3. Eclairage extérieur des usines F et G de SOTOTOLE 2

- **Energie annuelle consommée par les lampes conventionnelles extérieures (E_{1FG})**

$$E_{1FG} = N_{bre} \text{ de lampes} * P_{lampes} * N_{bre} \text{ heures} * N_{bre} \text{ mois}$$

$$\underline{\text{AN}} : E_{1FG} = \frac{56 * 400 * 360 * 12}{1\,000} = 96\,768 \text{ [kWh]}$$

$$\text{Soit : } E_{1FG} = 96,768 \text{ [MWh]}$$

- **Energie annuelle consommée par les nouvelles lampes hybrides aux LEDs fonctionnant au solaire (E_{2FG})**

$$E_{2FG} = N_{bre} \text{ de lampes}_{led} * P_{lampes}_{led} * N_{bre} \text{ heures} * N_{bre} \text{ mois}$$

$$\underline{\text{AN}} : E_{2FG} = \frac{56 * 40 * 360 * 12}{1\,000} = 9\,676,8 \text{ [kWh]}$$

Economie d'énergie pour cette mesure

$$E_{(\text{lampes-externes})} = E_{1FG} - E_{2FG}$$

$$\underline{\text{AN}} : E_{(\text{lampes-externes})} = 96\,768 - 9\,676,8 = 87\,091,2 \text{ [kWh]}$$

$$E_{(\text{lampes-externes})} = \frac{87\,091,2}{1\,000} = 87,091 \text{ [MWh]}$$

Economie d'énergie pour cette mesure en (%)

$$E_{(lampes-externes)}(\%) = 100 * \left(\frac{E_{1FG} - E_{2FG}}{E_{1FG}} \right)$$

$$\underline{\text{AN}} : E_{(lampes-externes)}(\%) = 100 * \left(\frac{87,091}{96,768} \right) = 90,00 \%$$

4. Synthèses des économies d'énergies

$$E_{Totale} = E_{(fuel\ lourd-gpl)} + E_{(lampes-internes)} + E_{(lampes-externes)}$$

$$\underline{\text{AN}} : E_{Totale} = 1\,991,08 + 54,218 + 87,091 = 2\,132,391 \text{ [MWh]}$$

$$E_{Totale}(\%) = 100 * \left(\frac{E_{(fuel\ lourd-gpl)} + E_{(lampes-internes)} + E_{(lampes-externes)}}{E_1 + E_4 + E_{1FG}} \right)$$

$$\underline{\text{AN}} : E_{Totale}(\%) = 100 * \left(\frac{2\,132,391}{3\,774,67 + 122,184 + 96,768} \right) = 53,39 \%$$

$$E_{Totale}(\%) = 53,39 \%$$

5. Condition SUNREF

Tableau 36 : Conditions d'éligibilité au programme SUNREF

Critères	Description
Géographie	Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Guinée Bissau, Mali, Niger, Sénégal, Togo
Bénéficiaires	Entreprises du secteur industriel ou commercial ; Particuliers
Termes financiers	Montant de crédit minimum : Décision de la banque partenaire
	Montant de crédit maximum : 3 M€
	Montant d'investissement éligible maximum (dont le crédit) : 7 M€
	Durée de prêt EnR : Entre 4 ans et 12 ans
	Durée du prêt EE : Entre 3 ans et 12 ans
Indicateurs financiers	Taux de rentabilité interne (TRI) projets EnR : Entre 8% et 50%
	Taux de rentabilité interne (TRI) projets EE : Entre 8% et 70%
Technique EnR	Projets biomasse, petites installations d'hydro-électricité, photovoltaïque, thermique solaire, fermes éoliennes de : revente au réseau, hors réseau, mini réseau ou d'auto consommation inférieurs à 10MW de capacité.
Technique EE	Réduction de la consommation d'énergie de 20% au minimum : <ul style="list-style-type: none"> • Installation existante : réduction rapportée à l'activité de l'installation ; • Installation vierge : réduction quantifiée par rapport aux performances des équipements conventionnellement installés

Annexe 13 : BILAN DE PUISSANCE (après réaménagement)

N°	SITE USINE ET LIGNE	P. MOTEUR kW	Puissance Eclairage Autres (kW)	NOMBRE	Puissance Utile (kW)	Rendement rendement du convertisseur	facteur de puissance	ku	ks1	Pf1 (kW)	Qf1 (kVar)	ks2	Pf2 (kW)	Qf2 (kVar)	ks3	Pf3 (kW)	Qf3 (kVar)	DETAIL
S2	SOTOTOLES 2																	
F	USINE F (Galvanisation de fil)																	
F1	Ligne galvanisation																	
	Souffleurs	7		2	16,500	0,8	0,8	0,8	1	16,500	12,375							
	Four de chauffage	1		1	1,000	0,7	0,7	0,8	1	1,143	1,166							
	Bac de traitement chimique	3		1	3,000	0,7	0,7	0,8	1	3,429	3,498	0,7	31,150	28,658				
	Four de zinkage	1		1	1,000	0,7	0,7	0,8	1	1,143	1,166							
	Bobinoir	2,5		14	35,000	0,7	0,7	0,8	0,5	20,000	20,404							
	Bobinoir	2		2	4,000	0,7	0,7	0,8	0,5	2,286	2,332							
F2	Ligne tréfilage 1																	
	Dérouleur commun																	
	Tireur	2,5		1	2,500	0,7	0,7	0,8	1	2,857	2,915							
	Trefileuse 1	15		7	105,000	0,8	0,8	0,8	1,5	157,500	118,125							
	Enrouleur 1	2,75		4	11,000	0,7	0,7	0,8	0,5	6,286	6,413	0,8	195,537	101,962				
	Enrouleur 1	70		1	70,000	0,9	1	1	1	77,778	0,000							Continu
F3	Ligne tréfilage 2																	
	Trefileuse 2	37		7	259,000	0,8	0,8	0,8	1,5	388,500	291,375				0,7	532,353	311,767	
	Enrouleur 2	1,5		2	3,000	0,7	0,7	0,8	1	3,429	3,498	0,9	420,736	265,386				
	Enrouleur 2	68		1	68,000	0,9	1	1	1	75,556	0,000							Continu
F4	Ligne tréfilage 3																	
	Trefileuse 3	0,75		1	0,750	0,6	0,5	0,8	1	1,000	1,732							
	Trefileuse 3	110		1	110,000	0,9	0,9	0,8	1	97,778	47,356							Rototique
	Enrouleur 3	0,75		1	0,750	0,6	0,5	0,8	1	1,000	1,732	0,8	99,822	40,656				
	Enrouleur 3	22,5		1	22,500	0,9	1	1	1	25,000	0,000							Continu
F5	Atelier / Perseuse	1		1	1,000	0,7	0,7	0,8	1	1,143	1,166							
F5	Atelier / Soudeuse	2,5		1	2,500	0,7	0,7	0,8	1	2,857	2,915	0,9	3,600	3,673				
F6	Eclairage		0,021	115	2,415	0,8	0,85	1	1	3,019	1,871							
F6	Eclairage		0,27	17	5,100	0,7	0,9	1	1	7,286	3,529	0,9	9,660	5,046				
F6	Eclairage		0,27	1	0,300	0,7	0,9	1	1	0,429	0,208							
G	Usine G Phosphatation																	
G1	Ligne de phosphatation																	
	Palan phosphate	8,75		2	17,500	0,8	0,8	0,8	1	17,500	13,125							
	Compresseur phosphate	5		1	5,000	0,8	0,8	0,8	1	5,000	3,750	0,8	30,000	31,142				
	Chaudière bain chaud	0,75		1	0,750	0,6	0,5	0,8	11	11,000	19,053							Ventilo bruleur gasoil cuve 8200 l intérieur
	Compresseur 2 HP	4		1	4,000	0,8	0,8	0,8	1	4,000	3							
G2	Ligne quick kink																	
	Redresseur	6,67		3	20,000	0,8	0,8	0,8	1,5	30,000	22,500	1	30,000	22,500				
G3	magasin stockage																	
	Palan	5		4	20,000	0,8	0,8	0,8	0,5	10,000	7,500							
	Ensachage bobine	1,25		2	2,500	0,7	0,7	0,8	1	2,857	2,915	0,9	13,083	10,916	0,7	63,932	47,258	
	Compresseur	1,47		1	1,470	0,7	0,7	0,8	1	1,680	1,714							
G4	Eclairage		0,021	4	0,084	0,8	0,85	1	1	0,105	0,065							
G4	Eclairage		0,135	7	1,050	0,7	0,9	1	1	1,500	0,726	0,9	6,073	2,954				
G4	Eclairage		0,27	12	3,600	0,7	0,9	1	1	5,143	2,491							
G5	Climatisation		11	1	11,000	1	1	1	1	11,000	0,000	1	11,000	0,000				
G6	Informatique		1,175	1	1,175	1	1	1	1	1,175	0,000	1	1,175	0,000				3 ordinateurs de 225 W et 500 W
T2	TOTAL SOTOTOLES 2	383,637	13,162	223,000	812,444					996,876	600,613		851,836	512,893		596,285	359,025	
	P. MOTEUR (kW)	967,220	97,03%															
	PUISSANCE ECLAIRAGE (kW)	17,481	1,75%															
	Climatisation (kW)	11,000	1,10%															
	Informatique (kW)	1,175	0,12%															
	TOTAL	996,88	100,00%															
	P. foisonnée (kW)	596,285																
	Q. foisonnée (kVar)	359,025																
	S. foisonnée (kVA)	696,028																
	Coeff d'extension	1,200																
	S. Transfo (kVA)	835,234																
	S. Normalisée. Transfo (kVA)	1000,000																
	cos phi global	0,85669683																

Annexe 14 : Les catalogues des lampes

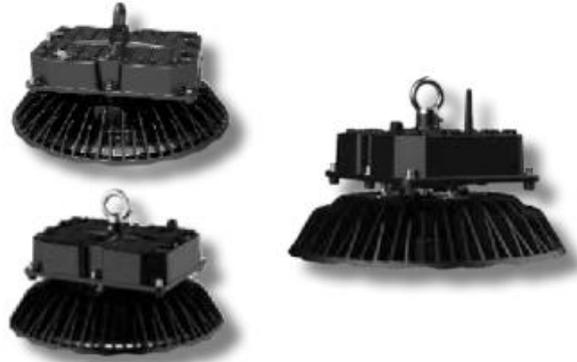
DIFELIO-INDUSTRIAL LIGHT



SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

CORPS: ALLIAGE D'ALUMINIUM
SUPPORTS DE MONTAGE ALTERNATIFS
VIS EN ACIER INOXYDABLE
DIFFUSEUR EN VERRE POUR 120°
LENTILLES EN PLASTIQUE POUR 60°, 90°

INDICE DE RENDU DES COULEURS (IRC) >70/80
DURÉE DE VIE LED 50 000 H (FLUX LUMINEUX 75%)
ALIMENTATION 100 ~ 240 VAC
FACTEUR DE PUISSANCE ≥ 0.95
TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT -20 ~ 45 °C



Référence	Puissance LED	Flux lumineux	Température de couleur	Angle de diffusion	Puissance consommée	Dimensions	Poids	Coloris
DLIOIL0270F1T1A	270 W	38 000 Lm	4000 K Blanc neutre	60°	300 W	Ø 383 x 257 mm	9.3 Kg	●
DLIOIL0270F1T2A	270 W	38 000 Lm	4000 K Blanc neutre	90°	320 W	Ø 383 x 257 mm	9.3 Kg	●
DLIOIL0270F1T3A	270 W	38 000 Lm	4000 K Blanc neutre	120°	300 W	Ø 383 x 257 mm	9.3 Kg	●

Figure 19 : Caractéristiques du DLIOIL0270F1T3A²

DIFELIO-INDUSTRIAL HIGHLIGHT



SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES

CORPS: ALLIAGE D'ALUMINIUM
VIS EN ACIER INOXYDABLE
DIFFUSEUR EN VERRE POUR 120°
LENTILLES EN PLASTIQUE POUR 50°, 60°, 90°
OPTION: SUPPORTS DE MONTAGE ALTERNATIFS

INDICE DE RENDU DES COULEURS (IRC) >70/80
DURÉE DE VIE LED 50 000 H (FLUX LUMINEUX 75%)
ALIMENTATION 100 ~ 240 VAC
FACTEUR DE PUISSANCE ≥ 0.95
TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT -20 ~ 45 °C



Référence	Puissance LED	Flux lumineux	Température de couleur	Angle de diffusion	Puissance consommée	Dimensions	Poids	Coloris
DLIOILH090F1T3A	90 W	12 600 Lm	4000 K Blanc neutre	120° *	100 W	Ø 383 x 193 mm	6.9 Kg	●
DLIOILH0110F1T3A	110 W	15 400 Lm	4000 K Blanc neutre	120° *	120 W	Ø 383 x 193 mm	7.0 Kg	●
DLIOILH0135F1T3A	135 W	18 900 Lm	4000 K Blanc neutre	120° *	150 W	Ø 383 x 193 mm	7.2 Kg	●
DLIOILH0180F1T3A	180 W	25 200 Lm	4000 K Blanc neutre	120° *	200 W	Ø 383 x 203.5 mm	7.7 Kg	●

Figure 20 : Caractéristiques du DLIOILH0135F1T3A³

² Source : Catalogue Diffuselec

³ Source : Catalogue Diffuselec

Tête de Lampadaire Solaire Puissante ZS-40 W-701D-40

Avis clients : ★★★★★

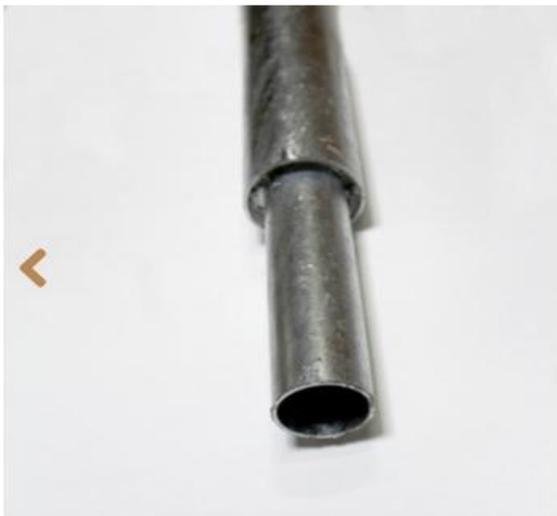


Tête de Lampadaire Solaire Puissante Tout Intégré ZS-A701D-40, panneau solaire 60 W, led bridgelux 40W, 4400 lumens, batterie lithium 307,20WH, éclairage solaire permanent mi puissance + détecteur de mouvement pleine puissance, approprié pour l'éclairage solaire autonome et puissant de voies, parks, rues, ou en remplacement de lampadaires existants. Option **Version Hybride**.

Figure 21 : tête-de-lampadaire⁴

Mât Tubulaire 5 M pour Tête de Lampadaire Solaire

Avis clients : ★★★★★



Mât de Montage tubulaire pour Tête de Lampadaire Solaire, Hauteur 5 m, acier galvanisé diamètre 89 mm, surmonté d'une tige diamètre 60 mm, tiges de scellement incluses entraxes 200 X 200 mm, spécialement adapté à nos têtes de lampadaire solaire de moyennes puissances, Lampes Projecteurs Solaires Puissants à fixation sur Mât.

Figure 22 : Mât tubulaire pour tête-de-lampadaire⁵

⁴ Source : <http://www.objetsolaire.com/catalogue/>

⁵ Source : <http://www.objetsolaire.com/catalogue/>

Luminaire	: BDP765 T25 1 xLED50-4S/830 DM11
Total Lamp Flux	: 5000 lm
Light Output Ratio	: 0.77
Luminous Flux	: 3850 lm
Power	: 42 W
LxBxH	: 0.44x0.44x0.79 m
Ballast	: -

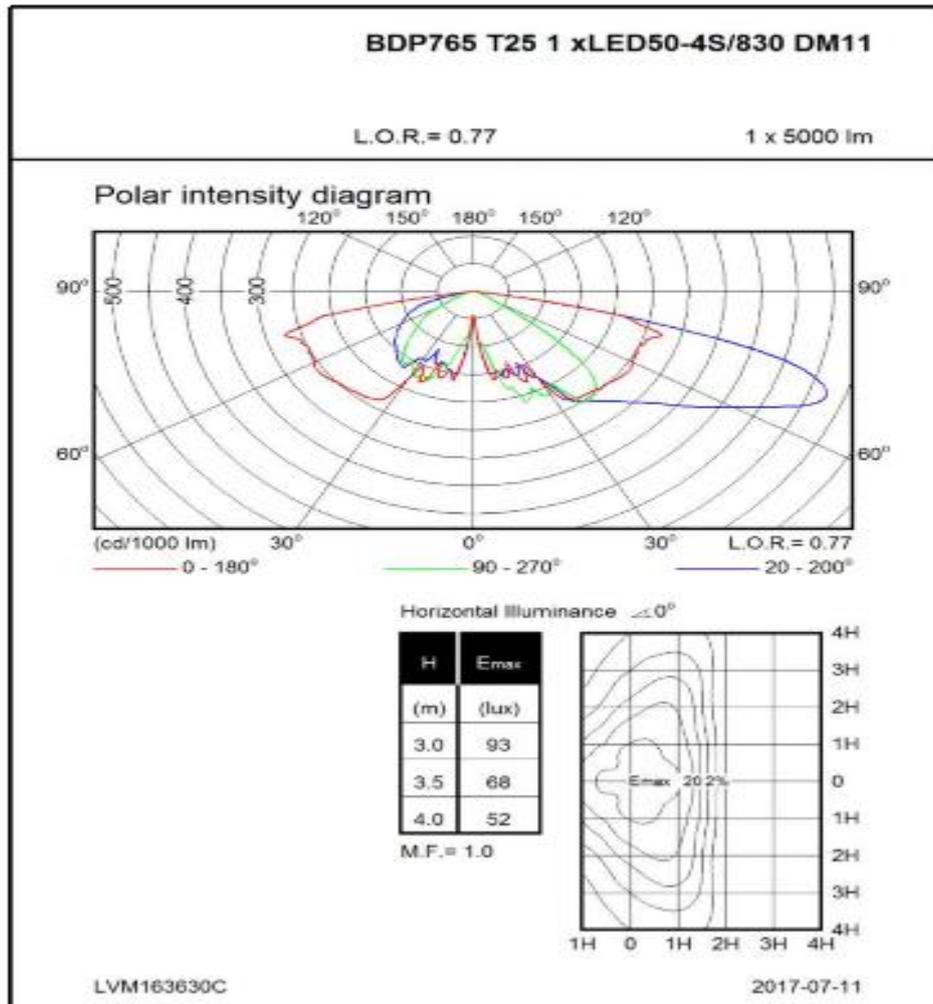


Figure 23 : Villa LED BDP765 T25 I⁶

⁶ Source : <http://www.philips.com/lighting/>

Annexe 15 : Rapport de simulation DIALux evo

Client:
SOTOTLES-SA

Editeur (trice):
NYOUWA Hervis

Date:
06/01/2017

USINE F : Galvanisation

+226 64500135
hervisnyouwa@yahoo.fr

Philips Lighting BGP352 T15 1xECO42-3S/740 DC 1xECO42-3S/740

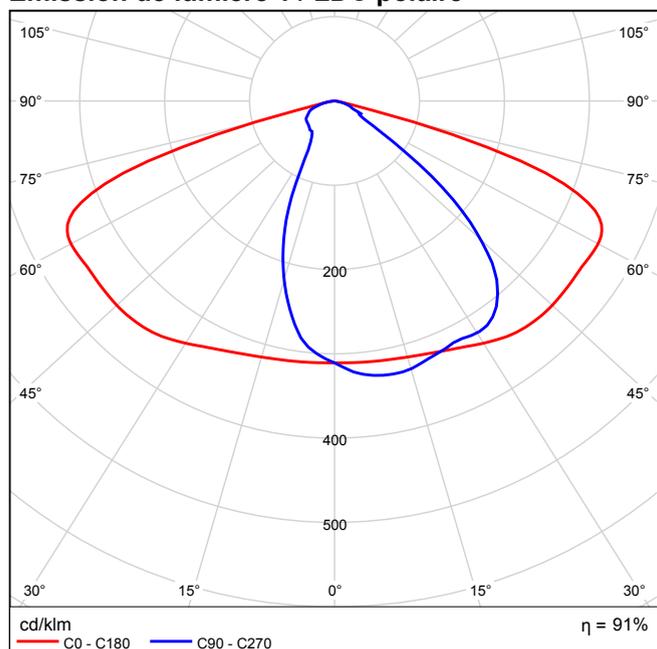


Iridium² LEDGINE – Eclairer la route de demain Iridium² est une famille de luminaires d'éclairage routier conçus dans une optique de performances et de durabilité. En fonction de l'application et du budget, les clients peuvent opter pour la technologie LED, la technologie HID électronique ou une combinaison de ces deux technologies au sein du même luminaire. Quel que soit le choix de départ, la modularité des produits Iridium² leur permet de mettre à niveau leurs installations (LED vers LED ou e-HID vers LED) à tout moment, en changeant simplement ce qui est nécessaire.

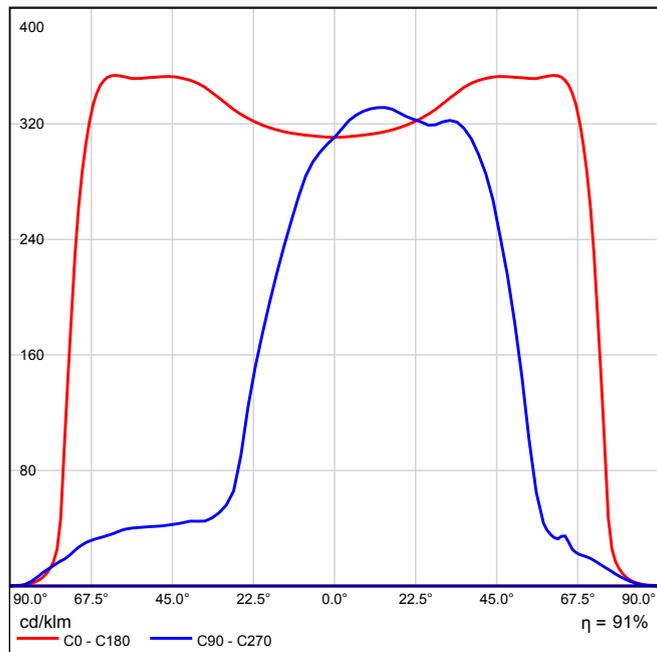
L'intégration de la technologie LEDGINE, de nouvelles optiques HID de pointe, d'un appareillage et de commandes intégrées électroniques permet de répondre à la demande croissante d'économies d'énergie. Les nouvelles optiques HID d'Iridium² sont conçues pour associer des performances d'éclairage élevées et une flexibilité exceptionnelle dans les différentes applications. Ces avantages s'ajoutent à la simplicité d'installation et de maintenance des luminaires Iridium² pour garantir aux clients un coût global d'exploitation très faible.

Rendement: 91.00%
 Flux lumineux de lampe: 4400 lm
 Flux lumineux de(s) lampe(s): 4004 lm
 Puissance: 36.0 W
 Rendement lumineux: 111.2 lm/W
 Température de couleur: 3000 K
 Indice de rendu des couleurs: 100

Emission de lumière 1 / LDC polaire

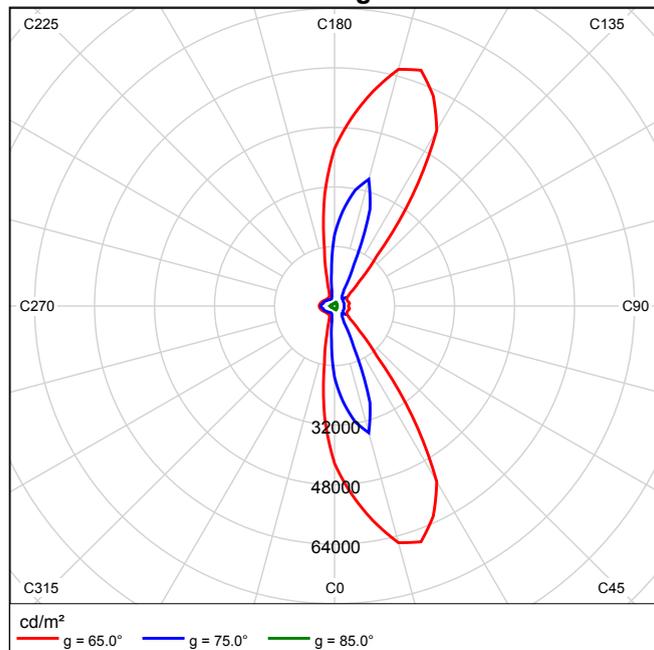


Emission de lumière 1 / LDC linéaire



Un diagramme conique ne peut pas être généré parce que la répartition de la lumière est asymétrique.

Emission de lumière 1 / Diagramme de luminance



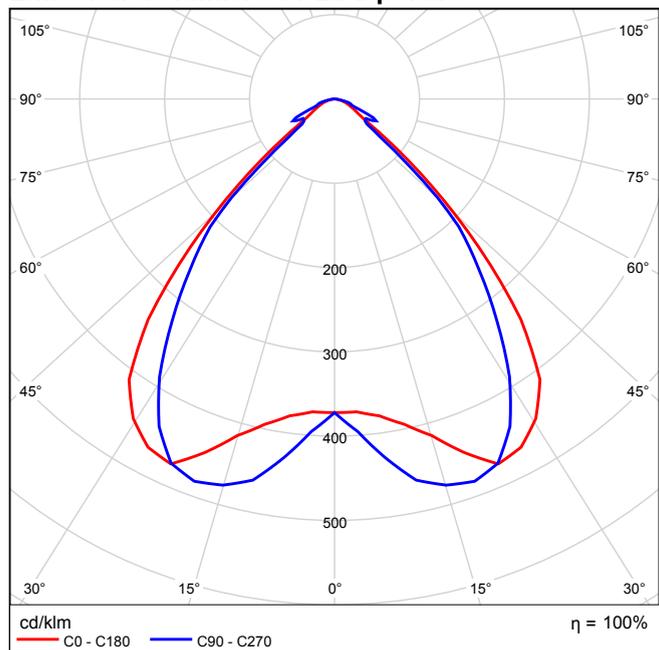
Un diagramme UGR ne peut pas être généré parce que la répartition de la lumière est asymétrique.

Philips Lighting BY471X 1xLED170S/840 WB GC 1xLED170S/840/-

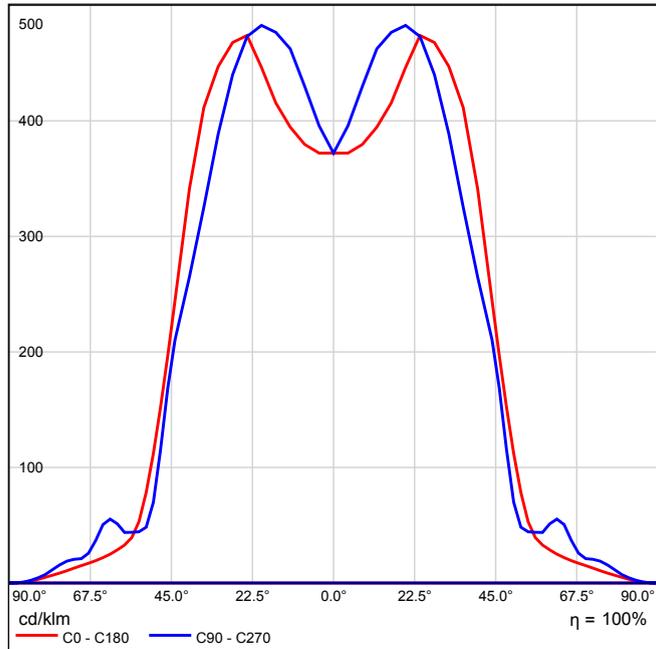


Rendement: 99.98%
 Flux lumineux de lampe: 17000 lm
 Flux lumineux de(s) lampe(s): 16996 lm
 Puissance: 136.0 W
 Rendement lumineux: 125.0 lm/W
 Température de couleur: 3000 K
 Indice de rendu des couleurs: 100

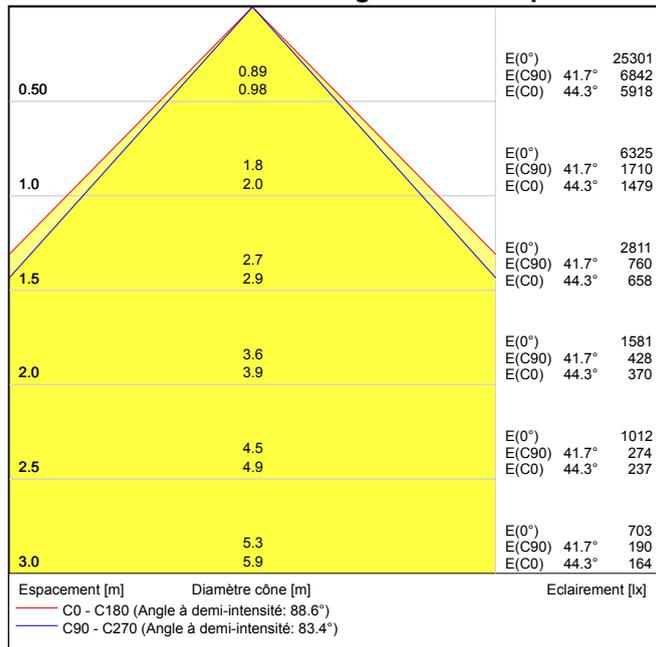
Emission de lumière 1 / LDC polaire



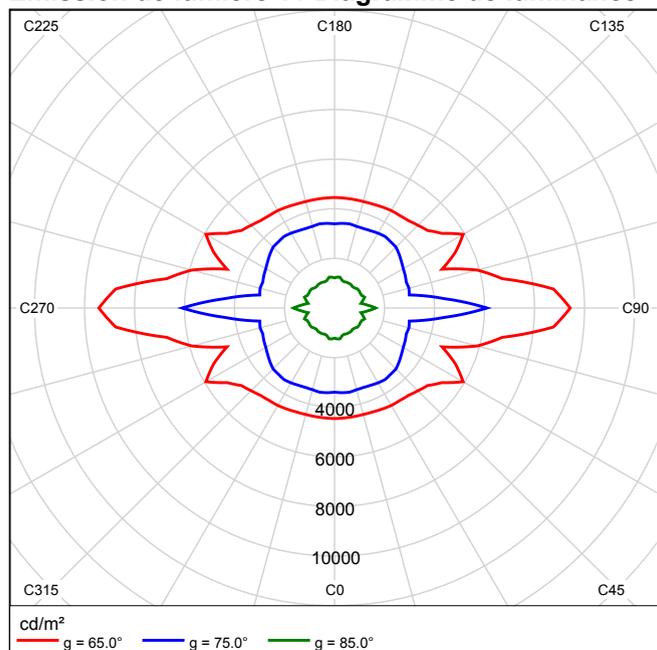
Emission de lumière 1 / LDC linéaire



Emission de lumière 1 / Diagramme conique



Emission de lumière 1 / Diagramme de luminance



Emission de lumière 1 / Diagramme UGR

Evaluation éblouissement selon UGR												
Plafond	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	30	
Murs	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	30	
Sol	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Taille pièce	Visée perpendiculaire vers axe des lampes					Visée longitudinale vers axe des lampes						
X	Y											
2H	2H	22.3	23.3	22.6	23.5	23.7	21.9	22.9	22.1	23.1	23.3	
	3H	22.2	23.1	22.5	23.4	23.6	21.9	22.8	22.2	23.1	23.3	
	4H	22.2	23.1	22.5	23.3	23.6	21.9	22.8	22.2	23.0	23.3	
	6H	22.2	22.9	22.5	23.2	23.5	21.9	22.7	22.2	23.0	23.3	
	8H	22.2	22.9	22.5	23.2	23.5	21.9	22.6	22.2	22.9	23.2	
	12H	22.1	22.8	22.5	23.1	23.5	21.8	22.5	22.2	22.9	23.2	
4H	2H	22.3	23.1	22.6	23.4	23.6	21.8	22.7	22.2	22.9	23.2	
	3H	22.3	23.0	22.6	23.3	23.6	21.9	22.6	22.3	22.9	23.3	
	4H	22.3	22.9	22.7	23.2	23.6	22.0	22.6	22.3	22.9	23.2	
	6H	22.3	22.8	22.7	23.1	23.5	22.0	22.5	22.4	22.8	23.2	
	8H	22.2	22.7	22.7	23.1	23.5	21.9	22.4	22.4	22.8	23.2	
	12H	22.2	22.6	22.6	23.0	23.5	21.9	22.3	22.3	22.7	23.2	
8H	4H	22.2	22.7	22.6	23.1	23.5	21.9	22.4	22.3	22.7	23.2	
	6H	22.2	22.6	22.6	23.0	23.4	21.9	22.3	22.3	22.7	23.1	
	8H	22.2	22.5	22.6	22.9	23.4	21.9	22.2	22.3	22.7	23.1	
	12H	22.1	22.4	22.6	22.9	23.4	21.8	22.1	22.3	22.6	23.1	
12H	4H	22.2	22.6	22.6	23.0	23.4	21.9	22.3	22.3	22.7	23.1	
	6H	22.2	22.5	22.6	22.9	23.4	21.9	22.2	22.3	22.6	23.1	
	8H	22.1	22.4	22.6	22.9	23.4	21.8	22.1	22.3	22.6	23.1	
Variation de position de l'observateur pour écartement S entre luminaires												
S = 1.0H	+2.2 / -4.9					+2.1 / -4.2						
S = 1.5H	+3.3 / -6.7					+3.7 / -5.4						
S = 2.0H	+4.9 / -7.2					+4.5 / -7.1						
tableau standard	BK01					BK01						
ajouter pour la correction	4.4					4.0						
Indice d'éblouissement en fonction du 17000lm Flux lumineux total												

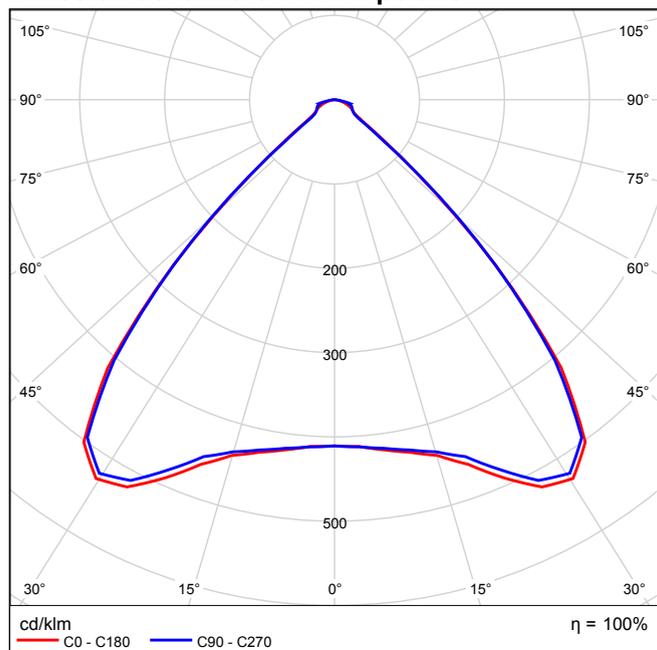
Les valeurs UGR sont calculées conformément à la publication 117 de la CEI. Rapport Espace/Hauteur = 0.25

Philips Lighting BY471P 1 xPRO250S/840 WB GC 1xPRO250S/840/-

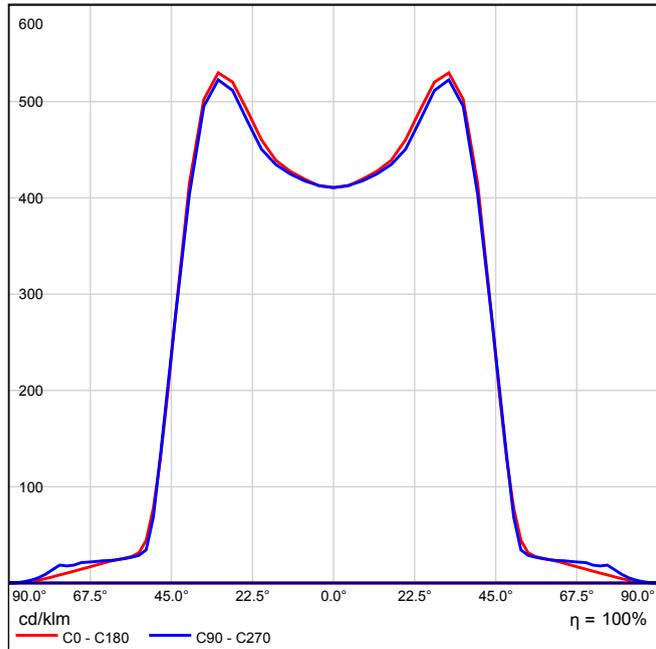
Les illustrations des différents luminaires se trouvent dans notre catalogue.

Rendement: 100.06%
 Flux lumineux de lampe: 25000 lm
 Flux lumineux de(s) lampe(s): 25016 lm
 Puissance: 200.0 W
 Rendement lumineux: 125.1 lm/W
 Température de couleur: 3000 K
 Indice de rendu des couleurs: 100

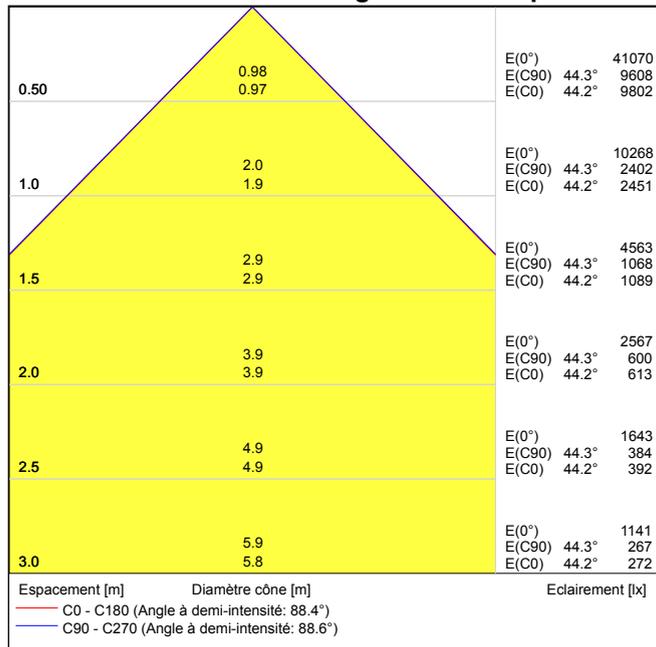
Emission de lumière 1 / LDC polaire



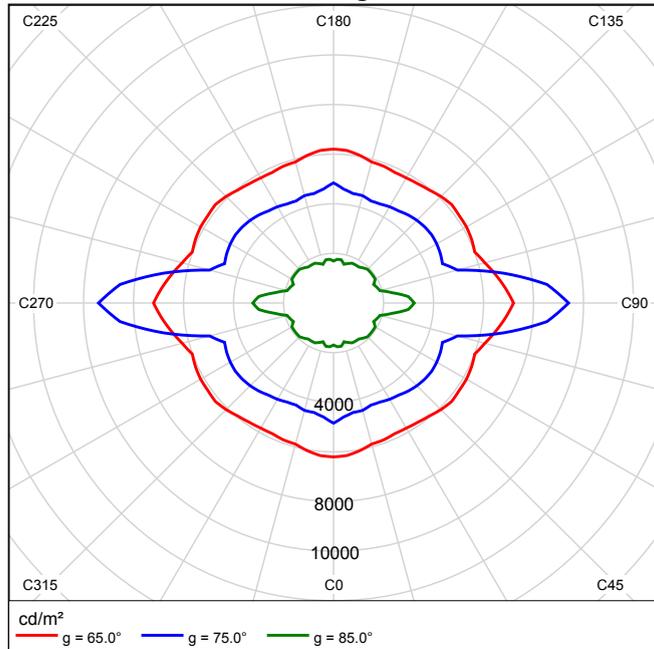
Emission de lumière 1 / LDC linéaire



Emission de lumière 1 / Diagramme conique



Emission de lumière 1 / Diagramme de luminance

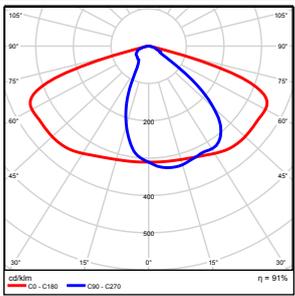
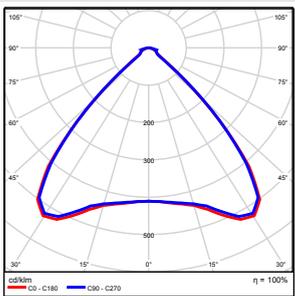
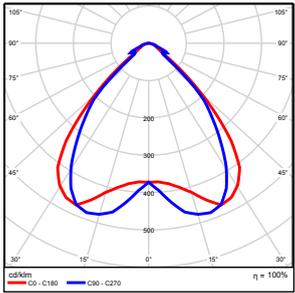


Emission de lumière 1 / Diagramme UGR

Evaluation éblouissement selon UGR											
Plafond		70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
Murs		50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
Sol		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Taille pièce X Y		Visée perpendiculaire vers axe des lampes					Visée longitudinale vers axe des lampes				
2H	2H	23.0	23.9	23.2	24.1	24.3	23.0	23.9	23.3	24.1	24.3
	3H	22.9	23.8	23.2	24.0	24.3	23.0	23.8	23.3	24.1	24.3
	4H	22.9	23.7	23.2	24.0	24.2	23.0	23.8	23.3	24.1	24.3
	6H	22.9	23.6	23.2	23.9	24.2	23.1	23.8	23.4	24.1	24.4
	8H	22.8	23.5	23.2	23.8	24.1	23.1	23.7	23.4	24.0	24.3
	12H	22.8	23.5	23.2	23.8	24.1	23.0	23.7	23.4	24.0	24.3
4H	2H	22.8	23.6	23.1	23.9	24.1	22.8	23.6	23.1	23.9	24.2
	3H	22.8	23.5	23.2	23.8	24.1	22.9	23.5	23.2	23.8	24.2
	4H	22.8	23.4	23.2	23.7	24.1	23.0	23.5	23.3	23.9	24.2
	6H	22.8	23.3	23.2	23.7	24.1	23.0	23.5	23.4	23.9	24.3
	8H	22.8	23.2	23.2	23.6	24.0	23.0	23.5	23.4	23.8	24.2
	12H	22.8	23.2	23.2	23.6	24.0	23.0	23.4	23.4	23.8	24.2
8H	4H	22.8	23.2	23.2	23.6	24.0	22.9	23.3	23.3	23.7	24.1
	6H	22.8	23.1	23.2	23.5	24.0	23.0	23.3	23.4	23.7	24.2
	8H	22.7	23.1	23.2	23.5	24.0	23.0	23.3	23.4	23.7	24.2
	12H	22.7	23.0	23.2	23.4	23.9	22.9	23.2	23.4	23.7	24.2
12H	4H	22.7	23.1	23.2	23.5	24.0	22.9	23.2	23.3	23.6	24.1
	6H	22.7	23.0	23.2	23.5	24.0	22.9	23.2	23.4	23.7	24.1
	8H	22.7	23.0	23.2	23.4	23.9	22.9	23.2	23.4	23.6	24.1
Variation de position de l'observateur pour écartement S entre luminaires											
S = 1.0H		+2.3 / -6.3					+2.2 / -5.4				
S = 1.5H		+3.7 / -6.6					+3.5 / -5.6				
S = 2.0H		+5.6 / -7.0					+5.4 / -6.3				
tableau standard		BK00					BK01				
ajouter pour la correction		4.6					5.0				
Indice d'éblouissement en fonction du 25000lm Flux lumineux total											

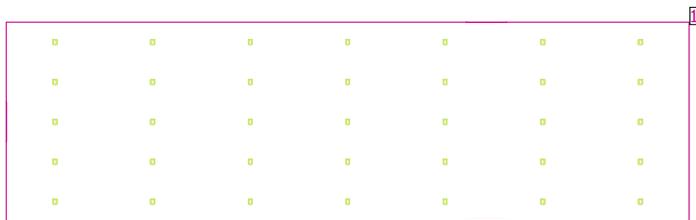
Les valeurs UGR sont calculées conformément à la publication 117 de la CEI. Rapport Espace/Hauteur = 0.25

Terrain 1

Nombre de pièces	Luminaire (Emission de lumière)		
52	Philips Lighting BGP352 T15 1xECO42-3S/740 DC Emission de lumière 1 Composants: 1xECO42-3S/740 Rendement: 91.00% Flux lumineux de lampe: 4400 lm Flux lumineux de(s) lampe(s): 4004 lm Puissance: 36.0 W Rendement lumineux: 111.2 lm/W Température de couleur: 3000 K Indice de rendu des couleurs: 100		
35	Philips Lighting BY471P 1 xPRO250S/840 WB GC Emission de lumière 1 Composants: 1xPRO250S/840/- Rendement: 100.06% Flux lumineux de lampe: 25000 lm Flux lumineux de(s) lampe(s): 25016 lm Puissance: 200.0 W Rendement lumineux: 125.1 lm/W Température de couleur: 3000 K Indice de rendu des couleurs: 100	<p>Les illustrations des différents luminaires se trouvent dans notre catalogue.</p>	
84	Philips Lighting BY471X 1xLED170S/840 WB GC Emission de lumière 1 Composants: 1xLED170S/840/- Rendement: 99.98% Flux lumineux de lampe: 17000 lm Flux lumineux de(s) lampe(s): 16996 lm Puissance: 136.0 W Rendement lumineux: 125.0 lm/W Température de couleur: 3000 K Indice de rendu des couleurs: 100		

Flux lumineux total de lampe: 2531800 lm, Flux lumineux total de luminaire: 2511432 lm, Puissance totale: 20296.0 W, Rendement lumineux: 123.7 lm/W

Pièce 1



Hauteur de la pièce: 8.000 m, Degrés de réflexion: Plafond 70.0%, Murs 50.0%, Sol 20.0%, Facteur de maintenance: 0.80

Plan utile

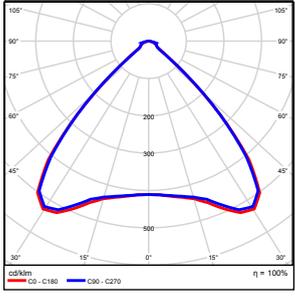
Surface	Résultat	Moyenne (consigne)	Min	Max	Min/moyen	Min/Max
1 Plan utile 1	Eclairage perpendiculaire [lx] Hauteur du plan utile: 0.800 m, Marge: 0.000 m	338 (300)	99.2	473	0.29	0.21

N°	Nombre de pièces		
1	35	Philips Lighting BY471P 1 xPRO250S/840 WB GC Rendement: 100.06% Flux lumineux de lampe: 25000 lm Flux lumineux de(s) lampe(s): 25016 lm Puissance: 200.0 W Rendement lumineux: 125.1 lm/W Température de couleur: 3000 K Indice de rendu des couleurs: 100	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-right: 20px;"> Les illustrations des différents luminaires se trouvent dans notre catalogue. </div> </div>

Flux lumineux total de lampe: 875000 lm, Flux lumineux total de luminaire: 875560 lm, Puissance totale: 7000.0 W, Rendement lumineux: 125.1 lm/W

Valeur spécifique de raccordement: 3.29 W/m² = 0.97 W/m²/100 lx (Surface au sol 2125.00 m²)

Pièce 1

Nombre de pièces	Luminaire (Emission de lumière)		
35	Philips Lighting BY471P 1 xPRO250S/840 WB GC Emission de lumière 1 Composants: 1xPRO250S/840/- Rendement: 100.06% Flux lumineux de lampe: 25000 lm Flux lumineux de(s) lampe(s): 25016 lm Puissance: 200.0 W Rendement lumineux: 125.1 lm/W Température de couleur: 3000 K Indice de rendu des couleurs: 100	Les illustrations des différents luminaires se trouvent dans notre catalogue.	

Flux lumineux total de lampe: 875000 lm, Flux lumineux total de luminaire: 875560 lm, Puissance totale: 7000.0 W, Rendement lumineux: 125.1 lm/W

Plan utile 1

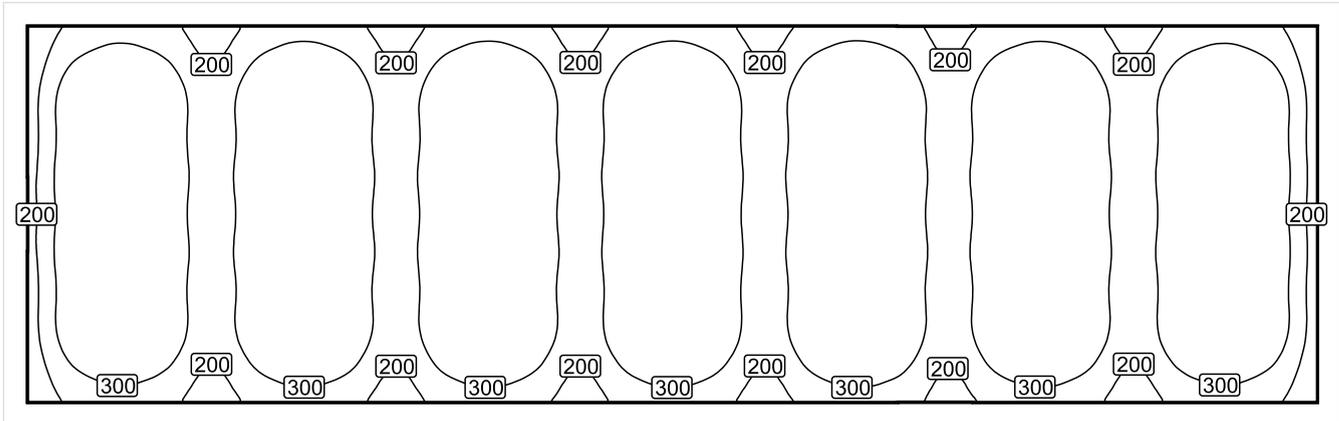


Hauteur du plan utile: 0.800 m , Marge: 0.000 m

Résultat	Moyenne (consigne)	Min	Max	Min/moyen	Min/Max
Eclairement perpendiculaire [lx]	338 (300)	99.2	473	0.29	0.21
Hauteur du plan utile: 0.800 m, Marge: 0.000 m					

Profil: Activités industrielles et artisanales - Fonderie et fusion des métaux, Fonderie sous pression

Plan utile 1



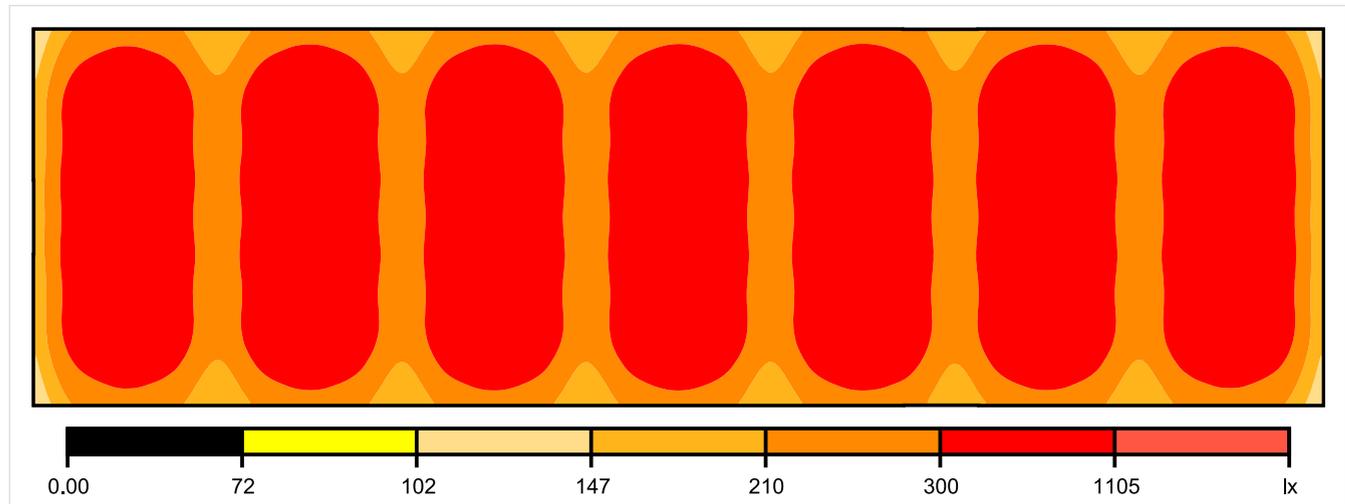
Echelle: 1 : 500

Eclairage perpendiculaire (Surface)

Moyenne (réelle): 338 lx, Min: 99.2 lx, Max: 473 lx, Min/moyen: 0.29, Min/Max: 0.21

Hauteur du plan utile: 0.800 m, Marge: 0.000 m

Plan utile 1



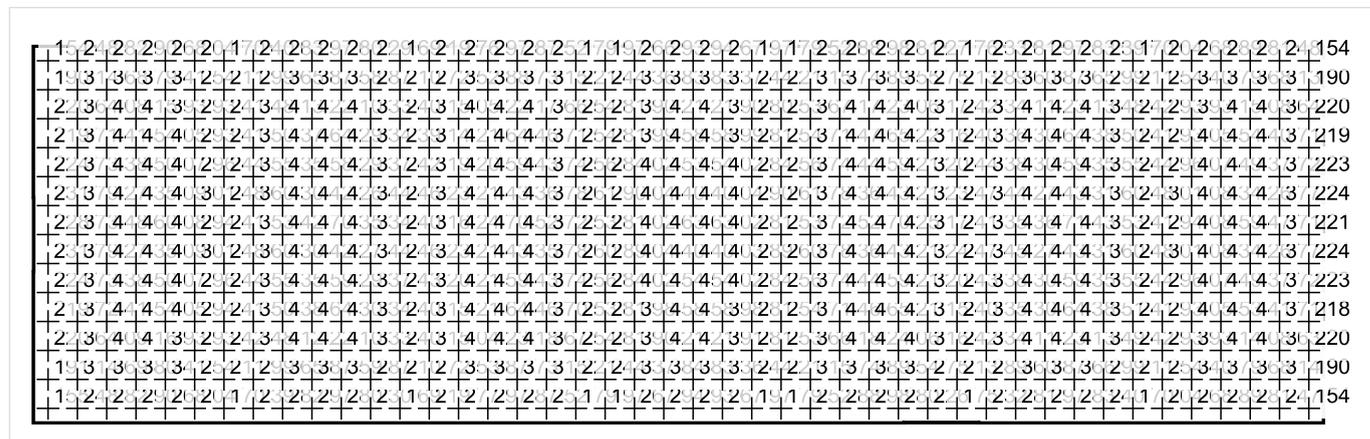
Echelle: 1 : 500

Eclairage perpendiculaire (Surface)

Moyenne (réelle): 338 lx, Min: 99.2 lx, Max: 473 lx, Min/moyen: 0.29, Min/Max: 0.21

Hauteur du plan utile: 0.800 m, Marge: 0.000 m

Plan utile 1



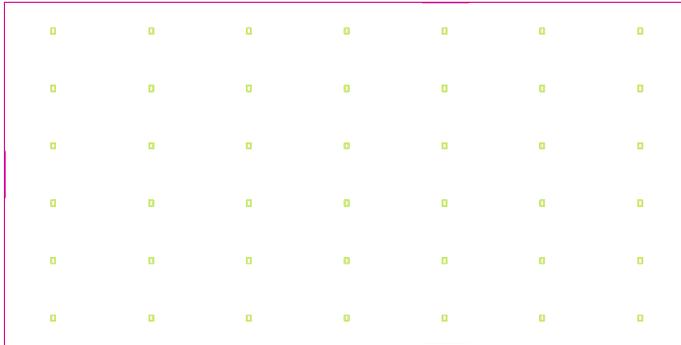
Echelle: 1 : 500

Eclairage perpendiculaire (Surface)

Moyenne (réelle): 338 lx, Min: 99.2 lx, Max: 473 lx, Min/moyen: 0.29, Min/Max: 0.21

Hauteur du plan utile: 0.800 m, Marge: 0.000 m

Plan utile 2

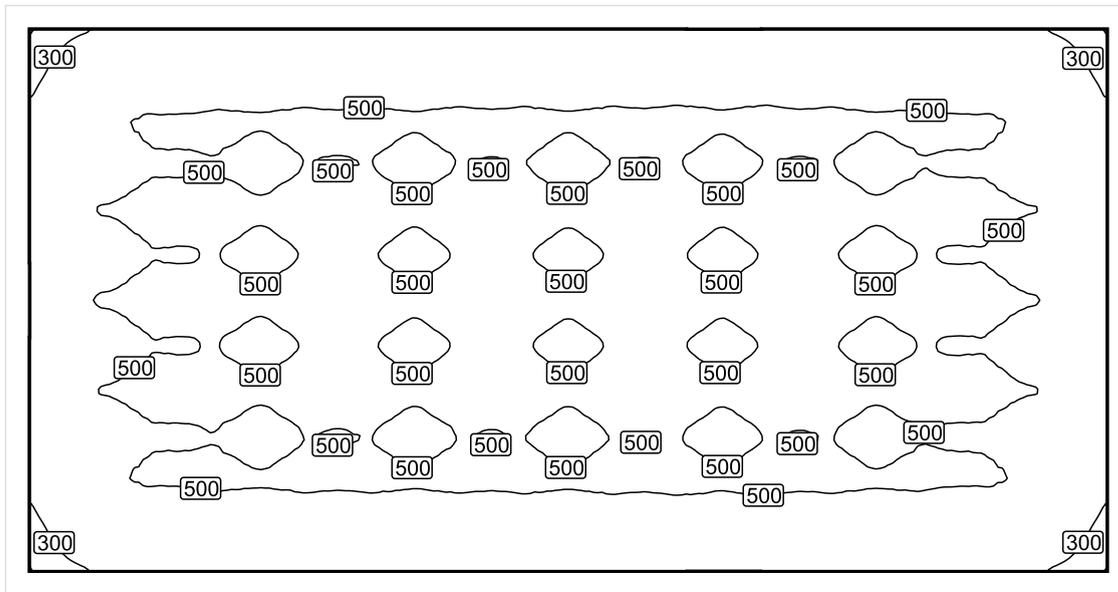


Hauteur du plan utile: 0.800 m , Marge: 0.000 m

Résultat	Moyenne (consigne)	Min	Max	Min/moyen	Min/Max
Eclairement perpendiculaire [lx] Hauteur du plan utile: 0.800 m, Marge: 0.000 m	459 (200)	196	535	0.43	0.37

Profil: Activités industrielles et artisanales - Fonderie et fusion des métaux, Moulage machine

Plan utile 2



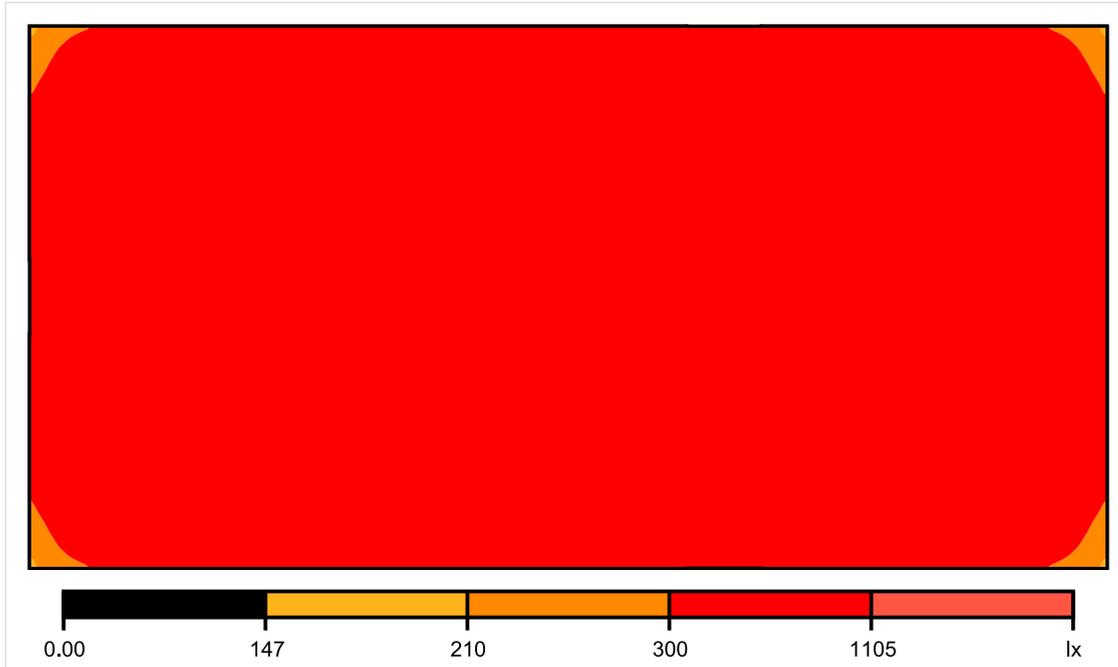
Echelle: 1 : 500

Eclairage perpendiculaire (Surface)

Moyenne (réelle): 459 lx, Min: 196 lx, Max: 535 lx, Min/moyen: 0.43, Min/Max: 0.37

Hauteur du plan utile: 0.800 m, Marge: 0.000 m

Plan utile 2



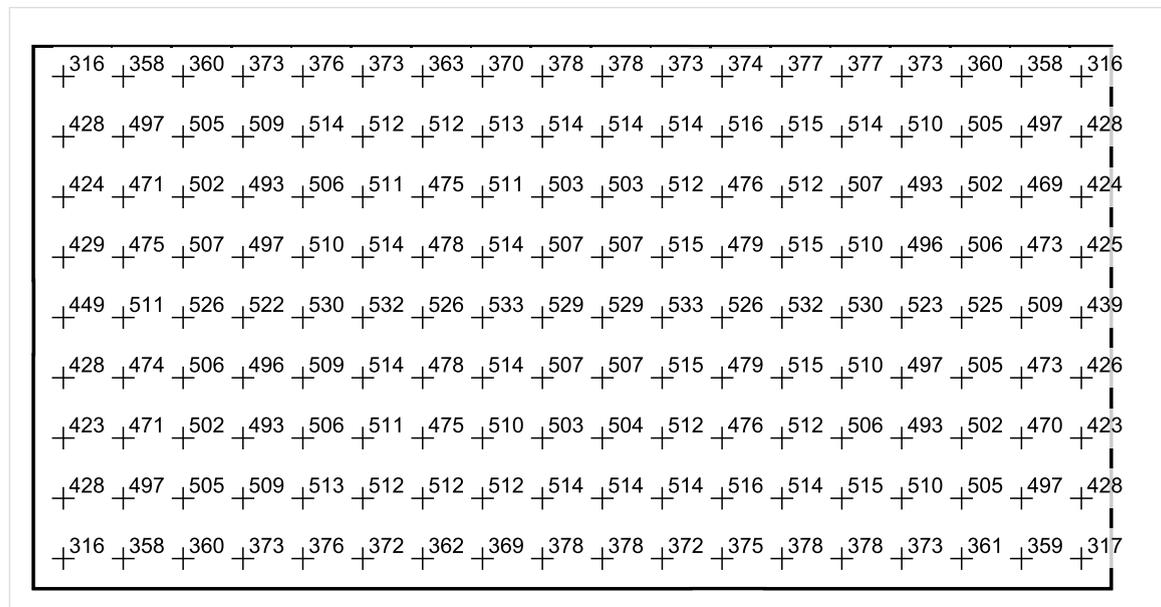
Echelle: 1 : 500

Eclairage perpendiculaire (Surface)

Moyenne (réelle): 459 lx, Min: 196 lx, Max: 535 lx, Min/moyen: 0.43, Min/Max: 0.37

Hauteur du plan utile: 0.800 m, Marge: 0.000 m

Plan utile 2



Echelle: 1 : 500

Eclairage perpendiculaire (Surface)

Moyenne (réelle): 459 lx, Min: 196 lx, Max: 535 lx, Min/moyen: 0.43, Min/Max: 0.37

Hauteur du plan utile: 0.800 m, Marge: 0.000 m