



## PROJET DE FIN D'ETUDE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
**DIPLÔME D'INGENIEUR**

OPTION : **GENIE ENERGETIQUE**

**THEME : Optimisation de la consommation électrique et oxygène de  
l'unité de production « billettes »**

Présenté et soutenu publiquement le 03 Novembre 2016 par

**Lauticia YONKE NGANDJI**

**Travaux dirigés par : Moriba KONE** (Ingénieur électrotechnicien / Responsable unité de  
fusion des Acieries CI)

**Yezouma COULIBALY** (Professeur Energéticien à 2iE)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Daniel YAMEGUEU

Membres et correcteurs : Dr Marie SAWADOGO

Pr Yezouma COULIBALY

**Promotion : 2015-2016**

# DEDICACES

*A MES CHERS PARENTS*

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis que je suis avec vous et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

*À MES CHERS PETITS NEVEUX ET NIECES*

Amani, Raphael, Dwayne, Jérémie, Léa, Gabrielle, Anaïs, Samson, Allan

Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me comblent de bonheur.

Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.

*A LA MEMOIRE DE MA GRANDE MERE*

J'aurais tant aimée que tu sois présente.

Que Dieu ait ton âme dans sa sainte miséricorde.

*A MONSIEUR ET MADAME KRA*

Je vous suis reconnaissante pour tout l'amour que vous m'avez donné. Vous m'avez accueillez dans votre famille comme votre propre fille.

Que le Dieu tout puissant vous accorde sa sagesse et une place auprès de lui. Soyez béni au nom de Jésus.

*A ANGELET*

Mon conseiller, et ami fidèle, qui m'a assisté dans les moments difficiles et m'a pris doucement par la main pour traverser des épreuves délicat malgré la distance qui nous sépare.

Je te suis très reconnaissante, et je ne te remercierai jamais assez pour ton amabilité, ta générosité, ton aide précieuse. Je te souhaite beaucoup de bonheur et de Succès. Puisse Dieu te bénir d'avantage.

*A TOUS CEUX QUE JE N'AI PAS CITE*

Pour leurs aimables attentions et perpétuels encouragements.

# REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur César FARHAT le Directeur général adjoint des ACI (Aciéries de Côte d'Ivoire) de m'avoir accueillie dans l'Industrie. Sa gentillesse, ses compétences et sa rigueur m'ont été d'un grand aide.

Je tiens à remercier Monsieur Mohamed YATTAR le Directeur Administrative et Financière des Aciéries de Côte d'Ivoire de m'avoir accueillie dans l'entreprise. Sa rigueur dans le travail et ses qualités relationnelles m'ont profondément touchée.

Je tiens également à remercier Monsieur Moriba KONE, Ingénieur et responsable de production-fusion d'Aciéries de Côte d'Ivoire, pour avoir accepté de m'encadrer tout au long de ce stage. Sa rigueur technique, sa modestie, sa clairvoyance et ses compétences m'ont été d'une aide inestimable.

Mes remerciements s'adressent à mon encadrant Professeur Coulibaly YEZOUMA, enseignant à 2iE, pour avoir accepté de diriger ce travail. Son soutien, sa gentillesse et ses compétences m'ont été d'une aide essentielle.

Je tiens à remercier également Monsieur Henri KOTTIN, enseignant Ingénieur chercheur à 2iE, pour ses conseils, sa disponibilité, ses précieuses directives tout au long de la réalisation de ce travail.

Je remercie Messieurs DAINGUI DON, Pierre KONE, Bini KOBENAN, Kassem, Remy, Franck, Abou, Ramkumar, Ramesh, Issa, Salif, Dominique MARCHAL, Silvestre BRAFON et tout le personnel des Aciéries de Côte d'Ivoire pour leur gentillesse, leur riche expérience et l'accueil cordial qu'ils m'ont toujours réservé.

Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Je souhaite remercier Docteur Daniel YAMEGUEU, enseignant à 2iE, pour toute l'aide et le soutien paternel qu'il m'a apporté.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à tous mes professeurs et camarades de 2iE pour leurs encouragements.

# RESUME

La plupart des sidérurgies recyclent de la ferraille puis les refaçonnet en produits raffinés sous leur forme finie ou presque par la coulée et la solidification du métal.

Les Aciéries de Côte d'Ivoire est l'une des plus habiles dans la fabrication de l'acier à partir du recyclage des ferrailles triées en Afrique de l'Ouest. Elle offre comme produits finis : des ronds à béton, des billettes semi-finis, des poutrelles, des cornières à ailes égales, des fers carrés et des fers plats conformes aux normes Ivoiriennes et Internationales.

De même que les entreprises du secteur Industrielle sont soucieuses des consommations énergivores dans l'usine, Aciérie de Côte d'Ivoire cherche des solutions pour atténuer celles-ci et sa consommation d'oxygène.

Dans son unité de fusion de la ferraille jusqu'à la production des produits semi finis, le processus de fusion fait beaucoup appel à l'électricité et à l'oxygène.

Nous avons effectué un audit énergétique dans cette unité afin de déterminer les postes de gaspillage et de pertes d'énergie. Trouver les sources de pertes d'énergie et d'oxygène sera d'un grand bénéfice pour cette Aciérie.

Ce mémoire présente les résultats de l'étude de l'efficacité énergétique effectuée à l'unité de fusion de l'usine. Il propose les solutions pour une apodictique réduction des coûts de production. Il décrit les méthodes, les habitudes à adopter pour une faisabilité technique et économique entrainant une éventuelle réduction de 10% du ratio électrique (kWh/T) et de 35% du ratio d'oxygène (m<sup>3</sup>/T).

Mots clés : optimisation, efficacité, aciéries, oxygène, électricité.

# ABSTRACT

The majority of the iron and steel industries recycle scrap then refashion them in products refined in their finished form or almost by the casting and the solidification of metal.

The Steel-works of Ivory Coast are one of most skillful in the manufacture of steel starting from the recycling of the scrap sorted in West Africa. It offers as product finished: reinforcing bars, billets, beams, angles with equal wings, squares and flats in conformity with the standards Of the Ivory Coast and International.

Just as the companies of the Industrial sector to consumption energizing in the factory is concerned. Steel-works of Ivory Coast seek solutions to attenuate those and its oxygen uptake.

In its unit of melting scrap until the production of the finished semi products, the process of fusion calls much upon electricity and oxygen.

We carried out one to that energetics in this unit in order to determine the stations of wasting and losses of energy. To find the sources of losses of energy and oxygen will be of a great benefit for these Steel-works.

This memory has the results of the energy efficiency carried out at the unit of fusion of the factory. It proposes the solutions for an indisputable reduction of the production costs. It describes the methods, the practices to adopt for a technical and economic feasibility rousing a possibility reduction of 10% of the electric ratio (kWh/T) and of 35% of the ratio of oxygen (m<sup>3</sup> / T).

Key words: optimization, efficacy, steelworks, oxygen, electricity.

## Table des matières

DEDICACES .....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT .....	iv
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	viii
INTRODUCTION.....	1
I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE .....	3
<b>1.1 UNITE DE FUSION – COULEE CONTINUE</b> .....	3
<b>1.2. PROCESSUS DE FABRICATION</b> .....	3
II. APPROCHE METHODOLOGIQUE PROPOSEE POUR LE STAGE .....	6
III. ETATS DES LIEUX .....	8
<b>2.1 PARC A FERRAILLE</b> .....	8
<b>2.1.1. Catégorie de ferraille [17]</b> .....	8
<b>2.1.2. Les types de ferraille</b> .....	9
<b>2.1.3. La gestion de la ferraille</b> .....	9
<b>2.2. LA FUSION</b> .....	10
<b>2.2.1 Le four</b> .....	11
<b>2.2.2 Le convertisseur à décarburation à Azote-Oxygène</b> .....	12
<b>2.3. LA COULEE CONTINUE</b> .....	13
<b>2.4. LES ELEMENTS ELECTRIQUES DU FOUR A INDUCTION</b> .....	13
<b>2.4.1. Le schéma d'alimentation du four</b> .....	14
<b>2.5. LE CHARGEMENT DU FOUR</b> .....	17
<b>2.6. LE GARNISSAGE</b> .....	17
<b>2.8. LES ELEMENTS D'OXYGENE</b> .....	18
<b>2.8.1. Le réseau de la coulée continue</b> .....	19
<b>2.9. LE DIAGRAMME D'ISHIKAWA</b> .....	19
IV. OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE .....	24
<b>4.1. EVALUATIONS DES DIFFERENTS SCENARIOS DE SOLUTIONS</b> .....	34
<b>4.1.1 Scénarios de solution #1# : Optimisation des procédés existants</b> .....	34
<b>4.1.2. Scénarios de solution #2# : Optimisation des équipements</b> .....	42
V. OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION D'OXYGENE .....	55
VI. IMPACT ENVIRONNEMENTAL .....	59



VII. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....	60
VIII. RECOMMANDATIONS .....	61
WEBOGRAPHIE .....	II
ANNEXE : .....	III

## Liste des tableaux

Tableau 1: Approche méthodologique de travail. ....	6
Tableau 2: Type de ferraille utilisée .....	9
Tableau 3: éléments de base.....	12
Tableau 4: Epaisseur des réfractaires.....	17
Tableau 5: Principaux équipements consommateurs.....	24
Tableau 6: Calcul de la consommation d'énergie journalière .....	25
Tableau 7: Répartition énergétique par zone et équipement .....	32
Tableau 8: Résumé des estimations de consommation annuelles par poste avant économie d'énergie .....	33
Tableau 9: optimisation du stock de ferraille.....	38
Tableau 10: paramètres d'entrée solveur.....	39
Tableau 11: Résultat du mélange.....	39
Tableau 12: Ferraille pour fusion .....	42
Tableau 13: Calcul de la consommation d'énergie après optimisation .....	46
Tableau 14: répartition énergétique par zone et par équipement.....	51
Tableau 15: Résumé des estimations de consommation annuelles par poste après économie d'énergie .....	51
Tableau 16: proposition d'améliorations .....	52
Tableau 17: Détails Gain réalisés avec l'économie présumée .....	53
Tableau 18: Coût d'investissement des solutions .....	53
Tableau 19: Bilan avant économie d'énergie .....	53
Tableau 20: Bilan après économie d'énergie.....	53
Tableau 21: Tableau récapitulatif ratio de consommation d'oxygène .....	57
Tableau 22: Début d'optimisation de la consommation d'oxygène .....	57
Tableau 23: Analyse technico économique.....	58
Tableau 24: calcul d'émission CO2 avant efficacité énergétique.....	59
Tableau 25: Calcul d'émission CO2 après efficacité énergétique .....	59
Tableau 26: Tableau comparatif électrique .....	III
Tableau 27: SUIVI CONSOMMATION D'OXYGENE avec les pertes.....	IV
Tableau 28: SUIVI CONSOMMATION D'OXYGENE sans les pertes.....	V
Tableau 29: DEVIS MOTEUR CLASSIQUE .....	VII
Tableau 30: DEVIS MOTEUR PROCCES PERFORMANCE .....	VIII
Tableau 31: PROPOSITION DE PLAN D'ACTION.....	IX

## Liste des figures

Figure 1: Processus de fabrication de l'usine .....	4
Figure 2: Organigramme de l'entreprise .....	5
Figure 3 : ferraille pressée .....	10
Figure 4: pièces mécaniques .....	10
Figure 5 : pièce fermée calcinée.....	10
Figure 6: Four à induction .....	11
Figure 7: Vessel pour la décarburation .....	12
Figure 8: Coulée continue du métal .....	13
Figure 9: Schéma synoptique d'alimentation du four.....	14
Figure 10: bobine en cuivre.....	16
Figure 11: ferraille vrac.....	16
Figure 12: Processus de chargement du four.....	17
Figure 13: Principe d'utilisation d'oxygène .....	18
Figure 14: Analyse cause liée à l'augmentation d'énergie .....	20
Figure 15: Analyse cause liée à l'augmentation de la consommation d'oxygène.....	21
Figure 16: Rapprochement de consommation avant mise en œuvre des solutions .....	32
Figure 17: évolution du courant en fonction de la ferraille .....	41
Figure 18: Consommation prévisionnel après mise des solutions efficaces.....	51
Figure 19: schéma fonctionnement du système d'oxygène .....	55
Figure 20: Consommation d'oxygène anormale .....	56

# INTRODUCTION

L'Acierie de Côte d'Ivoire est la première unité de transformation de la ferraille en Afrique de l'Ouest. Elle a déployé sur un site de 12 hectares en zone industrielle de Yopougon (l'une des 13 communes d'Abidjan et la plus grande de la capitale économique) l'ensemble des équipements industriels du processus intégré de production des produits métallurgiques à partir du recyclage de la ferraille triée.

L'Acierie est basée sur trois unités industrielles dont la fusion de la ferraille, le laminage à chaud et la finition.

Le travail de notre mémoire était centré uniquement sur l'unité de fusion de l'industrie. Pour effectuer cette fusion, on doit respecter un cycle de production qui débute par la réception, le tri, le pressage de la ferraille, puis la fusion (enfournement des balles un peu plus lourde que la ferraille légère juste après la ferraille de démarrage afin d'atteindre un point de fusion entre 1535°C-1585°C) dans différents fours à induction, ensuite on fait du continuous casting dit coulée continue du métal liquide et enfin le stockage et contrôle des billettes (produit semi fini). Certes pour produire des billettes on utilise deux types de ferrailles qui sont : la fonte et la ferraille vrac. Ainsi, lorsque les ferrailles arrivent à l'usine, elles sont acheminées dans le parc à ferraille où on procède au tri c'est-à-dire qu'on vérifie la spécification de la ferraille réceptionnée dans le but d'inspecter les critères suivants : ne pas contenir de graisse, ne pas contenir de matières organiques dont les produits de combustion peuvent être toxiques pour le personnel d'exploitation, ne pas être rouillée, doit avoir une dimension permettant le chargement rapide du four ; au-delà de ces critères on sépare les pièces mécaniques des tôles des rails des blocs moteurs... puis on peut réaliser le découpage des pièces fermées ou la calcination de celles-ci pour éviter toute éventuelle explosion qui pourrait survenir lors de la fusion à de très haute température de la ferraille et ensuite on l'achemine sur la plateforme de la fusion pour la transformation en métal liquide et on clôture avec le moulage du métal liquide en billettes selon les caractéristiques souhaitées.

Afin d'être plus compétitif, l'entreprise souhaite réduire ses coûts de production en diminuant ses consommations d'électricité et d'Oxygène. Le stage que nous avons entrepris dans cette Acierie s'inscrit dans ce dynamisme.

Nous ressortons différents objectifs dont :

### **Objectif principal :**

Réduire les coûts de productions pour permettre à l'usine d'être plus compétitive.

### **Objectifs spécifiques :**

- ✓ Avoir une maîtrise de la consommation électrique et d'oxygène
- ✓ Disposer d'un panel des solutions d'économie d'énergie et d'oxygène par une étude technico économique.

Afin d'atteindre ces objectifs, nous présenterons un état des lieux du système énergétique et d'utilisation d'oxygène en faisant ressortir les anomalies de ceux-ci, ensuite nous évaluerons la faisabilité technique et économique d'une possible réduction de 10% de ratio électrique et 35% du ratio oxygène et enfin nous proposerons des plans d'actions.

En outre, afin de parvenir à une réduction de la consommation d'énergie et d'oxygène de notre structure d'accueil ; nous avons mis en place une méthodologie de travail qui se présente comme suit :

- ✚ Détection des organes énergivores.
- ✚ Evaluation de leur consommation journalière.
- ✚ Expertise appliquée.
- ✚ Réévaluation de la nouvelle consommation journalière.
- ✚ Bilan des améliorations.

# I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

L'Acierie de Côte d'Ivoire a été véritablement mise en place au dernier trimestre de l'année 2009 et est aujourd'hui l'une des fonderies d'acier les plus performantes en Afrique de l'Ouest. Elle est composée de trois unités dont l'unité de fusion, de coulée continue et de laminage à chaud.

Le processus de production d'Acierie se compose des activités principales suivantes :

- traitement des ferrailles et la fusion: l'atelier de fusion
  
- coulée du métal en fusion dans le moule, refroidissement en vue de la solidification et démoulage : l'atelier de coulée
  
- finition du produit moulé semi fini : l'atelier de laminage.

## 1.1 UNITE DE FUSION – COULEE CONTINUE

Elle représente le centre de l'usine et définit les différents objectifs de production des billettes. Pour effectuer l'opération de fusion, on utilise des fours à induction à creuset qui fonctionne comme un transformateur dont le secondaire (la charge) est en court-circuit. Le département procède à la sélection de la ferraille de manière qualitative et quantitative pour une bonne coulée du métal liquide. En termes de consommation électrique, les fours à eux seul sont à 89 % de la consommation totale de l'unité de fusion et coulée ; en plus de ça la coulée et la décarburation du métal consomment l'oxygène de façon éminente.

En outre, nous avons effectué notre stage dans ce département dans l'optique d'optimiser la consommation électrique et celle d'oxygène afin que l'entreprise puisse réduire ses coûts de production et être plus compétitive sur le marché de la sidérurgie et rester leader dans ce secteur.

## 1.2. PROCESSUS DE FABRICATION

Dans la chaîne de fabrication des billettes, ACI utilise pour la fusion de la ferraille un four à induction électromagnétique à basculement dont le principe de fonctionnement vient de la technique électrothermique permettant de chauffer des matériaux conducteurs d'électricité sans contact direct avec la source électrique. Lorsqu'un conducteur électrique est déplacé dans un champ magnétique statique, un courant électrique s'établit dans cet objet : c'est le phénomène

d'induction [11] ; de même si une pièce conductrice est placée à l'intérieur d'une bobine, les courants induits par le champ magnétique s'y développent (Loi de LENZ) et chauffent la pièce.

L'équipement de chauffage par induction comprend essentiellement un ou plusieurs inducteurs de chauffage, une alimentation électrique, un système de refroidissement de l'inducteur et de l'alimentation électrique et enfin un système de contrôle-commande.

Les phénomènes physiques [17] touchant le chauffage par induction sont :

- Transfert de l'énergie par voie électromagnétique de l'inducteur vers le matériau à chauffer.
- Transformation de cette énergie électrique en chaleur par effet joule.
- Diffusion par conduction thermique de la chaleur au sein du matériau.

Après la fusion de la ferraille, le métal liquide est acheminé par la poche de transfert vers la machine à couler. Cette machine fera des billettes selon la longueur désirée avec une section de 100 mm x 100 mm.

Nous pouvons résumer le schéma de fabrication de l'usine sur la figure 1 comme suit :

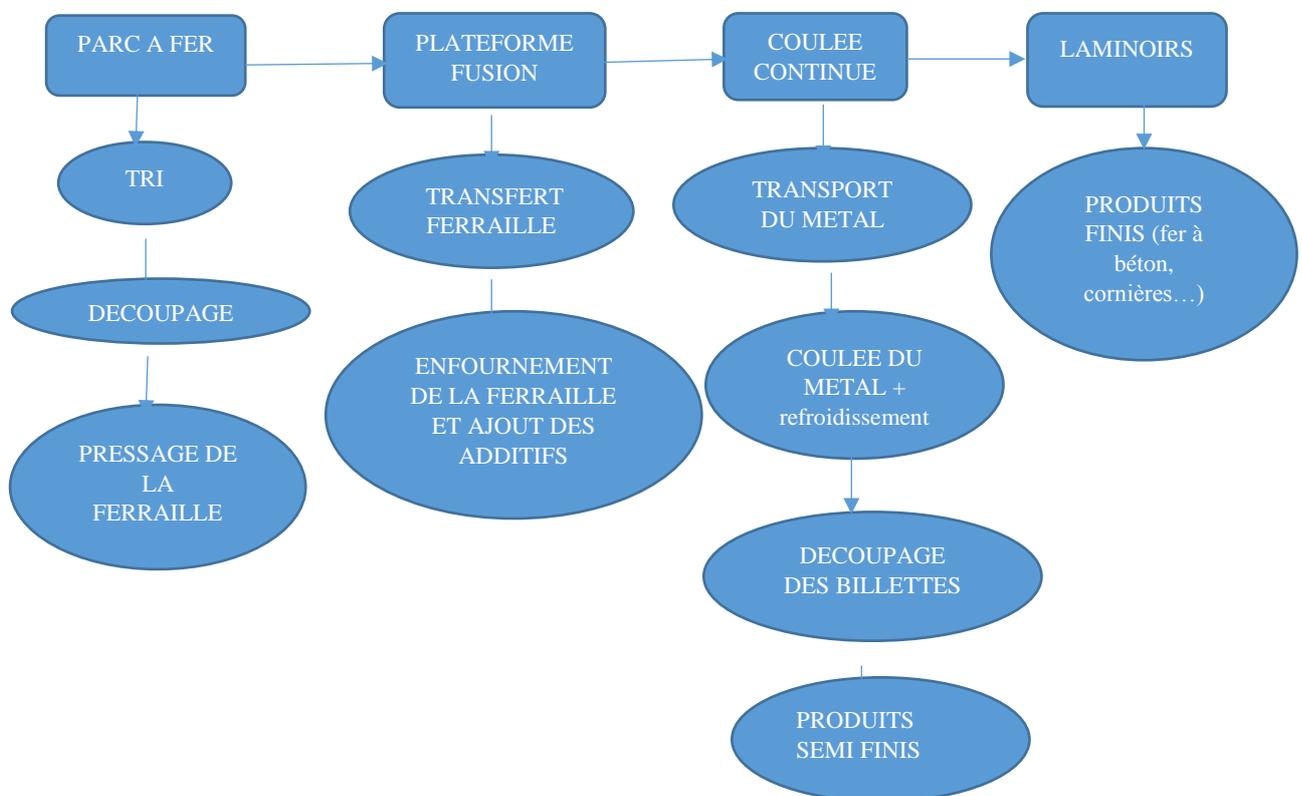


Figure 1: Processus de fabrication de l'usine

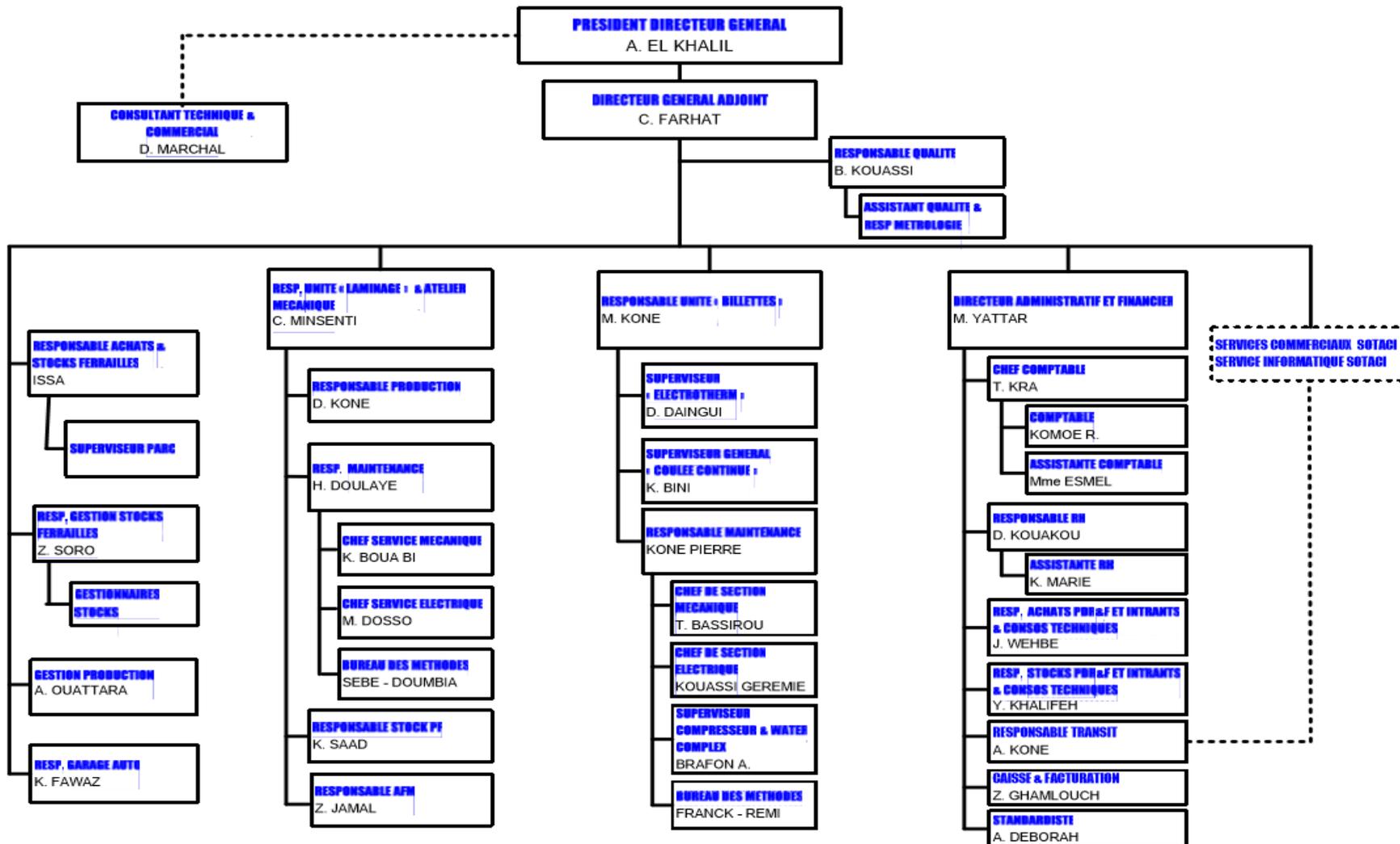


Figure 2: Organigramme de l'entreprise

## II. APPROCHE METHODOLOGIQUE PROPOSEE POUR LE STAGE

Cette approche méthodologique nous permettra de mieux appréhender le sujet de mémoire pour donner des solutions pertinentes. Il montre les points clés de cette étude de consommation énergétique et d'oxygène. Ainsi, le rapport sera structuré sur trois phases : nous commencerons par un état des lieux pour identifier les problèmes et les causes liés à l'augmentation de la consommation énergétique et d'oxygène puis nous étudierons les solutions pour faire baisser ces surconsommations et enfin nous ferons des recommandations.

Tableau 1: Approche méthodologique de travail.

Phases	Objectifs	Approche proposée
1. Etat des lieux	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relever les paramètres électriques des équipements</li> <li>• Identifier les principales études et enquêtes de réduction de la consommation énergétique dans la fonderie en Europe et en Afrique sur l'optimisation de la production des billettes.</li> <li>• Synthétiser les principaux apports de ces études notamment en termes d'utilisation des fours à induction.</li> <li>• Identifier les problèmes liés à l'augmentation de la consommation d'oxygène.</li> <li>• Sur la base de ces éléments proposer les secteurs de l'usine cibles à analyser plus en détail lors de la phase 2.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recherche bibliographique.</li> <li>• Entretiens avec les superviseurs, les ouvriers, les responsables, les maintenanciers et les ingénieurs en place.</li> </ul>
2. Etude détaillée des scénarios de solutions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier les principales attentes freins et motivations de l'entreprise vis-à-vis de l'efficacité énergétique et d'oxygène.</li> <li>• Réaliser une analyse approfondie des solutions proposées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enquêtes en ligne auprès d'entreprise dans ce secteur d'activité.</li> </ul>

<p>3. Analyse et recommandations</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparer le bilan énergétique avant et après l'efficacité énergétique.</li> <li>• Elaborer les recommandations visant à résoudre les lacunes, dysfonctionnement et besoins identifiés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse des résultats</li> <li>• Synthèse des principales attentes.</li> </ul>
--------------------------------------	---	---

Le tableau 1 donne les objectifs que nous nous fixons suivant une certaine approche d'étude pour développer différentes phases de travail. Comme l'indique l'énoncé du sujet, l'objectif consiste à Optimiser la consommation d'électricité et d'oxygène de l'unité de production billettes, afin de répondre correctement à la problématique posée par le cahier des charges, nous avons adopté une méthodologie de travail structurée. En effet, en première étape nous procéderons par un état des lieux de la situation en se basant sur les informations collectées à travers les techniciens expérimentés, les ouvriers. La synthèse de cette analyse sera la base de toute action d'amélioration. Et finalement on réalisera l'implantation de ces actions [24].

### III. ETATS DES LIEUX

C'est l'étape préliminaire de notre étude qui nous a permis de faire un diagnostic des différents secteurs de la production. Elle consiste d'une part, en une description des méthodes de production du processus et d'autre part à mesurer et relever les différentes caractéristiques des équipements électriques de l'usine de fusion. Nous avons organisé la présentation de cette partie autour de tous les secteurs qui touchent la production en occurrence la matière première, les éléments électriques, la fusion et la coulée.

#### 2.1 PARC A FERRAILLE

La ferraille est prise comme matière première de l'Acierie. Nous avons constatés qu'on utilise certaines conditions pour le choix de la ferraille à utiliser. Ce choix est basé sur la classification Européenne de la ferraille (édition du 27 Mars 1995) pour sélectionner la ferraille.

##### 2.1.1. Catégorie de ferraille [17]

Selon la classification de la ferraille, les catégories qui ne seront pas acceptées dans le parc sont :

- ✓ Les métaux non ferreux et de matériaux non métalliques tels que terre, matériaux isolants, rouille en quantité excessive quelle qu'en soit la nature, à l'exception d'une oxydation normale en surface provenant du stockage des ferrailles à l'extérieur dans des conditions atmosphériques habituelles.
- ✓ Les matériaux non métalliques combustibles tels que caoutchouc, plastiques, textiles, bois, huile, lubrifiants et autres produits chimiques ou substances organiques.
- ✓ Les éléments non conducteurs de l'électricité, d'une taille supérieure à une brique, tels que pneus, tubes remplis de ciment, bois ou béton.

Une fois la ferraille réceptionnée et contrôlée, elle est transférée soit directement sous le hangar comme matière utilisable sans traitement supplémentaire, soit dans le parc pour procéder au pressage des tôles de véhicules ou dans la seconde zone de dépôt pour la ferraille mixte nécessitant autre tri et découpage mais pas suffisant.

### 2.1.2. Les types de ferraille

On distingue plusieurs types de ferraille recensés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2: Type de ferraille utilisée

Les pièces mécaniques	<p>Aciers à faible teneur de carbone (%C inférieur à 0.25 %)</p> <p>Aciers à moyenne teneur de carbone (0.25 % à 0.6 % de C)</p> <p>Aciers à forte teneur de carbone (0.6 % à 1.4 % de carbone)</p> <p>La fonte qui est un alliage de fer et de carbone contenant (2,4 à 4 % de carbone)</p>
Engins lourds découpés (engins de terrassement, engins agricoles)	Chenille, godets, corps d'engins, châssis
Pièces laminées	Tôles, Tubes, Cornières, Fer rond, carré etc.
Retour de production du laminoir.	<p>Reste de fer à béton</p> <p>Billette non conforme</p>

### 2.1.3. La gestion de la ferraille

Le processus de gestion consiste à faire le tri de façon manuelle depuis le parc à fer. Les opérateurs (les ramasseurs ou trieurs) sont chargés de trier et séparer les pièces mécaniques fermées, les produits plastiques, les filtres de tout genre dans un premier temps et ensuite ils calcineront l'huile ou la graisse contenue dans les pièces comme les cylindres de voiture, les filtres,... afin d'éviter toute éventuelle éclatement lorsque ces pièces seront plongées dans un bain liquide à des points de fusion très élevé. En outre, on sépare la ferraille plus riches en carbone et les moins riches en carbone c'est-à-dire qu'on va entreposer selon les lots de matière première c'est-à-dire distinguer la ferraille légère (carcasses de véhicules, les tôles, les fers à béton...) et les pièces mécaniques (gèges de voitures, rails, pièces de bateaux...). On va également séparer les ferrailles de dimensions non conformes avec celles du four (4mm d'épaisseur) pour les découper en plus petit avec un chalumeau (butane + acétylène). La présence d'impuretés (huile, peinture, etc.) sur les déchets métalliques peuvent être à l'origine de la formation de certains produits de combustion incomplète ou de recombinaison et de poussière. Nous montrons ci-dessous les ferrailles qui sont gérées dans le parc à ferraille.



Figure 4: pièces mécaniques



Figure 3 : ferraille pressée



Figure 5 : pièce fermée calcinée

## 2.2. LA FUSION

C'est le processus par lequel la ferraille froide est amenée jusque dans le four. Entre 1530 et 1600 °C le métal est fondu. Après fusion, il est nécessaire de traiter le métal liquide pour le débarrasser des saletés ou crasses qui surnagent à la surface du four en le Désoxydant [12] (c'est-à-dire enlevées les oxydes et les saletés du métal), on peut également procéder au dégazage qui permet d'éliminer une bonne partie des oxydes, ce qui augmente la fluidité jusqu'à 20 % [25] et améliore ses caractéristiques avant de le couler. Ces traitements se font directement dans le four.

La fusion est constituée de quatre étapes :

- ✓ L'enfournement
- ✓ L'homogénéisation
- ✓ L'apurement
- ✓ Le prélèvement d'échantillon :

### 2.2.1 Le four



Figure 6: Four à induction

Les fours à induction sont utilisés pour faire fondre les métaux ferreux [11] [2]. Il existe plusieurs types de fours à induction disponibles, mais tous fonctionnent en utilisant un puissant champ magnétique [5] créé par le passage d'un courant électrique à travers une bobine enroulée autour du four. Le champ magnétique crée à son tour une tension, et par conséquent un courant électrique qui passe à travers la ferraille. La résistance électrique de la ferraille produit de la chaleur qui à son tour la fait fondre. Les fours à induction sont fabriqués selon un large éventail de tailles. Les Aciéries de Cote d'Ivoire détiennent (04) fours à Induction dont 02 fours de 6 Tonnes avec une puissance nominale de 2500 kW et 02 fours de 15 Tonnes de puissance nominale 6000 kW mais ces fours ne travaillent pas de façon simultanée c'est-à-dire que 01 four de 6 Tonnes fonctionnement de façon synchrone avec 01 four de 15 Tonnes. C'est lorsqu'on casse le garnissage d'un four qu'on met en marche l'autre four.

Le fonctionnement correct des circuits de refroidissement à l'eau est crucial pour empêcher toute surchauffe de la bobine. Les systèmes de refroidissement à l'eau sont donc conçus de façon à fournir le plus haut niveau de fiabilité, et intègrent ainsi divers thermostats et débitmètres.

Afin de gérer le fonctionnement du four et ses différents éléments, l'usine dispose d'un PLC (Programme Logique de Contrôle) Automate programmable industriel. Ce PLC assure la commande du four à partir de son écran tactile. Il permet également d'assurer la sécurité du four et ses éléments tels que : la température de l'eau de refroidissement, la pression de l'eau grâce aux sondes et débitmètres placés dans les spires du four, sur le générateur et le bloc de

condensateur ainsi que le courant de fuite du four. Il affiche les paramètres techniques du four (intensités, tensions, fréquence, puissance, etc...).

Tableau 3: éléments de base

INTRANTS	EXTRANTS
Matériaux ferreux (fonte, déchets d'acier, retour de fonderie...)	Métal liquide
Energie (électrique)	Poussière, CO, émanation métallique
Eau de refroidissement	Réfractaire résiduaire
Métal d'alliage (Ferro alliage, Manganèse)	

Nous présentons dans le tableau ci-dessus les éléments de base permettant la fusion de la ferraille pour l'obtention des billettes.

### 2.2.2 Le convertisseur à décarburation à Azote-Oxygène



Figure 7: Vessel pour la décarburation

Le convertisseur à décarburation à l'Azote-Oxygène a pour rôle d'éliminer une partie de carbone contenu dans le métal liquide [20]. Grâce aux tuyères positionnées dans sa partie inférieure, l'oxygène y passe pour :

- Ajuster la teneur de carbone
- Créer un brassage intense du bain liquide qui conduit à une grande homogénéité thermique et analytique.

- Eliminer par scorification des éléments résiduels fortement oxydables (Al, Ti,...).

La décarburation est l'injection d'oxygène dans le bain métallique. Ceci crée un fort effet de brassage et un "bouillonnement" qui épuise le silicium, ainsi fait sortir l'hydrogène et l'azote du bain métallique [18] [15].. L'injection continue de gaz provoque un violent effet de brassage et un mélange intime du métal qui peut réduire les valeurs de soufre jusqu'à moins de 0,005 %.

### 2.3. LA COULEE CONTINUE



Figure 8: Coulée continue du métal

Le métal liquide est transporté après le processus de fusion dans une poche vers le répartiteur où il s'écoule en continu ; puis grâce à l'oscillateur, le métal continu son chemin dans un moule qui sera refroidit par des jets d'eau. Le métal ainsi solidifié descend à vitesse constante tout en continuant à être refroidi au moyen de gicleurs afin d'achever leur solidification en billettes de section 100 mm x100 mm coupées en différentes longueurs et guidé par un jeu de rouleaux. Les principaux organes de coulée continue sont:

Le répartiteur de coulée ( tundish ), le moule, l'oscillateur, la fausse billette ( dummy bar ), les redresseurs ( withdrawal straightening ), le pousseur etc.

### 2.4. LES ELEMENTS ELECTRIQUES DU FOUR A INDUCTION

L'unité de fusion est constituée de 2 fours dont un de 6T et un autre de 15T. Tous les fours ont 2 modes de fonctionnement (Melting et Sintering) alimentés en monophasé. Mais seul le four 15 T a 2 panels dédiés à son fonctionnement.

En Melting (fusion), il sera alimenté en monophasé sous une tension variable de 2850-3500 V par l'intermédiaire d'un transformateur de puissance de 7000 kVA (15kV / 2 x 1000V) triphasé ; ce dernier débite sur un générateur de 6000 kW qui permet d'amener la fréquence constante de 50 HZ de la compagnie ivoirienne d'électricité (CIE) en une fréquence variable maximum de 500 HZ.

En Sintering (préchauffage), il sera également alimenté en monophasé sous une tension de 1500 V par l'intermédiaire d'un transformateur de puissance 900 kVA (15kV / 750V) triphasé ; ce dernier débite sur un générateur de 750 kW qui permet de générer la fréquence constante de 50 HZ (Compagnie Ivoirienne Electricité) en une fréquence variable maximum de 500 HZ.

Le four 6T a un mode de fonctionnement simultané de Melting et Sintering qui sont également alimentés en monophasé sous une tension de 1500 V par l'intermédiaire d'un transformateur de 3000 kVA (15k V/ 2900V) qui débite sur un générateur de 2500 kW de fréquence 500 HZ.

Sur ces générateurs de fours, il y'a un pont de thyristor intégré permettant de redresser la tension du réseau de 50 HZ en une tension variable et à une fréquence différente allant jusqu'à 500 HZ.

### 2.4.1. Le schéma d'alimentation du four

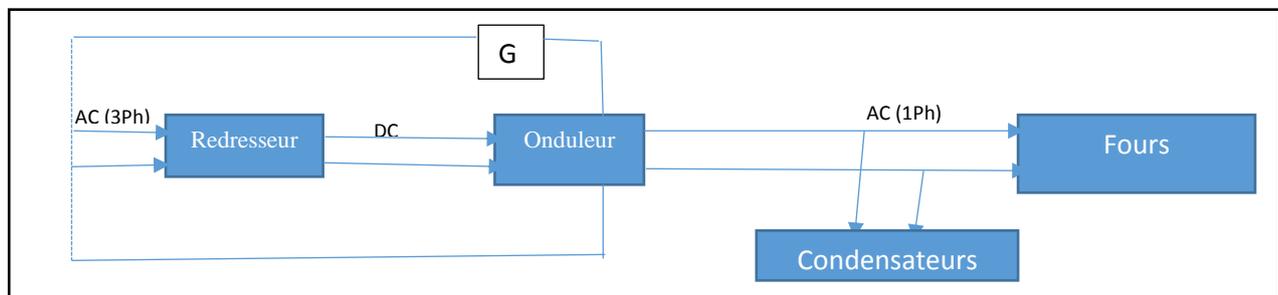


Figure 9: Schéma synoptique d'alimentation du four

#### 2.4.1.1. Le générateur de fréquence

Le générateur (de fréquence) permet de générer la fréquence continue à une fréquence variable. Il permet d'adapter les caractéristiques électriques (tension, fréquence et intensité) nécessaire à la fusion.

#### 2.4.1.2. Le redresseur

Il permet de redresser le courant alternatif triphasé d'entrée en courant continu avec les ponts de thyristor. Les impulsions d'amorçage des thyristors sont alimentées et générées par des transformateurs d'impulsion à partir des cartes électroniques. Des fusibles sont connectés

sur chaque phase des thyristors pour les protéger contre les surcharges et les courts-circuits. Une diode « roue libre » est connectée en parallèle au redresseur pour fournir un trajet de décharge de l'inductance DC lorsque le convertisseur est hors tension au cours d'un défaut. La particularité de ce type de redresseur à thyristor (redresseur contrôlé) PD3 est qu'il permet à partir d'une tension d'entrée fixée de la faire varier en une tension continue de sortie et en plus il est réversible.

#### **2.4.1.3. L'onduleur**

Il convertit le courant continu en courant alternatif à moyenne fréquence. Son courant d'alimentation est introduit dans le circuit de résonance comprenant des condensateurs électriques et la bobine de four. L'onduleur est un dispositif de pont de phase comprenant quatre bras de thyristors qui sont tirés par paires diagonales alternées de sorte que le courant continu constant est commuté dans des directions alternées dans le circuit de charge ; le courant de sortie de l'onduleur est donc essentiellement rectangulaires sur un chronogramme. Les thyristors utilisés sont sélectionnés pour avoir un faible temps d'amorçage. [11] [5]..

#### **2.4.1.4. Le filtre inductif**

Il permet de stabiliser la sortie du redresseur et fournit une source de courant constante à l'onduleur. Il a été conçu pour fonctionner pour toutes les tensions de sortie et les impédances de charge au sein de la plage de fonctionnement en maintenant l'ondulation de sortie en dessous de 20% du courant de sortie.

#### **2.4.1.5. Les batteries de condensateurs**

Ces condensateurs de puissance sont refroidis à eau et connectés en parallèle avec l'inductance du four. A la fréquence de résonance «  $f_0$  », l'inducteur est le siège d'une surtension propre [9]. Il existe les interrupteurs pneumatiques qui permettent la sélection des fours et l'ajout des batteries de condensateurs à manœuvrer hors charge.

#### 2.4.1.6. La bobine du four (Inducteur)



Figure 10: bobine en cuivre

La bobine est refroidie par l'eau afin de la protéger d'une surchauffe et l'eau de refroidissement est refroidie à son tour dans un échangeur eau/eau. Grâce à la circulation du courant alternatif à fréquence élevée (autour de 500 HZ) dans la bobine, le flux magnétique alternatif qui circule autour de la bobine produit la chaleur nécessaire pour fondre la ferraille.

#### 2.4.1.7. La charge



Figure 11: ferraille vrac

C'est la matière première de l'usine. Elle vient des entreprises automobiles, de fonderie, de différentes sociétés informelles, de toute l'étendue de la Côte d'Ivoire. Les travailleurs informels font le tri de la ferraille dans les différentes régions et communes de la Côte d'Ivoire.

## 2.5. LE CHARGEMENT DU FOUR



Figure 12: Processus de chargement du four

Le chargement du four se fait à l'aide d'une chargeuse manœuvrée par un opérateur. La chargeuse est munie d'aimant qui magnétise la ferraille et la transporte dans le four. Les opérations de chargement durent en moyenne 120 minutes pour le four 15Tonnes et 90 minutes pour le four 6Tonnes. Le but de la fusion est d'obtenir du métal liquide avec la composition chimique et la température souhaitées (bain d'acier compris entre 1630 et 1700) en conservant le garnissage le plus longtemps possible, à moindre coût de main d'œuvre, d'intrants et d'énergie.

## 2.6. LE GARNISSAGE

Les inducteurs du four sont protégés par une couche assez épaisse de garnissage réfractaire, la forme de cette couche est donnée à partir des dimensions du former. L'étude de ces former est développée en annexe 1.

Tableau 4: Epaisseur des réfractaires

DIAMETRE DU FORMER (mm)	EPAISSEUR DU REFRACTAIRE (cm)
1180	16
1140	18
1010	24.5

Cette matière appelée ramming-masse (prise réfractaire) utilisée dans ce four est de nature acide car étant composé de Si à 98%, de Mn et de C en faible quantité. Au cours des fusions, le garnissage est assujetti à une érosion progressive dont les causes sont : le mauvais mélange des

composants du réfractaire, le damage de la matière, les pannes d'électricité. En fait l'érosion sera constatée lorsqu'on remarquera une chute de tension jusqu'à 2500V et une augmentation de la fréquence de plus de 500 Hz ce qui voudrait dire que le courant va augmenter et aboutira à des risques d'insécurité pour des travailleurs et une certaine augmentation de la consommation d'énergie. A cet effet le lining et le patching qui constituent des opérations de regarnissage sont effectués périodiquement suivant l'état de cette couche réfractaire. Le lining représente toute la couche du garnissage en dessous de la bobine.

Une fois le garnissage du lining ou du patching est fait, on fait le Sintering (chauffage) du four pendant environ 2 heures en enfournant la ferraille légère puis on procède au Melting (fusion) de la ferraille.

## 2.8. LES ELEMENTS D'OXYGENE

- ✓ Le réservoir d'oxygène sert de réserve ; il a une capacité de 30000 Litres dont un réservoir de 10000L et un autre de 20000 L.
- ✓ Le level control affiche le niveau d'oxygène dans la citerne.
- ✓ 2 Valves permettent de contrôler la sortie et l'entrée d'oxygène dans la citerne.
- ✓ Inter change est l'échangeur qui permet à l'oxygène liquide de se transformer en gaz.
- ✓ Regulator est le régulateur de pression.
- ✓ AOD est la machine pour la décarburation des pièces mécaniques.
- ✓ La coulée continue permet l'utilisation d'oxygène par les chalumeaux.

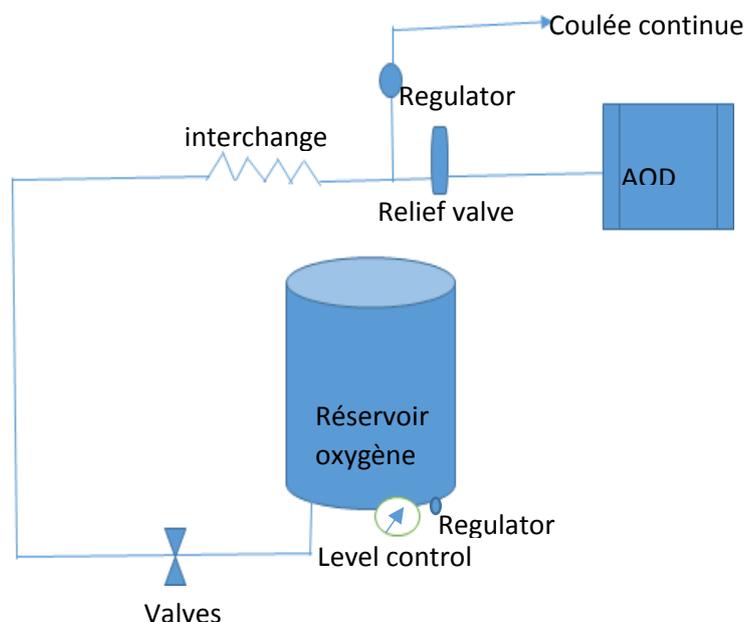


Figure 13: Principe d'utilisation d'oxygène

### **2.8.1. Le réseau de la coulée continue**

Sur ce réseau, il est installé à chaque bout de ligne des points de sortie d'oxygène dont pour le nettoyage et l'ouverture de la poche, l'ouverture de répartiteur, la découpe de billettes. Ces opérations sont effectuées subjectivement sans débit de sortie d'oxygène fixé au préalable pour faire tel ou telle autre manipulation. Les éléments du réseau paraissent vieillissants.

### **2.8.2. Le réseau du convertisseur AOD**

Le réseau installé pour le convertisseur à décarburation est ressent et est la source des problèmes de fuites et pertes d'argent. L'utilisation d'oxygène est fonction du taux de carbone initial après la fusion des pièces mécaniques.

## **2.9. LE DIAGRAMME D'ISHIKAWA**

Ce diagramme des causes /effets ou « arêtes de poisson » est le résumé d'un état des lieux, d'une prospection, d'une enquête sur les différentes méthodes utilisées pour suivre le processus de production de billette avec les différents travailleurs de l'entreprise. Il consiste à classer par famille les causes susceptibles d'être à l'origine d'un problème afin de rechercher des solutions pertinentes.

Dans notre cas, l'effet étudié est la consommation électrique et d'oxygène des équipements de l'unité de production des billettes. Après la réalisation d'un Brainstorming avec une équipe de techniciens, nous avons énuméré les causes possibles de cet effet en les organisant sous cinq domaines qui sont : Milieu, Main-d'œuvre, Matières, Moyens et Méthodes.

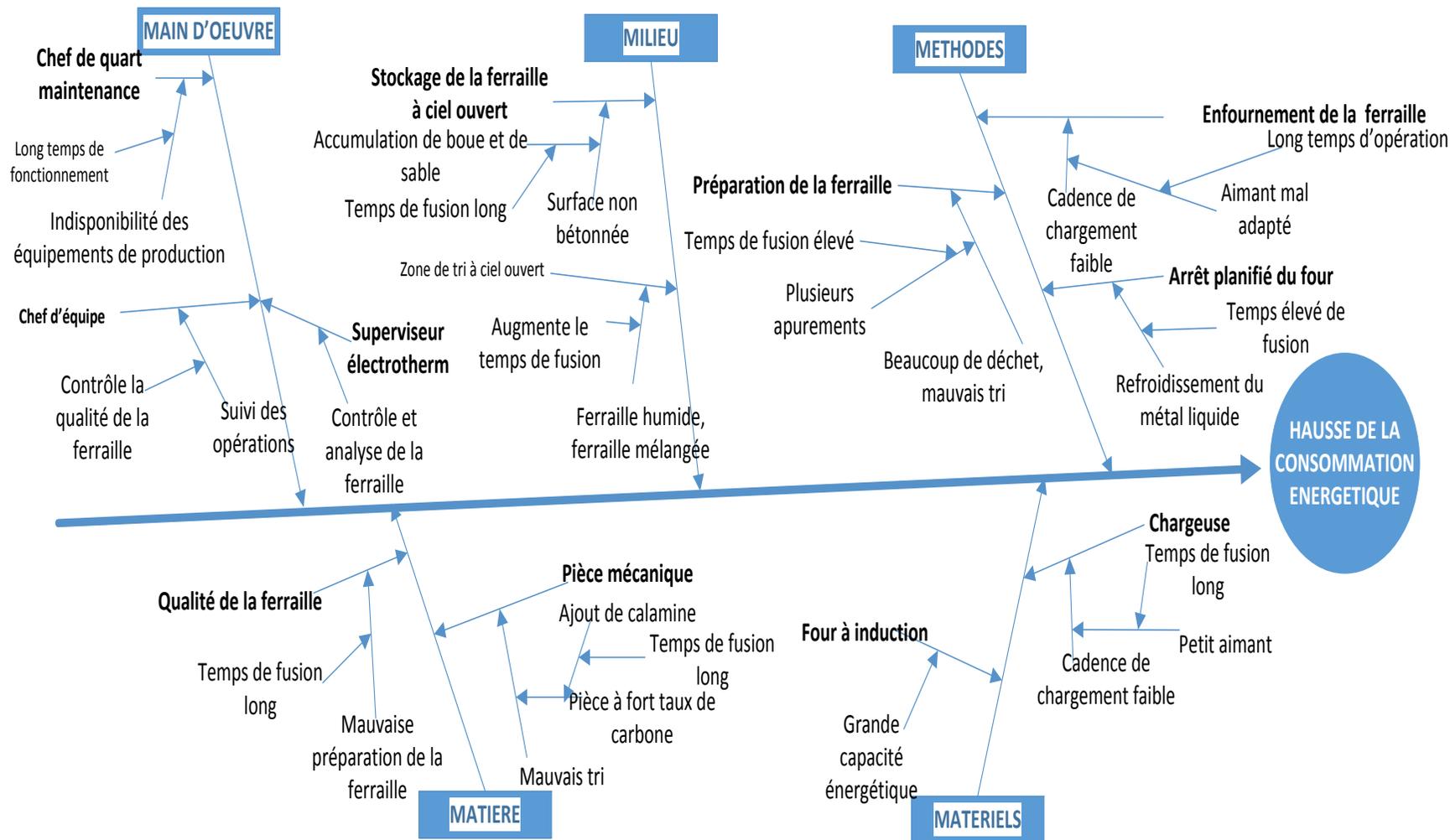


Figure 14: Analyse cause liée à l'augmentation d'énergie

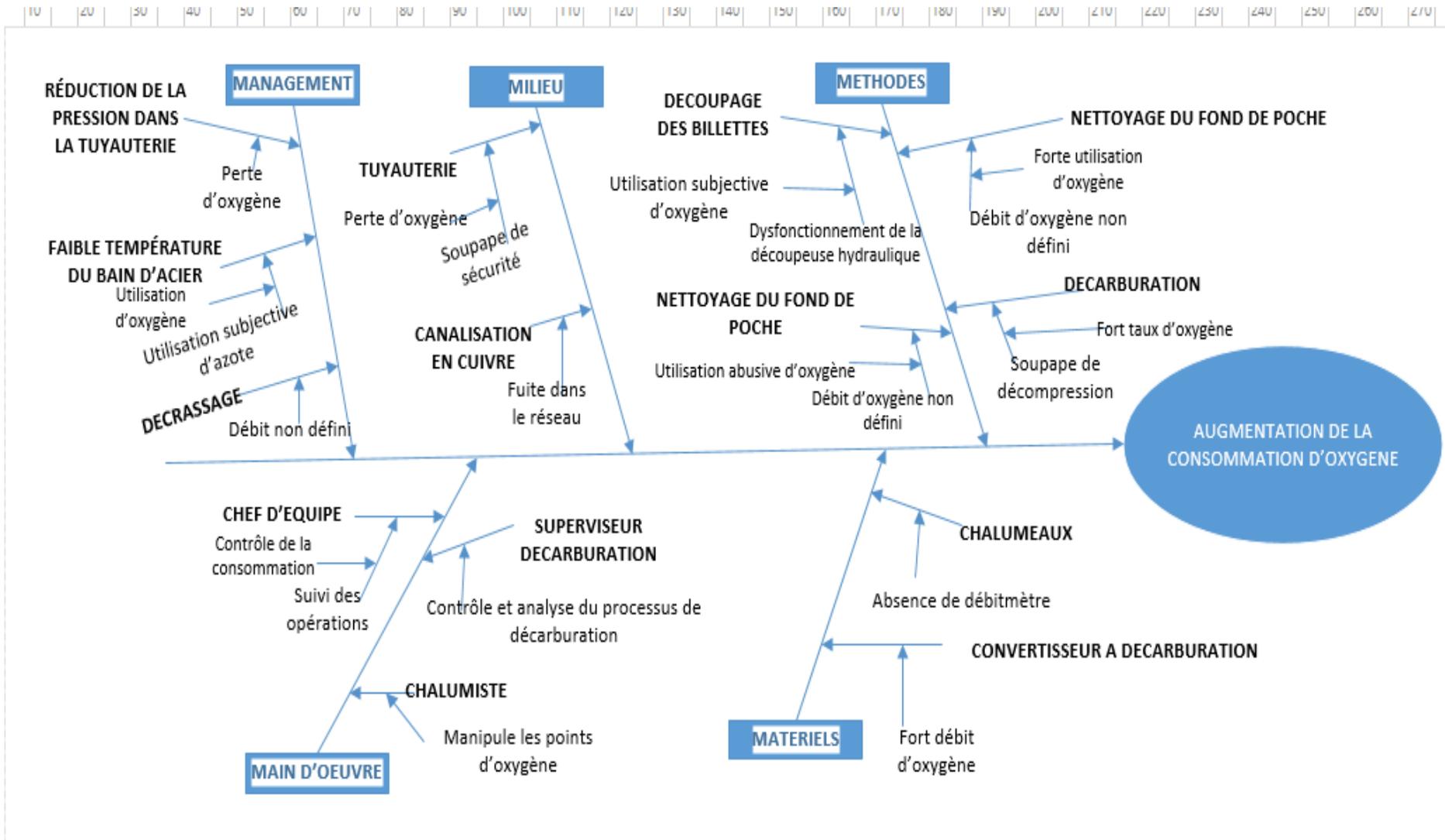


Figure 15: Analyse cause liée à l'augmentation de la consommation d'oxygène

## INTERPRETATION DU DIAGRAMME D'ISHIKAWA

Les causes liées à l'augmentation d'électricité et l'oxygène se regroupent en 5 groupes dont la méthode c'est-à-dire le mode opératoire, le milieu c'est-à-dire l'environnement, la main d'œuvre c'est à dire les compétences mis en jeu, la matière c'est-à-dire l'élément indispensable et les matériels c'est dire les appareils. Nous prenons un élément de chaque cause de la hausse d'électricité pour faire une interprétation et le reste des éléments sera dans la même logique d'explication des causes.

- ✚ Comprendre le diagramme d'ISHIKAWA pour l'électricité
- ✓ La méthode : **Enfournement de la ferraille : pourquoi est-ce que l'enfournement de la ferraille entraîne une augmentation d'électricité parce que la cadence de chargement de la chargeuse est faible et pourquoi on peut dire que cette cadence entraîne une augmentation de la consommation énergétique parce que l'aimant de la charge est mal adapté et pourquoi cet élément peut entraîner une augmentation de la consommation électrique parce que le temps de fusion de la ferraille sera long.**
- ✓ Le milieu : **le stockage à ciel ouvert : pourquoi le stockage de la ferraille à ciel ouvert peut entraîner la hausse de consommation énergétique parce que la surface est non bétonnée et il peut y avoir le sable et l'infiltration des eaux de pluies dans la ferraille pourquoi ça va entraîner la hausse de la consommation électrique parce que le temps de fusion sera élevé et cela va entraîner une énergie élevée.**
- ✓ La main d'œuvre : **superviseur électrotherm : pourquoi les compétences des superviseurs peuvent entraîner la hausse de consommation d'oxygène parce que le temps de réaction sera trop en fonction du type de ferraille à enfournée et cela va conduire à un mauvais contrôle de la ferraille ainsi il y'aura une conséquence du temps de fusion de la ferraille.**
- ✓ La matière : **les pièces mécaniques aura une grande influence sur le temps de fusion de la ferraille lorsque le tri ne sera pas bien fait.**
- ✓ Le matériel : **la chargeuse : pourquoi la chargeuse à un impact sur la consommation électrique parce que l'aimant est mal adapté et ça va entraîner un long chargement de la ferraille et par conséquent un long temps de fusion de la ferraille.**

- ✚ Comprendre le diagramme d'ISHIKAWA pour l'électricité
- ✓ La méthode : **décarburation : pourquoi est-ce la décarburation peut entraîner la hausse de la consommation d'oxygène parce il y a une perte d'oxygène sur le réseau d'alimentation.**
- ✓ Le milieu : **la tuyauterie : pourquoi est-ce que la tuyauterie peut entraîner la hausse de la consommation d'oxygène parce qu'on observe sur la soupape de sécurité, des joints et des coudes des fuites d'oxygène.**
- ✓ Le management : **la réduction de la pression dans le réseau d'oxygène entraîne des pertes d'oxygène.**
- ✓ Les matériels : **citerne pourquoi la citerne entraîne une hausse de la consommation d'oxygène parce que les cuves ne sont pas bien régulées.**
- ✓ La main d'œuvre : **chef d'équipe pour est ce que les compétences des chefs d'équipes entraînent la hausse de la consommation d'oxygène parce qu'ils ne suivent quotidiennement la consommation d'oxygène.**

## Conclusion

L'état de lieu présenté dans ce chapitre a permis de relever et de faire un bilan énergétique afin d'en ressortir les causes responsables de la consommation électrique ainsi que celles responsables de la consommation élevée d'oxygène. Mais surtout elle a permis de mettre en relief les différentes solutions possibles pour l'optimisation des coûts de production des billettes.

En résumé, nous nous intéresserons dans les prochains chapitres aux points suivants :

- i. La réduction de 10% de la consommation d'énergie (kWh/T) actuelle de 740 kWh/T par rapport à la consommation de Janvier 2015 qui était 650.9 kWh/T ; nous allons ressortir les causes les plus sensibles et leurs effets ensuite nous évaluerons des scénarios de solutions ou d'amélioration du système.
- ii. La réduction de 35% de la consommation d'oxygène ( $m^3/T$ ) engendrée par la surconsommation de l'atelier de décarburation ; nous évaluerons également des pistes de solutions ou d'amélioration des différents réseaux d'oxygène.

## IV. OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE

### ✚ Détection des organes énergivores

Après avoir prospecté sur les organes énergivores, le mode de fonctionnement des équipements de la structure, nous nous sommes rendu compte que les principales unités consommatrices d'énergie sont :

Tableau 5: Principaux équipements consommateurs

ZONE	APPAREILS
Water complex	Moteurs
Coulée continue	Moteurs
Fusion	Fours

### ✚ Evaluation de la consommation journalière

La consommation électrique de l'unité de production des billettes est repartit sur plusieurs secteurs dont la fusion, la coulée continue, ... .

Pour estimer la consommation journalière des unités sus mentionnées, nous avons appliqué les formules suivantes :

$$\text{Puissance absorbée : } P_n = \frac{P_n}{\eta} * 100 \quad (1)$$

Mais comme toutes les machines n'ont pas sur leur plaque signalétique le rendement énergétique, nous avons utilisés cette deuxième formule pour l'ensemble de calcul :

$$Pa = U * I * \text{Cosp} * \sqrt{3} \quad (2)$$

Pa2 : Puissance absorbée en kW

U : tension nominale en Volt (V)

I : Intensité nominale en Ampère (A)

Cos  $\rho$  : facteur de puissance

$$E2 = Pa * tf * \text{nbre équipement en service} \quad (3)$$

Pa : puissance absorbée en kW

Tf : temps de fonctionnement de l'équipement (h)

E2 : Energie journalière consommée en (kWh)

Nous présentons la feuille de calcul par zone d'étude de l'énergie consommée journalière suivante :

Tableau 6: Calcul de la consommation d'énergie journalière

ZONE	NOM DE L'EQUIPEMENT	SOUS ENSEMBLE DE L'EQUIPEMENT	Qtité totale	QUANTITE EN SERVICE	P <sub>n</sub> (kW)	I <sub>n</sub> (A)	U <sub>n</sub> (V)/ (Hz)	N <sub>n</sub> (rpm)	η (%)	cosφ	P <sub>a</sub> (kW)	T <sub>f</sub> (h/jour)	E (kWh)
WATER COMPLEX	Pompe secondaire coulée	Pompe 2 et 4 identique	4	2	30	51	415/50	2 950	91	0,89	32,63	11,00	717,78
		Pompe 3 et 1 identique			30	51	415/50	2 950	91			11,00	
	Pompe primaire coulée (refroidisseur moule)	Pompe identique	4	2	45	75	415/50	2 965	91	0,89	47,98	11,00	1 055,56
	Pompe refroidissement échangeur Four	Pompe échangeur four 15 T	2	1	22	37	415/50	2 935	91	0,89	23,67	23,00	544,41
		Pompe échangeur four 6 T	2	1	19	32	415/50	2 935	90	0,89	20,34	23,00	467,90
	Tour de refroidissement	Moteur refroidissement fusion	7	4	8	15	415/50	960	53	0,85	9,16	23,00	843,15
		Moteur refroidissement concast		3	8	15	415/50	960	53	0,85	9,16	11,00	302,44

Pompe refroidissement four	Pompe refroidisseur four 6T	2	1	19	32	415/50	2 930	90	0,89	20,47	23,00	470,84
	Pompe refroidisseur four 15T	2	1	30	51	415/50	2 955	93	0,89	32,75	23,00	753,35
Pompe refroidissement échangeur Melting DM four 15 T		2	1	19	32	415/50	2 935	90	0,89	20,34	23,00	467,90
Pompe refroidissement échangeur DM Sintering et Meltingfour 6T		2	1	8	15	415/50	2 900	53	0,84	9,06	23,00	208,31
Pompe refroidissement échangeur Sintering DM four 15 T		2	1	6	10	415/50	2 905	86	0,84	6,04	1,50	9,06
Pompe château	Pompe château concast	1	1	11	24	415/50	2 930	73	0,80	13,57	0,92	12,49
	Pompe château fusion	1	1	15	27	415/50	1 460	90	0,85	16,50	0,50	8,25
Pompe pollution controll		1	1	200	338	400/50	2 975	95	0,90	218,40	22,00	4 804,81
Eclairage			10	0		220/50					23,00	8,28
<b>TOTAL CONSO</b>												<b>10 674,53</b>

COULEE CONTINUE	Groupe hydraulique Shearing machine	Pompe hydraulique	2	2	37	64	415/50	1 470	93	0,89	40,94	9,00	736,97
	Groupe hydraulique principal ou hydraulic power pack	Pompe hydraulique principal	2	1	19	33	415/50	1 460	96	0,85	20,28	10,50	212,99
	Groupe hydraulique préparation poche ou test power pack	Pompe hydraulique	1	1	4	7	415/50	1 450	96	0,84	4,35	0,55	2,39
	Extracteur de fumée ou steam exhaust		1	1	11	21	415/50	1 450	89	0,80	12,08	11,00	132,83
	Pompe hydraulique pour ouverture poche ou slide gate power pack		1	1	8	14	415/50	1 450	88	0,84	8,57	9,00	77,16
	Moteur Mould oscillation	Motoréducteur	2	2	8	15	415/50	1 450	87	0,80	8,63	9,00	155,26
	Moteur Tundish car long travel	Motoréducteur	2	2	4	8	415/50	1 440	84	0,80	4,37	0,03	0,26
	Moteur redresseur de billette ou straightener	Motoréducteur	4	4	4	8	415/50	940	84	0,80	4,60	10,00	184,01
	Moteur Discharge roller table	Motoréducteur	5	5	4	8	415/50	1 440	84	0,80	4,37	0,60	13,11
	Moteur PCRT	Motoréducteur	2	2	2	6	415/50	910	75	0,73	2,94	0,09	0,53

	Moteur ladle pre heater blower	Ventilateur	2	1	11	21	415/50	2 900	86	0,87	13,13	2,00	26,26
	Ventilateur chalumiste		2	2	8	14	380/50			0,84	8,19	0,92	15,06
	Ventilateur mould operator		1	1	2	4	380/50			0,84	2,40	2,00	4,81
	Eclairage		23	23	36		220					10,00	8,28
	Climatiseur		5	5	2		220					8,00	80,00
	<b>TOTAL CONSO</b>												<b>1 649,94</b>
FUSION	Groupe hydraulique four 6T	Moteur pour lever le four 6T	2	1	8	14	415/50	1 450	67	0,84	8,57	0,50	4,29
	Pompe refroidissement générateur four 6 T	Moteur pour refroidir le générateur	2	1	8	15	415/50	2 680	67	0,84	9,06	23,00	208,31
	Four 6T		1	1	2 500	950		530		1,00	682,86	13,70	34 250,00
	Chargeuse ferraille four		2	2	55	84			92	0,89	53,74	8,25	886,67
	Groupe hydraulique 15 T	Moteur de basculement du four	2	1	4	8	415/50	1 480	91	0,84	4,83	1,65	7,97
	Pompe refroidissement Générateur sintéring four 15T		2	1	4	8	415/50	2 880	91	0,84	4,83	1,30	6,28
	Pompe refroidissement générateur melting four 15T		2	1	15	28	415/50	2 880	90	0,85	17,11	23,00	393,47

	Four 15T (melting)		1	1	6 000		/500			1,00	0,00	16,50	99 000,00
	Four 15 T (sintering)		1	1	750	1 100	/500			1,00		1,30	975,00
	Ventilateur enfourneur		2	2	2	4	380/50			0,84		2,00	4,40
	Tronçonneuse		2	2	8	15	380/50		67	0,84	9,06	0,55	9,96
	climatiseur6 et15T		12	12	2		220/50				0,00	13,00	312,00
	Groupe vessel AOD	Moteur basculement vessel	1	1	8	14	415/50	970	87	0,84	8,63	0,30	2,59
		Moteur pour freinage	1	1	2	0	415/50		87	0,84	0,15	0,30	0,05
		Compresseur d'air	2	1	15	28	400/50	1 470	90	0,85	17,11	12,00	205,29
		Chariot AOD opérateur	2	1	6	10			53	0,84	6,04	0,30	1,81
		Chariot AOD hôte	1	1	1	2	415/50	1 418		0,80	1,38	0,30	0,41
	Eclairage			72	0							15,00	38,88
	<b>TOTAL CONSO</b>												<b>136 307,38</b>
PARC A FERRAILLE	Presse	Moteur 1	2	2	30	58	380/50	980	92	0,80	33,29	9,00	599,31
		Moteur 2	1	1	45	78	415/50	1 475	93	0,87	48,78	9,00	439,00
	Guillotine 1	Moteur Guillotine 1	2	2	15	5	380/50	1 460	88	0,85	3,04	4,00	24,30
		Moteur Guillotine 2	1	1	19	36	380/50	1 470	91	0,87	22,42	4,00	89,70

		Moteur Guillotine 3	1	1	19	36	380/50	1 470	93	0,87	22,42	4,00	89,70
	Chargeuse HORIZON	Moteur chargeuse	1	1	75	97	380/50	1 470	95	0,89	62,05	9,00	558,49
	<b>TOTAL CONSO</b>												<b>1 800,49</b>
<b>PONT ROULANT</b>	Pont 10 T Fusion	Moteur pour translation	2	2	5	10	415/50		50	0,84	6,28	0,50	6,28
		Moteur pour levage	1	1	26	76	415/50		90	0,89	48,62	0,30	14,59
		Moteur chariot	1	1	3	3	415/50		45	0,73	1,36	0,45	0,61
	Pont 10 T Ferraille	Moteur pour translation	2	2	5	10	415/50		50	0,84	6,28	5,00	62,79
		Moteur pour levage	1	1	26	76	415/50		92	0,89	48,62	2,50	121,55
		Moteur chariot	1	1	3	3	415/50		45	0,80	1,50	4,00	5,98
	Pont 10 T Billette	Moteur pour translation	2	2	5	10	415/50		45	0,85	6,35	5,00	63,54
		Moteur pour levage	1	1	26	76	415/50		90	0,89	48,62	2,50	121,55
		Moteur chariot	1	1	3	3	415/50		45	0,80	1,50	4,00	5,98
	Pont 40/10T Fusion	Moteur pour translation	2	2	14	29	415/50		90	0,84	17,51	0,60	21,01
		Moteur pour chariot	1	1	5	10	415/50		50	0,84	6,28	0,50	3,14
		Moteur levage 10T	1	1	38	76	415/50		90	0,80	43,70	0,50	21,85

		Moteur levage 40T	1	1	53	140			96	0,89	89,56	0,50	44,78
	Pont 40/10T coulée	Moteur pour translation	2	2	14	29	415/50		90	0,84	17,51	0,60	21,01
		Moteur pour chariot	1	1	5	10	415/50		50	0,84	6,28	0,50	3,14
		Moteur levage 10T	1	1	38	76	415/50		94	0,80	43,70	0,50	21,85
		Moteur levage 40T	1	1	53	140			95	0,85	85,54	0,50	42,77
	<b>TOTAL CONSO</b>												<b>582,43</b>
	Eclairage hangar 1et 2			144	400							22,00	1 267,20
	Eclairage hangar 3et 4			77	400							14,00	431,20
	Climatiseur bâtiment			46	2							8,00	662,40
	Eclairage bâtiment			93	0							12,00	0,04
	Divers		20	22		2	240					12,00	101,38
	<b>TOTAL CONSOMMATION GENERALE DE L'USINE</b>												<b>153 476,99</b>

Nous faisons une évaluation de la consommation énergétique enregistrée dans le tableau 6 pour montrer le niveau de consommation des moteurs à faible rendement qui est à 10 % de la consommation totale ; par contre la consommation des fours surpasse tout le reste avec 88.8%. Nous calculons dans ce tableau la consommation énergétique des différents équipements mis en service dans les unités de l'usine où nous avons travaillé. Pour évaluer l'énergie consommée par chaque équipement, nous utilisons les caractéristiques des éléments électriques inscrit sur différentes plaques signalétiques c'est-à-dire la puissance nominale, l'intensité, la tension de service, le facteur de puissance en gros la formule (2) ci-dessus ; nous continuons ce calcul en appliquant à cette puissance absorbée le temps de fonctionnement de chaque équipement mis en service et bien évidemment selon le nombre d'équipement.

Après avoir fait le recensement des différents équipements par zone, nous faisons un bilan énergétique.

Tableau 7: Répartition énergétique par zone et équipement

ZONE	CONSOMMATION PAR ZONE EN (kWh)	CONSOMMATION D'ENERGIE PAR ZONE EN %	EQUIPEMENT	CONSOMMATION D'ENERGIE (kWh)	CONSOMMATION TOTALE D'ENERGIE DE L USINE EN %
WATER COMPLEX	10674,5	7,0	FOUR 6T	34250	22,3
COULEE CONTINUE	1649,9	1,1	FOUR 15T	99 975,00	65,1
FUSION	136307,4	88,8	VENTILATEUR ET MOTEUR	5392,4	3,5
PARC A FER	1800,5	1,2	ECLAIRAGE	1753,9	1,1
PONT ROULANT	582,4	0,4	DIVERS	12105,7	7,9
DIVERS	2462,2	1,6			
<b>TOTAL</b>	<b>153476,99</b>	<b>100</b>		<b>153476,99</b>	<b>100,0</b>

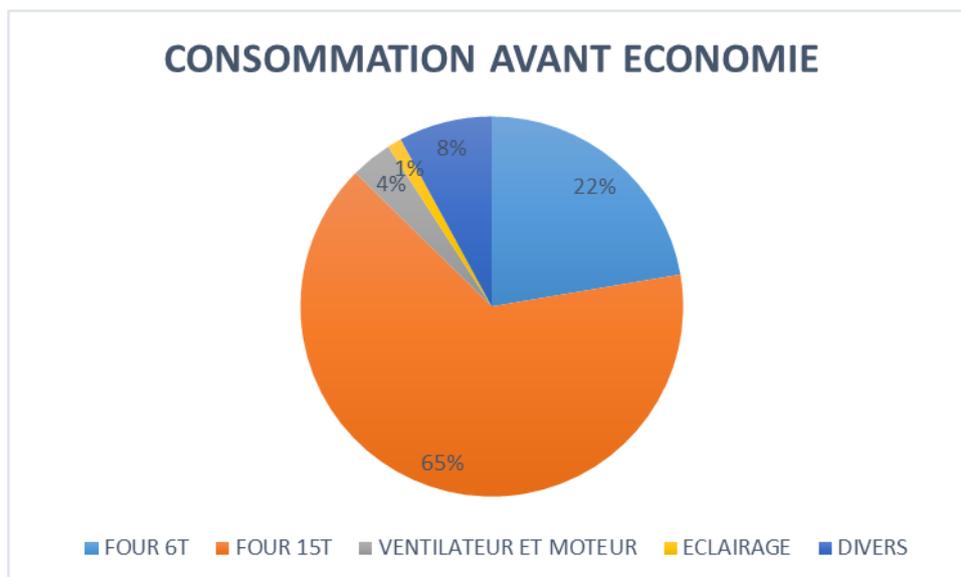


Figure 16: Rapprochement de consommation avant mise en œuvre des solutions

On remarque que la consommation électrique des deux(02) fours est de 89% de la consommation totale de l'unité de production. Ainsi, la consommation électrique nominale du four du mois de Janvier 2015 était de 660 kWh/T mais actuellement on a 740 kWh /T en moyenne, soit 82 kWh perdues par tonnes de métal. Pour résoudre ce problème, nous avons analysés le diagramme d'ISHIKAWA et fait d'autres recherches.

 Expertise appliquée

Afin de palier au trop de consommation des appareils, nous avons après analyse fait des propositions détaillées plus bas dans le rapport que nous résumons comme tel :

Equipements	Propositions	Actions
Four	Réduction du temps de fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bétonnage le lieu de stockage de la ferraille</li> <li>○ Contrôle la qualité de la ferraille à enfourner</li> <li>○ Trie automatique de la ferraille (utiliser la SCRAP CLEANING MACHIN)</li> <li>○ Amélioration du mode de chargement</li> </ul>
Moteur	Amélioration des performances électriques	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Remplacement des moteurs de faible rendement</li> </ul>
Eclairage	Réduction de l'énergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Automatiser les points lumineux</li> <li>○ Remplacement des tôles sombres par des tôles translucides</li> </ul>

Nous avons évalués les coûts financiers et les répercussions sur l'environnement que ce taux de consommation d'énergie peut engendrer pour l'usine se trouvant dans le tableau 8.

Tableau 8: Résumé des estimations de consommation annuelles par poste avant économie d'énergie

DETAILS DES CHARGES	CONSOMMATIONS ANNUELLES (MWh/an)	COÛT CONSOMMATION (FCFA/an)
Eclairage	655	47 193 624
Divers	4 418	318 137 832
Four 6 T	12 501	900 090 000
Four 15T	36 490	2 627 343 000
Ventilateur et moteur	1 968	141 712 272
<b>TOTAL</b>	<b>56 034</b>	<b>4 034 476 728</b>

La consommation électrique annuelle de l'usine est de 56 034 399 kWh/an équivalent à 4 034 476 728 FCFA de dépense par an pour l'entreprise.

## 4.1. EVALUATIONS DES DIFFERENTS SCENARIOS DE SOLUTIONS

### 4.1.1 Scénarios de solution #1# : Optimisation des procédés existants

Il s'agit de la redynamisation du processus de production de l'usine. Nous avons entre autre :

- Le stockage de la ferraille

Après la réception de la ferraille dans le parc à ferraille, elle est entreposée sur un terrain sableux qui entrainera l'accumulation des saletés et il faudra faire plus de deux apurements. En faisant des apurements (03 minutes/apurement), on use de 1 heure 10 minutes par jour sur le temps de fonctionnement du four en augmentant la consommation énergétique de celui-ci.

Prenons des exemples pour étayer notre idée avec différents équipements :

- Le four 15 Tonnes de 6 MW

Avant la mise en place des différentes résolutions à prendre, le temps de fonctionnement est à **16,5 h/jour** pour une énergie consommée  $E = 99$  MWh / jour. Après mise en œuvre des solutions c'est-à-dire moins de temps de d'apurement et de prélèvement des échantillons le four 15 Tonnes est à **14,5 h** du temps de fonctionnement et une énergie  $E' = 87$  MWh / jour. Nous appliquons la formule (4) pour avoir l'économie réalisée.

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

Economie réalisée  $\Delta E = 12$  MWh / jour soit un écart de 10 % sur la consommation générale.

- La pompe de refroidissement des échangeurs du four 15 T de 22 kW

Avant analyser des solutions menant à une économie d'énergie, le temps de fonctionnement était à **23 h/jour** pour une énergie consommée de  $E = 544$  kWh/jour. Lorsqu'on regarde le mode de fonctionnement de ces pompes qui ne se reposent pas après un arrêt de four c'est-à-dire la fin de chaque coulée du métal, nous recommandons un temps de fonctionnement de **21 h/jour** et une énergie consommée  $E' = 498$  kWh/jour. Nous appliquons la formule (5) pour avoir l'économie réalisée.

$$\Delta E = E - E' \quad (5)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 46 \text{ kWh / jour}$  soit un écart de 8 % sur la consommation générale.

- La pompe de refroidissement du four 6Tonnes de 18,5 kW

Avant analyser des solutions menant à une économie d'énergie, le temps de fonctionnement était à **23 h/jour** pour une énergie consommée de  $E = 470 \text{ kWh/jour}$ . Lorsqu'on regarde le mode de fonctionnement de ces moteurs qui ne se reposent pas après un arrêt de four c'est-à-dire la fin de chaque coulée du métal, nous recommandons un temps de fonctionnement de **21 h/jour** et une énergie consommée  $E' = 417 \text{ kWh/jour}$ . Nous appliquons la formule (6) pour avoir l'économie réalisée.

$$\Delta E = E - E' \quad (6)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 53 \text{ kWh / jour}$  soit un écart de 11 % sur la consommation générale.

- La pompe de refroidissement du four 15Tonnes de 30 kW

Avant analyser des solutions menant à une économie d'énergie, le temps de fonctionnement était à **23 h/jour** pour une énergie consommée de  $E = 753 \text{ kWh/jour}$ . Lorsqu'on regarde le mode de fonctionnement de ces moteurs qui ne se reposent pas après un arrêt de four c'est-à-dire la fin de chaque coulée du métal, nous recommandons un temps de fonctionnement de **21 h/jour** et une énergie consommée  $E' = 673 \text{ kWh/jour}$ . Nous appliquons la formule (7) pour avoir l'économie réalisée.

$$\Delta E = E - E' \quad (7)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 80 \text{ kWh / jour}$  soit un écart de 11 % sur la consommation générale.

- La pompe de refroidissement échangeur Sintéring et Melting 6Tonnes de 7,5 kW

Avant analyser des solutions menant à une économie d'énergie, le temps de fonctionnement était à **23 h/jour** pour une énergie consommée de  $E = 208 \text{ kWh/jour}$ . Lorsqu'on regarde le mode de fonctionnement de ces moteurs qui ne se reposent pas après un arrêt de four c'est-à-dire la fin de chaque coulée du métal, nous recommandons un temps de fonctionnement de **21 h/jour** et une énergie consommée  $E' = 177 \text{ kWh/jour}$ . Nous appliquons la formule (8) pour avoir l'économie réalisée.

$$\Delta E = E - E' \quad (8)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 31 \text{ kWh} / \text{jour}$  soit un écart de 15 % sur la consommation générale.

- La pompe hydraulique shearing machine de 37 kW

Avant analyser des solutions menant à une économie d'énergie, le temps de fonctionnement était à **09 h/jour** pour une énergie consommée de  $E = 737 \text{ kWh/jour}$ . Lorsqu'on regarde le mode de fonctionnement de ces moteurs qui ne se reposent pas après un arrêt de four c'est-à-dire la fin de chaque coulée du métal, nous recommandons un temps de fonctionnement de **08 h/jour** et une énergie consommée  $E' = 630 \text{ kWh/jour}$ . Nous appliquons la formule (9) pour avoir l'économie réalisée.

$$\Delta E = E - E' \quad (9)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 107 \text{ kWh} / \text{jour}$  soit un écart de 14 % sur la consommation générale.

- La pompe hydraulique principale de 18,5kW

Avant analyser des solutions menant à une économie d'énergie, le temps de fonctionnement était à **10,5 h/jour** pour une énergie consommée de  $E = 213 \text{ kWh/jour}$ . Lorsqu'on regarde le mode de fonctionnement de ces moteurs qui ne se reposent pas après un arrêt de four c'est-à-dire la fin de chaque coulée du métal, nous recommandons un temps de fonctionnement de **9,5 h/jour** et une énergie consommée  $E' = 183 \text{ kWh/jour}$ . Nous appliquons la formule (10) pour avoir l'économie réalisée.

$$\Delta E = E - E' \quad (10)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 30 \text{ kWh} / \text{jour}$  soit un écart de 14 % sur la consommation générale.

- La pompe de refroidissement du générateur 6Tonnes de 7,5kW

Avant analyser des solutions menant à une économie d'énergie, le temps de fonctionnement était à **23 h/jour** pour une énergie consommée de  $E = 208 \text{ kWh/jour}$ . Lorsqu'on regarde le mode de fonctionnement de ces moteurs qui ne se reposent pas après un arrêt de four c'est-à-dire la fin de chaque coulée du métal, nous recommandons un temps de fonctionnement de **21 h/jour** et une énergie consommée  $E' = 177 \text{ kWh/jour}$ . Nous appliquons la formule (11) pour avoir l'économie réalisée.

$$\Delta E = E - E' \quad (11)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 31 \text{ kWh} / \text{jour}$  soit un écart de 15 % sur la consommation générale.

- La chargeuse HORIZON de 75kW

Avant analyser des solutions menant à une économie d'énergie, le temps de fonctionnement était à **09 h/jour** pour une énergie consommée de  $E = 558$  kWh/jour. Lorsqu'on regarde le mode de fonctionnement de ces moteurs qui ne se reposent pas après un arrêt de four c'est-à-dire la fin de chaque coulée du métal, nous recommandons un temps de fonctionnement de **08 h/jour** et une énergie consommée  $E' = 496$  kWh/jour. Nous appliquons la formule (12) pour avoir l'économie réalisée.

$$\Delta E = E - E' \quad (12)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 62$  kWh / jour soit un écart de 11 % sur la consommation générale.

Nous avons plus de détail de calcul dans le tableau 13.

En outre il ressort que :

- La composition de la charge du four nécessite une connaissance des matériaux pris comme charge ; dont il faut stocker séparément les différents types de ferrailles. Ceci peut se faire au moyen des compartiments pour le stockage de la ferraille.
- L'utilisation des matières minérales oxydées tels que la rouille, les salissures et la crasse entraînent une augmentation de l'usure de réfractaire d'où l'intérêt de cimenter l'espace d'entreposage pour empêcher ces dégâts.
- La construction d'une voûte au-dessus de la zone de stockage contribuera à minimiser l'infiltration de l'eau de pluie et renfermer les émissions de poussière.
- Un système de collecte et de traitement des eaux peut être utilisé pour empêcher la pollution des eaux et des sols.

Lorsque le stockage est à ciel ouvert, l'eau de pluie va s'accumuler dans la ferraille et il faudra d'abord la chauffer avant de faire fondre afin d'éviter les explosions et réduire le temps de fusion de la ferraille, il faut couvrir le hangar de tôle claire qui permettra d'économiser en points lumineux.

Afin de pouvoir optimiser le stockage et savoir ce dont on a besoin pour fabriquer des billettes avec les compositions chimiques souhaitées, nous pouvons utiliser certains paramètres d'EXCEL.

Exemple : Pour déterminer la quantité de ferraille à mélanger pour obtenir la commande souhaitée par le client à un meilleur coût selon le stock et les coûts d'achat pour la fabrication des billettes dans le four 6Tonnes. On peut tout simplement construire dans MSEXCEL le tableau 9 contenant les types de ferrailles et leurs différentes compositions chimiques.

Tableau 9: optimisation du stock de ferraille

Matière première	Quantité (Kg)	C (%)	Cu(%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Stock (kg)	Cout (fcfa/Kg)	
feuille de tôle	0	0,063	0,028	0,341	0,15	0,01	2500	75	
fer découpé	0	0,17	0,0059	0,73	0,025	0,019	3000	60	
fer	0	0,289	0,263	1,35	0,012	0,022	4000	75	
fer d'amarrage de bateau	0	0,234	0,089	0,68	0,044	0,034	3000	60	
bouteille de gaz	0	0,124	0,029	0,48	0,018	0,019	3500	70	
teneur min		0,15	0	0	0	0			
teneur max		0,25	0,6	0,05	0,05	0,3			
teneur désirée		0	0	0	0	0	total (FCFA)	0	
poids désiré (kg)		6000							
Poids net (kg)		0							

Il est question d'optimiser le coût d'achat de la ferraille en fonction de la quantité stockée. Il sera question de déterminer la quantité de ferraille à enfourner suivant la teneur chimique désirée. Lorsque nous avons une idée sur le stock de ferraille qu'il y'a dans le parc à fer, nous pouvons modéliser la production en appliquant des formules mathématiques d'optimisation et faire appel aux paramètres de solveur d'Excel (tableau 10).

Tableau 10: paramètres d'entrée solveur

On obtient le résultat dans le tableau 11 :

Tableau 11: Résultat du mélange

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1											
2		Matière première	Quantité (Kg)	C	Mn	S	P	Cu	Stock (kg)	Cout (fcfa/Kg)	
3		Rail	0	0,427	0,94	0,022	0,026	0,047	5000	75	
4		ferraille de bateau	166,973435	0,081	0,4	0,0057	0,009	0,024	5000	75	
5		fer lourd	0	0,176	0,124	0,019	0,021	0,164	6000	90	
6		tole	0	0,17	0,82	0,0037	0,015	0,033	3500	75	
7		fer découpé	0	0,17	0,73	0,019	0,025	0,0059	6000	90	
8		grosse pièce	5806,7315	0,255	0,6	0,0074	0,0081	0,092	7500	60	
9		chaîne de bateau	26,2950657	0,219	1,87	0,011	0,018	0,0059	4000	60	
10		teneur min		0,15	0	0	0	0			
11		teneur max		0,25	0,6	0,05	0,05	0,3			
12		teneur final		0,25	0,6	0,007	0,0082	0,090	total (fcfa)	362504,6	
13		poids désirée (kg)		6000							
14		poids nets (kg)		6000							
15											

Le résultat du mélange est bon s'il n'y a pas de saleté dans la ferraille.

➤ Contrôle de la ferraille

Après pesée et identification préalable des métaux à réceptionner, la matière est déchargée sur une zone spécifique où un contrôle qualité est réalisé afin de vérifier la conformité du lot, notamment l'absence de mélange de métaux, l'absence de ferrailles rouillées ou autres déchets. Mais le tri se fait de façon manuel par des sous-traitances d'ACI ; il y'a des pièces qui à la

section de tri ne sont pas retirées du lot ferraille à envoyer sous le hangar pour la fusion. Parfois quand les trieurs sont fatigués ou mécontents du salaire qu'ils perçoivent, ils ne font pas bien leur travail. Il importe donc au superviseur de la ferraille d'accentuer le contrôle du tri, d'insister sur quelle ferraille l'usine utilise pour travailler. Ainsi, lorsque la ferraille est bien triée il y'aura moins d'explosion des fours, moins de temps d'apurement, moins d'ajout d'additif.

Le contrôle est la partie la plus importante de l'usine car si il est mal fait, il y'aura des conséquences sur la consommation d'énergie et sur la sécurité des personnes et des biens. S'il est fait de façon automatique, nous constaterons qu'il y'aura une sélection des pièces mécaniques de la ferraille légère puis la taille désirée sera également sélectionnée et enfin les matières organiques seront éliminées. D'autre part, l'amélioration des contrôles effectués à la source peut empêcher l'introduction des pièces que l'on ne désire pas. Afin d'optimiser le contrôle, il serait souhaitable de fait une bonne quantification de la ferraille pour que le travail soit minutieux et perceptible.

➤ Le tri automatique

C'est l'élément fondamental du processus de fusion donc il faut que ça soit satisfaisant à 99% avec 1% d'incertitude. Le tri manuel n'est pas fiable car jusqu'à présent on retrouve sur la plateforme de fusion du sable, les plastiques, les pièces mécaniques fermées alors il faut solutionner ce manque humain en utilisant une machine pouvant les réduire. On peut sous un hangar installer le SCRAP CLEANING MACHINE LABESCRAP dont le rôle est de diminuer en amont du rebut des métaux non ferreux (sable, plastique, pierres, ...) avant l'enfournement de ceux-ci dans le four. Cette machine a pour avantage de :

- Réduire de 30-35 kWh/tonnes
  - Donner une bonne qualité de l'acier en réduisant la présence des métaux comme (Cu, Zn).
- Le chargement de la ferraille

Lorsqu'on enfourne une certaine quantité de ferraille on constate ce phénomène de l'évolution du courant à la figure 16.

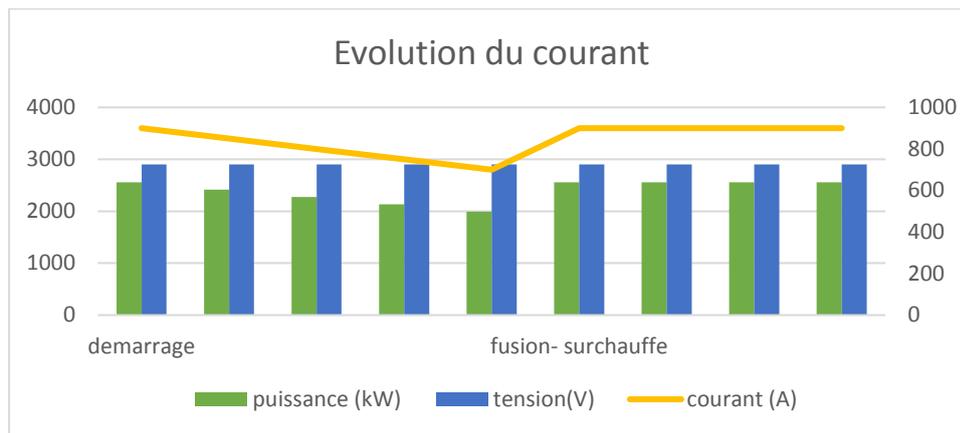


Figure 17: évolution du courant en fonction de la ferraille

La fusion se caractérise par trois phases : le démarrage, la fusion proprement dite et la phase de surchauffe ; mais il faut optimiser le chargement du four suivant les techniques suivantes :

- Le démarrage est l'étape qui consiste à fondre la 1<sup>ère</sup> charge de ferraille. La présence du bain liquide dans le four est un aspect favorable quant à l'amorçage de la fusion. Il faut d'abord introduire la ferraille légère pendant 10 à 15 minutes afin d'atteindre les 50% de puissance du four ensuite on pourra démarrer en pleine puissance. Ainsi, pour faciliter les conditions d'amorçage nous pouvons jouer sur 2 paramètres :
  - Introduction de ferraille facile à fondre
  - Utilisation d'un bain liquide au fond du four pour l'amorçage de la prochaine fusion.

Ainsi, il est souhaité d'imposer certaines conditions sur la ferraille de démarrage dont :

- La ferraille de petite dimension afin d'augmenter la surface de pénétration pour développer facilement les courants induits.
  - Il doit avoir moins de vide dans la ferraille pour faciliter la transmission du courant induit dans la ferraille.
  - L'optimisation de l'état de charge d'alimentation : ce qui veut dire qu'on doit éviter d'enfourner la ferraille rouillée et sale, qu'on doit avoir également une densité optimale de celle-ci ; ainsi ces mesures permettront de réduire le temps de fusion et par conséquent l'énergie spécifique nécessaire à la fusion.
- La fusion proprement dite se déroule juste après la phase de démarrage. Il est souhaité de faire un mixage des différentes qualités de ferrailles. C'est-à-dire la ferraille de démarrage dont les balles compactées ensuite la ferraille légère.

Après avoir optimiser l'état de charge et un bon contrôle de la ferraille, nous obtenons les résultats du tableau 12.

Tableau 12: Ferraille pour fusion

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		Matière première	Quantité (Kg)	C	Mn	S	P	Cu	Stock (kg)	Coût (fcfa/Kg)	
3		ferraille bateau	0	0,081	0,4	0,0057	0,0099	0,024	4000	75	
4		fer lourd	4000,0	0,176	0,124	0,019	0,021	0,162	4500	70	
5		tole	0,0	0,17	0,82	0,0037	0,015	0,033	4500	75	
6		attache de rail	4000,00	0,112	0,68	0,0099	0,012	0,044	4000	60	
7		fer découpé	0,0	0,17	0,73	0,019	0,025	0,0059	4500	75	
8		ferraille machine	0,0	0,184	0,62	0,012	0,018	0,012	4000	75	
9		pignon	3500,0	0,304	0,81	0,014	0,021	0,105	3500	60	
10		lame de ressort	3500,00	0,252	0,467	0,026	0,041	0,019	3500	70	
11		teneur min		0,15	0	0	0	0			
12		teneur max		0,25	0,6	0,05	0,05	0,3			
13		teneur désirée		0,21	0,5	0,017	0,02	0,08	Total (fcfa)	<b>975000</b>	
14		poids désir				15000					
15		poids net				15000					
16											

#### 4.1.2. Scénarios de solution #2# : Optimisation des équipements

Il est question de revoir les éléments de calculs des équipements électriques.

- Dimensionnement au plus juste

Les grandeurs qui caractérisent l'efficacité énergétique de l'induction sont : La puissance transmise dans la pièce et la profondeur de pénétration des courants induits [13]. D'où il faut :

- Augmenter la puissance transmise à la pièce en augmentant le champ magnétique des courants induits :

L'amplification du champ magnétique dans les matériaux dont les propriétés magnétiques (perméabilité, l'hystérésis, etc....) dépendent des domaines magnétiques et surtout de la variabilité plus ou moins de cette structure sous l'effet d'un champ extérieur. C'est sous l'effet d'un champ magnétique que les domaines de WEISS (les atomes vont former des micros aimants). Ces domaines s'alignent l'un à la suite de l'autre en fonction de leur forme pour faciliter à s'orienter. Plus le champ externe augmente, et plus le nombre de domaines de WEISS est important et plus le champ magnétique généré par le matériau est important. La saturation magnétique arrive quand les domaines sont alignés.

Plus on remplira le four de matériau ferromagnétiques en alternant les ferrailles légères, les balles compactées et quelques ferrailles lourdes plus les domaines de WEISS seront orientés

dans la même direction (saturation magnétique) et le flux magnétique produit sera au maximum de ses possibilités. Sinon les lignes magnétiques préfèrent passer dans l'air plutôt que dans les métaux. Si le chargement est respecté et les domaines de WEISS bien remplis, ça nous permettra de gagner en temps car lorsque le champ magnétique sera maximal la puissance dissipée s'élèvera et chauffera plus vite les pièces. Par conséquent nous économiserons en énergie.

- Augmenter la performance des pompes

Nous allons expliquer cette proposition en prenant des exemples sur les équipements mis en place.

- ✓ Pompe secondaire de coulée continue de 30 kW

Avant la mise en œuvre des solutions d'économie d'énergie, la pompe secondaire de 30 kW de  $\eta = 91,3 \%$  a une consommation d'énergie  $E = 722$  kWh /jour. Après remplacement théorique du moteur par un autre moteur de même puissance mais de rendement  $\eta' = 93,5 \%$  pour une énergie  $E' = 705$  kWh / jour.

$$\Delta E = E - E' \quad (13)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 17$  kWh /jour soit un écart de 2 % sur la consommation générale.

- ✓ Tour de refroidissement fusion de 7,5 kW

Avant la mise en œuvre des solutions d'économie d'énergie, le moteur du refroidissement de 7,5 kW de  $\eta = 53 \%$  a une consommation d'énergie  $E = 1301$  kWh /jour. Après remplacement théorique du moteur par un autre moteur de même puissance mais de rendement  $\eta' = 89,9 \%$  pour une énergie  $E' = 767$  kWh / jour.

$$\Delta E = E - E' \quad (14)$$

Economie réalisée  $\Delta E = 534$  kWh /jour soit un écart de 41 % sur la consommation totale.

- ✓ Pompe de refroidissement four 6 Tonnes de 18,5 kW

Avant la mise en œuvre des solutions d'économie d'énergie, la pompe de refroidissement de 18,5 kW de  $\eta = 90 \%$  a une consommation d'énergie  $E = 472$  kWh /jour. Après remplacement théorique du moteur par un autre moteur de même puissance mais de rendement  $\eta' = 93,1 \%$  pour une énergie  $E' = 417$  kWh / jour.

$$\Delta E = E - E' \quad (15)$$

Economie réalisée  $\Delta = 55$  kWh /jour soit un écart de 12 %.

- ✓ Pompe de refroidissement échangeur 6 Tonnes de 7,5 kW

Avant la mise en œuvre des solutions d'économie d'énergie, la pompe de refroidissement de 7,5 kW de  $\eta = 53$  % a une consommation d'énergie  $E = 208$  kWh /jour. Après remplacement théorique du moteur par un autre moteur de même puissance mais de rendement  $\eta' = 93,1$  % pour une énergie  $E' = 177$  kWh / jour.

$$\Delta E = E - E' \quad (16)$$

Economie réalisée  $\Delta = 31$  kWh /jour soit un écart de 15 %.

- ✓ Groupe hydraulique four 6 Tonnes de 7,5 kW

Avant la mise en œuvre des solutions d'économie d'énergie, la pompe de refroidissement de 7,5 kW de  $\eta = 67$  % a une consommation d'énergie  $E = 5,6$  kWh /jour. Après remplacement théorique du moteur par un autre moteur de même puissance mais de rendement  $\eta' = 90,1$  % pour une énergie  $E' = 4,16$  kWh / jour.

$$\Delta E = E - E' \quad (17)$$

Economie réalisée  $\Delta = 1.44$  kWh /jour soit un écart de 26 %.

- ✓ Moteur 1 presse 30 kW

Avant la mise en œuvre des solutions d'économie d'énergie, le moteur de 30 kW de  $\eta = 91,7$  % a une consommation d'énergie  $E = 588.9$  kWh /jour. Après remplacement théorique du moteur par un autre moteur de même puissance mais de rendement  $\eta' = 93,3$  % pour une énergie  $E' = 578,8$  kWh / jour.

$$\Delta E = E - E' \quad (18)$$

Economie réalisée  $\Delta = 10$  kWh /jour soit un écart de 2 %.

Nous avons montré que lorsque le rendement du moteur est faible, il consomme 10 % de plus que si le rendement est élevé. Le détail de calcul se trouve dans le tableau 13 ci-dessous et le

devis des moteurs se trouvent en annexe 3 et 4. Les moteurs fonctionnent loin de leur capacité nominale donc loin de leur rendement optimal et de leur consommation d'électricité est excessive par rapport aux besoins réels [26]. Les solutions liées à cette surconsommation des moteurs sont [26]:

- Adapter la vitesse au besoin
- Optimiser le rendement
- Réaliser les opérations de maintenance
- Le fonctionnement optimal du four

Les fours sont plus efficaces du point de vue de leur utilisation en énergie lorsqu'ils fonctionnent à des niveaux de puissance absorbée maximum. Les meilleurs rendements sont obtenus lorsque la puissance disponible peut être totalement utilisée pour la plus grande partie du cycle de fusion.

- Optimisation des parois réfractaires

Il faut minimiser et contrôler l'épaisseur de réfractaire du four annexe 1. En outre, on doit utiliser la ferraille compacte et sèche et éviter les chutes de ferraille d'une grande hauteur.

Lorsque l'entreprise adoptera ces mesures d'optimisation de l'unité de production billette, on aura les résultats ci-dessous mais un calcul plus détaillé de l'efficacité énergétique de ces différents équipements se trouvent en annexe ainsi qu'un plan d'action à accomplir en guise de mesures d'économie d'énergie.

#### Réévaluation de la nouvelle consommation

Après application de l'expertise ci-dessus, nous avons réévalué les consommations énergétiques journalières en réexaminant organe par organe en suivant tout d'abord les rendements des différents moteurs installés ; ainsi, nous avons utilisé le catalogue des moteurs ABB à hauts rendements pour la même classe de moteur qu'il y avait au paravent (Annexe 4 et 5) parce qu'ils sont bien adaptés les travaux de l'usine ; ensuite nous avons réétudié les temps de fonctionnement poste par poste des autres équipements et nous avons appliqué les mêmes formules mentionnées précédemment et on obtient le tableau 10 ci-dessous. Il y a en annexe le devis des nouveaux moteurs afin d'avoir une idée sur les coûts financiers

Tableau 13: Calcul de la consommation d'énergie après optimisation

Zone	NOM DE L'EQUIPEMENT	SOUS ENS DE L'EQUIPEMENT	QTE TOTALE	Qté EN SERVICE	Pn (kW)	In (A)	Un (V)/ (Hz)	Nn (rpm)	$\eta$ (%)	$n_v l l e \eta$ (%)	$\cos \varphi$	Pa 1 (kW)	NvLLE Pa	tf (h/jour)	E 2 (kWh)	
WATER COMPLEX	Pompe secondaire coulée	pompe 2 et 4 identique	4	2	30	51	415/50	2950	91,3	93,5	0,89	32,9	32,09	11	705,88	
		pompe 3 et 1 identique			30	51	415/50	2950	91						11	
	Pompe primaire coulée (refroidisseur moule)	pompe identique	4	2	45	75	415/50	2965	91	93,9	0,89	49,5		47,92	11	1054,31
	pompe refroidissement échangeur Four	pompe échangeur four 15 T	2	1	22	37	415/50	2935	91	92,7	0,89	24,2		23,73	21	498,38
		pompe échangeur four 6 T	2	1	18,5	31,8	415/50	2935	90	93,1	0,89	20,6		19,87	21	417,29
	tour de refroidissement	moteur refroidissement fusion	7	4	7,5	15	415/50	960	53	89,9	0,85	14,2		8,34	23	767,52
		moteur refroidissement concast			3	7,5	15	415/50	960	53	89,9	0,85		14,2	8,34	11
	Pompe refroidissement four	pompe refroidisseur four 6T	2	1	18,5	32	415/50	2930	90	93,1	0,89	20,6		19,87	21	417,29
		pompe refroidisseur four 15T	2	1	30	51,2	415/50	2955	92,5	93,5	0,89	32,4		32,09	21	673,80
	Pompe refroidissement échangeur Melting DM four 15 T		2	1	18,5	31,8	415/50	2935	90	93,1	0,89	20,6		19,87	21	417,29

	pompe refroidissement échangeur DM Sintering et Melting four 6T		2	1	7,5	15	415/50	2900	53	88,7	0,84	14,2	8,46	21	177,56
	Pompe refroidissement échangeur Sintering DM four 15 T		2	1	5,5	10	415/50	2905	85,7	88,5	0,84	6,4	6,21	1,5	9,32
	Pompe château	pompe château concast	1	1	11	23,6	415/50	2930	73	91,5	0,8	15,1	12,02	0,92	11,06
		pompe château fusion	1	1	15	27	415/50	1460	90	92,5	0,85	16,7	16,22	0,5	8,11
	pompe pollution control1		1	1	200	337,6	400/50	2975	95	95,7	0,9	210,5	208,99	22	4597,70
	Eclairage			10	0,036		220/50							22	7,92
TOTAL															9332,87
COULEE CONTINUE	Groupe hydraulique Shearing machine	pompe hydraulique	2	2	37	64	415/50	1470	92,5	93,9	0,89	40,0	39,40	8	630,46
	Groupe hydraulique principal ou hydraulic power pack	pompe hydraulique principal	2	1	18,5	33,2	415/50	1460	95,9	95,9	0,85	19,3	19,29	9,5	183,26
	Groupe hydraulique préparation poche ou test power pack	pompe hydraulique	1	1	3,7	7,2	415/50	1450	95,9	95,9	0,84	3,9	3,86	0,55	2,12
	Extracteur de fumée ou steam exhaust		1	1	11	21	415/50	1450	88,5	91,6	0,8	12,4	12,01	11	132,10
	pompe hydraulique pour ouverture poche ou slide gate power pack		1	1	7,5	14,2	415/50	1450	87,8	90,1	0,84	8,5	8,32	9	74,92
	moteur Mould oscillation	motoréducteur	2	2	7,5	15	415/50	1450	87	90,1	0,8	8,6	8,32	9	149,83
	moteur Tundish car long travel	motoréducteur	2	2	3,7	7,6	415/50	1440	84	87,7	0,8	4,4	4,22	0,03	0,25
	moteur redresseur de billette ou straightener	motoréducteur	4	4	3,7	8	415/50	940	84	85,3	0,8	4,4	4,34	10	173,51
	moteur Discharge roller table	motoréducteur	5	5	3,7	7,6	415/50	1440	84	87,7	0,8	4,4	4,22	0,6	12,66

	moteur PCRT	motoréducteur	2	2	2,2	5,6	415/50	910	75	83,8	0,73	2,9	2,63	0,09	0,47
	Moteur ladle pre heater blower	ventilateur	2	1	11	21	415/50	2900	86	91,5	0,87	12,8	12,02	2	24,04
	ventilateur chalumiste		2	2	7,5	13,56	380/50				0,84	8,2	8,19	0,5	8,19
	ventilateur mould operator		1	1	2,2	3,98	380/50				0,84	2,4	2,20	2	4,40
	Eclairage		23	23	0,036			220						10	8,28
	climatiseur		5	5	2			220						8,0	80,00
	TOTAL														1484,49
FUSION	Groupe hydraulique four 6T	moteur pour lever le four 6T	2	1	7,5	14,2	415/50	1450	67	90,1	0,84	11,2	8,32	0,5	4,16
	Pompe refroidissement générateur four 6 T	Moteur pour refroidir le générateur	2	1	7,5	15	415/50	2680	67	88,7	0,84	11,2	8,46	21	177,56
	four 6T		1	1	2500	950		530			1	682,9		13,7	34250,00
	Chargeuse ferraille four		2	2	55,2	84			92		0,89	53,7	60,00	8,25	990,00
	Groupe hydraulique 15 T	moteur de basculement du four	2	1	3,7	8	415/50	1480	90,5		0,84	1,65	4,09	1,65	6,75
	pompe refroidissement Générateur sintéring four 15T		2	1	3,7	8	415/50	2880	90,5	90,5	0,84	1,3	4,09	1,3	5,31
	pompe refroidissement générateur melting four 15T		2	1	15	28	415/50	2880	90	92,5	0,85	23	16,22	23	372,97
	four 15T (melting )		1	1	6000	/500					1	0,0		14,5	87000,0
	four 15 T (sintering)		1	1	750	1100	/500				1			1,3	975,0
	ventilateur enfourneur		2	2	2,2	3,98	380/50				0,84			2	4,4
	Tronçonneuse		2	2	7,5	15	380/50		67		0,84	9,1		0,55	10,0
	climatiseur6 et15T		12	12	2		220/50					0,0		13	312,0
		compresseur d'air	2	1	15	28	400/50	1470	90		0,85	17,1		12	205,3
		Eclairage		72	0,036									15	38,9
	TOTAL														124352,29

parc à fer	Presse	moteur 1	2	2	30	57,9	380/50	980	91,7	93,3	0,8	33,29	32,15	9	578,78
		moteur 2	1	1	45	78	415/50	1475	92,7	92,7	0,87	48,78	48,54	9	436,89
	Guillotine 1	Moteur Guillotine 1	2	2	15	5	380/50	1460	88,4	88,4	0,845	3,04	16,97	4	24,30
		Moteur Guillotine 2	1	1	18,5	35,9	380/50	1470	91,3	91,3	0,869	22,42	20,26	4	81,05
		Moteur Guillotine 3	1	1	18,5	35,9	380/50	1470	93,3	93,3	0,869	22,42	19,83	4	79,31
	Chargeuse HORIZON	moteur chargeuse	1	1	75	97	380/50	1470	95,4	95,4	0,89	62,05	78,62	8	496,43
	TOTAL														
1696,77															
PONT ROULANT	Pont 10 T Fusion	Moteur pour translation	2	2	4,5	10,4	415/50		50		0,84		6,28	0,5	6,28
		moteur pour levage	1	1	26	76	415/50		90		0,89		48,62	0,3	14,59
		moteur chariot	1	1	2,6	2,6	415/50		45		0,73		1,36	0,45	0,61
	Pont 10 T Ferraille	Moteur pour translation	2	2	4,5	10,4	415/50		50		0,84		6,28	5	62,79
		moteur pour levage	1	1	26	76	415/50		92		0,89		48,62	2,5	121,55
		moteur chariot	1	1	2,6	2,6	415/50		45		0,8		1,50	4	5,98
	Pont 10 T Billette	Moteur pour translation	2	2	4,5	10,4	415/50		45		0,85		6,35	5	63,54
		moteur pour levage	1	1	26	76	415/50		90		0,89		48,62	2,5	121,55
		moteur chariot	1	1	2,6	2,6	415/50		45		0,8		1,50	4	5,98
	Pont 40/10T Fusion	Moteur pour translation	2	2	13,5	29	415/50		90		0,84		17,51	0,6	21,01
		moteur pour chariot	1	1	4,5	10,4	415/50		50		0,84		6,28	0,5	3,14
		moteur levage 10T	1	1	38	76	415/50		90		0,8		43,70	0,5	21,85
		moteur levage 40T	1	1	53	140			96		0,89		89,56	0,5	44,78
	Pont 40/10T coulée	Moteur pour translation	2	2	13,5	29	415/50		90		0,84		17,51	0,6	21,01
		moteur pour chariot	1	1	4,5	10,4	415/50		50		0,84		6,28	0,5	3,14
moteur levage 10T		1	1	38	76	415/50		94		0,8		43,70	0,5	21,85	

	moteur levage 40T	1	1	53	140			95		0,85	85,54	0,5	42,77
TOTAL													582,43
Eclairage hangar 1et 2			144	0,4								22	1267,20
Eclairage hangar 3et 4			77	0,4								14	431,20
climatiseur bâtiment			46	1,8								8	662,40
Eclairage bâtiment			93	0,036								12	40,18
Divers		20	22		1,6	240				0,4	0,38	12	101,38
TOTAL													2502,35
TOTAL													139951,20

### Interprétation

Lorsqu'on analyse les différents temps de fonctionnement des équipements, on constate qu'il y'a des moments où les organes ciblés dans les cellules violettes du tableau 13 ne sont pas sollicités mais ils ne sont pas arrêtés instantanément dès lors, nous avons observés ces différents équipements et nous nous sommes dit qu'il sera impératif de réévaluer le temps de fonctionnement.

Tableau 14: répartition énergétique par zone et par équipement.

ZONE	CONSOMMATION /ZONE (kWh)	% de conso des différentes zones	EQUIPEMENT	CONSOMMATION D'ENERGIE (kWh)	CONSOMMATION TOTALE D'ENERGIE DE L'USINE en %
WATER COMPLEX	9332,87	6,67	FOUR 6T	34250,00	24,47
COULEE CONTINUE	1484,49	1,06	FOUR 15T	87975	62,86
FUSION	124352,29	88,85	VENTILATEUR ET MOTEUR	5226,78	3,73
PARC A FER	1696,77	1,21	ECLAIRAGE	1793,66	1,28
PONT ROULANT	582,43	0,42	DIVERS	10705,76	7,65
DIVERS	2502,35	1,79	TOTAL	139951,20	100
<b>TOTAL</b>	<b>139951,20</b>				

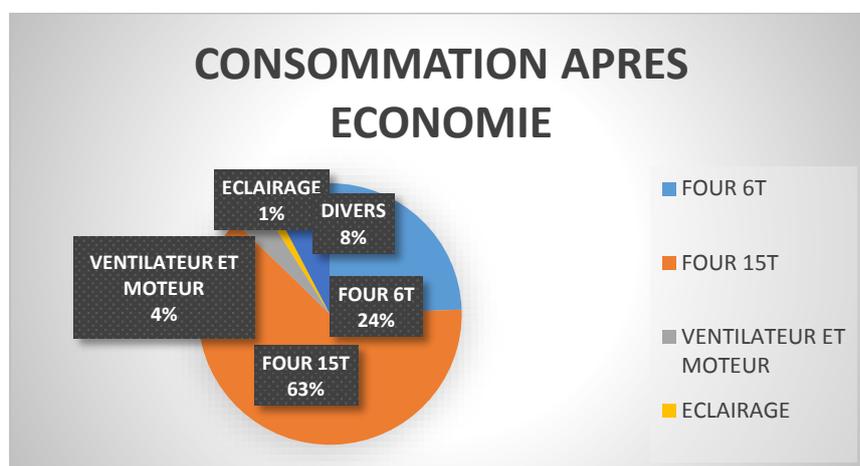


Figure 18: Consommation prévisionnel après mise des solutions efficaces

Ainsi, nous réévaluons l'effet de cette optimisation pour 72 FCFA du coût du kWh.

Tableau 15: Résumé des estimations de consommation annuelles par poste après économie d'énergie

DETAILS DES CHARGES	CONSOMMATIONS ANNUELLES (MWh/an)	COÛT CONSOMMATION (FCFA/an)
Eclairage	654	47 137 385
Divers	3 907	281 347 373
Four 6 T	12 501	900 090 000
Four 15T	32 110	2 311 983 00
Ventilateur et moteur	1 907	137 359 778
<b>TOTAL</b>	<b>51 082</b>	<b>3 677 917 536</b>

Le tableau 15 et la figure 17 résument les consommations prévisionnelles après mise en œuvre des mesures d'économie d'énergie. L'optimisation des économies d'énergie suppose de faire de bons choix. Le tableau 16 ci-dessous associe les principales solutions d'amélioration envisageables. La colonne résultat décrit les effets qui induiront des solutions correspondantes. Un plan d'action se trouve en annexe du document pour plus de détail.

Tableau 16: proposition d'améliorations

Actions d'améliorations	Résultats
<b>FOUR</b>	
Meilleure tri, stockage de la ferraille	Réduction du temps de fonctionnement du four.
Vigilance et rigueur lors de la fusion	
Bonne alternance des ferrailles lourdes et légères	
Meilleur contrôle des paramètres électriques des fours	Augmente la performance des fours et optimise la consommation des consommables
<b>MOTEUR</b>	
Remplacer les moteurs à faible rendement	Réduction de la consommation électrique Amélioration des performances des moteurs.
<b>ECLAIRAGE</b>	
Eteindre les lampes lorsqu'on n'a pas besoin Automatisations des appareils lumineux Remplacer les tôles sombres par les tôles translucides. Remplacer les lampes Néons par des LED	Réduction de la puissance installée Moins de gaspillage.

Nous comptabilisons les détails des gains à enregistrer en nous focalisant que sur les équipements énergivores.

Etudions les coûts financiers (tableau 18) et les gains financiers qu'engendrent les propositions de solutions à exécuter afin d'optimiser la consommation électrique. Le prix du kWh pour Aciéries de Côte d'Ivoire étant de 72 FCFA.

Tableau 17: Détails Gain réalisés avec l'économie présumée

Equipements	Gains énergétiques (kWh/an)	Gain financier (FCFA/an)	CO <sub>2</sub> évité (kg CO <sub>2</sub> eq/an)
Four 15 T	4 380 000	315 360 000	1 708 200
Moteur	562 611	40 507 992	219 418

Tableau 18: Coût d'investissement des solutions

Solutions proposées	Coût d'investissement (FCFA)	Temps de retour sur investissement
Extension hangar	76 122 000	2 Ans
Tôle translucide	8 417 821	
Moteurs à haut rendement	38 229 017	
Scrap cleaning machine	70 560 000	
Lampe LED	2 895 000	
<b>TOTAL INVESTISSEMENT (FCFA)</b>	<b>196 223 838</b>	

### Bilan des améliorations

Tableau 19: Bilan avant économie d'énergie

ZONE	CONSOMMATION PAR ZONE EN (kWh)	CONSOMMATION D'ENERGIE PAR ZONE EN %
WATER COMPLEX	10674,5	7,0
COULEE CONTINUE	1649,9	1,1
FUSION	136307,4	88,8
PARC A FER	1800,5	1,2
PONT ROULANT	582,4	0,4
DIVERS	2462,2	1,6
TOTAL	153476,99	

Tableau 19: Bilan après économie d'énergie

ZONE	CONSOMMATION /ZONE (kWh/jr)	% de conso des différentes zones
WATER COMPLEX	9332,87	6,67
COULEE CONTINUE	1484,49	1,06
FUSION	124352,29	88,85
PARC A FER	1696,77	1,21
PONT ROULANT	582,43	0,42
DIVERS	2502,35	1,79
TOTAL	139951,20	

Il est question de faire un récapitulatif des différentes améliorations apportées à l'unité de production de billette. En appliquant l'expertise proposée ci-dessus, nous nous rendons compte que la consommation énergétique change par conséquent de 8% par rapport à la consommation que nous avons trouvée à notre arrivée dans la structure.

### **Conclusion partielle :**

En appliquant les différentes mesures d'optimisation d'énergie proposée plus haut, on contemple ces différents points :

- ✓ Consommation d'énergie passe de 740 au mois de Mai à 715 kWh/ T au mois de Juin soit une réduction électrique de 3%.
- ✓ L'extension du hangar est en cours de construction.
- ✓ Le changement des tôles sombres en tôles translucides est en cours.

# V. OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION D'OXYGENE

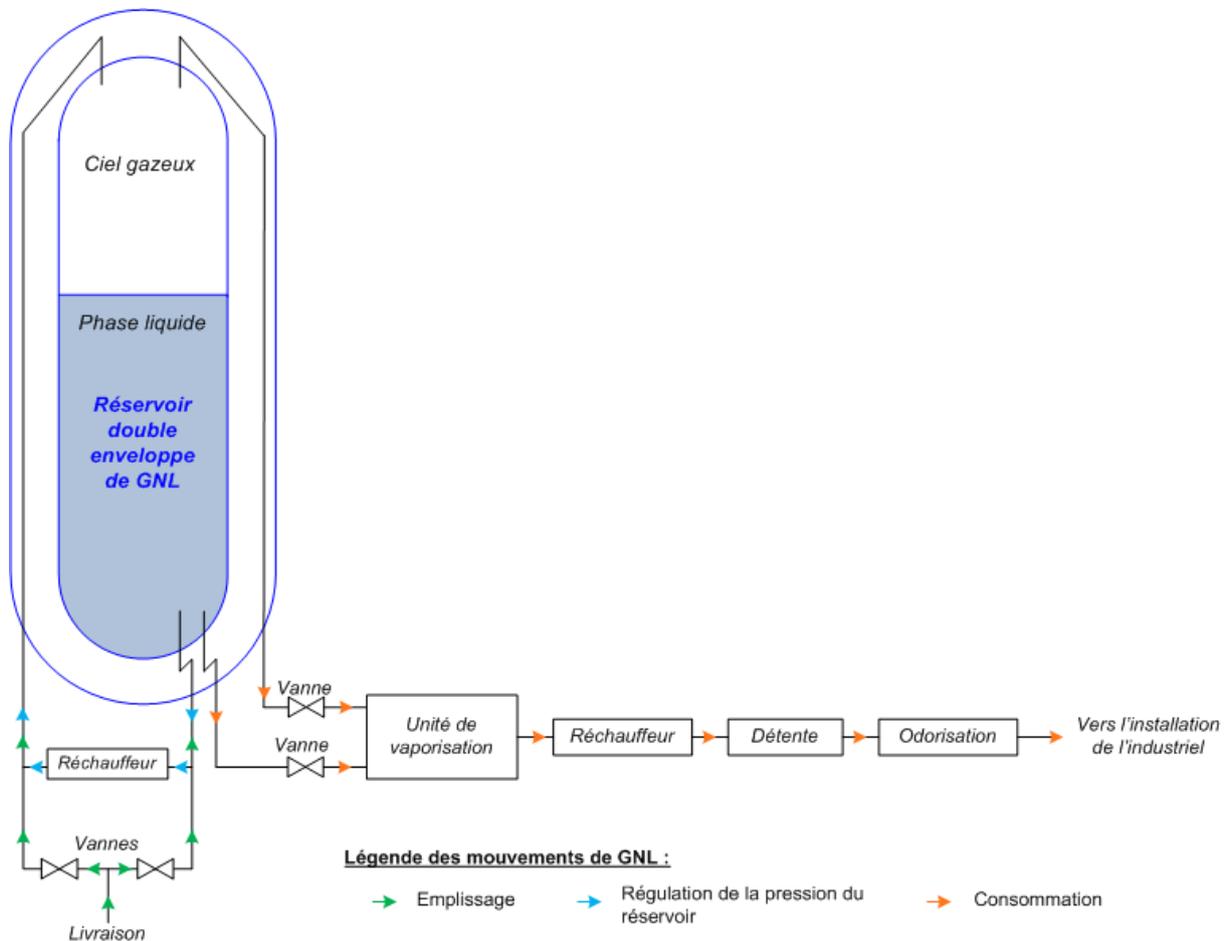
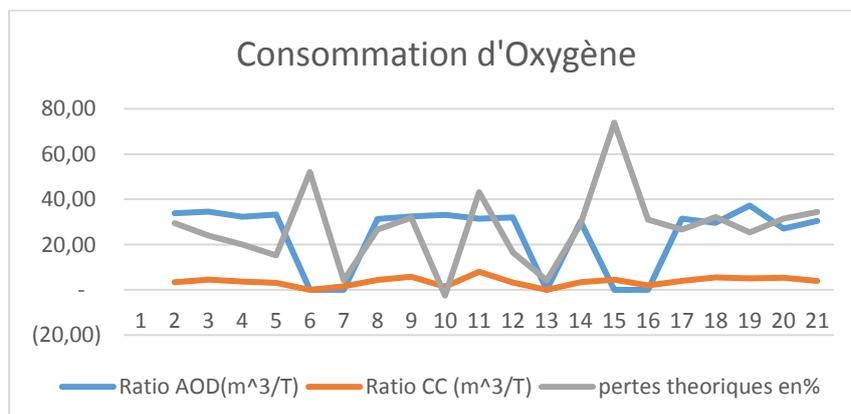


Figure 19: schéma fonctionnement du système d'oxygène

Après un mois de suivi de stock d'oxygène sur les différents réseaux installés, on observe le phénomène suivant :



On constate que lorsqu'il y'a un arrêt de production, il y' a de l'oxygène qui s'échappe de la tuyauterie de l'AOD ; en plus on constate que la courbe de consommation de l'AOD se rapproche le plus des pertes théoriques que celle de la coulée continue. Pour résoudre ce problème nous nous proposerons différents scénarios :

#### 4.1. Scénarios de solution #1# : Réduction des fuites

La consommation d'oxygène lorsqu'on fonctionne à la citerne est affecté par de nombreux problèmes tels que : des fuites visibles par exemple après chaque coulée à l'AOD, on observe pendant 15 minutes une perte d'oxygène par la soupape de sécurité (relief valve) et on note 162.5 m<sup>3</sup> d'oxygène évacuer à cet instant ; ensuite à chaque arrêt de production on remarqua une baisse du niveau d'oxygène de 1-2% soit 255.9 m<sup>3</sup> que nous pouvons observer à la figure 19. Nous avons constaté qu'avec l'utilisation des bouteilles d'oxygène la décarburation demandait 245 m<sup>3</sup>.

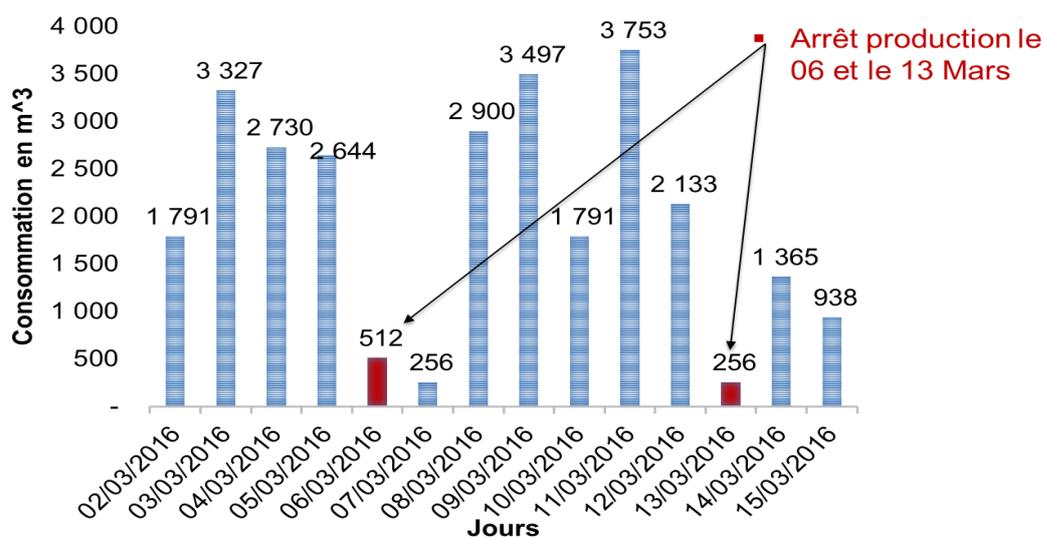


Figure 20: Consommation d'oxygène anormale

Nous avons fait le suivi de la consommation d'oxygène sur une longue période (annexe 3) et nous constatons qu'à l'arrêt production pour une maintenance des équipements électriques ; par exemple le 06 Mars 2016 où l'on observe 512 m<sup>3</sup> perdu ainsi que le 12 Mars 2016 (figure 19). Ce ne sont que des exemples parmi tant d'autres.

Au vu des différences de consommation d'oxygène, nous avons déterminé les pertes théoriques occasionnés :

Tableau 20:Tableau récapitulatif ratio de consommation d'oxygène

	Ratio AOD m <sup>3</sup> /t	Ratio Coulée continue m <sup>3</sup> /t	Pertes théoriques	Consommation %	Réduction %
Mars 2016	630.08	138.47	53.88	100	67
Avril 2016	0	46.10	0.74	33	
Mai 2016	0	26.33	0.86s		

Le suivi et la réduction des niveaux d'oxygène permettent de minimiser le taux de corrosion, d'accroître la disponibilité des citernes et des bouteilles d'oxygène et enfin de protéger ses équipements. Les fuites proviennent des soupapes, vannes, etc.

Les différentes techniques que nous préconisons pour la réduction de ces fuites sont :

- ✓ Vérifier et bien entretenir les équipements en particulier les points de fuites.
- ✓ Remplacer les peintures, vernis et adhésifs à forte teneur en solvants par ceux qui ont une base aqueuse.
- ✓ Trouver un ballon pour la récupération de l'oxygène échappé par la soupape de sécurité.

L'AOD a été arrêté en fin MARS pour plusieurs raisons dont l'ACI se tait d'expliquer. Il eut encore quelques points de fuites sur le réseau d'oxygène après cette interruption. On peut le remarquer les 2 premiers jours du mois d'Avril :

Tableau 21: Début d'optimisation de la consommation d'oxygène

N°	DATE	HEURE DE RELEVÉ	VOLUMES DE O2 N°11 (20000L) EN CITERNE(%)	VOLUME DE O2 N°12 (10000L) EN CITERNE(%)	CONSO TOTALE(m <sup>3</sup> )	AOD			COULEE CONTINUE			
						CONSO O2 de l'AOD (m <sup>3</sup> )	Production(T)	Ratio AOD(m <sup>3</sup> /T)	CONSO O2 Concast (m <sup>3</sup> )	NOMBRE DE COULEE	Production(T)	Ratio CC (m <sup>3</sup> /T)
1	01/04/2016		31	28	1407,45				1407,45	10,00	217,998	6,46
2	02/04/2016		23	23	810,35	-	-	-	810,35	10,00	162,312	4,99
3	03/04/2016		0	59,5	42,65	-	-	-	42,65	5,00	108,26	0,39
4	04/04/2016		0	59	85,3	-	-	-	85,3	10,00	224,41	0,38
5	05/04/2016	08H00	0	58	0	-	-	-	-	10,00	174,98	-
6	06/04/2016	09h05	0	58	213,25	-	-	-	213,25	11,00	242,15	0,88

## 4.2 Scénarios de solution #2# : Utilisations des bouteilles

De l'analyse de la consommation d'oxygène il ressort cette étude technico-économique.

Tableau 22: Analyse technico économique

	<b>Technique</b>	<b>Prix d'O<sub>2</sub>/coulée FCFA</b>	<b>Prix d'O<sub>2</sub>/jour FCFA</b>	<b>Bénéfice FCFA</b>
<b>Bouteille</b>	Connexion directe sur la bouteille, fuite minime avec les joints	<b>112 000</b>	<b>1 232 000</b>	<b>440 00</b>
<b>Citerne (réseau)</b>	Connexion au réseau, fuite multiple sur les raccords, coudes et tuyauterie	<b>152 000</b>	<b>1 672 000</b>	<b>0</b>

## VI. IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Les émissions gaz à effet de serre dans l'air des particules contenues dans la ferraille représentent le principal problème pour l'environnement. Le problème lié à la réduction des émissions des gaz à effet de serre (tableau 23 et 24) est non seulement de traiter les gaz d'échappement et de rejet, mais aussi de les capter et les traiter. Le ministère de l'environnement a arrêté avec l'entreprise d'accueil pour un rejet de fumée de l'ordre de 50 mg/m<sup>3</sup>. Nous avons remarqué que la fumée rejetée est largement supérieure à la valeur de consigne.

Tableau 23: calcul d'émission CO2 avant efficacité énergétique

DETAILS DES CHARGES	CONSOMMATIONS ANNUELLES (MWh/an)	EMISSION GES (t CO <sub>2</sub> eq/an)
Eclairage	655	255
Divers	4 418	1 732
Four 6 T	12 501	4 875
Four 15T	36 490	14 231
Ventilateur et moteur	1 968	767
<b>TOTAL</b>	<b>56 034</b>	<b>21 853</b>

Tableau 24: Calcul d'émission CO2 après efficacité énergétique

DETAILS DES CHARGES	CONSOMMATIONS ANNUELLES (MWh/an)	EMISSION GES (t CO <sub>2</sub> eq/an)
Eclairage	654	255
Divers	3 907	1 523
Four 6 T	12 501	4 875
Four 15T	32 110	12 523
Ventilateur et moteur	1 907	744
<b>TOTAL</b>	<b>51 082</b>	<b>19 922</b>

## VII. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

A la fin de cette étude d'optimisation de la consommation électrique et oxygène de l'unité de production de billette, nous pouvons dire que le postulat de cette unité est le type de ferraille qu'on enfourne car n'ayant pas des éléments concrets qui nous permet de le quantifier, plus une humanisation dans le tri de ceux-ci.

Au-delà de l'étude comparative et des résultats obtenus, nous pouvons également constater qu'il y'a plus de perturbations (maintenance, panne de générateur, coupure d'électricité de la part de la CIE, retour de poche, ...) et celles-ci augmente le temps de fusion et par conséquent la consommation énergétique.

En outre, les études accomplies dans le cadre du suivi de la consommation d'oxygène nous montrent qu'il y'avait de nombreuses fuites sur le réseau de distribution de l'oxygène par exemple les pertes de 255.9 m<sup>3</sup> lors de chaque arrêt de production, une perte sur la soupape de sécurité sur le circuit de L'AOD pendant une quinzaine de minute de 245 m<sup>3</sup>, des fuites sur les différents raccords , etc. Ainsi, l'entreprise a remarqué une différence financière entre l'utilisation de la citerne et de bouteille.

Nous avons fait des mélanges théoriques et nous avons pu estimer les quantités des différents types de ferraille pour des tonnages et des compositions chimiques désirées.

Pour minimiser la consommation électrique des moteurs il faudra augmenter les rendements électriques ; de même pour le temps de fusion, la charge de démarrage doit être alternée avec des différents types de ferraille pour éviter les vides.

Pour minimiser la consommation d'oxygène, il faut miser sur l'utilisation des bouteilles bien que il y'ai risque d'explosion à cause de la haute température de coulée mais le coût d'utilisation est plus convenable dans la mesure d'une optimisation technico économique.

Il serait intéressant d'analyser le plan d'action en annexe pour résoudre ce problème d'économie d'énergie.

Nous avons pu après différente analyse proposer une économie d'énergie de 8.84 % sur la consommation électrique et plus de 35 % sur la réduction de la consommation d'oxygène.

## VIII. RECOMMANDATIONS

- Prévoir un espace couvert pour la ferraille reçue afin d'éviter l'entassement de boue lors des intempéries.
- Couvrir la zone de passage de la ferraille.
- Installer un système de pesage de la ferraille sur les ponts roulants afin de savoir avec exactitude la quantité de ferraille utilisée pour chaque production.
- Préconiser l'utilisation de la SCRAP CLEANING MACHINE au lieu de l'humanisation pour le tri de la ferraille et également pour la réduction de la consommation énergétique. Cette machine peut trier les métaux ferreux et non ferreux.
- Alternier la ferraille lors de l'enfournement.
- Remplacer les moteurs à faible rendement par des moteurs à haut rendement.
- Vérifier les joints raccordés aux bouteilles d'oxygène avant chaque utilisation.
- La maintenance devrait être prompte à agir lorsqu'une panne est signalée c'est à dire renforcer le personnel subsistant.
- Pour les mesures d'économie d'énergie, il faudrait éteindre les appareils allumés lorsqu'il ne fonctionne pas ; d'où les automatiser.
- Octroyer plus de temps à la maintenance pour faire les entretiens des équipements.
- Réduire les pertes de métal et les retours de poche pour optimiser la production.
- Cimenter l'espace de stockage de la ferraille pour empêcher l'entraînement des crasses, de l'eau et de la crasse.
- Stocker par compartiment la ferraille de stockage.
- Eviter d'utiliser la ferraille rouillée et sale pour optimiser le temps de fusion.
- Augmenter la profondeur de pénétration du métal pour diminuer la fréquence des courants et donc diminuer le temps de fusion.
- Accélérer le chargement du four pour combiner avec la basse fréquence de courant afin d'avoir les meilleurs rendements du four.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Abou Khalil B., B. M. A method for energy optimization of industrial product transformation in small and médium size enterprises. 2008.
2. Andre KREMER, J.-I. R. Procédé de fabrication d'acier dans un four électrique avec enfournement de fonte liquide.1998
3. Beauvais, P. Choplin,L. "New technologies for the application of water based coatongs". Fonderie Fondateur Aujourd'hui, 90-29. 2001
3. C.OBERLIN. L'Induction au service de l'industrie: Panoramades applications industrielles. 2003
- 4.Canadiennes, A. d. Les possibilités d'amélioration du rendement énergétique dans les fonderies Canadiennes. 2003
5. mémoire de fin d'étude "Commande d'un onduleur de puissance destiné au chauffage par induction par la modulation de densité d'impulsions avec amélioration du facteur de puissance." ESSADAOU, J. TROIS RIVIERES: Universités du QUEBEC. NOVEMBRE 2003
- 6.G.RIBAUD.. La théorie du chauffage par courants induits de haute fréquence. J.PHYS.RADIUM. 1932
7. GILLOT, M.. Etude et réalisation de transformateurs d'adaptation d'impédance haute fréquence par induction. thèse Université des sciences et technologiques de LILLE. 28 AVRIL 2000
8. HOUEDOKOHO, F. N. Amelioration de la fonderie de l'Aluminium et ses alliages. Ecole supérieure polytechnique centre de THIES: Université CHEIKH ANTA DIOP. JUILLET 1992
9. INDUSTRIE FORGES ET FONDERIES. MAI 2015.
10. INRS. champs électromagnétiques. ED421. JUIN 2012
11. Jacques NUMS, J.-L. P. Chauffage par induction: Principes et critères de choix des convertisseurs de fréquence. EDF DRD centre des Renardières. 2003.
12. KLAUS HERFURTH, S. La fonte coulée en continu pour une fabrication innovante de pièces. fonderie fondeur d'aujourd'hui. MARS 2016.
- 13.Laurent LEVACHER, D. C. Efficacité énergétique pour l'industrie des technologies existantes aux solutions innovantes.
14. l'ingénieur, t. d. Fonderies et moulages des alliages. 2015
15. MICHEL, F.. linfluence des paramètres de fonderie sur le transfert de chaleur au cours de la solidification pour des alliages Aluminium-Silicium. CHICOUTIMI: Université du QUEBEC. FEVRIER 1994.
16. MURLINS, J. D. Réduction des problèmes d'oxydation dans les fours à induction à moyenne fréquence. SORELMETAL. SEPTEMBRE 1999.
17. Mémoire de fin d'étude : Amelioration du système de production de billettes de la SOSETRA. THIES: Ecole Supérieure Polytechnique Centre . NDIAYE, Y.. 30 JUIN 2001.

18. OBERLIN, C. L'induction au service de l'industrie : Panorama des applications industrielles. 2003.
19. ORFEUL, M. Electrothermie industrielle. PARIS: DUNOD. 1981.
20. PASCHKIS, V. Les fours industriels. PARIS: DUNOD . 1952.
21. PERROT, O. Cours d'électrothermie 1ère année. 2010-2011.
22. RECORD. Perception et comportement des entreprises vis à vis des matières et produits recyclés. record 11-0718/1A. Mai 2013.
23. Technologies, C. Guide d'amélioration du rendement énergétique des électotechnologies. 2007.
24. Mémoire de fin d'étude :Contribution à l'étude théorique d'un four à induction . Université de BATNA. Toufik, M. 30 JUIN 2012
25. ATEE. Audit énergétique dans l'entreprise. Juillet 2013
26. Olivier JUAN : Comment réduire la consommation des moteurs électriques dans l'industrie. CCI Energie Info.Fiche n°14 MAI 2008

## WEBOGRAPHIE

[www.technique-ingenieur.fr](http://www.technique-ingenieur.fr)

<https://hal.archives-ouvertes.fr>

[www.metallocorner.net](http://www.metallocorner.net)

[www.manager-go.com](http://www.manager-go.com)

[www.unece.org/fr/](http://www.unece.org/fr/)

[www.statistiques-mondiales.com](http://www.statistiques-mondiales.com)

## ANNEXE :

### ANNEXE 1 :

Tableau 25: Tableau comparatif électrique

	Qualité ferraille (tonnes) ou entrée ferraille			Design former des différents four		Calamine (T)	Température de fusion		Perturbation (min)	Production(T)	Ratio (kWh/T)				
				épaisseur ramming mass			6 T	15 T							
janv-15	Balles compactées	1013,32	<b>15,61%</b>	niveau haut du cône: 115 mm ; niveau du cône: 130mm ; niveau bas du cône : 175 mm	niveau haut du cône: 140 mm ; niveau du cône: 157,5mm ; niveau bas du cône : 227,5 mm	34,905	1672	1676	668 min d'arrêt maintenance, 137 min coupure CIE, 436 min panne générateur, 3 retours de poche,	5799,235	659,7				
	Déchet FAB/ Fusion	683,26	<b>10,52%</b>												
	Ferraille triée /découpée	4794,6	<b>73,86%</b>												
	<b>TOTAL</b>	<b>6491,18</b>													
avr-16	Ferraille vrac	3918,06	<b>62,42%</b>	niveau haut du cône: 115 mm ; niveau du cône: 130mm ; niveau bas du cône : 175 mm	niveau haut du cône: 175 mm ; niveau du cône: 177,5mm ; niveau bas du cône : 227,5 mm	83,895	1675	1680	1205 min d'arrêt maintenance, 1172 min coupure CIE, 504 min panne générateur, 2 retours de poche	5306,282	740,2				
	Balles compactées	889,3	<b>14,17%</b>												
	Fer découpé	807,74	<b>12,87%</b>												
	Chute de production	548,12	<b>8,73%</b>												
	<b>TOTAL</b>	<b>6277,2</b>													
Remarques	la différence entre les différents types de ferrailles peut être occasionnée par la disponibilité des 2 fours car un des fours 6 T étant endommagé, il ne fonctionne qu'à 2/3. les différents volumes sont: JAN 2015=5800 t et AVR 2016=7023 tonnes. Le prix moyen d'achat ferraille ne fut pas analyser.			l'écart entre les différentes épaisseurs de ramming mass est de 10,7 % pour le haut du cône et 12,7% pour le niveau du cône. L'épaisseur des réfractaires de patching peuvent ralentir la transmission du courant électrique fournit par l'induit d'où on remarque qu'en Janvier 2015 la puissance transmise atteignait directement la valeur cible pour les fours 15 et 6 tonnes par contre en Avril 2016 elle est à la moitié de cette valeur. est-ce pas en parti à cause des épaisseurs réfractaires qu'on augmente le temps de fusion des ferrailles?		la quantité et le type de ferraille à changer. Ce qui implique une forte consommation de calamine et quelques minutes de plus (9% d'augmentation du temps en Avril par rapport en Janvier) sur le temps de fusion par conséquent une consommation d'énergie encore plus considérable.		il y'a une augmentation de 4 % sur les températures de fusion.		la différence de perturbation est due à plusieurs facteurs dont: la vivacité des maintenanciers, les retours de poche, les coupures multiples de la CIE,...		la production d'Avril 2016 a diminué de 9 % par rapport à celle de Janvier 2015. cette baisse de production est affectée d'une part l'arrêt d'un four de 6tonnes, d'autre part ça peut être dû à l'inadverance des superviseurs ou melters entrainant souvent des retours de poche		Différence dans la production et les différentes manipulations (type de ferraille et autre) fait augmenter le ratio électrique de 12%	
calcul du ratio énergie sans retour de poche: JANVIER 2015: (5,5*3+production janvier)/conso énergie janvier=657,87 kWh /tonnes ; AVRIL 2016 (21*2+production Avril)/conso énergie Avril=734,4 kWh /t															

ANNEXE 2 :

Tableau 26: SUIVI CONSOMMATION D'OXYGENE avec les pertes

<b>ENREGISTREMENT</b> <b>FICHE DE SUIVI DE LA CONSOMMATION D'OXYGENE MARS 2016</b>												
DATE	HEURE DE RELEVÉ	VOLUMES D'O2 N°11 (20000 L) EN CITERNE (%)	VOLUME D'O2 N°12 (10000 L) EN CITERNE (%)	CONSO TOTALE (m <sup>3</sup> )	AOD			COULEE CONTINUE				pertes théoriques en%
					CONSO O2 de l'AOD (m <sup>3</sup> )	Production(T)	Ratio AOD (m <sup>3</sup> /T)	CONSO O2 Concast (m <sup>3</sup> )	NBRE DE COULEE	Production(T)	Ratio CC (m <sup>3</sup> /T)	
01/03/2016												
02/03/2016	20h55	49	73	1791,30	1017,00	30,00	33,90	774,30	10,00	228,98	3,38	29,55
03/03/2016	08h00	40	70	3326,70	2 284,00	66,00	34,61	1 042,70	11,00	232,28	4,49	23,98
04/03/2016	09h06	38	35	2729,60	1937,00	60,00	32,28	792,60	10,00	217,00	3,65	20,06
05/03/2016	10h05	72	31	2 644,30	1996,00	60,00	33,27	648,30	10,00	209,55	3,09	15,25
06/03/2016	06h30	62	20	511,80	-	-	-	511,80	-	-	-	52,13
07/03/2016	10h25	61	16	255,90	-	-	-	255,90	9,00	165,37	1,55	4,26
08/03/2016	06h25	60	15	2 900,20	1883,00	60,00	31,38	1017,20	10,00	235,85	4,31	26,63
09/03/2016	07h45	68	48	3497,30	2138,00	66,00	32,39	1359,30	11,00	235,76	5,77	31,86
10/03/2016	08h45	48	47	1791,30	1592,00	48,00	33,17	199,30	8,00	146,84	1,36	-
11/03/2016	07h59	38	46	3753,20	1888,00	60,00	31,47	1865,20	11,00	233,58	7,99	43,17
12/03/2016	08h30	72	36	2132,50	1537,00	48,00	32,02	595,50	8,00	183,30	3,25	16,44
13/03/2016	01h15	60	35	255,90	-	-	-	255,90	-	-	-	4,26
14/03/2016	07h45	59	34	1364,80	724	24	30,17	640,8	9,00	190,01	3,37	29,00
15/03/2016	08H51	52	32	938,30	-	-	-	938,3	10,00	207,58	4,52	73,89
16/03/2016	09h20	96	29	355,20	-	-	-	355,20	10,00	181,10	1,96	31,02
17/03/2016	09h50	94,5	28	2 388,40	1507,00	48,00	31,40	881,40	10,00	223,70	3,94	26,65
18/03/2016	08h00	81	27	3241,40	1954,00	66,00	29,61	1287,40	11,00	235,19	5,47	32,16
19/03/2016	07h50	63	25	3326,70	2 236,00	60,00	37,27	1090,70	10,00	217,55	5,01	25,42
20/03/2016	08h20	44	24	2729,60	1626,00	60,00	27,10	1103,60	10,00	208,60	5,29	31,46
21/03/2016	08h40	29	22	2047,20	1098,00	36,00	30,50	949,20	10,00	184,42	5,15	34,40
22/03/2016	08h20	70	18	1108,90	765,00	24,00	31,88	343,90	10,00	194,70	1,77	8,92
23/03/2016	09h20	64	17	3241,40	1647,00	54,00	30,50	1594,40	10,00	217,77	7,32	41,63
24/03/2016	09h15	46	15	2729,60	1826,00	60,00	30,43	903,60	11,00	226,38	3,99	24,13
25/03/2016	09h30	30	15	2303,10	1613,00	60,00	26,88	690,10	11,00	232,41	2,97	19,33

ANNEXE 3 :

Tableau 27: SUIVI CONSOMMATION D'OXYGENE sans les pertes

 <b>ENREGISTREMENT</b>										
FICHE DE SUIVI DE LA CONSOMMATION D'OXYGENE MAI 2016										
					COULEE CONTINUE					
DATE	HEURE DE RELEVÉ	VOLUME D'O <sub>2</sub> N°12 (10000 L) EN CITERNE (%)	CONSO TOTALE (m <sup>3</sup> )	nombre btlle de 7m <sup>3</sup> /jr	CONSO O <sub>2</sub> Concast (m <sup>3</sup> )	NOMBRE DE COULEE	Production(T)	Ratio CC (m <sup>3</sup> /T)	pertes théoriques en%	OBJECTIF CONSO m <sup>3</sup> /t =0,92
03/05/2016	11h25	27,5	127,95		127,95	8,00	178,31	0,72	- 0,72	
04/05/2016	09h25	26	170,6		170,60	10,00	171,835	0,99	- 0,50	
05/05/2016	07h45	24	341,2		341,20	9,00	183,651	1,86	0,46	
06/05/2016	08h10	20	255,9		255,90	9,00	174,883	1,46	-	
07/05/2016	08h30	17	341,2		341,20	10	197,992	1,72	0,43	
08/05/2016	07h15	13	341,2		341,20	10	216,7	1,57	0,39	
09/05/2016	08h25	9	613,7		613,70	10	166,023	3,70	2,16	
10/05/2016			154	22	154,00	11	216,383	0,71	- 0,58	
11/05/2016		bouteille	126	18	126,00	10	205,085	0,61	- 0,88	
12/05/2016		bouteille	140	20	140,00	10	181,633	0,77	- 0,42	
13/05/2016		bouteille	105	15	105,00	9	194,088	0,54	- 1,16	

14/05/2016		bouteille	112	16	112,00	10	179,31	0,62	-	0,85
15/05/2016		bouteille	105	15	105,00	10	206,109	0,51	-	1,30
16/05/2016		bouteille	56	8	56,00	10	220,243	0,25	-	3,36
17/05/2016		bouteille	140	20	140,00	10	175,952	0,80	-	0,36
18/05/2016		bouteille	147	21	147,00	9	187,689	0,78	-	0,39
19/05/2016		bouteille	77	11	77,00	3	43,61	1,77		1,24
20/05/2016		bouteille	133	19	133,00	9	197,697	0,67	-	0,69
21/05/2016		bouteille	105	15	105,00	10	209,234	0,50	-	1,33
22/05/2016		bouteille	84	12	84,00	10	193,864	0,43	-	1,69
23/05/2016		bouteille	133	19	133,00	10	215,473	0,62	-	0,87
24/05/2016		bouteille	77	11	77,00	5	91,563	0,84	-	0,25
25/05/2016		bouteille	126	18	126,00	10	225,26	0,56	-	1,09
26/05/2016		bouteille	119	17	119	10	203,438	0,58	-	0,99
27/05/2016		bouteille	133	19	133,00	10	192,184	0,69	-	0,64
28/05/2016		bouteille	112	16	112,00	10	222,324	0,50	-	1,32
29/05/2016		bouteille	84	12	84,00	10	176,348	0,48	-	1,46
30/05/2016		bouteille	63	9	63	10	212,767	0,30	-	2,81
31/05/2016		bouteille	161	23	161,00	10	204,644	0,79	-	0,38

ANNEXE 4 :

Tableau 28:DEVIS MOTEUR CLASSIQUE

<p align="center"><b>LE ROULEMENT IVOIRIEN</b>                      18 BP 969 - ABIDJAN 18                      TEL 21.25.52.97 - FAX 21.25.82.17 - E-mail : comlri@aviso.ci - Web : roulement ivoirien.com</p>									
<p><b>FACTURE PROFORMA</b> 1606-1807 Abidjan, le 09 JUIN 2016</p>					<p>PRESSE</p>		<p>TEL N° : 08153330 FAX N° :</p>		<p>AL'ATTENTION DE M. KIOFALA PIERRE KONE RESPONSABLE MAINTENANCE FUSION ACIERIE</p>
<p>V/Ref. : Demande de prix</p>									
Item	Qtés	UP	Références	TARIF HT	STOCK ou MARITIME	P.T - NET HT	OPTION AVION	DISPO	NON DISPONIBLE SUR STOCK
<p><b>MOTEUR IE2 GENERAL PERFORMANCE TYPE DE MONTAGE A PATTE</b></p>								Sauf vente	DELAIS
									En semaine
1	3		MOTEUR 30KW 3000TR/MN	1 047 029	NET	1 047 029	3 141 087		3
2	2		MOTEUR 45KW 3000TR/MN	1 664 701	NET	1 664 701	3 329 402		2
3	1		MOTEUR 22KW 3000TR/MN	836 116	NET	836 116	836 116		1
4	3		MOTEUR 18,5KW 3000TR/MN	729 908	NET	729 908	2 189 724		3
5	2		MOTEUR 7,5KW 3000TR/MN	362 318	NET	362 318	724 636		2
6	1		MOTEUR 5,5KW 3000TR/MN	291 511	NET	291 511	291 511		1
7	2		MOTEUR 11KW 3000TR/MN	467 774	NET	467 774	935 548		2
8	1		MOTEUR 200KW 3000TR/MN	7 943 683	NET	7 943 683	7 943 683		1
9	5		MOTEUR 4KW 3000TR/MN	223 718	NET	223 718	1 118 590		5
10	1		MOTEUR 15KW 1500TR/MN	619 931	NET	619 931	619 931	1	
11	2		MOTEUR 37KW 1500TR/MN	1 318 203	NET	1 318 203	2 636 406	2	
12	1		MOTEUR 11KW 1500TR/MN	477 566	NET	477 566	477 566	1	
13	1		MOTEUR 7,5KW 1500TR/MN	377 383	NET	377 383	377 383		1
14	3		MOTEUR 4KW 1500TR/MN	234 264	NET	234 264	702 792		3
15	7		MOTEUR 7,5KW 1000TR/MN	507 696	NET	507 696	3 553 872		7
16	4		MOTEUR 4KW 1000TR/MN	346 499	NET	346 499	1 385 996		4
17	2		MOTEUR 2,2KW 1000TR/MN	222 965	NET	222 965	445 930		2
18	1		MOTEUR 30KW 1000TR/MN	1 687 299	NET	1 687 299	1 687 299		1
42			pièce(s)						
<p><b>PRIX TOTAL NET HT</b></p>							<b>32 397 472</b>		
<p>TVA</p>				18%			5 831 545		
<p><b>TOTAL NET A PAYER</b></p>							<b>38 229 017</b>		
<p>Validité de notre offre : 1 mois</p>									
<p>Règlement de notre facture</p>									
				<p>Conditions habituelles</p>					
				<p>Salutations distinguées</p>					
				<p>KOUADIO K. GUILLAUME</p>					

Nos stocks étant en constante évolution, nos délais sont valables à la date de cette proforma.

ANNEXE 5 :

Tableau 29:DEVIS MOTEUR PROCESS PERFORMANCE

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <h2>LE ROULEMENT IVOIRIEN</h2> <p>18 BP 969 - ABIDJAN 18            TEL 21.25.52.97 - FAX 21.25.82.17 - E-mail : comlri@aviso.ci - Web : roulement ivoirien.com</p> </div> </div>												
FACTURE PROFORMA						PRESSE		TEL N° : 08153330		A L'ATTENTION DE M.		
1606-1807								FAX N° :		KIOFALA PIERRE KONE		
Abidjan, le 09 JUIN 2016										RESPONSABLE MAINTENANCE FUSION		
MOTEUR PROCESS PERFORMANCE TYPE DE MONTAGE A PATTE										ACIERIE		
STOCK ou MARITIME									DELAIS DE LIVRAISON			
Item	Qtés	PN(KW)	Vitesse	Références	TARIF HT	R	PU NET HT	P.T - NET HT	OPTION AVION P.U - NET HT	DISPO Sauf vente	NON DISPONIBLE SUR STOCK QTES	DELAIS
										EN semaine		
										7 Maritime / 3 Avion		
1	3	30	2956	201 410-AG	1 482 526	NET	1 482 526	4 447 578				
2	2	45	2961	221 031-AG	2 364 766	NET	2 364 766	4 729 532				
3	1	22	2952	181 410-AG	1 182 383	NET	1 182 383	1 182 383				
4	3	18,5	2932	161 430-AG	1 036 859	NET	1 036 859	3 110 577				
5	7	7,5	975	163 410-AG	721 254	NET	721 254	5 048 778				
6	2	7,5	2915	131 130-AE	514 791	NET	514 791	1 029 582				
7	1	5,5	2915	131 120-AE	413 834	NET	413 834	413 834				
8	2	11,0	2938	161 410-AG	664 863	NET	664 863	1 329 726				
9	1	15,0	1470	162 420-AG	880 420	NET	880 420	880 420				
10	1	200,0	2980	311 410-AG	9 746 583	NET	9 746 583	9 746 583				
11	2	37,0	1479	222 210-AG	1 873 623	NET	1 873 623	3 747 246				
12	1	11,0	1466	162 410-AG	656 006	NET	656 006	656 006				
13	1	7,5	1450	132 323-AB	536 620	NET	536 620	536 620				
14	3	4,0	1440	112 322-AB	331 976	NET	331 976	995 928				
15	4	4,0	960	133 322-AB	492 054	NET	492 054	1 968 216				
16	5	4,0	2895	111 322-AB	317 424	NET	317 424	1 587 120				
17	2	2,2	950	113 322-AB	317 424	NET	317 424	634 848				
18	1	30,0	986	223 210-AG	2 392 051	NET	2 392 051	2 392 051				
				42		pièce(s)						
				<b>PRIX TOTAL NET HT</b>				<b>44 437 028</b>				
				TVA 18%				7 998 665				
				<b>TOTAL NET A PAYER</b>				<b>52 435 693</b>				
				Validité de notre offre : 1 mois								
				Règlement de		Conditions habituelles						
										Nos prix sont calculés sur la base de 1 euro = 666,967 F.CFA		
										Salutations dist <b>KOUADIO R. GUILLAUME</b> 09375256746048239		

Nos stocks étant en constante évolution, nos délais sont valables à la date de cette proforma.

Page 1

## ANNEXE 6 :

Tableau 30:PROPOSITION DE PLAN D'ACTION

PLAN D'ACTION POUR DIMINUER LES CAUSES AUX PROBLEMES ELECTRIQUES					
PRIORITE	PROBLEME RENCONTRE	PLAN D'ACTION	OBJECTIF	DIFFICULTE	PERSONNE CHARGEE DE LA REALISATION
1	Problème de mélange des ferrailles lourdes et légères	1) Accentuer le tri minutieux 2) Couvrir le lieu d'entreposage de la ferraille 3) Bien identifier les ferrailles désirées	Séparer les différents types de ferraille	Moyenne	ISSA, SORO (ferraille)
1	Problème de haute température pour les balances	1) Peser la ferraille qui entre sur la plateforme 2) Bétonner le hangar 3) Bien définir le poids des mélanges désirés	Quantifier la ferraille à enfourner	facile	KONE Moriba, DAINGUI DON,
2	Problème de temps de fusion	1) Être plus vigilant lors de la production 2) Bien suivre le cycle de production 3) Contrôler la qualité de ferraille enfournée	*Réduire les retours de poche * Réduire les pertes de métal	Moyenne	DAINGUI DON, BINI KOBENAN, Melters
2,3	Manque de temps	1) Contrôler les paramètres de production (tension, fréquence, courant) 2) Recruter plus de personnel à la maintenance 3) Avoir un dialogue avec la CIE pour réduire les coupures d'électricité	Réduire les perturbations	facile	KONE Moriba, DAINGUI DON, KONE Pierre, YATTAR Mohammed