UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Département de génie mécanique

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du

Diplôme d'Ingénieur d'État

Spécialité : Conception Mécanique et Innovation

Titre :

Classification des équipements critiques et élaboration d'un plan de maintenance préventive du four à arcs électriques

Partenaire

SONASID

Préparé par :

Yassine Bounjem

Parrain de stage :

M. Oukili Abdeljalil

Encadrant pédagogique :

M. Biyaali Ahmed

Jury :

Pr. A. El Barkany (président)

Pr. M. El Majdoubi (examinateur)

Pr. M. Ramadany (examinateur)

Fès, Maroc

Soutenu le : 30/06/2010

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون﴾

صدق الله العظيم

dédicace

A mes parents qui ont toujours répondu présents ;
A mes frères et sœurs pour leur soutien incomparable ;
A toute ma famille ;
A mes deux encadrants de stage ;
A mes enseignants et à ma chère Faculté ;
A mes amis pour leur aide valorisante ;
A tout l'effectif de la SONASID qui m'a aidé ;

Je leur exprime toute ma gratitude et mon profond respect pour les efforts qu'ils ont déployés afin de me soutenir lors du stage.

Remerciements

Avant tout remerciement, louange à Dieu.

Au terme de ce stage, je tiens à remercier, en premier mon encadrant de stage ***M.Oukili*** *pour sa disponibilité et son aide et conseils précieux qui m'ont aidé à s'améliorer au niveau professionnel afin de tracer le chemin de mon futur métier d'ingénieur d'état.*

Aussi, je tiens à adresser mes vifs remerciements à mon encadrant pédagogique ***M.Biyaali*** *et à mes professeurs de la filière* ***conception mécanique et innovation*** *et à tout le corps de la* ***faculté des sciences et techniques de Fès.***

Enfin, je tiens à présenter particulièrement ma profonde gratitude au bureau de méthodes maintenance de l'aciérie et en particulier à M.Ourida, et à toute personne ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement de mon stage, et qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Merci

Sommaire

Liste des abréviations P8
Liste des tableaux P9
Liste des figures P10

Introduction générale P11

Chapitre I : Présentation de la SONASID

I. Présentation de la SONASID en tant qu'entreprise P13

II. Procédés de production :
1- présentation de l'aciérie P16
2- présentation du laminoir P21

Chapitre II : Classification des équipements critiques du four à arcs électriques (EAF)

I. But du chapitre P25

II. Description des équipements EAF :

1. *Système de basculement du four*.....P26
2. *Cuve et panneaux refroidis* P26
3. *EBT (dispositif de coulée en poche à trou excentrique)* P27
4. *Lance d'ouverture EBT* P27
5. *Ensemble de levage et de rotation de la voûte* P27
6. *Ensemble de levage des électrodes* P27
7. *Bras porte électrodes conducteur* P28
8. *Circuit secondaire* P28
9. *Electrode au graphite* P28
10. *Installation d'aspiration de fumées* P28
11. *Système de graissage* P28
12. *Système de refroidissement* P28
13. *Système hydraulique* P29
14. *Chariot hydraulique* P29
15. *Auxiliaires* P29

III. Classification des équipements de l'EAF :

1. *Classification par Mois* P31

2. Classification sur neuf mois de 2009 ……P33
3. Classification sur Décembre 2009 et Mars 2010 ……P36
4. Identification des équipements critiques ……....P40
5. Prise de décision des équipements critiques à étudier ……....P41

Chapitre III : Etude AMDEC du « système d'injection de carbone » et de « la lance PALMUR »

I. Principe pour mener une étude AMDEC :

1. Historique ……... P43
2. But AMDEC ……....P43
3. Les démarches pratiques d'une étude AMDEC ……..P43

II. Etude AMDEC du « Carbone jet » :

Etape1 : Initialisation
1. Résumé du problème ……...P48
2. Définition du système à étudier ……...P48
3. Définition des objectifs à atteindre ……..P51
Etape2 : Décomposition fonctionnelle ……..P51
Etape3 : Analyse AMDEC du « carbone jet »
1. Tableaux AMDEC ……...P53
2. Analyse des résultats des tableaux AMDEC :
a. Les défaillances critiques ……...P58
b. Solutions et suggestions ……P58
c. Plan préventif ……....P61

III. Etude AMDEC de la lance MORE (PALMUR)

Etape1 : Initialisation

1. Résumé du problème ……...P62
2. Définition du système à étudier ……...P62

Etape2 : Décomposition fonctionnelle ……..P64

Etape3 : Analyse AMDEC de « la lance MORE »

1. Tableaux AMDEC ……...P65
2. Analyse des résultats des tableaux AMDEC

a. Les défaillances critiques ……....P67

b. Solutions P67
c. Plan préventif P68

Chapitre IV : Etude du problème de détonation des flexibles via le processus créatif de résolution de problèmes (PCRP)

I. Etude du problème des flexibles via le PCRP :

1. Principe du PCRP P70
a. Identification du problème et recherche de faits P72
b. Recherche d'idées P77
c. Validation des solutions P80

Chapitre V : Elaboration du plan de maintenance préventive de l'EAF

I. Généralités sur la maintenance :

1. Historique et terminologie P83
2. Vocabulaire de la maintenance P83
3. Types de maintenance P84

II. Maintenance préventive :

1. Définitions et buts P85
2. Les opérations de la maintenance préventive P86

III. Historique des arrêts au niveau de l'aciérie :

1. Historique des arrêts P87
2. Sélectivités P88

IV. Elaboration du plan de maintenance préventive de l'EAF :

1. Arborescence et codification des équipements EAF :
a. Décomposition fonctionnelle P90
b. Codification P92
2. Recueil des opérations de maintenance préventive P93
3. Elaboration des bons de travaux de maintenance préventive P96
4. Plan général de maintenance préventive de l'EAF P97

Conclusion P99

Bibliographie P100

Liste des abréviations

- **BTP** : **B**âtiments **T**ravaux **P**ubliques
- **SNI** : **S**ociété **N**ationale d'**I**nvestissement
- **QSE** : **Q**ualité-**S**écurité-**E**nvironnement
- **EAF** : **E**lectric **A**rc **F**urnace (Four à arcs électriques)
- **LRF** : **L**adel **R**efining **F**urnace (Four poche de d'affinage)
- **CCM** : **C**ontinuos **C**asting **M**achine (Machine à coulée continue)
- **EBT** : **E**xcentric **B**ottom **T**aping (Trou excentrique de coulée)
- **WTP** : **W**ater **T**raitment **P**lant (Station de traitement des eaux)
- **FTP** : **F**ume **T**raitment **P**lant (Station de traitement des fumées)
- **RMH** : **R**ow **M**ateriel **H**andling (Système de stockage et d'ajout de matière)
- **HMI** : **H**ome **M**achine **I**nterface (Salle de contrôle du four)
- **AMDEC** : **A**nalyse des **M**odes de **D**éfaillances leur **E**ffets et leur **C**riticités
- **MPC** : **M**aintenance **P**réventive **C**onditionnelle
- **MPS** : **M**aintenance **P**réventive **S**ystématique

Liste des tableaux

Chapitre2 :

- Tableau1 : Equipements critiques du mois de janvier 2009,
- Tableau2 : Analyse PARETO des équipements critiques 2009,
- Tableau3 : Equipements critiques du mois de décembre 2009,
- Tableau4 : Analyse PARETO,
- Tableau5 : Tableau de décision,
- Tableau6 : Tableau de pondération.

Chapitre3 :

- Tableau1 : Décomposition et fonctions des éléments du système d'injection de carbone,
- Tableau2 : Actions et suggestions à entreprendre pour le système d'injection de carbone,
- Tableau3 : Tableau des 3QPCCO,
- Tableau4 : Plan préventif du système MOCA,
- Tableau5 : Plan préventif du Modulo,
- Tableau6 : Décomposition et fonctions des éléments de la lance MORE (PALMUR),
- Tableau7 : Plan préventif de la lance MORE.

Chapitre4:

- Tableau1 : Méthode des 3QOCP,
- Tableau2 : Niveau d'importance des causes,
- Tableau3 : Tableau de pondération des solutions,
- Tableau4 : Tableau des pondérations,

Chapitre5 :

- Tableau1 : Historique des arrêts par zone,
- Tableau2 : Les arrêts du mois de mars et avril 2010 triés par ordre décroissant,
- Tableau3 : Codification des équipements du four,
- Tableau4 : Exemple de tableau de recueils des opérations préventives (recto de la fiche),
- Tableau5 : Exemple de la fiche de maintenance préventive.

Liste des figures

Chapitre1 :

- Figure1 : Chargement en ferrailles
- Figure2 : Schémas de chargement en ferrailles
- Figure3 : Représentation 3D d'un four à arcs électrique
- Figure4 : Chargement des poches
- Figure5 : Machine à coulée continue
- Figure6 : Train de laminage
- Figure7 : zone de finissage
- Figure8 : Parc de stockage

Chapitre2 :

- Figure1 : Four à arcs électriques
- Graphique1 : Classification des équipements critiques
- Graphique2 : Analyse PARETO des équipements critiques 2009
- Graphique3 : Classification des équipements critiques décembre2009+mars2010
- Graphique4 : Analyse PARETO

Chapitre3 :

- Figure1 : Vue générale du système de MOCA
- Figure2 : Vue générale du Modulo
- Figure3 : Manipulateur PALMUR (Lance MORE)

Chapitre4 :

- Figure1 : Diagramme d'Ishikawa
- Figure2 : Exemple de gaine de fibres de verre recouverte de silicone
- Figure3 : Exemple de four avec bras éloignés
- Figure4 : Exemple de protection par rideau de gaine
- Figure5 : Solution choisie

Chapitre5 :

- Figure1 : Répartition des temps d'arrêts par zone
- Figure2 : PARETO des temps d'arrêts par zone
- Figure3 : Exemple de bon de travaux préventifs

Introduction générale

Premier industriel national des aciers de renforcement des bétons, le « rond à béton », de fil machine et de laminés marchands, la **So**ciété **Na**tionale de **Sid**érurgie (SONASID) travaille essentiellement pour les marchés de la construction marocaine.

Confiant dans les excellentes perspectives de ce marché, au cœur du dynamisme de l'économie marocaine, SONASID poursuit activement le développement de sa position en enrichissant une offre déjà unique au Maroc tout en visant l'excellence opérationnelle dans la maîtrise de ses approvisionnements, l'exploitation de son outil industriel et le service de ses clients.

Mon projet de fin d'études, s'inscrit dans la même démarche de l'entreprise à assurer l'excellence opérationnelle de l'exploitation de son outil industriel. Dans ce but, la société SONASID m'a confié un sujet au sein du bureau de méthodes maintenance de l'aciérie, intitulé : « Classification des équipements critiques et élaboration du plan de maintenance préventive du four à arcs électriques ».

Le four à arcs électriques est l'un des équipements critique de l'aciérie vu son importance dans le procédé de fabrication des billettes (produit fini de l'aciérie), et à cause des circonstances critiques de son exploitation (chaleur excessive, grand champ magnétique, environnement corrosif, humidité élevée…). D'où la nécessité de l'identification de ces équipements critiques, et l'élaboration d'un plan de maintenance préventive en conséquence s'imposent.

.

Chapitre I

Présentation de la SONASID

I. Présentation de LA SONASID en tant qu'entreprise :

SONASID (société nationale de sidérurgie) a été crée par l'Etat marocaine en 1974 avec une ambition de mettre en place une sidérurgie complètement intégrée depuis la production de minerai à Nador (nord du Maroc) et en le valorisant dans un haut fourneau d'un million de tonnes. Les études technico-économiques menées durant de nombreuses années ont abouti à l'opportunité d'un simple laminoir avec une intégration progressive en amont. C'est ainsi que fut lancé le premier maillon d'une sidérurgie nationale dédiée principalement au secteur de la construction.

La production a démarrée en mars 1984 avec le laminoir de Nador d'une capacité de production initiale de 420.000 tonnes qui a été portée progressivement à 600.000 tonnes par an de ronds à béton et fil machine. Pour faire face aux nouvelles contraintes du marché et aux impératifs de compétitivité, SONASID a démarrée en juillet 2002, un nouveau laminoir à Jorf Lasfar (EL Jadida), région propice au développement industriel, avec une capacité de production annuelle approchant aujourd'hui les 400.000 tonnes.

En 2003, SONASID s'est lancée dans un ambitieux projet de réalisation d'une aciérie électrique à Jorf Lasfar qui a démarré en août 2005 et assure la production des billettes, matière première des laminoirs de Nador et de Jorf Lasfar.

Le 3 mars 2006, l'accord de partenariat entre ArcelorMittal et SNI a été conclu pour le développement de SONASID.

Date clefs pour l'entreprise

- **1974** : Création de SONASID par l'état marocain.
- **1984** : Démarrage de la production avec le laminoir de Nador avec une capacité de 420 000 t.
- **1991** : Libéralisation des importations.
- **1996** : Introduction de 35% du capital en bourse
- **1997** : Cession par l'Etat de 62% du capital de SONASID à un consortium d'investisseurs institutionnels piloté par la SNI.
- **1998** : Acquisition de Longo métal Industries.
- **2000** : Entrée en vigueur de l'accord d'association avec l'U.E.
- **2001** : Fusion avec la filiale Longo métal Industries.
- **2002** : Démarrage du laminoir à JORF LASFAR.
- **2003** Certification ISO 9001 versions 2000.lancement de la TPM à Nador et JORF LASFAR.
- **2004** : Certification NM (Norme Marocaine) du rond à béton de JORF LASFAR.
- **2005** : Démarrage de l'aciérie électrique d'une capacité de 650.000 t/an.
- **2006** : partenariat entre ArcelorMittal et SNI pour le développement de SONASID.

Position dans le marché

Premier acteur dans le secteur du BTP, SONASID est le leader sidérurgique marocain sur les produits longs (rond à béton & fil machines) avec **83%** de part de marché et un chiffre d'affaires de **5,7 milliards** en 2006.

Avec près de 900 collaborateurs et à travers ses sites industriels situés à Nador et à Jorf Lasfar, SONASID a une capacité de production annuelle de plus d'un million de tonnes destinée principalement au secteur de la construction nationale. Face aux enjeux de la mondialisation et de la libéralisation croissante des échanges commerciaux, SONASID poursuit sa mise à niveau tant au niveau industriel que stratégique répondant aux exigences d'un marché national en plein essor.

La modernisation permanente de son outil industriel a amené SONASID à concrétiser un projet de grande envergure donnant naissance à la première aciérie électrique du Maroc.

SONASID se positionne également sur le marché des armatures industrielles à travers sa filiale Longo métal Armatures.

Le partenariat conclu en 2006 entre **ArcelorMittal** et SNI représente pour SONASID une opportunité de développement et de synergies.

Véritable référence dans son domaine et consciente de sa responsabilité vis-à-vis de la société, SONASID se distingue par son engagement citoyen au niveau régional, à travers une démarche basée sur la promotion de l'investissement, la création d'emplois et la protection de l'environnement.

Quelques repères sur ArcelorMittal …

- Premier Groupe sidérurgique mondial implanté dans 27 pays et comprenant 320000 collaborateurs dans 61 sites de production.
- Une capacité de production de 118 millions de tonnes.
- Leader sur tous les principaux marchés mondiaux : automobile, construction, électroménager et emballage.
- Un réseau de distribution inégalé et un approvisionnement considérable en matière première

Axes Stratégiques 2007-2009

- Réussir la montée en puissance de l'aciérie électrique.
- Poursuivre le revamping du centre de Nador et tirer profit des investissements antérieurs tout en améliorant la productivité des laminoirs.
- Sécuriser les sources d'approvisionnement en matières premières et en énergie.
- Maintenir une position de leader sur le marché national et se développer à l'export.

- Industrialiser les armatures du bâtiment et des travaux publics.
- Dépasser la production de un million de tonnes par an.

Qualité, Sécurité et Environnement

La mondialisation renforcée par les accords de libre échange implique pour l'entreprise l'application d'un management moderne et la mise en œuvre d'une démarche Qualité Totale. C'est dans ce contexte et dans une optique d'amélioration continue que SONASID s'est fixée des objectifs QSE ambitieux.

Soucieux de répondre aux exigences du marché en termes de qualité, de sécurité, et acteur important dans la réalisation de grands projets d'infrastructures au Maroc, SONASID s'est engagée depuis 1999 dans une démarche de certification qualité de l'ensemble de ses unités. Une orientation qui grâce à la forte mobilisation et implication des équipes s'est traduite par plusieurs consécrations : la certification ISO 9002 du site de Nador en 2001, la certification des produits conformément aux normes marocaines NM et en 2003 la reconnaissance de la conformité de tous les processus de l'entreprise conformément au référentiel ISO 9001 version 2000.

Consciente de sa responsabilité vis-à-vis de toutes les parties prenantes et de son environnement, SONASID s'est fixé en 2005 des objectifs plus ambitieux en élargissant le champ de certification aux aspects Santé, Sécurité au travail et Environnement. Un vaste chantier de certification QSE intégré de l'ensemble de ses sites et de ses activités qui s'est concrétisé, en janvier 2006, par le renouvellement de sa certification ISO 9001 version 2000 ainsi que l'obtention du certificat de conformité au référentiel NM 00.5.801 du Système de Management de la Santé et de la Sécurité au Travail et au référentiel NM ISO 14001 du Système de Management de l'Environnement.

SONASID s'est également vue décerner, en 2006, lors de la 8ème édition du Prix National de la Qualité et du Prix National de la Sécurité au Travail, le 1er prix de la Sécurité au Travail et le 2ème prix de la Qualité dans la catégorie « Grandes Entreprises Industrielles ». Rétribution renouvelée en 2007 (prix qualité) et qui vient saluer les efforts déployés dans la mise en œuvre d'un système de management moderne, toujours à l'écoute des enjeux économiques et sociaux.

Toujours dans le même cadre, la SONASID s'est dotée d'un système de traitement de fumées et d'un pareil système pour les eaux.

II. Procédés de production

1. *Présentation de l'Aciérie*

L'un des projets uniques au Maroc, l'aciérie électrique a démarrée le 18 août 2005 pour produire 800.000 à 1 .000.000 de tonnes de billettes par an, matière première des deux laminoirs.

La complexité du projet a mobilisé d'importantes ressources sur le plan humain. Le chantier fut ainsi parcellisé en une quinzaine de lots attribués à des intervenants nationaux et étrangers justifiant d'une grande expertise. Un effort considérable a été consenti dans la préparation de l'exploitation de l'aciérie. La majeure partie de l'effectif a bénéficié d'une formation pratique dans des aciéries étrangères.

Et voici les étapes de production dans l'aciérie :

Traitement des ferrailles

La ferraille représentant la matière première de l'aciérie est choisie selon deux critères :

- La pureté de la ferraille, exprimée en terme de teneur en métal (ou en fer) et en niveau d'éléments résiduels.
- La densité et la dimension des ferrailles, Une notion de sûreté d'utilisation définie par des règles de sécurité, qui précisent quels sont les matériaux dont la présence est interdite dans la ferraille, parce qu'ils sont toxiques, explosifs ou radioactifs.

La ferraille est reprise sur les parcs par l'intermédiaire des ponts roulants ou des électroaimants ensuite déposée sur un convoyeur (Consteel) qui l'amène vers le four à arcs électriques, où elle sera fondue.

Figure1. Chargement en ferraille

La ferraille est chargée en continu sur un convoyeur spécial (convoyeur Consteel) prolongé par un tunnel dans lequel elle est préchauffée par les fumées sortant du four à arc électrique. La ferraille chute dans un pied de bain liquide en dégageant des fumées chaudes et poussiéreuses.

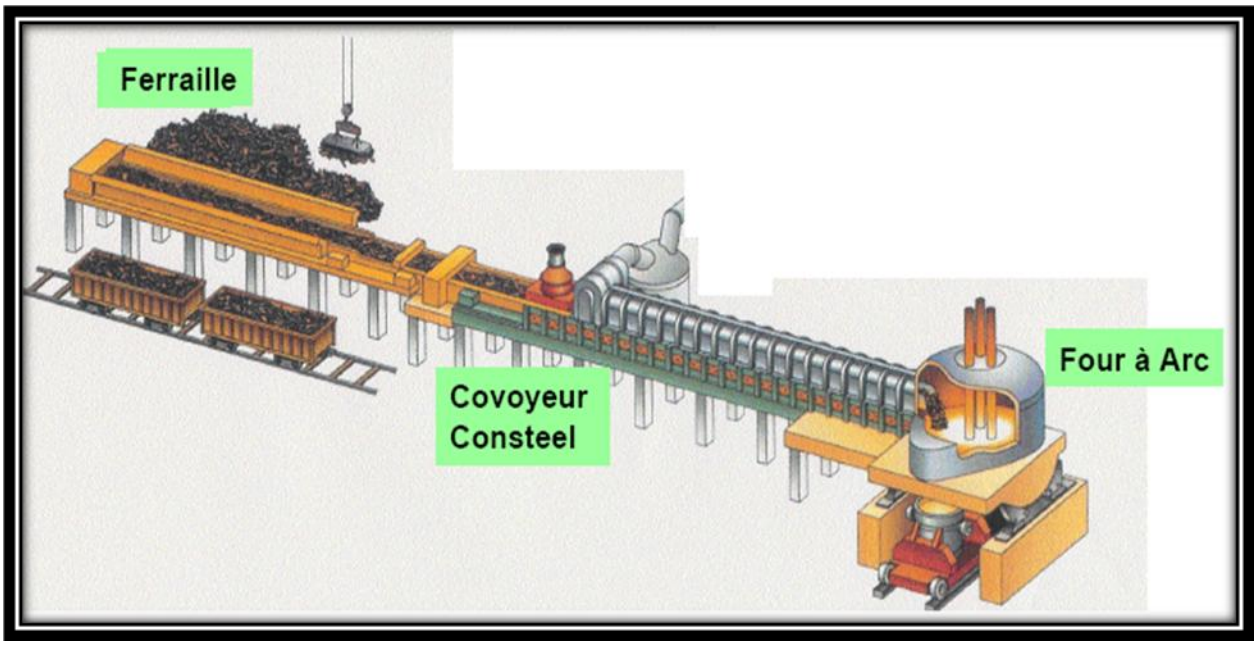


Figure2. Schémas de chargement en ferrailles

La Fusion(EAF) :

Des électrodes en graphite sont plongées dans le four au-dessus des ferrailles et mises sous tension. Un arc électrique s'établit entre les électrodes et la ferraille, le rayonnement dégagé par la colonne de plasma crée, transfère l'énergie thermique nécessaire à la fusion.

L'arc est dévié vers l'extérieur par le champ magnétique crée par les autres électrodes ce qui crée une inhomogénéité de température, on remédie à ce problème par l'ajout des brûleurs oxygène propane de paroi devant ces points froids. Les besoins énergétiques sont complétés par l'injection du charbon et de l'oxygène en profitant du caractère exothermique de la réaction chimique entre ces deux éléments.

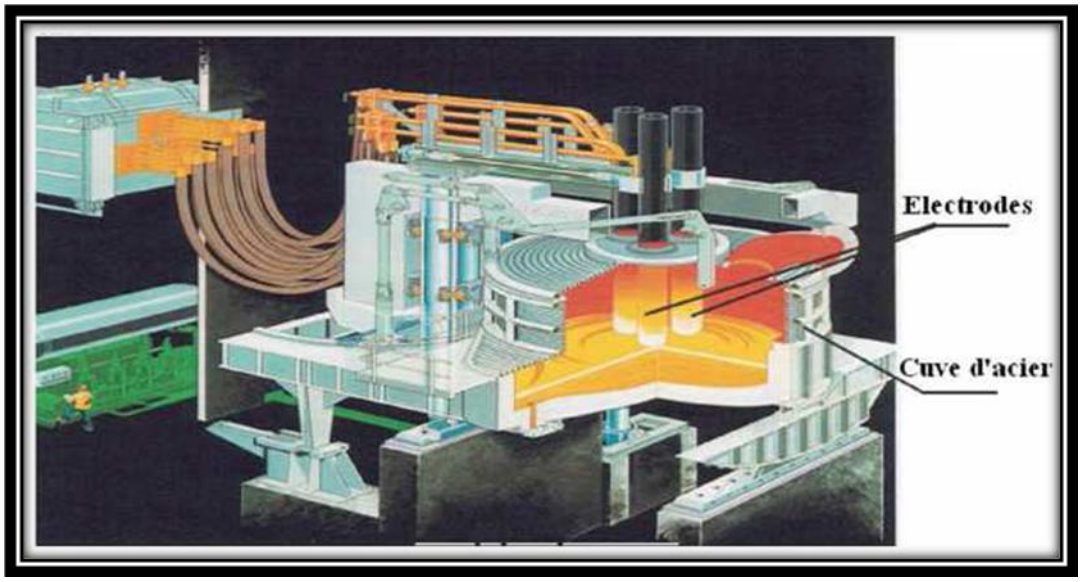


Figure3. Représentation en 3D d'un four électrique à arc

Tant que la ferraille non fondue entoure les électrodes, la lumière de l'arc est interceptée par le métal, mais lorsque la ferraille est suffisamment fondue, l'arc peut rayonner sur les parois du four ce qui constitue une perte d'énergie importante .Donc pour capter cette énergie, on a crée un laitier moussant qui surnage au-dessus du métal, ce laitier empêche le rayonnement direct de l'arc sur les parois extérieurs et transmet l'énergie thermique qu'il capte au métal fondu. Le laitier est crée en injectant de l'oxygène dans le bain enrichi en carbone.

Dans un four à arc électrique, la principale source d'énergie chimique est produite par l'oxydation partielle du carbone dissout dans l'acier en fusion. Le comportement exothermique extrême de cette réaction a mené certains exploitants d'EAF à injecter du carbone solide dans le bain afin de produire davantage de chaleur. Les deux réactions peuvent s'exprimer par les équations (1) et (2) :

Carbonne dissout dans l'acier $\underline{C} + (0.5)\, O_2 \rightarrow CO$ (1)

Carbonne injecté dans le four $C(s) + (0.5)\, O_2 \rightarrow CO$ (2)

Four poche(LRF) :

Lorsque tout le métal est fondu, on procède à la coulée. Le four est d'abord basculé vers l'avant pour décrasser le laitier par la porte de décrassage. Puis il est basculé vers l'arrière pour évacuer le métal fondu via un orifice excentrique. Cet orifice est disposé excentriquement pour éviter un écoulement turbulent qui peut mélanger l'acier avec le laitier, ce dernier étant indésirable vu ses caractéristiques chimique. Une poche sous l'orifice de coulée est destinée à recueillir le métal liquide. La poche est ensuite transférée au four poche où le métal sera mis à la nuance par des

opérations d'additions métallurgiques et d'échange avec un laitier spécifique (scories blanches). Le four poche est également équipé d'électrodes électriques pour maintenir et régler la température.

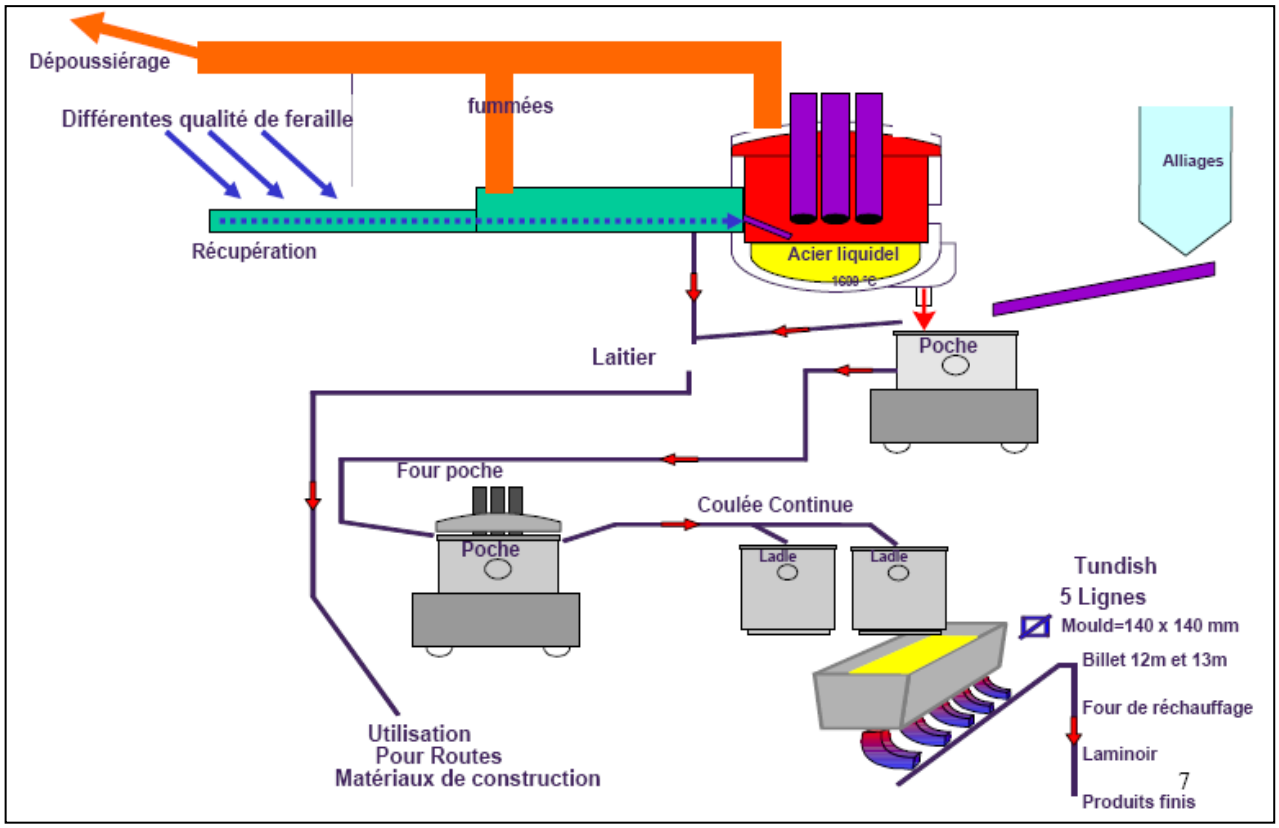


Figure4. Chargement des poches

Parmi les fondants additionnés à la poche, on retrouve la chaux calcinée, la dolomite calcinée, le spath fluor et la silice. Ces fondants sont nécessaires pour atteindre l'objectif de la qualité d'acier.

La majeure partie des éléments d'alliage est ajoutée dans la poche au moment de la coulée. La poche séjourne une vingtaine de minute dans une station de métallurgie en poche (LF), ou la température du métal est ajustée à une valeur convenable pour la coulée continue et la composition chimique est réglée.

Coulée continue(CCM) :

La machine de la coulée continue de billettes à cinq lignes met en œuvre les solutions les plus récentes en matière de coulée continue à grande vitesse. Elle se caractérise surtout par sa conception très « sobre » avec des éléments de construction particulièrement robustes, approche qui contribue à minimiser le coût de production et de maintenance. La lingotière autorise des vitesses de coulée

allant jusqu'à 5,3 m/min pour les billettes de format 140 x 140 mm² pour des longueurs 12 m à 13m.

Cette phase consiste à hisser la poche par un pont roulant en haut du tourniquet de la coulée continue, ensuite on obtient 5 couloir de coulé à partir du tourniquet qui passe dans des lingotières après dans une chambre de refroidissement puis dans un extracteur-redresseur qui assure l'extraction de la billette et en même temps son redressage par le biais des rouleaux qui tournent en contact avec la billette en coulée enfin intervient la phase de l'oxycoupage chaque 12m. Les produits issus de la coulée continue sont des billettes qui peuvent être laminées directement ou refroidies et mises au stock pour être laminées ultérieurement.

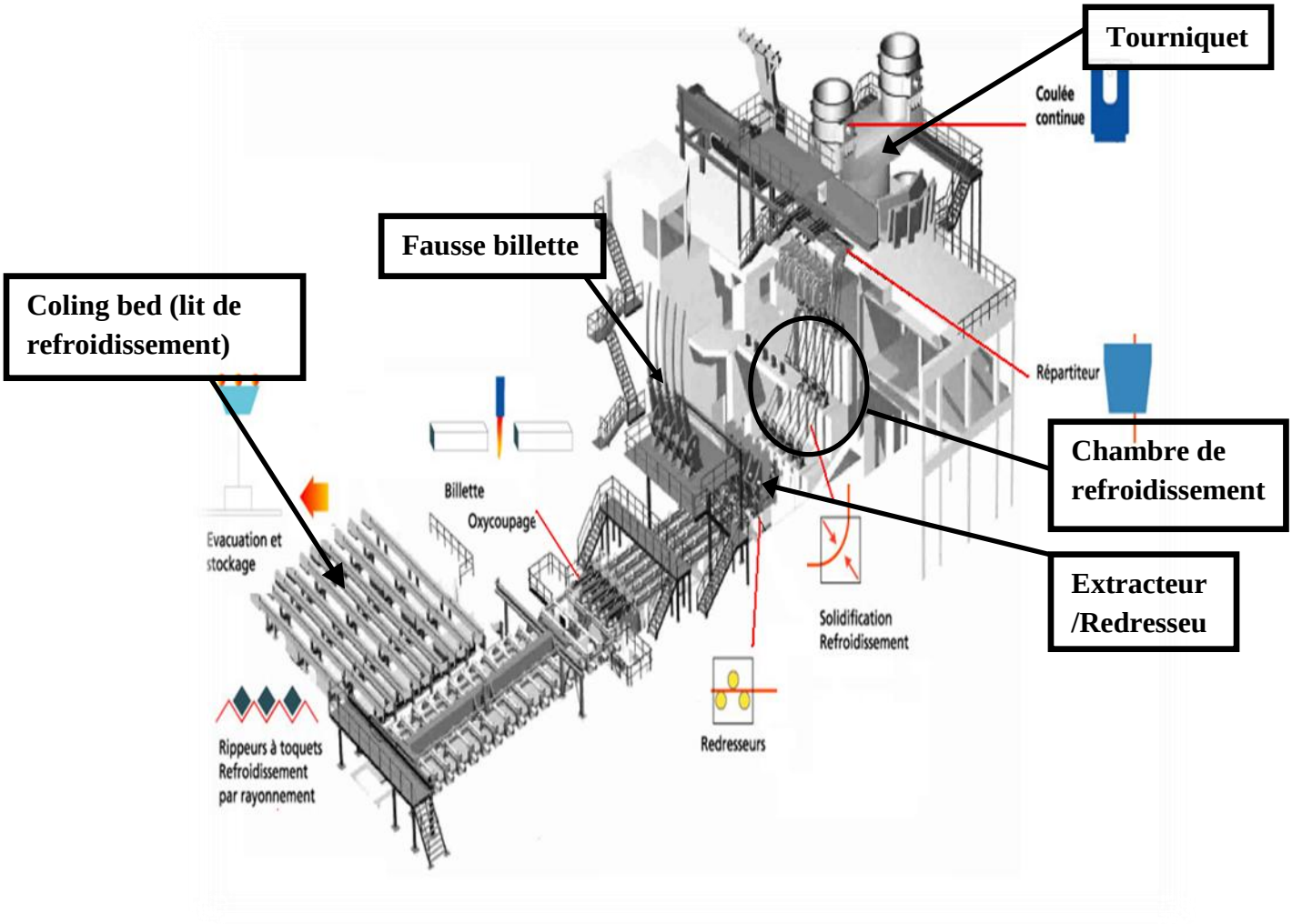


Figure5. Machine à coulée continue

2. *Présentation du laminoir*

Les billettes produites à l'aciérie constituent la matière première du laminoir et voici les différentes étapes du site laminoir :

Parc à billettes

Les billettes sont stockées dans deux parcs externes et internes situés du côté ouest du laminoir. Le parc de stockage interne est situé à l'entrée du four de réchauffage. L'alimentation du parc en billettes peut se faire soit à partir du parc externe, qui se trouve à proximité du parc interne du côté ouest, par des chariots élévateurs soit directement à partir des camions.

Le chargement des billettes dans le four se fait à partir du parc interne par le biais d'un pont roulant de 20t et d'une table de chargement qui se trouve avant l'entrée du four

Four de réchauffage

Le four de réchauffage est un four à sole mobile à combustion par le haut avec brûleurs latéraux et frontaux. Les billettes sont rangées à l'intérieur du four en une rangée de 12m. La capacité nominale du four pour un chargement à froid est de 80t/h. Lorsque la billette atteint la température idéale de laminage, elle est déchargée et transférée vers la ligne de laminage.

Train de laminage

Le train de laminage est constitué de 18 cages. Il s'étale sur une longueur d'environ 55m.

- Le train dégrossisseur, cages 1 à 6, est composé de 3 cages verticales et de trois cages horizontales disposées en alternance. L'ensemble est conçu de façon à avoir un laminage continu de billettes sans torsion. Une cisaille à arracher est installée à l'entrée du train dégrossisseur pour le cisaillement d'urgence de la billette.
- Le train intermédiaire, cages 7 à 12 est conçu de la même manière que le train dégrossisseur pour un laminage de billettes sans torsion. Une cisaille à ébouter est située entre le train dégrossisseur et le train intermédiaire. Les aboutages tête et queue de la billette sont effectués automatiquement par cette cisaille. Elle sert également en cas d'urgence pour tronçonner la billette.
- Le train finisseur, cages 13 à 18, est composé d'une alternance de cages horizontales et convertibles. Les cages convertibles peuvent travailler en position verticale ou horizontale.

Le train est constitué d'une seule ligne de laminage qui se répartie, dans le train finisseur, en deux ou trois veines pour les ronds à béton et les ronds mécaniques pour les diamètres 08mm à 14mm. Les autres produits sont laminés en une seule veine.

Figure6. Train de laminage

Zone de finissage

Situé après le train de cage, cette zone s'étale sur une longueur d'environ 170m. Elle comprend le refroidissement du produit, la formation des paquets, le ligaturage et le transfert vers la zone de stockage.

Figure7. Zone de finissage

Parc de stockage du produit fini

Le parc interne de stockage couvre une superficie d'environ 4000 m². Ce parc est équipé de trois ponts roulants : Deux sur une même ligne et le troisième sur l'autre ligne.

Ces trois ponts roulants assurent le transfert des fardeaux du convoyeur vers les zones de stockage et le chargement des camions à partir de ces zones.

Figure8. Parc de stockage

Chapitre II

Classification des équipements du four à arcs électriques (EAF)
(Identification des équipements critiques)

I. BUT du chapitre :

Le but de la classification des équipements du four à arcs électrique consiste à identifier les équipements les plus critiques, **en fonction de la durée d'intervention et de la fréquence** des pannes de chaque équipement, et ceux afin d'identifier les causes principales et les solutions correctives ou préventives de celles-ci. L'identification des causes se fera via une étude AMDEC de chaque équipement critique identifié.

Cette classification est menée sur la base des rapports journaliers de maintenances de l'année 2009. Et pour s'assurer des résultats obtenus au niveau de cette classification, une autre classification sera effectuée sur l'après arrêt annuel du mois de novembre à savoir le mois de décembre2009 et mars2010.

NB : les rapports journaliers de maintenances de quelques mois n'étaient pas disponibles.

Procédure :

- Rassembler les différentes interventions concernant le four à arcs électrique.
- Faire une classification des équipements sur chaque mois en fonction de **« durée d'intervention*fréquence ».**
- Faire une classification sur l'année 2009
- Analyse des résultats.

Avant de procéder à la classification des équipements, il est primordial d'identifier en 1er lieu les différents équipements du four.

II. Description des équipements EAF :

Le four électrique est formé par les composants suivants :

- Système de basculement du four :
  - Plate forme de support
  - Système de blocage de la plate forme
- Cuve et panneaux refroidis à l'eau
  - Porte de décrassage
- Coulée en poche à trou excentrique (EBT)
- Lance d'ouverture EBT
- Ensemble de levage/rotation de la voûte
- Voûte refroidie
- Ensemble de levage des électrodes
- Bras porte électrode
- Circuit secondaire
- Câbles souples refroidis

- Matériaux réfractaires
- Installation d'aspirations fumées
- Isolants électriques
- Système de graissage
- Système de refroidissement
- Système hydraulique
- Passerelles et échelles
- Chariot de translation/porte poche
- Auxiliaire : système d'injection de carbone et la lance MORE.

1. système de basculement du four :

Ce système est constitué de deux gros vérins hydrauliques commandés par une centrale hydraulique, fixés aux fondations et latéralement connectés à la plate-forme du côté de décrassage ; ils sont protégés contre la chaleur et la chute de matières étrangères par un mur de béton armé recouvert de briques réfractaire.

Système de blocage de la plate-forme :

Deux dispositifs de blocage sont installés sur la plate-forme de support pour empêcher que le four bascule spontanément vers la position de décrassage pendant le chargement et la fusion de la ferraille. Ces dispositifs de blocage sont formés par deux leviers commandés par deux vérins hydrauliques à double effet.

Les vérins absorbent les contraintes au choc pendant le chargement de la ferraille en empêchant leur transmission au système de basculement.

2. cuve et panneaux refroidis :

La cuve est soutenue et fixé à la plate-forme de basculement.

Cuve inférieur :

La cuve inférieure a une forme ovale, en plaques d'aciers épaisses, complètement soudée et renforcée avec cordons. Cette cuve est renforcée par des couches de briques réfractaires. Elle est équipée d'injecteur de gaz pour le brassage du bain.

Cuve supérieur :

La cuve supérieur est constituée de panneaux refroidis ayant des formes différentes, conçus pour obtenir le meilleur refroidissement de tous les composants du four. Les panneaux de refroidissement donnent à la cuve une structure modulaire en remplaçant le revêtement réfractaire, ce qui fait augmenter la capacité de la cuve.

Porte de décrassage :

La porte de décrassage sert à dégager la première couche de laitier de la coulée.

La porte de décrassage est constituée d'un panneau refroidi à eau. Elle est commandée par un vérin hydraulique qui fait lever/baisser (ouvrir/fermer) la porte.

3. EBT (dispositif de coulée en poche à trou excentrique) :

L'EBT, monté sur le fond du four électrique à arc, sert à obtenir une coulée en poche compacte, avec un débit concentré sans laitier. Le trou de coulée est rempli de sable réfractaire, et le dispositif de fermeture marche selon le principe d'un tiroir actionné par un système hydraulique.

Généralement, chaque EBT est constitué de :

- Un trou de coulée formé par un jeu briques réfractaires en anneau, appuyées sur une bride en acier fixé à la cuve du four au moyen de goupilles et coins.
- Un dispositif refroidi à l'eau contrôlé par un vérin hydraulique qui commande la plaque d'ouverture et la fermeture du trou de coulée.
- Un circuit de refroidissement pour les composants du système, tel que le bras de la plaque, les vérins hydraulique de rotation de blocage.

4. lance d'ouverture EBT : (si prévu)

La lance d'ouverture de l'EBT est utilisée seulement dans des situations d'urgence, c'est-à-dire lorsque le système de coulée en poche à trou excentrique est colmaté et empêche que l'acier sorte. Dans une telle situation, la lance est placée en-dessous du trou et de l'oxygène est injecté jusqu'à ce que le trou s'ouvre et l'acier sorte.

5. Ensemble de levage et rotation de la voûte :

L'ensemble de levage et de rotation est un soubassement fixé à la plate-forme par un gros palier de poussée qui garantit, au moyen d'un vérin hydraulique, la rotation de la structure supérieure, et par conséquent, la rotation des colonnes-pont qui soutiennent la voûte et des mâts-bras des électrodes.

L'ensemble de levage de la voûte est fixé au soubassement et actionné par vérin hydraulique à double effet.

Un dispositif mécanique commandé par un vérin hydraulique bloque le mât en position élevée en cas de manque de pression.

L'ensemble de levage et rotation est conçu pour faire tourner les bras porte-électrodes tandis que la voûte reste sur la cuve du four sans aucun débranchement mécanique.

6. Ensemble de levage des électrodes :

Le système est composé de mâts (un pour chaque électrode) formés par une structure en acier à la quelle sont soudés des guidages, ces guidages se déplacent sur 4 paires de roues installées sur des supports fixés au carter de support, dont la position, par rapport aux guidages, peut être réglée pour obtenir une verticalité parfaite de l'électrode.

Chaque mât est activé par son vérin hydraulique, sa partie inférieure est fixé au fond de la structure rotative alors que sa partie supérieure est fixé à la structure du mât.

7. Bras porte-électrodes conducteur :

Chaque bras porte-électrode est composé de plaques bimétalliques cuivre-acier soudées. Ces bras sont complétés de tuyaux souples pour alimenter et décharger l'eau de refroidissement.

L'attache entre l'électrode et la pince est au moyen d'un ensemble pousseur/serreur composé d'une série de rondelles ressorts, qui bloquent l'électrode au cas en cas de manque de pression dans le circuit hydraulique du four.

L'ouverture de la pince (dégagement de l'électrode) est par un vérin hydraulique, dont la force est supérieure à celle des rondelles ressort.

Le bras porte-électrode est fixé de façon permanente à la partie supérieure du mât :

La forme de cette partie permet de régler la position du bras dans certaines limites afin de régler le diamètre primitif et mettre en place les électrodes à l'intérieur du logement de la voûte centrale.

8. Circuit secondaire :

Ce circuit sert à créer une connexion électrique entre le transformateur et les câbles de courant souples connectés aux bras porte-électrode. Le circuit est formé par des tuyaux conducteurs en cuivre refroidis et comprend également une structure de support soudée complétée de supports pour les fils conducteurs.

9. Electrode au graphite :

Les électrodes au graphite possèdent les qualités physiques, chimiques et électrique nécessaires pour la fusion de l'acier.

10. Installation d'aspiration de fumée :

L'aspiration des fumées du four électrique est effectuée par un système spécifique indépendant (la dépoussiéreuse FTP). Les fumées sont rassemblées à travers le canal de chargement : une légère pression négative est crée à l'intérieur du four, ce qui permet de rassembler et décharger les fumées et les poussières produites pendant le procédé.

11. Système de graissage :

Le système à lignes double centralisé avec inverseur automatique est composé d'une motopompe avec réservoir, d'un équipement électrique de commande, de filtres, des tuyaux rigides et flexibles pour la connexion avec les points d'usage (roue de guidage du mât, palier de butée de rotation et articulation du vérin).

12. Système de refroidissement :

L'eau est le fluide de refroidissement principalement utilisée au cours du refroidissement commandé des composants du four exposés aux radiations thermiques.

Le système est à circuit fermé, sauf pour le circuit de refroidissement des électrodes amovibles. Le tout est alimenté avec l'eau propre et filtrée, provenant du système de traitement des eaux de l'aciérie.

13. Système hydraulique :

Le système hydraulique est composé principalement d'une centrale, de tuyaux flexible et rigides ainsi que de dispositifs de réglage et de commande : il fournit un fluide hydraulique à haute pression vers les vérins moteurs (levage, baisse, verrouillage…) et aux systèmes asservis pour le réglage des électrodes du four.

14. chariot poche :

Ce chariot transporte la poche de la zone de coulée (EBT) du four à la station de la poche. Le chariot est constitué essentiellement des éléments suivant :

- Une solide structure en acier soudée avec deux longerons latéraux supportant les groupes moteurs et les galets de roulement raccordés par deux longerons en position de tête.
- Deux selles d'appui pour la poche avec un système de pesage pour contrôler constamment la quantité d'acier dans la poche.
- Des protections pour la structure du chariot ainsi que pour les pièces mécaniques et électriques.

15. Auxiliaire :

a. Lance PALMUR (MORE) :

Le manipulateur PALMUR est un équipement qu'on utilise pour injecter l'oxygène et le charbon à l'intérieur du four électrique pendant la fusion d'une charge métallique.

b. Modulo :

Le four électrique possède un système de 2 "modulo" plus un oxyjet pour injecter le charbon et l'oxygène à l'intérieur du four.

Chaque modulo est composé d'un oxyjet et d'un carbone-jet.

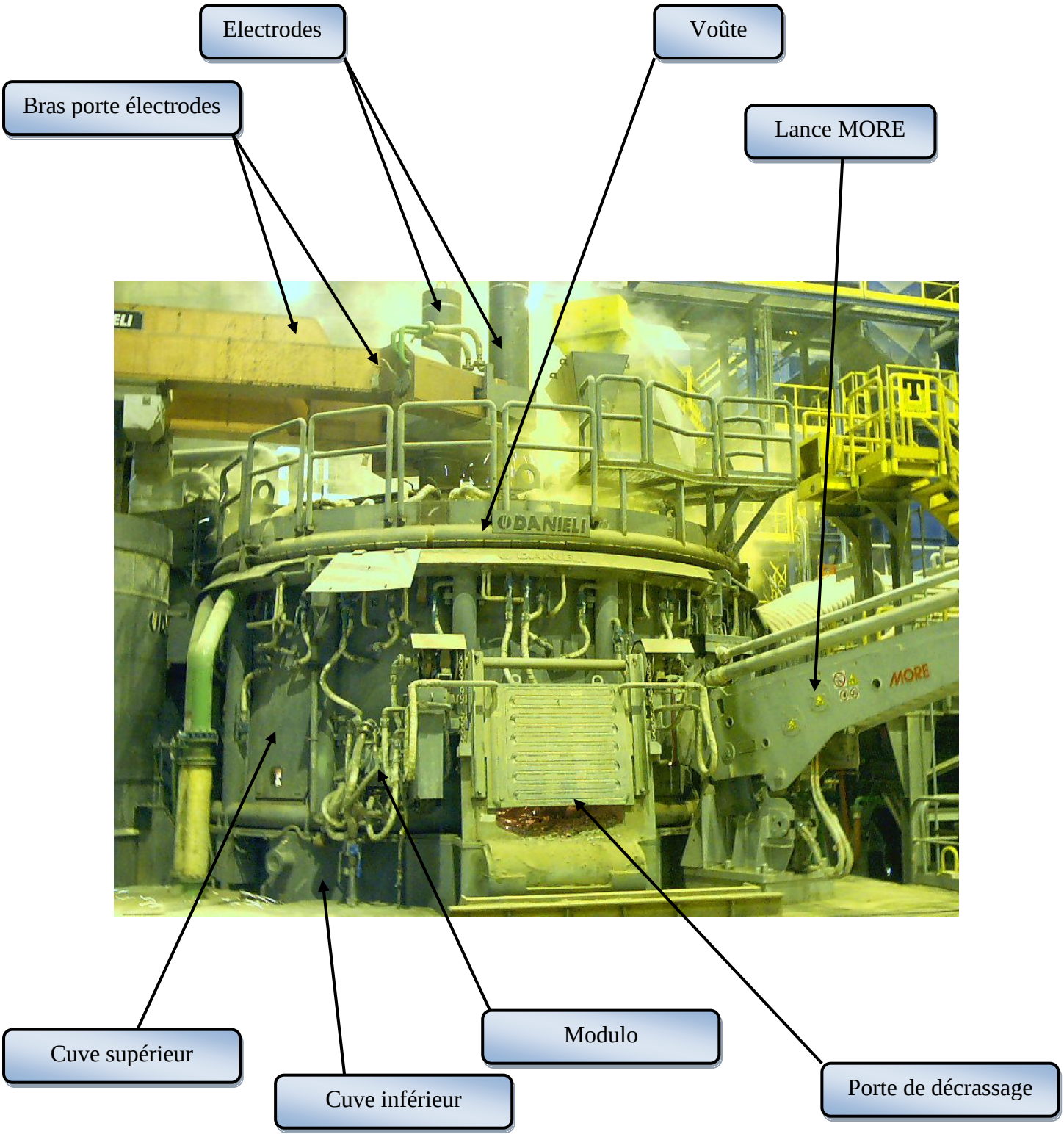


Figure1. Four à arcs électrique

III. la classification des équipements du four à arcs électriques :

1. Classification par mois :

La classification se fera sur les premiers neufs mois 2009 qui sont disponibles. Sur les neufs mois, une même procédure sera faite à savoir classifier les équipements selon « **la durée d'intervention** » et selon « **la durée d'intervention*fréquence d'indisponibilité** ».

a. Mois de janvier 2009 :

Le tableau ci-dessous illustre les différents équipements critiques du mois de janvier, ainsi que la durée d'intervention (maintenance) engendré par différentes pannes et aussi la fréquence d'indisponibilité de chaque équipement. Dans la dernière colonne est calculé le produit « durée d'intervention*fréquence » qui n'est qu'un facteur de classification entre les différents équipements.

Equipement critique	durée d'intervention (min)	fréquence / jours	durée*fréquence
carbone jet	2340	2	4680
EBT	963	0.5	481
guniteuse	1320	0.875	1155
lance O2	195	0.25	49
disjoncteur 30KV	270	0.5	135
canne de T°	915	1.125	1029
centrale hydraulique/graissage	600	0.875	525
chariot poche	480	0.625	300
autre	1530		
temps totale d'intervention = 8613min			

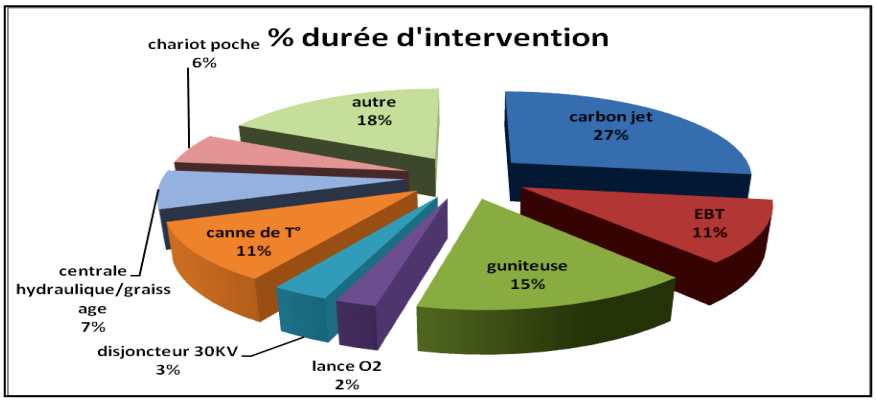
Tableau1. Equipements critiques du mois de janvier2009

Le graphique1-a ci-dessous illustre le pourcentage engendré par chaque équipement du temps total d'intervention de maintenance sur tous les équipements du four (EAF).

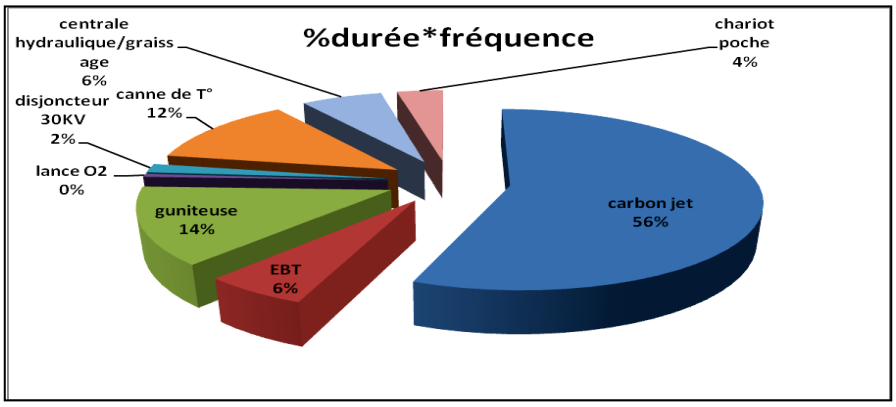
Or, le graphique2-a met en valeur la fréquence d'indisponibilité et la durée d'intervention en même temps en calculant le produit « fréquence*durée ».

NB :

$$\text{Fréquence} = \frac{\text{nombres d'interventions}}{\text{30 jours}}$$



Graphique a-1



Graphique a-2

Analyse des résultats :

En analysant les résultats du graphe 1-a, on voit bien que les équipements critiques sont : le carbone jet 27%, guniteuse 15%, l'EBT et les cannes de température avec 11%, centrale hydraulique 7%, chariot poche 6%, disjoncteur30KV 3% et la lance MORE avec 2% de la durée totale des interventions faite sur le four à arcs électriques du mois de janvier 2009.

La différence entre les pourcentages devint très claire lorsqu'on multiplie durée d'intervention et fréquence d'indisponibilité ou de pannes de l'équipement (graphe2-a). Le carbone jet avec un pourcentage de 56% est certes l'équipement le plus critique, puisque il enregistre une forte fréquence d'indisponibilité qui est égale à : **f = 2 (intervention/jour)**.

Cette même démarche et analyse est faite sur les autres 8 mois de 2009 qui suivent.

NB : l'étude est faite sur 9 mois seulement et non pas sur toute l'année à cause de la non disponibilité des rapports journaliers de maintenances des 3 derniers mois.

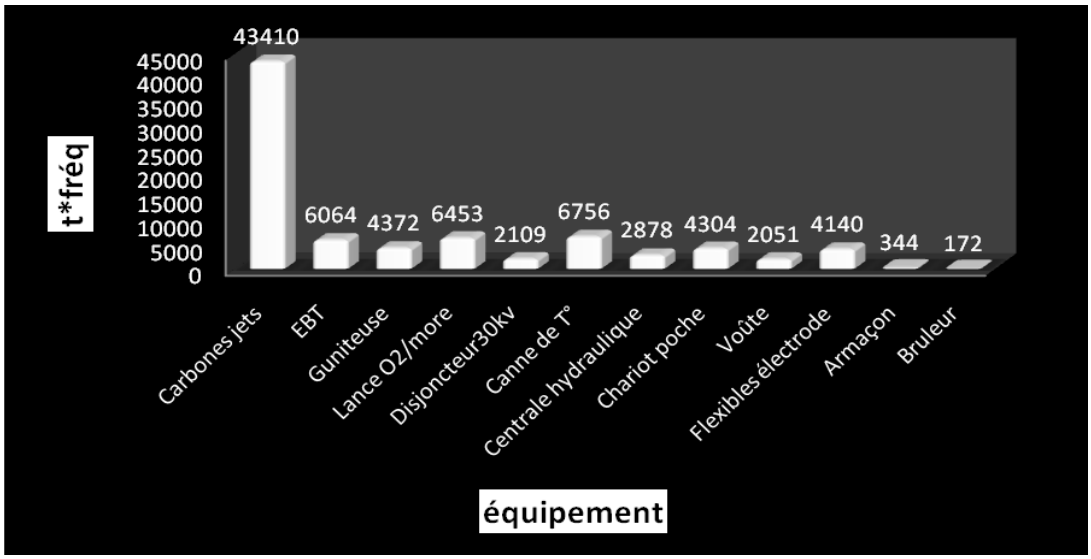
Remarque : pour voir la classification des autres mois veuillez consulter l'annexe.

2. Classification sur neufs mois de 2009 :

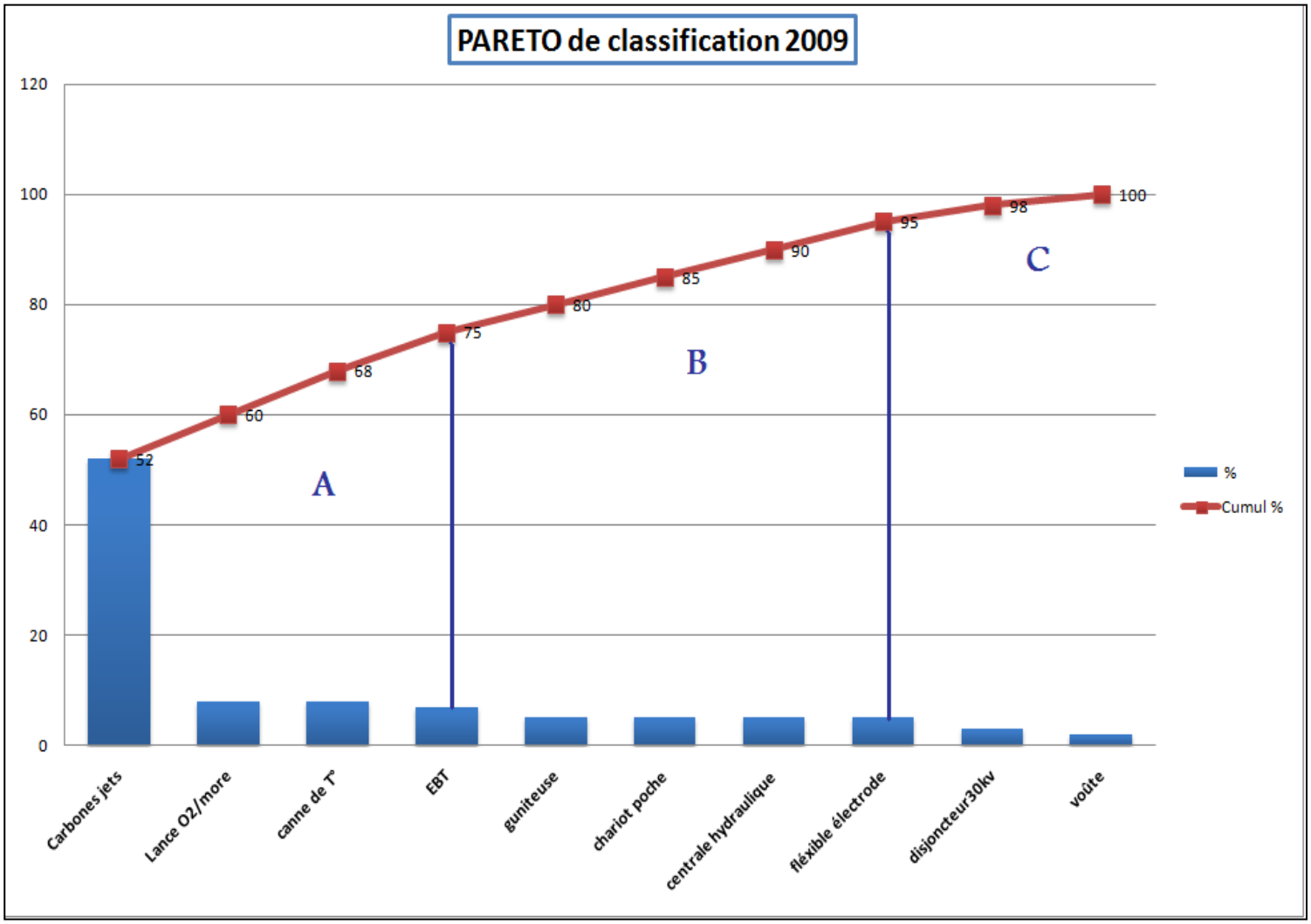
		(Durée d'intervention*fréquence)													
		janvier	févier	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	**Somme sur les 9mois**	**%**	**Equipement classé**	**%**	**Cumul %**
Les équipements	Carbones jets	4680	3780	1518	3223	7722	9519	4165	7260	1543	43410	52	Carbones jets	**52**	**52**
	EBT	481	1800	1860	193	576	127	578	35	414	6064	**7**	Lance O2/more	**8**	**60**
	Guniteuse	1155	1095	1738	204	40	40	25	25	50	4372	**5**	canne de T°	**8**	**68**
	Lance O2/more	49	27	33	3844	556	265	64	153	1462	6453	**8**	EBT	**7**	**75**
	Disjoncteur30kv	135	216	10	319	290	385	246	473	35	2109	**3**	guniteuse	**5**	**80**
	Canne de T°	1029	930	680	340	649	629	460	256	1783	6756	**8**	chariot poche	**5**	**85**
	Centrale hydraulique	525	67	253	_	1910	30	_	93	0	2878	**5**	centrale hydraulique	**5**	**90**
	Chariot poche	300	432	29	180	198	721	1786	603	55	4304	**5**	flexible électrode	**5**	**95**
	Voûte		93		131	1344		79	48	356	2051	**2**	disjoncteur30kv	**3**	**98**
	Flexibles électrode	_	_	210	_	1277	2177	324	110	42	4140	**5**	voûte	**2**	**100**
	Armaçon	_	_	_	_	42	_	_	155	147	344	**0**	Armaçon	**0**	
	Bruleur	_	_	_	_	_	42	86	_	44	172	**0**	bruleur	**0**	

Tableau2. Analyse PARETO des équipements critique 2009

NB : la classification a été faite sur 9 mois seulement, en raison de l'indisponibilité des rapports journaliers des mois d'octobre et novembre. Sachant que pendant les premiers 15 jours du mois de novembre, la production était en arrêt (arrêt annuel programmé maintenance).



Graphique1. Classification des équipements critiques



Graphique2. Analyse PARETO des équipements Critiques 2009

Interprétation des résultats :

Sur les neufs premiers mois 2009, on a pu identifier 10 équipements critiques du four à arcs électriques **en fonction de la durée d'interventions et la fréquence de panne** :

- Système d'injection de carbone : 50%,
- Lance PALMUR : 8%,
- Cannes de température : 8%,
- EBT : 7%,
- Guniteuse : 5%,
- Chariot poche : 5%,
- Centrale hydraulique : 5%,
- Flexible électrode : 5%,
- Disjoncteur 30KV : 3%,
- Voûte : 2%.

Et afin d'identifier les équipements les plus critiques, une analyse PARETO était nécessaire, pour identifier les 20% d'équipements engendrent 80% des durée d'interventions maintenance.

Analyse PARETO :

Donc d'après la courbe PARETO (Graphique2), les équipements les plus critiques (la classe A : 20% d'équipements engendrant 75% de durée d'intervention) sont :

- Système d'injection de carbone,
- Lance PALMUR,
- Cannes de température,
- EBT.

Après avoir identifié les équipements critiques, il faudrait absolument valider les résultats obtenus :

Mode de validation :

- Validation par expertise : une discussion était faite avec les différents techniciens du bureau de méthodes et le responsable de la zone four. l'identification des équipements critiques était plus au moins validée.

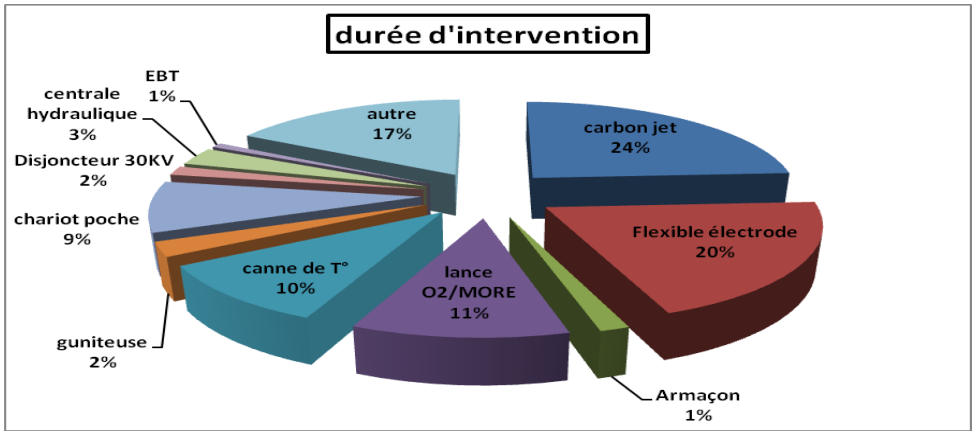
- Validation par une nouvelle étude : après l'arrêt annuel du mois de novembre, des améliorations étaient réalisées, d'où l'obligation de faire une nouvelle étude sur l'après novembre. Cette étude sera faite sur le mois de Décembre2009 et le mois de Mars2010.

3. la classification sur les mois de décembre2009 et mars2010 :

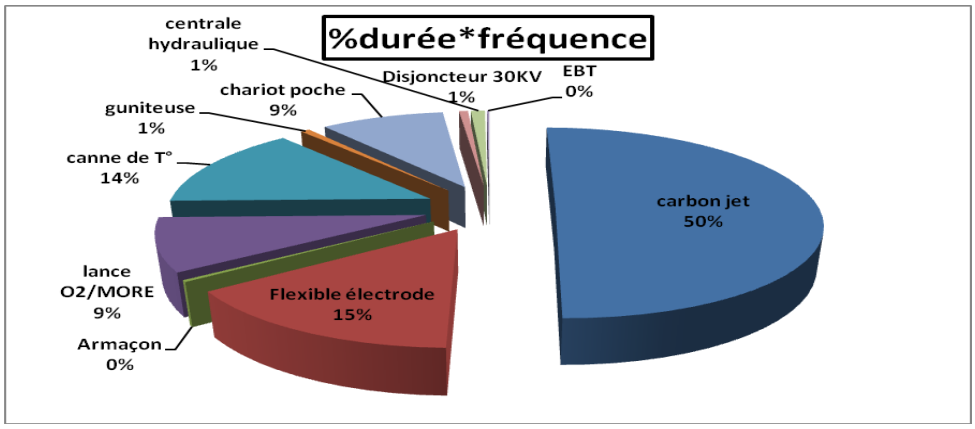
a. Mois de décembre 2009 :

Equipement critique	durée d'intervention (min)	fréquence / jours	durée*fréquence
carbone jet	2954	1	2954
Flexible électrode	2465	0.36	887
Armaçon	183	0.1	18
lance O2/MORE	1320	0.4	528
canne de T°	1237	0.66	816
guniteuse	300	0.13	39
chariot poche	1054	0.5	527
Disjoncteur 30KV	191	0.2	38
centrale hydraulique	373	0.16	60
EBT	100	0.1	10
autre	2075		
temps totale d'intervention= 12252min			

Tableau3. Equipements critiques du mois de décembre2009



Graphique1-a

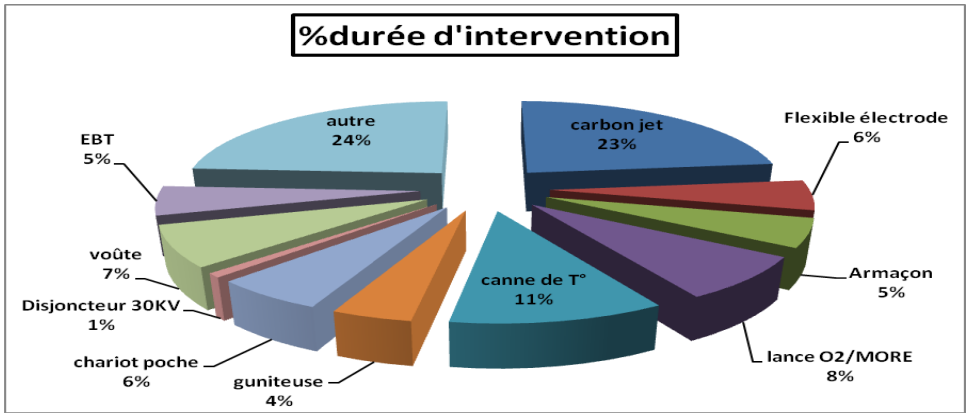


Graphique2-a

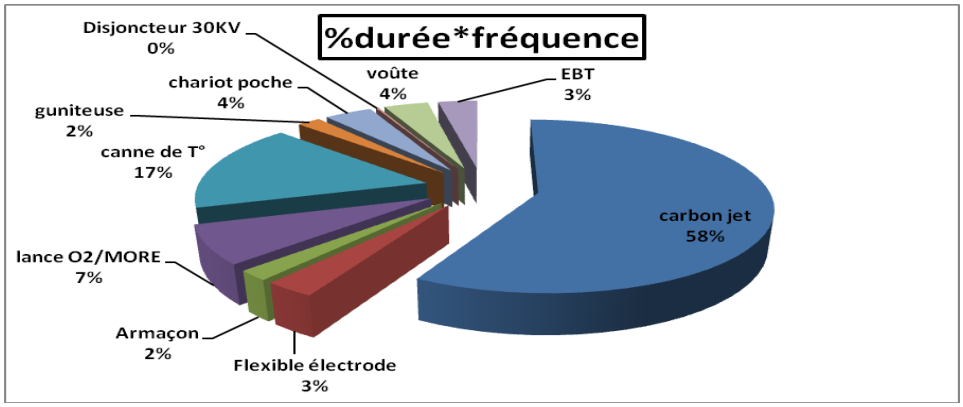
b. Mois de Mars 2010 :

Equipement critique	durée d'intervention (min)	fréquence / jours	durée*fréquence
carbone jet	2837	1.33	3773
Flexible électrode	656	0.3	197
Armaçon	625	0.2	125
lance O2/MORE	950	0.5	475
canne de T°	1350	0.8	1080
guniteuse	506	0.23	127
chariot poche	713	0.36	257
Disjoncteur 30KV	95	0.16	15
voûte	900	0.26	240
EBT	638	0.33	211
autre	2943		
temps totale d'intervention= 12213min			

Tableau4. Equipements critiques du mois de mars2010



Graphique1-b

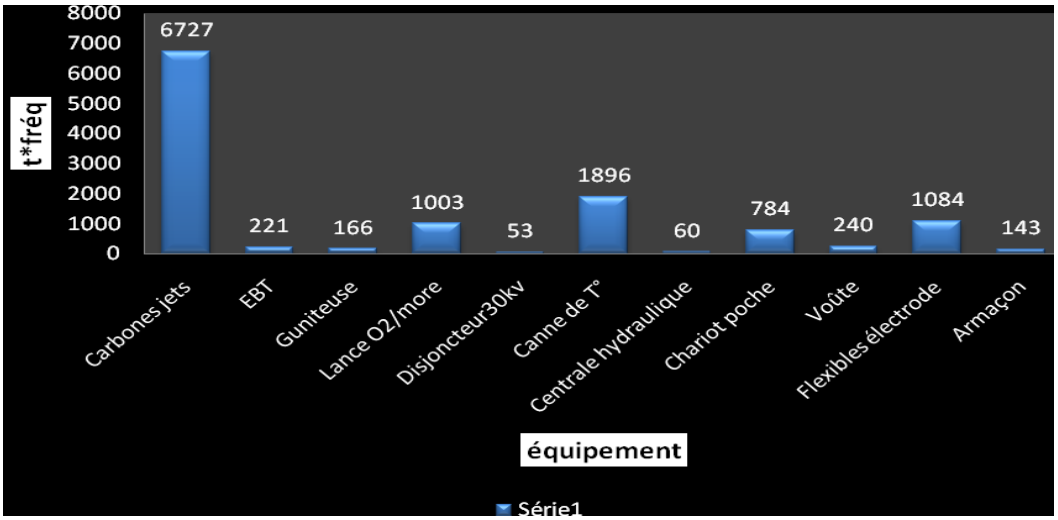


Graphique2-b

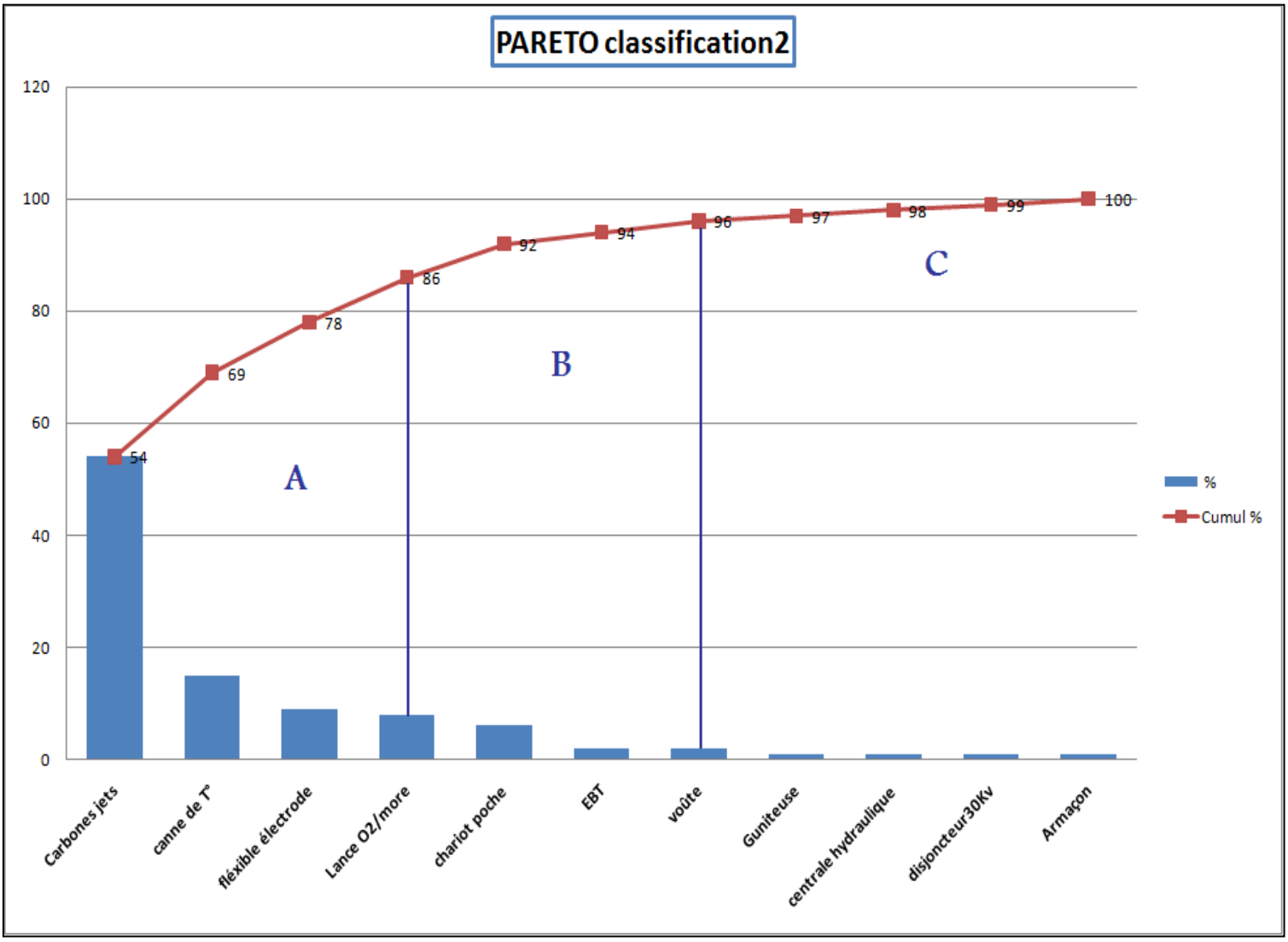
c. Classification sur les deux mois décembre 2009 et mars 2010 :

		durée d'intervention*fréquence						
Les équipements		Décembre2009	Mars2010	**Somme sur les 2mois**	**%**	**Equipement classé**	**%**	**Cumul %**
	Carbones jets	2954	3773	6727	54	Carbones jets	**54**	**54**
	EBT	10	211	221	1.78	canne de T°	**15**	**69**
	Guniteuse	39	127	166	1.34	flexible électrode	**9**	**78**
	Lance O2/more	528	475	1003	8.1	Lance O2/more	**8**	**86**
	Disjoncteur30kv	38	15	53	0.42	chariot poche	**6**	**92**
	Canne de T°	816	1080	1896	15.31	EBT	**2**	**94**
	Centrale hydraulique	60		60	0.48	voûte	**2**	**96**
	Chariot poche	527	257	784	6.04	Guniteuse	**1**	**97**
	Voûte		240	240	1.93	centrale hydraulique	**1**	**98**
	Flexibles électrode	887	197	1084	8.75	disjoncteur30Kv	**1**	**99**
	Armaçon	18	125	143	1.15	Armaçon	**1**	**100**

Tableau5. Analyse PARETO



Graphique3. Classification des équipements critiques



Graphique4. Analyse PARETO

Interprétation des résultats :

Sur ces deux Mois, on a pu identifier 11 équipements critiques du four à arcs électriques **en fonction de la durée d'interventions maintenance et la fréquence de panne** :

- Système d'injection de carbone : 54%
- Canne de température : 15%
- Flexible électrode : 9%
- Lance PALMUR : 8%
- Chariot de poche : 6%
- EBT : 2%
- Guniteuse, Centrale hydraulique, Disjoncteur30KV et les Armaçon : 1%

Analyse PARETO :

La courbe PARETO permet d'identifier les 20% d'équipements engendrant 86% des durées d'intervention maintenance :

- Système d'injection de carbone,
- Canne de température,
- Flexibles électrodes,
- Lance PALMUR (MORE).

Comparaison :

La comparaison entre la première étude et la deuxième étude permet d'identifier la différence suivante :

- Dans la deuxième étude l'EBT figure dans la classe B, alors que c'est le contraire sur la première étude.
- Dans la deuxième étude les flexibles électrodes figure dans la classe A, alors que dans la première étude dans la classe B.

4. Identification des équipements critique :

D'où, les équipements critiques sont :

- Système d'injection de carbone,
- Cannes de température,
- Lance PALMUR (lance MORE),
- Flexibles électrodes,
- EBT (trou excentrique de coulé).

5. Prise de décision des équipements critique à étudier :

Equipement critique	Durée d'intervention	Gravité	Impacte sur la production	**Pondération**	Décision	Méthode
Système d'injection de carbone	3	2	2	12	A étudier	Etude AMDEC
Cannes de température	2	1	1	2	Ne pas étudier	——
Lance PALMUR	2	2	2	8	A étudier	Etude AMDEC
Flexible électrode	2	3	3	18	A étudier	PCRP (processus créatif de résolution de problème)
EBT	1	2	2	4	Ne pas étudier	——

Tableau5. Tableau de décision

Haut(e)	3
Moyen(ne)	2
Bas (se)	1

Tableau6. Tableau de pondération

Chapitre III

Etude AMDEC des équipements critiques « système d'injection de carbone » et « Lance PALMUR »

I. Principe pour mener une étude AMDEC :

1. Historique :

La méthode AMDEC a été utilisée originellement dans le traitement des risques potentiels inhérents aux activités de production de l'armement nucléaire. Progressivement, elle a été adaptée à l'ensemble des activités à risques (nucléaire civil, domaine aéronautique, spatial, grands travaux…), puis a été intégrée dans les projets industriels. De nos jours, son emploi est très répandu dans le monde industriel soit pour améliorer l'existant, soit pour traiter préventivement les causes potentielles de non performance des nouveaux produits, procédés ou moyens de production.

L'utilisation de l'AMDEC peut paraître fastidieuse ; cependant, les gains qu'elle permet de réaliser sont très souvent bien plus importants que les efforts de mise en œuvre qu'elle suggère. La mise en œuvre de l'AMDEC offre une garantie supplémentaire pour l'entreprise industrielle de l'amélioration de ses performances.

L'AMDEC est une technique d'analyse rigoureuse qui s'effectue par un travail de groupe, très efficace par la mise en commun de l'expérience et de la compétence de chaque participant.

Par une procédure systématique, bien définie, le groupe évalue et analyse les différents modes et causes de défaillances potentielles d'un produit, d'un processus, d'un moyen de production ou de tout autre système. La méthode fait ressortir la nécessité de mettre en place des actions correctives et/ou préventives.

A condition :

- De définir le système étudié de façon rigoureuse (analyse fonctionnelle),
- D'examiner de manière exhaustive l'ensemble des défaillances et des risques qui leurs sont liés,
- De quantifier ces défaillances en évaluant leur criticité.

2. But d'AMDEC :

- Réduire le nombre des défaillances.
- Prévention des pannes.
- Améliorer la maintenance préventive.
- Réduire les temps d'indisponibilité parés défaillance.
- Prise en compte de la maintenabilité dés la conception.
- Améliorer la maintenance corrective.
- Améliorer la sécurité.

3. les démarches pratiques d'une étude AMDEC machine :

Une étude AMDEC machine comporte quatre étapes successives, soit un total de 21 opérations. La puissance d'une étude AMDEC réside autant dans son contenu que dans son

exploitation. Une étude AMDEC reste sans valeur si elle n'était pas suivie par la mise en place effective des actions correctives préconisées par le groupe, accompagnées d'un contrôle systématique.

ETAPE 1 : INITIALISATION

BUT :

L'initialisation de l'AMDEC machine est une étape préliminaire à ne pas négliger. Elle est menée par le responsable de l'étude avec l'aide de l'animateur, puis précisée avec le groupe de travail.

Elle consiste à poser clairement le problème, définir le contenu et les limites de l'étude à mener et à réunir tous les documents et informations nécessaires à son bon déroulement.

Méthodes :

1- Définition du système à étudier.
2- Définition de la phase de fonctionnement.
3- Définition des objectifs à atteindre.
4- Constitution du groupe de travail.
5- Etablissement du planning.
6- Mise au point des supports de l'étude

ETAPE 2 : DECOMPOSITION FONCTIONNELLE

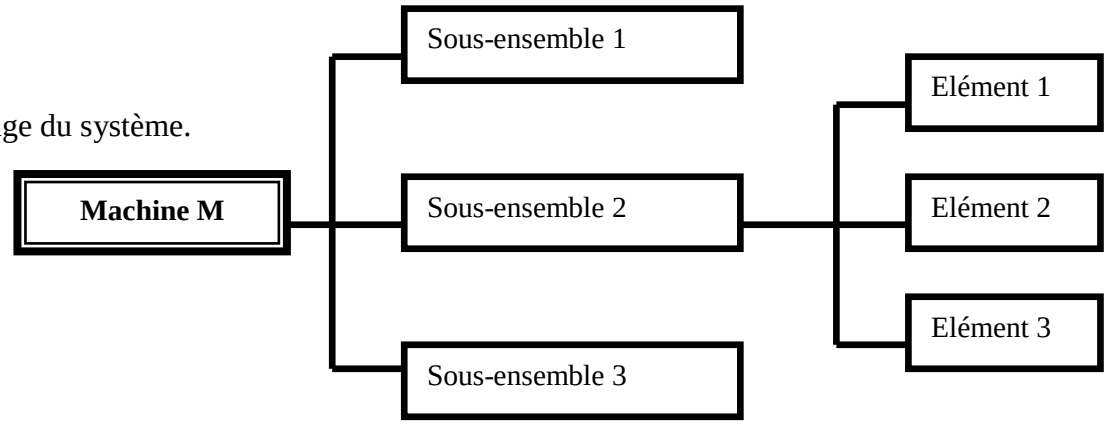
BUT :

Il ne s'agit pas dans cette étape de faire l'analyse critique de l'adéquation des fonctions de la machine au besoin, mais seulement d'identifier clairement les éléments à étudier et les fonctions à assurer.

C'est une étape indispensable car il est nécessaire de bien connaître les fonctions de la machine pour en analyser ensuite les risques de dysfonctionnement. Elle facilite l'étape ultérieure d'analyse des défaillances. Elle permet également au groupe de travail d'utiliser un vocabulaire commun. Elle peut être menée de manière plus ou moins détaillée selon les besoins.

Méthodes :

7- Découpage du système.

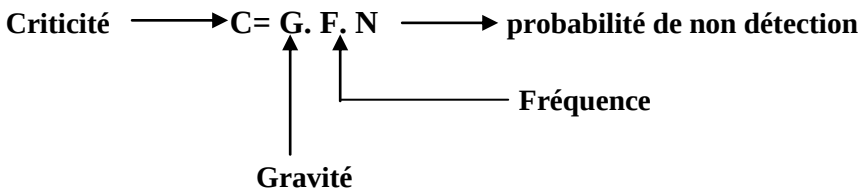


8- Identification des fonctions des sous-ensembles.
9- Identification des fonctions des éléments.

ETAPE 3 : ANALYSE AMDEC

BUT :

L'analyse AMDEC proprement dite consiste à identifier les dysfonctionnements potentiels ou déjà constatés d'une machine, à mettre en évidence les points critiques et à proposer des actions correctives pour y remédier. En pratique, on procède souvent à une estimation approximative qui se traduit par une note attribuée pour le groupe AMDEC, ils 'agit donc d'une échelle de notation. De ce fait le produit multiplication utilise pour le calcul de la criticité n'a pas le sens mathématique propre de terme.



Phase d'analyse des mécanismes de défaillance :

10- Identification des modes de défaillance.
11-Recherche des causes.
12-Recherche des effets.
13-Recensement des détections.

Phase d'évaluation de criticité :

14-Estimation du temps d'intervention.
15-Évaluation des critères de cotation.
16-Calcul de criticité

Criticité C :

Elle permet de discriminer les actions à entreprendre et les calculer à partir de la gravite, la fréquence et la défaillance de non détection.

Niveau de criticité	Définition
1≤ C < 10 criticité négligeable	Aucune modification Maintenance corrective
10≤ C < 18 criticité moyenne	Amélioration Maintenance préventive systématique

18≤ C < 27 criticité élevée	Surveillance particulière Maintenance préventive Conditionnelle
27≤ C <64 criticité interdite	Remise en cause complète de l'équipement

Gravite G :

C'est la gravite des effets de la défaillance **:**

- pertes de productivité (arrêt de production, défaut de qualité).
- Coût de la maintenance.
- Sécurité, environnement.

Niveau de gravite	indice	définition
Gravite très faible	1	Sous influence
Gravite faible	2	Peut critique
Gravite moyenne	3	critique
Gravite catastrophique	4	Très critique

Fréquence d'apparition F ou Occurrence O :

Fréquence d'apparition d'une défaillance due à une cause particulière.

Niveau de fréquence	indice	définition
Fréquence très faible	1	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par an
Fréquence faible	2	Défaillance possible : Une défaillance par trimestre
Fréquence moyenne	3	Défaillance fréquente : Une défaillance par deux mois
Fréquence forte	4	Défaillance très fréquente : Plusieurs défaillances par semaine

Non détection N :

Probabilité de non détection d'une défaillance avant qu'il n'atteigne l'utilisateur.

Niveau de probabilité de non détection	indice	Définition
Détection évidente	1	Défaillance précocement détectable: - détection à coup sur de la cause de défaillance
Détection possible	2	Défaillance détectable : Signe avant coureur facilement détectable
Détection improbable	3	défaillance difficilement détectable : signe avant coureur de la défaillance difficilement détectable, peu exploitable
Détection impossible	4	Défaillance indétectable : Aucun signe avant coureur de la défaillance

Phase de proposition d'actions correctives

17-Recherche des actions correctives.
18-Calcul de nouvelle criticité.

ETAPE 4 : SYNTHESES

BUT :

Cette étape consiste à effectuer un bilan de l'étude et à fournir les éléments permettant de définir et lancer, en toute connaissance de cause, les actions à effectuer. Ce bilan est essentiel pour tirer vraiment parti de l'analyse.

Méthodes :

10- Hiérarchisation des défaillances
11- Liste des points critiques
12- Liste des recommandations

II. Etude AMDEC du carbone jet :

Etape1 : Initialisation

1. Résumé du problème :

Comme identifiée lors de la classification des équipements critiques, le carbone jet est le plus critique de tous les équipements du four électrique. Une criticité qui nécessite une étude exhaustive via une étude AMDEC détaillée de l'équipement.

D'après l'ensemble des interventions de maintenance effectuées sur le carbone jet, il est très clair que le problème majeur de cet équipement est le **bouchage** des circuits ou des vannes, apparemment par des impuretés dans la matière première (charbon broyé).

2. Définition du système à étudier :

Afin d'effectuer une bonne étude, le système à étudier ne se restreindra pas seulement sur le carbone jet mais aussi sur tout le circuit depuis le silo de chargement du charbon broyé en passant par le système MOCA (système d'injection de la poudre de charbon), sans oublier bien sûre les différentes vannes et tuyauteries du circuit jusqu'au carbone-jet.

Principe de fonctionnement :

Le chargement du charbon broyé s'effectue dans des silos par deux méthodes à savoir un chargement par camion ou un chargement direct à l'aide des big-bag remplis de poudre de charbon. Le charbon est déchargé depuis le silo régulièrement, en passant par trois vannes l'une d'elle est régulatrice, pour arriver au système d'injection de la poudre de charbon (MOCA). Le MOCA injecte la poudre par pression d'air, en passant par trois vannes l'une d'elle régulatrice et par une longue tuyauterie, vers le carbone jet.

La matière qui doit être injectée (charbon en poudre) passe, par gravité, du silo supérieur au réservoir à travers une conduite métallique verticale. Le remplissage s'arrête quand le poids ou le niveau voulu est atteint. La vanne à guillotine qui se trouve dans la partie supérieure est la première à se fermer. Après un temps préétabli la vanne à papillon qui se trouve directement installé sur le réservoir se ferme aussi. Pour l'ouverture des vannes le procédé est inverse, c'est à dire que la vanne à papillon est la première à s'ouvrir et après un temps préétabli (que généralement correspond au même temps établi pour la fermeture) s'ouvre aussi la vanne à guillotine supérieure.

Le temps de retard établi pour la fermeture et l'ouverture des vannes permet d'éviter l'usure de la vanne inférieure car elle opère dans un flux d'air qui empêche l'attachement des particules de charbon. Cela garanti une très longue durée de la vanne et une tenue quasiment parfaite.

Le matériel injecté, par différence de pression, passe du réservoir au propulseur. Le matériel à l'entrée du propulseur rencontre un jet de gaz (normalement air) sous pression qu'opportunément canalisé crée un mélange fluide d'air et charbon qui sera transporté dans les tubes. Le débit d'air transporté doit être bas et possiblement doit être compatible aux pertes du système. Cela permet que l'abrasion des tubes reste entre des valeurs acceptables.

Description du système MOCA :

Le système ***MOCA*** est un équipement qui a la fonction d'injecter dans le four électrique de la poudre de charbon pendant le procédé de fusion.

Le système est composé d'un châssis pour le soutien du réservoir en pression complet de:

- système de charge et interception
- vanne de sécurité pression maximum
- système de pesage
- système injection poudre de charbon
- vanne de dépressurisation
- rack des vannes pour le réglage et le mesurage de la pressurisation et de fluides transports charbon.
- équipement électrique et logique de fonctionnement

Le système est complété d'un distributeur pour permettre l'alimentation des deux fours (LF et EAF)

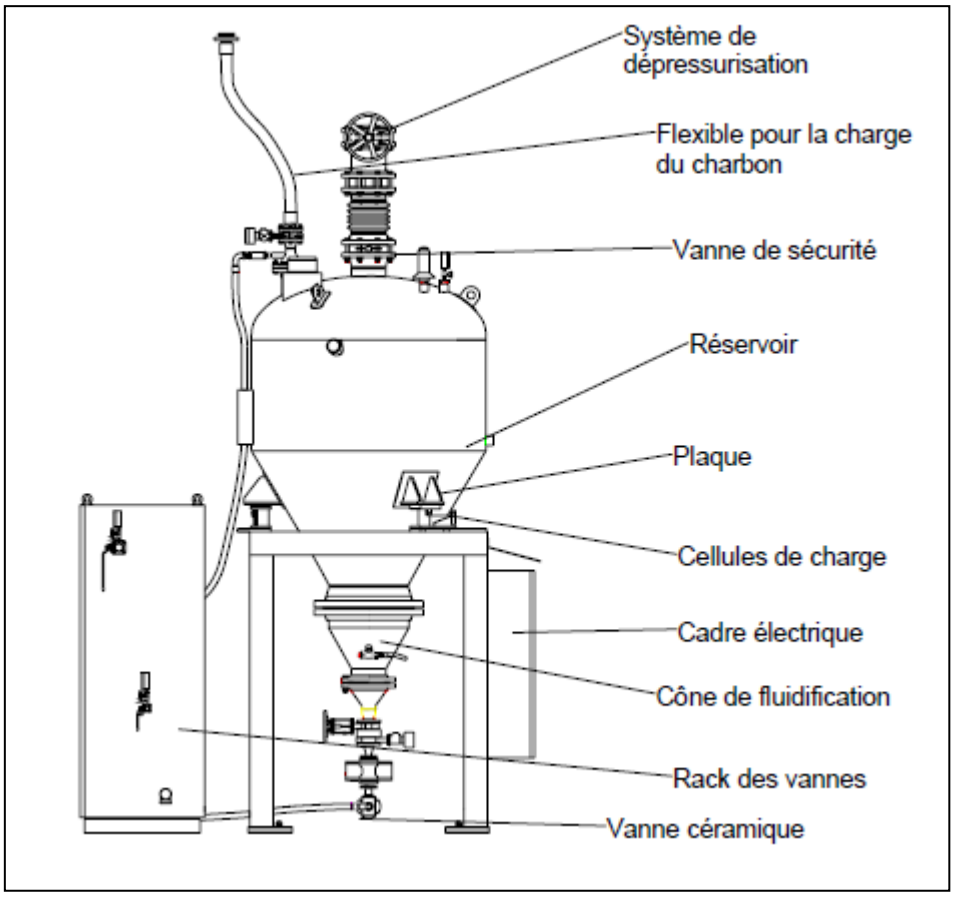


Figure1. Vue générale du système MOCA

Description du carbone jet :

Le four électrique possède un système de 2 "modulo" plus un oxyjet. Chaque "modulo" est composé de:

- Un injecteur oxygène refroidi qui joue le rôle de brûleur
- Un injecteur de charbon refroidi qui joue le rôle de brûleur installé de la même façon que l'Oxyjet.
- Une boîte en acier refroidie à eau protégée à l'intérieur avec réfractaire pour supporter les deux injecteurs.

Les boîtes refroidies de chaque "MODULO" sont installées sur la paroi extérieure du four électrique.

Les panneaux sur lesquels les injecteurs sont montés sont équipés d'un trou approprié. Les injecteurs sont positionnés de façon telle que le flux supersonique de l'oxygène (injecté par l'**oxyjet)** et le flux du charbon (injecté par le **carbonjet)** puisse rejoindre le bain liquide en suivant un angle préétablie.

Le système composé par l'injecteur « **oxyjet** » et l'injecteur « **carbonjet** » s'appelle **"modulo"**.

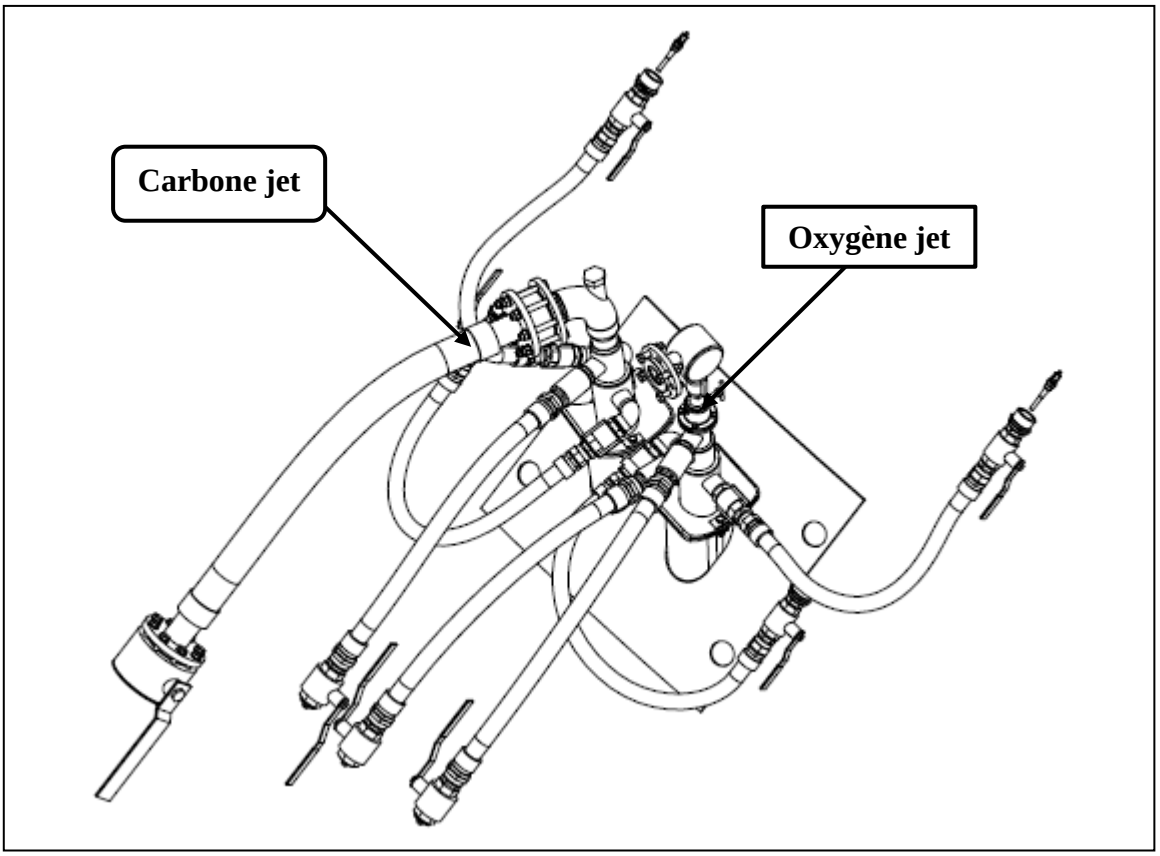


Figure2. Vue générale du système du Modulo

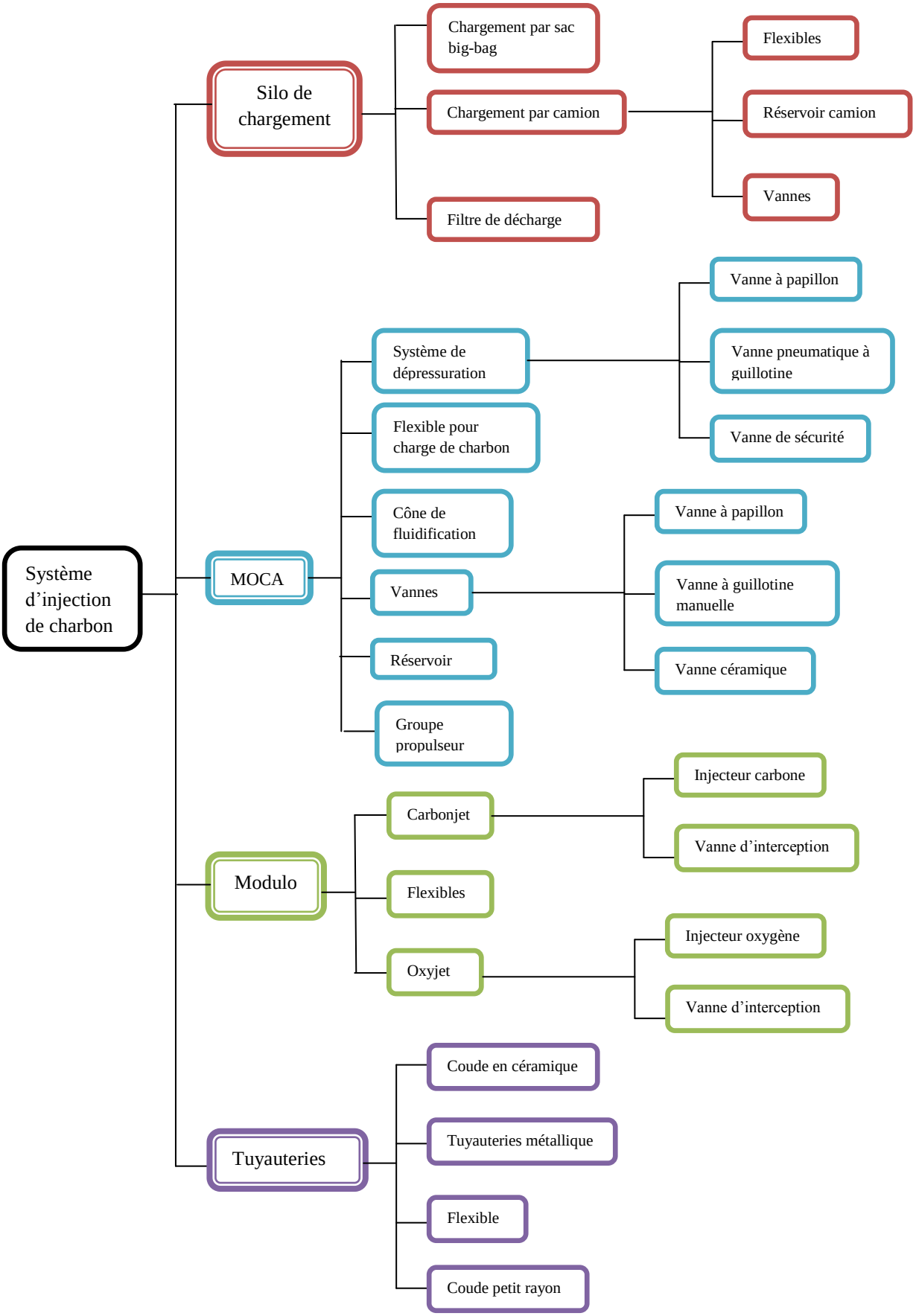
3. Définition des objectifs à atteindre :

Toute étude AMDEC à pour rôle d'étudier de façon rigoureuse un système et d'en faire le détail des défaillances qu'il rencontre et de façon quantitative de calculer la criticité de chacune afin d'arriver à trouver un plan de prévention adéquat.

Les objectifs de l'étude AMDEC du système d'injection du charbon sont :

- Identifier la vraie cause des défaillances redondantes,
- Identifier la vraie cause des différents bouchages du système,
- Identifier le mode de maintenance le plus adéquat,
- Suggérer des actions correctives ou préventives adéquates,
- Réduire le temps d'indisponibilité du système,

Etape2 : décomposition fonctionnelle :


Système d'injection de charbon
Silo de chargement
Chargement par sac big-bag
Chargement par camion
Filtre de décharge
Flexibles
Réservoir camion
Vannes
MOCA
Système de dépressuration
Flexible pour charge de charbon
Cône de fluidification
Vannes
Réservoir
Groupe propulseur
Vanne à papillon
Vanne pneumatique à guillotine
Vanne de sécurité
Vanne à papillon
Vanne à guillotine manuelle
Vanne céramique
Modulo
Carbonjet
Flexibles
Oxyjet
Injecteur carbone
Vanne d'interception
Injecteur oxygène
Vanne d'interception
Tuyauteries
Coude en céramique
Tuyauteries métallique
Flexible
Coude petit rayon

Elément	Fonction	Commentaire
Silo de chargement	Stockage du charbon broyé	
Flexibles	• Transport du charbon • Transport d'eau de refroidissement • Transport d'air comprimé	
Vannes	Arrêt ou modification du débit d'injection de charbon	• vanne à papillon • vanne à guillotine
MOCA	Système d'injection et de fluidification de charbon	
Système de dépressuration	Presser le charbon à l'intérieur du réservoir du MOCA	Composé de 3 vannes
Cône de fluidification	Fluidiser le charbon par air comprimé	
Groupe propulseur	Donner au charbon la juste vitesse de propulsion	
Carbone jet	Injecter le charbon à l'intérieur du four	
Oxygène jet	Injecter l'oxygène à l'intérieur du four	
Tuyauterie	Transport du charbon du système MOCA vers les injecteurs	• Tuyaux métalliques • Coudes céramiques • Coudes petit rayon

Tableau1. Décomposition et fonctions des éléments du système d'injection de carbone

ETAPE 3 : Analyse AMDEC du système d'injection de charbon

1. Tableaux AMDEC :

Date de l'analyse: **01/04/2010**	**AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ**					Phase de fonctionnement : **Normale**				page : 1/ 4
	Système : **système d'injection de charbon**		Sous - Ensemble : **MOCA**							Nom : Y.B
Élément	**Fonction**	**Mode de défaillance**	**Cause de la défaillance**	**Effet de la défaillance**	**Détection**	**Criticité**				**Actions**
						F	**G**	**N**	**C**	
Système de dépressuration – Vanne à papillon	Arrêter ou modifier le débit d'injection du charbon	Usure	Caractéristique abrasive du charbon	Usure des vannes	Contrôle visuel après démontage	1	2	4	8	➢ Maintenance corrective ➢ Contrôle chaque arrêt annuel
Système de dépressuration – Vanne à guillotine		Blocage	Fausse manœuvre	Arrêt de l'injection	HMI	4	3	1	12	MPS
Système de dépressuration – Vanne de sécurité		Bouchage	Corps étranger dans la matière et colmatage du charbon	Arrêt de l'injection MOCA hors service	HMI	4	3	1	12	MPS
Réservoir	Stockage du charbon	Abrasion	Caractéristique abrasive du charbon	Abrasion des parois interne	Contrôle visuel après démontage	1	1	4	4	➢ Maintenance corrective ➢ Contrôle chaque arrêt annuel (semestriel)
Cône de fluidification	Fluidiser le charbon	Abrasion	Caractéristique abrasive du charbon	Abrasion des parois interne	Contrôle visuel après démontage	1	1	4	4	
Groupe propulseur	Donner au charbon la juste vitesse de lancement	Usure et abrasion	Caractéristique abrasive du charbon	Usure des parois interne	Contrôle visuel après démontage	1	1	4	4	
vannes – Vanne à papillon	Arrêter ou modifier le débit d'injection du charbon	Usure	Caractéristique abrasive du charbon	Usure des vannes	Contrôle visuel après démontage	1	2	4	8	➢ Maintenance corrective ➢ Contrôle chaque arrêt annuel
vannes – Vanne à guillotine		Blocage	Fausse manœuvre	Arrêt de l'injection	HMI	4	3	1	12	MPS
vannes – Vanne céramique		Bouchage	Corps étranger dans la matière	Arrêt de l'injection MOCA hors service	HMI	4	3	1	12	MPS

Date de l'analyse: **01/04/2010**	**AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ**					Phase de fonctionnement : **Normale**				page : 2 / 4
	Système : **système d'injection de charbon**		Sous - Ensemble : **Modulo**							Nom : Y.B
Élément	**Fonction**	**Mode de défaillance**	**Cause de la défaillance**	**Effet de la défaillance**	**Détection**	**Criticité**				**Actions**
						F	**G**	**N**	**C**	
Carbone jet – Injecteur carbone	Tube d'injection consommable	Bouchage	Matière ou corps étranger Colmatage du charbon à cause de l'humidité	Injection insuffisante Arrêt d'injection	Visuel HMI	4	3	1	12	MPS : contrôle des modes de chargement Toujours laisser l'air circuler pour nettoyage
		Abrasion et usure	Caractéristique abrasive du charbon	Mauvaise injection	Visuel	3	1	4	12	MPS
		Consommation rapide du nez d'injection	Chaleur excessive Refroidissement insuffisant	Consommation irrégulière des tubes d'injection	Visuel	3	3	2	18	MPC : contrôle du nez après chaque arrêt hebdomadaire
Carbone jet – Vanne d'interception	Arrêter ou modifier le débit d'injection du charbon	Bouchage	Corps étranger dans la matière et colmatage du charbon	Arrêt de l'injection	HMI	3	3	1	9	Maintenance corrective
		Blocage	Fausse manœuvre	Arrêt de l'injection	HMI	3	3	1	9	Maintenance corrective
		Usure	Caractéristique abrasive du charbon	Usure des vannes	Contrôle visuel après démontage	2	2	3	12	MPS
Flexibles	Transport charbon Transport air comprimé Transport eau refroidissement	Fuite Détonation	Chaleur excessive Ejection d'acier liquide Augmentation pression	Arrêt de l'injecteur	Visuel HMI	3	3	1	9	➢ Maintenance corrective ➢ Assurer une bonne protection via une gaine

Date de l'analyse:	AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement : **Normale**				page : 3 / 4
	Système : **système d'injection de charbon**		Sous - Ensemble : **tuyauterie (conduite)**							Nom : Y.B
Élément	**Fonction**	**Mode de défaillance**	**Cause de la défaillance**	**Effet de la défaillance**	**Détection**	**Criticité**				**Actions**
						F	**G**	**N**	**C**	
Coudes en céramique	Ensemble de conduites assurant le transport du charbon broyé du système MOCA vers le carbone jet	Abrasion	Caractéristique abrasive du charbon	Abrasion des parois interne en céramique	Visuel après démontage	1	2	4	8	Maintenance corrective
		Bouchage	Corps étranger	Arrêt de l'injection	HMI+visuel	2	3	2	12	MPS
Tuyauteries métallique		Abrasion	Caractéristique abrasive du charbon	Abrasion des parois interne	Visuel après démontage	3	2	4	**24**	MPC
		Bouchage	Corps étranger et colmatage du charbon	Arrêt de l'injection	HMI+visuel	3	3	3	**27**	Remise en cause des modes de chargements
		Fuite	Abrasion excessive	Arrêt de l'injection et changement du tuyau en question	Visuel HMI	3	3	3	**27**	Remise en cause de l'équipement. Maintenance curative
Flexible		Bouchage	Corps étranger	Arrêt de l'injection	HMI+visuel	2	2	2	8	Maintenance corrective
		Eclatement	Chaleur excessive Augmentation de pression	Arrêt de l'injection et changement du flexible en question	Visuel HMI	2	3	1	6	Maintenance corrective
Coude petit rayon		Bouchage	Corps étranger	Arrêt d'injection	HMI+visuel	2	3	2	12	MPS
		Abrasion	Caractéristique abrasive du charbon	Abrasion du coude	Visuel prés démontage	1	2	4	8	Maintenance corrective

MPS : maintenance préventive systématique **MPC** : maintenance préventive conditionnelle

Date de l'analyse: **01/04/2010**	**AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ**					Phase de fonctionnement : **Normale**	page : 4 / 4
	Système : **système d'injection de charbon**		Sous - Ensemble : **silo de chargement**				Nom : Y.B

Élément		**Fonction**	**Mode de défaillance**	**Cause de la défaillance**	**Effet de la défaillance**	**Détection**	**Criticité**				**Actions**
							F	**G**	**N**	**C**	
Chargement par camion	Vanne manuelle	Arrêter ou modifier le débit de chargement du charbon	Bouchage	Corps étranger	Arrêt du chargement des silos	Visuel	2	2	1	4	Maintenance corrective
			Blocage	Cumul de charbon							
	Flexible	Transport du charbon	Bouchage	Corps étranger ou cumul de charbon	Arrêt du chargement des silos	Visuel	3	1	1	3	
	Réservoir camion	Stockage du charbon	Abrasion	Caractéristique abrasive du charbon	Abrasion du réservoir	visuel	1	1	1	1	
	Tuyauterie métallique	Transport du charbon	Abrasion	Caractéristique abrasive du charbon	Abrasion des parois interne	Visuel après démontage	3	1	2	6	
			Bouchage	Corps étranger cumul de charbon	Arrêt du chargement	Visuel	3	2	1	6	
			Fuite	Abrasion excessive	Arrêt du chargement et changement du tuyau en question	Visuel	1	2	1	2	
	Coude petit rayon	Transport du charbon	Bouchage	Corps étranger	Arrêt du chargement	Visuel	3	2	1	6	
			Abrasion	Caractéristique abrasive du charbon	Abrasion du coude	Visuel après démontage	3	1	2	6	
Grille de criblage		Empêche les corps étranger de grande taille de s'infiltrer	Usure	Caractéristique abrasive du charbon	Infiltration de corps étranger	Visuel	1	3	1	3	
Réservoir silo		Stockage du charbon	Abrasion	Abrasion par charbon	Abrasion des parois	Visuel	1	2	1	2	

2. Analyse des résultats des tableaux AMDEC :

a. Les défaillances critiques :

- **Au niveau du Silo** : le système enregistre de faibles criticités, mais il peut être la source du problème de bouchage, que subit tout le système d'injection, au moment du chargement du charbon, soit par les sacs Big-Bag ou bien lors du chargement pas camion. Aussi le problème de colmatage du carbone à cause de l'humidité absorbée lors du stockage.
  D'où la nécessité d'équiper les silos d'un système de criblage aimantée de diamètre 0<d<5mm.

- **Au niveau du système MOCA** : le système MOCA n'enregistre pas de grande criticité et ne nécessite que des contrôles réguliers et de suivre à la lettre les instructions du plan préventif surtout au niveau des vannes qui subissent des bouchages.

- **Au niveau de la tuyauterie (conduites d'injections) :** les conduites de transport et d'injection de carbone enregistrent une grande criticité au niveau des tuyauteries métalliques à cause des bouchages redondent, usure et abrasion excessive.
  Les tuyaux les plus critiques sont ceux qui se situent au niveau de la porte de décrassage du four à cause de la difficulté que trouve les opérateurs à déboucher ou à changer un tuyau en raison de la chaleur excessive émise par le four.

- **Au niveau du modulo :** la criticité est moyenne au niveau des tubes d'injection de carbone est ceux à cause du bouchage des tubes ou de la consommation irrégulière du nez d'injection en cuivre.

Le bouchage et l'abrasion sont les problèmes les plus fréquents du système d'injection de carbone.

b. Solutions et suggestions :

Le tableau ci-dessous résume les actions et les solutions à entreprendre pour chaque système et/ou élément :

Système	Equipement	Mode de maintenance	Action	Suggestion
MOCA	Réservoir	Maintenance corrective	Equipement ne nécessitant pas de maintenance préventive juste des contrôles trimestrielle pour vérifier l'état de surface des parois interne	
	Cône de fluidification			
	Groupe propulseur			
	Vannes	Maintenance préventive systématique	✓ Equipement nécessitant un plan de maintenance préventive déjà préétablit, ✓ Contrôle et test des vannes depuis la HMI (salle de contrôle du four), ✓ Contrôle des vannes à chaque arrêt annuel	
Silo de chargement		Maintenance corrective	Contrôle de l'état de surface des parois du silo à chaque arrêt annuel	Installer une grille de criblage aimanté de qualité 0<d<5mm
Conduites	Conduite métallique droite	Maintenance préventive conditionnelle	Nettoyage permanent par injection d'air	✓ Changement du type des conduites métallique par d'autres plus résistantes à l'abrasion au niveau de la porte de décrassage, ✓ je propose d'installer une station d'azote pour le nettoyage des conduites et vannes pour pulvériser le charbon en cas de colmatage.
	Coude en céramique	Maintenance préventive conditionnelle	Contrôle à chaque arrêt annuel de l'état de surface des parois internes en céramique. Si usée à changer immédiatement	
	Coude petit rayon	Maintenance préventive conditionnelle	Contrôle à chaque arrêt annuel de l'état de surface des parois internes	
Modulo	Tube d'injection	Maintenance préventive conditionnelle	Assurer un bon refroidissement Contrôler les tubes et le nez d'injection à chaque arrêt journalier Si trop usé changer immédiatement	✓ Augmenter le débit d'eau de refroidissement ✓ Je propose des nez en cuivre filetés tel que, au lieu de changer tout le tube il suffit de changer le nez en cuivre

Tableau2. Actions et suggestions à entreprendre pour le système d'injection de carbone

Pourquoi une station d'azote ?

Afin d'éviter les colmatages par carbone au niveau des différentes conduites du système d'injection de carbone, je suggère d'installer une station d'azote à côté du système MOCA. L'azote sera injecté avec une pression de 5 bars, ce qui égale à une température de 94 K (-179 C°).

L'injection de l'azote à cette température pulvérisera les grains de carbone colmaté à l'intérieur des tubes d'injection.

3QCPCO	Elément de réponse	Commentaire
QUI ?	➢ La direction d'exploitation ➢ Service de maintenance ➢ Service de production ➢ Opérateur de l'HMI	
QUOI ?	➢ Installer une station d'azote ➢ Dé-colmater les conduites d'injection de carbone.	
QUAND ?	➢ A chaque arrêt journalier de délai-stage.	L'injection d'azote pour dé-colmater ne se fera pas en cour de production pour éviter tout choc thermique entre l'azote froid et la coulée chaude.
POURQUOI ?	➢ Pour éviter les débouchages des conduites ➢ Pour pulvériser le carbone colmaté à l'intérieur des conduites	
COMMENT ?	➢ Faire circuler de l'azote à une pression de 5 bars dans les conduites pour dé-colmater ➢ Après, faire circuler de l'air pour nettoyer.	La caractéristique froide d'azote sera efficace pour pulvériser les grains de carbone colmatés
Où ?	➢ A côté du système d'injection de carbone MOCA.	
Combien ?	➢ C'est déjà préétablit d'installer une station d'azote pour l'extinction de flammes dans cette zone.	

Tableau3. Tableau des 3QPCCO

La solution est faisable et elle nous évitera les colmatages et bouchages redondant, qui, la plupart du temps nécessitent une durée de maintenance élevé et parfois un arrêt de production.

c. Plans préventifs :

Le tableau ci-dessous propose un plan de maintenance préventive systématique à respecter pour maintenir les équipements du système d'injection en bonne état de fonctionnement :

	Action	Fréquence
MOCA	Contrôle visuel du système	Une fois par semaine
	Serrage des boulons	Deux fois par an
	Contrôle des flexibles de l'équipement	Tous les 15 jours
	Contrôle des flexibles pour le transport du charbon	Une fois par jour
	Contrôle de fonctionnement du système pneumatique	Tous les 15 jours
	Contrôle visuel d'état d'usure des tubes	Une fois par semaine
	Contrôle d'état de fonctionnement des fins de course	Une fois par semaine
	Contrôle du fonctionnement de la vanne de sécurité	Une fois par semaine
	Contrôle du mouvement de l'actionneur pneumatique	Une fois par mois
	Contrôle du filtrage de l'air comprimé	Une fois par semaine
	Contrôle filtrage et lubrification des électrovannes	Une fois par semaine
	Contrôle visuel de l'état de surface des parois du réservoir	Une fois par an
	Contrôle visuel du cône de fluidification	Une fois par an
	Contrôle de l'état de la vanne en céramique	Deux fois par an
	Contrôle vanne papillon charge-décharge	Une fois par mois
	Contrôle du système de pesage	Si nécessaire
	Nettoyage du système	Une fois par semaine
	Contrôle de l'état des câbles électriques	Une fois par mois
	Nettoyage régulier de la zone autour du système MOCA	Chaque jour

Tableau4. Plan préventif du système MOCA

	Action	Fréquence
Modulo	Contrôle visuel du système	Chaque jour
	Contrôle du revêtement réfractaire de la boîte	Une fois par jour
	Contrôle des flexible	Une fois par semaine
	Contrôle des vannes d'interception des fluides	Une fois par mois
	Contrôle du tube consommable à l'intérieur du carbone jet	Une fois par jour
	Contrôle du nez des injecteurs	Une fois par jour
	Contrôle des trous du nez de l'injecteur	Une fois par semaine

Tableau5. Plan préventif du Modulo

III. Etude AMDEC de la lance More (manipulateur PALMUR) :

Etape1 : Initialisation

1. Résumé du problème :

Comme identifié lors de la classification des équipements critiques du four à arc électrique, la lance MORE est l'un des équipements critiques en fonction du temps d'arrêt et de la fréquence de panne entraînent l'indisponibilité de l'équipement.

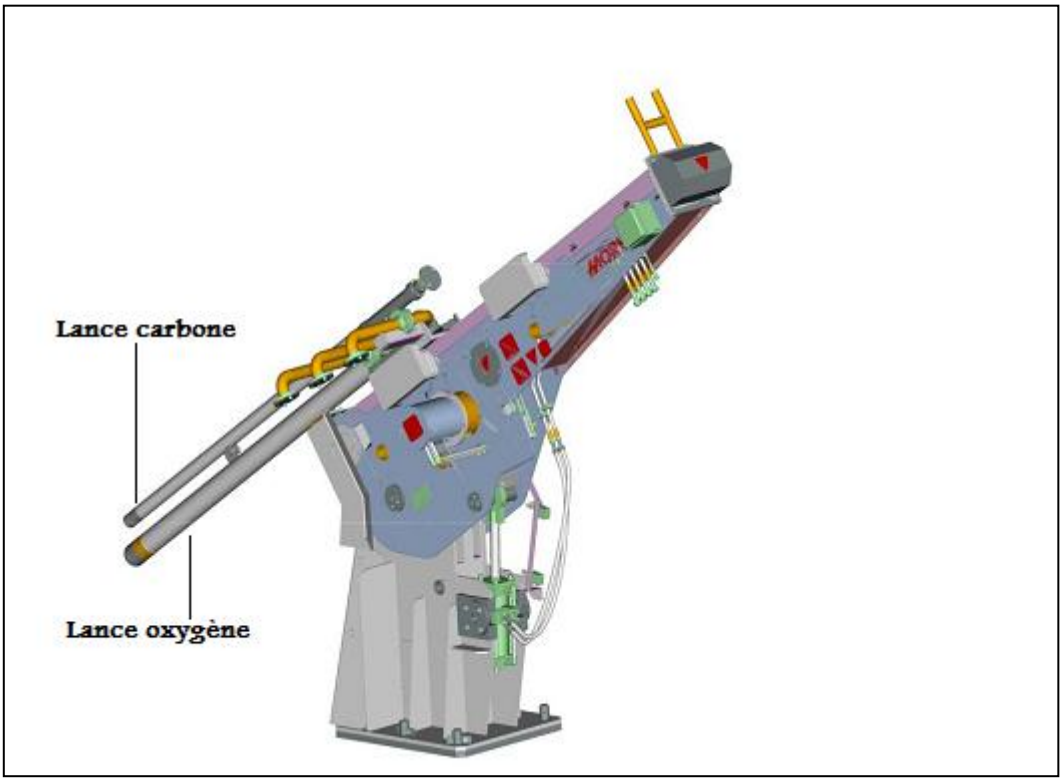
La cause principale de ces arrêts est due aux coincements de la lance à cause du cumul de la scorie au niveau de la portière d'injection.

2. Définition du système à étudier :

Le manipulateur PALMUR est un équipement qu'on utilise pour injecter l'oxygène et le charbon à l'intérieur du four électrique pendant la fusion d'une charge métallique.

Le manipulateur est composé de:

- une base sur laquelle un bras inclinable est installé
- un chariot sur lequel les lances oxygène et charbon, refroidies à eau, sont fixées
- un cylindre hydraulique qui permet le mouvement du bras dans la position de travail à la position de repos
- un motoréducteur hydraulique complet de frein qui permet le mouvement du chariot grâce à une chaîne de transmission



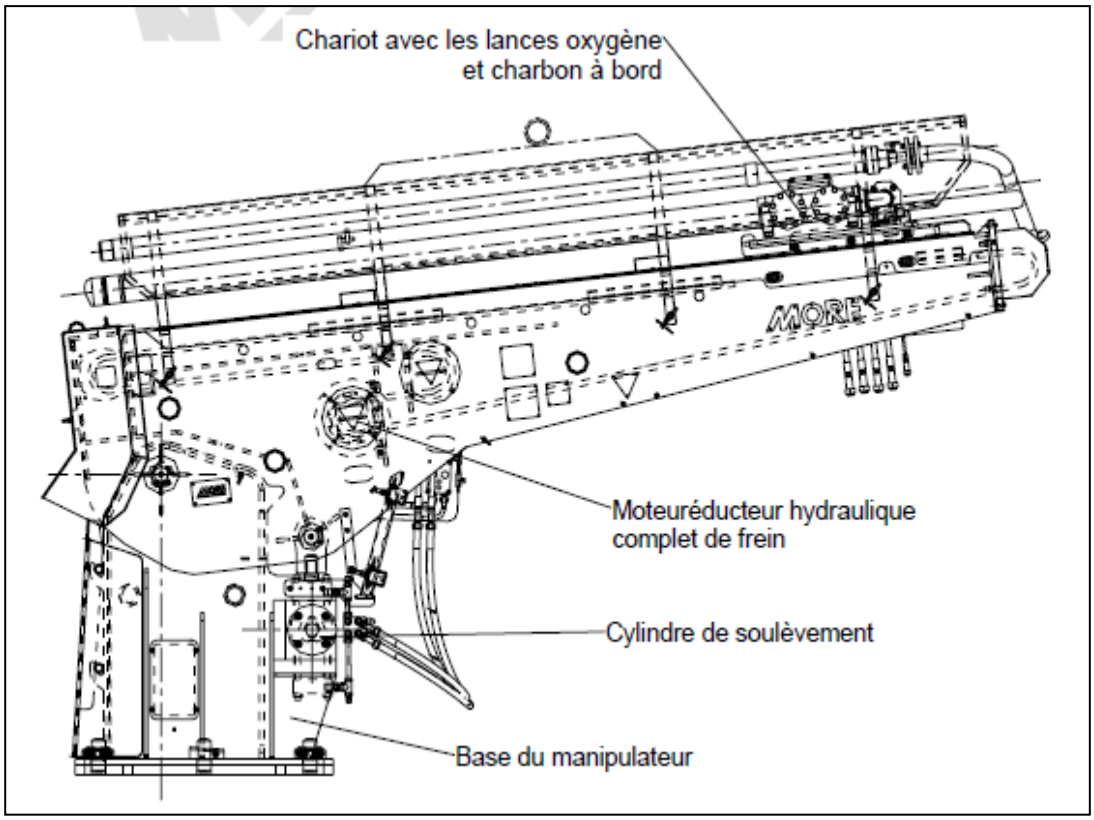
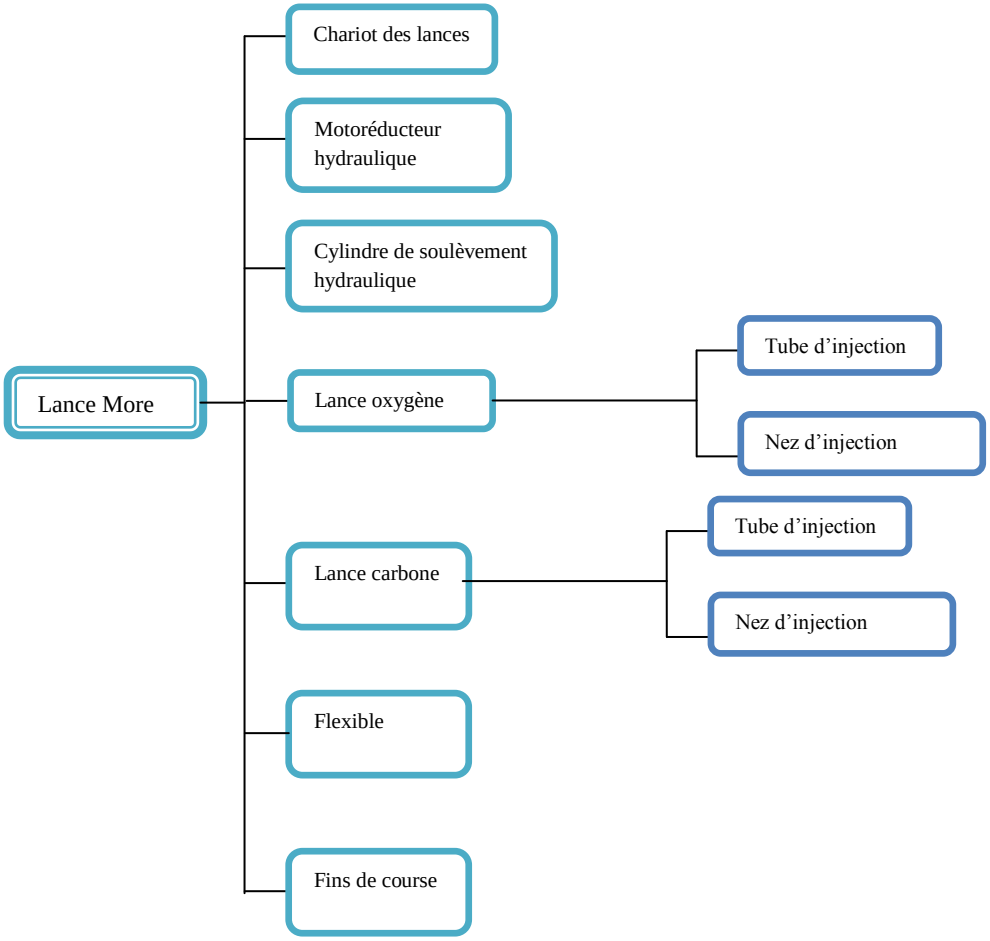


Figure3. Manipulateur PALMUR (lance More)

Etape2 : décomposition fonctionnelle



Elément	Fonction	Commentaire
Chariot des lances	Déplacement des lances d'injection	Déplacement par chaîne de transmission
Motoréducteur hydraulique	Donner le mouvement d'entraînement de la chaîne de transmission	
Cylindre de soulèvement hydraulique	Soulever ou baisser (travail ou repos) le manipulateur.	Condamné par une tige en mode de travail (soulevé)
Lance oxygène	Injection d'oxygène à l'intérieur du four	Tube métallique avec un nez en cuivre
Lance carbone	Injection carbone à l'intérieur du four	Tube métallique avec un nez en cuivre
Flexible	Transport d'huile, carbone, oxygène et eau de refroidissement	
Fin de course	Définit les positions repos ou de travail	Il existe trois fins de course au niveau du chariot de la lance et deux au niveau du système de soulèvement

Tableau6. Décomposition et fonction des éléments de la lance MORE

ETAPE 3 : Analyse AMDEC de la lance PALMUR

1. Tableau AMDEC :

Date de l'analyse: **10/04/2010**	**AMDEC MACHINE – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ**					Phase de fonctionnement : **Normale**				page : 1/ 1
	Système : **système d'injection carbone/oxygène**		Sous - Ensemble : **manipulateur PALMUR**							Nom : Y.B
Élément	**Fonction**	**Mode de défaillance**	**Cause de la défaillance**	**Effet de la défaillance**	**Détection**	**Criticité**				**Action**
						F	**G**	**N**	**C**	
Chariot de déplacement des lances	Déplacement des lances d'injection	Coincement de la lance	Cumul de la scorie au niveau de la portière d'injection	Arrêt du Palmur jusqu'à décoincement	Visuel HMI	4	3	1	12	MPS : nettoyage des lances à chaque fin de coulée
Motoréducteur hydraulique	Donner le mouvement d'entraînement de la chaîne de transmission	—	—	—	—	–	–	–	–	—
Cylindre de soulèvement hydraulique	Soulever ou baisser le manipulateur (condamné)	—	—	—	—	–	–	–	–	—
Fins de courses	Définit les positions de repos ou de travail	—	—	—	—	–	–	–	–	—
Lance oxygène – Tube d'injection	Injection d'oxygène à l'intérieur du four	Usure et corrosion	Chaleur + scorie	Changement du tube	Visuel	2	2	2	8	Maintenance corrective
Lance oxygène – Nez d'injection		Consommation irrégulière du nez	Chaleur excessive + Mauvais refroidissement Ejection de matière	Changement du nez	Visuel	3	2	2	12	Maintenance préventive systématique
Lance carbone – Tube d'injection	Injection carbone à l'intérieur du four	Abrasion et usure	Abrasion par carbone + scorie	Changement du tube	Visuel	2	3	2	12	Maintenance préventive systématique
Lance carbone – Nez d'injection		Consommation irrégulière du nez	Chaleur excessive + Mauvais refroidissement	Changement du nez	Visuel	3	2	2	12	Maintenance préventive systématique
Flexible	Transport d'huile, carbone, oxygène et eau de refroidissement	Détonation et fuite	Haute pression + éjection d'acier	Arrêt d'injection pour changement du flexible	Visuel	3	3	1	9	Maintenance corrective

MPS : maintenance préventive systématique **MC** : maintenance corrective

2. Analyse des résultats des tableaux AMDEC :

a. Les défaillances critiques :

Les défaillances au niveau du manipulateur PALMUR ne sont pas assez critique pour envisager des solutions correctives :

- **Au niveau du chariot de déplacement** : le problème de coincement du chariot n'est pas dû à un problème au niveau du système de transmission, mais au cumul de la scorie au niveau de la portière et la lance d'injection, ce qui construit une couche refroidis entre la lance et la portière qui entrave le mouvement de glissement des lances lors du dégagement.

Certes que le problème qui saute aux yeux est celui de cumul de la scorie, mais en faite la vraie question qui se pose est : **Qu'elle est la source du problème ?**

Les sources probables du problème :

- **Angle d'injection** : l'angle recommandé par le constructeur est de 44°, alors que la lance travaille actuellement avec un angle de 32°.
- **La distance d'injection (nez-surface coulée)** : la distance minimale recommandée par le constructeur est de 250 à 300 mm, or la distance d'injection actuelle est de 400 mm
- **Le mauvais nettoyage des lances et de la portière d'injection.**

La cause la plus pertinente est le mauvais nettoyage des lances et de la portière d'injection des cumuls de la scorie (cause humaine).

- **Au niveau des la lances :** le problème qui persiste est celui de la consommation irrégulière du nez d'injection en cuivre à cause de la chaleur excessive et du mauvais refroidissement et/ou à cause d'éjection de matière qui use ou bouche le nez. Ceci entraîne un changement irrégulier du nez en cuivre, d'où il ne remplis pas sa durée de vie de fonctionnement habituelle.

Le coincement du système des lances et la consommation irrégulière du nez d'injection sont les défaillances les plus au moins critique de la lance PALMUR

b. Solution :

- S'assurer du nettoyage des lances et de la portière des cumuls de la scorie à la fin de chaque coulée.
- Augmenter le débit d'eau de refroidissement pour diminuer la consommation des nez en cuivre. (voir le manuel du constructeur MORE)

c. Plans préventifs :

	Action	Fréquence
PALMUR	Nettoyage de l'environnement du PALMUR	Une fois par jour
	Nettoyage des lances du cumul de la scorie	A la fin de chaque coulée
	Contrôle de la structure de la machine	Une fois par mois
	Serrage des boulons	Deux fois par an
	Contrôle état des flexibles intérieurs	Une fois par semaine
	Contrôle état des flexibles extérieurs	Une fois par jour
	Contrôle fonctionnement du système hydraulique	Une fois par jour
	Substitution des garnitures des cylindres	Une fois par an
	Contrôle clapets à bille	Une fois par mois
	Contrôle des actionneurs	Une fois par mois
	Contrôle fonctionnement des manomètres	Une fois par mois
	Contrôle état du nez de la lance oxygène	Une fois par jour
	Contrôle état du nez de la lance carbone	Une fois par jour

Tableau7. Plan préventif de la lance MORE(PALMUR)

Chapitre IV

Etude du problème de détonation des flexibles via le Processus Créatif de Résolution de Problème (PCRP)

I. Etude du problème des flexibles via le PCRP (Processus Créatif de Résolution de Problèmes) :

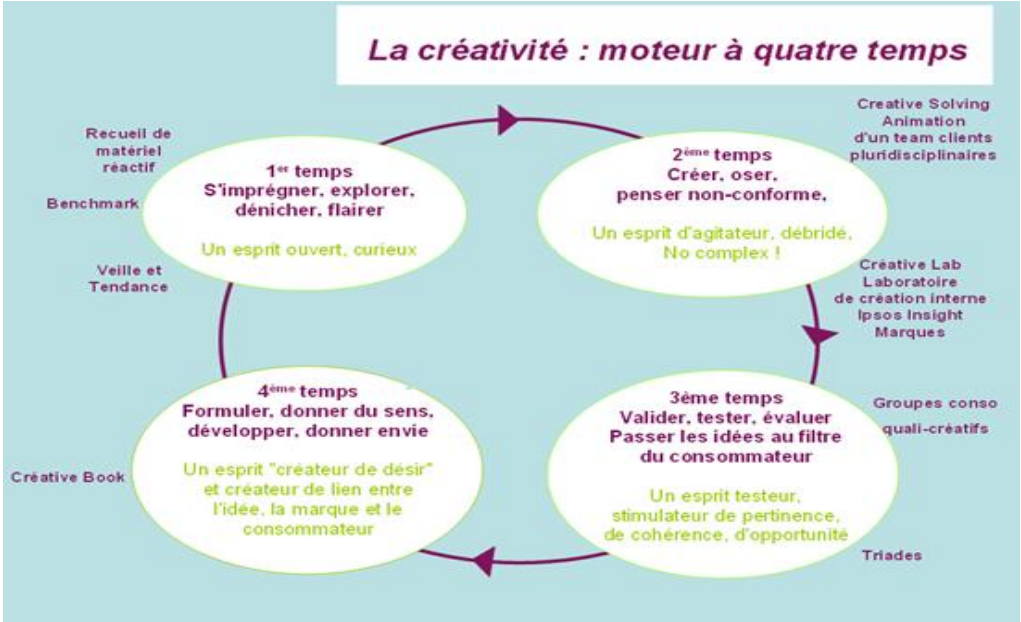
Les flexibles bras électrodes identifiés critiques, subissent des détonations et des fuites apparemment à cause de la chaleur excessive émise par le four à arcs électriques.

Mais pour bien identifier le problème, il faudrait appliquer le processus créatif de résolution de problèmes (PCRP).

Sur les neufs premiers mois 2009, on a enregistré environ 88 interventions sur les flexibles des bras électrodes, ce qui est égal à une fréquence d'environ f = 0.325 (intervention/jours) ; c'est-à-dire une intervention chaque trois jours. La durée d'intervention sur les neufs premiers mois 2009 est de d = 5585min, environ 94h.

Mot clef : La créativité

« **La créativité** est une sorte de gymnastique mentale propre à conserver à l'esprit sa *fluidité*, son *adaptabilité* et son originalité en présence d'une donnée ou un processus méthodologique de résolution de problème » (Torrance, 1972).



1. Principe du PCRP :

« **Le processus créatif de résolution de problèmes** est la capacité de voir d'une façon nouvelle un problème, d'identifier des solutions novatrices et de mettre au point des stratégies d'implantation adaptées et acceptables » (Sternberg, 1995)

Fiche de mise en route d'une étude PCRP

1er composante du PCRP : La définition du problème

- **Etape1 : La précision du flou**
- **Etape2 : La recherche de donnée**
- **Etape3 : L'énoncé du problème**

2ième composante du PCRP : La recherche d'idées

Etape4 : recherche d'idées

- **Divergence :**
  - **Brainstorming**
  - **Brainstorming avec post-It**
  - **Brainwriting**
  - **Association forcées…**
- **Convergence :**
  - **Classification des idées**
  - **Analyse comparée par paires**
  - **Méthode de Kepner-Tregoe…**

3ième composante du PCRP : La mise en application

Etape5 : Le plan d'action

- **Divergence :**
  1. **Identifier les sources d'appui et les points de résistance par la méthode des 3QOP**
  2. **Générer une liste d'actions potentielles**
- **Convergence :**
  1. **Séparer les actions entre le court terme, le moyen et le long terme**
  2. **Planifier la mise en application**
  3. **Liste de contrôle du plan d'action**

NB : Le PCRP est un ensemble de méthodologies créatives, dont on applique les plus adéquates au problème qu'on veut résoudre, sans être contraint de les utilisées toutes.

a. Identification du problème et recherche des faits :

Phase de divergence :

Le plus souvent la partie la plus difficile du processus créatif de résolution de problème est de bien identifier le problème. L'identification du problème facilite beaucoup la tâche de la résolution du problème et ceux en appliquant des méthodes appropriées à savoir les 3QCOP et la méthode d'Ishikawa (cause à effet).

Méthode des 3QCOP :

Le but de cet outil est d'avoir, sur toutes les causes du problème, des informations suffisantes pour déterminer avec exactitude quelle est la cause principale. Ces informations sont souvent basées sur des observations, des faits que l'on consigne au cours d'enquêtes.

3QCPCO	Elément de réponse	Commentaire
QUI ?	➢ Opérateur de la HMI ➢ Technicien de maintenance ➢ Service de maintenance ➢ Service de production ➢ La direction	Les personnes et services qui peuvent être concerné par le problème
QUOI ?	➢ Détonation des flexible ➢ Fuite dans les flexible	Le problème en question
QUAND ?	➢ En cour de fonctionnement du four ➢ Lors du chargement par panier ➢ Lors de la descente des électrodes après chargement par panier	la période critique où le problème apparait
POURQUOI ?	➢ Fausse manœuvre des opérateurs de la HMI ➢ Protection par gaine insuffisante ➢ Mauvaise qualité de protection ➢ Absence de contrôle des flexible après l'arrêt de production ➢ Mauvaise qualité des flexible ➢ Grand champ magnétique	Les causes probables du problème
COMMENT ?	➢ Chargement par panier ➢ Ejection de matière incandescente ➢ Chaleur excessive (rayonnement) ➢ Fumée très chaude ➢ Changement de la gaine recommandé par le constructeur	Comment le problème apparait et comment on y remédie
Où ?	➢ Le four à arcs électriques ➢ Les flexibles bras porte électrodes	L'emplacement du problème

Tableau1. Méthode 3QCOP

Méthode d'Ishikawa :

Les diagrammes d'Ishikawa, ou diagrammes en arêtes de poisson, sont des diagrammes où les différentes causes d'une erreur sont représentées d'une manière hiérarchique. Au niveau supérieur on distingue cinq "domaines standards" de causes. Chacun de ces niveaux est développé jusqu'au niveau des causes élémentaires.

L'avantage de cette méthode est que les causes principales des erreurs sont énumérées assez rapidement.

Et voici ci-dessous le diagramme d'Ishikawa du problème de la détonation et des fuites au niveau des flexibles des bras électrodes :

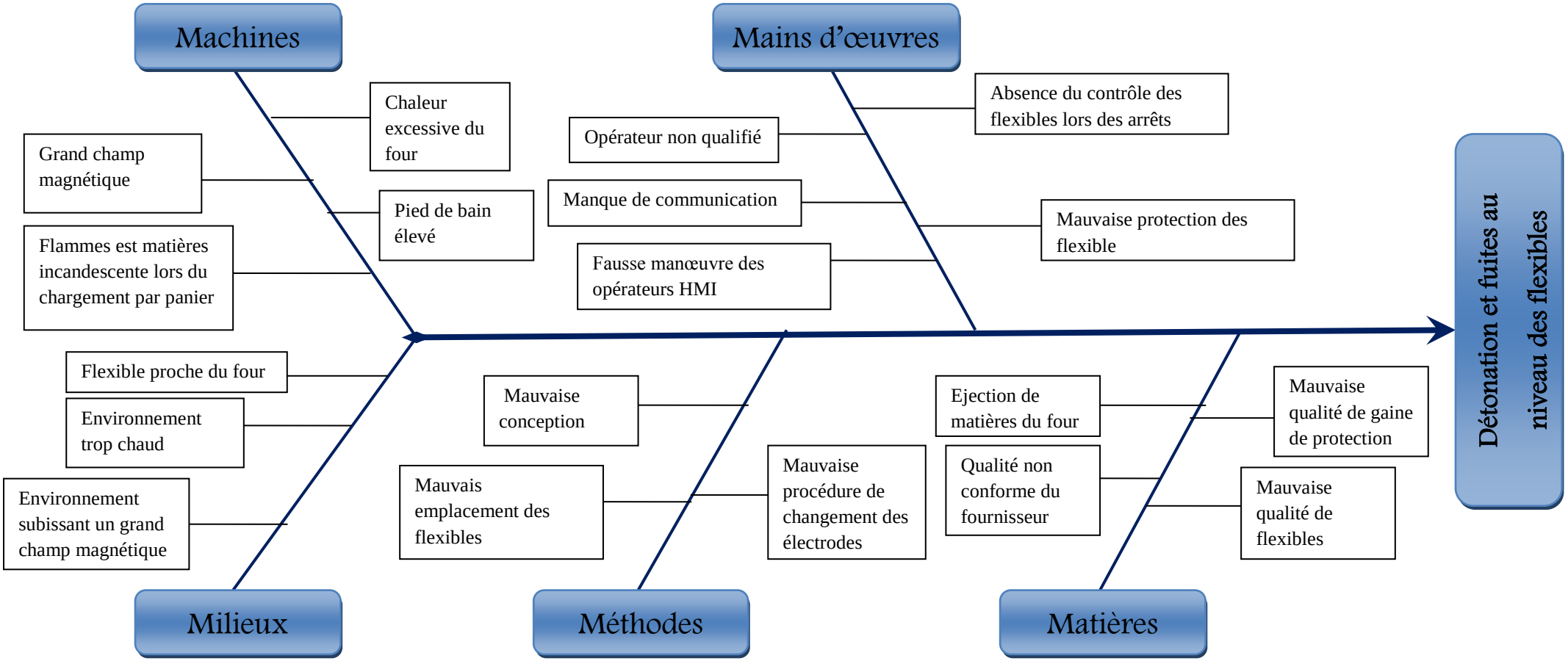


Figure1. Diagramme d'Ishikawa

Phase de convergence :

La méthode des 3QOCP et celle d'Ishikawa ont permis de relever plusieurs causes probables du problème des flexibles électrodes. Or il faudrait converger vers la cause ou les cause principale du problème afin de trouver la solution la plus adéquate à sa résolution.

L'ensemble des causes ainsi identifiées sont :

Type de causes	causes	Niveau d'importance*
Causes humaines	Absence du contrôle des flexibles lors des arrêts	2
	Mauvaise protection thermique des flexibles	1
	Opérateur non qualifié	3
	Manque de communication entre les différents services	2
	Manque de communication entre les opérateurs	3
	Fausse manœuvre des opérateurs HMI	2
	Qualité non conforme des flexibles fournie par le fournisseur	3
	Mauvaise manœuvre lors du changement des électrodes	2
Causes non humaines	Chaleur excessive émise par le four	1
	Environnement subissant un grand champ magnétique	3
	Monté de flamme et éjection de matières incandescente lors du chargement par panier	1
	Emplacement des électrodes trop proche du four	2
	Mauvaise conception	2
	Mauvaise qualité de gaine de protection	1
	Mauvaise qualité des flexibles	2
	Pied de bain élevé	2

(*) Voir tableau ci-dessous

Tableau2. Niveau d'importance des causes

indicateur	Niveau d'importance
1	Pertinente
2	Importante
3	Probable
4	A rejeter

Pour limiter l'étude des causes on va juste prendre en considération les causes pertinentes du problème.

Les causes pertinentes identifiées sont :

Causes pertinentes

- Mauvaise protection thermique des flexibles
- Mauvaise qualité de gaine de protection
- Chaleur excessive émise par le four
- Montée de flammes et éjections de matières incandescentes lors du chargement par panier

b. Recherche d'idées :

Phase de divergence :

L'objectif de cette phase est de trouver le plus grand nombre d'idées de solutions pour chaque cause. Pour mener à bien cette phase, mon groupe de travail s'est réunit en séance créative de Brainstorming et de Brainwriting.

La pluridisciplinarité du groupe de travail doit permettre de trouver des voies de solutions originales et pertinentes. La représentation des différents services permet, à chaque instant, de prendre en compte les différents aspects du problème.

Cette phase nécessite une réelle dynamique de groupe et le respect des attitudes suivantes :

- l'écoute : acceptation de l'autre et de ses idées (pas de critique et d'autocensure du type : ça existe déjà, on l'a déjà fait, je vais peut être dire une bêtise...).
- la spontanéité de l'expression : rien de ce qui est évoqué ne l'est par hasard, aussi se doit-on de tout exprimer, aussi éloigné que cela puisse paraître de la problématique.
- l'association : tout stimuli évoqué par un membre du groupe suscite chez les autres des évocations associatives.

Brainstorming :

Le brainstorming est une technique de créativité qui a pour but de produire une grande quantité d'idées nouvelle sur un sujet de discussion. La méthode s'appuie sur la stimulation de la mémoire et les associations d'idées. Lors de la mise en pratique du brainstorming, il est important de respecter rigoureusement les 4 règles suivantes :

1. Toute critique d'idée émise est prohibée.
2. Toutes les idées sont acceptables.
3. On recherche la quantité maximale d'idées.
4. On recherche à créer de nouvelle idées par association.

Brainwriting :

Le Brainwriting s'apparente au brainstorming, l'exception majeure étant que l'exercice se conduit complètement en silence. Et voici la procédure :

- Chaque personne dispose d'un formulaire de Brainwriting. Un formulaire supplémentaire est de plus placé au centre de la table (voir un exemple du formulaire dans l'annexe).
- L'animateur rappelle les règles du Brainwriting.
- Chaque personne écrit l'énoncé du problème en haut du formulaire, et écrit trois idées (A, B, C) dans la 1ère rangée

- La 1ère personne qui a fini d'écrire ses trois premières idées, place son formulaire au centre de la table, prend le formulaire supplémentaire vierge et y inscrit trois nouvelles idées.
- Par la suite, à chaque fois qu'une personne a complété trois idées, elle remet son formulaire au centre de la table en échange d'un autre. Elle essaie alors d'y inscrire trois nouvelles idées sur la rangé 2, après avoir pris connaissance des idées déjà contenues dans le formulaire.
- L'échange de formulaire continu ainsi, jusqu'à épuisement des idées.

Phase de convergence :

Recherche de solution cas par cas :

1. **1ère cause pertinente :** Mauvaise qualité de gaine de protection

La gaine de protection des flexibles utilisée actuellement n'assurent pas une protection efficace, ce qui entraîne des détonations et fuites répétitives.

Solution1 : S'approvisionner d'une gaine plus performante afin d'assurer une efficacité maximale et par conséquent réduire les temps d'arrêt causé par le changement des flexibles en cas de détonations ou fuites.

« Pour cela je suggère une gaine de fibre de verre tressée et recouverte par une couche de silicone (oxyde de fer), qui résiste à une température extrême allant jusqu'à 1640C° (max 30sec). »

Figure2. Exemple de gaine de fibres de verres recouverte de silicone

2. **2ème cause pertinente :**

- Chaleur excessive émise par le four
- Montée de flammes et éjections de matières incandescentes lors du chargement par panier

La chaleur excessive émise par le four et la montée de flammes et éjections de matières incandescente lors du chargement par panier sont les causes principales des détonations des flexibles. Pour cela il faudrait songer à une solution définitive à ce problème.

Solution : pour résoudre le problème, il faut éloigner les flexibles le plus loin possible de la source du problème.

Pour le faire je suggère soit :

- **Solution 2** : D'allonger la partie du bras où les flexibles sont raccordés

Ou

- **Solution 3** : Eloigner les raccordements des flexibles en utilisant des tubes métalliques qui seront la liaison entre [raccord bras-raccord flexibles]. (les tubes métallique seront protégés et isolés)

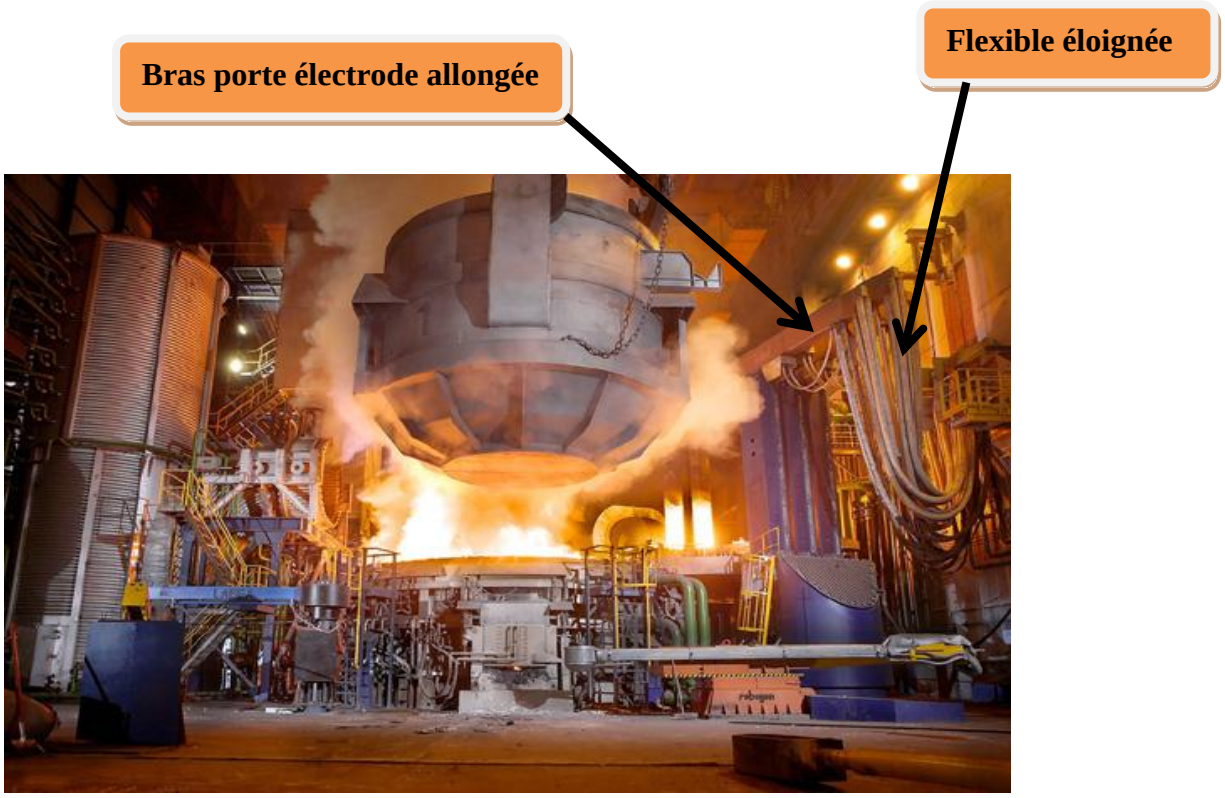


Figure3. Exemple de four avec bras éloignée

3. 3ème cause pertinente : Mauvaise protection thermique des flexibles

Il existe une protection déjà établie au niveau de la colonne, mais apparemment elle n'est pas assez longe pour protéger les flexibles lors du chargement par panier.

Solution4 : Une protection métallique va juste compliquer le système et entraver le mouvement de rotation des bras porte électrodes. De ce faite, je suggère d'utiliser une protection par gaine sous forme de rideau entre le four et les flexibles.

Figure4. Exemple de protection par rideau de gaine

c. Validation des solutions :

Critère(*) / Solution	Difficulté technique	Coût d'investissement	Durée de réalisation	Coût de la maintenance	Efficacité	Produit des pondérations
Solution 1	4	4	4	4	3	768
Solution 2	2	3	2	3	2	72
Solution 3	1	3	2	2	2	24
Solution 4	4	4	4	4	3	768
Solution combinée 1+4	4	4	4	4	4	1024

(*) Voir tableau de pondération

Tableau3. Tableau de pondération des solutions

pondération	Difficulté technique	Coût d'investissement	Durée de réalisation	Coût de la maintenance	Efficacité
1	Très difficile	Très élevé	Très élevé	Très élevé	Non efficace
2	Difficile	Elevé	Elevé	Elevé	Faible efficacité
3	Simple	Moyen	Moyen	Moyen	Moyenne efficacité
4	Très simple	Faible	Faible	Faible	Très efficace

Tableau4. Tableau des pondérations(*)

Interprétation :

Le calcul des valeurs de pondération permet d'identifier une solution ultime du problème. Une solution de faible coût d'investissement et de maintenance, de difficulté technique très simple, de faible durée de réalisation et d'une efficacité très bonne.

C'est la solution1 combiné avec la solution4 :

Solution choisie : « Equipé les différents flexibles d'une gaine de fibre de verre tressée et recouverte d'une couche de silicone et ajoutée un mur sous forme de rideau de gaine entre les flexibles protégés et le four »

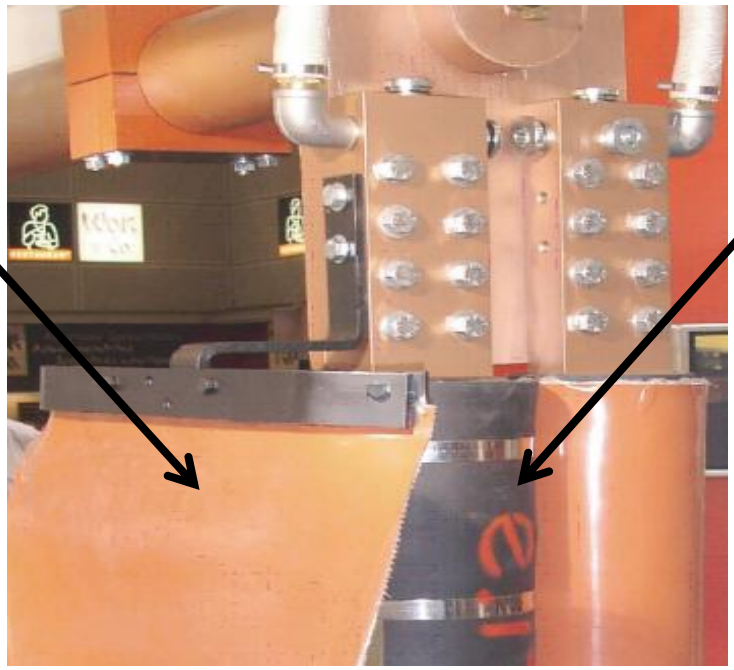


Figure5. Solution choisie

Chapitre V

Elaboration du plan de maintenance préventif du four à arcs électriques

I. Généralité sur la maintenance :

1. Historique et terminologie :

La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management effectuées durant le cycle de vie d'un bien et destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise. La maintenance a longtemps joué un rôle curatif dont l'unique objectif était de réduire la durée d'immobilisation des machines. Cette maintenance curative était axée sur le court terme et ne résolvait en rien les problèmes liés aux dégradations inévitables.

La concurrence effrénée et la course à la compétitivité incitent l'entreprise à rechercher la qualité totale et surtout la réduction des coûts. La maintenance est ainsi devenue l'une des fonctions stratégiques de l'entreprise. Elle vise donc moins à remettre en état l'outil de travail qu'à anticiper ses dysfonctionnements. L'arrêt ou le fonctionnement anormal de l'outil de production, et le non-respect des délais qui s'en suivent, engendrent des surcoûts que les entreprises ne sont plus en état de supporter. L'entreprise ne doit plus subir les événements, elle doit les prévoir et analyser leurs effets sur le long terme. Autrefois curative, la maintenance devient préventive et contribue à améliorer la fiabilité des équipements et la qualité des produits. Cette maintenance préventive se traduit par la définition de plans d'actions et d'interventions sur l'équipement, par le remplacement de certaines pièces en voie de dégradation afin d'en limiter l'usure, par le graissage ou le nettoyage régulier de certains ensembles.

Ces actions préventives étaient dans un premier temps effectuées de façon systématique selon des calendriers prédéfinis. Elles permettaient d'anticiper les pannes, mais au prix d'un alourdissement importants des coûts de maintenance. Grâce à l'évolution des méthodes de diagnostic et de contrôle, une nouvelle maintenance commence à voir le jour. Elle utilise des techniques de prévisions de pannes comme l'analyse des vibrations ou des huiles. Cette maintenance dite " préventive conditionnelle " permet de remplacer des pièces juste avant leur rupture. Le choix entre les différents aspects de la maintenance se fait principalement au regard des coûts économiques, mais aussi des aptitudes et compétences du personnel de maintenance, et de la position concurrentielle sur la marché.

2. Vocabulaire de la maintenance :

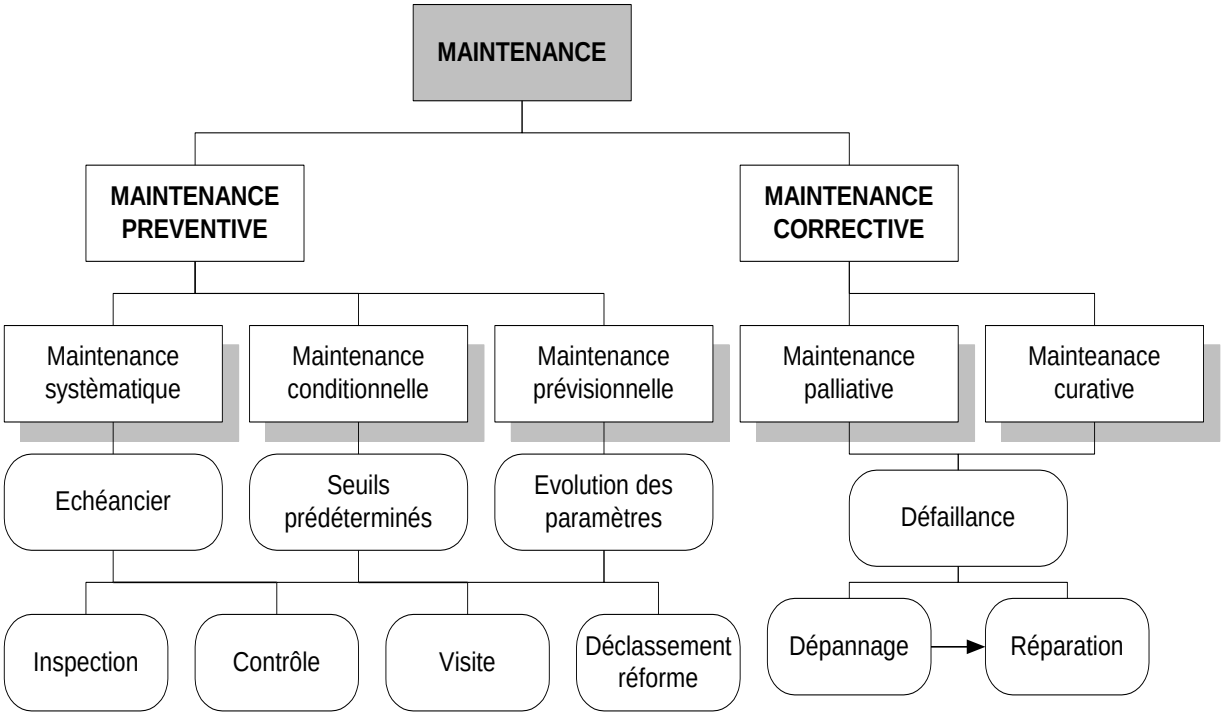
- **Maintenance** : ensemble des activités destinées à maintenir ou à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management.
- **Maintenance préventive** : maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (**maintenance systématique**), et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (**maintenance conditionnelle**).

- **Maintenance prévisionnelle** : maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.
- **Maintenance corrective** : ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement : ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, le remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement.
- **Maintenance palliative** : activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelé couramment dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.
- **Maintenance curative** : activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Les résultats des activités réalisées doivent présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, des modifications ou aménagements ayant pour objet de supprimer la ou les défaillances.

3. Types de maintenance :

Bien qu'il n'existe aucun classement universel de la maintenance qui précise ses aspects et sa portée, on peut néanmoins parler de 2 classes de maintenance. La différence fondamentale entre ces classes s'appuie sur la décision d'exécuter le travail de maintenance **avant ou après** que la panne se soit produite:

- Maintenance préventive,
- Maintenance corrective,



La prise de cette décision a un caractère politique avec des conséquences sur les coûts de maintenance, Cependant, du fait de l'importance des arrêts prévus dus aux pannes, la décision est plus de caractère technico-économique. Ainsi selon le type d'équipement, il y a des cas pour lesquels les pannes provoquées par des arrêts ne mettent pas en jeux de façon importante les recettes de l'entreprise, ou pour lesquels les coûts de réparation des pannes sont en-dessous des coûts d'organisation d'un système de maintenance qui éviterait les arrêts, Cependant, il reste prouvé que dans beaucoup d'industries, un système de maintenance préventive bien organisé produit des bénéfices qui dépassent les coûts de fonctionnement.

Et bien qu'ait été prise la décision d'organiser un système de maintenance préventive, une maintenance curative est nécessaire car des imprévus se présentent toujours et il nécessaire de porter remède aux imperfections.

II. Maintenance préventive :

1. Définition et buts :

D'après l'Afnor (NF X 60-010) : « c'est une maintenance effectuée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. »

C'est donc une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance.

NB : aussi poussé que soit le « *niveau de préventif* » mis en œuvre, il subsistera inexorablement des ***défaillances résiduelles*** à caractère aléatoire, donc une part non négligeable de « ***correctif*** » est nécessaire : 5% à 10%

Les objectifs visés par la maintenance préventive sont les suivants :

- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc réduire les défaillances en service : réduction des coûts de défaillance, amélioration de la disponibilité
- Augmenter la durée de vie efficace d'un équipement
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production
- Réduire et régulariser la charge de travail
- Faciliter la gestion des stocks (consommations prévues)
- Assurer la sécurité (moins d'improvisations dangereuses)
- Plus globalement, en réduisant la part « d'imprévu », améliorer le climat des relations humaines (**une panne imprévue est toujours source de tension**)

La mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive implique le développement d'un service « méthodes de maintenance » efficace. En effet, on ne peut faire de préventif sans un service méthodes qui va alourdir à court terme les coûts directs de maintenance, mais qui va permettre :

- La gestion de la documentation technique, des dossiers machines, des historiques
- Les analyses techniques du comportement du matériel
- La préparation des interventions préventives
- La concertation avec la production

2. les opérations de la maintenance préventive :

Elles peuvent être regroupées en 3 familles : **les inspections, les contrôles, les visites**. Elles permettent de maîtriser l'évolution de l'état réel du matériel. Elles peuvent être effectuées de manière continue ou à des intervalles, prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

- **L'inspection : activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie**. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Pour la maintenance, cette activité s'exerce notamment au moyen des rondes. **Ex** : inspection des extincteurs, écoute de bruits dans un compresseur. Les activités d'inspection sont en général exécutées sans outillage spécifique et ne nécessitent pas d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.
- **La visite : opération de maintenance préventive qui se traduit par un examen détaillé et prédéterminé**. **Ex** : visite périodique de la machine, des équipements électriques et mécaniques d'un engin de levage. Ces activités peuvent entraîner des démontages partiels des éléments à visiter (et donc d'entraîner une immobilisation du matériel) ainsi que des opérations de maintenance corrective.
- **Le contrôle : vérifications de conformité par rapport à des données préétablies, suivies d'un jugement**. **Ex** : contrôle du niveau d'isolement d'une installation BT, contrôle du jeu fonctionnel dans un mécanisme. Le contrôle peut comporter une activité d'information, inclure une décision (acceptation, rejet, ajournement), déboucher sur des actions correctives. La périodicité du contrôle peut être constante (durant la phase de fonctionnement normal du matériel) ou variable (et de plus en plus courte dès que le matériel rentre dans sa phase d'usure).

III. Historique des arrêts au niveau de l'aciérie :

1. Historique des arrêts

La question qui se pose ici est : pourquoi choisir le four à arcs électriques ?

L'historique des arrêts est considéré comme étant le « Carnet de santé » de la machine, qui décrit chronologiquement toutes les interventions correctives, et les modifications techniques.

Le tableau ci-dessous illustre la classification des temps d'arrêts en MIN du mois de Mars et d'Avril 2010 :

Mois / Les équipements	Mars	Avril
Consteel	60	79
Four EAF	954	417
Four LF	34	225
Zone four	70	45
Machine CCM	297	369
Zone CCM	113	14
Zone FTP	32	103
Zone RMH	16	83
Zone WTP	2	0
Pont roulants	195	155
Réchauffeurs	80	0
Utility Réfractaire	6	0

Tableau 1. Historique des arrêts par zone

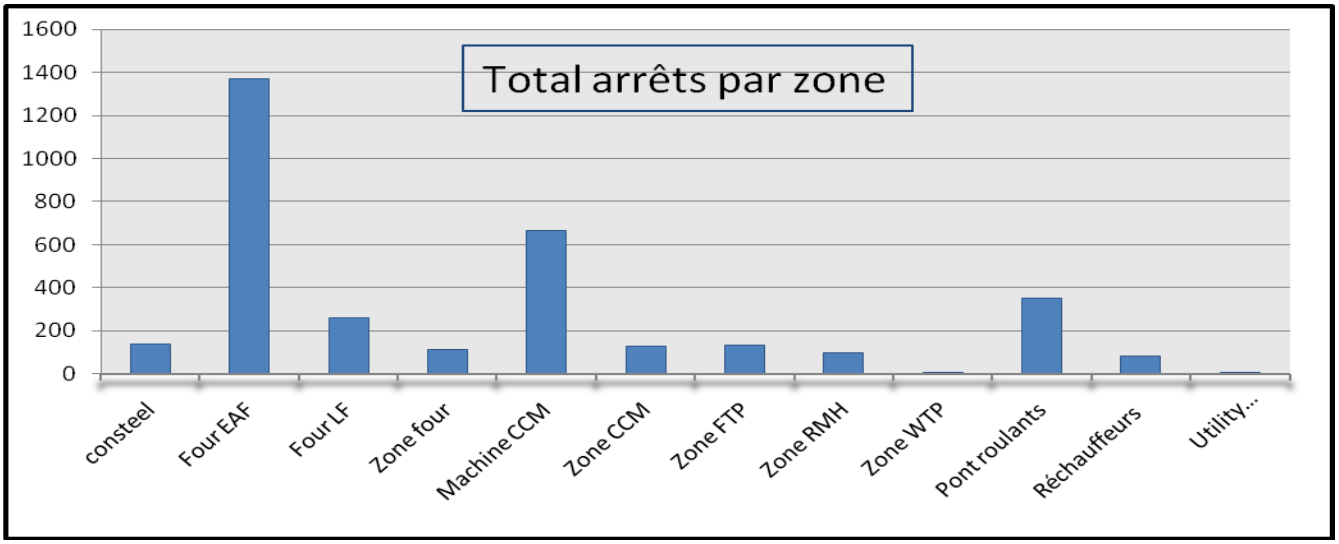


Figure 1. Répartition des temps d'arrêts par zone

2. Sélectivités :

Le diagramme Pareto détermine les 20% des zones ou d'équipements responsables de 80% des arrêts :

ZONE	Arrêts (min)	Arrêts (%)	cumul %
Four EAF	1371	40,94	40,94
Machine CCM	666	19,89	60,82
Pont roulants	350	10,45	71,28
Four LF	259	7,73	79,01
Consteel	139	4,15	83,16
Zone FTP	135	4,03	87,19
Zone CCM	127	3,79	90,98
Zone four	115	3,43	94,42
Zone RMH	99	2,96	97,37
Réchauffeurs	80	2,39	99,76
Utility Réfractaire	6	0,18	99,94
Zone WTP	2	0,06	100,00

Tableau 2. Les arrêts du mois de Mars et d'Avril 2010 triés par ordre décroissant

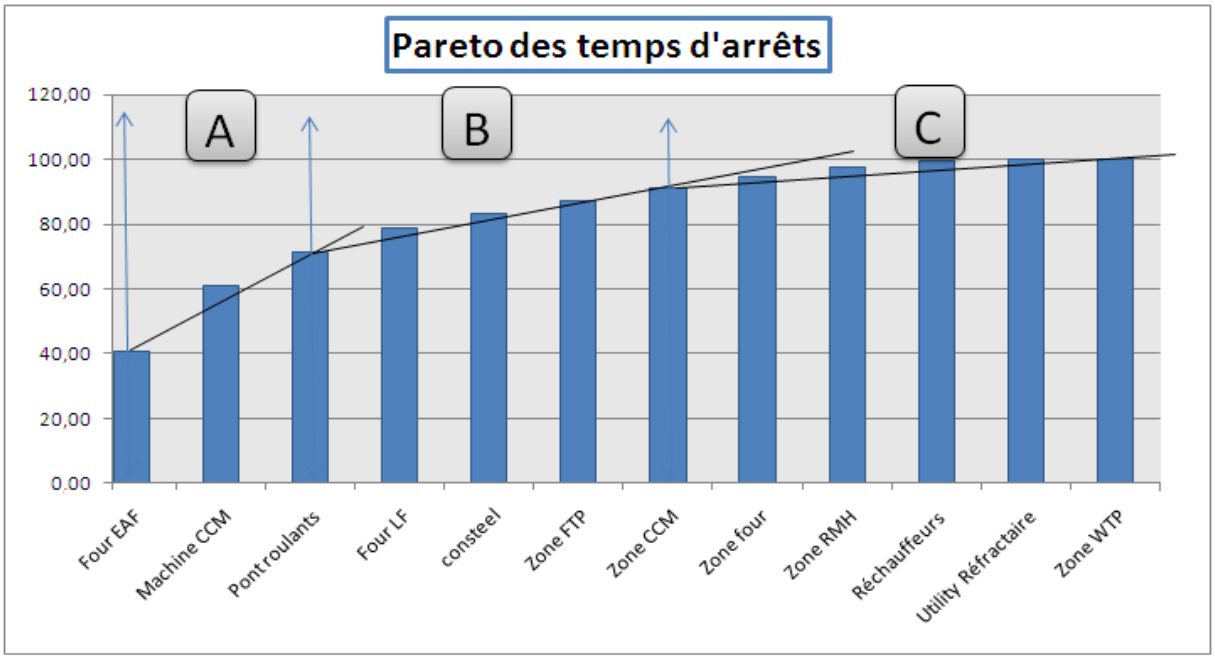


Figure 2. Pareto des temps d'arrêts par zone

Interprétation :

D'après le diagramme de Pareto, les zones critiques sont celles de la zone A :

- Le four EAF,
- La machine CCM,
- Les ponts roulants.

Donc le four EAF génère un cumul d'arrêts supérieur à 40% d'où la nessecité d'établir un plan de maintenance préventive au niveau de cette unité d'une façon rigoureuse pour pouvoir diminuer les temps d'arrêts à un niveau acceptable.

IV. Elaboration du plan de maintenance de l'EAF :

L'élaboration d'un plan de maintenance se fait au niveau d'une unité de maintenance. Elaborer un plan de maintenance préventive, c'est décrire toutes les opérations de maintenance préventive qui devront être effectuées sur chaque organe. La réflexion sur l'affectation des opérations de maintenance de fait en balayant tous les organes de la décomposition fonctionnelle et en tenant compte de leur technologie, de leur environnement (sec, humide, poussiéreux, chaud, froid, non couvert… etc.), de leur probabilité de défaillance et de leur impact sur la production et sur la sécurité (humaine et matérielle).

Les différentes sources qui nous aident à définir les opérations de maintenance préventive sont :

- Les documents techniques constructeurs,
- L'expérience du membre du service de maintenance (intervenants et superviseur),
- Les historiques de la machine concernée et éventuellement celle des machines de même type,
- Les recommandations des constructeurs,
- La base de données des organes très courant (standard de maintenance préventive),
- Les valeurs MTBF,
- Les conditions d'utilisation (taux d'engagement, environnement…).

1. Arborescence et codification des équipements EAF :

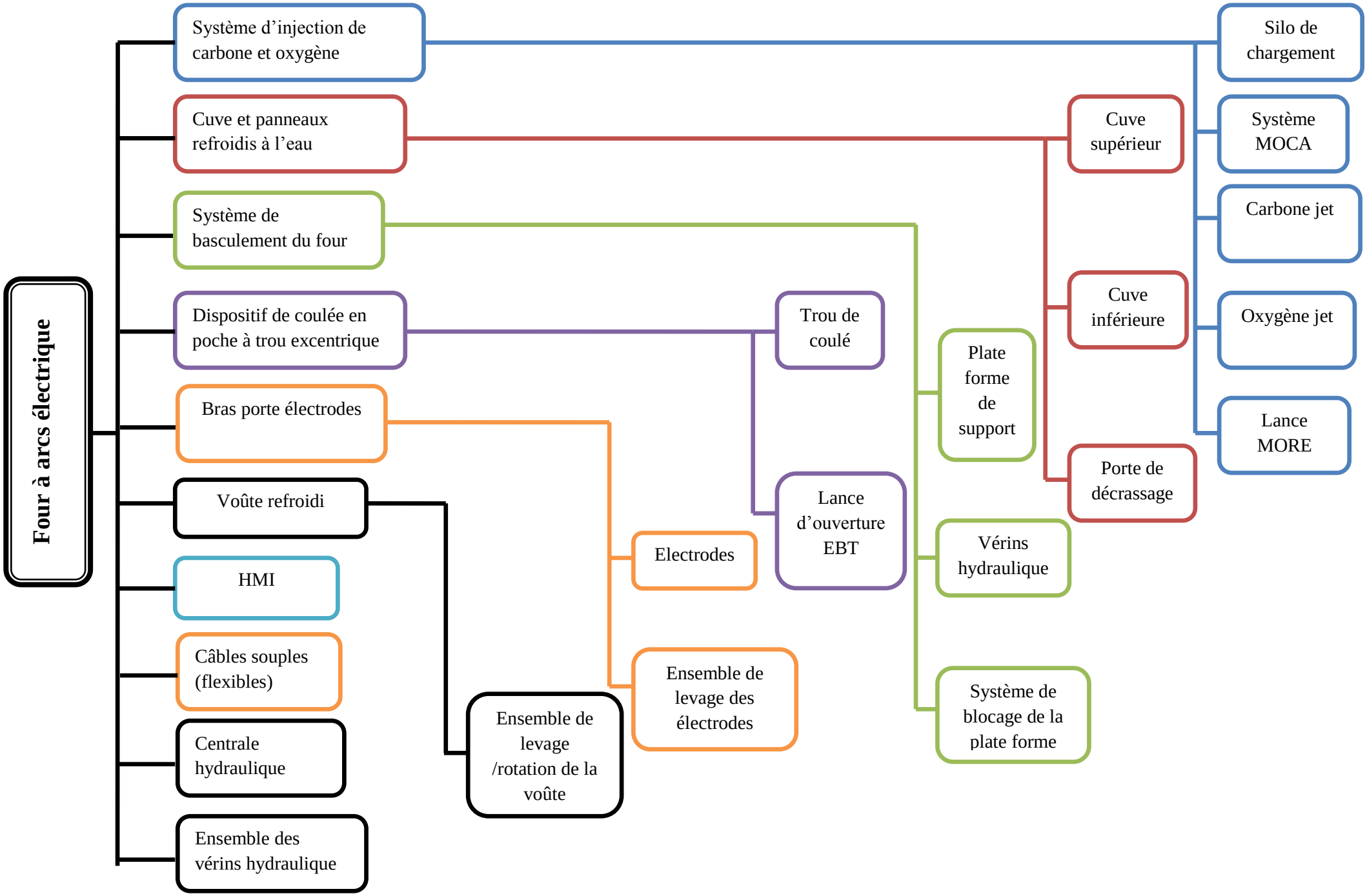
Le but général de cette étape préliminaire d'élaboration du plan de maintenance préventive est de codifier les différents équipements du four à arcs électriques, en leurs attribuant un code qui sera inscrit sur chaque bon de travail préventive.

a. Décomposition fonctionnelle :

Il est nécessaire d'avoir une connaissance parfaite de la machine sur laquelle on devra élaborer le plan de maintenance préventive. Le moyen d'avoir cette connaissance est de décomposer la machine (unité de maintenance) jusqu'au niveau organe. Il s'agit d'une décomposition fonctionnelle de l'unité de maintenance :

- Unité fonctionnelle : un ensemble d'appareils ou d'organes qui participent à une fonction de l'unité de maintenance ;
- Ensemble : en raison de la complexité du matériel, une fonction est décomposée en sous fonction. Ce qui correspond à un ensemble fonctionnel ;
- Sous-ensemble : ce sont les éléments qui composent un ensemble.

Et voici la décomposition fonctionnelle du l'EAF :


Four à arcs électrique
Système d'injection de carbone et oxygène
Cuve et panneaux refroidis à l'eau
Système de basculement du four
Dispositif de coulée en poche à trou excentrique
Bras porte électrodes
Voûte refroidi
HMI
Câbles souples (flexibles)
Centrale hydraulique
Ensemble des vérins hydraulique
Ensemble de levage /rotation de la voûte
Electrodes
Ensemble de levage des électrodes
Trou de coulé
Lance d'ouverture EBT
Plate forme de support
Vérins hydraulique
Système de blocage de la plate forme
Cuve supérieur
Cuve inférieure
Porte de décrassage
Silo de chargement
Système MOCA
Carbone jet
Oxygène jet
Lance MORE

b. Codification :

La codification peut être numérique ou alphanumérique. Elle suit les différents niveaux de l'arborescence fonctionnelle.

Dans certain cas, on introduit astucieusement le nom du constructeur dans la codification et on notifie le nom fonctionnel comme désignation. Cette façon offre un critère de recherche informatique correspondant à la forme de recherche habituelle des techniciens.

Décomposition fonctionnelle & codification						
Unité fonctionnelle		Ensemble		Sous-ensemble		Codification
01	EAF	01	Système d'injection de carbone/oxygène	01	MOCA	01EAF0101
				02	PALMUR	01EAF0102
				03	MODULO	01EAF0103
		02	Cuve et panneaux refroidis	01	Cuve supérieur	01EAF0201
				02	Cuve inférieur	01EAF0201
				03	Porte décrassage	01EAF0203
		03	Système de basculement du four	01	Plate forme de support	01EAF0301
				02	Système de blocage de la plate forme	01EAF0301
		04	Dispositif de coulée à trou excentrique (EBT)	01	Trou de coulée	01EAF0401
				02	Lance d'ouverture EBT	01EAF0402
		05	Bras porte électrode	01	Electrode	01EAF0501
				02	Ensemble levage/rotation des bras électrode	01EAF0502
		06	Voûte refroidis	01	Ensemble levage/rotation de la voûte	01EAF0601
		07	Câbles souples (flexibles)	01	Flexible eau de refroidissement PN13DN16	01EAF0701
				02	Flexible huile à haute pression DN13PN200	01EAF0702
				03	Flexible lubrification PN40DN50	01EAF0703
				04	Flexible câbles électrique	01EAF0704
		08	HMI			01EAF0800
02	Système hydraulique	01	Ensemble des vérins hydrauliques	01	2 vérins hydrauliques de basculement du four	02HYD0101
				02	2 vérins hydrauliques de blocage de la plate forme	02HYD0102
				03	Vérin hydraulique de la porte de décrassage	02HYD0103
				04	Vérin hydraulique de levage de la voûte	02HYD0104
				05	Vérin hydraulique de rotation de la voûte	02HYD0105
				06	Vérin hydraulique de blocage de la voûte	02HYD0106

				07	Vérins hydraulique de levage des électrodes	02HYD0107
				08	Vérins hydraulique d'ouverture de la pince électrode	02HYD0108
				09	Vérin hydraulique d'ouverture de l'EBT	02HYD0109
				10	Vérin hydraulique de blocage de l'EBT	02HYD0110
		02	Centrale hydraulique	01	Réservoir	02HYD0201
				02	Pompes	02HYD0202
				03	Moteur électrique	02HYD0203
				04	Amortisseur de vibration	02HYD0204
				05	Accouplement flexible	02HYD0205
				06	Accumulateur	02HYD0206
				07	Capteur de niveau	02HYD0207
				08	Vanne de fermeture	02HYD0208
				09	Reniflard	02HYD0209
				10	Filtre à huile	02HYD0210
				11	Echangeur thermique	02HYD0211
				12	Circuit de graissage	02HYD0212
				13	Pressostat	02HYD0213

Tableau3. Codification des équipements du four

2. Recueil des opérations de maintenance préventive :

Le recueil des opérations de maintenance préventive est un document de travail des méthodes qui permet de lister les opérations en passant en revue systématique tous les organes (voir tableau). Ce tableau comporte les éléments suivants :

- **Opération :** cette partie comporte la description succincte des opérations appliquées sur des organes. On met une croix dans les deux colonnes suivantes :
  - Marche : pour l'opération qui pourrait se faire pendant que la machine est en production ;
  - Arrêt : pour l'opération qui doit être faite pendant un arrêt de la production.
- **Intervenants :**
  - MEC : mécanicien

- ELC : électricien
- INS : instrumentiste
- HYD : hydraulicien
- NET : nettoyage

On notera par exemple 2MEC1ELC : une équipe composée de deux mécaniciens et d'un électricien.

- **Durée :** il s'agit du temps élémentaire de l'opération, dont l'estimation est basée sur l'expérience, hors temps de déplacement. Ce temps est exprimé en heure ou en minute.

- **Périodicité :**
  - J : journalier
  - H : hebdomadaire
  - M : mensuel
  - T : trimestriel
  - S : semestriel
  - A : annuel (et nA, par exemple 2A pour bisannuel)

- **Numéro de fiche de maintenance préventive :** il s'agit du numéro de la fiche utilisée par les intervenants pour effectuer la visite préventive sur laquelle sera reportée l'opération en question.

- **Observation :** on notera tous les renseignements utiles pour pouvoir réaliser correctement l'opération demandée telle que :
  - Valeur de référence,
  - Outillage spécial,
  - Numéro de plan,
  - Référence de l'instruction technique ou titre de l'instruction à réaliser,
  - Référence de consigne de conduite ou de sécurité,
  - Référence des fiche d'expertises.

Plan de maintenance préventif
Recueils des opérations

Secteur : EAF
Atelier : atelier central

Unité de production : aciérie
Unité de maintenance : **MOCA**

Opérations	marche	arrêt	Destinataire	durée	périodicité							N° de la fiche de maintenance préventive	Observations
					J	H	M	T	S	A	nA		
Contrôle visuel du système	*		MEC			1						N°3029/exp201	
Serrage des boulons	*		MEC						1				
Contrôle des flexibles de l'équipement	*		MEC				1/2					N°3029/exp201	
Contrôle des flexibles pour le transport du charbon	*		MEC		1							N°3032/exp201	
Contrôle de fonctionnement du système pneumatique		*	INS				1/2					N°3031/exp201	
Contrôle visuel d'état d'usure des tubes		*	MEC			1						N°3029/exp201	
Contrôle d'état de fonctionnement des fins de course		*	INS			1						N°3031/exp201	
Contrôle du fonctionnement de la vanne de sécurité		*	MEC			1						N°3029/exp201	
Contrôle du mouvement de l'actionneur pneumatique		*	INS				1						
Contrôle du filtrage de l'air comprimé	*		HYD			1						N°3030/exp201	
Contrôle filtrage et lubrification des électrovannes		*	HYD			1						N°3030/exp201	
Contrôle visuel de l'état de surface des parois du réservoir		*	MEC							1			
Contrôle visuel du cône de fluidification		*	MEC							1			
Contrôle de l'état de la vanne en céramique		*	MEC						1				
Contrôle vanne papillon charge-décharge		*	MEC				1						
Contrôle du système de pesage		*	MEC							1			
Nettoyage du système MOCA	*		NET			1						N°3029/exp201	
Contrôle de l'état des câbles électriques		*	ELC				1						
Nettoyage régulier de la zone autour du système MOCA	*		NET		1							N°3032/exp201	

Rédacteur : Date : Mise à jours le : Folio :

Tableau4. Exemple de tableau de recueils des opérations préventives (MOCA)

NB : les autres plans de maintenance préventive sont disponibles sur l'annexe.

3. Elaboration des bons de travaux de maintenance préventive :

C'est un document opérationnel regroupant les opérations de maintenance préventive, qui seront confiées à une équipe. Une équipe peut être formée d'un seul ou plusieurs corps de métier.

N° de bon de travaux

Code de l'équipement

SONASID

BON DE TRAVEAUX PREVENTIFS

N°3029/Exp200

Equipement : MOCA

Code Implantation : 01EAF0101 **Zone :** *FOUR ELECTRIQUE ACIERIE*

Destinataire : *MECANIQUE/NET* **Fréquence :** *1 semaine(s)*

Délai travaux : *1 Semaine(s)*

Date Début : **Date Limite :**

Outillage spécial

Nbre de personnes :

Durée Prévue :

MO / Procédures :

Consigne de sécurité

N° OP	Travail demandé	FAIT
1	Contrôle visuel du système	
2	Contrôle visuel de l'état d'usure des tubes	
3	Contrôle du fonctionnement de la vanne de sécurité	
4	Contrôle des flexible de l'équipement	
5	Nettoyage du système MOCA	

MAJ002A Folio 1/2

Figure3. Exemple de bon de travail préventif

« Recto-de la fiche de maintenance »

NB : les autres bons de travaux sont disponibles sur l'annexe.

Fiche de maintenance préventive N° :						
Equipement :	Zone :			Code imputation :		
Effectif :	Intervenants :			OT N° : Périodicité :		
Lancé le :	Par :	Réalisé le :		Durée :		
Opérations	Moyens	Valeur		Etat	INTV	Observation intervenant
		Référence	Mesure			
Consigne de sécurité :						
Etat : 1 : RAS, 2 : début dégradation, 3 : dégradation avancée, 4 : intervention immédiate						folio :

Tableau5. « Verso- de la fiche de maintenance préventive »

4. Plan général de maintenance préventive du four à arcs électriques :

Le plan général de maintenance préventive regroupe l'ensemble des opérations de maintenance qui devront être effectuées sur chaque équipement du four à arcs électrique.

« VOIR L'ANNEXE »

Conclusion générale

Au terme de mon stage j'ai pu traiter un sujet de maintenance au sein d'un bureau de méthodes maintenance interactif, afin d'approfondir mes connaissance en ce domaine et compléter ma formation de conception mécanique, innovation et mangement industriel.

Mon sujet a traité un équipement très important dans les procédés de fabrication de l'aciérie à savoir le four à arcs électriques. Tout au long de cette étude, on a pu réaliser les tâches suivantes :

- Identification des équipements critiques du four à arcs électrique en fonction de la durée et la fréquence d'intervention,
- Evaluation de la criticité des équipements critiques identifiés via une étude AMDEC,
- Suggestion de solutions correctives et préventives aux problèmes sources, de chaque équipement, identifié par l'étude AMDEC,
- Résolution du problème de détonation des flexibles via une étude PCRP (Processus créatif de résolution de problème),
- Décomposition et codification des équipements du four à arcs électriques,
- Recueil des opérations préventives du four à arcs électriques,
- Elaboration de nouveaux bons de travaux préventifs du four à arcs électriques.
- Elaboration d'un plan général de maintenance préventive du four à arcs électriques.

Les résultats de l'étude vont aboutir à diminuer les coûts de maintenance engendrés par les durées élevés d'interventions sur les équipements critiques, et en conséquence baisser les temps d'arrêts du four à arcs électriques.

L'expérience du stage de fin d'études était assez extraordinaire et bénéfique et j'en ai très bien tirée profit, ceux qui me facilitera mon intégration dans le monde du travail.

Sachez qu'aucune œuvre faite de main d'homme ne peut prétendre à la perfection, j'ai donc conscience de nombreuse imperfection et que les lecteurs de mon humble mémoire tiennent pas rigueur mais qu'ils fassent preuve d'indulgence.

Bibliographie

- Le manuel « d'instructions d'installation, de démarrage, d'utilisation et d'entretien du four à arcs électrique» du constructeur DANIELI.
- Le manuel « d'installation, entretien et utilisation du système MOCA » du constructeur MORE.
- Le manuel « d'installation, entretien et utilisation de la lance PALMUR » du constructeur MORE.
- Le manuel « d'installation, entretien et utilisation du MODULO » du constructeur MORE.
- « pratique de la maintenance préventive » de **Jean Héng** : Edition **Dunod, paris, 2002**